

ПРОДУКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ И ТОНКОГО ГРОХОЧЕНИЯ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЕДНО-ЦИНКОВОЙ РУДЫ

© 2016 г. **Е.Ф. Цыпин, С.В. Мамонов, И.А. Власов**

Уральский государственный горный университет (УГГУ), г. Екатеринбург

ОАО «Научно-исследовательский и проектный институт обогащения и механической обработки полезных ископаемых «Уралмеханобр», г. Екатеринбург

Статья поступила в редакцию 29.05.14 г., подписана в печать 18.06.14 г.

Исследована возможность повышения качества медно-цинковой руды перед обогащением при применении грохотов для тонкого гидравлического грохочения в замкнутых циклах измельчения. Приведены результаты изучения продуктов разделения медно-цинковой руды в гидроциклоне RWS 75 и грохоте Kroosh ULS 1,5×0,6. Установлено, что применение грохотов (по сравнению с гидроциклонами) для тонкого гидравлического грохочения в замкнутых циклах измельчения медно-цинковых руд позволит: снизить циркулирующую нагрузку в замкнутых циклах измельчения и циркуляцию тонких классов крупности с надрешетным продуктом; сократить потенциальное переизмельчение рудных минералов; повысить «качество» обогащаемого сырья путем увеличения массовой доли классов крупности, оптимальных для последующего флотационного обогащения, а также за счет уменьшения содержания крупных классов крупности в конечном продукте цикла и снижения перехода меди в тонкие классы крупности.

Ключевые слова: тонкое гидравлическое грохочение, грохот для тонкого гидравлического грохочения, гидроциклон, продукты разделения, медно-цинковые руды, классы крупности, массовая доля, извлечение, раскрытие минералов.

Цыпин Е.Ф. — докт. техн. наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых УГГУ (620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30). E-mail: tsipin.e@mail.ru.

Мамонов С.В. — заведующий научно-исследовательской лабораторией ОАО «Уралмеханобр» (620144, г. Екатеринбург, ул. Хохрякова, 87). E-mail: Mamonov_SV@umbr.ru.

Власов И.А. — науч. сотрудник аналитической лаборатории ОАО «Уралмеханобр». E-mail: Vlasov_IA@umbr.ru.

Для цитирования: Цыпин Е.Ф., Мамонов С.В., Власов И.А. Продукты классификации и тонкого грохочения замкнутого цикла измельчения медно-цинковой руды // Изв. вузов. Цвет. металлургия. 2016. No. 2. С. 4–11. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-2-4-11.

Tsy-pin E.F., Mamonov S.V., Vlasov I.A.

The products of copper-zinc ore sizing and fine screening in closed grinding cycles

The study covers the possibility to improve the quality of copper-zinc ore prior to its enriching using screens for hydraulic fine screening in closed grinding cycles. The paper presents the results obtained when studying the products of copper-zinc ore separation in the RWS 75 hydrocyclone and in the Kroosh ULS 1,5×0,6 screen. It was found that the use of screens (in contrast to hydrocyclones) for hydraulic fine screening in closed cycles for copper-zinc ore grinding will: 1) reduce the circulating load in closed grinding cycles and the circulation of fine size grades with the oversize product; 2) decrease potential overgrinding of ore minerals; 3) enhance the «quality» of enriched raw materials by increasing the mass fraction of size grades optimal for subsequent flotation, as well as by lowering the content of coarse size grades in the final product of the cycle and reducing the transition of copper into fine size grades.

Keywords: hydraulic fine screening, screen for hydraulic fine screening, hydrocyclone, separation products, copper-zinc ores, size grades, mass fraction, recovery, mineral liberation.

Tsy-pin E.F. — Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of minerals processing, Ural State Mining University (620144, Russia, Ekaterinburg, Kuybysheva str., 30). E-mail: tsipin.e@mail.ru.

Mamonov S.V. — Head of Scientific research laboratory, OJSC «Uralmekhanobr» (620144, Russia, Ekaterinburg, Hohryakova str., 87). E-mail: Mamonov_SV@umbr.ru.

Vlasov I.A. — Research Officer, Analytical laboratory, OJSC «Uralmekhanobr». E-mail: Vlasov_IA@umbr.ru.

Citation: Tsy-pin E.F., Mamonov S.V., Vlasov I.A. Produkty klassifikatsii i tonkogo grokhocheniya zamknutogo tsikla izmel'cheniya medno-tsinkovoi rudy. *Izv. vuzov. Tsvet. metallurgiya*. 2016. No. 2. P. 4–11. DOI: dx.doi.org/10.17073/0021-3438-2016-2-4-11.

Введение

В настоящее время отечественные и зарубежные машиностроительные корпорации предлагают широкий спектр классифицирующего обо-

рудования: механические классификаторы, гидроциклоны, грохоты для тонкого гидравлического вибрационного грохочения. В работах [1–8]

отмечено, что использование последних в циклах дезинтеграции позволяет существенно повысить эффективность процессов классификации, стабилизировать вещественный состав продуктов последующих стадий обогащения и тем самым улучшить технологические и экономические показатели обогащения. Однако эти выводы базируются в основном на результатах работы грохотов для тонкого гидравлического грохочения в циклах подготовки к обогащению железных, вольфрам- и оловосодержащих руд.

Анализ научно-технической информации последних 30 лет показал, что грохоты для тонкого гидравлического вибрационного грохочения не нашли массового применения на обогатительных фабриках России и стран СНГ, перерабатывающих медные, медно-цинковые и полиметаллические руды, для них известны лишь частные случаи испытаний и внедрения в процесс измельчения (ОАО «Гайский ГОК», ОАО «Святогор», ТОО «Корпорация Казахмыс», ООО СП «Эконт») [1, 9—11]. В данных работах основной акцент делается на сравнении эффективности процессов классификации и недостаточное внимание уделяется анализу вещественного состава продуктов разделения. По мнению авторов [9—11], выводы о возможном повышении качества сырья перед обогащением в случае применения грохотов для тонкого гидравлического грохочения, сделанные на основании переработки руд черных и легирующих цветных металлов, будут справедливы и для медно-цинковых руд.

Целью настоящей работы является подтверждение данного предположения путем детального анализа продуктов разделения медно-цинковой руды на грохоте для тонкого гидравлического грохочения и в гидроциклоне.

Методика исследований

С целью изучения и сравнения показателей процессов разделения минеральных частиц в двух типах классифицирующих аппаратов — грохоте для тонкого гидравлического вибрационного грохочения и гидроциклоне, работающих в замкнутом цикле с шаровой мельницей, использована непрерывно действующая установка.

В первом варианте в качестве классифицирующего аппарата применялся многочастотный резонансный грохот Kroosh ULS 1,5×0,6 (Израиль) со следующими техническими характеристиками:

- тип просеивающей поверхности — полиамидная сетка марки 51/60па;
- коэффициент живого сечения просеивающей поверхности — 42,0 %;
- размер отверстий просеивающей поверхности — 0,118 мм;
- длина и ширина рабочей зоны просеивающей поверхности — соответственно 0,5 и 0,2 м;
- площадь просеивающей поверхности — 0,1 м²;
- ускорение просеивающей поверхности — 360 м/с²;
- удельная производительность по исходному питанию — 4 т/(ч·м²).

Во втором варианте использован гидроциклон RWS 75 гидроциклонной установки AKW Laborant ZLF 50, технические характеристики которого следующие:

- материал гидроциклона — полиуретан;
- диаметр гидроциклона — 35 мм;
- диаметр питающей насадки — 3,5 мм;
- диаметр сливной насадки — 7 мм;
- диаметр песковой насадки — 5 мм;
- давление пульпы на входе в гидроциклон — 0,15 МПа.

В обоих случаях эксперименты выполнены при одинаковых производительности по исходному питанию классифицирующего аппарата 0,18 т/ч и удельном расходе воды 1,5 м³/т, что соответствует оптимальной массовой доле твердого в питании классифицирующего аппарата 40 % [4, 10, 12], а также на идентичных по гранулометрическому, минералогическому и вещественному составам пробах сульфидной медно-цинковой руды, мас. %:

Медь	2,2
Цинк	1,2
Сульфидная сера	19,22
Железо	29,41
Диоксид кремния	25,66
Оксид алюминия	5,46
Пирит.....	60,8
Кварц	19,4
Клинохлор.....	6,6
Халькопирит	4,8
Полевой шпат.....	4,0
Карбонаты.....	2,0
Сфалерит	1,0
Борнит	0,5
Ковеллин	0,4
Оксиды железа	0,5

В ходе изучения процессов классификации руды в замкнутом цикле выполнено исследование вещественного состава продуктов разделения. Они были подвергнуты ситовому и седиментационному анализам с последующими химическими (на спектрометрах «Argos» и «Solaar», анализаторе «CS-800») и минералогическими исследованиями классов крупности (на оптическом микроскопе с использованием программного обеспечения «Минерал С7»).

Результаты и их обсуждение

По результатам гидроциклонирования и тонкого гидравлического вибрационного грохочения в замкнутом цикле получены слив гидроциклона и подрешетный продукт грохота с массовой долей класса крупности $-0,071$ мм 90,07 % и 90,42 % соответственно.

Эффективность классификации руды на многочастотном резонансном грохоте по классу крупности $-0,071$ мм составила 72,08 %, в гидроциклоне — 61,33 %.

Циркулирующая нагрузка замкнутого цикла измельчения в случае применения в качестве классифицирующего аппарата грохота для тонкого грохочения составила 95,69 %, что существенно ниже, чем при использовании гидроциклонирования — 113,90 %.

На рис. 1 приведены гранулометрические характеристики подрешетного продукта грохота и слива гидроциклона, полученные в процессе классификации руды в открытом и замкнутом циклах измельчения. Из его данных видно, что ис-

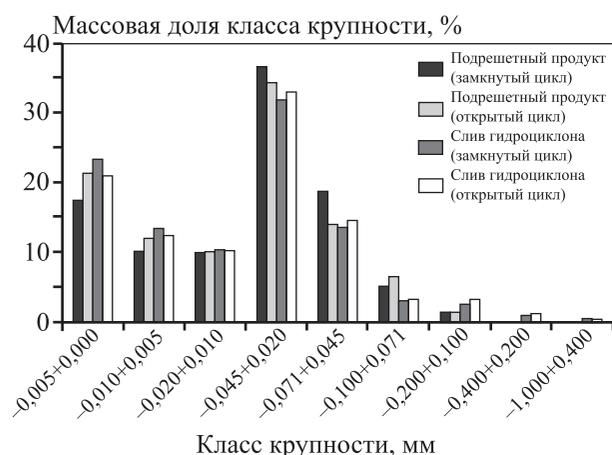


Рис. 1. Гранулометрические характеристики продуктов классификации

пользование грохота в замкнутом цикле измельчения позволяет повысить в подрешетном продукте массовую долю класса крупности $-0,071+0,02$ мм, оптимального для последующего флотационного обогащения, на 7,11 % по сравнению с тем же показателем в открытом цикле, а также на 9,87 % по сравнению с его содержанием в сливе гидроциклона, работающего в замкнутом цикле измельчения.

При этом отмечен прирост извлечения класса крупности $-0,071+0,02$ мм в подрешетный продукт грохота, которое в открытом цикле измельчения составило 68,58 %, а в замкнутом — 81,71 %. Повышение извлечения этой фракции характерно и для слива гидроциклона, но оно не так существенно: ее извлечение в слив гидроциклона в открытом цикле измельчения составило 70,48 %, а в замкнутом — 77,71 %.

Повышенное извлечение класса крупности $-0,071+0,02$ мм в подрешетный продукт грохота при сравнении его работы в открытом и замкнутом циклах измельчения обусловлено циркуляцией крупных классов с надрешетным продуктом и снижением благодаря этому содержания крупных классов в подрешетном продукте.

Массовая доля тонких (шламистых) классов крупности $-0,01+0,00$ мм в подрешетном продукте грохота в замкнутом цикле измельчения, напротив, уменьшается на 5,59 % по сравнению с открытым циклом измельчения и на 9,14 % по сравнению с показателями слива гидроциклона, работающего в замкнутом цикле.

В процессе гидроциклонирования в замкнутом цикле по сравнению с открытым наблюдается прирост массовой доли класса крупности $-0,020$ мм в сливе гидроциклона на 3,4 % (с 43,92 % для открытого цикла измельчения до 47,32 % для замкнутого). Для процесса грохочения в замкнутом цикле измельчения по сравнению с открытым массовая доля класса крупности $-0,020$ мм в подрешетном продукте, наоборот, снижается на 5,7 % — с 43,51 до 37,81 %. При этом извлечение тонких классов крупности в подрешетный продукт грохота остается на стабильно высоком уровне и составляет $\sim 88 \pm 98$ %.

Таким образом, можно заключить, что применение грохотов тонкого гидравлического грохочения в замкнутых циклах измельчения по сравнению с гидроциклонами позволяет повысить в подрешетном продукте массовую долю частиц, наиболее благоприятных по крупности для дальнейшего флотационного обогащения, снизить цир-

куляцию тонких (шламистых) классов крупности и содержание крупных классов крупности в конечном продукте цикла.

Следствием повышения массовой доли класса крупности $-0,020$ мм в сливе гидроциклона явля-

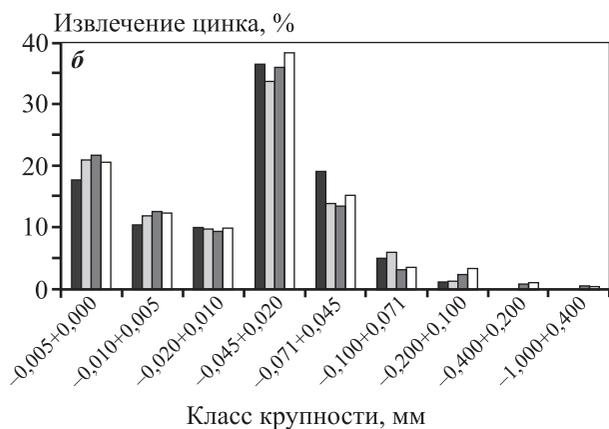
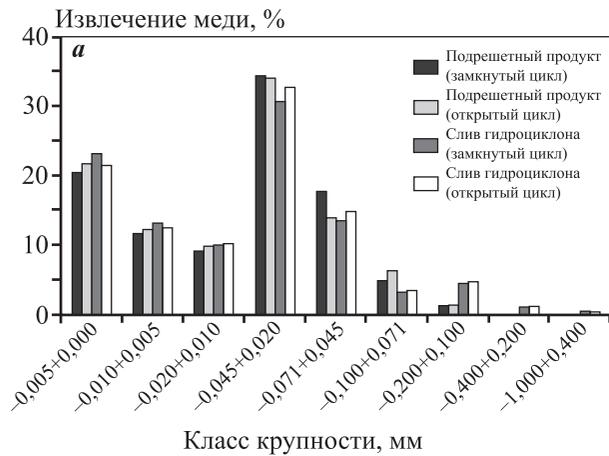


Рис. 2. Распределение меди (а) и цинка (б) по классам крупности продуктов классификации

Таблица 1
Средний размер зерен минералов в продуктах классификации

Продукт	Минерал	Ср. размер зерен, мм
Подрешетный продукт грохота	Пирит	$0,08 \times 0,100$
	Сфалерит	$0,026 \times 0,060$
	Халькопирит	$0,048 \times 0,071$
	Нерудные минералы	$0,067 \times 0,100$
Слив гидроциклона	Пирит	$0,083 \times 0,167$
	Сфалерит	$0,021 \times 0,045$
	Халькопирит	$0,022 \times 0,065$
	Нерудные минералы	$0,038 \times 0,106$

Таблица 2
Распределение минералов по крупности в продуктах классификации

Минерал	Фракция, мкм	Массовая доля, %
Подрешетный продукт грохота		
Пирит	70–100	39,3
	40–70	33,3
	20–40	19,6
	10–20	5,1
	0–10	2,7
Халькопирит	70–100	15,1
	40–70	58,9
	20–40	22,2
	10–20	3,2
	0–10	0,6
Сфалерит	70–100	12,6
	40–70	60,0
	20–40	22,6
	10–20	4,1
	0–10	0,7
Нерудные минералы	70–100	25,3
	40–70	48,1
	20–40	23,7
	10–20	2,7
	0–10	0,2
Слив гидроциклона		
Пирит	70–160	38,1
	40–70	25,9
	20–40	24,2
	10–20	7,6
	0–10	4,2
Халькопирит	70–100	21,3
	40–70	44,9
	20–40	27,3
	10–20	5,2
	0–10	1,3
Сфалерит	70–100	15,3
	40–70	56,6
	20–40	18,1
	10–20	6,2
	0–10	3,8
Нерудные минералы	100–130	12,2
	70–100	18,2
	40–70	45,8
	20–40	20,3
	10–20	3,0
0–10	0,5	

ется увеличение доли меди и цинка, приходящихся на данный класс крупности (рис. 2).

Доля частиц меди класса крупности $-0,020$ мм слива гидроциклона, работающего в замкнутом цикле измельчения, составила 46,31 %, что на 2,02 % выше этого показателя в открытом цикле измельчения. А в подрешетном продукте грохота, работающего в замкнутом цикле измельчения, он составил 41,59 %, что на 2,37 % ниже, чем в открытом. Таким образом, в замкнутом цикле измельчения доля меди, приходящейся на данный класс крупности в сливе гидроциклона, на 4,72 % выше такого же показателя в подрешетном продукте грохота. Это также свидетельствует о потенциально меньшем переизмельчении минеральных частиц в случае применения в замкнутых циклах измельчения тонкого грохочения.

О переизмельчении минеральных частиц в случае применения различных классифицирующих аппаратов свидетельствуют и результаты исследования распределения минералов по крупности (табл. 1, 2).

При использовании гидроциклона в замкнутом цикле измельчения массовая доля минералов крупностью менее 0,02 мм в его сливе больше в

1,5–2,0 раза по сравнению с содержанием минералов данной крупности в подрешетном продукте грохота. Массовая доля минералов крупностью 0,02–0,07 мм при этом, наоборот, снижается на 5–12 %.

По данным ситового и седиментационного анализов продуктов классификации, приведенным на рис. 3, установлено, что содержания раскрытых зерен основных минералов в классах крупности $-0,1$ мм подрешетного продукта грохота и слива гидроциклона отличаются друг от друга на 3–10 % в пользу первого аппарата. В классе крупности $+0,1$ мм слива гидроциклона наблюдается пониженная массовая доля раскрытых рудных минералов (например, халькопирита и сфалерита — 15 и 27 % соответственно) по сравнению с аналогичным показателем подрешетного продукта (60 и 75 %). При этом извлечение раскрытых зерен основных минералов в классы крупности подрешетного продукта грохота выше аналогичного показателя слива гидроциклона. Например, извлечение их в классы крупности $-0,1+0,071$, $-0,071+0,045$ и $-0,045+0,020$ мм подрешетного продукта на 20, 10 и 5 % выше аналогичного показателя слива гидроциклона.

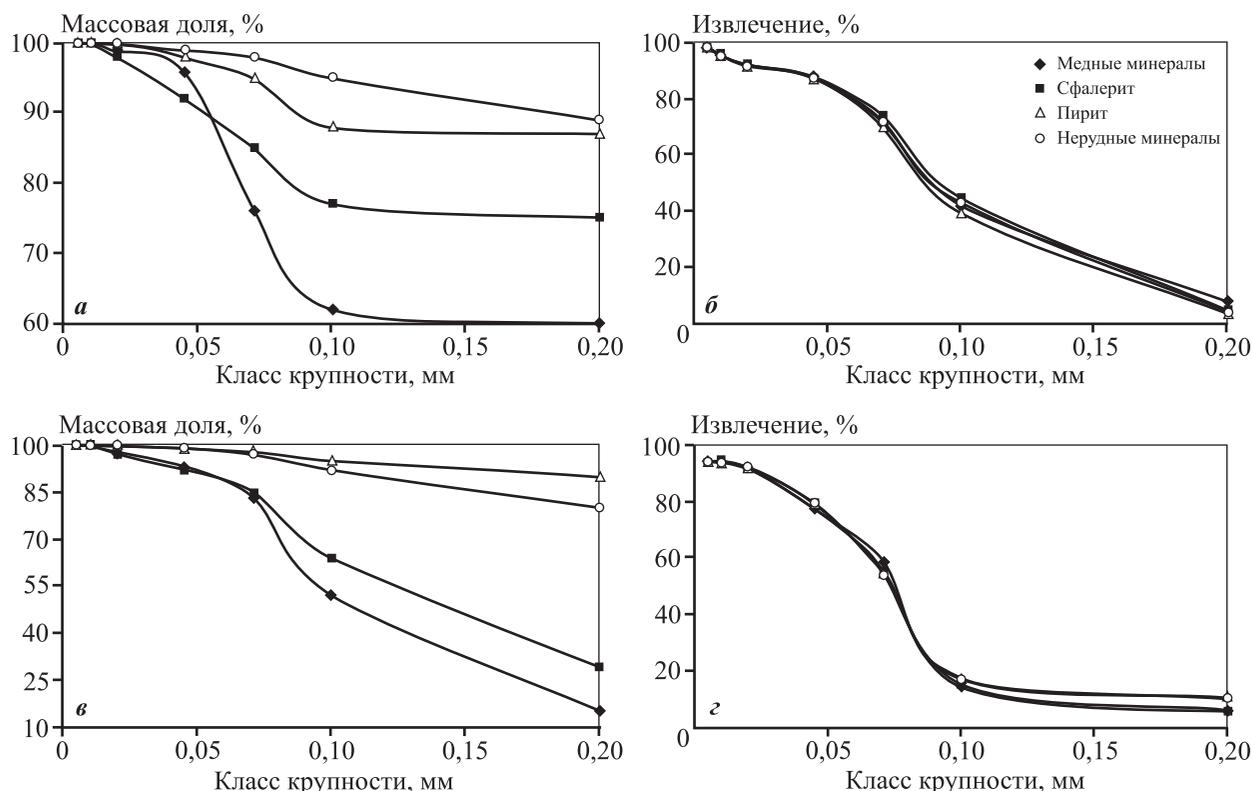


Рис. 3. Массовая доля раскрытых зерен минералов в классах крупности и их извлечение во фракции подрешетного продукта грохота (а, б) и слива гидроциклона (в, з)

Распределение раскрытых зерен минералов продуктов грохочения и гидроциклонирования по фракциям крупности приведено на рис. 4.

Представляет интерес анализ граничного значения крупности, при котором раскрытые зерна минерала равновероятно выделяются в подрешетный (слив) и надрешетный (пески) продукты грохота (гидроциклона). В замкнутом цикле измельчения оно составило: для халькопирита 0,074 и 0,111 мм, пирита — 0,079 и 0,097 мм, нерудных минералов — 0,113 и 0,125 мм соответственно.

Крупность равновероятного перехода раскрытых зерен минералов в подрешетный и надрешет-

ный продукты грохота при переходе от открытого к замкнутому циклу измельчения изменяется на 0,002—0,004 мм для рудных минералов и на 0,047 мм для нерудных. Особо она отличается при переходе частиц минералов в слив и пески гидроциклона: для рудных минералов крупность уменьшается на 0,013—0,018 мм, для нерудных — на 0,076 мм. Такое снижение ее значений свидетельствует о потенциальном переизмельчении зерен в замкнутом цикле измельчения в сравнении с аналогичным циклом с использованием грохота тонкого грохочения.

Однако эксплуатация грохота тонкого грохочения с ускорением просеивающей поверхности $24,5 \text{ м/с}^2$ на одной из Уральских обогатительных фабрик выявила отрицательную тенденцию — зарастание отверстий сит нерастворимыми солями кальция, а также цементированными ими тонкими рудными частицами. Эта проблема может носить повсеместный характер в операциях классификации с использованием грохотов руд цветных металлов за счет того, что при их обогащении наблюдаются наличие так называемых затрудняющих частиц в твердой фазе пульпы, а также повышенные концентрации в оборотных водах сульфат-иона, диоксида углерода, фторид-ионов, катионов кальция, магния, приводящих к цементации тонких минеральных частиц.

Исключение подобного эффекта возможно путем создания ускорения просеивающей поверхности свыше 350 м/с^2 , что и обеспечивается в многочастотных грохотах фирмы «Kroosh». При их использовании зарастание отверстий сит не происходит. Коэффициент живого сечения просеивающей поверхности грохота при его эксплуатации в течение 480 ч уменьшился незначительно — с 42 до 40 %.

Повышение «качества» подрешетного продукта грохота по сравнению со сливом гидроциклона позволяет повысить эффективность флотационного обогащения колчеданных медно-цинковых руд. Результаты проведенных флотационных исследований показали следующие преимущества технологии обогащения подрешетного продукта грохота по сравнению с обогащением слива гидроциклона:

— возрастает скорость флотации медь- и цинк-содержащих минералов на 10—20 %;

— снижаются потери меди и цинка с отвальными хвостами и разноименными концентратами на 1,53—3,77 % и 0,67—0,81 % соответственно;

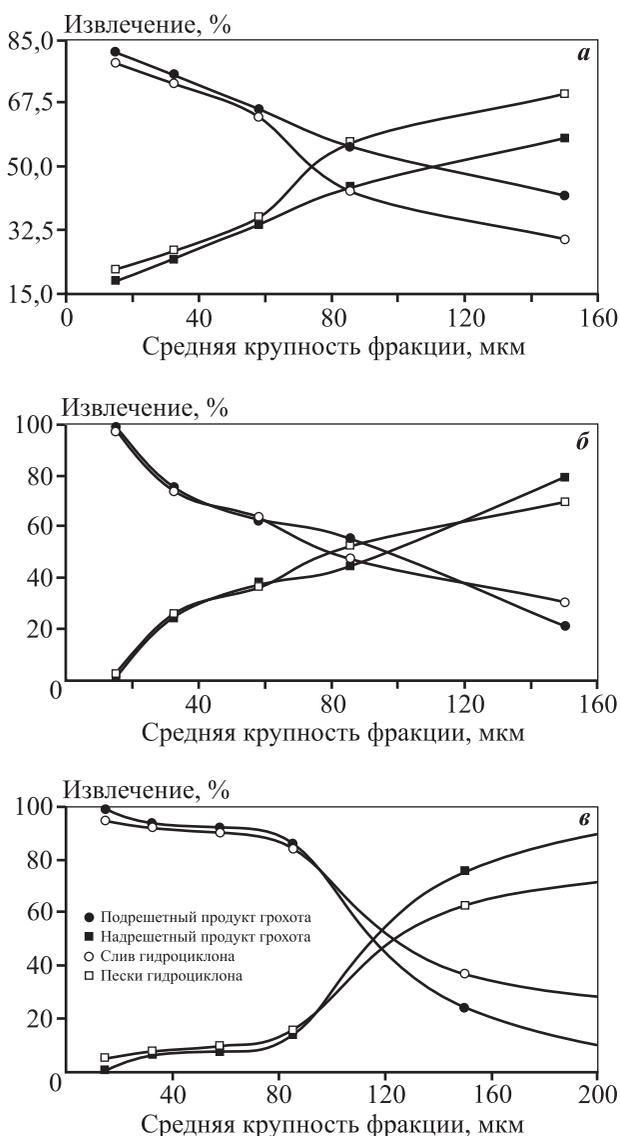


Рис. 4. Извлечение раскрытых зерен халькопирита (а), пирита (б) и кварца (в) определенной крупности в продукты классификации замкнутого цикла измельчения

— увеличиваются на 2 % массовая доля меди и ее извлечение в медный концентрат;

— возрастают на 4 % массовая доля цинка и его извлечение в цинковый концентрат.

Заключение

Таким образом, применение грохотов для тонкого гидравлического грохочения в замкнутых циклах измельчения медно-цинковых руд по сравнению с гидроциклонами позволит:

— уменьшить циркулирующую нагрузку в замкнутых циклах измельчения и циркуляцию тонких классов крупности с надрешетным продуктом;

— снизить потенциальное переизмельчение рудных минералов;

— повысить «качество» обогащаемого сырья путем увеличения массовой доли классов крупности, оптимальных для последующего флотационного обогащения, снижения содержания крупных флаций в конечном продукте цикла и перехода меди в тонкие классы крупности;

— повысить эффективность флотационного обогащения.

Литература

1. *Вайсберг Л.А., Коровников А.Н.* Тонкое грохочение как альтернатива гидравлической классификации по крупности // Обогащение руд. 2004. No. 3. С. 23—34.
2. *Чантурия В.А., Бочаров В.А.* Новые технологии обогащения и комплексной переработки труднообогатимого природного и техногенного сырья (по материалам Международного совещания «Плаксинские чтения-2011») // Цв. металлы. 2012. No. 2. С. 25—27.
3. *Пелевин А.Е., Лазебная М.Б.* Применение грохотов «Деррик» в замкнутом цикле измельчения на обогатительной фабрике ОАО «Комбинат Кмаруда» // Обогащение руд. 2009. No. 2. С. 4—8.
4. *Сухорученков А.И., Стаханов В.В., Зайцев Г.В.* Тонкое грохочение — высокоэффективный метод повышения технологических показателей обогащения тонковкрапленных магнетитовых руд // Горный журн. 2001. No. 4. С. 48—50.
5. *Вяльцева О.А., Вайсберг Л.А., Надутый В.П., Червоненко А.Г., Казанцева Н.Т.* Грохочение рудных пульп в циклах измельчения на резонирующих ленточно-струнных ситах // Обогащение руд. 1985. No. 3. С. 2—4.
6. *Penny B.* An Integrated Approach to Iron Ore Recovery

at the Iron Ore Company of Canada // 28-th Annual Operator's Conference of the Canadian Mineral Processors. 1996. P. 213—225.

7. *Weiss N.L., Wennen J.E., Nordstrom W.J., Murr D.L.* National Steel Pellet Company's Secondary Grinding Circuit Modifications // Comminution Practices. 1997. No. 5. P. 19—25.
8. *Valine, S.B., Futado J.R., Martins G., Policarpo D.L., F.C. da Silva Quintao.* Process Improvements at Samitri // Mining Eng. 1997. No. 4. P. 49—52.
9. *Шлапак В.Б., Кутемов Ю.П., Скорняков С.В., Семидалов С.Ю., Шанаурина Т.В.* Промышленные испытания грохота «Стек-Сайзер-48» корпорации «Деррик» и его внедрение на обогатительной фабрике ООО «СП «Эконт» // Изв. вузов. Горн. журн. 2007. No. 1. С. 101—104.
10. *Мамонов С.В., Мушкетов А.А., Нечунаев А.А.* Флотация медных руд при использовании в рудоподготовительном цикле тонкого вибрационного грохочения и гидроциклонирования // Изв. вузов. Горн. журн. 2013. No. 3. С. 114—120.
11. *Мамонов С.В., Газалеева Г.И.* Современное техническое состояние и технологические возможности тонкого грохочения в обогащении руд цветных металлов // Изв. вузов. Горн. журн. 2013. No. 6. С. 139—146.
12. *Доберсек А., Кирнарский А.С., Райш А.И.* Влияние содержания твердого в питании гидроциклонов на эффективность разделения частиц по крупности и плотности // Изв. вузов. Горн. журн. 2009. No. 5. С. 106—111.

References

1. *Vaysberg L.A., Korovnikov A.N.* Tonkoe grokhochenie kak al'ternativa gidravlicheskoj klassifikatsii po krupnosti [Fine screening as an alternative to hydraulic classification by size]. *Obogashchenie rud.* 2004. No. 3. P. 23—34.
2. *Tchanturia V.A., Bocharov V.A.* Novye tekhnologii obogashcheniya i kompleksnoi pererabotki trudnoobogatimogo prirodnogo i tekhnogenogo syr'ya [New technologies of dressing and integrated processing of difficult materials from natural and technogenic origin (Mater. Meeting «Plaksinskie chteniya-2011»)]. *Tsvet. metally.* 2012. No. 2. P. 25—27.
3. *Pelevin A.E., Lazebnaya M.B.* Primenenie grokhotov «Derrick» v zamknutom tsikle izmel'cheniya na obogatitel'noi fabrike ОАО «Kombinat Kmaruda» [Application Derrick screens in a closed circuit of grinding at the processing plant of OJSC «Kombinat Kmaruda»]. *Obogashchenie rud.* 2009. No. 2. P. 4—8.

4. *Suhoruchenkov A.I., Stahanov V.V., Zaytsev G.V.* Tonkoe grokhozhenie — vysokoeffektivnyi metod povysheniya tekhnologicheskikh pokazatelei obogashcheniya tonkovkraplennykh magnetitovykh rud [Fine screening as a highly effective method of increasing the technological indicators of the process of finely disseminated magnetite ore dressing]. *Gornyi zhurnal*. 2001. No. 4. P. 48—50.
5. *Vyaltseva O.A., Vaysberg L.A., Naduty V.P., Tchervonenko A.G., Kazantseva N.T.* Grokhozhenie rudnykh pul'p v tsiklakh izmel'cheniya na rezoniruyushchikh lentochno-strunnykh sitakh [Process of ore pulps screening in circuits of grinding on the resonating sieves]. *Obogashchenie rud*. 1985. No. 3. P. 2—4.
6. *Penny B.* An Integrated Approach to Iron Ore Recovery at the Iron Ore Company of Canada: Mater. of 28-th Annual Operator's Conference of the Canadian Mineral Processors. 1996. P. 213—225.
7. *Weiss N.L., Wennen J.E., Nordstrom W.J., Murr D.L.* National Steel Pellet Company's Secondary Grinding Circuit Modifications. *Comminution Practices*. 1997. No. 5. P. 19—25.
8. *Valine, S.B., Futado J.R., Martins G., Policarpo D.L., F.C. da Silva Quintao.* Process Improvements at Samitri. *Mining Eng.* 1997. No. 4. P. 49—52.
9. *Shlapak V.B., Kutemov U.P., Skorniakov S.V., Semidalov S.U., Shanaurina T.V.* Promyshlennye ispytaniya grokhota «Stack Sizer-48» korporatsii «Derrick» i ego vnedrenie na obogatitel'noi fabrike OOO «SP «Ekont» [Industrial testing of Stack-Sizer-48 screen and its implementation at the processing plant of LTD SP Ekont]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*. 2007. No.1. P. 101—104.
10. *Mamonov S.V., Mushketov A.A., Nechunaev A.A.* Flotatsiya mednykh rud pri ispol'zovanii v rudopodgotovitel'nom tsikle tonkogo vibratsionnogo grokhozheniya i gidrotsiklonirovaniya [Influence of the fine vibratory screening process at the ore preparation circle on the flotation of copper ores]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*. 2013. No. 3. P. 114—120.
11. *Mamonov S.V., Gazaleeva G.I.* Sovremennoe tekhnicheskoe sostoyanie i tekhnologicheskie vozmozhnosti tonkogo grokhozheniya v obogashchenii rud tsvetnykh metallov [The current technical condition and technological possibilities of fine screening in the dressing of ores of non-ferrous metals]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*. 2013. No. 6. P. 139—146.
12. *Dobersek A., Kirnarsky A.S., Raysh A.I.* Vliyanie sodержaniya tverdogo v pitanii gidrotsiklonov na effektivnost' razdeleniya chastits po krupnosti i plotnosti [Influence of solid content in hydrocyclone's feeding on the efficiency of separation of particle by their size and density]. *Izv. vuzov. Gornyi zhurnal*. 2009. No. 5. P. 106—111.