

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041940**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.12.16

(21) Номер заявки
202192518

(22) Дата подачи заявки
2020.03.20

(51) Int. Cl. **C01B 7/0706** (2006.01)
C01B 7/0712 (2006.01)
C01B 7/0718 (2006.01)
C22B 1/02 (2006.01)
C22B 11/00 (2006.01)

(54) **ИЗВЛЕЧЕНИЕ МЕТАЛЛОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ (МПП) И ХРОМИТА ИЗ СМЕШАННЫХ РУД МПП/ХРОМА**

(31) **62/821,463**

(32) **2019.03.21**

(33) **US**

(43) **2022.02.09**

(86) **PCT/IB2020/052575**

(87) **WO 2020/188527 2020.09.24**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АНГЛО АМЕРИКАН ТЕКНИКЛ ЭНД
САСТЕЙНАБИЛИТИ СЕРВИСИЗ
ЛТД (GB)**

(72) Изобретатель:
**Филмер Энтони Оуэн (AU),
Александр Дэниел Джон (GB)**

(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-A1-20160310956
US-A-5034055
US-B2-8262768
US-B2-7972412
US-A-5238662**

(57) В патенте описан способ повышения извлечения хромита и металлов платиновой группы (МПП) из руды, содержащей смесь хромита и МПП. Руду подвергают измельчению 12 и сортировке 14 для получения крупнозернистой фракции и тонкозернистой фракции 36. Крупнозернистую фракцию подвергают гравитационному разделению 16 и флотации 20 крупных частиц для получения хромового концентрата и концентрата МПП. Мелкозернистую фракцию 36 и концентрат МПП подвергают измельчению 28 и традиционной флотации 30 для получения товарного концентрата 32 МПП. Достоинствами новой конфигурации процессов гравитационного обогащения и флотации крупных частиц, применяемых для извлечения хромита и МПП, являются более высокие уровни извлечения хромита в форме товарного концентрата; более высокие уровни извлечения МПП и цветных металлов и уменьшенное содержание хромита в концентрате PGM.

041940 B1

041940 B1

Уровень техники

Многие первичные руды металлов платиновой группы (МПГ), такие как руды, добываемые в Южной Африке, содержат значительные количества цветных металлов и хромита. Эти руды необходимо измельчать для получения частиц тонкого помола, обычно размерами менее 150 мкм для р80, для раскрытия МПГ в форме, подходящей для флотации. В результате такого тонкого помола получают руду, из которой трудно выделить хромит в качестве сопутствующего продукта с использованием гравитационного разделения, и концентрат МПГ флотации содержит значительные количества захваченных мелких частиц хромита, в результате чего возникают проблемы при последующем плавлении МПГ.

Как указывается в ссылке 1, промышленность переработки первичной руды МПГ, как правило, игнорировала возможность сопутствующего получения хромита, который отбрасывался в составе пустой породы. Хромит, присутствующий в руде МПГ, размалывали вместе с МПГ и остальной породой для получения частиц размерами, подходящими для эффективного извлечения в традиционной флотации МПГ. МПГ и цветные металлы извлекались, а хромит выводился в хвостах флотации.

Размеры частиц в хвостах слишком малы для эффективного гравитационного отделения хромита в качестве сопутствующего продукта. В связи с присутствием больших количеств хрома в материале, подаваемом в процесс традиционной флотации, концентрат МПГ, получаемый в результате этой флотации, содержит значительные количества захваченных мелких частиц хромита, в результате чего возникают проблемы при последующем плавлении МПГ.

Сравнительно недавно несколько небольших предприятий стали перерабатывать тонкоизмельченные хвосты флотации МПГ для отделения тяжелого хромита от других более легких минералов жильной породы с использованием оборудования гравитационного разделения, такого как спиральный сепаратор. Однако при размерах частиц менее 100 мкм разница в объемной плотности очень тонко измельченного хромита и немного более крупных частиц жильной породы становится небольшой. Выход хрома в обоих процессах был низким из-за малых размеров частиц хромита. Только из более крупных частиц хромита может быть получен товарный концентрат, из которого может быть извлечено примерно 10-20% хрома, потенциально имеющегося в мелкозернистых хвостах.

Совсем недавно некоторые ведущие компании, занимающиеся переработкой руд МПГ, осуществляли попытки использовать для отделения хромита более крупные частицы, размеры которых обеспечивают возможность более эффективно извлекать хромит. Хромит отделяли между двумя этапами измельчения и традиционной флотацией МПГ. На первом этапе получали частицы размерами примерно 100-150 мкм для р80, и из этих частиц извлекали примерно 65% МПГ с использованием традиционной флотации. После этого в хвостах первичной флотации с пониженным содержанием МПГ содержатся немного более крупные частицы хромита, так что обеспечивалось немного более эффективное гравитационное отделение хромита. При этом обычно извлекается порядка 25% хромита, присутствующего в руде. Осуществление гравитационного разделения после первичной флотации возможность попадания МПГ в концентрат хрома снижается, но полностью не исключается. Высокая степень извлечения МПГ обеспечивается последующим измельчением хвостов, полученных после извлечения хромита, для эффективного раскрытия МПГ и традиционной флотации.

Кроме месторождений МПГ, содержащих некоторые количества хромита, имеются также месторождения хрома, которые содержат некоторые МПГ в качестве сопутствующих продуктов. В качестве примеров можно указать первичные хромитовые руды, найденные в среднем и нижнем рудных телах бассейна Витватерсранд и в других местах земного шара, которые могут содержать МПГ и цветные металлы в количествах сопутствующих продуктов.

Эти руды измельчают до размера хромитовых частиц, идеального для отделения хромита с использованием таких устройств, как спиральные сепараторы, гидравлические классификаторы и концентрационные столы. Как и в случае вышеописанного извлечения между этапами, МПГ и цветные металлы традиционно извлекают с использованием флотации частиц крупного помола для получения товарного концентрата МПГ, и затем извлекают хромит из хвостов флотации способом гравитационного разделения. Содержание МПГ, остающихся в хвостах гравитационного разделения, обычно слишком мало, чтобы рассматривать возможности последующего тонкого помола и традиционной флотации.

Измельчение первичной хромовой руды для получения размеров частиц, идеальных для гравитационного разделения, влечет за собой более высокие потери (в процентах) МПГ и цветных металлов в хромитовом продукте (либо их частицы прикреплены к частицам хромита, либо они имеют объемную плотность, примерно такую же, что и у частиц хромита) по сравнению с измельчением, при котором происходит более полное раскрытие ценных компонентов.

Компания Тариса (Tharisa) перерабатывает первичную хромовую руду, добываемую на своем руднике в Южной Африке, с низким содержанием МПГ и цветных металлов. После извлечения этой руды из рудника ее сортируют для первичного гравитационного разделения крупнозернистого материала, причем для извлечения хромита эффективно используются спиральные сепараторы. После этого осуществляют еще одно измельчение и традиционную флотацию МПГ с последующим вторым гравитационным разделением. Общее извлечение хрома превышает 60%. Однако для первоначального крупного помола потери МПГ в составе хромитового продукта значительны. Хотя для технологического процесса компании Та-

риса эти потери МПГ нежелательны, однако выигрыш в извлечении дополнительного хромита из крупных измельченных частиц перевешивает эти потери МПГ.

Таким образом, целью настоящего изобретения является способ повышения извлечения хромита и МПГ из руды, содержащей смесь хромита и МПГ.

Сущность изобретения

В настоящем изобретении предложен способ повышения извлечения хромита и металлов платиновой группы (МПГ) из руды, содержащей смесь хромита и МПГ, путем:

а) измельчения руды для получения частиц размерами, находящимися в диапазоне 0,1-1,5 мм для р80, подходящих для флотации крупных частиц (CPF, от англ. Coarse Particle Flotation), причем хромит раскрыт, а МПГ открыты по меньшей мере частично;

б) сортировки измельченной руды для получения крупнозернистой фракции частиц размерами 100-150 мкм или более, обычно 150 мкм или более, подходящих для гравитационного разделения и флотации крупных частиц, и мелкозернистой фракции частиц размерами менее 100-150 мкм, обычно менее 150 мкм, подходящих для традиционной флотации;

в) осуществления гравитационного разделения крупнозернистой фракции и флотации крупных частиц, в результате чего получают хромитовый концентрат и концентрат МПГ от флотации крупных частиц (гравитационное разделение может быть осуществлено перед флотацией крупных частиц, или же флотация крупных частиц может быть осуществлена перед гравитационным разделением);

г) осуществления тонкого измельчения концентрата МПГ от флотации крупных частиц, полученного на шаге (в) и, возможно, более легкой фракции, полученной в результате гравитационного разделения на шаге (в), для получения потока тонкоизмельченных частиц размерами менее 150 мкм; и

д) осуществления традиционной флотации в отношении потока тонкоизмельченных частиц, полученных на шаге (г), для получения товарного концентрата МПГ.

МПГ - это металлы платиновой группы, включающей рутений, родий, палладий, осмий, иридий и платину.

Руда может быть первичной рудой МПГ, содержащей хром в качестве сопутствующего продукта, или же может быть первичной хромовой рудой, содержащей МПГ в качестве сопутствующих продуктов.

Предпочтительно размеры частиц, полученных на шаге (а), для р80 находятся в диапазоне 0,2-1 мм, более предпочтительно в диапазоне 0,2-0,6 мм и еще более предпочтительно в диапазоне 0,25-0,5 мм.

Обычно работу измельчающего оборудования на шаге (а) осуществляют для получения распределения размеров частиц материала, содержащего менее 30% частиц размерами <75 мкм, предпочтительно менее 20% частиц размерами <75 мкм.

В качестве измельчающего оборудования на шаге (а) может использоваться VSI, EDS или Vero Liberator для обеспечения распределения размеров частиц с более острым пиком.

Измельченная руда, отсортированная на шаге (б), может иметь размеры частиц, превышающие 100 или 150 мкм, до 800 или до 500 мкм, обычно до 400 или 350 мкм.

На шаге (г) концентрат МПГ и, возможно, более легкая фракция гравитационного разделения могут быть подвергнуты тонкому измельчению для получения потока тонкоизмельченных частиц размерами менее 100 мкм.

В первом варианте осуществления изобретения флотацию крупных частиц применяют к хромовому концентрату после гравитационного обогащения, причем:

на шаге (в) руду, отсортированную на шаге (б), подвергают гравитационному разделению для получения хромового концентрата и потока более легкого материала гравитационного разделения; и хромовый концентрат подвергают флотации крупных частиц для получения концентрата МПГ от флотации крупных частиц и товарного хрома;

на шаге (г) поток хвостов гравитационного разделения и концентрат МПГ от флотации крупных частиц подвергают тонкому измельчению для получения потока тонкоизмельченных частиц; и

на шаге (д) поток тонкоизмельченных частиц подвергают традиционной флотации для получения концентрата МПГ.

Во втором варианте осуществления изобретения флотацию крупных частиц применяют к руде перед гравитационным обогащением, причем

на шаге (в) руду, отсортированную на шаге (б), подвергают флотации крупных частиц для получения концентрата МПГ от флотации крупных частиц и потока хвостов флотации крупных частиц; и поток хвостов флотации крупных частиц подвергают гравитационному разделению для получения хромового концентрата и потока хвостов гравитационного разделения;

на шаге (г) концентрат МПГ от флотации крупных частиц и, возможно, поток хвостов гравитационного разделения подвергают тонкому измельчению для получения потока тонкоизмельченных частиц; и

на шаге (д) поток тонкоизмельченных частиц подвергают традиционной флотации для получения товарного концентрата МПГ.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 - схема, иллюстрирующая принципиальную зависимость извлечения от размеров частиц для традиционной переработки;

на фиг. 2 - схема, иллюстрирующая принципиальную зависимость извлечения от размеров частиц для настоящего изобретения;

на фиг. 3 - схема, иллюстрирующая влияние плотного распределения размеров частиц в процессе измельчения и сортировки;

на фиг. 4 - блок-схема способа по первому варианту осуществления изобретения;

на фиг. 5 - блок-схема способа по второму варианту осуществления изобретения;

на фиг. 6 - графики распределения размеров частиц после измельчения образца руды UG2 с использованием мельницы EDS;

на фиг. 7А - диаграмма, иллюстрирующая раскрытие хромита для разных размеров частиц;

на фиг. 7Б - диаграмма, иллюстрирующая раскрытие силикатов для разных размеров частиц;

на фиг. 8 - графики извлечения PGM при использовании флотации крупных частиц;

на фиг. 9 - иллюстрация моделирования схемы с гравитационным сепаратором на основе экспериментальных данных, полученных для руды МПГ с хромом в качестве сопутствующего продукта.

Подробное описание осуществления изобретения

Настоящее изобретение относится к способу повышения извлечения хромита и МПГ из руды, содержащей смесь этих компонентов. В этом случае важно понимать формы нахождения минералов в рудных фазах.

Минералогия руд, содержащих МПГ и хромит

Минеральные зерна МПГ обычно не находятся внутри решетки хромита в рудах, содержащих смесь хромита и МПГ (ссылка 2, Penberthy). Вместо этого МПГ существуют в форме сульфидов, арсенидов и в металлической форме как дискретные минеральные зерна, которые прикреплены к прилегающим минеральным зернам хромита или силиката породы или прикреплены к зернам сульфидов цветных металлов или внедрены в них.

При измельчении руды для раскрытия минералов для последующего традиционного обогащения важно получить частицы таких размеров, при которых происходит раскрытие хромита из силикатной жильной породы, для обеспечения возможности получения хромитового концентрата с достаточной степенью чистоты.

Если иметь в виду извлечение хрома, то размер измельченных частиц, идеальный для гравитационного отделения хромита, должен превышать 150 мкм, и в этом случае объемная плотность частиц хромита в достаточной степени отличается от объемной плотности частиц остальной жильной породы, в результате чего обеспечивается высокая степень извлечения в гравитационном сепараторе.

Верхний предел размеров частиц для извлечения хрома будет зависеть от характеристик его раскрытия из руды. Для обеспечения приемлемого качества товарного хрома требуется почти полное раскрытие. Это происходит обычно при размерах частиц порядка 400 мкм для р80, когда эффективно гравитационное разделение. Однако для распределений размеров частиц (PSD, от англ. Particle Size Distribution), характерных для любых процессов измельчения и сортировки, некоторые МПГ и цветные металлы будут по-прежнему прикреплены к более крупным частицам хромита. Если эти комплексы содержат большей частью хромит, то они обеспечивают получение концентрата хромита после гравитационного разделения.

Минералы, содержащие МПГ, обычно имеют более высокую истинную плотность по сравнению с хромитом, несмотря на более тонкое измельчение. И плотность сульфидов цветных металлов, содержащих МПГ, находится между плотностью хромита и жильной породы. Таким образом, при любом распределении размеров частиц более крупные зерна сульфидов МПГ и цветных металлов будут иметь объемную плотность, аналогичную объемной плотности более мелких частиц хромита, что усложняет эффективное гравитационное разделение.

В частности, в случае руд, для которых получаемые МПГ генерируют существенную часть доходов, эти потенциальные потери МПГ в составе товарного хромита создают проблемы. Невозможно отделить эти МПГ от материала, подаваемого на гравитационное отделение хромита, или от товарного хромита с использованием традиционной технологии флотации, поскольку в этом случае выход МПГ и цветных металлов низок при размерах зерен, превышающих 150 мкм.

Итак, выбор крупного помола приводит высокому выходу хромита, однако при этом имеют место неприемлемые потери МПГ в составе товарного хромита. А при выборе тонкого помола можно обеспечить достаточный выход МПГ, но с высокими потерями хромита.

Эта альтернатива в традиционной технологии переработки показана схематически на фиг. 1.

Традиционная флотация МПГ эффективно работает при размерах частиц менее 150 мкм, в то время как эффективное гравитационное отделение хромита происходит при размерах частиц, превышающих 150 мкм. Руда может быть измельчена для получения частиц размерами вокруг указанной величины для обеспечения оптимального извлечения, однако распределение размеров частиц любой подаваемой измельченной и отсортированной руды подразумевает, что будут происходить потери, как мелких частиц хрома, так и крупных частиц МПГ.

В настоящем изобретении используется технология обогащения, которая обеспечивает эффективное извлечение большей части МПГ и цветных металлов для более крупных измельченных частиц, в сис-

теме обогащения, которая идеально подходит для характеристик раскрытия и гравитационного разделения руды, содержащей МПГ и хром.

Эта система обогащения работает со значительным перекрытием допустимых диапазонов размеров частиц, как для эффективного гравитационного отделения хромита, так и для эффективного извлечения МПГ. Такое перекрытие обеспечивает повышенный выход, как хрома, так и МПГ, для размеров измельченных частиц, подобранных наилучшим образом для конкретной руды.

Технологии обогащения, которые формируют часть системы обогащения, представляют собой флотацию крупных частиц, гравитационное разделение и традиционную флотацию.

Флотация крупных частиц

Флотация крупных частиц может осуществляться с использованием специализированной флотационной машины, такой как Eriez™ Hydrofloat. Машина Eriez Hydrofloat™ осуществляет процесс концентрирования на основе комбинации ожигения и флотации с использованием ожигающей воды, которую насыщают микропузырьками воздуха. Флотацию осуществляют с использованием концентраций флотационного реагента, реагента-коллектора и времени пребывания, подходящих для конкретного минерала, подлежащего флотации. В этом случае руда измельчена в достаточной степени для раскрытия большей части нефлотируемого продукта (хрома) и для обнажения, но не обязательно полного раскрытия минеральных зерен ценных цветных металлов и МПГ во флотируемой фракции. Выход процесса флотации крупных частиц с частично раскрытыми зёрнами минерала достаточно высок, и хвостовая фракция формирует песок, затраты на последующее измельчение и традиционную флотацию которого не окупаются.

Гравитационное отделение хромита

В гравитационном отделении используется разница в объемной плотности частиц для отделения менее плотных или более легких силикатов от более плотного или более тяжелого материала, содержащего хром. Для хромита гравитационное отделение обычно осуществляется с использованием спиральных сепараторов, однако этот процесс может быть выполнен с помощью других гравитационных сепараторов, таких как гидравлический классификатор, или отсадочная машина, или установка разделения в плотной среде.

Традиционная флотация

В традиционном процессе пенной флотации размеры частиц обычно не превышают 0,15 мм (150 мкм). Частицы руды смешивают с водой для формирования суспензии, и нужному минералу придают гидрофобность посредством добавления поверхностно-активного вещества или 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 данном случае МПГ и цветных металлов. 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 пересортировка, извлечение полезных продуктов из отходов.

По сравнению с традиционной флотацией флотация крупных частиц увеличивает размер частиц, при котором может быть обеспечено эффективное извлечение МПГ и цветных металлов. Флотацию крупных частиц осуществляют в поддерживаемом качающемся слое, без слоя пены, для повышения плавлучести более крупных и составных частиц различных минералов, к которым прикрепляются инъектируемые пузырьки.

Флотация крупных частиц может обеспечить высокую степень извлечения МПГ для частиц размерами до примерно 250 мкм, и умеренно эффективное извлечение составных частиц МПГ размерами до 500 мкм.

В этом случае имеет место перекрытие диапазонов размеров частиц, в котором хромит и МПГ могут быть отделены от силикатов породы, а именно, в диапазоне размеров от 150 до 250 мкм, происходит экстенсивное раскрытие хромита, и становится возможным его эффективное гравитационное отделение, а также возможно эффективное извлечение МПГ. См. фиг. 2.

Даже на краях этого диапазона размеров частиц происходит достаточно эффективное отделение хромита и МПГ.

Ранее было определено, что флотация крупных частиц способна обеспечивать всплытие сульфидов (ссылка 4), однако она не рассматривалась в контексте системы обогащения для селективного извлечения ценных компонентов из руд, содержащих хромит и МПГ.

Первый шаг системы, реализующей способ по настоящему изобретению, представляет измельчение и сортировку руды до размеров, идеальных как для извлечения МПГ с помощью флотации крупных частиц, так и для извлечения хромита, с достаточным выделением для получения товарного хромитового концентрата. При измельчении и сортировке руды целесообразно сузить (сжать) распределение размеров

частиц (PSD, от англ. Particle Size Distribution) вокруг оптимального размера частиц для р80, при котором осуществляется эффективное гравитационное отделение хромита. PSD может быть ограничено диапазоном размеров 0,2-0,6 мм, предпочтительно диапазоном 0,25-0,5 мм, и измельчающее оборудование регулируют для получения распределения размеров частиц на выходе, при котором количество частиц размерами <75 мкм меньше 30%, предпочтительно меньше 20%.

Эти размеры измельченных частиц и узкое PSD позволяют избежать излишнего формирования мелких частиц хрома (низкая объемная плотность), которые не могут быть извлечены в гравитационном сепараторе.

Такое более узкое PSD может быть получено путем выбора соответствующего оборудования измельчения и сортировки, как это известно специалистам в этой области техники. Например, было определено, что конусная дробилка, или роторная дробилка VSI с вертикальным валом, или дробилка Vero Liberator (описанная в заявке US 2016228879, содержание которой включается ссылкой в настоящую заявку), или мельница Energy Densification System (EDS) обеспечивают получение частиц с более узким распределением размеров частиц по сравнению с оборудованием с частичным самоизмельчением или с шаровой мельницей. Узкое PSD позволяет избежать излишнего формирования мелких частиц хрома, которые трудно извлечь в гравитационном сепараторе из-за их низкой объемной плотности, и больших составных зерен, извлечение МПГ из которых будет менее эффективным.

Это влияние PSD иллюстрируется схематически на фиг. 3, на которой большая часть материала, подаваемого на гравитационное отделение, содержит частицы, размеры которых находятся в диапазоне, оптимальном для извлечения, как хромита, так и МПГ.

В зависимости от конкретной руды предпочтительная последовательность операций системы обогащения может обеспечивать извлечение сначала МПГ или хромита, а другой ценный минерал извлекается из хвостовой фракции первоначального процесса извлечения.

Эта возможность выбора обеспечивает гибкость для адаптации настоящего изобретения к различным вариантам последовательности операций.

Как показано на фиг. 4, для варианта, в котором хромит будет извлекаться в первую очередь, первым шагом работы системы является дробление 10, измельчение 12 и сортировка 14 руды для получения размеров частиц, идеальных для производства хромита. Размеры измельчаемых частиц выбирают таким образом, чтобы обеспечивалось достаточное раскрытие зерен хромита для получения на выходе товарного хромитового концентрата. Как правило, оптимальный размер частиц будет в диапазоне от 0,2 до 1 мм для р80, в зависимости от характеристик руды, чаще всего в районе 0,4 мм, и классификатор 14 обеспечивает отделение фракции крупных частиц с размерами частиц, превышающими 150 мкм, которые подходят для гравитационного отделения, от фракции мелких частиц с размерами частиц менее 150 мкм.

После подготовки материала с подходящими размерами частиц хромит извлекают с помощью гравитационного сепаратора 16, такого как спиральный сепаратор, гидравлический классификатор или концентративный вибростол. В то время как мелкозернистые МПГ и цветные металлы будут давать после гравитационного разделения менее плотную фракцию силикатов, коммерчески значимая фракция будет представлять собой хромитовый концентрат. Размеры частиц (более 150 мкм) хромитового концентрата 18 подходят для его непосредственной подачи на флотацию 20 крупных частиц. Флотация 20 крупных частиц обеспечивает вывод МПГ и цветных металлов, которые оказались в составе крупнозернистого хромита.

В результате флотации 20 крупных частиц получают хромовый концентрат 22 и концентрат 24 МПГ, который смешивают с отходами 26 гравитационного разделения для повторного измельчения 28 для получения частиц с идеальными размерами (менее 100 мкм), которые подают на традиционную флотацию 30 МПГ для получения продукта 32 МПГ и хвостов 34 для вывода на хранение или дополнительного извлечения хрома, если это необходимо. Отсортированная мелкозернистая фракция 36 с размерами частиц менее 150 мкм после классификатора 14 может быть подвергнута повторному измельчению 28 и подана на традиционную флотацию 30.

На фиг. 5 приведена схема второго варианта осуществления изобретения, в котором флотацию крупных частиц осуществляют перед гравитационным разделением. В этом втором варианте руду подвергают дроблению 40 и измельчению 42 для получения размеров частиц, как в первом варианте. Руду подвергают сортировке 44 для получения материала 46 (размеры частиц больше 150 мкм), подходящего для извлечения МПГ и цветных металлов с использованием флотации 48 крупных частиц. Концентрат 50, получаемый в результате флотации крупных частиц, смешивают с нижним продуктом 64 классификации 44 и подвергают повторному измельчению 52 для получения размеров частиц, подходящих для традиционной флотации 54. Флотация 48 крупных частиц уменьшает содержание МПГ в материале, подаваемом на гравитационное разделение 56 и, соответственно, снижает возможность потерь МПГ в составе хромитового концентрата 58 после гравитационного разделения.

Нижний продукт 64 классификации 44 может быть подвергнут гравитационному разделению, чтобы извлечь некоторую часть хромита, перед измельчением для получения размеров частиц, идеальных для традиционной флотации 54. Отходы 60 гравитационного разделения 56 могут быть смешаны с концентратом 50, получаемым в результате флотации крупных частиц, и подвергнуты повторному измель-

чению 52 до размеров частиц менее 100 мкм), подходящих для традиционной флотации 54. Для некоторых руд отходы 60 гравитационного разделения 56, зависящие от размеров вкраплений хромита в руде и от эффективности флотации крупных частиц, могут быть такими, что дальнейшая переработка для извлечения МПГ или хромита будет экономически невыгодной, и их сразу же направляют в хвостохранилище 62. В результате традиционной флотации 54 получают продукт 64 МПГ и хвосты 66 для дополнительного извлечения хрома, если это необходимо.

Для обоих вариантов осуществления изобретения дополнительным выигрышем от повышения извлечения хрома является влияние на извлечение МПГ и на качество концентрата МПГ. За счет удаления большого количества хромита до традиционной флотации концентрация МПГ и цветных металлов в материале, подаваемом на традиционную флотацию, повышается, а содержание хромита уменьшается. Таким образом, возможность случайного захвата МПГ жильной породой в традиционной флотации существенно снижается.

По аналогичным причинам также снижается возможность случайного захвата мелкозернистого хромита концентратом МПГ. Это уменьшенное содержание хромита в концентрате МПГ может оказывать влияние на последующее плавление этого концентрата.

И наконец, хромитовый продукт с более крупными зёрнами, который может быть получен в результате применения изобретения, идеально подходит для специальных применений, таких как, например, использование в качестве формовочного песка.

Таким образом, достоинствами вышеописанной новой конфигурации процессов гравитационного обогащения и флотации крупных частиц, применяемых к извлечению хромита и МПГ, являются:

- более высокие уровни извлечения хромита в форме товарного концентрата;
- более высокие уровни извлечения МПГ и цветных металлов;
- пониженное содержание хромита в концентрате МПГ.

Примеры

Образец руды МПГ из жилы UG2 измельчали с использованием мельницы EDS. Распределение размеров частиц показано на фиг. 6. Из измельченного продукта брали образец материала с размерами частиц 100-300 мкм для минералогического анализа и последующих лабораторных испытаний отделения хромита с использованием концентрационного вибростала.

Раскрытие хромита и силикатов для разных размеров частиц иллюстрируется на фиг. 7А и 7Б.

Как можно видеть, почти 100% зерен хромита и силикатов раскрывались при размерах частиц до 300 мкм.

Последующая работа показала почти полное раскрытие хромита для частиц с размерами до 700 мкм для некоторых руд, и, таким образом, расширяется диапазон размеров частиц, для которых может применяться изобретение.

Эта высокая степень раскрытия означает, что эффективное гравитационное отделение хромита от жильной породы возможно в диапазоне размеров частиц, для которых объемные плотности обеспечивают возможность подходящего извлечения хромита (100-400 мкм), и раскрытие хромита остается почти полным.

Эффективное гравитационное отделение на фракции 100-300 мкм показано в таблице, где почти 60% хрома выводится в составе концентрата, содержащего Cr_2O_3 в среднем более 40%.

EDS - ТЕСТ 1. 70 ТРН

Поток	Масса (%)	Суммарн. масса (%)	Содерж.	Суммарн. содерж.	Извлечение	Суммарн. извлечение
			Cr_2O_3	Cr_2O_3	Cr_2O_3	Cr_2O_3
			%	%	%	%
Конц. 1	2,24	2,24	44,30	44,30	2,97	2,97
Конц. 2	3,14	5,38	43,10	43,60	4,05	7,02
Конц. 3	4,7	10,08	44,60	44,07	6,27	13,29
Конц. 4	6,1	16,18	43,00	43,66	7,85	21,14
Промеж. 1	14,9	31,08	40,60	42,20	18,10	39,24
Промеж. 2	15,1	46,18	39,10	41,18	17,67	56,91
Хвосты 1	27,1	73,28	34,30	38,64	27,82	84,73
Хвосты 2	26,72	100	19,10	33,42	15,27	100,00
Всего	100,0		33,42		100,00	

Исходное содержание 33.90

Кроме того, без предшествующей флотации крупных частиц порядка 10% МПГ и цветных металлов теряется в составе хромитового продукта. Это отделение 10% МПГ показывает необходимость флотации крупных частиц для уменьшения потерь МПГ.

Минералогический анализ хромитового продукта показывает, что потеря МПГ в составе хромито-

вого продукта происходит большей частью из-за раскрытых МПГ и МПГ, прикрепленных к сульфидам цветных металлов. Обе эти минеральные формы потенциально являются флотуруемые, как перед гравитационным отделением хромита, так и после него.

В процессе измельчения МПГ больше концентрируются в более мелких частицах, размеры которых не превышают 100 мкм, так что они могут направляться непосредственно на традиционную флотацию. В результате исходный материал для гравитационного отделения с размерами частиц 100-400 мкм, как правило, содержит порядка 40% среднего содержания ценного компонента исходной руды.

Испытания флотации крупных частиц на различных образцах руд МПГ перед отделением хромита дают среднее извлечение МПГ из фракции частиц размерами 100-300 мкм порядка 80-90% от содержания МПГ в несортированной руде.

Извлечение МПГ при использовании флотации крупных частиц сравнимо с извлечением на первом и втором этапах традиционной флотации, осуществляемой на частицах размерами 150 мкм для р80 (порядка 65%). Таким образом, для некоторых руд, для которых происходит значительное раскрытие МПГ, дальнейшее извлечение МПГ из отходов флотации крупных частиц может не окупаться.

Независимо от того, осуществляется ли извлечение МПГ посредством флотации крупных частиц руды перед гравитационным отделением или из хромитового концентрата после гравитационного отделения, можно ожидать, что потери МПГ в составе хромитового продукта будут низкими. Стадия обогащения с использованием гравитационного отделения умеренно эффективна для отделения МПГ от хромита, и при дополнении ее флотацией крупных частиц суммарное отделение происходит с высокой эффективностью.

На фиг. 9 приведена иллюстрация моделирования схемы с гравитационным сепаратором на основе экспериментальных данных, полученных для руды МПГ с хромом в качестве сопутствующего продукта. Эта проверка была предназначена для определения верхнего размера отделяемых частиц, который еще возможен для эффективного извлечения хрома и МПГ с использованием дополнительного извлечения МПГ из хромитового продукта посредством флотации крупных частиц. Добытую руду 70 подвергают дроблению для получения кусков размерами 40 мм и измельчают в установке 72 EDS. Измельченную руду подвергают сортировке 74 для обеспечения фракции 76 частиц размерами от -850 мкм до +106 мкм и фракции 78 частиц размерами +850 мкм. Фракцию 76 подают в установку 80 спирального гравитационного разделения для обеспечения хромового концентрата 82 и хвостов 84, содержащих большую часть МПГ. Фракцию 78 измельчают в мельнице 86 для получения частиц размерами, идеальными для флотации МПГ, и измельченную фракцию 88, хвосты 84 и фракцию 92 частиц размерами -106 мкм после сортировки 74 подвергают флотации 90 крупных частиц.

Размеры частиц для гравитационного отделения были в диапазоне 106-850 мкм, и 28% массы исходной руды обеспечивали после гравитационного отделения получение хромитового концентрата, содержащего 42% Cr_2O_3 . Этот хромовый концентрат содержит МПГ 2Е в количестве всего 0,6 г/тонна.

Минералогический анализ показал, что большая часть этих МПГ находятся в более мелкозернистых фракциях и раскрываются из хромита, так что они могут быть легко извлечены с помощью флотации крупных частиц.

Испытания последующей флотации крупных частиц показали извлечение 60% МПГ из этого хромитового продукта, указывая на то, что порядка 97% МПГ в исходной несортированной руде являются результатом флотации МПГ примерно в 75% исходной массы несортированной руды.

Уменьшенная пропускная способность для извлечения МПГ обеспечивает возможность более тонкого измельчения и улучшенного качества материала, подаваемого на флотацию МПГ, так что извлечение МПГ посредством традиционной флотации улучшается по сравнению с обычно используемыми операциями.

Ссылка 1: Опыт производства хромитовых концентратов UG2, пригодных для металлургической обработки, из потоков хвостов МПГ, N.F. Dawson, The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, том 8, ноябрь 2010, стр. 683-690.

Ссылка 2: Penberthy и др., Mineralogy and Petrology, март 2000, том 68, выпуск 1-3, стр. 213-22.

Ссылка 3: Mankosa и др., июнь 2018, Minerals Engineering, 121:137-145.

Ссылка 4: Miller и др., Значимость площади открытой поверхности зерен, IMPC, 2016: XXVIII International Mineral Processing Congress Proceedings, 11-15 сентября, г. Квебек, Канада.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ повышения извлечения хромита и металлов платиновой группы (МПГ) из руды, содержащей смесь хромита и МПГ, в котором:

а) измельчают руду для получения распределения размеров частиц в диапазоне от 0,2 до 0,6 мм для р80 с содержанием менее 30% частиц с размерами менее 75 мкм;

б) осуществляют сортировку измельченной руды для получения крупнозернистой фракции частиц размерами от 100 до 150 мкм или более и мелкозернистой фракции частиц размерами менее 100-150 мкм;

в) осуществляют гравитационное разделение крупнозернистой фракции и флотации крупных час-

тиц с получением хромитового концентрата и концентрата МПГ от флотации крупных частиц;

г) осуществляют тонкое измельчение концентрата МПГ от флотации крупных частиц для получения потока тонкоизмельченных частиц с размерами менее 150 мкм; и

д) подвергают поток тонкоизмельченных частиц, полученных на шаге (г), традиционной флотации для получения товарного концентрата МПГ.

2. Способ по п.1, в котором размеры частиц, полученных на шаге (а), находятся в диапазоне от 0,25 до 0,5 мм для р80.

3. Способ по п.1, в котором на шаге (а) используют измельчающее оборудование для получения распределения размеров частиц материала, содержащего менее 20% частиц с размерами менее 75 мкм.

4. Способ по п.1, в котором на шаге (а) используют измельчающее оборудование типа VSI, EDS или Vero Liberator.

5. Способ по п.1, в котором крупнозернистая фракция на шаге (б) содержит частицы с размерами 150 мкм или более, подходящие для гравитационного разделения и флотации крупных частиц, а мелкозернистая фракция содержит частицы с размерами менее 150 мкм.

6. Способ по п.1, в котором на шаге (г) концентрат МПГ от флотации крупных частиц тонко измельчают для получения потока тонкоизмельченных частиц с размерами менее 100 мкм.

7. Способ по п.1, в котором на шаге (б) флотацию крупных частиц осуществляют после гравитационного обогащения.

8. Способ по п.7, в котором

на шаге (в) руду, отсортированную на шаге (б), подвергают гравитационному разделению для получения хромового концентрата и более легкого потока гравитационного разделения; и хромовый концентрат подвергают флотации крупных частиц для получения концентрата МПГ от флотации крупных частиц и товарного хрома;

на шаге (г) поток хвостов гравитационного разделения и концентрат МПГ от флотации крупных частиц подвергают тонкому измельчению для получения потока тонкоизмельченных частиц; и

на шаге (д) поток тонкоизмельченных частиц подвергают традиционной флотации для получения товарного концентрата МПГ.

9. Способ по п.1, в котором на шаге (б) флотацию крупных частиц осуществляют перед гравитационным обогащением.

10. Способ по п.9, в котором

на шаге (в) руду, отсортированную на шаге (б), подвергают флотации крупных частиц для получения концентрата МПГ от флотации крупных частиц и потока хвостов флотации крупных частиц; и поток хвостов флотации крупных частиц подвергают гравитационному разделению для получения хромового концентрата и потока хвостов гравитационного разделения;

на шаге (г) концентрат МПГ от флотации крупных частиц и поток хвостов гравитационного разделения подвергают тонкому измельчению для получения потока тонкоизмельченных частиц; и

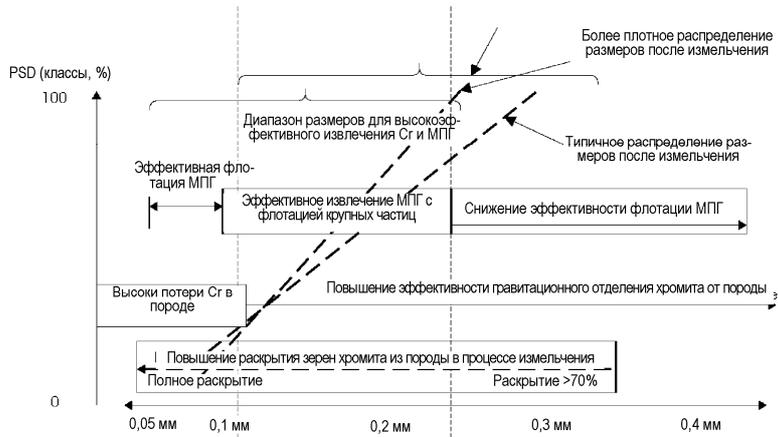
на шаге (д) поток тонкоизмельченных частиц подвергают традиционной флотации для получения концентрата МПГ.



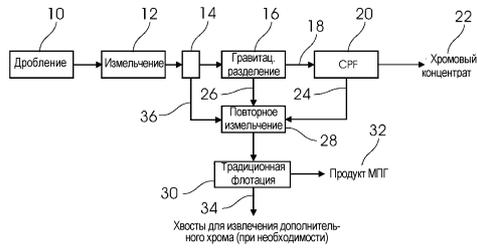
Фиг. 1



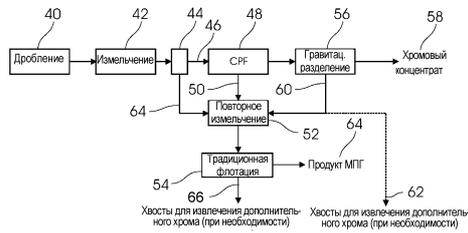
Фиг. 2



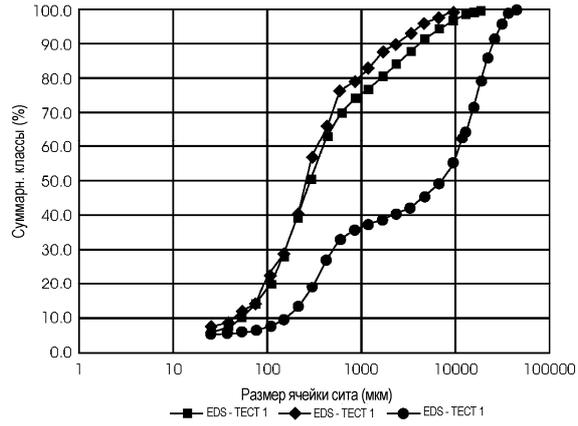
Фиг. 3



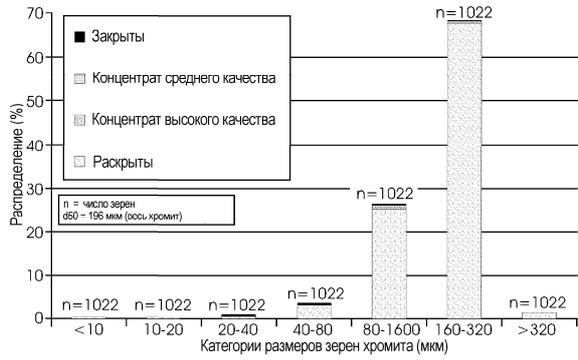
Фиг. 4



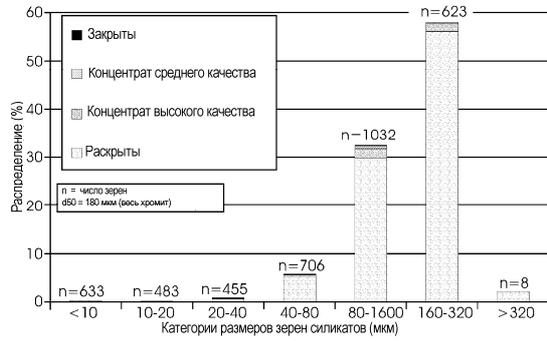
Фиг. 5



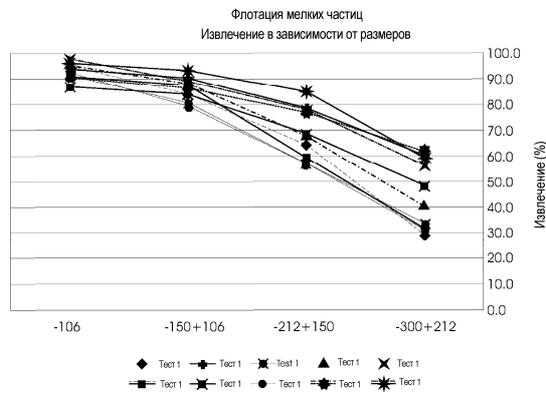
Фиг. 6



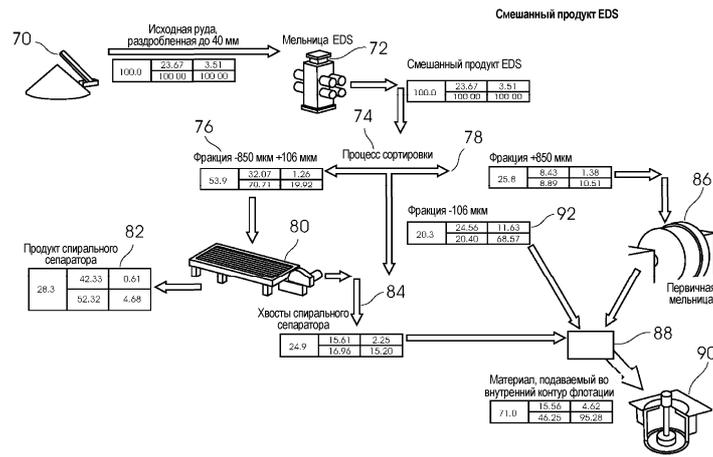
Фиг. 7А



Фиг. 7Б



Фиг. 8



Фиг. 9

