

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2529264

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЯ

Патентообладатель(ли): *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2013137523

Приоритет изобретения **09 августа 2013 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **31 июля 2014 г.**

Срок действия патента истекает **09 августа 2033 г.**

Врио руководителя Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий





**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013137523/02, 09.08.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.08.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.08.2013

(45) Опубликовано: 27.09.2014 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2075526 C1, 20.03.1997. RU 2301842 C2, 27.06.2007. RU 2476612 C2, 27.02.2013. RU 2170278 C2, 10.07.2001. US 6440193 B1, 27.08.2002; . US 4533386 A, 06.08.1985.

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВПО "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный", отдел интеллектуальной собственности и трансфера технологий (отдел ИС и ТТ)

(72) Автор(ы):

**Бажин Владимир Юрьевич (RU),
Фещенко Роман Юрьевич (RU),
Патрин Роман Константинович (RU),
Власов Александр Анатольевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный" (RU)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу получения алюминия из металлургического глинозема. Способ включает плавление непрерывно поступающего глинозема в расплаве жидкого электрокорунда при плазменно-дуговом нагреве в реакторе под вакуумом, с последующим осаждением первичного алюминия и его рафинированием. Глинозем загружается в реактор дозатором в зону плазменной дуги и расплавляется при температуре 1300-1500°C со степенью вакуумирования 1,1-1,3·10⁻⁴ Па. Расплав электрокорунда переливается в электроосадительную камеру через разделительную диафрагму-перегородку, где под

воздействием постоянного тока 150-200 А на поверхности расплава образуется алюминий, являющийся жидким катодом. Металл при достижении расчетного уровня 10-15 см направляют через сливное отверстие вакуумной печи в камеру для рафинирования, при этом в камере постоянно сохраняется необходимый объем металла. Обеспечивается упрощение способа получения алюминия и снижение материальных и энергетических затрат на его производство при высоких технико-экономических показателях процесса и экологичности. 1 з.п. ф-лы, 1 ил., 1 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013137523/02, 09.08.2013**(24) Effective date for property rights:
09.08.2013

Priority:

(22) Date of filing: **09.08.2013**(45) Date of publication: **27.09.2014** Bull. № 27

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 linija, 2, FGBOU
VPO "Natsional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet
"Gornyj", otdel intellektual'noj sobstvennosti i
transfera tekhnologij (otdel IS i TT)

(72) Inventor(s):

**Bazhin Vladimir Jur'evich (RU),
Feshchenko Roman Jur'evich (RU),
Patrin Roman Konstantinovich (RU),
Vlasov Aleksandr Anatol'evich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Natsional'nyj
mineral'no-syr'evoj universitet "Gornyj" (RU)**

(54) **ALUMINIUM PRODUCTION METHOD**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: method involves melting of continuously supplied alumina in the melt of liquid electrocorundum at plasm-arc heating in a reactor under vacuum, deposition of primary aluminium and its refining follow. The alumina is loaded into the reactor by a dosing unit into the plasm arc zone and is molten under the temperature of 1300-1500°C with the vacuumising degree of 1.1-1.3·10⁻⁴ Pa. The electrocorundum melt is poured into the electric settling chamber through a separating partition membrane where

aluminium being a liquid cathode is formed on the melt surface under the action of direct current of 150-200 A. After specified level of 10-15 cm is reached the metal is directed to the chamber for refining via an outlet hole in the vacuum furnace, and the required level of metal is constantly maintained in the chamber.

EFFECT: simplified aluminium production method and reduced material and power costs of the production along with high technical and economical indices of the process and its environment protection.

2 cl, 1 dwg, 1 ex

Изобретение относится к цветной металлургии, в частности к получению алюминия из металлургического глинозема.

Известен промышленный способ Эру-Холла - электролиз криолит-глиноземных расплавов, по которому выпускается весь первичный алюминий [Минцис М.Я. Электрометаллургия алюминия / М.Я. Минцис, П.В. Поляков, Г.А. Сиразутдинов. Новосибирск: Наука. 2001. 368 с.]. Несмотря на долгий срок применения данной технологии, она имеет ряд недостатков: низкий энергетический КПД 40-50%; высокий расход электроэнергии (13-17 кВт·ч/кг Al); загрязнение окружающей среды; высокие материальные и трудовые затраты.

Известен усовершенствованный способ получения алюминия по технологии Эру-Холла (патент US 6126799, опубл. 10.03.2000), в котором используют электролизеры с металлическими электродами, покрытыми керамическим оксидом, обладающим проводимостью по иону кислорода. При электролизе с таким анодом ионы кислорода проходят через оксидный слой и разряжаются на металлической основе. За исключением благородных металлов не было найдено ни одного индивидуального металла, пригодного для использования в качестве инертного анода, а основами для создания материала металлического инертного анода выбирались железоникелевый сплав (Fe-Ni) по патенту US 5006209 и алюминиевая бронза.

Основным недостатком металлических анодов является их быстрая растворимость в криолит-глиноземном расплаве и загрязнение первичного алюминия. Образующиеся на поверхности металлического электрода оксидные пленки, образующиеся в результате коррозии, повышают электрическое сопротивление на поверхности электрода. Сохранность слоя может быть обеспечена только при высокой активности ионов кислорода (O^{2-}) в прианодном слое электролита, что особенно сложно осуществить при низких (700-900°C) температурах, когда растворимость глинозема низка и активность ионов кислорода резко изменяется. Снижение температуры электролита за счет дорогостоящих модифицирующих добавок, в свою очередь, необходимо для снижения растворимости оксидного слоя анода.

Известен усовершенствованный способ получения алюминия (патент US 3960678, опубл. 01.08.1976) с анодами с полупроводниковыми оксидами с электронной проводимостью и кислородом, выделяющимся прямо на поверхности оксида. Наибольшее распространение в этой группе получили аноды на основе ферритов никеля ($NiFe_2O_4$), разработанные компанией Alcoa, и оксида олова (SnO_2), предложенные к испытаниям. Основным достоинством керамики является ее низкая растворимость в криолит-глиноземном расплаве.

Основным недостатком является низкий срок службы анодов, а промышленному внедрению керамики мешают низкая механическая прочность массивных образцов, особенно при высоких температурах, и сложность изготовления надежных токоподводящих контактов. Представляет большую опасность и возможность восстановления оксидов до металла растворенным алюминием в случае остановки.

Из альтернативных способов известны способы карботермического восстановления алюминия из его оксида, исследования, проведенные компаниями Alcan, Pechiney, Hydroaluminum. Наибольший прогресс в разработке карботермического способа (патент RU 2301842 C2, опубл. 27.06.2007) достигнут в результате совместных работ компаний Alcoa и Elcem. В печи карботермического восстановления, применяемой для получения алюминия, используют полую разделительную перегородку для подачи углеродного материала в протекающий под ней поток. Эта перегородка разделяет низкотемпературную реакционную зону, где проводят реакцию оксида алюминия

с углеродом с образованием карбида алюминия, и высокотемпературную реакционную зону, где проводят реагирование карбида алюминия и оставшегося оксида алюминия с образованием алюминия и оксида углерода. Изобретение обеспечивает возможность подачи дополнительного углеродсодержащего материала в реактор и его равномерного распределения, возможность исключения локализованного перегрева ванны шлака и снижение уноса алюминия.

Основными недостатками, связанными с процессом карботермического способа, являются незначительный выбор материалов, стойких к воздействию жидкого оксикарбидного расплава и газов при температуре до 2100°C, трудности эффективного регулирования и поддержания высокой рабочей температуры, невозможность обеспечения чистоты металла из-за примесей в нефтяном коксе и неполная декарбонизация полученного алюминия.

Известен хлоридный способ производства алюминия (патент US 3893899, опубл. 07.08.1975). В нем в качестве сырья используется $AlCl_3$, растворенный в расплавленных хлоридах щелочных металлов. Проведение процесса возможно при низких температурах электролиза (~700°C). Преимуществами такого способа являются высокие плотности тока, т.к. в расплаве присутствует только один вид анионов, способных окисляться на аноде, отсутствие окисления хлором угольных анодов, что делает их нерасходуемыми.

К недостаткам способа относят необходимость в производстве и транспортировке чистого обезвоженного $AlCl_3$. Содержание оксидов и гидроксидов должно быть низким, чтобы избежать окисления графитовых электродов и накопления шлама оксихлоридов, которые малорастворимы в хлоридном электролите. Высокие парциальные давления паров различных компонентов электролита, поэтому требуется очистка хлора, выделяемого при электролизе, от паров электролита и возврат уловленных хлоридов в электролизер. Наиболее эффективная попытка внедрения процесса была сделана компанией Alcoa. Несмотря на высокую производительность (около 13 т Al/сут) для одного электролизера и низкий удельный расход электроэнергии (около 9 кВт·ч/кг Al, без учета расхода энергии на процесс хлорирования), метод имеет несколько сложных технических проблем, которые до сих пор исключают его коммерческое применение.

Известно альтернативное получение алюминия из его сульфида (патент NL 20080202939, опубл. 28.08.2008). Безводный высокочистый сульфид алюминия получают из глинозема, далее электролитическим способом разлагают на алюминий и серу в многополярной ванне. При выходе по току в 90% удельный расход электроэнергии составит всего 5,24 кВт·ч/кг Al.

Главным недостатком является необходимость в производстве и создании отдельно технологического передела для получения очень чистого Al_2S_3 , это делает технологию промышленно нереализуемой, также существует сложность самого агрегата.

Известен способ получения алюминия электролизом расплава (патент RU 2415973 С2, опубл. 10.04.2011). Способ включает электролиз расплава $KF-NaF-AlF_3$ с добавками Al_2O_3 при температуре электролита 700-900°C и поддержание криолитового отношения $(KF+NaF)/AlF_3$ от 1,1 до 1,9. Электролиз ведут при анодной плотности тока не более 1,0 А/см² и катодной плотности тока не более 0,9 А/см². Обеспечивается увеличение производительности с одновременным снижением удельного расхода электроэнергии и удешевлением известного способа электролитического получения алюминия и низкая скорость коррозии электродных материалов, в частности инертных анодов. Температура электролиза при их использовании не превышает 150°C, что снижает требования к материалам электролизера, корректировке состава электролита, уменьшает

экологическую нагрузку на окружающую среду.

Недостатком способа является высокая стоимость электролита, невозможность прямого использования в качестве сырья глинозема, низкие плотности тока снижают экономическую конкурентоспособность процесса. Участвующие в процессе электролиза ионы калия существенно снижают значение выхода по току.

Известен принятый в качестве прототипа способ извлечения металлов из металлосодержащих катализаторов на основе оксидов алюминия или кремния в плазменных печах (патент RU 2075526, опубл. 20.03.1997), включающий переработку путем плавления катализаторов в смеси с известковыми флюсами и(или) глиноземом с использованием плазменно-дугового нагрева при температуре 1600-1650°C подачей углеродсодержащего восстановителя и железа с последующей продувкой полученного расплава нейтральным газом.

Недостатком способа извлечения является разрушение электродов при высоких температурах электродуговой плавки. Взаимодействие угольной пыли и осколков с жидким металлом ведет к возникновению обратных термических реакций с образованием карбидов. Процесс энергоемкий и экономически невыгодный, требует применения дорогостоящих огнеупорных материалов для футеровки. Для извлечения металла требуется полный слив печи и временная остановка процесса.

Техническим результатом предлагаемого способа является упрощение существующего способа получения алюминия и снижение материальных и энергетических затрат на его производство при высоких технико-экономических показателях процесса и экологичности процесса.

Технический результат достигается тем, что алюминий получают путем плавления непрерывно поступающего глинозема в расплаве жидкого электрокорунда при плазменно-дуговом нагреве в реакторе в интервале температур 1300-1500°C со степенью вакуумирования $1,1-1,3 \cdot 10^{-4}$ Па, с последующим осаждением первичного алюминия на поверхности электрокорунда в электроосадительной камере путем пропускания через расплав постоянного тока 150-200 А и его рафинированием. При этом жидкий алюминий осаждают и собирают на поверхности электрокорунда при температуре 850-900°C.

Сущность заявляемого способа пояснена на фиг.1.

В реакционном пространстве высокотемпературной печи с углеродной системой нагрева и теплоизоляции, которая имеет двойной водоохлаждаемый корпус 1, создается вакуум до давления остаточных защитных газов 100-150 Па с помощью одновременной работы диффузионного вакуумного насоса 3 и форвакуумного насоса 4. Глинозем загружается на поверхность расплава при помощи дозатора 2. Затем проводится равномерный нагрев глинозема до получения расплава белого электрокорунда. Для нагрева и плавления порций глинозема используется плазменная дуга плазмотрона 5 на постоянном токе «прямой полярности». Необходимым условием стабильности электрической дуги является наличие источника питания, обладающего специальными характеристиками. Образовавшийся расплав заполняет электроосадительную камеру 6, перетекая за диафрагму-перегородку 7. Первичный алюминий осаждают на поверхности электрокорунда путем пропускания через расплав постоянного тока 150-200 А посредством углеродных анода 8 и катода 9. Жидкий алюминий 10 находится на поверхности расплава, выполняя функцию катода, при достижении расчетного уровня через литниковую систему посредством верхнего слива 11 направляется в рафинировочную камеру 12 на очистку.

Наиболее рациональным с точки зрения перерабатываемого объекта методом извлечения металлического алюминия из оксида алюминия является плазменно-дуговой

нагрев. При этом в заявляемых условиях глинозем представляет собой расплав белого электрокорунда. Температура плавления глинозема при степени вакуумирования - $1,1-1,3 \cdot 10^{-4}$ Па снижается до $1300-1500^{\circ}\text{C}$. Полученный расплав электрокорунда перетекает по принципу сообщающегося сосуда в электроосадительную камеру через
 5 разделительную диафрагму-перегородку. При прохождении электрического тока через расплав на поверхности раздела в камере происходит электрохимическое восстановление ионов с образованием алюминия.

В межэлектродном зазоре глинозем представляет собой расплав, состоящий из оксида алюминия в аморфном состоянии, с развитой внутренней поверхности которого
 10 адсорбируются анионы O^{2-} и катионы Al^{3+} на электродах. Сверху на поверхности катода идет реакция восстановления алюминия $\text{Al}^{3+}-3\text{e}=\text{Al}$, а на аноде образуется молекулярный кислород $\text{O}^{2-}-2\text{e}=\text{O}_2$, который транспортируется вверх по поверхности катода.

15 Жидкий металл находится на поверхности расплава с температурой $850-900^{\circ}\text{C}$, поскольку имеет плотность $2,30-2,35 \text{ г/см}^3$, а плотность расплава белого электрокорунда составляет $3,70-3,95 \text{ г/см}^3$. Алюминий перетекает через сливное отверстие в рафинировочную камеру по мере увеличения уровня.

20 Пример реализации технического решения

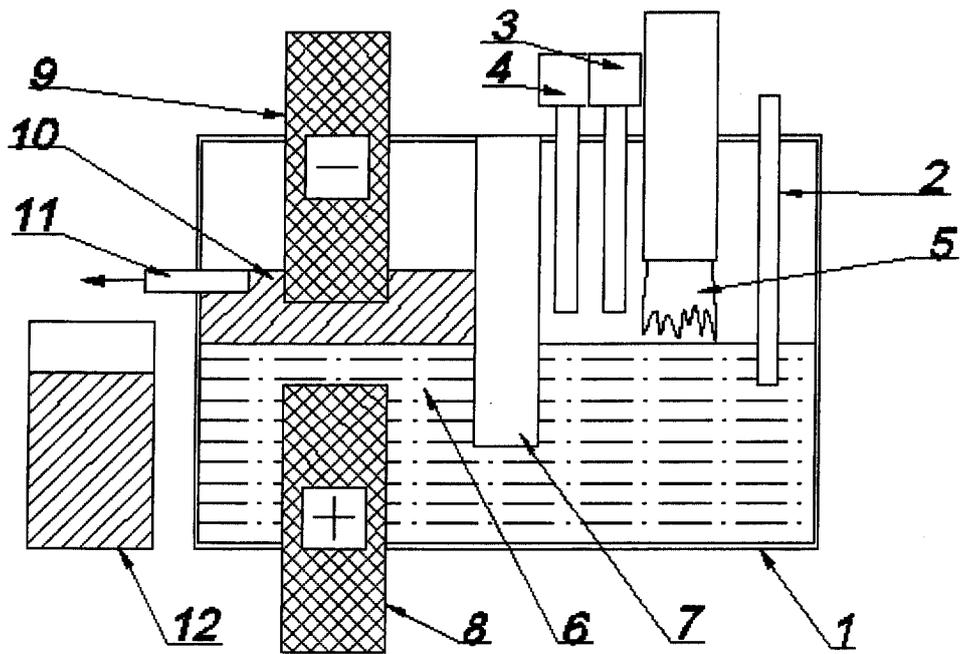
В реакционное пространство вакуумной электропечи загрузили 100 кг глинозема марки Г00. В результате переработки получено 52,7 кг жидкого алюминия марки А5, что соответствует удельному расходу коэффициенту глинозема 1895 кг/т Al по
 25 реакции разложения. Как следует из анализа полученных результатов, наилучшие показатели достигаются при поддержании температуры расплава на уровне $1430-1450^{\circ}\text{C}$, со скоростью подачи глинозема на поверхность расплава в зоне плавления 5 кг/сек .

Заявляемый способ успешно позволяет решить проблему комплексной экономичной переработки металлургического глинозема с целью извлечения алюминия, снизить
 30 расход материалов и электроэнергии, обеспечить экологические требования, предъявляемые процессу.

Формула изобретения

1. Способ получения алюминия, включающий переработку оксида алюминия путем
 35 плавления с использованием плазменно-дугового нагрева, отличающийся тем, что непрерывно поступающий глинозем плавят в расплаве жидкого электрокорунда при плазменно-дуговом нагреве в реакторе в интервале температур $1300-1500^{\circ}\text{C}$ со степенью вакуумирования $1,1-1,3 \cdot 10^{-4}$ Па, а затем осаждают первичный алюминий на поверхности электрокорунда в электроосадительной камере путем пропускания через расплав
 40 постоянного тока $150-200 \text{ A}$ и рафинируют в рафинировочной камере.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что жидкий алюминий осаждают и собирают на поверхности электрокорунда при температуре $850-900^{\circ}\text{C}$.



Фиг. 1