

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию А.С.Тимофеева

«Повышение эффективности тяжелосредной сепарации алмазосодержащего сырья за счет снижения интенсивности окисления ферросилиция», представленной на соискание ученой степени кандидате технических наук по специальностям: 25.00.13 «Обогащение полезных ископаемых»

Алмазодобывающая отрасль в Российской Федерации является важнейшим источником пополнения золото-валютных резервов государства и обеспечивает устойчивое развитие станкоинструментальной и нефтегазовой отраслей промышленности, в которых используется режущий и буровой инструмент с применением природных технических алмазов.

Технологические схемы обогащения кимберлитов и россыпных алмазосодержащих месторождений, в отличие от схем, по которым обогащаются большинство руд цветных и черных металлов и угля, являются наиболее сложными как по своей структуре, так и по используемым методам обогащения. В мировой практике обогащения подобного сырья успешно используется рентгено-люминесцентная сепарация (РЛС), тяжелосредная сепарация (ТСС), пенная сепарация, жировой процесс, магнитная и электрическая сепарации. В первичных циклах обогащения алмазосодержащего сырья наибольшее применение нашло сочетание РЛС и ТСС.

Основной проблемой устойчивой и эффективной работы тяжелосредной сепарации мелких классов алмазов является обеспечение и сохранение реологических свойств тяжелых суспензий, приготовленных на базе ферросилиция.

Научному обоснованию сохранения реологических свойств тяжелых суспензий, основанных на замедлении процессов окисления ферросилиция

при его нахождении в контакте с технологической водой суспензий, посвящена настоящая диссертация.

Объектом исследований явился процесс тяжелосредной сепарации на обогатительной фабрике №3 Мирнинского ГОКа АК «АЛРОСА».

Применительно к данному объекту на основе математического моделирования процесса окисления ферросилиция автором обоснован благоприятный гранулометрический состав утяжелителя, позволяющий сохранить требуемую плотность суспензии и способность регенерации ферросилиция. Реализация способа с применением барботажа суспензии азотом позволила снизить потери ферросилиция в технологическом процессе ТСС ОФ №3 Мирнинского ГОКа АК «АЛРОСА».

Автором по теме диссертации опубликовано 7 научных трудов; в изданиях рекомендованных ВАК РФ – 2.

По своей структуре диссертационная работа объемом 121 страниц машинописного текста состоит из введения, пяти глав, выводов и заключения и приложений. Список использованных источников содержит 105 наименований, из которых 5 – иностранных.

В главе 1 дан анализ современного состояния тяжелосредной сепарации алмазосодержащих кимберлитов и методов повышения ее эффективности.

В главе, в основном, рассмотрен отечественный опыт применения ТСС при обогащении алмазосодержащего сырья, хотя пионером использования данного метода является ЮАР (Де Бирс, 1939 г., инжиниринговые компании BATEMAN, DRA; алмазодобывающие рудники Финч, Венетия и др).

Автором показано, что, несмотря на близость плотностей алмаза, его аксессуарных и породных минералов, тяжелосредная сепарация, контролируемая должным образом, имеет высокую точность разделения, особенно проявляющуюся при обогащении мелких классов алмазов.

Далее рассмотрены типы и свойства тяжелых суспензий и, в частности, используемых в процессе обогащения алмазов в тяжелосредных

гидроциклонах, от которых зависит стабильная работа тяжелосредних аппаратов. К таким свойствам отнесены плотность суспензий, их вязкость, вид используемого ферросилиция (гранулированный, молотый), гранулометрический состав суспензоида. Говоря о виде ферросилиция, автор отдает предпочтение гранулированному ферросилицию, рассматривая его способность к отмывке от минеральных зерен и уменьшение интенсивности его окисления. Необходимо отметить, что суспензии на основе только гранулированного ферросилиция более склонны к расслоению и менее стабильны, чем суспензии, изготовленные на основе комбинации гранулированного и молотого ферросилиция.

Наиболее важным разделом первой главы является анализ причин потерь ферросилиция в процессах тяжелосреднего обогащения, одной из которых является поверхностная коррозия зерен ферросилиция. Исходя из сути работы, автор считает ее основной и ищет способы замедления коррозии в процессе эксплуатации ферросилициевой суспензии.

Глава 2 носит традиционно методический характер. Непонятно, почему описание технологической схемы ТСС, применяемой на ОФ №3 Мирнинского ГОКа включена в методическую главу 2, а не в главу 1. В главе отсутствуют описание объекта исследований, под которым автор безусловно понимает суспензоид, и методики определения реологических свойств суспензий. Из главы следует, что для определения магнитных свойств ферросилиция и формы его зерен, а так же жидкой фазы суспензий в работе применено современное физическое и физико-химическое оборудование.

Основной главой, определяющей теоретические положения работы, является глава 3.

Основой главы является технологическое обоснование потерь ферросилиция, связанных с его поверхностным окислением в технологических водах обогатительных фабрик АК «АЛРОСА». По степени минерализации автор отнес технологические воды отдельных фабрик к трем

типам: не минерализованные, мало минерализованные (ОФ №8, ОФ №14) и высоко минерализованные (ОФ №3, ОФ №12). В таблице 3.1 дан подробный ионный состав таких вод. Отсюда следует, что приготовление тяжелых суспензий на основных обогатительных фабриках производится с использованием минерализованных технологических вод, что может привести в процессе эксплуатации суспензий к коррозии суспензоида и, как следствие, к потере его плотности и магнитных свойств.

Необходимо отметить, что на представленных микрофотографиях (рис. 3.1 – 3.2) зерна ферросилиция имеют неправильную угловатую форму, более характерную для молотого, а не гранулированного ферросилиция, о котором говорит автор.

Такое изучение состава вод и состава и формы зерен ферросилиция необходимо отнести к достоинствам работы.

Основная часть главы посвящена разработке модели процесса окисления зерен ферросилиция.

Исходными постулатами при разработке модели явилась форма зерна ферросилиция – шар, потеря магнитных свойств частицей в результате ее поверхностной коррозии, постоянная скорость коррозии от поверхности зерна к его центру.

Автор предполагает, что в результате коррозии зерна, при его нахождении в контакте с агрессивной жидкой фазой суспензии, будет происходить потеря удельной намагниченности насыщения зерна J_s за время его контакта τ с жидкой фазой, по сравнению с исходной намагниченностью зерна J_0 ($\tau = 0$). За функцию отклика модели принято отношение J_s/J_0

Можно согласиться с данными постулатами, как с первым приближением при моделировании изменения магнитных свойств отдельного зерна ферросилиция.

Достоинством разработанной модели явился переход от отдельного зерна к коллективу зерен с заданной автором функцией распределения зерен

по крупности. Однако, в качестве функций распределения зерен по крупности автором выбраны равномерное и нормальное распределения.

Очевидно, первое распределение выбрано автором для простоты решения поставленной задачи, так как хорошо известно распределение зерен ферросилиция по крупности в реальных суспензиях. Выбор второго вида распределения требует более глубокого обоснования.

При рассмотрении конкретных примеров расчета относительной потери магнитных свойств коллектива зерен ферросилиция (стр. 48) непонятно откуда взята величина скорости окисления зерна, равная 0,091 мкм/сутки.

В остальной части главы автор рассматривает применение разработанной модели к процессам окисления зерен ферросилиция разных марок, используемых на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА». В данном случае автор правильно перешел от нормального распределения зерен по крупности к реальным функциям их распределения, полученным экспериментально.

Далее автор показал реальную потерю магнитных свойств ферросилициевых суспензий при использовании оборотных вод обогатительных фабрик в процессе эксплуатации суспензий (табл. 3.6) и дал рекомендации по выбору марки ферросилиция для использования на установках ТСО. Это несомненно можно отнести к достоинствам работы.

В главе 4 изучено изменение свойств ферросилициевой суспензии при ее поддержании во взвешенном состоянии с использованием барботирования воздухом.

Для определения причин потерь ферросилиция в различных операциях ТСС на ОФ №3 МГОКа было выполнено опробование схемы ТСС. В результате опробования выявлены четыре причины потерь ферросилиция, две из которых относятся непосредственно к теме диссертации (приложение А):

- потери ферросилиция в процессе регенерации ферросилициевой суспензии вызванные снижением магнитных свойств зерен ферросилиция,
- потери ферросилиция, связанные с его ошламованием, как следствие коррозии поверхности зерен утяжелителя при барботаже суспензии воздухом.

По оценке автора, на данный вид потерь приходится до 30% относительных от всех потерь ферросилиция (табл. 4.1). Именно это предопределило направление дальнейших экспериментальных исследований автора.

В главе подробно изучено изменение рН и ОВП жидкой фазы ферросилициевой суспензии при ее барботировании воздухом в течение 7 суток. Из результатов исследований следует отрицательное влияние перемешивания суспензии воздухом на технологические свойства суспензии. В этом случае происходит уменьшение магнитных свойств утяжелителя примерно на 30% и увеличение содержания шламовых немагнитных частиц в суспензии до 4%.

Исходя из полученных результатов исследований, автор предложил замену воздуха, как перемешивающего суспензию агента на азот и подробно изучил влияние замены воздуха на азот на магнитные свойства ферросилиция и его шламообразование (рис. 4.12 – 4.15, табл.4.2). Результатом исследований явился способ уменьшения коррозии зерен ферросилиция заключающийся в замене воздуха на азот при его подаче в аппараты перемешивания суспензии для поддержания ее во взвешенном состоянии.

Однако, в работе не исследовано влияние хлор- ионов в жидкой фазе суспензии на коррозию зерен ферросилиция, что можно отнести к недостаткам работы.

В главе 5 приведены результаты промышленных испытаний способа перемешивания ферросилициевой суспензии с применением азота. При проведении промышленных испытаний была использована азотная станция

ОХУМАТ N-800 ЕСО вырабатывающая азот. Результаты промышленных испытаний показали, что за 8 суток контакта суспензии с воздухом потери ферросилиция составили 30% от его загрузки, а при использовании азота потери ферросилиция снизились в 2,5 раза и составили 12%.

Ожидаемый эффект от внедрения предложенного автором способа может составить 2,9 млн. руб. в год.

Научное значение работы заключается в том, что на основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований обоснована возможность промышленного освоения нового способа торможения коррозионных процессов окисления зерен ферросилиция в тяжелосредних водных суспензиях тяжелосреднего обогащения алмазосодержащих кимберлитов с использованием азота.

Практическое значение работы состоит в том, что разработанный способ снижения интенсивности окисления ферросилиция за счет замены барботажного агента в операциях приготовления и хранения суспензии с воздуха на азот может дать сокращение потерь ферросилиция до 5%

Достоверность полученных результатов обоснована комплексом современных физических, физико-химических, химических, минералогических методов исследований зерен ферросилиция (магнитометрия, анализ размера частиц, капиллярный электрофорез, сканирующая электронная микроскопия, рентгено-флуоресцентный анализ), большим объемом лабораторных, полупромышленных исследований и опытно-промышленных испытаний, предложенной автором технологии сохранения магнитных свойств ферросилиция в процессе его эксплуатации.

Теоретические и практические выводы обоснованы анализом результатов исследований состава исходных и корродированных зерен ферросилиция и экспериментальным подтверждением в полупромышленных и опытно-промышленных условиях основных принципов, заложенных в технологию подготовки ферросилициевой суспензии в процессе ее эксплуатации в установках ТСС.

Представленные автором публикации отражают основное содержание диссертации. Автореферат диссертации полностью соответствует тексту и основным выводам диссертации.

По диссертационной работе имеются следующие замечания:

1. При изучении влияния коррозии на свойства зерен ферросилиция автор сосредоточил свое внимание на изменении магнитных свойств утяжелителя. Хорошо известно, что сепарационные характеристики процесса ТСС в тяжелосредних гидроциклонах зависят от плотности суспензий, которая снижается в процессе обогащения алмазосодержащего сырья, в том числе и вследствие коррозии зерен ферросилиция. Данный вопрос в работе не затронут.
2. В главе 1 автор утверждает, что в ТСС, на обогатительных фабриках АК «АЛРОСА» используется гранулированный ферросилиций. Возможно, поэтому в качестве формы модельного зерна ферросилиция при разработке модели его коррозии выбран шар. Однако все микрофотографии зерен ферросилиция, представленные в работе, свидетельствуют об их неправильной угловатой форме, что не может не сказаться на виде предложенной автором модели.
3. Основной постулат при разработке модели, сформулированный автором, заключается в постоянстве скорости течения процесса коррозии зерен ферросилиция. С этим трудно согласиться, так как из законов кинетики гетерогенных химических реакций известно, что скорость процесса, протекающая на поверхности твердой фазы пропорциональна ее площади. Процессы коррозии зерен ферросилиция, при условии отслаивания продуктов коррозии от поверхности твердых частиц должна приводить к уменьшению площади поверхности. В этом случае, для сохранения постоянства скорости процесса необходимо увеличивать концентрацию реагента, находящегося в жидкой фазе, в данном случае кислорода. Как показано автором, его концентрация либо постоянна (барботажа суспензии

Список научных работ Горячева Б.Е.

1. Горячев Б.Е., Николаев А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ФЛОТАЦИИ ЧАСТИЦ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ТАБЛЕТИРОВАННЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. №1. С. 137-146.
2. Горячев Б.Е. ТЕХНОЛОГИЯ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ РУД алмазы, кимберлиты, минералы кимберлитов: минерально-сырьевая база алмазодобывающей промышленности мира учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 150100 - Metallurgy / Б. Е. Горячев; М-во образования и науки РФ, Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Нац. исслед. технологический ун-т "МИСиС", Каф. обогащения руд цветных и редких металлов. Москва, 2010.
3. Горячев Б.Е., Николаев А.А., Ильина Е Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ФЛОТАЦИИ ЧАСТИЦ С КОНТРОЛИРУЕМОЙ СТЕПЕНЬЮ ГИДРОФОБНОСТИ Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2010. №1. С. 85-91.
4. Goryachev B.E., Nikolaev A.A., Ilyina E.Yu. ANALYSIS OF FLOTATION KINETICS OF PARTICLES WITH THE CONTROLLABLE HYDROPHOBIC BEHAVIOR Journal of Mining Science. 2010. T. 46. №1. С. 72-77.
5. Рассулов В.А., Никитин М.В., Пацианский Ф.А., Горячев Б.Е., Коленченко ВВ. ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРИЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЛМАЗОВ И СОПУТСТВУЮЩИХ МИНЕРАЛОВ ТРУБКИ "АРХАНГЕЛЬСКАЯ" Горный журнал. 2009. №6. С. 84-86.
6. Чантурия В.А., Горячев Б.Е. ОБОГАЩЕНИЕ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КИМБЕРЛИТОВ Горный журнал. 2007. №2. С. 39-44.
7. Горячев Б.Е., Николаев А.А. ВЗАИМОСВЯЗЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМАЧИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ФЛОТИРУЕМОСТЬЮ ЧАСТИЦ С ТОЙ ЖЕ ПОВЕРХНОСТЬЮ Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2006. №3. С. 103-111.
8. Goryachev B E., Nikolaev A.A. INTERCONNECTION BETWEEN PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF TWO-COMPONENT SOLID SURFACE WETTING AND FLO AT ABILIT Y OF THE SAME SURFACE PARTICLES Journal of Mining Science. 2006. T. 42. №3. С. 296-303.
9. Горячев Б.Е. О ПРИЧИНАХ НЕУСТОЙЧИВОЙ ФЛОТАЦИИ КОЛЛЕКТИВОВ ЧАСТИЦ С ХИМИЧЕСКИ НЕОДНОРОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ (В ПОРЯДКЕ ОБСУЖДЕНИЯ) Цветные металлы. 2005. №8. С. 10-13.