

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

О.В. Гальцева, С.В. Бордунов, А.И. Никитина

При использовании электровзрывной технологии можно совмещать широкий комплекс процессов переработки минерального сырья, но промышленное технологическое оборудование до сих пор не создано. Это объясняется проблемами безопасности при работе с высоким напряжением, вопросами проектирования оборудования с малой материалоемкостью, в котором организован процесс с воздействием на сырье и стенки аппарата ударных волн, сравнимых по амплитуде с ударными волнами при взрыве взрывчатых веществ, эрозией электродов и низкой прочностью материалов для изоляции высоковольтных электродов. Решению проблем разработки промышленного электровзрывного оборудования и испытанию разработанных опытных и опытно – промышленных образцов установки и посвящена настоящая работа.

Ключевые слова: электровзрывная технология, минеральное сырье, лабораторный стенд, реактор, обогащение.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы опубликовано достаточно большое количество работ по перспективам использования электрического разряда в процессах дробления и измельчения минерального сырья, химической активации компонентов твердой и жидкой фаз, химическому и фазовому превращению компонентов водных суспензий под действием ударных волн генерированных высоковольтными разрядами (ВИР), сравнимых по мощности с ударными волнами от взрывчатых веществ и сопровождающихся ультрафиолетовым излучением, ионизацией воды и вторичной кавитацией [1–7]. Тем не менее, промышленное оборудование непрерывного действия до сих пор не создано

В настоящей работе приведены общие принципы решения основных конструктивных проблем, сдерживающих внедрение в технику электровзрывных установок. К ним относятся прочность, герметичность и материалоемкость корпусов установок с организацией измельчения ударными волнами, использование напряжений 30 кВ и более, низкая стойкость к ударным нагрузкам материалов высоковольтных изоляторов, эрозия высоковольтных электродов с одновременным увеличением межэлектродного промежутка, требующая увеличения разрядного напряжения или регулировки этого промежутка и т.д.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД

Использование электровзрывной технологии для диспергирования и обогащения минерального сырья с последующим анализом химических и фазовых превращений в сырье под действием электрического разряда, инициированию химических реакций вводом в реактор химических реагентов и воздуха было изучено на лабораторном стенде, его схема изображена на рисунке 1 [8–10].

Стенд состоит из пульта управления, включающего автотрансформатор, пускатели и вольтметр, высоковольтного трансформатора мощностью 2 кВт с резистором и выпрямителем, при подаче на вход которого ≈ 220 В на выходе можно получать 70 кВ, воздушного разрядника и конденсатора ИК-100-0,25. Рабочее напряжение в эксперименте составляло $30 \pm 1,5$ кВ. Реактор из нержавеющей и немагнитной стали цилиндрической формы имел коническое днище с углом при вершине 60° , в центр которого был вварен выпускной патрубок для обработанной разрядами суспензии с внутренним диаметром 10 мм. На конце патрубка была нарезана резьба М14 для заглушки в виде накидной гайки с уплотнительной резиновой прокладкой. Фланец реактора, с ввернутыми в него шпильками и приклеенной резиновой уплотнительной прокладкой, он крепился к изолирующей пластине из

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

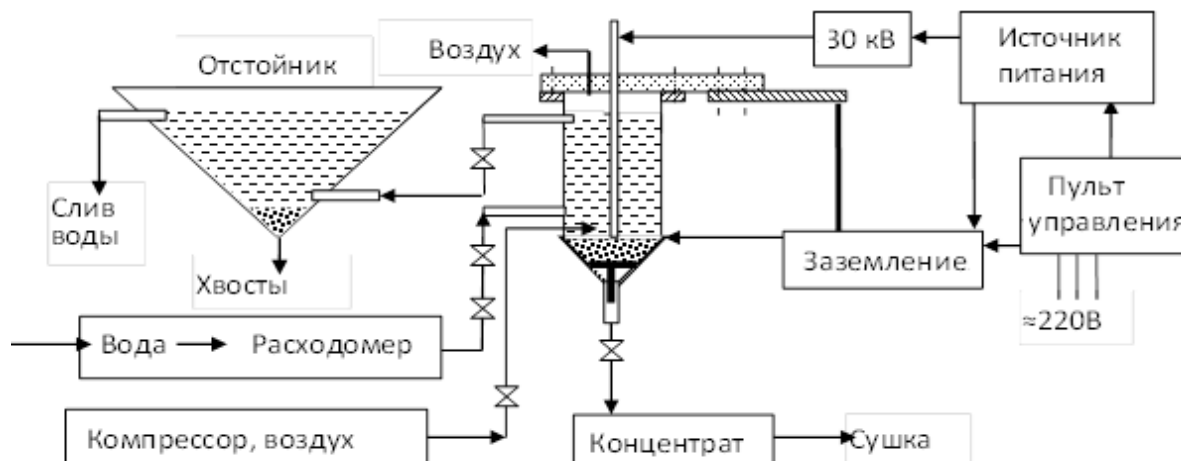


Рисунок 1 – Схема стенда для предварительных технологических исследований по электрогидравлической обработке минерального сырья.

полиметилметакрилата с отверстиями под шпильки. Пластина одновременно являлась крышкой реактора. В изолирующей пластине через демпфер был закреплен высоковольтный электрод с возможностью регулирования величины разрядного промежутка в реакторе между вставкой в нижний выпускной патрубок – заземленный электрод, и концом высоковольтного электрода. Заземленный электрод (вставка) был изготовлен в виде прямого усеченного конуса высотой 6 мм с углом при вершине 60° , совпадающего с конусностью днища реактора. В центре верхней части прямой усеченный конус имел цилиндрическую часть диаметром 9,5 мм и высотой 30 мм для фиксации вставки внутри выпускного патрубка. Геометрические размеры вставки позволяли плотно укладывать ее на дно реактора с фиксацией в выпускном патрубке, обеспечивая хороший электрический контакт и не позволяя частицам проб проваливаться в патрубок. Над конусным днищем реактора были установлены патрубки тангенциального ввода воды и воздуха через распылитель. В верхней части реактора, ниже поверхности изолирующей пластины на 30 мм, был вварен патрубок тангенциального вывода воды с частицами тонкоизмельченной породы так, что рабочий объем реактора, заполняемый суспензией, составлял 1 дм^3 . Перед экспериментом в донной части реактора устанавливали вставку, крепили реактор к изолирующей пластине, проверяли (периодически) величину межэлектродного расстояния, ввинчивая высоковольтный

электрод через гайку демпфера до упора в заземленный электрод и обратно вывинчивая на необходимую высоту. Рабочее межэлектродное расстояние фиксировали контргайкой на электроде. Двумя вентилями, смонтированными на трубе ввода воды в реактор, устанавливали расход воды, который обеспечивал унос из реактора частиц только определенного размера и плотности; перекрывали подачу воды конечным вентилем, после чего в реактор загружали пробу массой 100 - 200 г, заземляли корпус реактора, зажимали высоковольтный кабель от конденсатора на электроде и включали подачу в реактор воды (и воздуха, если требовали условия эксперимента). По второму варианту подачу воды включали после обработки суспензии разрядами с тем, чтобы восходящим потоком воды выводить из реактора в хвосты только тонкоизмельченные частицы, не оседающие на дно реактора в течение первых 5-10 минут. На пульте управления устанавливали пробивное напряжение и после определенного, заданного условиями эксперимента числа разрядов в реакторе, выключали источник питания.

Для исследования параметров электрического разряда определяли напряжение и величину разрядного тока на разрядном промежутке цифровым запоминающим осциллографом серии ADS1000, версия 1.5.01, включенным в схему через делитель напряжения и коаксиальный шунт. После окончания эксперимента выключали источник питания, снимали

изолирующей штангой напряжение с клемм конденсатора, заземляли клеммы, снимали реактор, вынимали вставку (заземленный электрод), сливали из реактора суспензию концентрата на выпаривание и сушку. Хвосты извлекали из отстойника через нижний патрубок с вентилем после уплотнения осадка в его донной части и декантации осветленной над осадком воды. Отстойник был выполнен в виде круглого прямого конуса с углом при вершине 60° , тангенциальным вводом и выводом воды. Рабочая емкость отстойника составляла 20 дм^3 , диаметр конуса на уровне сливного патрубка составлял 540 мм , что обеспечивало 18-тикратное снижение скорости слива воды из отстойника, по сравнению со скоростью движения воды через реактор снизу вверх. Реактор и отстойник размещались на стенде внутри заземленного ограждения из металлической сетки. При включении пульта управления автоматически включалась блокировка дверей ограждения и световой сигнал «Опасно».

ЭКСПЕРИМЕНТ

Порядок проведения эксперимента показан на рисунке 2.

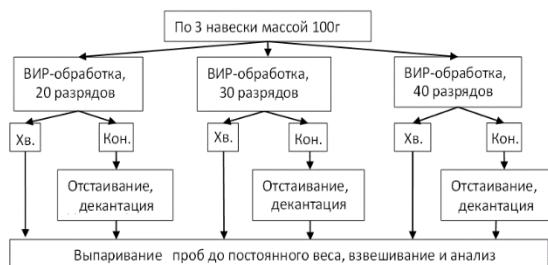


Рисунок 2 – Схема предварительного технологического эксперимента, где исх. – исходный образец до обработки в реакторе, хв. – хвосты, кон. – концентрат.

В случае резкого расхождения результатов в какой-либо серии эксперимента обработке подвергались дополнительные навески до получения разброса данных, не превышающих 25% от среднеарифметического результата. По granulometricкому составу концентрата и соотношению масс хвостов и концентрата судили о влиянии количества разрядов на степень измельчения сырья.

Предварительная информация о влиянии электровзрывной обработки на рудное и нерудное минеральное сырье, полученная на лабораторном стенде, используется для разработки конструкции макетов, опытных образцов и промышленного электровзрывного оборудования для электровзрывной обработки водных эмульсий и суспензий с крупностью частиц твердой фазы от $0,63 \text{ мм}$ до 100 мм .

ПРОБОПОДГОТОВКА

Исходное минеральное сырье в состоянии поставки рассыпали на поддон квадратной формы со стороной квадрата 1 метр равномерным слоем. Сырье делили на 25 квадратов площадью 4 дм^2 и из 13 квадратов (через один по вертикали и горизонтали) отбирали по $0,2 \text{ дм}^3$ сырья, которое затем объединяли и делили на две неравные части в соотношении $1:3$: меньшая часть для granulometricкого (ситового), элементного и фазового анализа, а вторая – для эксперимента в электровзрывном реакторе. Элементный анализ выполняли методом масс – спектрометрии и параллельно «на золото» нейтроноактивационным анализом.

Проба «Б» содержит $30 - 50\%$ красно-коричневой глины. Влажность пробы близка к 100% . Проба «Б» взята из хвостохранилища шахты Бериккульская с отходами переработки руды с максимальной крупностью частиц 3 мм , в которой золото связано с пиритом и достаточно полно представляет всю массу этого техногенного сырья. Содержание тонкого золота в хвостах шахты по разным данным составляет от 1 до 4 г/т . Так как шахта «Бериккульская» была заложена в 1811 году, поэтому в образце зафиксировано наличие свободной ртути, наиболее широко применявшейся для извлечения золота из руд вплоть до середины прошлого века.

Большое количество мелкой глинистой фракции в пробе не позволило точно определить фракционный состав в пробе «Б» непосредственным рассевом (агломерация тонких фракций и их слипание с крупными частицами). Поэтому фракционный состав этого сырья определяли после отделения глины от остальной части сырья в электровзрывном реакторе, а концентрат после сушки отсеивали на стандартных ситах.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Глинистые компоненты выводили из реактора восходящим потоком воды со скоростью потока $1 \cdot 10^{-3}$ м/с. Максимальный размер частиц в хвостах составлял 0,045 мм.

переработки следует предусматривать специальные меры для безопасности персонала предприятия. Это относится и ко

Таблица 2 – Фракционный состав концентрата «Б» после удаления глин в электровзрывном реакторе.

Фракция, мм	1,5-2,5	1,1-1,5	0,63-1,1	0,45-0,63	0,315-0,45	0,16-0,315	0,1-0,16	0,07-1-0,1	0,063-0,071	0,045-0,063	<0,045
масс. %	3,88	5,7	6,08	16	14,46	28,6	13,9	7,35	2,82	0,86	0,95

всем старым отвалам.

Среднее содержание удаляемых из проб глин после обработки трех образцов в пробах «Б» составило 50%. Фракционный состав концентрата приведен в таблице 2.

Количество разрядов 10, частота 1 Гц, энергия разряда 112,5 Дж. Результаты масс – спектрального и нейтроноактивационного анализа на наличие микроэлементов, содержание которых превышает 0,1%, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание основных микроэлементов в исходной пробе «Б».

№ п/п	Элемент	Массовая доля, %	Погрешность, %
1	Na	1,06	0,12
2	Mg	1,532	0,077
3	Al	4,99	0,17
4	Si	18,11	0,40
5	P	0,0623	0,0063
6	K	1,36	0,16
7	Ti	0,484	0,073
8	Cr	0,0134	0,0018
9	Mn	0,044	0,010
10	Fe	8,40	0,28
11	As	0,352	0,021
12	Pb	0,154	0,012
13	Au, з/м	1,81	0,46
14	Hg, з/м	4,27	1,43
15	As, з/з	5,4862	0,548

Анализ данных таблицы 3 показывает, что глинистая составляющая хвостов, в основном, вероятно, представлена оксидами Na, K, Al, Si, Mg и Fe. Высокое содержание ртути, вероятно, обусловлено использованием ее в прошлом для извлечения золота амальгамированием. Вместе с тем, в пересчете на суммарную массу хвостов масса свободной ртути может составить 40 - 45 тонн. Такие хвосты представляют серьезную угрозу для окружающей среды и населения. При разработке проекта их промышленной

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты экспериментов, представленные в таблице 2–3, показывают, что при скорости восходящего потока воды, соответствующей «не уносу» вместе с глинами в хвосты частиц золота с размером более 10 мкм, потери золота с хвостами не превысят 4,667 масс.%. Кроме того, конструкция реактора не исключала вероятность выброса ударными волнами в патрубков вывода хвостов частиц золота крупнее 10 мкм. Эта вероятность пропорциональна доле частиц крупностью более 190 мкм в хвостах, т.е. 2 – 4%. Следовательно, в промышленном электровзрывном реакторе с устоявшимися потоками исходного твердого сырья и восходящей воды в большом объеме реактора потери золота могут быть меньше. После электровзрывной обработки сырья «Б» в концентрат перейдет не более 50 от исходной массы, потери золота с хвостами не превысят 5%, а выход золота в концентрат составит не менее 95%. Из исходной тонны сырья с содержанием золота 1,81 г/т при условии потерь золота с крупностью частиц менее 10 мкм в концентрат перейдет 1,7191 г золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буркин В.В. Волновая динамика электровзрыва в твердых диэлектриках/ В.В. Буркин, Н.С. Кузнецова, В.В. Лопатин// Журнал технической физики. – 2009. – Т. 79. – Вып. 5. – С. 42-48.
2. Бордунов С.В. Электровзрывная технология активации известкового молока/ С.В. Бордунов, В.А. Макеев, И.Т. Шепелев. //Цветные металлы. – 2008. – № 2. – С. 65–68.
3. Карбина Ю.С. Процесс фоторегистрации в производственном цикле радиоэлектронной техники/ Ю.С. Карбина, И.В. Плотникова, О.В.

Гальцева, Е.Ю. Елисеева// Ползуновский вестник. – 2016. – № 2. – С. 139–143.

4. Подлегаева Л.Н., Звиденцова Н.С., Колесников Л.В. Исследование условий получения наночастиц серебра и золота при химическом осаждении/ Л.Н. Подлегаева, Н.С. Звиденцова, Л.В. Колесников// Ползуновский вестник. – 2008.– № 3. – С. 96–98

5. Rogovyh A.V. Inspection methods of load-recording device 'GAMMA–500'/ A.V. Rogovyh, N.M. Natalinova, A.S. Spiridonova, A.S. Gordynets// 2015 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2015 – Proceedings". – 2015. – с. 7147190.

6. Goldshtein A.E. An electro-capacitive measuring transducer for the process inspection of the cable capacitance per unit length in the process of production// A.E. Goldshtein, G.V. Vavilova, V.Y. Belyankov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2015. – Т. 51. – № 2. – С. 86-93.

7. Кузнецов П.А. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности/ П.А. Кузнецов, О.В. Васильева, А.И. Теленков, В.И. Савин, В.В. Бобырь// Новости материаловедения, Наука и техника. – 2015. – № 2. – С. 4–10.

8. Bordunov S.V. About Prospects of Enrichment of Mineral Raw Materials and Chemical Activation of Water Suspensions by Electroexplosive Method/ S.V. Bordunov, O.V. Galtseva// Journal of Physics: Conference Series Ser. "Innovations in Non-

Destructive Testing". – 2016. – С. 012009. – doi: 10.1088/1742-6596/671/1/012009.

9. Пат. № 2470875 РФ МПК C02F 1/34, C02F 1/48, B01J 19/08, B02C 23/36 Установка для электровзрывной активации водных пульп и суспензий/ Бордунов С.В., Бордунов В.В., Кулага И.Г.; заявл. 22.06.2011; опубл. 27.12.2012.

10. Гальцева О.В., Бордунов С.В., Кулага И.Г. Электровзрывное оборудование для диспергирования, химической активации и обогащения минерального сырья/ О.В. Гальцева, С.В. Бордунов, И.Г. Кулага И.Г. – Томск: Изд-во Том. политехн-го ун-та, 2013. – 184 с.

Гальцева Ольга Валерьевна – к.т.н., доцент кафедры Физических методов и приборов контроля качества Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск, e-mail: rabota2013tpt@mail.ru

Бордунов Сергей Владимирович – к.т.н., директор ООО НВП «Эчтех», г. Томск, e-mail: zdorovo5@mail.ru

Никитина Анастасия Ильинична – магистрант Национального исследовательского Томского политехнического университета, г. Томск, e-mail: zdorovo5@mail.ru