

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2746655

ПЛАЗМЕННАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРУНДА

Патентообладатели: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU), Акционерное общество «СЕФКО» (RU)*

Авторы: *Белоглазов Илья Ильич (RU), Мустафаев Александр Сейт-Умерович (RU), Сухомлинов Владимир Сергеевич (RU), Савченков Сергей Анатольевич (RU), Кисон Виктория Эдуардовна (RU), Фурсенко Владислав Владимирович (RU), Лербаум Валерия Владимировна (RU), Анисимов Дмитрий Олегович (RU), Анисимова Алла Юрьевна (RU)*

Заявка № 2020136471

Приоритет изобретения **06 ноября 2020 г.**

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **19 апреля 2021 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **06 ноября 2040 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F27B 3/08 (2021.02); C22B 9/22 (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020136471, 06.11.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.11.2020

Дата регистрации:
19.04.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.11.2020

(45) Опубликовано: 19.04.2021 Бюл. № 11

Адрес для переписки:
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет", Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Белоглазов Илья Ильич (RU),
Мустафаев Александр Сейт-Умерович (RU),
Сухомлинов Владимир Сергеевич (RU),
Савченков Сергей Анатольевич (RU),
Кисон Виктория Эдуардовна (RU),
Фурсенко Владислав Владимирович (RU),
Лербаум Валерия Владимировна (RU),
Анисимов Дмитрий Олегович (RU),
Анисимова Алла Юрьевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский горный
университет» (RU),
Акционерное общество «СЕФКО» (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2333251 C2, 10.09.2008. RU
2007463 C1, 15.02.1994. RU 2664076 C2,
14.08.2018. RU 2258187 C2, 10.08.2005. US
4504307 A, 12.03.1985. US 4821284 A, 11.04.1989.
JP 04128308 A, 28.04.1992.

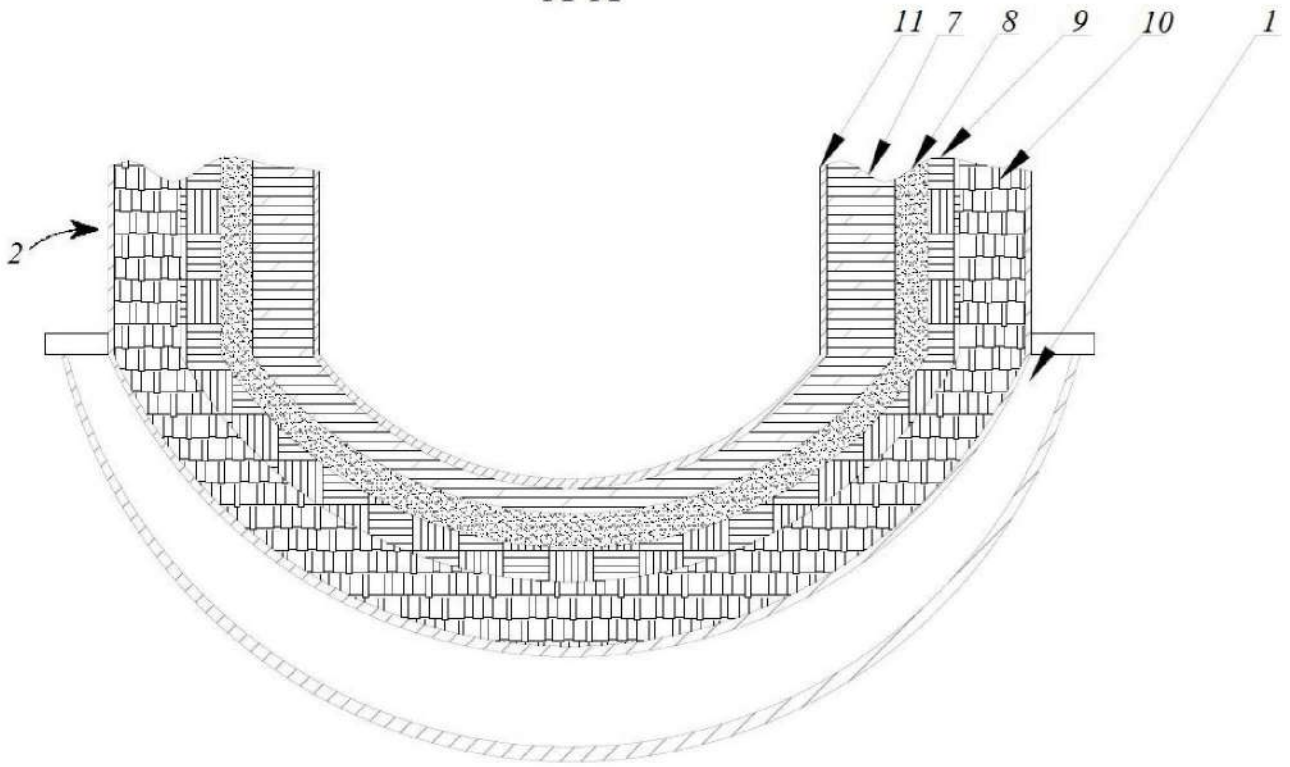
(54) ПЛАЗМЕННАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРУНДА

(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, в частности к конструкции плазменных печей. Футеровка печи выполнена многослойной, при этом первый слой выполнен из материала с теплопроводностью не менее 150 Вт/(м·К) толщиной не менее 0,05 м, второй слой и третий слой выполнены из материала с теплопроводностью от 1 до 5 Вт/(м·К) толщиной от 0,1 до 0,15 м, а четвертый слой выполнен из

материала с теплопроводностью от 0,1 до 0,5 Вт/(м·К) толщиной не менее 0,15 м, при этом на внутренней части первого слоя футеровки жестко закреплены листы из молибдена. Изобретение позволяет повысить стабильность теплового баланса плазменной печи при повышении химической чистоты получаемого корунда. 2 табл., 2 ил.

A-A



Фиг. 2

RU 2746655 C1

RU 2746655 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11)**2 746 655** (13) **C1**

(51) Int. Cl.

F27B 3/08 (2006.01)*C22B 9/22* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

F27B 3/08 (2021.02); C22B 9/22 (2021.02)(21)(22) Application: **2020136471, 06.11.2020**(24) Effective date for property rights:
06.11.2020Registration date:
19.04.2021

Priority:

(22) Date of filing: **06.11.2020**(45) Date of publication: **19.04.2021** Bull. № 11

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet",
Patentno-litsenziyonnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Beloglazov Iliia Ilich (RU),
Mustafaev Aleksandr Seit-Umerovich (RU),
Sukhomlinov Vladimir Sergeevich (RU),
Savchenkov Sergei Anatolevich (RU),
Kison Viktoriia Eduardovna (RU),
Fursenko Vladislav Vladimirovich (RU),
Lerbaum Valeriia Vladimirovna (RU),
Anisimov Dmitrii Olegovich (RU),
Anisimova Alla Iurevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet» (RU),
Aktzionernoe obshchestvo «SEFKO» (RU)****(54) PLASMA FURNACE FOR CORUNDUM PRODUCTION**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to the field of metallurgy, in particular to the design of plasma furnaces. The furnace lining is multi-layer. The first layer is made of a material with a thermal conductivity of at least 150 W/(m·K) and a thickness of at least 0.05 m. The second layer and the third layer are made of a material with a thermal conductivity of 1 to 5 W/(m·K) and a thickness of 0.1 to 0.15 m. The fourth layer is

made of a material with a thermal conductivity of 0.1 to 0.5 W/(m·K) and a thickness of at least 0.15 m. Sheets of molybdenum are rigidly fixed to the inner part of the first lining layer.

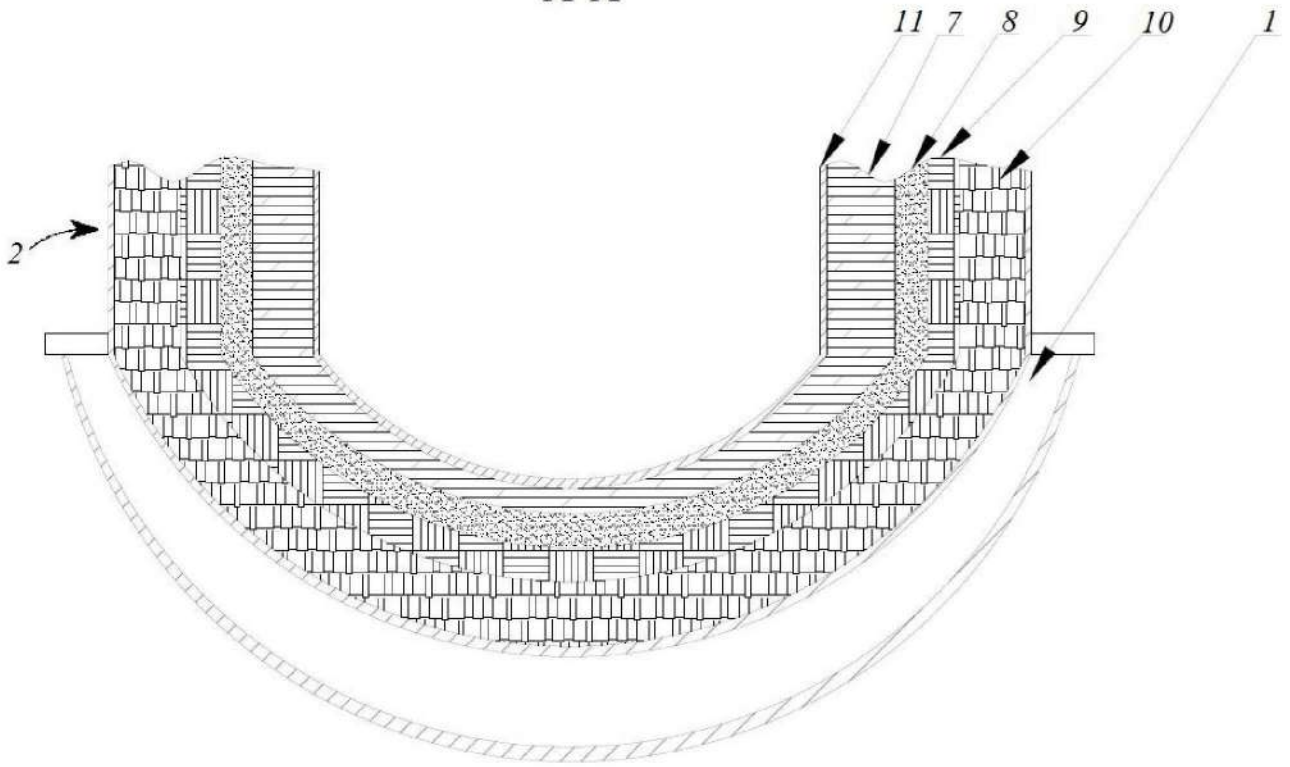
EFFECT: invention makes it possible to increase stability of the thermal balance of the plasma furnace while increasing the chemical purity of the obtained corundum.

1 cl, 2 tbl, 2 dwg

C 1
2 7 4 6 6 5 5
R U

R U
2 7 4 6 6 5 5
C 1

A-A



Фиг. 2

RU 2746655 C1

RU 2746655 C1

Изобретение относится к области металлургии, в частности к конструкции плазменных печей.

Известна плазменная стекловаренная печь (патент РФ №178380, опубл. 02.04.2018), включающая корпус, выполненный с проемами в стенках, футерованный огнеупором, горелочное устройство, загрузочные карманы, причем на верхней стенке корпуса устройства выполнен проем, в который установлено горелочное устройство, представленное горелкой плазменного типа с порошковым питателем, кроме того два загрузочных кармана выполнены в боковых стенках корпуса напротив друг друга, под которыми находятся два проема для отвода отходящих газов, также на нижней стенке корпуса выполнены два проема для слива расплава силикатного стекла, снабженные затворами.

Недостатком известного технического решения является однослойная футеровка корпуса плазменной печи, через которую происходят большие тепловые потери при работе плазменной печи.

Известна плазменная печь (патент РФ № 2007676, опубл. 15.02.1994), содержащая футерованную ванну и свод с отверстиями для прохода плазмотронов, при этом плазмотроны выполнены в виде по меньшей мере двух вставленных соосно одна в другую графитовых труб с тугоплавким изолирующим покрытием на их поверхности, причем трубы установлены одна в другую с зазором для прохождения плазмообразующего газа.

Недостатком известного технического решения является однослойная футеровка ванны плазменной печи, через которую происходят большие тепловые потери при работе плазменной печи.

Известна плазменно-дуговая печь постоянного тока (патент РФ № 2258187, опубл. 10.08.2005), содержащая футерованный кожух, включающий размещенные на соответствующих стойках корпус и подъемный неотводящийся свод, а также соединенные с источником питания два электрода, один из которых размещен в подине корпуса печи, а другой - в своде с возможностью перемещения относительно него, при этом стойка свода выполнена телескопической, причем телескопическая стойка свода совмещена со стойками корпуса и выполнена в виде двух вертикальных гидроцилиндров, расположенных с диаметрально противоположных сторон корпуса и штоки которых соединены с боковыми стенками свода.

Недостатком известного технического решения является однослойная футеровка кожуха плазменно-дуговой печи, через которую происходят большие тепловые потери при ее работе.

Известна плазменная противоточная печь для плавки мелкофракционных материалов (патент РФ № 2007463, опуб. 15.02.1994), содержащая питающий бункер, центральный электрод с уплотнением, газоотводную камеру, свод с тремя плазмотронами и рабочую камеру с водоохлаждаемым корпусом с футеровкой и подиной, установленную на подъемной платформе с выкатной тележкой, при этом печь снабжена реактором с магнитной системой, при этом центральный электрод выполнен из графита с осевой полостью и резьбой в верхней части, а уплотнение выполнено в виде водоохлаждаемой трубы, нижний торец которой расположен на расстоянии от 100 до 400 мм от уровня верхнего торца реактора, при этом газоотводная камера выполнена разъемной с конусным расширением вниз и с дополнительным отверстием в верхней части диаметром, причем нижний торец экрана заглублен в рабочую камеру на 100 - 300 мм ниже свода, при этом подина рабочей камеры дополнительно снабжена слоем графитовой кладки, расположенной между футеровкой и металлической подиной,

выполненной с наружным водяным охлаждением.

Недостатком известного технического решения является однослойная футеровка корпуса плазменной противоточной печи, через которую происходят большие тепловые потери при ее работе, кроме того, в результате изменения температурного градиента, вызванного тепловыми потерями, происходит резкое изменение формы рабочего пространства во время плавки сырья.

Известна плазменная плавильная печь для прямого получения железистых сплавов (патент РФ № 2333251, опубл. 10.09.2008), принятая за прототип, содержащая корпус и крышку, футерованные огнеупорным материалом, питатель для загрузки исходных материалов, газоотводной канал, летку для слива металла и шлака, источники плазменного нагрева в виде плазмотронов косвенного действия, установленные в боковых стенках печи, при этом крышка со стороны газоотводного канала выполнена с водоохлаждаемым ребром, которое выступает из крышки внутрь печи и образует со стенкой печи канал, сообщающийся с внутренней полостью газоотводного канала, а в боковых стенках, симметрично друг другу под углом от 18 до 20° к плоскости пода, установлены плазмотроны косвенного действия, причем летка для слива металла и шлака расположена в стенке печи в плоскости пода на оси симметрии, проходящей через пересечение продольных осей плазмотронов, а на противоположной от летки стенке печи установлено устройство для дозагрузки исходного материала.

Недостатком известного технического решения является однослойная футеровка корпуса плазменной плавильной печи, через которую происходят большие тепловые потери при ее работе. Кроме того, недостатком является футеровка, выполненная из огнеупорных материалов, поскольку в случае получения корунда не будет достигаться его достаточная чистота из-за взаимодействия внутреннего контактного слоя футеровки с полученным материалом.

Техническим результатом является повышение стабильности теплового баланса плазменной печи, при повышении химической чистоты получаемого корунда.

Технический результат достигается тем, что футеровка выполнена многослойной, при этом первый слой выполнен из материала с теплопроводностью не менее 150 Вт/(м·К) толщиной не менее 0,05 м, второй слой и третий слой выполнены из материала с теплопроводностью заданной из диапазона от 1 до 5 Вт/(м·К) толщиной от 0,1 до 0,15 м, а четвертый слой выполнен из материала с теплопроводностью, заданной из диапазона от 0,3 до 0,5 Вт/(м·К) толщиной не менее 0,15 м, при этом на внутренней части первого слоя футеровки жестко закреплены листы из молибдена.

Плазменная печь для получения корунда поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - общий вид плазменной печи для получения корунда,
фиг. 2 - разрез А-А плазменной печи для получения корунда, где:

- 1 - корпус печи;
- 2 - футеровка;
- 3 - питатель;
- 4 - газоотводный канал;
- 5 - летка для слива расплава;
- 6 - источники плазменного нагрева;
- 7 - первый слой футеровки;
- 8 - второй слой футеровки;
- 9 - третий слой футеровки;
- 10 - четвертый слой;
- 11 - листы из молибдена.

Плазменная печь для получения корунда содержит корпус 1 (фиг. 1), внутри которого выполнена многослойная футеровка 2 (фиг. 2) из огнеупорных материалов. В средней части корпуса 1 выполнено отверстие, в которое установлен питатель 3 (фиг. 1).

Газоотводный канал 4, выполнен в форме трубы круглого сечения и установлен в отверстие в верхней части корпуса 1. Летка для слива расплава установлена внизу корпуса 1. В боковых стенках печи для получения корунда, на противоположной от питателя 3 стенки, симметрично друг другу, под углом 18-20° к плоскости пода установлены источники плазменного нагрева 6 (фиг. 1) в виде плазмотронов.

Футеровка 2 выполнена многослойной. Первый слой 7 выполнен из материала с теплопроводностью не менее 150 Вт/(м·К) толщиной не менее 0,05 м, который должен выдерживать перегрев до температуры плавления оксида алюминия, и может быть выполнен, например, из слабокислого огнеупора, оксида циркония или графита. Второй слой 8 и третий слой 9 выполнены из материала с теплопроводностью, заданной из диапазона от 1 до 5 Вт/(м·К) толщиной от 0,1 до 0,15 м, и может быть выполнен, например, из глиноземсодержащих или магнезитовых или хромитовых материалов. Четвертый слой 10 выполнен из материала с теплопроводностью, заданной из диапазона от 0,3 до 0,5 Вт/(м·К) толщиной не менее 0,15 м и может быть выполнен, например, из волокнистого материала на основе муллитокремнеземистых или каолиновых волокон. На внутренней части первого слоя 7 футеровки 2 жестко закреплены листы из молибдена 11. За счет выполнения футеровки 2 многослойной с жестко закрепленными листами из молибдена 11 на внутренней части первого слоя 7 футеровки 2 обеспечивается повышение стабильности теплового баланса плазменной печи при этом повышается химическая чистота получаемого корунда, а также уменьшаются теплотери и воздействие высоких температур на корпус 1.

Плазменная печь для получения корунда работает следующим образом.

Сырье для получения корунда, например, глинозем марки Г000, загружают внутрь корпуса 1 плазменной печи посредством питателя 3. После чего подают ток на источники плазменного нагрева 6, в результате чего температура в плазменной печи начинается подниматься и загруженное сырье подвергается расплавлению, отходящие газы при этом отводят через газоотводный канал 4, а полученный расплав корунда сливают через летки для слива расплава 5. При работе плазменной печи футеровка 2 выдерживает температуры не менее 2300 К при этом первый слой 7 футеровки 2 характеризуется достаточной механической прочностью с достаточно большой теплопроводностью, второй слой 8 футеровки 2, достаточно прочный, но со сравнительно низкой теплопроводностью, выполняет назначение подложки для первого слоя 7, а третий слой 9 футеровки 2 несет основные прочностные и механические нагрузки, и, четвертый слой 10 гасит основной перепад температур. Покрытие первого слоя 7 футеровки 2 обеспечивает получение корунда высокой химической чистоты.

Расчет перепадов температуры на слоях футеровки был произведен по формуле:

$$dT_i = \frac{P}{A} \sum_{i=1}^n \frac{dx_i}{\lambda_i},$$

где dT - перепад температуры на слое в K , λ_i - средняя теплопроводность слоя в $Вт/м \cdot K$, dx_i - толщина слоя в м, P - мощность теплового потока в Вт (3000 Вт), A - площадь слоя в $м^2$ ($1 м^2$).

Результаты расчетов снижения температуры на каждом слое футеровки в зависимости от теплопроводности и толщины слоя (теплового сопротивления) представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Расчет падения температуры на слоях футеровки плазменной печи для получения корунда: $dx_1 = 0,05 \text{ м}; dx_2 = 0,1 \text{ м}; dx_3 = 0,1 \text{ м}; dx_4 = 0,15 \text{ м}.$

№	Слой 1,	Слой 2,	Слой 3,	Слой 4,	dT ₁ К	dT ₂ К	dT ₃ К	dT ₄ К
	$\lambda_1,$ $\lambda_1,$ Вт/м/К	$\lambda_2,$ $\lambda_2,$ Вт/м/К	$\lambda_3,$ $\lambda_3,$ Вт/м/К	$\lambda_4,$ $\lambda_4,$ Вт/м/К				
1	5	1	1	0,15	17	165	165	1653
2	5	1	5	0,15	18	177	35	1770
3	5	5	1	0,15	18	35	177	1770
4	5	5	5	0,15	19	38	38	1905
5	150	1	1	0,15	1	167	167	1666
6	150	1	5	0,15	1	179	36	1785
7	150	5	1	0,15	1	36	179	1785
8	150	5	5	0,15	1	38	38	1922
9	5	1	5	0,3	32	317	63	1587
10	5	5	1	0,3	32	63	317	1587
11	5	5	5	0,3	36	73	73	1818
12	5	5	5	0,5	57	114	114	1714
13	150	1	1	0,3	1	286	286	1428
14	150	1	1	0,5	1	400	400	1199
15	150	1	5	0,5	2	476	95	1427
16	150	5	1	0,5	2	95	476	1427

Таблица 2. Расчет падения температуры на слоях футеровки плазменной печи для получения корунда: $dx_1 = 0,05 \text{ м}; dx_2 = 0,15 \text{ м}; dx_3 = 0,05 \text{ м}; dx_4 = 0,15 \text{ м};$

$dx_3 = 0,15 \text{ м}; dx_4 = 0,15 \text{ м}; dx_3 = 0,15 \text{ м}; dx_4 = 0,15 \text{ м}.$

№	Слой 1,	Слой 2,	Слой 3,	Слой 4,	dT ₁ К	dT ₂ К	dT ₃ К	dT ₄ К
	$\lambda_1,$ $\lambda_1,$ Вт/м/К	$\lambda_2,$ $\lambda_2,$ Вт/м/К	$\lambda_3,$ $\lambda_3,$ Вт/м/К	$\lambda_4,$ $\lambda_4,$ Вт/м/К				
1	5	1	1	0,15	15	229	229	1527
2	5	1	5	0,15	17	252	50	1681
3	5	5	1	0,15	17	50	252	1681
4	5	5	5	0,15	19	56	56	1869
5	150	1	1	0,15	1	231	231	1538
6	150	1	5	0,15	1	254	51	1694
7	150	5	1	0,15	1	51	254	1694
8	150	5	5	0,15	1	57	57	1886
9	5	5	5	0,3	35	105	105	1754
10	5	5	5	0,5	54	162	162	1622
11	150	1	1	0,5	1	500	500	999
12	150	1	5	0,5	1	625	125	1249
13	150	5	1	0,5	1	125	625	1249
14	150	1	1	0,3	1	375	375	1249

Расчеты были произведены исходя из суммарного перепада температуры на всех четырех слоях футеровки 2000 К и прочностных характеристик материалов, которые соответствуют заявленным значениям теплопроводности, и подходят для производства футеровки. При этом падение температуры на четвертом слое не должно превышать 1500 К, ввиду большой тепловой нагрузки на материал.

Примеры расчетов 1-12 (таблица 1) и 1-10 (таблица 2) демонстрируют нарушение

теплового режима четвертого слоя футеровки, из-за слишком большого перепада температуры на нем (более 1500 К), из-за чего не может быть достигнута стабильность теплового баланса плазменной печи для получения корунда. Примеры расчетов 13-16 (таблица 1) и 11-14 (таблица 2) демонстрируют допустимый перепад на четвертом слое футеровки за счет чего обеспечивается повышение стабильности теплового баланса плазменной печи. При выполнении футеровки многослойной с первым слоем из материала с теплопроводностью менее 150 Вт/(м·К) толщиной менее 0,05 м, со вторым и третьим слоем, выполненным из материала с теплопроводностью заданной менее 1 Вт/(м·К) или более 5 Вт/(м·К) толщиной менее 0,1 м, с четвертым слоем, выполненным из материала с теплопроводностью менее 0,3 Вт/(м·К) или более 0,5 Вт/(м·К) толщиной менее 0,15 м не обеспечивается повышение стабильности теплового баланса плазменной печи из-за больших перепадов температур.

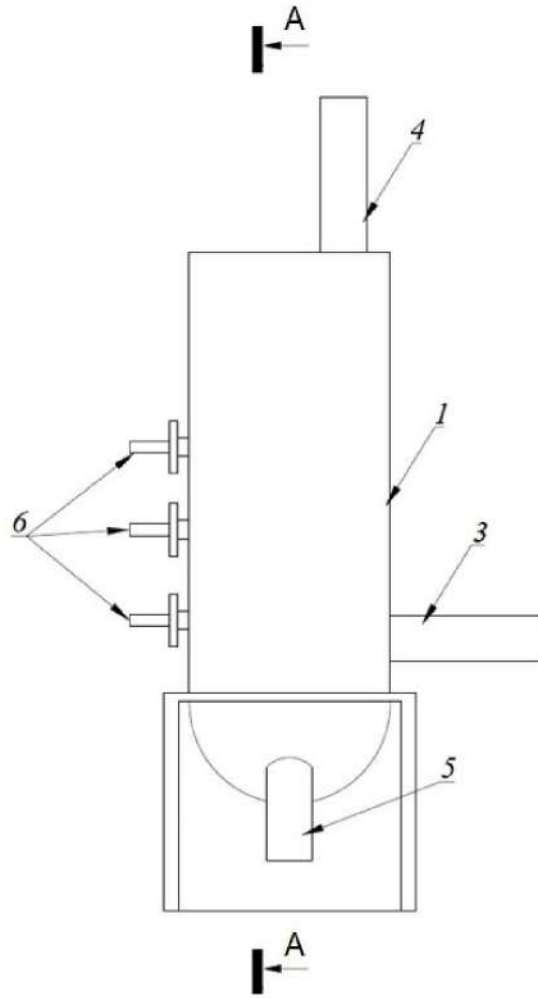
За счет закрепления листов из молибдена на внутренней части первого слоя футеровки также обеспечивается повышение стабильности теплового баланса плазменной печи, при повышении химической чистоты получаемого корунда, поскольку параметры кристаллической решетки молибдена и корунда (Al_2O_3) настолько различны, что исходная поверхность молибдена не может способствовать появлению зародышей Al_2O_3 . Кроме того, следует учесть сравнительно небольшой размер микрошероховатостей на поверхности листов из молибдена по сравнению с поверхностями других огнеупорных материалов. Эти преимущества листов из молибдена позволяют предотвратить рост кристаллов корунда при возникновении локального охлаждения расплава возле стенок плазменной печи, и, соответственно, предотвратить образование настывлей, наличие которых ухудшает фазовую однородность полученного корунда. Кроме того, молибден при температурах до 3000 К химически нейтрален по отношению к расплаву глинозема, за счет чего обеспечивается высокая химическая чистота корунда при плавлении глинозема марок, например, Г000, Г00, Г0 и др.

Таким образом, как показано в вышеприведенном описании изобретения, достигается технический результат, заключающийся в повышении стабильности теплового баланса плазменной печи, при повышении химической чистоты получаемого корунда.

(57) Формула изобретения

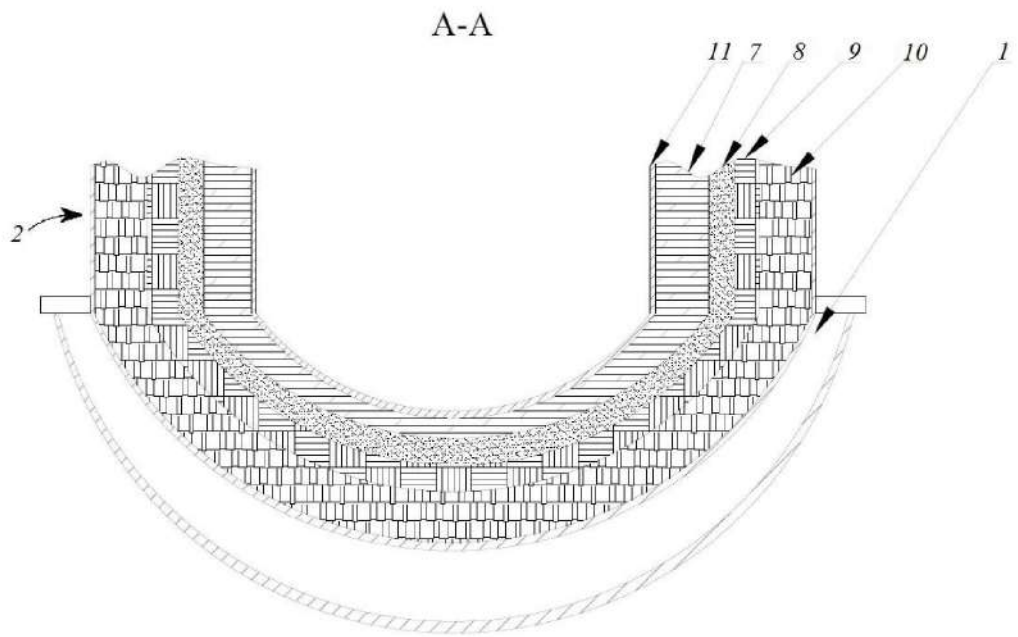
Плазменная печь для получения корунда, содержащая корпус с футеровкой из огнеупорных материалов, питатель для загрузки исходных материалов, газоотводный канал, летку для слива расплава, источники плазменного нагрева в виде плазмотронов, установленные в боковых стенках печи симметрично друг другу под углом 18-20° к плоскости пода, отличающаяся тем, что футеровка выполнена многослойной, при этом первый слой выполнен из материала с теплопроводностью не менее 150 Вт/(м·К) толщиной не менее 0,05 м, второй слой и третий слой выполнены из материала с теплопроводностью от 1 до 5 Вт/(м·К) толщиной от 0,1 до 0,15 м, а четвертый слой выполнен из материала с теплопроводностью от 0,3 до 0,5 Вт/(м·К) толщиной не менее 0,15 м, при этом на внутренней части первого слоя футеровки жестко закреплены листы из молибдена, а летка для слива расплава установлена в нижней части корпуса.

1



Фиг. 1

2



Фиг. 2