



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2006144871/02, 13.05.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.05.2005(30) Конвенционный приоритет:
17.05.2004 US 60/571,755

(43) Дата публикации заявки: 27.06.2008

(45) Опубликовано: 27.08.2009 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: US 6440193 B1, 27.08.2002. US 3554830 A,
12.01.1971. FR 2740771 A1, 09.05.1997. RU
2002116693 C1, 20.12.2003. RU 2099443 C1,
20.12.1997. SU 1790156 A1, 27.06.1995.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную
фазу: 18.12.2006(86) Заявка РСТ:
EP 2005/005245 (13.05.2005)(87) Публикация РСТ:
WO 2005/112511 (24.11.2005)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову,
рег.№ 595

(72) Автор(ы):
ДАЙМЕР Йоханн (DE)(73) Патентообладатель(и):
СГЛ КАРБОН АГ (DE)**(54) УСТОЙЧИВЫЕ К РАЗРУШЕНИЮ ЭЛЕКТРОДЫ ДЛЯ ПЕЧИ КАРБОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к графитовым электродам для производства алюминия карботермическим восстановлением глинозема. Графитовые электроды для производства алюминия карботермическим восстановлением глинозема могут предпочтительно быть либо погруженными в расплавленную ванну в низкотемпературной камере, либо установленными горизонтально на боковых стенках высокотемпературной

камеры. Электроды изготавливают предпочтительно с использованием смеси частиц кокса, охватывающих полный диапазон размеров частиц от по существу 25 мкм до по существу 3 мм, и предпочтительно с использованием высокоинтенсивного миксера для эффективного смачивания всех частиц кокса смолой. Электроды могут иметь предел прочности на изгиб, составляющий по меньшей мере 20 Н/мм². При использовании полного непрерывного диапазона размеров

частиц в сочетании с их перемешиванием высокоинтенсивным миксером геометрическая упаковка частиц может быть значительно улучшена, следовательно, может быть повышена плотность материала, и, таким

образом, могут быть достигнуты более высокая механическая прочность, а также улучшенная электропроводность по сравнению с обычными графитовыми электродами. 3 н. и 13 з.п. ф-лы, 1 табл.

R U 2 3 6 5 6 4 6 C 2

R U 2 3 6 5 6 4 6 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
C22B 21/02 (2006.01)
C25C 3/12 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2006144871/02, 13.05.2005**

(24) Effective date for property rights:
13.05.2005

(30) Priority:
17.05.2004 US 60/571,755

(43) Application published: **27.06.2008**

(45) Date of publication: **27.08.2009 Bull. 24**

(85) Commencement of national phase: **18.12.2006**

(86) PCT application:
EP 2005/005245 (13.05.2005)

(87) PCT publication:
WO 2005/112511 (24.11.2005)

Mail address:
**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu, reg.№ 595**

(72) Inventor(s):
DAJMER Jokhann (DE)

(73) Proprietor(s):
SGL KARBON AG (DE)

(54) DESTRUCTION-RESISTANT ELECTRODES FOR CARBOTHERMAL REDUCTION FURNACE

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to graphite electrodes for aluminium production by means of carbothermic reduction of alumina. Graphite electrodes for aluminium production by means of carbothermic reduction of alumina preferably can be either immersed into the molten bath in the low-temperature chamber or be installed vertically on the lateral walls of the high-temperature chamber. The electrodes are made preferably using a mixture of coke pieces with a full range of sizes from essentially 25 μm to essentially 3 mm and preferably

using high-intensity mixer for effective spreading of resin on all coke pieces. The electrodes can have flexural strength at break of at least 20 N/mm².

EFFECT: when using the full continuous range of particle sizes in conjunction with mixing with a high-intensity mixer the geometrical packing of the particles can be greatly improved, therefore it can increase the density of the material and thus a higher mechanical strength can be achieved as well as electrical conduction can be improved as compared to ordinary graphite electrodes.

16 cl, 2 ex

Предпосылки создания изобретения

Область техники, к которой относится изобретение

Настоящее изобретение относится к графитовым электродам для производства алюминия карботермическим восстановлением глинозема.

Описание уровня техники

В течение столетия алюминиевая промышленность основывается на процессе Холла-Эру по выплавке алюминия. По сравнению с процессами, используемыми для производства конкурирующих материалов, таких как сталь и пластмассы, данный процесс является энергоемким и дорогостоящим. Следовательно, возникла потребность в поиске альтернативных процессов производства алюминия.

Одной из таких альтернатив является процесс, называемый прямым карботермическим восстановлением кремнезема. Как описано в патенте США № 2974032 (Грюнерт и др.), протекает процесс, который может быть обобщен суммарной реакцией



или же он может протекать в два этапа:



Реакция (2) протекает при температурах между 1900 и 2000°C. Реакция (3) фактического получения алюминия протекает при температурах 2200°C и выше; скорость этой реакции повышается с повышением температуры. Помимо соединений, указанных в уравнениях реакций (2) и (3), при реакциях (2) и (3) образуются летучие соединения Al, включая Al₂O, которые удаляются вместе с отходящими газами. Эти летучие соединения, если они не улавливаются, представляют собой потери в выходе алюминия. Обе реакции (2) и (3) являются эндотермическими.

Были предприняты различные попытки разработать эффективную производственную технологию прямого карботермического восстановления глинозема (см. Маршалл Бруно, Легкие металлы, 2003, TMS (The Minerals, Metals & Materials Society) (Общество минерало-, металло- и материаловедения), 2003). В патенте США № 3607221 (Кибби) описывается процесс, при котором все продукты быстро испаряются до по существу только газообразного алюминия и CO, эту парообразную смесь приводят в контакт со слоем жидкого алюминия при температуре, достаточно низкой для того, чтобы давление пара жидкого алюминия было ниже парциального давления паров алюминия в контакте с ним и достаточно высокой для предотвращения реакции монооксида углерода и алюминия, и извлекают по существу чистый алюминий.

Другие патенты, относящиеся к карботермическому восстановлению с целью получения алюминия, включают патенты США №№ 4486229 (Троуп и др.) и 4491472 (Стивенсон и др.). Сдвоенные зоны реакции описаны в патенте США № 4099959 (Дьюинг и др.). Наиболее свежие работы, выполненные фирмами Alcoa и Elkem, привели к разработке нового двухкамерного реактора, описанного в патенте США № 6440193 (Йохансен и др.).

В этом двухкамерном реакторе реакция (2) по существу ограничена низкотемпературной камерой. Расплавленная ванна Al₄C₃ и Al₂O₃ перетекает под разделительной перегородкой придонного перетекания в высокотемпературную

камеру, где происходит реакция (3). Полученный таким образом алюминий образует слой на поверхности слоя расплавленного шлака и выпускается из высокотемпературной камеры. Отходящие из низкотемпературной камеры и из высокотемпературной камеры газы, содержащие пары Al и летучий Al_2O_3 , вступают в реакцию в отдельных установках улавливания паров с образованием Al_4C_3 , который повторно вводится в низкотемпературную камеру. Энергию, необходимую для поддержания температуры в низкотемпературной камере, можно обеспечить путем высокоинтенсивного электронагрева, например, с помощью графитовых электродов, погруженных в расплавленную ванну. Аналогично энергию, необходимую для поддержания температуры в высокотемпературной камере, можно обеспечить несколькими парами электродов, расположенных по существу горизонтально на боковых стенках данной камеры реакционного сосуда.

При изготовлении графитовых изделий множество операций по размолу, измельчению и просеиванию гарантируют, что требуемая комбинация совместимых размеров зерен кокса приведет к образованию шихты, которая затем будет перемешана с пековым связующим. Обычно фракцию относительно крупных частиц кокса смешивают (подшихтовывают) с фракцией более мелких частиц кокса для того, чтобы они оптимально заполняли промежутки между крупными частицами. Технические, а также экономические требования к созданию и эксплуатации оборудования для такого размола, измельчения и просеивания являются весьма существенными, и все же не во всех случаях они компенсируются высококачественными свойствами конечной графитовой продукции.

В контексте производства алюминия карботермическим восстановлением требования к механической прочности графитовых электродов, погруженных в расплавленную ванну в низкотемпературной камере, и, даже в большей мере, электродов, расположенных горизонтально на боковых стенках высокотемпературной камеры, являются трудновыполнимыми, так как относительно длинные электроды должны выдерживать отчасти обширные перемещения расплавленной ванны, которая, кроме того, содержит твердые частицы углерода и шлака, а также пузырьки газа, которые все вносят свой вклад в формирование предъявляющей высокие механические требования среды. Для изготовления графитовых электродов, которые обладают достаточной механической прочностью для удовлетворения этим требованиям, требуется тщательный отбор исходных материалов (сырья), особенно кокса, и сложная работа по просеиванию частиц и шихтованию.

Сущность изобретения

Таким образом, задачей изобретения является создание устойчивого к разрушению электрода для печи карботермического восстановления, в которой глинозем восстанавливается до металлического алюминия, который позволяет преодолеть вышеуказанные недостатки известных до настоящего времени устройств и способов данного общего типа и который обладает требуемой механической прочностью и изготовлен без каких-либо технологических этапов просеивания или шихтования.

Ввиду вышеуказанных и других задач в соответствии с настоящим изобретением предлагается графитовый электрод для печи карботермического восстановления. Этот графитовый электрод образован из частиц кокса, имеющих по существу непрерывное распределение размеров частиц от 25 мкм до 3 мм, в матрице из полностью коксованного каменноугольного связующего пека и графитизирован с образованием графитового тела электрода.

В соответствии с дополнительным признаком изобретения частицы кокса представляют собой частицы кокса анодного качества с содержанием железа менее 0,1% по массе, а тело электрода графитизировано при конечной температуре графитизации ниже 2700°C. Предпочтительно тело электрода имеет содержание железа приблизительно 0,05% по массе.

В соответствии с дополнительным признаком изобретения в тело электрода внедрено некоторое количество углеродных нановолокон или углеродных волокон для повышения механической прочности и корректировки его коэффициента термического расширения.

Ввиду вышеуказанных и других задач в соответствии с настоящим изобретением предлагается также промежуточный продукт при изготовлении графитового электрода, содержащий частицы кокса, имеющего размер частиц с по существу Гауссовым распределением в диапазоне от 25 мкм до 3 мм, смешанные со связующим пеком и сформованные в неспеченный («сырой») электрод, подлежащий обжигу и графитизации с образованием графитового электрода. Предпочтительно связующий пек присутствует в количестве приблизительно 15% от массы неспеченного электрода.

Ввиду вышеуказанных и других задач в соответствии с изобретением предлагается также способ изготовления графитового электрода, который включает в себя:

измельчение частиц кокса до достижения непрерывного распределения размеров частиц от по существу 25 мкм до по существу 3 мм и смешивание частиц кокса с каменноугольным связующим пеком с образованием смеси;

формирование тела электрода из этой смеси с образованием неспеченного электрода;

обжиг неспеченного электрода при температуре между приблизительно 700°C и приблизительно 1100°C для коксования связующего пека до твердого кокса с образованием ококсованного электрода;

графитизацию ококсованного электрода термообработкой в течение времени, достаточного для того, чтобы вызвать организацию углеродных атомов в ококсованном электроде в кристаллическую структуру графита; и

механическую обработку графитизированного электрода для придания электроду конечной формы.

В соответствии с другим признаком изобретения партию частиц кокса просеивают с разделением на крупнозернистую фракцию и мелкозернистую фракцию, отдельно измельчают крупнозернистую фракцию и мелкозернистую фракцию, и в последующем объединяют измельченные фракции в партию частиц кокса с Гауссовым распределением размеров частиц.

В соответствии с еще одним признаком изобретения крупнозернистую фракцию измельчают до образования частиц с распределением размеров частиц от 200 мкм до 3 мм, а мелкозернистую фракцию измельчают до образования частиц с распределением размеров частиц от 25 мкм до 300 мкм.

В предпочтительном варианте воплощения изобретения кокс предусматривают в виде кокса анодного качества, а электрод графитизируют при температуре графитизации вплоть до 2700°C, а предпочтительно от 2200°C до 2500°C.

В другом варианте воплощения изобретения кокс предусматривают в виде игольчатого кокса, а электрод графитизируют при температуре графитизации между 2700°C и 3200°C.

В соответствии с еще одним дополнительным признаком изобретения после этапа обжига электрод пропитывают по меньшей мере один раз каменноугольной смолой

или нефтяным пеком для отложения дополнительного пекового кокса в открытых порах электрода, и каждый этап пропитки сопровождаются дополнительным этапом обжига.

5 В соответствии с дополнительным признаком изобретения в смесь добавляют масла и другие смазки, а неспеченный электрод формируют путем экструзии. В качестве альтернативы неспеченный электрод формируют путем прессования в формовочной матрице или путем виброформования в формовочной матрице с перемешиванием.

10 В соответствии с еще одним дополнительным признаком изобретения в смесь для формирования неспеченного электрода примешивают относительно небольшую долю углеродных волокон и/или углеродных нановолокон.

15 В соответствии с сопутствующим признаком изобретения графитовую электродную колонну получают путем изготовления множества графитизированных электродов вышеуказанным способом изготовления ниппеля, выполненного с возможностью зацепления с графитизированными электродами, и соединения этих электродов и ниппеля с образованием графитовой электродной колонны.

20 Другими словами, в настоящем изобретении предложены графитовые электроды для производства алюминия карботермическим восстановлением глинозема, более конкретно: графитовые электроды, погруженные в расплавленную ванну в низкотемпературной камере, а также электроды, расположенные горизонтально на боковых стенках высокотемпературной камеры. Электроды по данному изобретению изготавливают с использованием смеси частиц кокса, охватывающих полный диапазон размеров частиц от 25 мкм до 3 мм, и с использованием высокоинтенсивного миксера для эффективного смачивания всех частиц кокса пеком, при этом 25 вышеупомянутые электроды имеют предел прочности на изгиб в по меньшей мере 20 Н/мм².

30 При использовании полного (непрерывного) диапазона размеров частиц в сочетании с их перемешиванием высокоинтенсивным миксером геометрическая упаковка частиц значительно улучшается, следовательно, повышается плотность материала и, таким образом, достигается более высокая механическая прочность, а также улучшенная электропроводность по сравнению с обычными графитовыми электродами.

35 Другие признаки, которые считаются характерными для данного изобретения, изложены в прилагаемой формуле изобретения.

40 Хотя изобретение проиллюстрировано и описано здесь для варианта воплощения в графитовом электроде для печи карботермического восстановления, это, тем не менее, не означает, что оно ограничено вышеуказанными особенностями, поскольку в нем могут быть сделаны различные модификации и структурные изменения без отступления от сущности изобретения и в пределах объема и диапазона эквивалентов формулы изобретения.

45 Однако конструкция по изобретению, наряду с его дополнительными задачами и преимуществами, будет лучше понята из последующего описания примерного варианта осуществления изобретения, включающего конкретные примеры и варианты воплощения изобретения.

Подробное описание варианта воплощения изобретения

50 Для дальнейшей иллюстрации и разъяснения настоящего изобретения представлены следующие примеры. Они не должны рассматриваться как ограничивающие в каком-либо отношении. Если не указано иное, то все доли и процентные содержания приводятся по массе.

Пример

В соответствии с настоящим изобретением частицы анодного или игольчатого кокса в состоянии после отгрузки сначала разделяют просеиванием на две фракции, при этом крупнозернистая фракция содержит частицы размером более 5 мм.

Крупнозернистую фракцию затем поточно (online) подают в измельчитель, имеющий мощные размалывающие лопасти и дающий зерна размером от 200 мкм до 3 мм. Параллельно мелкозернистую фракцию подают в другой измельчитель, сконструированный для более мелких зерен и обеспечивающий получение частиц размером от 25 мкм до 300 мкм. Две эти фракции затем объединяют снова, и полученный в результате порошок содержит частицы кокса с Гауссовым распределением размеров частиц между 25 мкм и 3 мм.

Порошок предварительно нагревают до 100-125°C в нагревательном устройстве с вращающимся барабаном, а затем перемешивают при 150-160°C в высокоинтенсивном миксере, таком как миксер Эйриха (Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG, Хардхайм, Германия), вместе с 15% (мас./мас.) связующего пека.

В одном дополнительном варианте осуществления в высокоинтенсивный миксер может быть также добавлено вплоть до 5% (мас./мас.) графитовой пыли, полученной в результате механической обработки графитовых электродов, и неспеченных отходов от других операций.

Другие компоненты, которые могут быть введены в шихту в малых количествах, включают углеродные волокна или углеродные нановолокна, предназначенные для обеспечения дополнительной механической прочности или для корректировки КТР (коэффициента термического расширения) конечного электрода, а также масла или другие смазки для облегчения экструзии шихты.

Полученную в результате так называемую «сырую» смесь затем направляют в установку экструзии или прессования, где формируют так называемые «сырые» (неспеченные) электроды с приданием им окончательной формы.

Неспеченный электрод затем обжигают при температуре между приблизительно 700°C и приблизительно 1100°C, более предпочтительно между примерно 800°C и примерно 1000°C для коксования связующего пека до твердого кокса, что придает электроду постоянство формы, высокую механическую прочность, хорошую теплопроводность и сравнительно низкое электрическое сопротивление. Этап обжига осуществляют при относительном отсутствии воздуха, при скорости нагрева до конечной температуры от примерно 1 К до примерно 5 К в час. После обжига электрод может быть пропитан один или более раз каменноугольной смолой, или нефтяным пеком, или же другими типами смол, известными в промышленности, для заполнения дополнительным пековым коксом всех открытых пор электрода. В таком случае каждая пропитка сопровождается дополнительным этапом обжига.

После обжига электрод, называемый на данной стадии ококсованным электродом, затем графитизируют термообработкой в течение времени, достаточного для того, чтобы заставить атомы углерода в прокаленном коксе и связующем коксовом пеке перейти из плохо упорядоченного состояния в кристаллическую структуру графита. Если в качестве исходного материала используют анодный кокс, то графитизацию осуществляют при конечной температуре от 2100°C до 2700°C, более предпочтительно от 2200°C до 2500°C. Из-за чистоты анодного кокса для достижения необходимой зольности конечного электрода достаточны сравнительно низкие температуры графитизации. Если в качестве сырья используют игольчатый кокс, то графитизацию проводят при температуре между примерно 2700°C и примерно 3200°C. При столь

высоких температурах все другие элементы кроме углерода улетучиваются и выделяются в виде паров. Время, необходимое для выдерживания при температуре графитизации, составляет не более примерно 12 часов, предпочтительно от примерно 30 мин до примерно 3 часов. Графитизацию можно проводить в печах Эчисона (Acheson) или в печах продольной графитизации (от англ. «lengthwise graphitization» (LWG)), при этом последние могут также функционировать в непрерывном режиме работы. После того как графитизация завершена, готовый электрод можно обрезать по размеру, а затем подвергнуть механической обработке или иным способом придать ему конечную конфигурацию.

Сравнительный пример

Сравнительный обычный графитовый электрод был изготовлен с использованием игольчатого кокса с частицами со средним диаметром вплоть до примерно 25 миллиметров (мм). Размолотый, отсортированный и измельченный кокс был перемешан с 15% (мас./мас.) каменноугольной смолы в смесителе с Z-образными лопастями. Полученная в результате «сырая» смесь была затем переработана в графитовый электрод, как описывалось выше.

Настоящее изобретение дает многочисленные преимущества по сравнению с уровнем техники. Оно обеспечивает электроды с требуемой механической прочностью без необходимости в каких-либо технологических этапах просеивания или шихтования. Благодаря укороченной последовательности технологических операций качество конечного графитового электрода может поддерживаться на том же самом заданном уровне с меньшим количеством брака, и при этом та же самая технологическая линия может иметь большую производительность, чем обычные технологические линии.

Тип электрода		ГЭ анодный кокс	ГЭ игольчатый кокс	ГЭ обычный
Объемная плотность	(г/см ³)	1,76	1,78	1,73
Открытая пористость	(%)	22	14	17
Удельное электрическое сопротивление	(мкОм·м)	10	4	6
Предел прочности на изгиб	(Н/мм ²)	20	26	14
Содержание железа	(%)	0,07	0,25	0,2

Вышеприведенное описание предназначено для того, чтобы дать возможность специалисту в данной области техники осуществить на практике настоящее изобретение. Оно не предназначено для детализации всех возможных вариантов и модификаций, которые станут очевидными квалифицированному специалисту по прочтению описания. Однако предполагается, что все такие модификации и варианты включены в объем изобретения, который охарактеризован нижеприведенной формулой изобретения. Формула изобретения предназначена охватывать указанные элементы и этапы в любой компоновке или последовательности, которая является эффективной для решения поставленных перед изобретением задач, если в контексте специально не будет указано обратное.

Формула изобретения

1. Графитовый электрод для печи карботермического восстановления, содержащий формованное графитовое тело электрода, образованное из частиц кокса, имеющих, по существу, непрерывное распределение размеров частиц от 25 мкм до 3 мм, в матрице из коксованного каменноугольного связующего пека и графитизированное с

образованием графитового тела электрода.

2. Графитовый электрод по п.1, отличающийся тем, что упомянутые частицы кокса являются частицами кокса анодного качества с содержанием железа менее 0,1% по массе, а тело электрода графитизировано при конечной температуре графитизации
5 ниже 2700°C.

3. Графитовый электрод по п.1, отличающийся тем, что упомянутое тело электрода имеет содержание железа приблизительно 0,05% по массе.

4. Графитовый электрод по п.1, отличающийся тем, что дополнительно содержит
10 некоторое количество углеродных нановолокон, внедренных в упомянутое тело электрода для повышения механической прочности и корректировки его коэффициента термического расширения.

5. Графитовый электрод по п.1, отличающийся тем, что дополнительно содержит
15 некоторое количество углеродных волокон, внедренных в упомянутое тело электрода для повышения механической прочности и корректировки его коэффициента термического расширения.

6. Способ изготовления графитового электрода для печи карботермического восстановления, включающий измельчение частиц кокса до достижения непрерывного
20 распределения размеров частиц от, по существу, 25 мкм до, по существу, 3 мм и смешивание частиц кокса со связующим каменноугольным пеком с образованием смеси, формирование тела электрода из этой смеси с образованием неспеченного электрода, обжиг неспеченного электрода при температуре между приблизительно 700°C и приблизительно 1100°C для коксования связующего пека до твердого кокса с
25 образованием ококсованного электрода, графитизацию ококсованного электрода термообработкой в течение времени, достаточного для того, чтобы вызвать организацию углеродных атомов в ококсованном электроде в кристаллическую структуру графита и механическую обработку графитизированного электрода для
30 придания электроду конечной формы.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что этап измельчения включает просеивание партии частиц кокса с разделением на крупнозернистую фракцию и мелкозернистую фракцию, отдельное измельчение крупнозернистой фракции и мелкозернистой фракции, и последующее объединение измельченных фракций в партию частиц кокса с
35 Гауссовым распределением размеров частиц.

8. Способ по п.7, отличающийся тем, что включает измельчение крупнозернистой фракции до частиц с распределением частиц от 200 мкм до 3 мм и измельчение мелкозернистой фракции до частиц с распределением частиц от 25 до 300 мкм.

9. Способ по п.6, отличающийся тем, что включает обеспечение кокса в виде кокса
40 анодного качества и графитизацию электрода при температуре графитизации вплоть до 2700°C.

10. Способ по п.9, отличающийся тем, что включает графитизацию при температуре между 2200°C и 2500°C.

11. Способ по п.6, отличающийся тем, что включает обеспечение кокса в виде
45 игольчатого кокса и графитизацию электрода при температуре графитизации между 2700°C и 3200°C.

12. Способ по п.6, отличающийся тем, что включает после этапа обжига пропитку
50 электрода по меньшей мере один раз каменноугольной смолой или нефтяным пеком для отложения дополнительного пекового кокса в открытых порах электрода, при этом каждый этап пропитки сопровождаются дополнительным этапом обжига.

13. Способ по п.6, отличающийся тем, что включает добавление в смесь масел и

других смазок и формирование неспеченого электрода путем экструзии.

14. Способ по п.6, отличающийся тем, что включает формирование неспеченого электрода путем прессования в формовочной матрице или путем виброформования в формовочной матрице с перемешиванием.

5 15. Способ по п.6, отличающийся тем, что включает добавление относительно малой доли углеродных волокон или углеродных нановолокон в смесь для формирования неспеченого электрода.

10 16. Способ изготовления графитовой электродной колонны для печи карботермического восстановления, включающий изготовление множества графитизированных электродов способом по п.6, изготовление ниппеля, выполненного с возможностью зацепления с графитизированными электродами, и соединение этих электродов и ниппеля с образованием графитовой электродной

15

20

25

30

35

40

45

50