

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045775**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.12.26

(21) Номер заявки
202390319

(22) Дата подачи заявки
2021.07.16

(51) Int. Cl. **B03D 1/08** (2006.01)
C22B 1/24 (2006.01)
C22B 3/04 (2006.01)
C22B 3/20 (2006.01)
C22B 11/00 (2006.01)

(54) **КОМПЛЕКСНЫЙ ПРОЦЕСС ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ОТВАЛОВ**

(31) **63/053,104**

(32) **2020.07.17**

(33) **US**

(43) **2023.04.05**

(86) **PCT/IB2021/056429**

(87) **WO 2022/013824 2022.01.20**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**АНГЛО АМЕРИКАН ТЕКНИКЛ ЭНД
САСТЕЙНАБИЛИТИ СЕРВИСИЗ
ЛТД (GB); АНГЛО КОРПОРАТ
СЕРВИСИЗ САУТ АФРИКА (ПТИ)
ЛТД (ZA)**

(72) Изобретатель:

**Филмер Энтони Оуэн (AU), Байли
Кристофер Алан (GB), Александер
Дэниел Джон (умер)**

(74) Представитель:

**Веселицкий М.Б., Кузенкова Н.В.,
Каксис Р.А., Белоусов Ю.В., Куликов
А.В., Кузнецова Е.В., Соколов Р.А.,
Кузнецова Т.В. (RU)**

(56) **US-B1-9968945
US-A-4372843
US-B2-7964016
US-A1-20160310956**

(57) В изобретении описывается способ обработки сульфидной руды, содержащей ценные металлы, включающий объединение выщелачивания (10) песчаного отвала и процесса (12) флотации, в результате чего обеспечивается способ, который подходит для переработки руд, содержащих значительные количества выщелачиваемых сульфидов. Способ включает шаг (14) измельчения и сортировки измельченной руды на надрешетную крупную фракцию (16), мелкую фракцию (18), подходящую для флотации мелких частиц, и опционально промежуточную фракцию (20), подходящую для флотации крупных частиц. Концентрат (30), содержащий сульфиды железа и получаемый на шаге (22) флотации мелких частиц, и опционально концентрат (36), получаемый на шаге (34) флотации крупных частиц, смешивают с надрешетной крупной фракцией (16) для получения рудной смеси (39), которую укладывают в отвал и подвергают процессу (40) выщелачивания.

045775 B1

045775 B1

Предпосылки создания изобретения

Выщелачивание отвалов издавна использовалось для извлечения меди из вторичных и окисленных медных руд, в которых преобладающие минералы, содержащие медь, легко растворяются в кислоте. Растворимые виды минералов в таких рудах включают халькозит, ковелин и оксиды, такие как малахит.

Принципиальное достоинство выщелачивания отвалов, по сравнению с использованием флотации, заключается в том, что для выщелачивания отвалов нет необходимости в мелком измельчении материала. В зависимости от сорта осуществляют дробление руды с верхним пределом размеров примерно 0,5 м для выщелачивания куч или отвалов, и с нижним пределом размеров примерно 15 мм для агломерирования руды и выщелачивания отвалов. Типичные уровни извлечения из вторичных медных руд при выщелачивании отвалов составляют от примерно 65% в случае крупного дробления породы и до примерно 80% для мелкого дробления руды с последующим агломерированием. Эти уровни обычно ниже уровней, достижимых в случае альтернативной флотации, которая обеспечивает уровни извлечения, обычно существенно превышающие 80%.

Несмотря на то, что кислотное выщелачивание вторичных медных руд получило широкое распространение, выщелачивание отвалов, содержащих первичные медные руды, никогда не использовалось в промышленных масштабах. Это связано с очень медленным растворением халькопирита, что характерно для условий, возникающих при традиционном выщелачивании отвалов. Наибольшим приближением к промышленному применению выщелачивания отвалов, содержащих первичную медную руду, является гибкое извлечение меди, которая растворяется в кучах низкосортной руды, и извлечение меди в этом случае составляет в среднем примерно 25%. Для руд, таких как первичные медные руды и переходные между вторичной и первичной рудой, предпочтительным способом обработки является мелкое измельчение и флотация.

Выщелачивание отвалов, содержащих никелевые сульфидные руды, также является непростой задачей, что связано с медленным выщелачиванием сульфидов никеля и высоким расходом кислоты на составляющие минералы породы, связанные с никелевыми сульфидными рудами.

Сторонники выщелачивания отвалов, содержащих первичные медные руды, проводили лабораторные и опытные заводские испытания самых разных способов для решения проблемы медленного выщелачивания халькопирита.

Способность халькопирита растворяться в окислительных условиях в лабораторных колоннах при температурах выше 50°C хорошо известна (журнал "Minerals Engineering", том 15, выпуск 11, ноябрь 2002, стр. 777-785). Фирма Mintek Heapstar™ проводила моделирование выделения тепла и его распределения внутри традиционных отвалов, содержащих первичные медные руды, в попытке формирования отвалов и управления ими для обеспечения температур, при которых халькопирит будет растворяться. В заявке WO 2004/027099 (Crandwell) заявлена система управления отвалом для улучшения удержания тепла.

Однако испытания в более широких масштабах, проводимые для проверки концепции таких отвалов, показали, что достаточный нагрев обеспечивается только в части отвала, и, кроме того, трудно поддерживать температуру на протяжении всего процесса выщелачивания, так чтобы извлечение меди было на уровне примерно 50%. Таким образом, задача поддержания повышенных температур по всему отвалу в течение продолжительного периода времени, нескольких лет, чтобы необходимые диффузионные и химические процессы, происходящие при выщелачивании халькопирита в отвалах, обеспечили высокие уровни извлечения меди, оказалась трудноразрешимой.

В патенте US 6802888 предложен другой подход для регулирования температуры в процессе выщелачивания отвала. Этот подход включает тонкое измельчение руды для получения с помощью флотации концентрата первичной медной руды и измельчение этого концентрата для получения мелких частиц с последующим агломерированием концентрата на носителе в форме гальки. В этом патенте описывается выщелачивание тонкоизмельченного концентрата халькопирита с приемлемой скоростью и с полным извлечением. Температуры, достигаемые при окислении медного концентрата, поднимаются до 70°C, и уровни извлечения при этих температурах составляют примерно 90% в течение ста дней. Однако принципиальное достоинство выщелачивания отвалов, отсутствие высокозатратного мелкого измельчения, в этом случае теряется, поскольку необходимо сначала получить из руды мелкий медный концентрат. При реализации изобретения по патенту US 6802888 происходят потери меди в предложенном процессе, как при флотации, так и на этапе выщелачивания. Таким образом, по-прежнему предпочтительно будет расплавить концентрат меди, полученный после флотации, а не осуществлять повторное агломерирование с кислотой и галькой и выщелачивать смесь для извлечения металлической меди.

В отдельном патенте US 6146444 (Kohr), относящемся к извлечению золота из пирита, предусматривается дробление руды, содержащей золото, для получения частиц с размерами 6-20 мм с последующим выщелачиванием крупной фракции руды, содержащей частицы с размерами > 1 мм, для высвобождения золота с использованием частичного окисления пирита. Это биологическое окисление пирита, который достаточно легко окисляется, причем полное окисление несущественно, поскольку золото является металлом, представляющим интерес, хорошо известно. Золото в мелкой фракции после начальной

сортировки, как указано в патенте Kohr, извлекается отдельно при выщелачивание отвалов, путем выщелачивания с перемешиванием мелких частиц. Для максимизации извлечения золота, заключенного в пирите, Kohr предлагает отделять пирит от мелких частиц и распределять эту фракцию, обогащенную пиритом, для формирования слоя на фракции более крупных частиц руды в отвале. Сравнительно тонкий слой, обогащенный пиритом, на поверхности отвала окисляют биовыщелачивающим агентом с доступом окружающего воздуха в качестве окислителя для раскрытия большого количества золота, без существенного влияния на условия выщелачивания в нижележащем отвале. После того как пирит из концентрата и из крупных фракций в отвале будет частично окислен в процессе выщелачивания отвала, и заключенное золото будет раскрыто, остатки выщелоченной руды из отвала, включая частично окисленный пирит, размалывают для раскрытия остающегося золота и осуществляют выщелачивание с перемешиванием. Фактически биологическое окисление представляет собой альтернативу окислению под давлением или обжигу фракции пирита, как это практикуется в других местах. Извлечение золота из фракции частиц с размерами 6-20 мм, после выщелачивания отвала и измельчения до размеров менее 75 микрон, увеличивается от менее 50 до более 90%.

Для решения проблемы медленного выщелачивания халькопирита в первичных медных рудах предлагались различные новые выщелачивающие агенты, включая кислый хлорид меди, хлорид аммиака и глицин, в качестве альтернативных вариантов для выщелачивания отвалов первичных медных руд. Все эти реагенты будут растворять медь, если она раскрыта в отвале. Однако ни один из этих дорогостоящих выщелачивающих агентов не оказался успешным, прежде всего из-за высокой стоимости реагента, а также в связи с умеренными уровнями извлечения, достигнутыми в процессе выщелачивания традиционных отвалов.

Что касается флотации сульфидных руд, то хорошо известно соотношение между сортностью и уровнем извлечения. Путем изменения условий процесса флотации можно достигнуть высоких уровней извлечения, однако содержание металла в концентрате ниже, чем это необходимо для последующей переработки. Наоборот, можно пожертвовать уровнем извлечения процесса флотации и получить концентраты с высоким содержанием металла.

Например, на фиг. 2 статьи "Вариант активации меди для флотации руды, содержащей смесь пентландита, пирротина и халькопирита, с возможностью извлечения никеля", Otunniyi, I.O., Oabile, M., Adeleke, A.A. и др., журнал "Ind. Chem.", 7, 241-248 (2016) показана возможность обеспечения высокого уровня извлечения никеля, но при этом содержание металла в концентрате низкое, или же обеспечивается высокое содержание никеля, однако уровень извлечения низкий. Аналогичная картина в случаях флотации меди и цинка.

Для обеспечения требуемых характеристик для последующего процесса плавки возможное извлечение в процессе флотации не подходит. В обычной схеме "первичная флотация/перечистная флотация" этап первичной флотации часто используется для максимизации извлечения всех сульфидов, и этап перечистой флотации используется для обеспечения приемлемого содержания металла, хотя и с низким уровнем извлечения. Для этого корректируют условия флотации на втором этапе для отбрасывания сульфидов железа и остающейся пустой породы, включая множество составных частиц, содержащих пустую породу и ценные минералы. Поток отбрасываемого материала после перечистки, хвосты перечистки, характеризуется повышенным уровнем ценных компонентов (минералов) относительно руды и высоким содержанием сульфидов. Возможность дальнейшей переработки эти хвосты перечистки ограничивается низким содержанием металла и трудностями по отделению ценных сульфидов от сульфидов железа. В тех случаях, когда осуществляется последующее извлечение из хвостов перечистки, чаще всего используется процесс удаления сульфидов для повторного введения в процесс предварительной флотации, с измельчением перед перечистой флотацией или после нее для дальнейшего раскрытия и выделения ценных компонентов из составных частиц. Однако основополагающая проблема соотношения извлечение/содержание металла во всей системе остается.

Для никеля это особая проблема, поскольку значительная часть никеля находится в твердом растворе с сульфидами железа.

Этот повышенный уровень извлечения в процессе флотации представляет собой первую проблему, на решение которой направлено настоящее изобретение. Вторая проблема, подлежащая решению, заключается в необходимости повышения температуры и снижения расхода кислоты в процессе выщелачивания отвалов таким образом, чтобы обеспечивалось повышение уровня извлечения ценных трудноизвлекаемых сульфидов.

Сущность изобретения

Первый вариант осуществления настоящего изобретения относится к способу переработки сульфидной руды, содержащей ценные металлы, в котором руду измельчают (14) до размера P_{80} в диапазоне 0,5-15 мм, предпочтительно в диапазоне 1-10 мм, предпочтительно в диапазоне 2-8 мм, обычно в диапазоне 2-6 мм и сортируют для получения фракции (18) с размером P_{80} частиц менее 0,25 мм, подходящей для флотации мелких частиц; и надрешетной фракции (16);

фракцию (18), подходящую для флотации мелких частиц, подвергают флотации (22) мелких частиц для получения товарного концентрата (24), содержащего ценные металлы, и остатков (26), которые под-

вергают перечистой флотации (28) сульфидных минералов для получения концентрата (30), содержащего сульфиды ценных металлов и сульфиды железа, а также остатков (32) флотации мелких частиц;

концентрат (30), содержащий сульфиды железа или их выщелоченные остатки и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, смешивают с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39); и

рудную смесь (39) укладывают в отвал и подвергают процессу (40) выщелачивания в отвале, в котором отвал орошают выщелачивающим агентом для получения обогащенного продукта выщелачивания, содержащего ценные металлы.

Типичная руда содержит сульфиды, содержащие такие ценные металлы, как медь, никель, цинк и/или золото, включая руду с золотом в качестве основного или побочного продукта.

Предпочтительно надрешетная фракция (16), полученная в результате сортировки, имеет размер P_{80} частиц вплоть до 15 мм, предпочтительно вплоть до 10 мм, предпочтительно вплоть до 8 мм, обычно вплоть до 6 мм.

Фракция (18), подходящая для флотации мелких частиц, предпочтительно имеет размер P_{80} частиц в диапазоне 0,1-0,25 мм, обычно в диапазоне 0,15-0,2 мм.

Фракция (18), подходящая для флотации мелких частиц, может составлять 10-35 мас.%, обычно 15-25 мас.% от веса измельченной руды, и надрешетная фракция (16) составляет 90-65 мас.%, обычно 85-75 мас.% от веса измельченной руды.

Остатки (26) обычно подвергают перечистой флотации сульфидных минералов при измененной величине pH примерно 4-5 для получения концентрата (30), обычно составляющего 5-6 мас.% от массы руды.

Размер P_{80} частиц концентрата (30), содержащего сульфиды железа, обычно находится в диапазоне 0,1-0,25 мм, обычно в диапазоне 0,15-0,2 мм, и содержание в нем серы находится в диапазоне 5-35 мас.%, обычно в диапазоне 10-25 мас.% или в диапазоне 10-20 мас.%.

Предпочтительно содержание серы в рудной смеси (39) превышает 1 мас.% и предпочтительно превышает 2 мас.%.

Концентрат (30), возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, предпочтительно смешивают с надрешетной фракцией (16) в таком количестве, чтобы число частиц с размерами < 75 мкм в рудной смеси (39) было меньше 10 мас.%, предпочтительно меньше 7 мас.%.

Предпочтительно уложенная в отвал рудная смесь (39) достаточно проницаема для орошения интенсивностью более 0,5 л/м²/ч и обычно более 1 л/м²/ч, например, вплоть до 10 л/м²/ч.

Второй вариант осуществления изобретения относится к способу переработки сульфидной руды, содержащей ценные металлы, в котором

руды измельчают (14) до размера P_{80} в диапазоне 0,5-15 мм, предпочтительно в диапазоне 1-10 мм, предпочтительно в диапазоне 2-8 мм, обычно в диапазоне 2-6 мм и сортируют для получения фракции (18) с размером P_{80} частиц менее 0,2 мм, подходящей для флотации мелких частиц;

фракции (20) с размером P_{80} частиц более 0,2 мм и менее 1 мм, подходящей для флотации крупных частиц; и надрешетной фракции (16);

фракцию (18), подходящую для флотации мелких частиц, подвергают флотации (22) мелких частиц для получения товарного концентрата (24), содержащего ценные металлы, и остатков (26), которые подвергают перечистой флотации (28) сульфидных минералов для получения концентрата (30), содержащего некоторые сульфиды ценных металлов и сульфиды железа, а также остатков (32) флотации мелких частиц;

фракцию (20), подходящую для флотации крупных частиц, подвергают флотации (34) крупных частиц для получения продукта (36) флотации крупных частиц, содержащего ценные металлы, и остатков (38) флотации крупных частиц и

концентрат (30), содержащий сульфиды железа или их выщелоченные остатки и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, смешивают с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39); и

рудную смесь (39) укладывают в отвал и подвергают процессу (40) выщелачивания в отвале, в котором отвал орошают выщелачивающим агентом для получения обогащенного продукта выщелачивания, содержащего ценные металлы.

Типичная руда содержит сульфиды, содержащие такие ценные металлы, как медь, никель, цинк и/или золото, включая руду с золотом в качестве основного или побочного продукта.

Надрешетная фракция (16), полученная в результате сортировки, обычно имеет размер P_{80} частиц вплоть до 15 мм, предпочтительно вплоть до 10 мм, предпочтительно вплоть до 8 мм, обычно вплоть до 6 мм.

Фракция (18), подходящая для флотации мелких частиц, предпочтительно имеет размер P_{80} частиц в диапазоне 0,1-0,25 мм, обычно в диапазоне 0,15-0,2 мм.

Размер P_{80} частиц надрешетной фракции (20), подходящей для флотации крупных частиц, предпочтительно находится в диапазоне 0,15-0,5 мм, обычно в диапазоне 0,2-0,4 мм или в диапазоне 0,25-0,35

мм.

Фракция (18), подходящая для флотации мелких частиц, составляет 10-35 мас.%, обычно 15-25 мас.% от веса измельченной руды, надрешетная фракция (20), подходящая для флотации крупных частиц, составляет 5-15 мас.%, обычно 8-12 мас.% от веса измельченной руды, и надрешетная фракция составляет 85-50 мас.%, обычно 77-63 мас.% от веса измельченной руды.

Остатки (26) обычно подвергают перемешиваемой флотации сульфидных минералов при измененной величине рН примерно 4-5 для получения концентрата (30), обычно содержащего 4-5 мас.% от массы руды.

Размер R_{80} частиц концентрата (30), содержащего сульфиды железа, обычно находится в диапазоне 0,1-0,25 мм, обычно в диапазоне 0,15-0,2 мм, и содержание в нем серы находится в диапазоне 5-35 мас.%, обычно в диапазоне 10-25 мас.% или в диапазоне 10-20 мас.%.

Предпочтительно содержание серы в рудной смеси (39) превышает 1 мас.% и предпочтительно превышает 2 мас.%.

Концентрат (30), содержащий сульфиды железа, и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, и весь или часть продукта (36) флотации крупных частиц могут быть смешаны с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39).

Концентрат (30), содержащий сульфиды железа, и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, может быть смешан со всем или с частью продукта (36) флотации крупных частиц и затем может быть смешан с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39).

Концентрат (30), содержащий сульфиды железа и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, предпочтительно смешивают с продуктом (36) флотации крупных частиц и с надрешетной фракцией (16) в таком количестве, чтобы число частиц с размерами < 75 мкм в рудной смеси (39) было меньше 10 мас.%, предпочтительно меньше 7 мас.%.

Концентрат (30), содержащий сульфиды железа, предпочтительно смешивают с продуктом (36) флотации крупных частиц и с надрешетной фракцией (16) в таком количестве, чтобы число частиц с размерами < 0,075 мм в рудной смеси (39) было меньше 10 мас.%, предпочтительно меньше 7 мас.%.

Предпочтительно уложенная в отвал рудная смесь (39) достаточно проницаема для орошения интенсивностью более 0,5 л/м²/ч, обычно более 1 л/м²/ч или, например, вплоть до 10 л/м²/ч.

Концентрат (30), содержащий сульфиды железа, может быть смешан со всем или с частью продукта (36) флотации крупных частиц и затем может быть смешан с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39).

Концентрат (30), содержащий сульфиды железа, может быть смешан со всем или с частью продукта (36) флотации крупных частиц, и смесь подвергают выщелачиванию в чанах с перемешиванием для получения остатков, содержащих элементную серу и сульфиды железа, которые смешивают с надрешетной фракцией (16).

Процесс выщелачивания отвала может быть процессом биоокислительного выщелачивания или процессом химического выщелачивания.

В одном из вариантов, в котором для выщелачивания отвала используется процесс биоокислительного выщелачивания, отвал засевают теплолюбивыми микроорганизмами и орошают выщелачивающим агентом, таким как серная кислота, содержащая рафинат из процесса извлечения растворителем. Обычно величина рН выщелачивающего агента меньше 2,5 и предпочтительно меньше 2, и температура внутри отвала находится в диапазоне 50-85°C, обычно в диапазоне 60-80°C.

В одном из вариантов, в котором для выщелачивания отвала используют процесс химического выщелачивания, отвал орошают выщелачивающим агентом, содержащим, например, цианид для растворения золота или хлорид меди для растворения халькопирита.

Предпочтительно сортность концентрата (24), получаемого в результате флотации мелких частиц, специально оптимизирована для соответствия техническим условиям последующего плавления.

Размер измельчения для конкретной руды может быть выбран для извлечения продукта флотации сульфидных минералов, имеющего достаточную концентрацию, чтобы снизить расход кислоты для выщелачивания отвала до величины менее 10 кг/т и предпочтительно менее 5 кг/т.

Используя способ по настоящему изобретению, можно снизить потери ценных компонентов в остатках флотации до величины менее 15%, предпочтительно менее 10% и даже более предпочтительно менее примерно 5%.

Получаемые продукты обычно представляют собой товарный концентрат сульфидов металлов и металлический катод.

Получаемый концентрат ценных сульфидов металлов может быть добавлен в процесс выщелачивания отвала для преобразования в металлический катод.

Концентрат ценных металлов или концентрат преимущественно сульфидов железа может быть частично или большей частью выщелочен снаружи отвала, и остатки этого внешнего выщелачивания добавляют обратно в отвал.

Для выщелачивания отвала с регулированием теплового режима обычно требуется менее 300 дней, предпочтительно менее 150 дней и даже более предпочтительно менее 100 дней.

Выщелачивание может осуществляться на динамической платформе, в которой по меньшей мере часть инфраструктуры неподвижна.

Температура отвала может регулироваться с использованием одного или нескольких параметров из интенсивности орошения, интенсивности аэрации, а также интенсивности подмешивания концентрата в процессе формирования отвала.

Как уже указывалось, в способе по настоящему изобретению используется флотация мелких частиц предпочтительно в сочетании с процессом флотации крупных частиц.

В процессе традиционной флотации (флотация мелких частиц) размеры частиц обычно меньше 0,1 мм. Частицы руды смешивают с водой для формирования суспензии, и нужному минералу придают гидрофобность посредством добавления поверхностно-активного вещества или химического реагента-собирателя. Конкретный реагент зависит от характеристик извлекаемого минерала. Затем эту суспензию гидрофобных и гидрофильных частиц вводят в резервуары, флотационные камеры, которые аэрируются для образования пузырьков. Гидрофобные частицы прикрепляются к воздушным пузырькам, которые поднимаются на поверхность, образуя пену. Пену выводят из флотационной камеры для получения концентрата целевого минерала. В суспензию могут быть введены пенообразующие средства, вспениватели, для содействия образованию устойчивой пены в верхней части флотационной камеры. Минералы, не всплывшие в пену, указываются как отходы флотации или флотационные хвосты. Эти хвосты могут быть также подвергнуты дополнительным стадиям флотации для извлечения ценных частиц, которые не всплыли в первый раз. То есть, осуществляется перемешивание, извлечение полезных продуктов из отходов.

В процессе флотации крупных частиц частично измельченную руду сортируют для получения песчаной фракции с размерами частиц, обычно превышающими 0,15 мм, и эту фракцию подвергают обогащению, используя специализированную флотационную машину, такую как Eriez Hydrofloat™.

Машина Eriez Hydrofloat осуществляет процесс концентрирования на основе комбинации оживления и флотации с использованием оживляющей воды, которую насыщают микропузырьками воздуха. Флотацию осуществляют с использованием концентраций флотационного реагента и реагента-коллектора и времени пребывания, подходящих для конкретного минерала, подлежащего флотации. Для получения частиц этого размера руду измельчают в достаточной степени для высвобождения большей части частиц пустой породы и раскрытия зерен ценного минерала, при этом они необязательно высвобождаются полностью.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 - блок-схема комплексного процесса выщелачивания отвалов по настоящему изобретению;

на фиг. 2 - графики, показывающие различные формы потерь в процессах флотации;

на фиг. 3 - графики, показывающие зависимость уровней извлечения для флотации и выщелачивания отвалов от размеров частиц;

на фиг. 4 - графики, показывающие потребление кислорода и потенциал раствора во время биологического выщелачивания в колонне руды, подготовленной в форме песка;

на фиг. 5 - графики, показывающие уровни извлечения меди с использованием раствора во время биологического выщелачивания в колонне руды, подготовленной в форме песка.

Подробное описание осуществления изобретения

Настоящее изобретение относится к объединению процессов выщелачивания песчаных отвалов и флотации, и в нем обеспечивается система, которая подходит для обработки руд, содержащих значительные количества выщелачиваемых сульфидов.

Наиболее близкий способ получения как концентрата, так и катодного металла, был заявлен в концепции выщелачивания отвалов, разработанной фирмой Geobiotics (доклад "Термофильное биовыщелачивание концентратов халькопирита с использованием процесса GEOSOAT™", Harvey и др., представлен на конференции "Alta 2002, Nickel/Cobalt 8 - Copper 7", г. Перт, Австралия), в которой конечный медный концентрат, полученный в процессе флотации, наносили на носитель, и затем этот носитель с покрытием выщелачивали в отвалах. В этом случае эффективность процесса флотации не повышалась. Концепция использования объединенной (комплексной) системы, в которой выщелачивание отвалов используется для улучшения извлечения ценных компонентов в процессе флотации, и флотация используется с целью улучшения извлечения ценных компонентов в процессе выщелачивания отвалов, ранее не высказывалась.

В системе, формирующей объект настоящего изобретения, используется смешивание некоторой части концентрата, получаемой в результате флотации, для обеспечения выделения тепла внутри выщелачиваемого отвала, в результате чего процесс выщелачивания ускоряется, и в этом случае обеспечивается возможность увеличения уровня извлечения ценных компонентов из фракции руды, отправленной на флотацию, путем переработки концентрата с низким содержанием металла выщелачиванием в отвалах.

В наиболее предпочтительном варианте системы используются биологически улучшенные условия

выщелачивания, как это хорошо отработано для медных, никелевых и урановых руд.

Система с биологически улучшенным выщелачиванием особенно подходит для руд, для которых процесс выщелачивания проходит медленно, таких как первичные медные руды и никелевые сульфидные руды, поскольку тепло, выделяющееся при окислении, особенно более реакционноспособных сульфидов железа низкосортного концентрата, содействует извлечению выщелачиванием первичных ценных компонентов, как из крупной фракции руды, получаемой после сортировки, так и из низкосортного концентрата. В качестве примера можно привести первичную медную руду, в которой пирит, содержащийся в концентрате с низким содержанием металла, который более реакционноспособен по сравнению с халькопиритом, содействует повышению температуры в отвале, и скорость выщелачивания халькопирита, который обычно выщелачивается медленнее, в этом случае повышается. Второй пример - мафическая сульфидная никелевая руда, в которой присутствие реакционноспособного пирротина в концентрате с низким содержанием металла ускоряет процесс выщелачивания пентландина, который обычно выщелачивается медленнее.

Система с биологически улучшенными условиями выщелачивания подходит для выщелачивания в тех случаях, когда высок расход кислоты, например, при выщелачивании никелевых и некоторых медных руд, поскольку большое количество породы в составе руды, на которую тратится много кислоты, направляется во фракцию мелких частиц и может быть отброшена в форме хвостов флотации, и при окислении дополнительных сульфидов из концентрата, обогащенного сульфидом железа, с низким содержанием металла может образовываться кислота внутри отвала, или для руд, для которых уровень извлечения с помощью флотации низок, например, для никелевых и медных/золотосодержащих руд, особенно если в руде значительные количества ценных компонентов связаны с сульфидами железа. Для таких руд настоящее изобретение может обеспечивать высвобождение содержащихся ценных компонентов из сульфидов железа, или же оно может использоваться в тех случаях, когда совместное извлечение металлов с помощью выщелачивания отвалов затруднено из-за расхода реагента, например, для медно-золотых руд, когда выщелачиванию золота в отвалах может предшествовать эффективное извлечение меди.

Даже если в процессе выщелачивания отвалов используется технология выщелачивания, которая не обеспечивает окисление сульфидов железа, составные частицы, содержащие сульфиды железа, которые были бы отброшены в процессе флотации, раскрыты для выщелачивания отвалов.

Поэтому изобретение может быть применено почти для всех руд, содержащих сульфиды, для которых требуется быстрое и экономичное выщелачивание в отвалах, включая медные, никелевые, золотосодержащие, цинковые и урановые руды.

В системе осуществляется измельчение и сортировка для получения мелкой и крупной фракций руды. Мелкая фракция руды флотируется в конфигурации, которая обеспечивает возможность улучшения извлечения ценного металла по сравнению с извлечением из этой фракции руды при традиционной флотации. Крупную фракцию руды выщелачивают в отвалах в конфигурации, в которой извлечение при выщелачивании отвалов получает выигрыш от флотации мелких частиц. Уровни извлечения с использованием изобретения выше по сравнению с уровнями, которые могли бы быть достигнуты с помощью выщелачивания традиционных отвалов этой же руды или с помощью традиционной флотации руды. Таким образом, частичная переработка с помощью флотации и выщелачивание отвалов обеспечивают синергические эффекты для технологического маршрута параллельной переработки.

В системе обычно используется концентрат с высоким содержанием сульфидов железа и с низким содержанием металла, полученный в процессе флотации мелкой фракции измельченной руды. Этот концентрат с высоким содержанием сульфидов извлекают отдельно с помощью флотации, условия осуществления которой отличаются от условий осуществления флотации концентрата сульфидов с высоким содержанием металла, причем эти условия выбирают таким образом, что флотируются большей частью сульфиды железа. Этот концентрат с высоким содержанием железа смешивают с крупной фракцией руды перед выщелачиванием отвалов для нагрева отвалов и управления их температурой. В результате этого смешивания и последующего биоокисления теплотворная способность сульфидов может поднять температуру всего отвала. Содержащиеся сульфиды включают вполне реакционноспособные сульфидные минералы породы, такие как пирит и пирротин, и будут включать некоторую или большую часть ценного металла, который ранее не был направлен в основной флотационный концентрат. Например, в том случае, когда ценным металлом является медь, основной концентрат может содержать Cu в количестве 28%, и концентрат с низким содержанием металла содержит Cu в количестве 1-3%, а также большую часть всего пирита (2%), который присутствовал в руде, а именно, примерно 15% пирита в концентрате с низким содержанием металла.

Концентрат с низким содержанием металла подмешивают в песок перед формированием отвала, например, простым смешиванием двух подаваемых потоков при подаче в укладчик или агломерированием мелких частиц на частицах крупного песка с помощью агломерационного барабана. Затем полученную смесь выщелачивают для извлечения меди или других ценных компонентов. Пирит, присутствующий в концентрате с низким содержанием металла, также окисляется, в результате чего добавляется тепло и кислота для содействия выщелачиванию меди.

Как показано на фиг. 1, на которой представлен только один возможный вариант осуществления изобретения, вся система может рассматриваться как состоящая из двух взаимосвязанных компонентов: компонент 10 выщелачивания отвала и компонент 12 флотации, каждый из которых повышает эффективность работы другого.

Эти два компонента изобретения будут описаны по отдельности, хотя для понимания изобретения и вышеуказанной эффективности эти компоненты необходимо рассматривать вместе. Например, низкосортный концентрат, содержащий главным образом сульфиды, подмешивают в выщелачиваемый песчаный отвал для обеспечения кислоты и повышения температуры при выщелачивании отвала. В то же время флотация такого низкосортного концентрата обеспечивает возможность повышения выхода флотации с передачей некоторой части ценных компонентов, которые при традиционной флотации были бы отброшены, в песчаный отвал для последующего выщелачивания.

Ниже, прежде всего, описывается компонент выщелачивания отвала. Количество низкосортного концентрата, который может быть передан для дополнения выхода флотации, ограничивается макропроницаемостью песчаного отвала, содержащего смешанный материал, менее 10% которого составляют частицы с размерами менее 75 микрон.

В одном из вариантов, в котором предусматривается как традиционная флотация, так и флотация крупных частиц, осуществляют измельчение руды для получения размеров частиц, для которых P_{80} находится в диапазоне 0,5-15 мм, с последующей сортировкой 14 для получения фракции 16 крупного песка, фракции 18 мелких частиц и фракции 20 частиц с промежуточными размерами.

Фракция 16 крупного песка содержит частицы с размером (P_{80}) примерно 1-10 мм, мелкая фракция 18 содержит частицы с размером (P_{80}) примерно 0,1-0,2 мм, и фракция 20 содержит частицы с промежуточным размером (P_{80}) примерно 0,25-0,5 мм. Мелкую фракцию 18 подвергают традиционной флотации 22, на выходе которой получают товарный флотационный концентрат 24, мелкие флотационные хвосты 26, которые подвергают перечистой сульфидной флотации 28 для получения концентрата 30 с высоким содержанием сульфидов железа и остатков 32. Промежуточную фракцию 20 частиц подвергают флотации 34 крупных частиц, на выходе которой получают крупный флотационный концентрат 36 и крупные флотационные хвосты 38, которые направляют в остатки 32.

Крупный песок 16 смешивают с концентратом 30 с высоким содержанием сульфидов железа и с крупным флотационным концентратом 36, укладывают в отвал, подвергают выщелачиванию 40 и осуществляют процесс 42 извлечения металла для получения продукта 44 выщелачивания отвала. Если качество коммерческого продукта 24, полученного в результате флотации мелких частиц, ниже приемлемого уровня, например, в случае медного концентрата он содержит медь в количестве 10-20 мас.%, или он содержит вредные элементы/примеси, такие как мышьяк или фтор, в количествах, превышающих допустимые уровни для последующей плавки, то весь концентрат или его часть может быть добавлена к концентрату 30 с высоким содержанием сульфидов железа, который смешан с крупным песком 16, и выделение тепла в отвале может быть дополнительно увеличено.

Прежде всего, рассмотрим компонент выщелачивания песчаного отвала в предпочтительной конфигурации горячего биовыщелачивания, которая обеспечивает возможность ускоренного выщелачивания ценных компонентов с повышенным суммарным выходом и пониженным расходом кислоты, по сравнению с выщелачиванием традиционных отвалов.

Суммарный сульфидный концентрат 46 с низким содержанием металла, состоящий из концентратов 30 и 36 и содержащий некоторые сульфиды в частицах, которые отсортированы для флотации, смешивают с фракцией 16 крупного песка, полученной в результате первоначальной сортировки, для формирования смеси 39 с частицами из концентрата 30 или из концентрата 30 и из концентрата 36, рассеянными в смеси 39, и смесь 39 участвует в выщелачивании 40 песчаного отвала. Повышенное содержание серы в выщелачиваемом отвале зависит от размеров измельчаемых частиц, которые определяют часть руды, которая флотируется (и, соответственно, выходит в поток 30). Например, для медной руды, содержащей серу в количестве 1 мас.%, ее содержание увеличится примерно до 1,5 мас.%. Для никелевой руды, содержащей серу в количестве 2 мас.%, ее содержание увеличится примерно до 3 мас.%. Однако при более тонком измельчении пропорционально большая часть руды будет направлена на флотацию, и содержание серы в выщелачиваемом отвале увеличится до 3% и 6% соответственно.

Увеличенные количества сульфидов, распределенные по выщелачиваемому отвалу, обеспечивают большее окисление сульфидов, как реакционноспособных сульфидов железа, добавленных в форме концентрата, так и медленно выщелачиваемых ценных сульфидов, так что температуры в выщелачиваемом отвале поднимаются заметно выше 40°C. Тепло выделяется в результате эффективного использования экзотермического биологического или химического выщелачивания сульфидов, содержащихся в крупной фракции руды, дополненных флотационным сульфидным концентратом. Это происходит по всему отвалу благодаря перемешиванию в процессе формирования отвала, в результате чего происходит очень эффективная теплопередача остальной части частиц, выщелачивающему агенту и воздуху во всех частях отвала. Эта повышенная температура в отвале обеспечивает возможность более быстрого растворения ценных металлов, содержащихся в руде и в добавленном сульфидном концентрате, при выщелачивании песчаного отвала, для последующего извлечения ценных компонентов из продукта выщелачивания с

использованием таких процессов, как извлечение растворителем и электролизом или извлечение осаждением.

В процессе окисления сульфидов, содержащихся в отвале, с использованием биоокисления частицы сульфидов обеспечивают образование кислоты, особенно при работе с величиной рН в диапазоне 1,7-2,5, при которой растворенные ионы трехвалентного железа, по меньшей мере, частично переосаждаются в форме продуктов гидроксидного типа. При этом обеспечивается дополнительная кислота для компенсации растворения жильной породы в процессе выщелачивания. Перемешивание в отвале обеспечивает возможность эффективного использования этой кислоты в непосредственной близости от выщелачиваемой руды, а не добавляемой сверху при укладке каждого нового слоя и, соответственно, частично потребляемой, пока она мигрирует к нижним частям отвала.

Для выщелачивающих систем, отличающихся от традиционного биоокисления, обычно используемого для вторичных медных руд, присутствие дополнительных сульфидов в концентратах с низким содержанием металлов добавляет меньше тепла, поскольку окисляется меньше сульфидов железа. Однако эти другие выщелачивающие системы все-таки обеспечивают выигрыш в форме повышения уровня извлечения ценных компонентов, которые также присутствуют в низкосортном концентрате. Примеры этих альтернативных выщелачивающих систем включают кислый хлорид меди для растворения медных руд, биоокисление сульфидов никеля при повышенных величинах рН, а также для меди и никеля, аммиачные растворы и глицин, используемые при основных величинах рН. Для каждой из этих выщелачивающих систем устанавливаются для работы предпочтительные концентрации реагентов и диапазон рН, как это хорошо известно специалистам в данной области техники.

Добавление в выщелачиваемый отвал некоторого количества мелкого концентрата (< 0,3 мм), содержащего сульфиды, в пределах макропроницаемости отвала, также улучшает распределение выщелачивающего агента в поперечном направлении, в результате чего улучшается охват по всему отвалу. Аналогичным образом, смешивание мелкой фракции руды с материалом отвала обеспечивает наиболее однородное распределение выщелачивающего агента.

Однако количество низкосортного концентрата 30, которое может быть добавлено, ограничивается макропроницаемостью песчаного отвала. В то время как добавление небольших количеств концентрата полезно для процесса выщелачивания отвала, количество хвостов флотации (< 0,075 мм), которое может быть добавлено, ограничивается проницаемостью отвала, обычно менее 10% и предпочтительно менее 7% хвостов флотации (< 0,075 мм) в отвале.

Низкосортный сульфидный концентрат 36, получаемый при флотации крупной фракции руды, содержит небольшие количества хвостов флотации, и обычно содержание серы составляет примерно 10%. Таким образом, ограничения для добавления этого более крупного материала в отвал отсутствуют. Однако низкосортный концентрат, обогащенный железом, полученный в процессе традиционной флотации, обычно содержит примерно 30-50 мас.% хвостов флотации. Таким образом, количество низкосортного концентрата, обогащенного железом, полученного в процессе традиционной флотации и содержащего серу в количестве примерно 10-20 мас.%, который может быть подмешан в выщелачиваемый песчаный отвал, ограничивается величиной менее 15 мас.% от веса песка в отвале.

При типичном распределении масс после первоначальной сортировки 14 по настоящему изобретению 10-50% предназначается для традиционной флотации (зависит от размеров измельчения). Выход материала, подаваемого на флотацию, во фракцию концентрата, обогащенного железом, составляет примерно 10%. Даже если 50% руды подается на флотацию, и выход, составляющий 10%, содержит 50% хвостов флотации, то содержание хвостов в отвале составит только 5% от количества песка, и, таким образом, ограничение, связанное с макропроницаемостью, не нарушается. Гибкость в достижении повышенного уровня извлечения в процессе флотации полностью соответствует высокой макропроницаемости песчаного отвала.

Выделяемое тепло и соответствующее улучшение теплового режима выщелачивания песчаного отвала с использованием биовыщелачивания примерно пропорциональны процентной доле сульфидов, которые окисляются в отвале. Несортированная руда, поступающая из рудника, обычно содержит серу в количестве примерно 1,5-3 мас.%, хотя эти цифры могут существенно различаться для различных месторождений. Сортировка руды для обеспечения флотации и флотации крупной фракции обеспечивает возможность высокого уровня извлечения серы из этой фракции для добавления обратно к остающемуся песку, поскольку флотационный концентрат обычно содержит серу в количестве 10-20%. Регулируя размер измельчения, можно существенно повысить количество серы для подмешивания в выщелачиваемый песчаный отвал, с выполнением ограничения на макропроницаемость отвала.

Таким образом, извлечение в процессе флотации и регулирование содержания серы, необходимое для эффективного выщелачивания песчаного отвала, могут оптимизироваться независимо.

Различные варианты компонента выщелачивания отвалов по настоящему изобретению могут быть описаны в части сульфидных фракций, которые извлекаются в процессе флотации и добавляются обратно в выщелачиваемый песчаный отвал, а также в части гибкости в выборе размеров и конструкции, которая обеспечивается вышеуказанным регулированием теплового режима для настройки на конкретную

руды, а также на территорию и климат в тех местах, где осуществляется выщелачивание отвалов.

В одном из вариантов флотацию используют для извлечения традиционного флотационного концентрата, и сульфидные материалы, такие как пирит и пирротин, содержащиеся в руде, извлекают из руды отдельно в низкосортный концентрат. Эти сульфиды железа легко флотируются, с соответствующим заданием условий флотации. Хотя отдельный сульфидный концентрат в рассматриваемом варианте содержит преимущественно пирит или пирротин, также будет извлекаться дополнительно пропорциональная часть ценного металла, как в твердом растворе в сульфидах железа, так и в смешанных частицах.

Затем низкосортный сульфидный концентрат подмешивают в биовыщелачиваемый отвал с расходом, необходимым для обеспечения тепла и кислоты для выщелачивания отвала, в результате чего процесс выщелачивания проходит быстрее, и повышается выход ценного металла.

В примере дополнительной подачи сульфидов в отвал содержание пирита в первичной медной руде обычно примерно 2-4%, для руды, содержащей медь в количестве < 1%. Если предположить, что 50% массы пирита находится во фракции, которую направляют на флотацию, и извлечение пирита в процессе флотации составляет примерно 80%, то содержание сульфидов в выщелачиваемом песчаном отвале может быть почти удвоено путем смешивания пиритового концентрата с песком. Этот добавленный пирит уже мелко измельчен, и потому даже более реакционноспособен по сравнению с его исходным состоянием, так что он подходит для обеспечения тепла и кислоты.

Фактически пирит, подмешанный в песок, выщелачивается так же, как медный концентрат, ранее описанный в патенте US 6802888, когда он агломерирован на гальке, однако с несколькими дополнительными полезными результатами. Во-первых, не требуется тонкого измельчения всей руды для получения концентрата. Во-вторых, как это будет описано во втором компоненте изобретения, извлечение ценного металла в процессе флотации может превысить уровень, достижимый при получении нормального медного концентрата. В-третьих, внутри отвала образуется дополнительная кислота в результате окисления концентрата сульфида железа, так что снижаются затраты на добавление кислоты. В-четвертых, исключается необходимость в предварительном агломерировании. Кроме того, содержащийся сульфид подмешивается к отвалу по всему его объему, что лучше, чем укладывать его сверху на поверхности, и поэтому тепло и кислота, которые образуются, могут полностью содержаться и использоваться в локальной зоне, что лучше, чем рассчитывать на то, что они будут переноситься выщелачивающим агентом частично через отвал к тому месту, где они больше всего нужны. И наконец, благодаря тому, что песок, формирующий отвал, свободно дренируется, отвал может использоваться для последующего выщелачивания, такого при котором сначала осуществляют биоокисление для растворения меди, а затем цианирование отвала для растворения высвобожденного золота.

Объем пустот и степень плотности песка внутри отвала, сформированного из фракции крупного песка, таковы, что добавление этого сравнительно небольшого количества сульфидов в форме мелких частиц, подмешанных в песчаный отвал, не оказывает существенного отрицательного влияния на его макропроницаемость. Доступ воздуха и выщелачивающего агента продолжает быть однородно распределенным, даже перед растворением большей части мелкого сульфидного концентрата. Это отличается от традиционного отвала с фрагментами породы самых разных размеров, в котором добавляемые мелкие частицы будут выборочно задерживаться в характерных зонах, что приведет к забиванию отвала.

Регулируя извлечение сульфидной фракции в процессе флотации, можно осуществлять управление тепловыми возможностями песчаного отвала и расходом кислоты путем подмешивания необходимого количества сульфидных концентратов, чтобы выполнить заданные критерии технического решения для фракции руды при выщелачивании песчаного отвала.

Во второй форме вариантов весь высокосортный сульфидный концентрат, полученный с помощью флотации, или некоторую его часть, или смешанный концентрат ценных металлов и сульфидов, содержащих железо, также смешивают с крупным песком и затем осуществляют выщелачивание отвала вместе с крупным песком. Ценный металл извлекают как из концентрата, так и из крупного песка, с последующим извлечением из обогащенного продукта выщелачивания. В одном из примеров этого варианта медный концентрат, полученный с помощью флотации, может выщелачиваться на шахтной площадке для получения медного катода, чтобы исключить затраты на транспортировку и переработку на удаленном металлургическом комбинате.

В третьей форме вариантов объединенный флотационный концентрат выщелачивают отдельно в чанах с перемешиванием для растворения большей части ценного металла и получения остатков, содержащих элементную серу, некоторые сульфиды железа и некоторые неполностью прореагировавшие ценные компоненты в концентрате. Примеры имеющихся технологий для такого выщелачивания хорошо известны специалистам в данной области техники. Например, для концентратов первичных медных руд эти технологии включают тонкое измельчение перед выщелачиванием или во время этого процесса, окисление под давлением, выщелачивание кислым хлоридом меди, чановое выщелачивание и чановое биовыщелачивание. Остатки процесса выщелачивания, содержащие серу и некоторые невыщелоченные ценные компоненты, подходят для подмешивания в выщелачиваемый песчаный отвал для дальнейшего извлечения, в то время как обогащенный продукт выщелачивания подходит для извлечения с использованием растворителя и электрохимического извлечения, осуществляемого совместно с извлечением цен-

ных компонентов в процессе выщелачивания песчаного отвала. В этом варианте высокий уровень извлечения ценных компонентов в чанах с перемешиванием несуществен, поскольку выщелачивание остаточного концентрата будет продолжаться в отвале.

Как уже указывалось, добавление сульфидов к песку в соотношении, подходящем для перерабатываемой руды, обеспечивает возможность управления выделяемой тепловой энергией для нагрева выщелачивающего агента и песка и образующейся кислотой для компенсации растворения породы.

Переменные, которые могут использоваться для оптимизации выщелачивания отвала для конкретной руды, включают пропорциональную долю сульфидов, которые могут быть добавлены обратно в песок; интенсивность подачи выщелачивающего агента; интенсивность любой аэрации, выполняемой снизу отвала; и добавление внешнего тепла в отвал путем регулирования температуры выщелачивающего агента или воздушного потока, вводимого в отвал снизу, или путем непосредственной подачи тепла в отвал.

Путем изменения содержания серы в песке, а также других регулируемых переменных может быть установлен оптимальный баланс условий для повышения скорости выщелачивания, обеспечения полного извлечения металла и оптимизации расхода кислоты. Частицы песка одинакового размера обеспечивают однородный поток текучей среды через отвал, так что тепло распределяется равномерно по отвалу для обеспечения эффективного выщелачивания во всем отвале.

Универсальной управляющей переменной для подачи серы в процесс выщелачивания песчаного отвала является размер измельчения перед сортировкой на фракции для флотации и выщелачивания песчаного отвала. Размер измельчения влияет на многое. Во-первых, размер измельчения определяет пропорциональную долю руды, направляемую на флотацию, и, соответственно, максимальное количество сульфидов, которое может быть добавлено обратно в песок. Во-вторых, он определяет пропорциональную долю пустой породы, которая может быть непосредственно удалена из процесса флотации, причем она уносит с собой как теплоемкую массу, так что ее уже не надо нагревать в песчаном отвале, так и большое количество материала, на который расходуется кислота. В-третьих, размер измельчения определяет скорость выщелачивания песчаного отвала, поскольку больше содержащихся сульфидов в высокой степени раскрыта в более мелко измельченном песке, и, таким образом, время, в течение которого должна поддерживаться высокая температура руды для достижения высокого уровня извлечения ценных компонентов. И наконец, размер частиц песка определяет характеристики потока текучей среды внутри отвала.

При размере измельчения R_{80} примерно 15 мм менее, чем примерно 20% руды направляется на флотацию, и поэтому содержание сульфидов в выщелачиваемом отвале может повышаться только шагами, и некоторая часть ценных компонентов руды остается закрытой ("Максимальное извлечение в операциях выщелачивания отвалов, как это определено путем анализа раскрытия минералов с использованием рентгеновской микротомографии", J.D. Miller и др., International Journal of Mineral Processing, том 72, выпуски 1-4, сентябрь 2003 г., стр. 331-340). Полезный результат этой формы изобретения может обеспечиваться для руд, для которых извлечение с помощью выщелачивания отвалов определяет более высокую прибыль по сравнению с извлечением с помощью флотации.

При размере измельчения меньше 0,5 мм материал лучше перерабатывать полностью с помощью флотации, в то время как при размере измельчения ниже примерно 1 мм только небольшие количества руды направляются в процесс выщелачивания в песчаных отвалах. Для этих меньших размеров компонент выщелачивания отвалов изобретения ограничивается функцией перемешивания, и основная часть ценных компонентов направляется во флотационный концентрат. Преимущество этой формы изобретения обеспечивается в тех случаях, когда флотация определяет более высокую прибыль, хотя в этом случае затраты на измельчение выше.

Оптимальный размер измельчения в этом диапазоне 1-15 мм будет определяться конкретной рудой, поскольку она будет зависеть от распределения относительных доходов, уровня извлечения полезных компонентов и затрат между компонентами флотации и выщелачивания в отвалах, и от какой-либо инфраструктуры на площадке рудника.

Обычно при биовыщелачивании в отвал будет засеваться культура, включающая теплолюбивые микроорганизмы, способные выщелачивать сульфидные минералы (такие как *Acidianus brierleyi*, *Acidianus infernus*, *Metallosphaera sedula*, *Sulfolobus acidocaldarius*, *Sulfolobus BC* и *Sulfolobus metallicus*), и отвал выщелачивается с использованием выщелачивающего агента, содержащего рафинат, возвращенный из процесса извлечения растворителем, с pH примерно 1,5. Выщелачивание рассчитано на управление при внутренней температуре в диапазоне 50-85°C, независимо от внешних климатических условий. Этот диапазон температур обеспечивает возможность ускорения выщелачивания ценных компонентов, без снижения эффективности биоокисления, которое происходит в отвале. И что даже более предпочтительно для первичных медных руд, условия будут регулироваться для поддержания температуры в отвале в диапазоне 60-80°C, для которого степень растворения халькопирита может быть достигнута более 90% в течение 100 дней (патент US 6802888, содержание которого вводится ссылкой в настоящую заявку).

Возможность формирования и регулировки тепловых характеристик отвала и образования в нем кислоты с использованием настоящего изобретения облегчает планирование и повышает гибкость рабо-

ты процесса выщелачивания песчаного отвала для подстройки характеристик для конкретной руды, а также для территории и климатической зоны, в которых находится отвал

Например, отношение объема отвала к площади его поверхности важно для выщелачивания традиционных отвалов, как указывается в вышеупомянутой публикации Mintek Heapstar™. Гибкость в содержании сульфидов в подаваемом материале обеспечивает повышенную гибкость в отношении высоты подъема и площади, занимаемой отвалом. Распределение тепла и окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) могут дополнительно регулироваться с помощью аэрации путем подачи воздуха по трубам в основании песчаного отвала и, возможно, в других его местах. И интенсивное орошение также может использоваться в качестве теплопередающей среды, как внутри песчаного отвала, так и для ускорения повышения температуры путем подачи тепла в новый сформированный песчаный отвал.

При формировании отвала количество сульфидов может варьироваться в разных его зонах путем регулирования интенсивности добавления при подмешивании сульфидного концентрата. Это обеспечивает еще одну переменную управления для установления равновесной температуры отвала и распределения выщелачивающего агента в поперечном направлении.

Система может также обеспечивать переработку руд, содержащих смесь сульфидов, или частично окисленные руды, что дает значительный выигрыш, когда существенны потери процесса флотации для получения коммерческого концентрата.

Вторым компонентом настоящего изобретения является извлечение с использованием флотации, причем этот компонент может включать как традиционную флотацию, для которой обычно необходимы размеры частиц подаваемого материала менее 0,2 мм, так и флотацию крупных частиц, для которой обычно необходимы размеры частиц в диапазоне 0,1-0,4 мм для достижения высокого уровня извлечения ценных компонентов. Флотация крупных частиц может обеспечивать извлечение ценных компонентов для размеров частиц примерно 2 мм, однако уровни извлечения снижаются по мере увеличения размеров частиц (патент US 64254851, Eriez Hydrofloat™, содержание которого включается ссылкой в настоящую заявку),

В одних вариантах компонента флотации он включает использование (или нет) флотации крупных частиц, чтобы дополнить традиционную флотацию для расширения диапазона размеров частиц, для которого может осуществляться флотация. Кроме отбрасывания дополнительной пустой породы использование флотации крупных частиц, размеры которых больше оптимальной величины, которую выбирают исходя из уровня извлечения ценных компонентов, также обеспечивает выигрыш в отношении макропроницаемости выщелачиваемого песчаного отвала. Кроме того, возможность извлечения и выщелачивания в отвале флотационного концентрата средней сортности, получаемого в процессе флотации крупных частиц, может обеспечивать также повышение общего выхода флотации. В то же время возможность использовать флотационный концентрат средней сортности для регулирования выделения тепла и кислоты по всему отвалу может обеспечивать повышение выхода процесса выщелачивания отвалов.

В других вариантах концентрат, полученный в процессе флотации крупных частиц, может быть либо добавлен в выщелачиваемый песчаный отвал, либо повторно измельчен и отправлен в процесс традиционной флотации для получения коммерческого концентрата. Повторное измельчение этого флотационного концентрата предусматривается в тех случаях, когда выходы выщелачивания отвалов низки, или когда необходимо очень высокое содержание серы в выщелачиваемом песчаном отвале.

Основным достоинством настоящего изобретения является повышенный суммарный выход, достижимый из фракции отсортированной руды, отправляемой на флотацию, как непосредственный результат объединения этой флотации с выщелачиванием песчаного отвала.

Выход традиционной флотации обычно варьируется от 80-90% для легко флотируемых медных руд, хотя для более трудно перерабатываемых руд, таких как никелевые руды, выход обычно составляет 70-80%, и может быть гораздо ниже, порядка 50%. Заслуживает внимания то, что такие выходы традиционной флотации ниже уровней извлечения, которые могут быть достигнуты с помощью выщелачивания песчаных отвалов, даже без учета дополнительных примерно 5% потерь, которые связаны с преобразованием в металл флотационного концентрата.

Как уже указывалось, размер измельчения определяет соотношение руды, перерабатываемой с помощью флотации и выщелачивания в отвалах. Размер измельчения может регулироваться в диапазоне 0,5-10 мм для оптимизации уровней извлечения ценных компонентов, достижимых в процессах флотации и выщелачивания в отвалах. Эта концепция распространяется на вариант, в котором остатки из процесса флотации крупных частиц направляются в процесс выщелачивания песчаных отвалов для дополнительного извлечения.

Однако сверх вышеуказанного повышения уровня извлечения ценных компонентов путем выделения пропорциональной части руды для выщелачивания отвалов изобретение обеспечивает возможность более высокого извлечения из фракции руды, направленной на флотацию. Таким образом, процесс, предлагаемый в настоящем изобретении, создает новый и патентоспособный синергичный эффект путем обеспечения способа обработки флотационного концентрата, который иначе был бы потерян в отходах, и в то же время повышая выход выщелачивания металлов, которые иначе были бы потеряны в отходах.

Это повышение выхода флотации является результатом снижения различных форм потерь процесса флотации, которые обычно отправляются в остатки флотации. Эти различные формы потерь иллюстрируются схематично на фиг. 2.

Процессы измельчения и сортировки обеспечивают распределение размеров частиц, подаваемых на флотацию. Потери в остатках традиционной основной флотации включают: 1) частицы ценных сульфидов, достаточно хорошо раскрытые, однако они настолько малы, что затрудняется прикрепление пузырьков к поверхности сульфидов; 2) потери надрешетных ценных сульфидов, которые слишком тяжелы, или их раскрытие недостаточно, чтобы прикрепившиеся пузырьки подняли их через слой пены, предназначенной для предотвращения перелива пустой породы; 3) потери частиц, в которых ценный сульфид окружен сульфидами железа или находится в твердом растворе, поскольку условия традиционной флотации устанавливают таким образом, чтобы отбрасывались сульфиды железа; и 4) ценные сульфиды, которые либо плохо раскрыты, либо по своей природе являются составными, и после всплытия в процессе основной флотации они отбрасываются в процесс перечистой флотации, что необходимо для соответствия требованиям спецификаций металлургических комбинатов в отношении содержания ценного металла.

Величины этих четырех форм потерь флотации будут разными для каждой руды, однако это основные "вкладчики" в суммарные потери процесса флотации. Потенциал извлечения для руды, направляемой на флотацию, которое достижимо, если эти формы потерь могут быть минимизированы, очевиден, и он являлся объектом многочисленных публикаций и патентов, в которых предлагались различные химические системы, способы измельчения и сортировки и флотационные машины. Однако при производстве в промышленном масштабе величины извлечения оставались на этих уровнях.

Предложенное в настоящем изобретении объединение (комплексирование) флотации с выщелачиванием песчаных отвалов обеспечивает возможность снижения потерь флотации во всех вышеуказанных четырех категориях путем формирования низкосортного концентрата и его добавления в процесс выщелачивания отвала.

Размер измельчения в соответствии с настоящим изобретением больше размера, обычно используемого для флотации, в связи с альтернативным технологическим маршрутом для фракции руды, направляемой в процесс выщелачивания песчаного отвала. Таким образом, снижается пропорциональная часть очень тонко измельченных частиц ценных сульфидов, в материале, подаваемом на флотацию (то есть, потери 1).

Для тех частиц, размеры которых слишком велики для высокоэффективной флотации, обычно имеющих менее 10% раскрытия поверхности (публикация "Важность раскрытой площади поверхности зерен в процессе флотации крупных частиц низкосортной золотосодержащей руды с использованием технологии Hydrofloat™", J.D. Miller и др., Геология, 2016, содержание которой вводится ссылкой в настоящую заявку), настоящее изобретение обеспечивает возможность отбора большей части фракции этих частиц в концентрат флотации крупных частиц для выщелачивания в отвалах. Например, размер P_{50} для сортировки между флотацией крупных частиц и выщелачиванием песчаного отвала может быть подобран таким образом, чтобы размеры только малой пропорциональной части частиц, направляемых на флотацию, были слишком велики для высокого уровня извлечения в процессе флотации крупных частиц. Таким образом, снижаются потери категории 2).

Благодаря происходящему микрорастрескиванию, даже для этих немногих частиц, в которых ценные компоненты почти полностью заключены в породе, выщелачивающий агент все-таки может получить к ним доступ. Поэтому выщелачивание обеспечивает гораздо меньший источник потери надрешетных сульфидов по сравнению с направлением этой же руды в процесс флотации крупных частиц, и также обеспечивает снижение потерь категории 2) в верхней части диапазона размеров частиц для флотации крупных частиц.

Ценные компоненты, которые находятся в твердом растворе или в композитной форме с сульфидами железа, могут быть извлечены вместе с сульфидным концентратом путем регулирования условий для стимулирования флотации сульфидов железа. В этом концентрате по меньшей мере значительная пропорциональная доля ценных компонентов, которые были бы потеряны при флотации, будет добавляться в процесс выщелачивания отвала для регулирования тепловых характеристик отвала. Затем они будут выщелачиваться в отвале вместе с сульфидами железа. При этом также снижаются потери категории 3).

И наконец, ценные компоненты, которые присутствуют в композитной форме и обычно отбрасываются в процессе перечистки для получения концентрата, пригодного для металлургических комбинатов, могут быть извлечены вместе с сульфидами железа путем повышения выхода. Этот концентрат, содержащий сульфиды железа и сульфиды ценных металлов, направляется в процесс выщелачивания отвала, где ценные металлы могут быть растворены.

Исключение этой формы потерь (категории 3) и 4)) особенно полезно в тех случаях, когда из руды трудно получить коммерческий концентрат ценного компонента.

Итак, используя настоящее изобретение, можно снизить потери флотации всех вышеуказанных категорий по сравнению с потерями при традиционной флотации.

На фиг. 3 иллюстрируется значительное перекрытие диапазонов размеров, в котором как флотация

крупных частиц, так и выщелачивание отвалов могут обеспечивать высокие уровни извлечения ценных компонентов. Это обеспечивает возможность некоторой степени неэффективности процесса сортировки для получения фракции для выщелачивания в отвале и фракции для флотации, без существенных потерь в суммарном уровне извлечения. И для любого выбранного размера измельчения оптимальный размер сортировки для разделения частиц, направляемых на флотацию и на выщелачивание в песчаном отвале, будет функцией типа руды и способа сортировки, а также прибыли, достижимой для альтернативных продуктов из процессов флотации и выщелачивания. Тип руды определяет максимальный размер, при котором высокий уровень извлечения может быть достигнут с помощью традиционной флотации или флотации крупных частиц. Способ сортировки определяет пропорциональную долю мелких частиц, которые ошибочно направляются на выщелачивание в песчаном отвале и, соответственно, ухудшают его проницаемость.

Размер P_{50} этой сортировки между флотацией и выщелачиванием в отвале находится в диапазоне 0,15-0,5 мм и предпочтительно в диапазоне примерно 0,20-0,35 мм, в зависимости от типа руды.

В случае первичной медной руды, для которой обычный уровень извлечения ценного компонента составляет примерно 85%, его можно повысить до 90-95% просто путем осуществления флотации и флотации крупных частиц для идеальных размеров частиц и с совместной флотацией низкосортного концентрата и последующим извлечением с помощью выщелачивания сульфидов железа.

Уровни флотационного извлечения сульфида никеля, при котором разделение пентландита и пирротина затруднительно, могут быть увеличены даже больше, и никель, обычно содержащийся в твердом растворе с пирротинном, может быть извлечен с помощью флотации и добавлен в отвал для выщелачивания. Например, такая гибкость, обеспечиваемая выщелачиванием низкосортного концентрата, обычно дает в результате повышение уровней флотационного извлечения ультрамафических месторождений никеля от примерно 50% обычно до примерно 70-85%.

Для смешанных сульфидных руд, флотационный концентрат которых не подходит для большинства металлургических комбинатов, предназначенных для извлечения определенного металла, выщелачивание отвалов обеспечивает гибкость для получения высокосортного концентрата при умеренном извлечении и выщелачивании в отвале низкосортного концентрата с разделением ценных компонентов в обогащенном продукте выщелачивания, перед электрохимическим извлечением.

Кроме того, большинство преимуществ улучшения извлечения по настоящему изобретению в равной степени действуют в отношении руд, для которых выщелачивание отвалов осуществляется с использованием химических, а не биологически улучшенных выщелачивающих агентов.

Например, при выщелачивании первичных медных руд с помощью кислого хлорида меди будут использоваться преимущества, обеспечиваемые настоящим изобретением, за счет увеличенного уровня флотационного извлечения и дополнительного тепла, выделяемого в отвале в результате окисления дополнительных растворимых сульфидов. Или же при аммиачном выщелачивании низкосортной никелевой руды могут обеспечиваться аналогичные повышенные уровни флотационного извлечения и улучшение теплового режима.

Еще один вариант осуществления изобретения представляет собой переработку переходных руд между супергенными и гипогенными компонентами рудного тела месторождения меди. Окисленные и вторичные медные руды обычно измельчают и перерабатывают с использованием выщелачивания традиционных отвалов, для которых уровни извлечения в верхних супергенных зонах обычно составляют примерно 80%. По мере того как шахту углубляют, в руде происходят переходы, в результате которых содержание халькопирита в ней будет постепенно увеличиваться. Этот халькопирит не может быть извлечен с помощью выщелачивания, пока температура в отвале не превысит примерно 55°C, и, соответственно, уровень извлечения с помощью выщелачивания отвала падает обычно до 50-60%. Если месторождение на глубине характеризуется очень высоким содержанием ценного компонента, то можно отказаться от выщелачивания отвалов и заменить его средствами измельчения и флотации. В противном случае от операции отказываются полностью, поскольку извлечение выщелачиванием руды в отвалах не окупает затраты на добычу руды и ее переработку. При использовании способа, предложенного в изобретении, по мере перехода руды из окисленного состояния в супергенное и гипогенное состояния, может использоваться небольшая флотационная установка для дополнения выщелачивания отвалов. Эта флотационная установка будет перерабатывать мелкие частицы, получаемые при измельчении, для получения на выходе либо коммерческого флотационного концентрата, либо низкосортного концентрата с уровнем извлечения, превышающим 90%. Установка для получения сульфида с низким содержанием ценного компонента будет вырабатывать достаточное количество сульфида для обеспечения возможности горячего биовыщелачивания содержащегося халькопирита, причем предполагается выщелачивание отвалов с выходом, превышающим 80%. Выигрыш заключается в более высоких уровнях извлечения, которые могут быть достигнуты либо флотацией, либо выщелачиванием отвалов, с исключением необходимости дополнительного измельчения в любое время в течение всего срока эксплуатации шахты.

Таким образом, настоящее изобретение в его многочисленных вариантах может использоваться для максимизации извлечения тех ценных компонентов всех руд, которые могут быть подвергнуты как флотации, так и выщелачиванию. В этом случае также ускоряется выщелачивание путем обеспечения воз-

возможности достижения повышенных температур при выщелачивании отвалов. Изобретение применимо к сульфидным медным и никелевым, а также к смешанным сульфидным рудам, которые включают также золотосодержащие руды, в которых золото частично заключено в сульфидах железа. Изобретение обеспечивает не только повышение уровня извлечения, но и снижение требований к измельчению для подготовки руды для последующего извлечения ценных компонентов от тонкого измельчения для полного раскрытия ценных сульфидов до размеров, обычно необходимых для выщелачивания отвалов.

Неограничивающие примеры изобретения

Пример 1. Переработка никелевой сульфидной руды

Ультрамафическая руда, содержащая никель в количестве 0,4% и существующая обычно в форме сульфидов, однако со значительной частью никеля в силикатах, может быть подвергнута традиционной флотации для получения коммерческого концентрата с уровнем извлечения 50%.

Эта руда может быть измельчена до P₈₀ примерно 4 мм, с последующей обработкой в циклонном сепараторе или на сите с размером ячейки 0,15 мм для получения 25% руды с размерами менее 0,15 мм. Эту мелкую фракцию (с P₈₀ примерно 0,15 мм) подвергают флотации при условиях, используемых обычно для получения аналогичного коммерческого концентрата. Затем флотационные хвосты на втором этапе подвергают повторной флотации при пониженной величине pH примерно 5 для флотирования сульфидов железа. С высоким выходом в низкосортный концентрат, составляющий 25% материала, подаваемого на флотацию, улучшается выход никеля. Уровень извлечения никеля в процессе флотации никеля в коммерческий концентрат составляет 50% с 25% извлечения в форме низкосортного концентрата, обогащенного железом.

Низкосортный концентрат (6% от исходной массы руды) смешивают с надрешетной фракцией (75% исходной руды с P₈₀ примерно 4 мм), укладывают и подвергают биовыщелачиванию в отвалах. Отвал содержит примерно 5% хвостов флотации с размерами частиц менее 0,075 мм и достаточно проницаем для орошения с интенсивностью 1 л/м²/ч. Отвал содержит 80% никеля, содержащегося в исходной руде, с раскрытием поверхности (благодаря размерам менее 4 мм), обеспечивающим эффективность выщелачивания, превышающую 90%. Условия выщелачивания соответствуют указанным в публикации Cameron, с использованием бактерий, окисляющих сульфиды при повышенных величинах pH (публикация "Биовыщелачивание низкосортной ультрамафической никелевой сульфидной руды в реакционных аппаратах с мешалкой при температуре 5-45°C, с повышенной величиной pH", Cameron и др., "Гидрометаллургия", том 99, выпуски 1-2, октябрь 2009, стр. 77-83, содержание которой вводится ссылкой в настоящую заявку) и с выщелачивающим агентом, величина pH которого была доведена до 5. Извлечение никеля через 200 дней составило 80% никеля, содержащегося в смеси.

Комплексное извлечение никеля путем флотации для формирования коммерческого концентрата и выщелачивания обеспечивает уровень 75%, а при традиционной флотации этот уровень составляет 50%.

Пример 2. Обработка первичной золотосодержащей медной руды

Для первичной золотосодержащей медной руды, содержащей медь в количестве 0,59% и золото в количестве 0,24 г/т, традиционная флотация обеспечивает извлечение 80% меди и 38% золота, содержащихся в руде, в коммерческий медный концентрат, составляющий 2% от массы руды. Дополнительно 5% меди и 21% золота могут быть извлечены из флотационных хвостов в поток пиритового концентрата, составляющего 8% от массы руды, и в хвосты перечистки, содержащие 6% меди и 30% золота, содержащихся в руде. Хвосты перечистки и пиритовый концентрат, составляющие суммарно 15% от массы руды, могут быть мелко измельчены (P₈₀ примерно 0,02 мм) и выщелочены с перемешиванием для извлечения 60% содержащегося золота, хотя с высоким расходом цианида, вызываемым растворимой медью. Таким образом, суммарное извлечение ценных компонентов из руды с помощью традиционной технологии составляет 80% меди и почти 70% золота (как описано в публикации "2016, проект KSM (KERR-SULPHURETS-MITCHELL), Обновленный предварительный анализ и предварительная экономическая оценка", отчет по проекту KSM, компания Seabridge Gold, Северо-Запад, Британская Колумбия, Канада, содержание которой вводится ссылкой в настоящую заявку).

Эта же руда может быть измельчена в валковом прессе высокого давления для получения размеров частиц < 5 мм с последующей пневматической сортировкой для получения 3 фракций: < 0,15 мм (с P₈₀ примерно 0,15 мм), составляет 20% от веса руды; 0,15-0,35 мм (с P₈₀ примерно 0,35 мм), составляет 10% от веса руды; и > 0,35 мм (с P₈₀ примерно 4 мм), составляет 70% от веса РУДЫ.

Обычно первичная и перечистная флотация фракции с размерами частиц менее 0,15 мм обеспечивают коммерческий медный концентрат с извлечением 82% меди и 38% золота, представляющий извлечение 18% меди и 8% золота в исходной руде.

Хвосты традиционной первичной флотации подвергают повторной флотации с изменением pH до уровня 4 для получения пиритового концентрата, составляющего 5% от массы руды, и с извлечением 5% меди в хвостах первичной флотации и 21% золота. Этот пиритовый концентрат содержит 1,5% меди, содержащейся в исходной руде, и 2,5% исходного золота.

Хвосты перечистки после традиционной флотации содержат 1,5% исходной меди и 6,5% исходного золота.

Хвосты перечистки и пиритовый концентрат, составляющие суммарно 4% от исходной массы руды, предназначены для смешивания с фракцией > 0,35 мм, полученной в результате пневматической сортировки.

Окончательные хвосты традиционной флотации удаляют, причем они составляют 16% от массы исходной руды и содержат 1,5% меди и 2,5% золота в исходной руде.

Фракцию руды с размерами частиц 0,15-0,35 мм подвергают флотации в установке Hydrofloat™ с величиной рН, равной 4, для флотации как меди, так и золота во флотационный концентрат, состоящий из крупных частиц. Восходящий поток регулируют для обеспечения выхода примерно 25%, составляющего 2,5% от массы исходной руды, в низкосортный концентрат, получаемый в результате флотации крупных частиц. Уровни извлечения в этот крупный флотационный концентрат составляют 91% меди и 85% золота. Концентрат флотации крупных частиц, составляющий 2,5% от массы исходной руды, также предназначен для смешивания с надрешетной фракцией руды, получаемой в результате пневматической сортировки.

Окончательные хвосты флотации крупных частиц, которые составляют 7,5% от массы исходной руды и содержат 1% меди и золота в исходной руде, удаляют.

Смесь хвостов первичной флотации, флотационной пиритового концентрата, концентрата флотации крупных частиц и надрешетной фракции пневматической сортировки укладывают и выщелачивают в отвале в течение 150 дней выщелачивающим агентом с рН = 1,5 и с концентрацией железа 2 г/л, при температуре в отвале примерно 65°C. Интенсивность орошения равна 1 л/м²/ч, и воздух подают в основание отвала. Извлечение меди составляет 85%, и при этом золото не растворяется. Большая часть сульфидов железа также растворяется, так что раскрывается содержащееся золото.

Затем отвал промывают для выведения растворимой меди и железа и затем осуществляют орошение в течение 50 дней раствором цианида в концентрации 0,5 г/л с рН = 10,5. Извлечение золота составляет 90%.

Окончательные остатки выщелачивания отвала, которые составляют 80% от исходной руды и содержат 12% меди и 9% золота в исходной руде, удаляют.

В результате использования изобретения для этой руды суммарные уровни извлечения составили 85% меди и 87% золота в формы, из которых они могут быть легко получены, а при использовании традиционной флотации, тонкого измельчения и выщелачивания с перемешиванием достигаемые уровни извлечения составляют 80% меди и 70% золота.

Пример 3. Обработка переходной медной руды

Из переходной медной руды с содержанием сульфидов 1,2% были подготовлены измельчением руды две фракции с размерами -2,4 мм и -6,7 мм. Руда содержала примерно 30-40% содержащейся меди в форме халькопирита и пирита, составлявшими примерно 75% всех сульфидов, содержащихся в руде. Измельченные фракции подвергались грохочению на ситах с размерами ячеек 0,425 мм для получения надрешетного крупного песка с относительно узкими распределениями размеров частиц, как это показано в таблице.

Таблица. Характеристики размеров частиц в образцах для колонного выщелачивания

Образец	P ₁₀ (мм)	P ₅₀ (мм)	P ₈₀ (мм)	P ₉₀ (мм)	P ₉₀ /P ₁₀
-2,4 мм	0,58	1,43	1,95	2,16	3,7
-6,7 мм	0,51	3,30	5,24	5,97	11,7

Эти фракции подвергали выщелачиванию в колонне высотой 1 м при температуре 68°C, которую засеивали группой крайне теплолюбивых архебактерий. В основание колонны подавали воздух, и в выходящем газе измеряли содержание кислорода для определения его суммарного использования. После периода акклиматизации, который составил примерно 50 дней, наблюдался быстрый рост активности бактерий, что определялось по резкому повышению потребления кислорода и по соответствующему ступенчатому изменению потенциала раствора (фиг. 4). Перед этим растворяли более реакционноспособные вторичные сульфиды и вторые оксидные фазы. По мере роста активности бактерий скорость извлечения меди заметно увеличивалась, как показано на фиг. 5 (показан график роста извлечения меди, только анализ раствора), и суммарное извлечение по количественному анализу раствора получалось более 90% для обеих фракций. Этот вывод также подтверждался соответствием между суммарным потреблением кислорода и количеством подаваемых сульфидов.

Для оценки общей скорости окисления сульфидов и соответствующей плотности выделения тепловой энергии использовался минералогический состав образцов и профили потребления кислорода. В интервале 50-100 дней средняя плотность выделяемой энергии составляла 45 Вт/м³ и 45 Вт/м³ для фракций -2,4 мм и -6,7 мм соответственно. Для этого сравнительно низкого суммарного содержания сульфидов такие плотности выделяемой тепловой энергии, при ее эффективном использовании внутри выщелачиваемого отвала, обеспечивают возможность непрерывной автотермальной работы при температурах, при которых халькопирит быстро выщелачивается, а именно > 55°C. С добавлением низкосортного концентрата традиционной флотации и концентрата флотации крупных частиц, которые содержат высокие концентрации сульфидов, выделение тепла дополнительно повышается.

Затем фракции -0,425 мм, которые были получены после измельчения, были отсортированы на ситах с размером ячейки 0,15 мм для получения двух других фракций: мелкой фракции, подходящей для традиционной флотации, и более крупной фракции, подходящей для флотации крупных частиц. Фракцию -0,15 мм, полученную из исходного образца -2,4 мм, подвергали первичной флотации в лабораторной флотационной камере объемом 2,5 л при условиях, обеспечивающих максимизацию извлечения сульфидов. Суммарный концентрат, полученный в этом испытании, содержал серу в количестве 10,6% с извлечением 95,2% серы. Выход составил 17,2%, и извлечение меди составило 87%.

В другом испытании различные образцы этой же руды, использованной в предыдущих описанных испытаниях выщелачивания и флотации, были подготовлены с использованием измельчения и сортировки образца для получения размера P_{80} , равного 0,37 мм. Исходное содержание серы в этих образцах составляло 1,9-2,9%. Для получения крупного концентрата из подаваемой фракции использовалась лабораторная установка HydroFloat™ диаметром 6 дюймов. Общее содержание серы в полученном концентрате составляло 8-12%, и извлечение серы составляло 80-90%. Выходы были в диапазоне 13-20%, и извлечение меди варьировалось в диапазоне 85-95%, в зависимости от минералогического состава руды.

Объединение результатов вышеописанных испытаний выщелачивания и флотации позволяет сделать вывод, что более мелкие фракции, полученные в результате измельчения, могут быть эффективно обработаны с помощью флотации для извлечения минералов, содержащих медь, и серы. Возвращение концентратов, получаемых в результате флотации мелких и крупных частиц, обратно в песчаный отвал не будет существенно снижать проницаемость отвала, поскольку суммарная прибавка массы составляет примерно 3-6% от исходной массы руды. Эти высокосортные концентраты будут повышать содержание меди и серы в выщелачиваемом песке, улучшая возможности выделения тепла. И наконец, минимальное содержание серы для конкретной руды, связанное с интенсивностью выделения тепла, необходимой для эффективного растворения ценных минералов, будет определяться устройством отвала, минералогическим составом руды, химическим составом выщелачивающей системы, размерами частиц и необходимыми интенсивностями орошения и аэрации.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ переработки сульфидной руды, содержащей ценные металлы, в котором руду измельчают (14) до размера P_{80} в диапазоне от 0,5 до 15 мм и сортируют для получения фракции (18) с размером P_{80} частиц менее 0,25 мм, подходящей для флотации мелких частиц, и надрешетной фракции (16);

фракцию (18), подходящую для флотации мелких частиц, подвергают флотации (22) мелких частиц для получения товарного концентрата (24), содержащего ценные металлы, и остатков (26), которые подвергают перечистой флотации (28) сульфидных минералов для получения концентрата (30), содержащего сульфиды ценных металлов и сульфиды железа, а также остатки (32) флотации мелких частиц;

концентрат (30), содержащий сульфиды железа или их выщелоченные остатки, смешивают с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39) и

рудную смесь (39) укладывают в отвал и подвергают процессу (40) выщелачивания в отвале, в котором отвал орошают выщелачивающим агентом для получения обогащенного продукта выщелачивания, содержащего ценные металлы.

2. Способ по п.1, в котором руда содержит сульфиды, содержащие такие ценные металлы, как медь, никель, цинк и/или золото, включая руду с золотом в качестве основного или побочного продукта.

3. Способ по п.1, в котором концентрат (30), содержащий сульфиды железа или их выщелоченные остатки, включает товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц.

4. Способ по п.1, в котором руду измельчают (14) до размера P_{80} в диапазоне 1-10 мм или 2-8 мм, или 2-6 мм.

5. Способ по п.1, в котором надрешетная фракция (16), полученная в результате первой сортировки, имеет размер P_{80} частиц вплоть до 15 мм или до 10 мм, или до 8 мм, или до 6 мм.

6. Способ по п.1, в котором размер P_{80} частиц фракции (18), подходящей для флотации мелких частиц, находится в диапазоне 0,1-0,25 мм или 0,15-0,2 мм.

7. Способ по п.1, в котором фракция (18), подходящая для флотации мелких частиц, составляет 10-35 мас.% от веса измельченной руды, и надрешетная фракция (16) составляет 90-65 мас.% от веса измельченной руды, или фракция (18), подходящая для флотации мелких частиц, составляет 15-25 мас.% от веса измельченной руды, и надрешетная фракция (16) составляет 85-75 мас.% от веса измельченной руды.

8. Способ по п.1, в котором остатки (26) подвергают перечистой флотации сульфидных минералов при измененной величине рН примерно 4-5.

9. Способ по п.1, в котором концентрат (30) составляет 4-6 мас.% от массы руды.

10. Способ по п.1, в котором размер P_{80} частиц концентрата (30), содержащего сульфиды железа, находится в диапазоне 0,1-0,25 мм или 0,15-0,2 мм.

11. Способ по п.1, в котором концентрат (30), содержащий сульфиды железа, содержит серу в коли-

честве 5-35 мас.% или 10-35 мас.%, или 10-25 мас.%, или 10-20 мас.%.

12. Способ по п.1, в котором содержание серы в рудной смеси (39) превышает 1 мас.% или превышает 2 мас.%.

13. Способ по п.1, в котором концентрат (30) и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, смешивают с надрешетной фракцией (16) в таком количестве, чтобы число частиц с размерами менее 0,075 мм в рудной смеси (39) было меньше 10 мас.%, или концентрат (30) и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, смешивают с надрешетной фракцией (16) в таком количестве, чтобы число частиц с размерами менее 0,075 мм в рудной смеси (39) было меньше 7 мас.%.

14. Способ по п.13, в котором уложенная в отвал рудная смесь (39) достаточно проницаема для орошения интенсивностью более 0,5 л/м²/ч, или 1 л/м²/ч или более.

15. Способ переработки сульфидной руды, содержащей ценные металлы, в котором руду измельчают (14) до размера P₈₀ в диапазоне от 0,5 до 15 мм и сортируют для получения фракции (18) с размером P₈₀ частиц менее 0,2 мм, подходящей для флотации мелких частиц, фракции (20) с размером P₈₀ частиц более 0,2 мм и менее 1 мм, подходящей для флотации крупных частиц, и надрешетной фракции (16);

фракцию (18), подходящую для флотации мелких частиц, подвергают флотации (22) мелких частиц для получения товарного концентрата (24), содержащего ценные металлы, и остатков (26), которые подвергают перемешиванию флотации (28) сульфидных минералов для получения концентрата (30), содержащего некоторые сульфиды ценных металлов и сульфиды железа, а также остатки (32) флотации мелких частиц;

фракцию (20), подходящую для флотации крупных частиц, подвергают флотации (34) крупных частиц для получения продукта (36) флотации крупных частиц, содержащего ценные металлы и остатки (38) флотации крупных частиц;

концентрат (30), содержащий сульфиды железа или их выщелоченные остатки, смешивают с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39) и

рудную смесь (39) укладывают в отвал и подвергают процессу (40) выщелачивания в отвале, в котором отвал орошают выщелачивающим агентом для получения обогащенного продукта выщелачивания, содержащего ценные металлы.

16. Способ по п.15, в котором концентрат (30), содержащий сульфиды железа и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, и весь или часть продукта (36) флотации крупных частиц смешивают с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39), или концентрат (30), содержащий сульфиды железа и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, смешивают со всем или с частью продукта (36) флотации крупных частиц и затем смешивают с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39).

17. Способ по п.16, в котором концентрат (30), содержащий сульфиды железа и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, смешивают с продуктом (36) флотации крупных частиц и с надрешетной фракцией (16) в таком количестве, чтобы число частиц с размерами менее 0,075 мм в рудной смеси (39) было меньше 10 мас.%, или концентрат (30), содержащий сульфиды железа и, возможно, включающий товарный концентрат (24), полученный в результате флотации (22) мелких частиц, смешивают с продуктом (36) флотации крупных частиц и с надрешетной фракцией (16) в таком количестве, чтобы число частиц с размерами менее 0,075 мм в рудной смеси (39) было меньше 7 мас.%.

18. Способ по п.17, в котором уложенная в отвал рудная смесь (39) достаточно проницаема для орошения интенсивностью более 0,5 л/м²/ч, или более 1 л/м²/час или более.

19. Способ по п.15, в котором концентрат (30), содержащий сульфиды железа, смешивают со всем или с частью продукта (36) флотации крупных частиц и затем смешивают с надрешетной фракцией (16) для получения рудной смеси (39).

20. Способ по п.15, в котором концентрат (30), содержащий сульфиды железа, смешивают со всем или с частью продукта (36) флотации крупных частиц, и смесь подвергают выщелачиванию в чанах с перемешиванием для получения остатков, содержащих элементную серу и сульфиды железа, которые смешивают с надрешетной фракцией (16).

21. Способ по п.1 или 15, в котором процесс выщелачивания отвала представляет собой процесс биоокислительного выщелачивания или процесс химического выщелачивания.

22. Способ по п.21, в котором выщелачивание отвала представляет собой процесс биоокислительного выщелачивания, причем отвал засевают теплолюбивыми микроорганизмами и орошают выщелачивающим агентом.

23. Способ по п.22, в котором выщелачивающий агент представляет собой серную кислоту, содержащую рафинат из процесса извлечения растворителем.

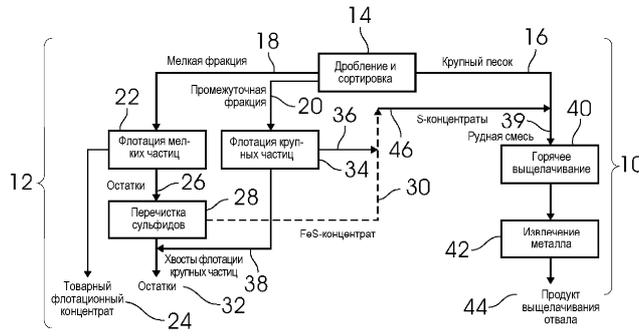
24. Способ по п.22, в котором величина pH выщелачивающего агента меньше 2,5 или меньше 2.

25. Способ по п.22, в котором в процессе выщелачивания отвала температура внутри отвала нахо-

дится в диапазоне 50-85°C или 60-80°C.

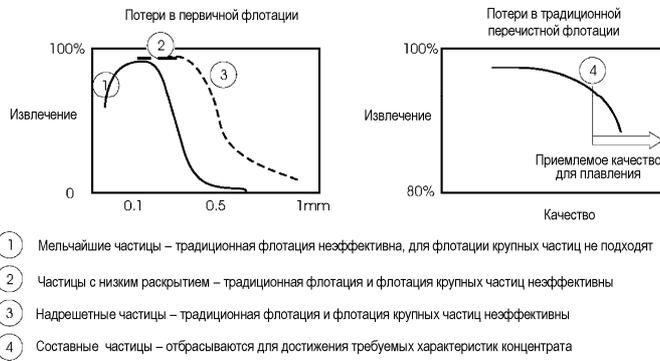
26. Способ по п.21, в котором выщелачивание отвала представляет собой процесс химического выщелачивания.

27. Способ по п.26, в котором отвал орошают выщелачивающим агентом, содержащим цианид для растворения золота или хлорид меди для растворения халькопирита.



Фиг. 1

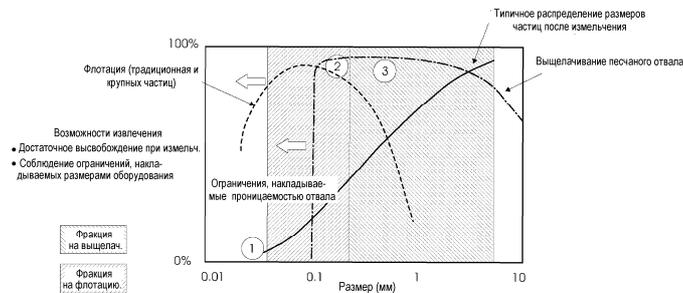
Флотационные потери



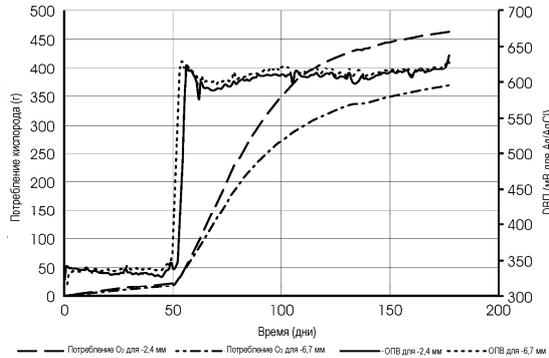
- ① Мельчайшие частицы – традиционная флотация неэффективна, для флотации крупных частиц не подходит
- ② Частицы с низким раскрытием – традиционная флотация и флотация крупных частиц неэффективны
- ③ Надрешетные частицы – традиционная флотация и флотация крупных частиц неэффективны
- ④ Составные частицы – отбрасываются для достижения требуемых характеристик концентрата

Фиг. 2

Возможности извлечения высоки во всем диапазоне распределения размеров частиц минералов

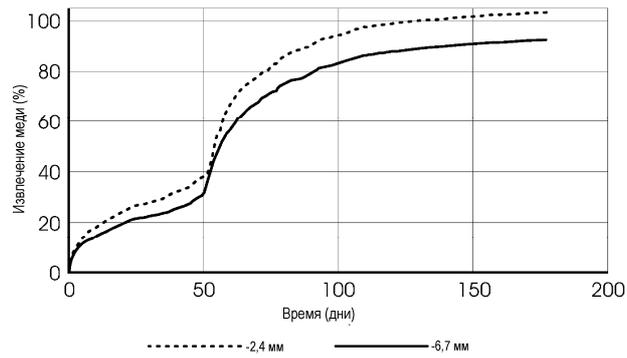


Фиг. 3



Фиг. 4

045775



Фиг. 5



Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
