

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата технических наук Ключникова Антона Михайловича

на диссертацию Глаголевой Ирины Викторовны

«Совершенствование технологии комплексной переработки клинкера вельцевания цинковых кеков», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых

Актуальность диссертационной работы

Диссертация посвящена совершенствованию схемы переработки лежащего клинкера вельцевания цинковых кеков, что является актуальной научно-практической задачей.

Мировое потребление цветных металлов неуклонно растёт, а запасы полезных ископаемых сокращаются. Состояние сырьевой базы предприятий цветной металлургии требует бережного отношения к используемому сырью. Стабильный спрос на чёрные и цветные металлы и энергоносители, истощение природных ресурсов и высокая капиталоемкость разработки новых месторождений обуславливают необходимость проведения исследований с целью создания технологий, позволяющих перерабатывать вторичное сырьё более рационально и комплексно. Клинкер, полученный в процессе вельцевания цинковых кеков, является одним из многотоннажных вторичных техногенных образований и характеризуется сложным химико-минералогическим составом. Для переработки подобного сырья необходимо использование современных достижений науки и техники в области обогащения полезных ископаемых, а совершенствование технологии его комплексной переработки является актуальной научно-практической задачей. В связи с этим тема исследования является весьма актуальной.

В диссертационной работе автором решён комплекс задач, связанных:

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И.Носова»
за № _____
Дата регистрации <u>04.12.2023</u>
Фамилия регистратора _____

- с проведением анализа современного состояния в сфере теории и практики переработки клинкера в России и за рубежом;

- с изучением характера минеральных ассоциаций, текстурно-структурных особенностей и технологических свойств клинкера, установление минеральных форм железа, меди и цинка, определяющих трудную обогатимость сырья;

- с обоснованием рациональных параметров обогатительных операций и изучением возможности повышения содержания меди в промежуточном продукте перед флотацией с использованием комбинации магнитного и гравитационного методов;

- с выявлением (путём использования потенциометрической диагностики процессов, происходящих в пульпе) причин низкой эффективности медной флотации, а также обоснованием (на основе установленных закономерностей разделения минеральных фаз клинкера в зависимости от использования сочетаний реагентов) эффективного реагентного режима;

- с обоснованием и усовершенствованием комбинированной схемы обогащения клинкера;

- с экономической оценкой практической реализации разработанных решений.

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 174 страницах машинописного текста, содержит 52 таблицы, 54 рисунка, список использованной литературы включает 131 наименование.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается согласованностью результатов, полученных различными методами исследования, с данными практики, положительными результатами применения научно-методических положений диссертации в укрупнённых лабораторных испытаниях.

Диссертация является завершённым научным исследованием. Изложение представленного материала носит последовательный характер, выполнено логично и грамотно, а оформление отвечает требованиям регламентирующих

документов. Обработка результатов выполнена при помощи современных компьютерных и информационных технологий. Диссертация отвечает всем требованиям, предъявляемым к научно-исследовательским работам, представляемым на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Структура и содержание диссертации соответствуют целям и задачам исследования. Выводы и полученные результаты достоверны и обоснованы.

Научные положения

Результаты исследований сформулированы автором в трех научных положениях, выносимых на защиту.

Первое положение. Распределение медных техногенных минералов между сростками с магнитными фазами клинкера (пирротинном, магнетитом) и более 25% с немагнитными фазами (FeS_2 , FeS , $(Ca,Na)_2(Mg,Al)[(Si,Al)_2O_7]$), плотность рядовых и богатых сростков минералов меди с основными немагнитными фазами клинкера, обеспечивающая коэффициент гравитационного разделения их с коксом более 1,75, и наличие ферритных медьсодержащих твердых растворов обуславливает необходимость комбинации магнитных и гравитационных методов разделения для концентрирования медьсодержащих фаз клинкера в питании флотации.

В рамках этого положения установлены особенности вещественного состава и технологические свойства клинкера вельцевания, показано, что часть железосодержащих фаз, атомарный состав которых близок к составу минералов пирит-пирротинового ряда, представлена троилитом; присутствие в клинкере около 11% сульфидов железа в преимущественно немагнитной форме при сепарации пробы крупностью менее 3 мм обуславливает целесообразность включения в состав схем обогащения клинкера помимо магнитной сепарации операций гравитационного разделения; гравитационное разделение кокса и рядовых, богатых сростков халькозина и халькопирита с основными фазами клинкера будет эффективно при крупности последнего -0,5 мм; морфометри-

ческие параметры сульфидов меди подтверждают необходимость тонкого измельчения клинкера для селективного их извлечения; целесообразно введение в технологическую схему флотационных операций.

Второе положение. Повышение флотационного извлечения меди в концентрат при снижении массовой доли железа в нем достигается комплексом технологических решений путем введения: сернистого натрия для уменьшения отрицательных эффектов от перехода ионов железа в жидкую фазу пульпы и образования комплексных соединений с ксантогенатом $Fe(OH)Kx_2$; фторсиликата натрия для снятия экранирующей поверхность минералов гидроксидов железа в расходах, определенных потенциометрической диагностикой по уменьшению отклонения потенциала от линии электрохимической модели; медного купороса для активации флотации медьсодержащих твердых растворов.

Изучены физико-химические основы мешающего влияния растворимых и труднорастворимых соединений железа на флотацию меди. Результаты потенциометрической диагностики показывают, что в пульпе присутствуют ионы железа в виде $Fe(OH)^+$, образующие с ксантат-ионом комплексы вида $Fe(OH)Kx_2$, что приводит к перерасходу ксантогената и образованию гидроксидных пленок на поверхности минералов меди. Предложен способ борьбы с этим явлением, приводящий к повышению гидрофильности поверхности. Установлено, что расходы натрия кремнефтористого, медного купороса, а также уровень pH являются значимыми факторами при флотации медных минералов из клинкера.

Третье положение. Комбинированная магнитно-гравитационно-флотационная технология переработки медистых клинкеров вельцевания цинковых кеков позволяет осуществить безотходное разделение клинкера на три продукта, пригодных для использования в смежных отраслях черной и цветной металлургии: медьсодержащий $\beta_{Cu}=14,52$ %, железосодержащий $\beta_{Fe}=50,17$ %, углеродсодержащий $\beta_C=40$ %.

Технологическая схема была научно обоснована и оптимизирована в отношении реагентного режима флотации, последовательности операций и режимов гравитационного и магнитного обогащения. В результате было обеспечено извлечения меди в медный концентрат 81,29 %, а железа в железный концентрат – 86,29 %. Извлечение угля в угольный концентрат составило 95,46 %. При указанном качестве концентратов данные показатели обогащения являются очень высокими, ранее в научной и промышленной практике для лежащего клинкера цинкового завода (г. Челябинск) не достигались. Особая важность и ценность работы состоит в одновременном достижении высокой эффективности обогащения для трех видов продуктов, что оказалось возможным благодаря хорошей проработке научных основ обогащения клинкера.

Полученные продукты могут с успехом применяться в цветной и черной металлургии. Медный концентрат подходит для переработки на медеплавильных заводах. Углеродсодержащий продукт (коквик, угольный концентрат), можно использовать при вельцевании цинковых кеков, как восстановитель при фьюминговании, как топливо при плавке медных концентратов и т.д. Железосодержащий продукт (железный концентрат) может быть использован как добавка в шихту агломерационного производства. Наличие в железном концентрате металлической фазы железа открывает возможность использования его в том числе для цементационного извлечения меди из шахтных, подотваль-ных и рудничных вод.

Достоверность и научная новизна

Достоверность результатов основывается на использовании сертифицированного оборудования, современных методик проведения исследований и специализированного программного обеспечения при обработке результатов экспериментов, обеспечивается надежностью и представительным объемом исходных данных, согласованностью выводов теоретического анализа и данных эксперимента, адекватностью полученных моделей, сходимостью результатов химического анализа.

Научная новизна связана с вскрытием тонких особенностей фазового состава клинкера вельцевания, заключающихся в одновременном присутствии в сростковом составе разных минералов пирит-пирротинового ряда и в распределении медьсодержащих фаз клинкера между железосодержащими магнитными и немагнитными фазами; с установлением факторов, влияющих на недостаточно полное извлечения медьсодержащих фаз в концентрат и высокий расход собирателя в режимах медной флотации клинкера; с предложенным подходом к обоснованию выбора крупности материала для эффективного разделения техногенных фаз клинкера в физических и физико-химических процессах обогащения; с получением уравнения, описывающего влияние расхода реагентов-модификаторов и рН среды на извлечение меди в концентрат.

Защищаемые научные положения и выводы, представленные в работе, обоснованны, обладают научной новизной и практической значимостью, подтверждаются результатами экспериментов.

Значимость полученных результатов для науки и практики

Результаты работы (в частности, получение трёх продуктов и повышение технологических показателей извлечения меди, технология комплексной переработки клинкера) имеют практическое значение и представляют безусловный научный интерес для специалистов в области обогащения полезных ископаемых.

Общая оценка диссертации

Диссертационная работа Глаголевой Ирины Викторовны «Совершенствование технологии комплексной переработки клинкера вельцевания цинковых кеков» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему.

Основные положения диссертационной работы достаточно широко докладывались и обсуждались на ряде представительных научных форумов («Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (Магни-

тогорск, 2017, 2019-2021 гг.), «Комбинированная геотехнология: Ресурсосбережение и энергоэффективность» (Магнитогорск, 2017 г.), «Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья» (Красноярск, 2017), «Проблемы недр в XXI веке глазами молодых» (Москва, 2019 г.), «Строительство, архитектура и техносферная безопасность» (Сочи 2020 г.), «Неделя горняка» (Москва, 2021 г.), «Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья» (Владикавказ, 2021 г.).

Печатные работы автора всесторонне и полно освещают основные положения диссертации: опубликовано 16 научных работ, из них 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ; 2 – в изданиях, индексируемых в базе цитирования Scopus; 10 – в прочих печатных изданиях, также зарегистрирована программа для ЭВМ.

Личный вклад автора в публикации, выполненные в соавторстве, заключается: в сборе и анализе априорной информации; постановке и проведении экспериментов; в обработке и интерпретации экспериментальных данных, проведении расчетов и получении математической полиномиальной модели; в анализе, обобщении полученных результатов и обосновании выводов; в подготовке публикаций; в оценке контрастности крупнокускового сырья с использованием разработанной автором программы для ЭВМ; в разработке новых технологических решений при обогащении клинкера.

По представленной диссертационной работе имеются следующие вопросы и замечания:

1. Следовало бы привести фазовый состав исходного клинкера и конечных продуктов его обогащения по рекомендуемой схеме (по аналогии с таблицей 1.3 на стр.21). Это сделало бы интерпретацию полученных результатов обогащения более наглядной.
2. Изучали ли, как распределяются драгоценные металлы в продуктах обогащения клинкера согласно рекомендуемой схеме?

3. Можно ли применять разработанную технологию при переработке лежалого клинкера других предприятий? В частности, как изменятся показатели обогащения при переработке согласно разработанной технологии лежалого клинкера завода «Электроцинк»?
4. Каков фазовый состав железа в полученном железосодержащем продукте (концентрате)?
5. Чем обосновано принятие величины коэффициента цены $K_{ц} = 0,5$ при расчёте стоимости продукции в рамках технико-экономического обоснования предложенной технологии?

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной работы.

Заключение

Диссертация Глаголевой Ирины Викторовны «Совершенствование технологии комплексной переработки клинкера вельцевания цинковых кеков» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему.

Результаты работы соответствуют пункту 1 «Технологическая минералогия. Изучение взаимосвязи состава, структуры, физических свойств и генетических особенностей минерального вещества с его технологическими свойствами. Технологическая оценка минерального сырья», пункту 3 «Повышение контрастности технологических свойств разделяемых минералов. Физические, физико-химические и химические процессы разделения, концентрации и переработки минералов, руд, промежуточных продуктов переработки природного и техногенного минерального сырья. Физико-химические и энергетические методы интенсификации процессов обогащения и выщелачивания природного и техногенного минерального сырья», пункту 5 «Технологии и аппараты физико-химической, химической, биохимической, химико-металлургической переработки и обогащения полезных ископаемых» паспорта научной специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Диссертационная работа Глаголевой Ирины Викторовны полностью соответствует требованиям п. п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., №842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор достойна присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.

Официальный оппонент:
кандидат технических наук
(специальность 25.00.13
Обогащение полезных ископаемых),
ведущий научный сотрудник
лаборатории гидрометаллургии
АО «Уралмеханобр»



Клюшников Антон Михайлович

« 1 » декабря 2023 г.

Клюшников А.М. согласен на обработку персональных данных



Адрес: 620063, г. Екатеринбург, ул. Хохрякова, д. 87
Телефон: +7 (343) 344-27-42, доб. 2076, +7 (950) 651-09-25
E-mail: kl-anton-mih@yandex.ru

Подпись *Клюшников А.М.* заверяю
Начальник *О.В. Антонова*

