УДК 669.231.3

Электрохлоратор для растворения шлиховой платины

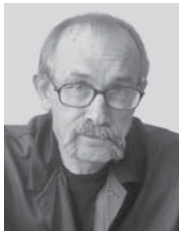


К. П. Коник,
начальник
аффинажного цеха



Е. А. Кузас,
инженер,
эл. почта: e.kuzas@ezocm.ru

ООО «ЕЗ ОЦМ-ИНЖИНИРИНГ»,
Верхняя Пышма, Россия



С. В. Лобко,
ведущий инженер-
исследователь

АО «Екатеринбургский завод
по обработке цветных металлов»,
Верхняя Пышма, Россия



С. С. Набойченко,
профессор,
зав. каф. металлургии тяжелых
цветных металлов

Уральский федеральный университет
имени первого Президента России
Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

Сырье, содержащее металлы платиновой группы (МПГ) (шлиховая платина, концентраты металлов платиновой группы и др.), как на российских, так и на зарубежных аффинажных предприятиях перерабатывают с применением технологий гидрохлорирования, спекания с окислителями или растворения в царской водке. Данные способы отличаются высокой интенсивностью, но не обеспечивают достаточной полноты вскрытия сырья за одну стадию. Электрохлорирование является эффективным и перспективным методом вскрытия сырья МПГ и предполагает окисление благородных металлов атомарным хлором, который образуется при электрохимическом окислении хлорид-ионов на поверхности частиц растворяемого материала.

Важнейшим параметром, влияющим на конструкцию электрохлоратора, является тип тока. В ходе лабораторных исследований изучали влияние переменного симметричного тока низкой частоты и постоянного тока на динамику электрохлорирования и полноту вскрытия шлиховой платины. В ходе экспериментов установлено, что применение постоянного тока и катионообменных мембран Nafion позволяет добиться наибольшей скорости протекания процесса в растворе соляной кислоты — не менее 1 кг/сут при плотности тока ~50 А на 1 кг загруженного материала.

Специалисты АО «ЕЗ ОЦМ» разрабатывают промышленный электрохлоратор постоянного тока с рабочим объемом 200 дм^3, который имеет следующие особенности: анодная и две катодные камеры закрытого типа (с отдельными гидрозатворами), высокоскоростная турбинная мешалка, донный токоподвод анодной камеры, кольцевые холодильники, высокая степень автоматизации. Это позволит растворять до 20 кг/сут шлиховой платины; достигать полноты вскрытия шлиховой платины не менее 99 %; получать солянокислые растворы, не содержащие нитрат-ионов, с концентрацией платины не менее 100 г/дм^3; автоматически поддерживать уровень электролита в анодной и катодных камерах и изменять токовую нагрузку в зависимости от температуры анолита.

Промышленный электрохлоратор предполагается также использовать для растворения других видов сырья, содержащих благородные металлы, например шлихового золота и продуктов переработки автомобильных катализаторов.

Ключевые слова: *электрохлоратор, электрохлорирование, шлиховая платина, атомарный хлор, соляная кислота, хемосорбция, постоянный ток, переменный симметричный ток низкой частоты, катионообменная мембрана Nafion.*

DOI: *10.17580/tsm.2016.12.03*

Введение

Как на российских, так и на зарубежных аффинажных предприятиях сырье, содержащее металлы платиновой группы (МПГ), перерабатывают с применением технологий гидрохлорирования, спекания с окислителями или растворения в царской водке.

Перечисленные методы отличаются высокой интенсивностью. Однако, например, при гидрохлорировании значительные средства требуются на обеспечение работы хлорного хозяйства предприятия. При «царсководочном» растворении происходит выделение токсичных соединений азота, а продолжительность процесса денитрования сопоставима с продолжительностью процесса растворения. Кроме того, указанные технологии не обеспечивают полного растворения сырья за одну стадию. Приходится проводить дополнительные операции растворения и/или сплавления-растворения нерастворенного остатка [1–6].

Электрохлорирование шлиховой платины

Электрохлорирование является известным и эффективным способом растворения благородных металлов (*Me*) [7–9]. Благородные металлы окисляются атомарным хлором, который образуется при электрохимическом окислении хлорид-ионов на поверхности частиц шлиховой платины [10, 11]:

$$Cl^- \Rightarrow Cl, \quad (1)$$

$$Me + Cl = (Me \ldots Cl), \quad (2)$$

$$(Me \ldots Cl) + mCl = (Me \ldots (m + 1)Cl), \quad (3)$$

$$(Me \ldots (m + 1)Cl) = MeCl_{(m + 1)}, \quad (4)$$

$$MeCl(m + 1) + nHCl = H_n[MeCl_{(n + m + 1)}]. \quad (5)$$

Процесс включает пять стадий: электрохимическое окисление хлорид-иона на поверхности частицы металла с образованием атомарного хлора; хемосорбцию атомарного хлора поверхностью частицы металла с образованием группы (*Me* ... Cl); хемосорбцию дополнительных атомов хлора (их количество соответствует валентности металла в образующемся на следующей стадии хлориде металла, за вычетом единицы) группой (*Me* ... Cl) с образованием группы (*Me* ... (*m* + 1)Cl); химическое взаимодействие металла и хемосорбированного атомарного хлора в группе (*Me* ... (*m* + 1)Cl) с образованием хлорида металла (хлорирование); химическое взаимодействие хлорида металла и соляной кислоты с образованием металлической кислоты [11].

Однако в промышленности электрохлорирование нашло применение лишь при получении солей МПГ. На ЕЗ ОЦМ указанную технологию более двух лет используют при переработке порошка родия в растворе соляной кислоты под действием переменного симметричного тока низкой частоты для получения раствора родиевой хлористоводородной кислоты. Родиевую кислоту применяют в качестве прекурсора в процессах синтеза других соединений родия (хлорида, нитрата, сульфата, фосфата, йодида) с использованием классических приемов гидрометаллургии [12, 13].

Малая распространенность электрохлорирования связана со сложностями при конструировании промышленных электрохлораторов. Важнейшим параметром, влияющим на конструкцию аппарата, является тип тока. Известно, что при использовании переменного тока промышленной частоты из-за частой смены полярности не достигается необходимый окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), а образующаяся пассивирующая пленка снижает скорость электрохлорирования металлов [14].

Изучено влияние переменного симметричного тока низкой частоты на динамику электрохлорирования плавленой шлиховой платины состава, %: 83,20 Pt; 4,51 Ir; 1,86 Au; 1,70 Os; 0,64 Rh; 0,42 Pd; 0,12 Ag; 0,10 Ru. Эксперименты проводили в лабораторном электрохлораторе (рис. 1).

В электрохимическую ячейку *2*, изготовленную из боросиликатного стекла и погруженную в бак *1* с водой для охлаждения электролита *6*, устанавливали подставку *3* и двухкамерную перфорированную корзину *4* из полипропилена. В каждую камеру корзины помещали мешок *7* из полипропиленовой фильтровальной ткани. Шлиховую платину *5* (размеры гранул не превышали 2 см) массой 1921,6 г распределяли по двум мешкам, в которые предварительно помещали токоподводы *8* из плотного графита. Поверхности токоподводов, не контактировавшие с растворяемым материалом, изолировали фторопластовой лентой для увеличения степени использования хлора и плотности тока. Токоподводы подключали к источнику тока. В ячейку заливали 25 дм^3 раствора концентрированной соляной кислоты. Закрывали фторопластовую крышку, включали вытяжную вентиляцию, затем — источник тока.

Электрохлорирование шлиховой платины проводили при следующих параметрах. Анодная плотность тока — 109 А на 1 кг загруженной шлиховой платины. Поскольку определение площади поверхности частиц шлиховой платины затруднено, плотность тока приведена к 1 кг загруженного материала. Так как в эксперименте использовали переменный симметричный ток низкой частоты, в один промежуток времени растворению подвергался материал, находившийся в первом мешке, а после смены полярности — во втором мешке; таким образом, количество растворяемого материала в каждый момент времени составляло примерно половину от находившегося в ячейке, поэтому

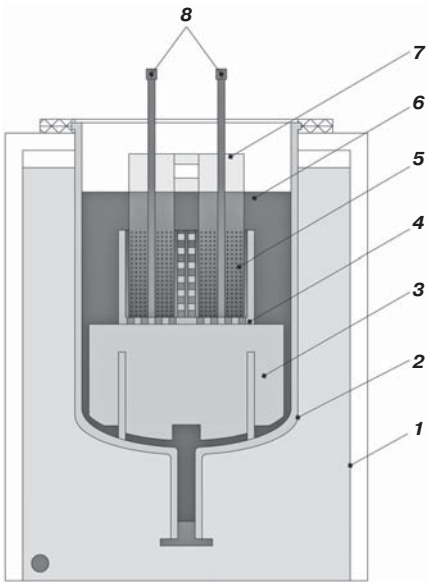


Рис. 1. Схема лабораторного электрохлоратора для растворения шлиховой платины с использованием переменного симметричного тока низкой частоты

СОДЕРЖАНИЕ

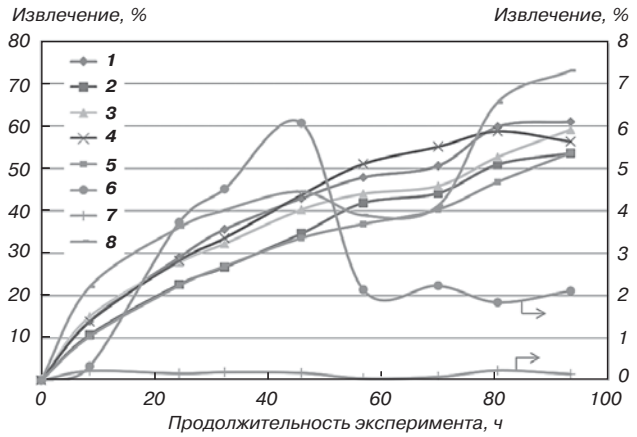


Рис. 2. Динамика извлечения компонентов шлиховой платины в раствор (переменный симметричный ток низкой частоты): *1* — Pt; *2* — Ir; *3* — Pd; *4* — Rh; *5* — Ru; *6* — Os; *7* — Au; *8* — Ag

при расчете плотности тока силу тока относили к половине загруженного материала — 960,8 из 1921,6 г. Частота тока — не более 1 Гц. Напряжение — 6,3–10,0 В. Продолжительность эксперимента — 93,32 ч. Температура электролита — 59–83 °С. Электролит непрерывно барботировался сжатым воздухом. Постоянный объем электролита поддерживали добавлением соляной кислоты. Через 80 ч после начала эксперимента извлечение платины в раствор достигло 60 % (рис. 2). Максимальный суммарный выход по току благородных металлов составил 14,1 % (через 8,55 ч после начала эксперимента); в конце эксперимента — 5,6 %. Получено 25 дм^3 раствора с суммарной концентрацией благородных металлов 41,46 г/дм^3 (концентрация платины — 39,00 г/дм^3).

Поведение большинства платиноидов аналогично поведению платины. Серебро переходит в раствор в виде комплексного соединения — $H[AgCl_2]$.

Осмий взаимодействует с кислородом, который образуется при электрохимическом разложении молекул воды на поверхности частиц шлиховой платины. Большая часть оксида осмия переходит в газовую фазу, откуда ее можно извлечь абсорбцией щелочными растворами; меньшая часть — взаимодействуя с соляной кислотой, переходит в раствор [1, 15]:

$$OsO_4 + 10HCl = H_2[OsCl_6] + 2Cl_2 + 4H_2O. \quad (6)$$

Интересно поведение золота: оно растворялось, но затем восстанавливалось и накапливалось на дне ячейки. Такое явление можно объяснить восстановлением металла со степенью окисления +3 в катодные периоды и последующим его диспропорционированием со степенью окисления +1 [16]:

$$H[AuCl_4] \Rightarrow H[AuCl_2] + 2Cl, \quad (7)$$

$$3H[AuCl_2] = 2Au + H[AuCl_4] + 2HCl. \quad (8)$$

Для изучения влияния постоянного тока на динамику электрохлорирования и полноту вскрытия шлиховой платины разработан лабораторный электрохлоратор, большая часть элементов которого изготовлена из полипропилена (рис. 3).

В раму *5* катодной камеры (см. рис. 3, *б*) укладывали прокладки *7* из кислотостойкой резины, между которыми помещали катионообменную мембрану *8* (Nafion). Анодную (см. рис. 3, *а*) и катодную камеры соединяли титановыми болтами; при этом рама *4* анодной камеры плотно прижимала катионообменную мембрану к стенке катодной камеры. Донный токоподвод *2* анодной камеры, изготовленный из плотного графита, подключали к положительной клемме источника тока. Токоподвод *6* катодной камеры, изготовленный из того же материала, подключали к отрицательной клемме источника тока. Шлиховую платину загружали на днище *1* анодной камеры. В анодную и катодную камеры заливали раствор концентрированной соляной кислоты. В процессе электрохлорирования поддерживали постоянный уровень анолита и католита добавлением соляной кислоты. Для защиты катионообменной мембраны от абразивного воздействия частиц шлиховой платины при непрерывном перемешивании анолита использовали экран *3* из полипропиленовой фильтровальной ткани. После сборки электрохлоратора закрывали крышки анодной и катодной камер, включали перемешивающее устройство и источник тока. В ходе лабораторных экспериментов использовали катионообменные мембраны Nafion N-117 и Nafion N-438,

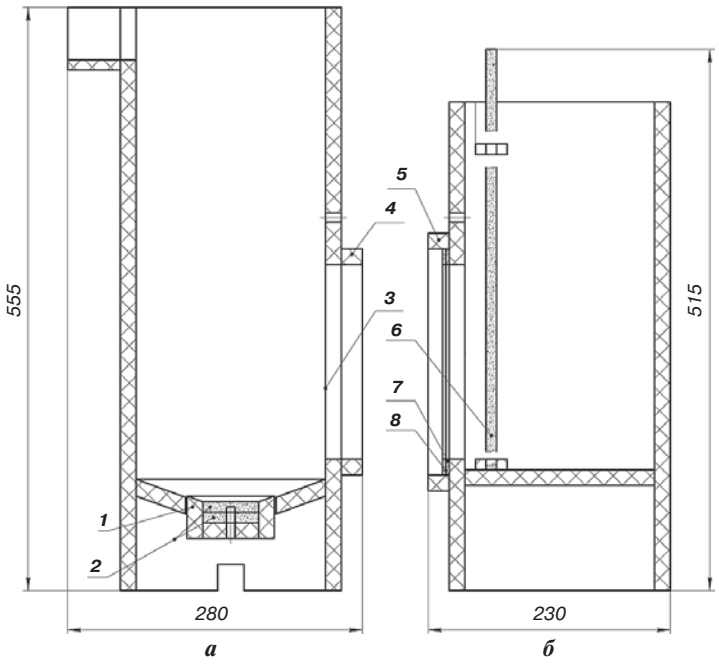


Рис. 3. Принципиальная схема лабораторного электрохлоратора для растворения шлиховой платины с использованием постоянного тока

отличающиеся высокой химической стойкостью, ионной проводимостью и низким коэффициентом набухания [17].

Эксперимент с Nafion N-117 проводили при следующих параметрах. Шлиховая платина: тип — плавленая; размеры гранул — не более 2 см; масса — 1001,13 г; химический состав, %: 85,29 Pt; 2,82 Ir; 1,31 Au; 0,80 Pd; 0,76 Rh; 0,33 Os; 0,05 Ru; 0,03 Ag. Скорость перемешивания анолита — 300 мин$^{-1}$. Анодная плотность тока — 49,6 А на 1 кг загруженной шлиховой платины (поскольку конструкцией электрохлоратора не предусмотрено наличие системы охлаждения, указанная плотность тока является предельной, при которой не происходит закипания анолита). Напряжение — 7,8–13,2 В. Температура анолита — 74–95 °С. Продолжительность эксперимента — 40,28 ч. Через 18 ч электрохлорирования извлечение в раствор всех благородных металлов, за исключением осмия, превысило 80 %. Максимальный суммарный выход по току для благородных металлов составил 64,0 % (через 5,92 ч после начала эксперимента); в конце эксперимента — 23,4 % (рис. 4).

Получено 8,91 дм^3 анолита с суммарной концентрацией благородных металлов 97,44 г/дм^3 (концентрация платины — 91,58 г/дм^3) и 7,5 дм^3 католита с суммарной концентрацией благородных металлов 8,6 мг/дм^3 (на промежуточных стадиях эксперимента суммарная концентрация благородных металлов не превышала 55 мг/дм^3). Присутствие благородных металлов в католите можно объяснить недостаточным уплотнением катионообменной мембраны, что приводило к просачиванию анолита в катодную камеру и образованию катодного осадка. Извлечение благородных металлов в катодный осадок, %, не более: 4 Pt; 20 Rh; 18 Ir и 2 Pd. Выход нерастворенного остатка составил 6,45 г (0,64 % от массы загруженной шлиховой платины). По данным рентгеноструктурного анализа, частицы нерастворенного остатка содержат, %: 82,24 Pt; 4,15 Ir; 0,57 Os. В нерастворенный остаток перешло, %: 0,62 Pt; 1,11 Os; 0,95 Ir. Полнота вскрытия шлиховой платины — 99,36 %.

Эксперимент с Nafion N-438 проводили при следующих параметрах. Масса шлиховой платины — 1001,04 г. Тип, размеры гранул и химический состав шлиховой платины, а также скорость перемешивания анолита не отличались от эксперимента с мембраной N-117. Анодная плотность тока — 48,0 А на 1 кг загруженной шлиховой платины. Напряжение — 7,4–15,0 В. Температура анолита — 76–91 °С. Продолжительность эксперимента — 37,35 ч. В данном эксперименте поведение благородных металлов существенно отличалось: уже через 11 ч после начала эксперимента извлечение в раствор платины, палладия, золота и рутения превысило 80 %, тогда как извлечение в раствор родия, иридия и серебра не превышало 70 %. Максимальный суммарный выход по току благородных металлов составил 83,1 % (через 10 ч после начала эксперимента); в конце эксперимента — 26,2 % (рис. 5).

Получено 7,76 дм^3 анолита с суммарной концентрацией благородных металлов 110,57 г/дм^3 (концентрация платины — 103,90 г/дм^3) и 7,2 дм^3 католита с суммарной концентрацией благородных металлов 13,96 мг/дм^3. Извлечение благородных металлов в катодный осадок, %, не более: 4 Pt; 25 Rh; 12 Ir и 11 Pd. В нерастворенный остаток перешло, %: 0,01 Pt; 0,51 Au; 0,34 Ag; 0,13 Pd; 0,02 Rh; 0,02 Ru; 0,01 Ir; 0,01 Os. Полнота вскрытия шлиховой платины — не менее 99 %.

По результатам лабораторных экспериментов можно сделать следующие выводы. При электрохлорировании шлиховой платины предпочтительнее использовать постоянный ток. В данных условиях непрерывное выделение хлора в анодной камере

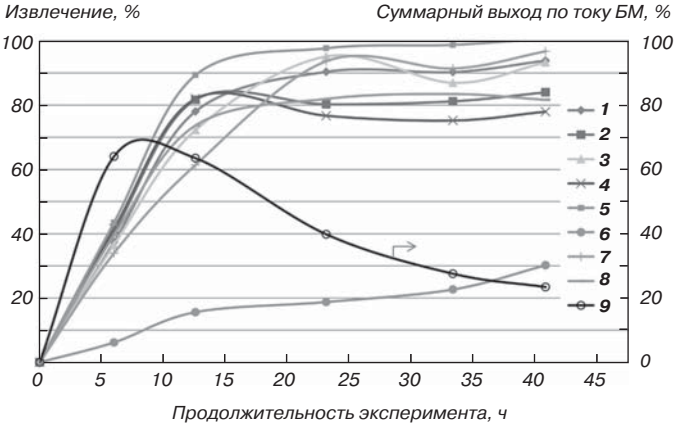


Рис. 4. Динамика извлечения компонентов шлиховой платины в раствор и суммарного выхода по току благородных металлов (постоянный ток, Nafion N-117):
1 — Pt; *2* — Ir; *3* — Pd; *4* — Rh; *5* — Ru; *6* — Os; *7* — Au; *8* — Ag; *9* — ВТ

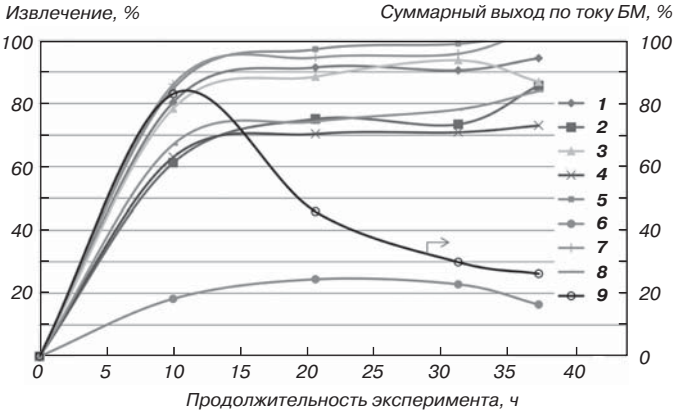


Рис. 5. Динамика извлечения компонентов шлиховой платины в раствор и суммарного выхода по току благородных металлов (постоянный ток, Nafion N-438):
1 — Pt; *2* — Ir; *3* — Pd; *4* — Rh; *5* — Ru; *6* — Os; *7* — Au; *8* — Ag; *9* — ВТ

СОДЕРЖАНИЕ

позволяет, по всей видимости, существенно увеличить ОВП анолита в сравнении с потенциалом электролита при использовании переменного симметричного тока низкой частоты, когда постоянное изменение полярности приводит к перерывам в выделении хлора на поверхности частиц шлиховой платины и, следовательно, периодическому локальному снижению потенциала раствора.

При использовании переменного симметричного тока низкой частоты в процессе электрохлорирования порошка родия скорость его растворения составляет 3,8 г/(А·сут) [12, 13]. При плотности тока 109 А на 1 кг загруженного материала скорость растворения равна 414 г/сут, что сопоставимо со скоростью электрохлорирования шлиховой платины при использовании указанного типа тока (см. рис. 2). Исходя из динамики извлечения компонентов шлиховой платины в раствор (см. рис. 4 и 5), есть основания полагать, что при использовании постоянного тока полноты вскрытия более 99 % удается достичь не более чем за 24 ч — поскольку извлечение большинства благородных металлов в раствор по истечении 24 ч практически не изменяется, полнота вскрытия шлиховой платины также не должна изменяться. Таким образом, скорость электрохлорирования шлиховой платины при использовании постоянного тока составляет не менее 1 кг/сут (при плотности тока порядка 50 А на 1 кг загруженного материала).

Капитальные и операционные затраты при использовании переменного симметричного тока низкой частоты ниже, чем при использовании постоянного тока (требуется приобретение перемешивающего устройства и катионообменных мембран). Однако использование постоянного тока предполагает большую динамику растворения и экономию на расходе электроэнергии. Поэтому в малотоннажном процессе электрохлорирования порошка родия эффективнее использовать переменный симметричный ток низкой частоты, обеспечивающий приемлемую динамику растворения родия при сравнительно низких затратах (дополнительный аргумент здесь: при использовании постоянного тока может происходить пассивация поверхности частиц порошка родия [11]). А при крупнотоннажном процессе электрохлорирования шлиховой платины — постоянный ток, позволяющий достичь высокой динамики растворения сырья.

В процессе электрохлорирования шлиховой платины можно использовать любую из катионообменных мембран Nafion N-117 или N-438. Для марки N-117 свойственен более высокий коэффициент набухания. Мембрана N-438 дороже, но она армированная, и при ее использовании скорость электрохлорирования шлиховой платины выше. Последнее, по всей видимости, связано с большей ионообменной емкостью марки N-438 в сравнении с N-117 [17]. В настоящий момент характеристики мембраны N-438 производителем (DuPont) не раскрываются.

С целью интенсификации электрохлорирования шлиховой платины авторы ведут разработка промышленного электрохлоратора постоянного тока с рабочим объемом 200 дм^3, рассчитанного на переработку 20 кг/сут шлиховой платины.

Аппарат состоит из анодной и двух катодных камер закрытого типа, выполненных из полипропилена. Отходящие газы анодной камеры, содержащие избыточный хлор (а также хлороводород и пары воды), поступают в реактор параллельного гидрохлорирования менее упорного сырья (например, концентратов металлов платиновой группы), который служит гидрозатвором. Отходящие газы катодных камер, содержащие водород, хлороводород и пары воды, через отдельный гидрозатвор поступают в систему газоочистной установки (после многократного разбавления воздухом). Применение гидрозатвора и двух катионообменных мембран позволит увеличить ОВП анолита за счет поддержания избыточного давления хлора в анодной камере, снижения напряжения на ячейке, температуры анолита и, как следствие, увеличения растворимости хлора в анолите [18]. Анодная камера снабжена кольцевыми холодильниками, подключенными к системе оборотного водяного охлаждения. Это позволит увеличить анодную плотность тока. Для перемешивания анолита предусмотрена высокоскоростная турбинная мешалка закрытого типа (скорость перемешивания — не менее 600 мин$^{-1}$), которая позволит диспергировать хлор и изменять направление его движения в объеме анолита (направлять к частицам шлиховой платины). При этом, помимо электрохлорирования, реализуется дополнительный механизм растворения компонентов шлиховой платины (*Me*) — гидрохлорирование [1]:

$$Cl + Cl = Cl_2, \quad (9)$$

$$Me + (m/2)Cl_2 = MeCl_m, \quad (10)$$

$$MeCl_m + nHCl = H_n[MeCl_{(n+m)}]. \quad (11)$$

Для исключения возможности просачивания анолита в катодную камеру изменен способ уплотнения мембраны: вместо способа «рамка в рамке» (см. рис. 3) использован фланцевый метод.

Электрохлоратор работает в периодическом режиме (переработка отдельных партий шлиховой платины). При концентрации платины в растворе 80 г/дм^3 проводят догрузку материала, а при достижении 100 г/дм^3 — осуществляют замену данного раствора на раствор концентрированной соляной кислоты и догрузку материала. После завершения переработки партии нерастворенный остаток, содержащий в основном платину и осмистый иридий, извлекают из электрохлоратора и перерабатывают с использованием других методов аффинажа [1]. Выход нерастворенного остатка не превышает 1 % от массы загруженной шлиховой платины.

Выводы

Применение постоянного тока и катионообменных мембран Nafion позволяет добиться наибольшей скорости электрохлорирования шлиховой платины в растворе соляной кислоты — не менее 1 кг/сут при плотности тока порядка 50 А на 1 кг загруженного материала (в лабораторном электрохлораторе).

Разрабатываемый промышленный электрохлоратор постоянного тока имеет следующие особенности: анодная и две катодные камеры закрытого типа (с отдельными гидрозатворами), высокоскоростная турбинная мешалка, донный токоподвод анодной камеры, высокая степень автоматизации. В таком аппарате можно растворять до 20 кг/сут шлиховой платины; достигать полноты вскрытия шлиховой платины не менее 99 %; получать солянокислые растворы, не содержащие нитрат-ионов, с концентрацией платины не менее 100 г/дм^3; автоматически поддерживать уровень электролита в анодной и катодных камерах и изменять токовую нагрузку в зависимости от температуры анолита.

Промышленный электрохлоратор предполагается также использовать для растворения других видов сырья, содержащих благородные металлы, например шлихового золота, продуктов переработки автомобильных и химических катализаторов и вторичного сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Котляр Ю. А., Меретуков М. А., Стрижко Л. С.** Металлургия благородных металлов : учебник. В 2 кн. Кн. 2. — М. : МИСИС, Издательский дом «Руда и Металлы», 2005. — 392 с.
2. **Гинзбург С. И., Езерская Н. А., Прокофьева И. В., Федоренко Н. В., Шленская В. И., Бельский Н. К.** Аналитическая химия платиновых металлов. — М. : Наука, 1972. — 616 с.
3. **Upadhyay A. K., Jae-chun Lee, Eun-young Kim, Min-seuk Kim, Byung-Su Kim, Vinay Kumar.** Leaching of platinum group metals (PGMs) from spent automotive catalyst using electro-generated chlorine in HCl solution // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2013. Vol. 88, No. 11. P. 1991–1999.
4. **Kim M., Jae-chun Lee, Sang-woon Park, Jinki Jeong, Vinay Kumar.** Dissolution behaviour of platinum by electro-generated chlorine in hydrochloric acid solution // Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2013. Vol. 88, No. 7. P. 1212–1219.
5. **Mpinga C. N., Eksteen J. J., Aldrich C., Dyer L.** Direct leach approaches to Platinum Group Metal (PGM) ores and concentrates: A review // Minerals Engineering. 2015. Vol. 78. P. 93–113.
6. **Manis Kumar Jha, Jae-chun Lee, Min-seuk Kim, Jinki Jeong, Byung-Su Kim, Vinay Kumar.** Hydrometallurgical recovery/recycling of platinum by the leaching of spent catalysts: A review // Hydrometallurgy. 2013. Vol. 133. P. 23–32.
7. **Пат. 2094534 РФ, МПК^7 C 25 C 1/20.** Электролитический способ растворения платины, примесей платиновых металлов и/или сплавов платиновых металлов, содержащих родий, палладий, иридий, золото и серебро / Херрманн З., Ландау У. ; заявитель и патентообладатель Шотт Гласверке. — № 93056628/02 ; заявл. 17.12.93 ; опубл. 27.10.97.
8. **Пат. 2307203 РФ, МПК^7 C 25 C 1/20.** Способ электролитического растворения сплавов платиновых металлов / Спиридонов Б. А., Федянин В. И. ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный технический университет». — № 2006104643/02 ; заявл. 14.02.06 ; опубл. 27.09.07, Бюл. № 27. — 4 с.
9. **Пат. 2256711 РФ, МПК^7 C 22 B 11/00, 3/10, C 25 C 1/20.** Способ переработки материалов, содержащих платиновые металлы и серебро / Анисимова Н. Н., Котухова Г. П., Галанцева Т. В., Глазков В. Б., Тихов И. В., Каменский В. С., Барышев А. А., Горшков В. И. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Горно-металлургическая компания» «Норильский никель». — № 2003123087/02 ; заявл. 28.07.03 ; опубл. 20.07.05, Бюл. № 20. — 10 с.
10. Прикладная электрохимия : учебник для вузов / под ред. А. П. Томилова. — М. : Химия, 1984. 520 с.
11. **Llopis J., Tordesillas I. M., Muniz M.** Anodic corrosion of rhodium in hydrochloric acid solutions // Electrochimica Acta. 1965. Vol. 10, No. 11. P. 1045–1055.
12. **Барабошкин В. Е.** Эффективная технология получения хлорида родия // XX Международная Черняевская конференция по химии, аналитике и технологии платиновых металлов : сб. тез. — Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2013. С. 132.
13. **Medvedev S**. An Electrochemical Method and a Technological Solution to Rhodium Chloride Production [Electronic Resource] // IPMI® 39th Annual Conference : Proceedings. — Madison : Omnipress, 2015. — 1 CD-ROM.
14. Электроосаждение благородных и редких металлов / под ред. Л. И. Каданера. — Киев : Техніка, 1974. — 160 с.
15. **Лидин Р. А., Молочко В. А., Андреева Л. Л.** Химические свойства неорганических веществ : уч. пособие для вузов / под ред. Р. А. Лидина. — М. : Химия, 2000. — 480 с.
16. **Дей К., Селбин Д.** Теоретическая неорганическая химия ; пер. с англ. — М. : Химия, 1976. — 568 с.
17. **Ярославцев А. Б., Никоненко В. В.** Ионообменные мембранные материалы: свойства, модификация и практическое применение // Российские нанотехнологии. 2009. Т. 4, № 3/4. С. 33–53.
18. **Якименко Л. М., Пасманик М. И**. Справочник по производству хлора, каустической соды и основных хлоропродуктов. — М. : Химия, 1976. — 440 с.

ЦМ

Tsvetnye Metally (Non-ferrous metals). 2016. No. 12. pp. 20–26
DOI: 10.17580/tsm.2016.12.03

ELECTROCHLORINATOR FOR DISSOLUTION OF PLACER PLATINUM

Information about authors
K. P. Konik, Head of Refining Shop[1]
E. A. Kuzas, Engineer[2], e-mail: e.kuzas@ezocm.ru
S. V. Lobko, Leading Research Engineer[1]
S. S. Naboychenko, Professor, Head of a Chair of Metallurgy of Heavy Non-ferrous Metals[3]

[1] Ekaterinburg Non-Ferrous Metals Processing Plant, Verkhnyaya Pyshma, Russia.
[2] LLC "ENFMPP — Engineering", Verkhnyaya Pyshma, Russia.
[3] Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yetlsin, Ekaterinburg, Russia.

СОДЕРЖАНИЕ

Abstract
In Russian and foreign refineries alike, raw materials, containing platinum-group metals, are processed by applying technologies such as hydrochlorination, sintering with oxidizers or dissolution in a panitrohydrochloric acid. These technologies are highly intensive, but do not ensure the required completeness of raw material opening per phase. Electrochlorination is efficient and promising platinum-group metal opening method, where precious metals are oxidized with atomic chlorine, which is formed during electrochemical oxidization of chloride-ions on the dissolved material surface. The type of current is the most important of the parameters, influencing the electrochlorinator construction. A laboratory research was performed to study the low-frequency symmetrical AC current and DC current influence on electrochlorination dynamics and placer platinum opening completeness. The experiments disclosed that the usage of DC current and Nafion cation exchange membranes enables the highest speed of placer platinum electrochlorination in hydrochloric acid solution.
The specialists at Ekaterinburg Non-Ferrous Metals Processing Plant develop a special industrial DC electrochlorinator with a 200 dm^3 operating volume. It can dissolute up to 20 kg of placer platinum per day; achieve at least a 99% completeness of placer platinum opening; obtain sulphate-chloride solutions without nitrate ions, whilst the concentration of platinum is at least 100 dm^3; automatically support the electrolyte level in anode and cathode chambers, and change the current load depending on the anolyte's temperature.
The industrial electrochlorinator may also be used for dissolution of other types of precious metals containing raw materials.
Key words: electrochlorinator, electrochlorination, placer platinum, atomic chlorine, hydrochloric acid, chemisorption, low-frequency symmetrical AC current, Nafion cation exchange membrane.

References
1. Kotlyar Yu. A., Meretukov M. A., Strizhko L. S. *Metallurgiya blagorodnykh metallov : uchebnik* (Metallurgy of noble metals : tutorial). In 2 volumes. Volume 2. Moscow : MISiS, "Ore and Metals" Publishing House, 2005. 392 p.
2. Ginzburg S. I., Ezerskaya N. A., Prokofeva I. V., Fedorenko N. V., Shlenskaya V. I., Belskiy N. K. *Analiticheskaya khimiya platinovykh metallov* (Analytical chemistry of platinum metals). Moscow : Nauka, 1972. 616 p.
3. Upadhyay A. K., Jae-chun Lee, Eun-young Kim, Min-seuk Kim, Byung-Su Kim, Vinay Kumar. Leaching of platinum group metals (PGMs) from spent automotive catalyst using electro-generated chlorine in HCl solution. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2013. Vol. 88, No. 11. pp. 1991–1999.
4. Kim M., Jae-chun Lee, Sang-woon Park, Jinki Jeong, Vinay Kumar. Dissolution behaviour of platinum by electro-generated chlorine in hydrochloric acid solution. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 2013. Vol. 88, No. 7. pp. 1212–1219.
5. Mpinga C. N., Eksteen J. J., Aldrich C., Dyer L. Direct leach approaches to Platinum Group Metal (PGM) ores and concentrates: A review. Minerals Engineering. 2015. Vol. 78. pp. 93–113.
6. Manis Kumar Jha, Jae-chun Lee, Min-seuk Kim, Jinki Jeong, Byung-Su Kim, Vinay Kumar. Hydrometallurgical recovery/recycling of platinum by the leaching of spent catalysts: A review. Hydrometallurgy. 2013. Vol. 133. pp. 23–32.
7. Herrmann Z, Landau U. *Elektroliticheskiy sposob rastvoreniya platiny, primesey platinovykh metallov i/ili splavov platinovykh metallov, soderzhashchikh rodiy, palladiy, iridiy, zoloto i serebro* (Electrolytical method of dissolution of platinum, impurities of platinum metals and/or platinum metal alloys, containing rhodium, palladium, irridium, gold and silver). Patent RF, No. 2094534, IPC^7 C 25 C 1/20. Applier and Patent-Holder: Shott Glaswerke. No. 93056628/02. Applied: 17.12.93. Published : 27.10.97.
8. Spiridonov B. A., Fedyanin V. I. *Sposob elektroliticheskogo rastvoreniya splavov platinovykh metallov* (Method of electrolytical dissolution of platinum metal alloys). Applier and Patent-Holder: Voronezh State Technical University. Patent RF, No. 2307203, IPC^7 C 25 C 1/20. No. 2006104643/02. Applied: 14.02.06. Published: 27.09.07. Bulletin No. 27. 4 p.
9. Anisimova N. N., Kotukhova G. P., Galantseva T. V., Glazkov V. B., Tikhov I. V., Kamenskiy V. S., Baryshev A. A., Gorshkov V. I. *Sposob pererabotki materialov, soderzhashchikh platinovye metally i serebro* (Method of processing of materials, containing platinum metals and silver). Patent RF, No. 2256711, IPC^7 C 22 B 11/00, 3/10, C 25 C 1/20. Applier and Patent-Holder: "Norilsk Nikel" MMC. No. 2003123087/02. Applied: 28.07.03. Published: 20.07.05. Bulletin No. 20. 10 p.
10. *Prikladnaya elektrokhimiya : uchebnik dlya vuzov* (Applied electrochemistry : tutorial for universities. Ed.: A. P. Tomilov. Moscow : Khimiya, 1984. 520 p.
11. Llopis J., Tordesillas I. M., Muniz M. Anodic corrosion of rhodium in hydrochloric acid solutions. Electrochimica Acta. 1965. Vol. 10, No. 11. pp. 1045–1055.
12. Baraboshkin V. E. Effektivnaya tekhnologiya polucheniya khlorida rodiya (Efficient technology of obtaining of rhodium chloride). *XX Mezhdunarodnaya Chernyaevskaya konferentsiya po khimii, analitike i tekhnologii platinovykh metallov : sbornik tezisov* (XX International Chernyaev conference on chemistry, analytics and technology of platinum metals : collection of thesises). Krasnoyarsk : Siberian Federal University, 2013. p. 132.
13. Medvedev S. An Electrochemical Method and a Technological Solution to Rhodium Chloride Production [Electronic Resource]. IPMI® 39th Annual Conference : Proceedings. Madison : Omnipress, 2015. 1 CD-ROM.
14. *Elektroosazhdenie blagorodnykh i redkikh metallov* (Electrosedemintation of noble and rare metals). Ed.: L. I. Kadaner. Kiev : Tekhnika, 1974. 160 p.
15. Lidin R. A., Molochko V. A., Andreeva L. L. *Khimicheskie svoystva neorganicheskikh veshchestv : uchebnoe posobie dlya vuzov* (Chemical properties of inorganic substances : tutorial for universities). Ed.: R. A. Lidin. Moscow : Khimiya, 2000. 480 p.
16. M. Clyde Day, Joel Selbin. *Teoreticheskaya neorganicheskaya khimiya* (Theoretical inorganic chemistry). Translated from English. Moscow : Khimiya, 1976. 568 p.
17. Yaroslavtsev A. B., Nikonenko V. V. Ionoobmennye membrannye materialy: svoystva, modifikatsiya i prakticheskoe primenenie (Ion-exchange membrane materials: Properties, modification, and practical application). *Rossiyskie nanotekhnologii = Nanotechnologies in Russia.* 2009. Vol. 4, No. 3/4. pp. 33–53.
18. Yakimenko L. M., Pasmanik M. I. *Spravochnik po proizvodstvu khlora, kausticheskoy sody i osnovnykh khloroproduktov* (Reference book for the production of chlorine, caustic sola and basic chlorine products). Moscow : Khimiya, 1976. 440 p.

ORE & METALS WEEKLY
ГОРНОРУДНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ · УГОЛЬНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ · МЕТАЛЛУРГИЯ
ЕЖЕНЕДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ НОВОСТНОЕ ИЗДАНИЕ
БЕСПЛАТНАЯ ПОДПИСКА:
http://www.rudmet.ru/page/omw
Всем клиентам предлагается оформить бесплатную подписку на продукт Издательского дома «Руда и Металлы» — еженедельное новостное электронное издание "Ore&Metals Weekly", распространяемое бесплатно в виде e-mail рассылки. Тематика издания: новости компаний горной, угольной промышленности, цветной и черной металлургии, а также проектных организаций и производителей оборудования для горно-металлургической отрасли. В издании анонсируются крупнейшие отраслевые мероприятия.
Реклама

СОДЕРЖАНИЕ