

УДК 621.926

Г.П. Двойченкова, А.И. Каплин, С.Б. Шободоев
ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА МОКРОГО
САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ КИМБЕРЛИТОВ
ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ
ОБРАБОТАННЫХ ВОДНЫХ СИСТЕМ *

Приведены результаты испытаний электрохимической технологии водоподготовки в цикле самоизмельчения алмазосодержащих руд.

Ключевые слова: рудоподготовка, самоизмельчение, кимберлиты, жидкая фаза пульпы.

Семинар № 25

**G.P. Dvoichenkova, A.I. Kaplin,
S.B. Shobodoev**

**THE INTENSIFICATION OF WET
AUTOGENOUS MILLING OF
KIMBERLITE PROCESS WITH
IMPLEMENTATION OF
ELECTROCHEMICAL TREATED
WATER SYSTEM.**

The results of test of electrochemical technology of water preparation in the cycle of autogenous milling of diamond-bearing ores are given.

Key words: ore preparation, autogenous milling, kimberlites, pulp liquid-phase.

*Работа выполнена при поддержке гранта НШ – 4918.2006.5 Президента РФ «Ведущие школы» (рук. акад. В.А. Чантурия)

Рудоподготовка алмазосодержащих кимберлитов перед обогащением занимает особое место в их переработке. Одно из основных требований, предъявляемых к технологическим схемам в процессах дробления и измельчения – обеспечение сохранности алмазных кристаллов при максимальном раскрытии кимберлитов. Многостадиальные схемы дробления и измельчения на предприятиях алмазодобывающей промышленности, заменены наиболее

щадящими схемами бесшарового измельчения крупнокусковой руды в мельницах мокрого самоизмельчения.

Измельчение в мельницах мокрого самоизмельчения позволяет, используя ударно-истирательное действие кусков руды друг о друга, освободить основную массу кристаллов за первый цикл измельчения, при этом алмазы более 5 мм освобождаются практически полностью. Около 70% кимберлита доводится до размера менее 2 мм и после обогащения выводится в отвал; материал менее 0,5 мм со сливами гидроклассифицирующего оборудования выводится в отвал без обогащения.

Определяющим показателем эффективности процесса самоизмельчения является гранулометрический состав конечного продукта. Переход на подземный способ добычи алмазосодержащих кимберлитов обуславливает уменьшение крупности исходного материала и, соответственно, снижение выхода мелких классов за счет снижения количества крупных дробящих тел. Смещение ситовой характеристики продуктов измельчения в сторону уменьшения выхода более мелких классов свидетельствует о замедлении процесса освобождения алмазных кристаллов из кимберлитовых

пород, что увеличивает риск их разрушения и снижает эффективность работы технологического оборудования.

Кроме того, использование в процессе измельчения оборотной воды, характеризующейся высокой степенью минерализации, а также дополнительное растворение компонентов из рудной массы, приводят к формированию примесных пленок на поверхности кристаллов за счет адсорбции на них растворенных компонентов. Образующиеся вторичные пленки ухудшают технологические свойства алмазов, играющие определяющую роль при их извлечении из рудной массы физико-химическими методами [1].

Таким образом, основными задачами по интенсификации процесса самоизмельчения с целью повышения сохранности алмазных кристаллов и улучшения технологических показателей при их извлечении являются:

- сокращение продолжительности пребывания рудной массы в мельнице мокрого самоизмельчения (ММС);

- увеличение выхода мелких классов в измельченном продукте без изменения режимов измельчения;

- создание условий для «торможения» или ограничения процессов растворения рудных компонентов и их сорбции на поверхности алмазных кристаллов;

Для решения поставленных задач была выбрана электрохимическая технология кондиционирования оборотной воды перед процессом мокрого самоизмельчения. Выбор данной технологии основан на анализе работ [2...3], в которых для улучшения силовой характеристики продуктов измельчения и повышения качества концентратов рудная пульпа подвергалась поляризации в процессе измельчения. В работе [4] установлено, что использование электрохимически обработанных водных систем интенсифицируют процесс измельчения, по-

зволяет повысить селективность раскрытия минеральных комплексов и снизить шламообразование при переработке редкометалльных руд.

Исследования влияния электрохимически обработанных водных систем на процесс мокрого самоизмельчения кимберлитов проводились в два этапа:

- лабораторные эксперименты;

- промышленные испытания ОФ №3 Мирнинского ГОКа(АК «АПРОСА»).

Исследования в лаборатории ИП-КОН РАН проведены на кимберлите трубки «Интернациональная» крупностью -5+0 мм, минералогический состав которого представлен в табл. 1. В качестве жидкой фазы пульпы использована модельная водная система, соответствующая по составу оборотной воде ОФ №3 (табл. 2), а также продукты ее электрохимической обработки (ЭХО). Получение продуктов ЭХО модельной водной системы осуществлялось в бездиафрагменном лабораторном электролизере объемом 300 мл с использованием анодов из различных материалов (стали марок Ст. 3 и 18ХН10Т, графит, титановый анод с оксидно-рутениевым покрытием – ОРТА).

Модельную водную систему и продукты ее электролиза, полученные при различных режимах обработки (изменение времени обработки и плотности тока), подавали вместе с рудой в шаровую фарфоровую мельницу при соотношении Т:Ж = 1:2 и измельчали в течение 15 мин. В процессе выполнения экспериментов контролировали гранулометрический состав руды, минерализацию, значения величин рН и Eh (окислительно-восстановительный потенциал) жидкой фазы пульпы.

В результате проведенных экспериментов установлено, что в сравнении с модельной водной системой продукт электролиза, полученный в бездиафрагменном аппарате с ано-

дом из стали марки Ст. 3, приводит к загрузлению помола измельчаемого.

Таблица 1

Характеристика кимберлита трубки «Интернациональная»

Минералы	Химическая формула или тип химического соединения	Плотность, г/см ³	Твердость, Мооса	Содержание, %
Серпентин	Mg ₆ [Si ₄ O ₁₀](OH) ₈	2,5-2,7	2,3	53,9
Кальцит	CaCO ₃	2,7-2,73	3,0	
Доломит	CaMg(CO ₃) ₂	2,85-3,0	3,5-4,0	32,3
Хлорит	Силикат Mg, Fe, Al	2,7-2,85	2,6-3,3	2,3
Флогопит (слюда)	KMg ₃ Al(Si ₃ O ₁₀)(OH,F) ₂	2,85-2,95	3,5-4,0	2,83
Галит	NaCl	2,2	2,0	6,4
Пироаурит	MgO — 36,55; Fe ₂ O ₃ — 24,13; CO ₂ — 6,65; H ₂ O — 32,67	2,11	2,0-3,0	1,32
Алмаз	C	3,47-3,55	10,0	
Барит	Ca ₄ (BeOH) _{2+x} Al _{2-x} Si ₉ O _{26-x}	2,71-2,77	5,0-6,0	0,95

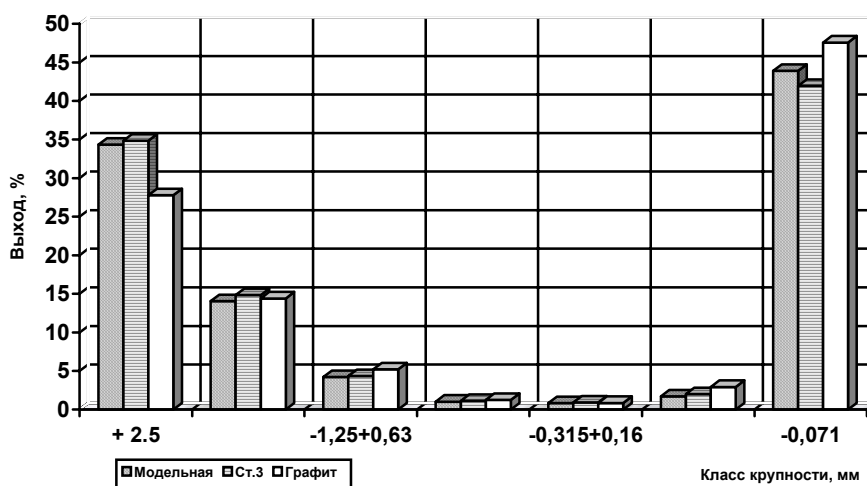


Рис. 1. Гранулометрический состав кимберлита, измельченного в водных системах, полученных в электролизере с растворимыми анодами

кимберлита: выход класса $-5+2,5$ мм возрастает с 34,3 до 41,2%, а суммарный выход классов $-2,5+0$ мм снижается на 6,6%. Продукты, полученные в бездиафрагменном аппарате с анодами из ОРТА, графита и стали марки 18ХН10Т, по сравнению с модельной водной системой приводят

к интенсификации процесса измельчения: выход класса $-5+2,5$ мм снижается с 34,3 до 29,7; 31,7 и 32,8%, а суммарный выход мелких классов $-2,5+0$ мм возрастает на 4,6; 2,7 и 1,5% соответственно рис. 1 и 2

При изучении жидкой фазы пульпы после процесса измельчения выяв-

лено, что при подаче в мельницу про- дукта электролиза, полученного в

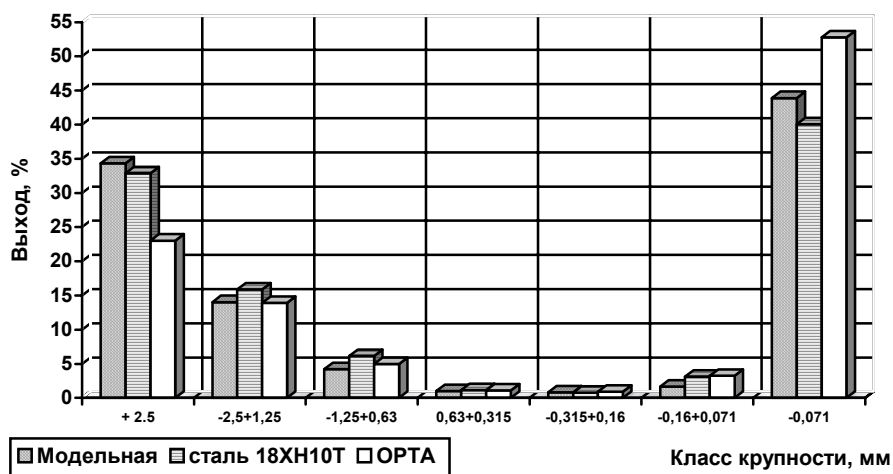


Рис. 2. Гранулометрический состав кимберлита, измельченного в водных системах, полученных в электролизере с мало- и нерастворимыми анодами

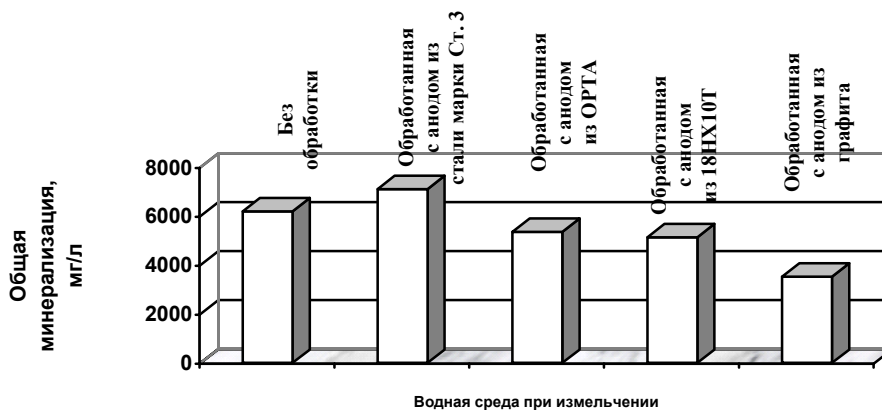


Рис. 3. Изменение минерализации в жидкой фазе рудной пульпы при измельчении кимберлита трубки «Интернациональная» в исследуемых водных системах

бездиафрагменном аппарате с анодом из графита, ОРТА и стали марки 18XN10T количество растворенных компонентов (минерализация) снижается на 43,1; 13,6 и 17,1%, соответственно. Использование продукта электролиза модельной водной систе-

Таким образом, установлена возможность повышения выхода мелких

мы, полученного с анодами из графита, ОРТА и стали марки 18XN10T способствует уменьшению растворимости кимберлита в процессе измельчения и, как следствие, может снизить адсорбцию компонентов жидкой фазы на поверхности алмазов рис. 3. и снижения крупных классов, а также уменьшение минерализации жид-

кой фазы пульпы продукта измельчения кимберлита в условиях

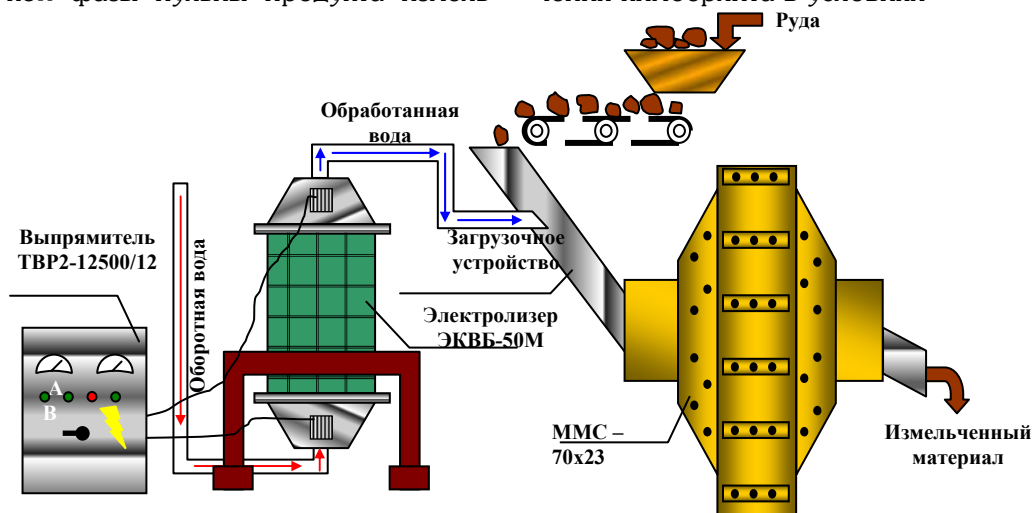


Рис. 4. Принципиальная схема промышленных испытаний электрохимической технологии в процессе мокрого самоизмельчения кимберлитов трубки «Интернациональная»

Таблица 2

Физико-химическая характеристика водных систем

Исследуемая водная система	pH	Eh, мВ	$\Sigma_{жк}$, мг-экв/л	Ионы, мг/л					Общая минерализация, г/л
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
Оборотная вода ОФ №3	8,2	210	74,0	1123,36	228,0	83,23	1892,9	7742,3	17,2
Модельная водная система (лабораторные исследования)	7,1	242	40,0	420,8	230,5	92,4	3037	1562	6,2

использования электрохимически обработанной воды, что свидетельствует о возможности интенсификации процесса самоизмельчения без применения реагентов и физических воздействий.

Промышленная апробация по замене оборотной воды, подаваемой в процесс мокрого самоизмельчения, на продукты ее электрохимической обработки осуществлялась на ОФ №3 МГОКа. Прин-

ципиальная схема промышленных испытаний представлена на рис. 4.

Промышленные испытания проведены на руде трубки «Интернациональная» текущей добычи исходной крупностью -400 мм, с подачей в процесс самоизмельчения оборотной воды ОФ №3 МГОКа и продуктов ее электролиза.

В процессе испытаний проводился контроль pH, окислительно-восстановительного потенциала (Eh, мВ) вод-

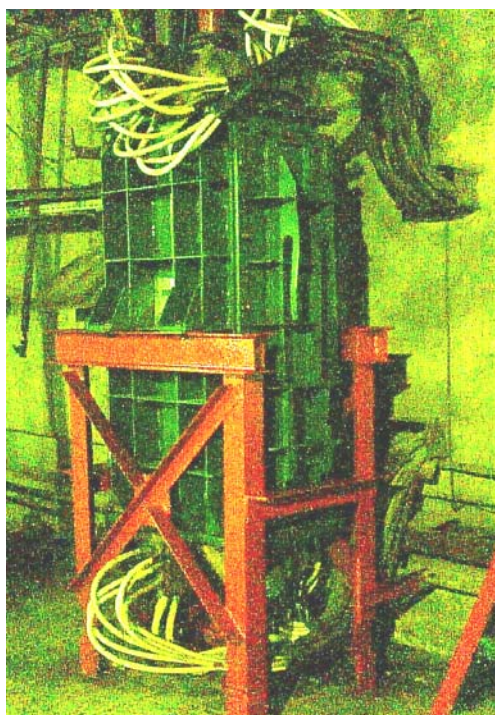


Рис. 5. Проточный промышленный электролизер ЭКВБ-50М

готовлен из нержавеющей стали марки 18ХН10Т; рабочая площадь электродов составляла 20 м².

Регулирование подаваемого на электроды напряжения производилось от выпрямителя ТВР2-12 500/12.

Необходимо отметить, что материалом для электродов выбрана нержавеющая сталь марки 18ХН10Т. Применение такого типа анодов позволяет получить продукты электролиза, близкие по своим характеристикам продуктам электрохимической обработки, полученным в аппарате с анодами из ОРТА и графита при большей стоимости последних.

Оборотная вода после электрохимической обработки в электролизере ЭКВБ-50М подавалась в мельницу ММС-70х23 вместе с рудой. Средняя производительность мельницы (без учета циркуляционной нагрузки) и электролизера в процессе испытаний составляла 96 т/ч и 30 м³/ч, соответственно, содержание твердого в сливе ММС 67-70%.

После электрохимической обработки оборотной воды происходили следующие изменения в ее кислотно-основных свойствах и ионного состава:

- повышение значений Eh с 220 до 700 мВ;
- снижение величины рН с 8,4 до

ной системы, подаваемой в мельницу, содержание в ней кислорода и гипохлорит – ионов.

Оборотная вода, состав которой представлен в табл. 2, подвергалась электрохимической обработке в течение 24 секунд в бездиафрагменном электролизере ЭКВБ-50М (рис. 5) при напряжении питания электродного блока кондиционера $V = 8 \div 12$ В и плотности тока $I_s = 150 \div 250$ А/м². Электродный блок кондиционера из-

Таблица 3

Средние значения показателей обрабатываемой оборотной воды, контролируемых в период промышленных испытаний (декабрь 2006 г)

Исследуемая водная система	Параметры ЭХО			Характеристика водных систем			
	I_s , А/м ²	I, А	U, В	рН	Eh, мВ	ClO ⁻ , мг/л	O ₂ , мг/л
Фабричный режим с использованием оборотной воды	0	0	0	8,4	220	0	6,3
Апробируемые режимы с использованием ЭХО оборотной воды	150	3000	8	7,5	650	6,2	13,3
	200	4000	10	7,8	650	9,7	15,3
	250	5000	12	7,9	700	13,6	16,5



Рис. 6. Гранулометрический состав продуктов измельчения кимберлита в ММС в период промышленных испытаний на ОФ №3 МГОКа

воде) и при использовании продуктов ее ЭХО в период проведения испытаний установлен оптимальный режим ($i_s = 250 \text{ A/m}^2$), использование которого позволило получить максимальные изменения гранулометрического состава слива мельницы; выход продуктивного класса $-10 + 0,5 \text{ мм}$ увеличивается с 29,7 до 33,5% (рис. 6); расход электроэнергии в период испытаний составил $1,5 - 2 \text{ кВт}^*\text{ч/м}^3$.

На основании результатов промышленных испытаний электрохимическая технология водоподготовки рекомендована к использованию в цикле самоизмельчения алмазосодержащих руд с целью интенсификации процесса ММС, и возможность повышения извлечения алмазных кристаллов без дополнительных механических воздействий.

7,5;

– увеличение содержания гипохлорит – ионов (ClO^-) от 0 до 13,6 мг/л.

Кроме того, в процессе ЭХО обратная вода насыщалась мелкодисперсными пузырьками электролизных газов так, например, количество кислорода возросло с 6,3 до 16,5 мг/л. Данные параметры колебались в зависимости от плотности тока на электродах и приведены в табл. 3.

В результате сравнения работы ММС в фабричном режиме (на оборотной

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия В.А., Трофимова Э.А., Двойченкова Г.П., Богачев В.И., Миненко В.Г., Диков Ю.П. Теория и практика применения электрохимического метода водоподготовки с целью интенсификации процессов обогащения алмазосодержащих кимберлитов. Горный журнал, №4, 2005, с 51-55.

2. Чантурия В.А., Г.М. Дмитриева, В.И. Богачев, Г.Я. Корсунский, Т.Н. Гзогян. Измельчение железистых кварцитов Михайловского ГОКа с применением предварительной катодной поляризации. – В кн.: Новые методы и процессы обогащения полезных ископаемых. – М.: Ин-т проблем комплексного освоения недр АН СССР, 1989., с 5-17.

3. Дмитриева Г.М., Корсунский Г.Я., Гзогян Т.Н. Полупромышленные испытания измельчения и мокрой магнитной сепарации кварцитов Михайловского ГОКа при электрохимическом кондиционировании пульпы. В кн.: Комплексная переработка полезных ископаемых. – М.: Ин-т проблем комплексного освоения недр АН СССР, 1990 г., с 17-24.

4. Чантурия Е.Л. Изучения влияния католита на процессы окисления мелющих тел и раскрытие минералов при мокром измельчении редкометалльных, оловянных и вольфрамовых руд. М.: Обогащение руд. №4, 2004 г., с 23-27. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Двойченкова Г.П., Каплин А.И. – ИПКОН РАН, info@ipkonran.ru
Шободоев С.Б. – МГОК ОФ №3.

