



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H05H 1/26 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2018102802, 27.06.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
27.06.2016

Дата регистрации:
26.06.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
29.06.2015 US 62/185,799

(43) Дата публикации заявки: 29.07.2019 Бюл. № 22

(45) Опубликовано: 26.06.2020 Бюл. № 18

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 29.01.2018

(86) Заявка РСТ:
СА 2016/050754 (27.06.2016)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2017/000065 (05.01.2017)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

БОУЛОС Махер И. (СА),
ЮРЕВИЧ Ежи В. (СА),
ДИНЬЯР Никола (СА),
ОЖЕ Александр (СА),
ТЕЛЛЕН Себастьян (СА)

(73) Патентообладатель(и):

ТЕКНА ПЛАЗМА СИСТЕМЗ ИНК. (СА)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 20030080097 A1, 01.05.2003. US
20030080097 A1, 01.05.2003. US 20120261390 A1,
18.10.2012. US 20120261390 A1, 18.10.2012. US
5340961 A1, 23.08.1994. RU 2032280 C1,
27.03.1995.

(54) ГОРЕЛКА ИНДУКЦИОННОЙ ПЛАЗМЫ С ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТЬЮ ПЛАЗМЕННОЙ ЭНЕРГИИ

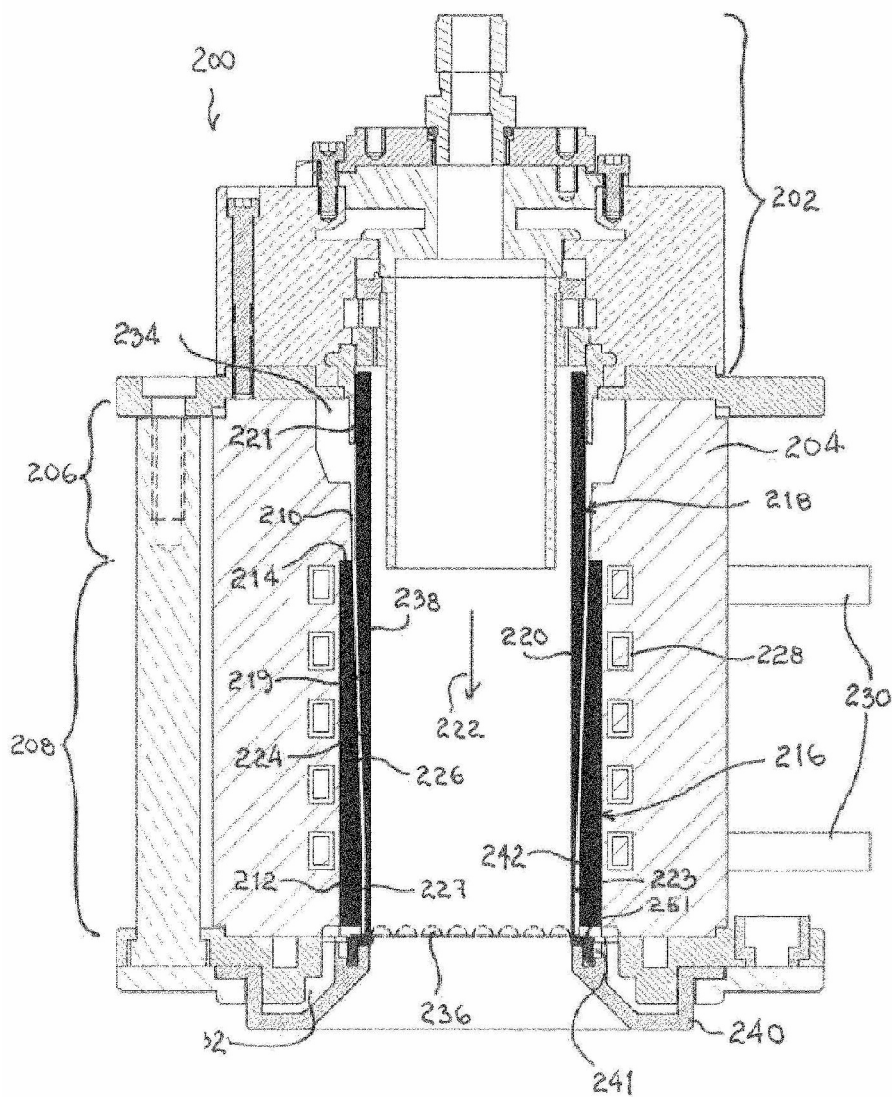
(57) Реферат:

Изобретение относится к плазменной индукционной горелке. Горелка содержит трубчатое тело горелки, трубчатый вкладыш, трубку для удержания плазмы и кольцевой канал. Трубчатое тело горелки имеет верхнюю по потоку и нижнюю по потоку секции, задающие соответствующие внутренние поверхности. Трубчатый вкладыш прикреплен к внутренней поверхности нижней по потоку секции трубчатого тела горелки. Трубка для удержания плазмы расположена в трубчатом теле горелки

коаксиально с ней. Трубка для удержания плазмы имеет трубчатую стенку, обладающую толщиной, сужающейся в аксиальном направлении потока плазмы. Кольцевой канал задан с одной стороны между внутренней поверхностью верхней по потоку секции трубчатого тела горелки и внутренней поверхностью вкладыша, а с другой стороны - внешней поверхностью трубчатой стенки трубки для удержания плазмы. Канал охлаждения переносит текучую среду для охлаждения трубки для удержания плазмы.

Техническим результатом является снижение вероятности поломки трубки в результате

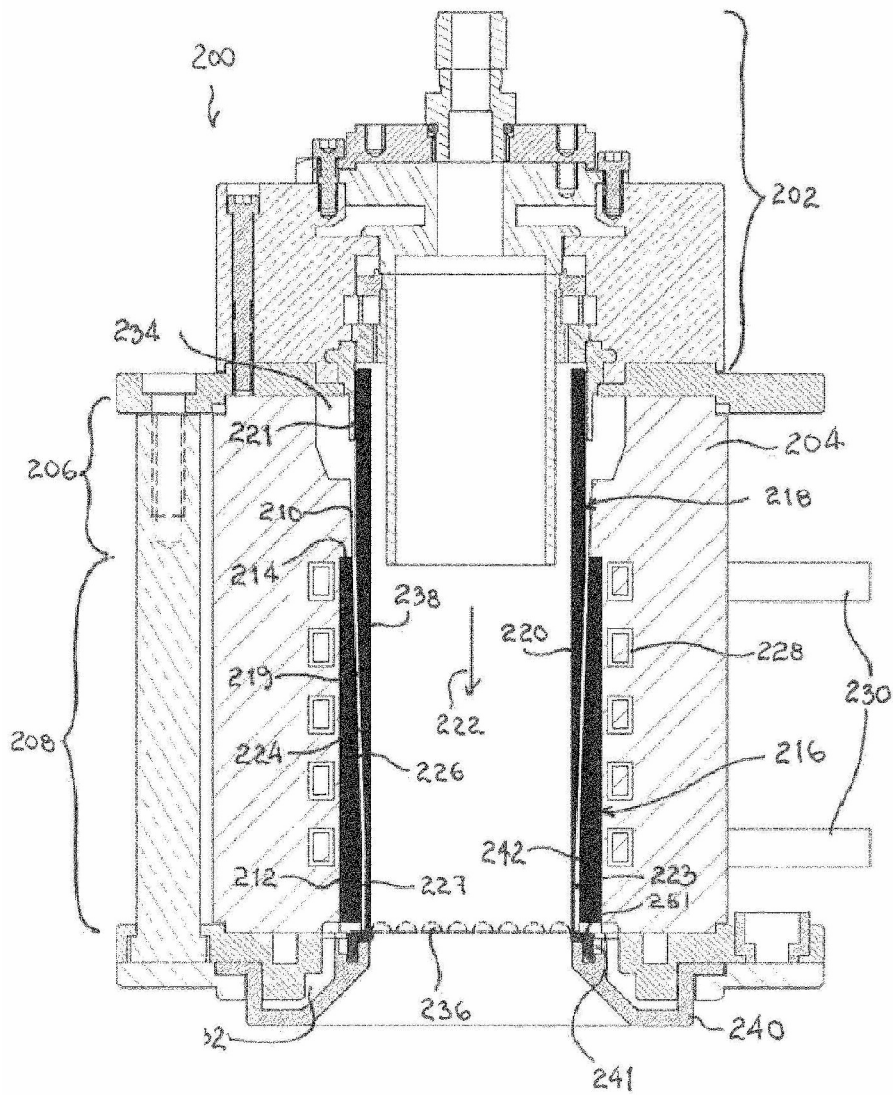
повышения объемной удельной энтальпии плазмы. 4 н. и 25 з.п. ф-лы, 9 ил.



ФИГ. 2

С 2
6 2 6 4 2 7 2
R U

R U
2 7 2 4 9 2 9
С 2



ФИГ. 2

RU 2724929 C2

RU 2724929 C2

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Настоящее раскрытие относится к области горелок индукционной плазмы. Точнее говоря, настоящее раскрытие относится к горелке индукционной плазмы, генерирующей повышенную плотность плазменной энергии, при снижении зажигания дуги сбоку.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002] В течение последних нескольких лет, значительные улучшения были достигнуты в конструкции и производительности горелок индуктивно-связанной плазмы, - так называемых горелок индукционной плазмы. Индукционные плазменные горелки в настоящее время используют по всему миру для широкого диапазона применений, в диапазоне от лабораторных исследований и разработок до производства в промышленном масштабе высокочистых, высокопередельных материалов.

[0003] Индукционные плазменные горелки привлекают повышенное внимание в качестве ценного инструмента для синтеза материалов и обработки при условиях плазмы высокой температуры. Основная концепция, сопровождающая эксплуатацию горелок индуктивно-связанной плазмы, была известна в течение более шестидесяти лет, и она постепенно развивалась от лабораторного инструмента к промышленному устройству большой мощности.

[0004] Фигура 1 представляет собой схематическую иллюстрацию структуры и эксплуатации примера индукционной плазменной горелки 100. Индукционная плазменная горелка 100 содержит трубку 102 для удержания плазмы, которая может быть сделана, например, из стойкого к высоким температурам и высокотеплопроводного керамического материала. Трубка 102 для удержания плазмы окружена коаксиальной, водоохлаждаемой индукционной катушкой 104, встроенной в коаксиальное тело 106 трубчатой горелки. Высокочастотный электрический ток подают на индукционную катушку 104 через электрические выводы 105. Газораспределительная головка (не показана) подает плазменный газ 108 аксиально и по центру во внутреннее пространство трубки 102 для удержания плазмы, для получения плазмы 110. Различные варианты могут включать в себя введение оболочечного газа 112, текущего вдоль внутренней поверхности трубки 102 для удержания плазмы, окружающей плазму 110. Функция оболочечного газа 112 состоит в обеспечении некоторого уровня теплоизоляции между плазмой 110 и внутренней поверхностью трубки 102 для удержания плазмы. Индукционная плазменная горелка 100 может быть использована, в частности, но не исключительно, для обработки порошкового материала 114, вводимого по центру в трубке 102 для удержания плазмы.

[0005] В ходе работы, высокочастотный электрический ток, текущий через индукционную катушку 104, создает в трубке 102 для удержания плазмы, как правило, аксиальное высокочастотное магнитное поле 120. Энергия этого магнитного поля 120 вызывает электрический пробой плазменного газа 108, имеющегося в трубке 102 для удержания плазмы. Сразу после достижения электрического пробоя и зажигания плазмы, в плазменный газ вводят тангенциальный ток, в области 122 в трубке 102 для удержания плазмы на уровне, где расположена индукционная катушка 104. Этот индуцированный, тангенциальный ток отвечает за нагрев плазменного газа 108 в трубке 102 для удержания плазмы и за поддержание разряда плазменного газа, образующего плазму 110.

[0006] Были разработаны многочисленные конструкции индукционных плазменных горелок. Примеры описаны в следующих патентных публикациях: Патент США № 5,200,595 (6 апреля 1993 г.), Патент США № 5,560,844 (1 октября 1996 г.), Патент США № 6,693,253 В2 (17 февраля 2004 г.), Патент США № 6,919,527 В2 (19 июль 2005 г.) и

публикация заявки на Патент США № 2012/0261390 A1 (18 октября 2012 г.). Содержание всех этих ссылок полностью включено в настоящий документ в виде ссылки.

[0007] Плотность энергии в плазме 110 задана как отношение энергии, связанной в плазму 110, в области 122, к объему разрядного резонатора, как задано внутренней поверхностью (т.е., границей) трубки 102 для удержания плазмы и высотой индукционной катушки 104. Повышение плотности энергии в плазме 110 проявляется в виде повышения объемной удельной энтальпии плазмы, а также повышения соответствующей средней температуры плазмы 110 на выходе 124 индукционной плазменной горелки 100. К сожалению, это повышение плотности энергии также сопровождается повышением плотности теплового потока к внутренней поверхности трубки 102 для удержания плазмы, что вызывает, таким образом, повышение температуры ее внутренней поверхности, а следовательно, и вероятность поломки трубки.

[0008] Для снижения температуры внутренней поверхности трубки для удержания плазмы, решение содержит использование керамического материала с высокой теплопроводностью при изготовлении трубок для удержания плазмы и потока охлаждающей текучей среды при высокой скорости в кольцевом канале, окружающем внешнюю поверхность трубки для удержания плазмы. Однако, несмотря на добавление этих признаков, максимальная плотность энергии плазмы в индукционной плазменной горелке еще ограничена максимальной температурой, которую керамический материал с высокой теплопроводностью трубки для удержания плазмы может выдержать, при поддержании его структурной целостности.

[0009] Другая проблема, с которой сталкиваются при использовании индукционных плазменных горелок, таких как 100 на Фигуре 1, состоит в возникновении зажигания дуги сбоку между (а) разрядом 110 плазменного газа и (b) выходным соплом (не показано на Фигуре 1) индукционной плазменной горелки 100 и/или корпусом реактора (не показан на Фигуре 1), на котором установлена индукционная плазменная горелка 100.

[0010] Поэтому существует необходимость в повышении плотности энергии плазмы, если это не исключается, при значительном снижении зажигания дуги сбоку в индукционных плазменных горелках.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0011] Согласно настоящему раскрытию обеспечена индукционная плазменная горелка, содержащая: трубчатое тело горелки, имеющее верхнюю по потоку секцию и нижнюю по потоку секцию, причем верхняя по потоку и нижняя по потоку секции задают соответствующие внутренние поверхности. Трубка для удержания плазмы расположена внутри трубчатого тела горелки, коаксиально с трубчатым телом горелки, и имеет внутреннюю поверхность постоянного внутреннего диаметра и внешнюю поверхность. Трубка для удержания плазмы имеет трубчатую стенку с толщиной, сужающейся в аксиальном направлении потока плазмы, по меньшей мере, на участке трубки для удержания плазмы. Трубчатый вкладыш прикреплен к внутренней поверхности нижней по потоку секции трубчатого тела горелки, причем трубчатый вкладыш имеет внутреннюю поверхность. Кольцевой канал задан между (а) внутренней поверхностью верхней по потоку секции трубчатого тела горелки и внутренней поверхностью трубчатого вкладыша и (b) внешней поверхностью трубки для удержания плазмы, причем кольцевой канал сконфигурирован для пропуска охлаждающей текучей среды для охлаждения трубки для удержания плазмы.

[0012] Согласно настоящему раскрытию также обеспечена индукционная плазменная горелка, содержащая трубчатое тело горелки, имеющее верхнюю по потоку секцию,

центральную секцию и нижнюю по потоку секцию, причем верхняя по потоку, центральная и нижняя по потоку секции задают соответствующие внутренние поверхности. Трубка для удержания плазмы расположена внутри трубчатого тела горелки, коаксиально с трубчатым телом горелки, и имеет внутренняя поверхность 5 постоянного внутреннего диаметра и внешняя поверхность. Трубка для удержания плазмы имеет трубчатую стенку с толщиной, сужающейся в аксиальном направлении потока плазмы, по меньшей мере, на участке трубки для удержания плазмы. Трубчатый вкладыш прикреплен к внутренней поверхности нижней по потоку секции трубчатого тела горелки, причем трубчатый вкладыш имеет внутреннюю поверхность. Кольцевой канал задан между (а) внутренней поверхностью верхней по потоку секции трубчатого 10 тела горелки, внутренней поверхностью центральной секции трубчатого тела горелки и внутренней поверхностью трубчатого вкладыша и (b) внешней поверхностью трубки для удержания плазмы, причем кольцевой канал сконфигурирован для пропускания охлаждающей текучей среды для охлаждения трубки для удержания плазмы.

[0013] Согласно настоящему раскрытию также обеспечен способ извлечения трубки для удержания плазмы, выходящей из вышеописанной индукционной плазменной горелки, содержащий одновременное вытягивание трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша в аксиальном направлении потока плазмы из трубчатого тела горелки. Способ извлечения трубки для удержания плазмы из индукционной плазменной 20 горелки может содержать: извлечение кольцевого выходного сопла для плазмы, прикрепленного к нижнему по потоку концу трубчатого тела горелки, до одновременного вытягивания трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша в аксиальном направлении потока плазмы из трубчатого тела горелки; и демонтаж трубчатого вкладыша, изготовленного, по меньшей мере, из двух комплементарных 25 секций для окружения трубки для удержания плазмы, причем демонтаж трубчатый вкладыш содержит отделение, по меньшей мере, двух комплементарных секций друг от друга.

[0014] Настоящее раскрытие дополнительно относится к способу монтажа трубки для удержания плазмы на вышеописанной индукционной плазменной горелке, 30 содержащему одновременное введение трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша в трубчатое тело горелки в аксиальном направлении, противоположном направлению потока плазмы. Способ монтажа трубки для удержания плазмы так, чтобы она выходила из индукционной плазменной горелки, может содержать: сборку трубчатого вкладыша, изготовленного, по меньшей мере, из двух комплементарных 35 секций для окружения трубки для удержания плазмы, причем сборка трубчатого вкладыша содержит сборку, по меньшей мере, двух комплементарных секций друг с другом вокруг трубки для удержания плазмы; и прикрепление кольцевого выходного сопла для плазмы к нижнему по потоку концу трубчатого тела горелки для размещения и поддержания трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша в трубчатом 40 теле горелки.

[0015] Настоящее раскрытие еще дополнительно относится к трубчатому телу горелки для индукционной плазменной горелки, содержащей внутреннюю стенку и внутренний емкостной экран, включающий в себя слой электропроводящего материала, встроенный во внутреннюю стенку трубчатого тела горелки. Слой проводящего материала 45 сегментирован, с образованием осевых полос, и образует кольцо для соединения между собой верхних по потоку концов осевых полос. Емкостной экран подвергают механической обработке вместе с внутренней стенкой трубчатого тела горелки для обнажения слоя электропроводящего материала и получения гладкой поверхности

внутренней стенки трубчатого тела горелки.

[0016] Вышеизложенные и другие признаки изобретения станут более ясными при прочтении следующего не ограничивающего описания его иллюстративных вариантов воплощения, приведенных лишь в качестве примера, со ссылкой на прилагаемые

5 чертежи.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0017] Варианты воплощения раскрытия будут описаны лишь в качестве примера со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

[0018] Фигура 1 представляет собой схематическое представление примера

10 индукционной плазменной горелки;

[0019] Фигура 2 представляет собой вид спереди поперечного разреза индукционной плазменной горелки, имеющей трубчатый вкладыш согласно варианту воплощения;

[0020] Фигура 3 представляет собой перспективное изображение с частичным вырезом трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша индукционной плазменной

15 горелки по Фигуре 2;

[0021] Фигура 4 представляет собой вид спереди поперечного разреза индукционной плазменной горелки, имеющий трубчатый вкладыш и емкостной экран согласно другому варианту воплощения;

[0022] Фигура 5 представляет собой перспективное изображение с частичным вырезом

20 трубки для удержания плазмы, трубчатый вкладыш и емкостной экран индукционной плазменной горелки по Фигуре 4;

[0023] Фигура 6 представляет собой перспективное изображение с частичным вырезом трубчатого тела индукционной плазменной горелки по Фигуре 4;

[0024] Фигуры 7a, 7b и 7c представляют собой поперечные разрезы индукционной

25 плазменной горелки по Фигуре 4, взятые соответственно вдоль линий А-А, В-В и С-С на этой Фигуре;

[0025] Фигура 8 представляет собой график, показывающий осевое распределение теплового потока к трубчатой стенке (а) стандартной трубки для удержания плазмы

и (b) трубки для удержания плазмы индукционной плазменной горелки по Фигуре 2

30 или 4, причем индукционная плазменная горелка работает при мощности 100 кВт; и

[0026] Фигура 9 представляет собой график, показывающий осевое распределение теплового потока к трубчатой стенке (а) стандартной трубки для удержания плазмы

и (b) трубки для удержания плазмы индукционной плазменной горелки по Фигуре 2

или 4, причем индукционная плазменная горелка работает при мощности 140 кВт.

[0027] Одинаковые номера ссылок представляют одинаковые признаки на различных

35 Фигурах чертежей.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[0028] Различные аспекты настоящего раскрытия, как правило, обращено к одной или более потребностей, связанных с повышением плотность энергии в плазме, если

40 это не исключается, при значительном снижении зажигания дуги сбоку в индукционных плазменных горелках.

[0029] В частности, настоящее раскрытие описывает усовершенствования индукционных плазменных горелок, допускающие их эксплуатацию при повышенных

45 плотностях энергии плазмы, при сопоставлении с индукционными плазменными горелками согласно уровню техники. В то же время, эти усовершенствования также снижают емкостную энергию, связанную с разрядом плазменного газа, вследствие чего образование зажигания дуги сбоку не исключаются, значительно снижены.

[0030] Настоящее раскрытие описывает контрольные температуры внутренней

поверхности трубки для удержания плазмы индукционной плазменной горелки, с использованием плавного снижения толщины ее трубчатой стенки. Трубчатая стенка толще на верхнем по потоку конце, где инициируется разряд плазмы, и толщина стенки сужается в направлении вниз по потоку. Как правило, как указано, толщина трубчатой

5 стенки трубки для удержания плазмы изменяется обратно пропорционально локальному распределению теплового потока на трубчатой стенке трубки для удержания плазмы.

[0031] Кольцевой канал, имеющий, как правило, постоянную толщину, задан вокруг внешней поверхности трубчатой стенки трубки для удержания плазмы. Вода, такая как деионизованная вода, или другая охлаждающая текучая среда, течет по кольцевому

10 каналу для регулирования температуры трубки для удержания плазмы. Для эффективности охлаждения, кольцевой канал имеет небольшую и, как правило, постоянную толщину для обеспечения быстрого и постоянного потока охлаждающей текучей среды.

[0032] Трубку для удержания плазмы устанавливают внутри трубчатого тела горелки

15 и вставляют в трубчатое тело горелки из ее нижнего по потоку конца. Трубка для удержания плазмы, имеющая больший внешний диаметр на ее обоих - верхнем и нижнем по потоку концах, по сравнению с ее центральной областью, может быть сложно вставлять в корпус горелки, при поддержании узкого зазора кольцевого канала для обеспечения эффективного охлаждения внешней поверхности трубки для удержания

20 плазмы. Для преодоления этой сложности, трубчатое тело горелки конструируют, по меньшей мере, в ее нижней по потоку секции, с внутренним диаметром, который больше, чем тот, который требуется для задания кольцевого канала. В результате, трубчатое тело горелки имеет первую внутреннюю поверхность в верхней по потоку секции, которая сконфигурирована для формирования верхней по потоку части кольцевого

25 канала между этой первой внутренней поверхностью и внешней поверхностью трубки для удержания плазмы. Трубчатое тело горелки имеет вторую внутреннюю поверхность большего диаметра в его нижней по потоку секции. Разъединенный цилиндрический вкладыш может быть прикреплен ко второй внутренней поверхности в нижней по

30 потоку секции трубчатого тела горелки, таким образом, чтобы он упирался в кромку между первой и второй внутренней поверхностью. Вкладыш сконфигурирован таким образом, чтобы его можно было вставлять и прикреплять к трубчатому телу горелки вместе с трубкой для удержания плазмы. Нижняя по потоку часть кольцевого канала охлаждения образована между внутренней поверхностью вкладыша и внешней

35 поверхностью трубки для удержания плазмы.

[0033] Обратимся теперь к чертежам, где Фигура 2 представляет собой вид спереди поперечного разреза индукционной плазменной горелки 200, имеющей вкладыш 216

согласно варианту воплощения. Фигура 3 представляет собой перспективное изображение с частичным вырезом трубки 218 для удержания плазмы и вкладыша 216

индукционной плазменной горелки 200 по Фигуре 2.

[0034] Обратимся теперь сразу к Фигурам 2 и 3, где индукционная плазменная горелка 200 содержит трубчатое тело 204 горелки, которое может, без ограничений, быть

40 изготовлена из литой керамики или из композита с полимерной матрицей. Трубчатое тело 204 горелки также образовано с верхней 206 по потоку секцией и нижней 208 по потоку секцией. Верхняя 206 по потоку секция задает внутреннюю поверхность 210 меньшего диаметра, а нижняя 208 по потоку секция задает внутреннюю поверхность

45 212 большего диаметра. Кольцевая кромка 214 разделяет внутреннюю поверхность 210 верхней по потоку секции 206 и внутреннюю поверхность 212 нижней по потоку 208 секции.

[0035] Индукционная плазменная горелка 200 также содержит головку газораспределителя, в основном показанную под номером 202. Головку газораспределителя 202 устанавливают на верхний по потоку конец трубчатого тела 204 индукционной плазменной горелки 200. Головка газораспределителя 202 сконструирована для подачи, в частности, но не исключительно, вышеупомянутого плазменного газа и оболочечного газа в индукционную плазменную горелку 200. Индукционная плазменная горелка 200 дополнительно содержит кольцевое, например, круглой или овальной формы выходное сопло 240 для плазмы, прикрепленное к нижнему по потоку концу трубчатого тела 204 горелки. Головка газораспределителя 202 и выходное сопло 240 для плазмы хорошо известны в области индукционных плазменных горелок, и по этой причине не будет дополнительно описано в настоящей спецификации.

[0036] Вкладыш 216 является трубчатым и изготовлен, например, из двух полуцилиндрических секции разделенного цилиндра. Трубчатый вкладыш 216 расположен на внутренней поверхности 212 нижней по потоку 208 секции трубчатого тела 204 горелки. Также вкладыш 216 имеет верхний по потоку конец, упирающийся в кольцевую кромку 214, и нижний по потоку конец. Как было проиллюстрировано, вкладыш 216 имеет (а) внешний постоянный диаметр, соответствующий внутреннему постоянному диаметру внутренней поверхности 212 нижней по потоку 208 секции трубчатого тела 204 горелки, и (b) внутренний диаметр, который плавно уменьшается от верхнего по потоку конца в аксиальном направлении 222 потока плазмы до повышения толщины трубчатого вкладыша 216 в том же направлении, и от внутренней поверхности 226 в форме усеченного конуса до точки 242, где внутренний диаметр поддерживается постоянным для поддержания толщины трубчатого вкладыша 216 постоянной и образования внутренней цилиндрической поверхности 227. Вкладыш может быть изготовлен из тефлона или из другого материала, обладающего сходными или подходящими физическими свойствами.

[0037] Индукционная плазменная горелка 200 содержит трубку 218 для удержания плазмы, которая может быть изготовлена из стойкого к высокой температуре керамического материала с высокой теплопроводностью. Трубка 218 для удержания плазмы расположена внутри трубчатого тела 204 горелки, коаксиально с этим трубчатым телом 204 горелки, между головкой газораспределителя 202 и выходным соплом 240 для плазмы. Трубка 218 для удержания плазмы имеет постоянный внутренний диаметр, а, например, в области индукционной катушки 228 - внешний диаметр, который плавно снижается в аксиальном направлении 222 потока плазмы, с образованием части 219 в форме усеченного конуса внешней поверхности трубки 218 для удержания плазмы, с сужением, таким образом, толщины трубчатой стенки 220 трубки 218 для удержания плазмы в том же направлении. Поскольку сужение толщины трубчатой стенки 220 трубки 218 для удержания плазмы в проиллюстрированном примере ограничено в области индукционной катушки 228, трубка 218 для удержания плазмы содержит верхнюю по потоку секцию с большей постоянной толщиной, с внешней частью цилиндрической поверхности 221 большего диаметра, а нижняя по потоку секция имеет меньшую постоянную толщину, с внешней частью цилиндрической поверхности 223 меньшего диаметра.

[0038] Кольцевые гнезда образованы на головке газораспределителя 202 и выходном сопле 240 для плазмы для приема соответствующих концов трубки 218 для удержания плазмы и надлежащего размещения этой трубки 218 для удержания плазмы внутри трубчатого тела 204 горелки. В частности, как показано на Фигуре 3, нижний по потоку конец трубки 218 для удержания плазмы содержит внешнюю 250 кольцевую кромочную/

фланцевую насадку, входящую в комплементарное кольцевое гнездо 241 выходного сопла 240 для плазмы.

[0039] Кольцевой канал 224 задан с одной стороны, между внутренней поверхностью 210 верхней по потоку секции 206 трубчатого тела 204 горелки и внутренней, в форме усеченного конуса 226, и цилиндрической 227 поверхностью трубчатого вкладыша 216, а с другой стороны, частями 219, 221 и 223 внешней поверхности трубки 218 для удержания плазмы. Кольцевой канал 224 сконфигурирован для приема охлаждающей текучей среды (не показано) для охлаждения трубки 218 для удержания плазмы. Без ограничений, кольцевой канал 224 может иметь постоянную толщину, по меньшей мере, на значительном участке трубки 218 для удержания плазмы, на котором плазма генерируется. При достаточно тонком кольцевом канале 224, в нем может быть установлен высокоскоростной поток охлаждающей текучей среды, для эффективного охлаждения трубки 218 для удержания плазмы. Неограничивающий пример охлаждающей текучей среды включает в себя воду, такую как деионизованная вода, или другая подходящая охлаждающая жидкость. В частности, охлаждающая текучая среда подается на кольцевой вход 232 для охлаждающей текучей среды, образованный в выходном сопле 240 для плазмы, течет через кольцевой канал 224, и откачивается через кольцевой выход 234 для охлаждающей текучей среды, образованный в трубчатом теле 204 горелки и газораспределительной головке 202. Без ограничений, охлаждающая текучая среда течет в канале охлаждения 224 в направлении, противоположном аксиальному направлению 222 потока плазмы. В проиллюстрированном варианте воплощения, для облегчения прохождения охлаждающей текучей среды из кольцевого входа 232 для охлаждающей текучей среды в кольцевой канал 224, несколько полукруглых отверстий, таких как 236, подвергаются механической обработке на периферии кольцевого нижнего по потоку конца вкладыша 216. Также могут быть рассмотрены и другие конфигурации для прохождения охлаждающей текучей среды из кольцевого входа 232 для охлаждающей текучей среды и кольцевого канала 224.

[0040] Как было проиллюстрировано на Фигуре 2, индукционная плазменная горелка 200 включает в себя элемент индуктивного связывания, например, вышеупомянутую индукционную катушку 228, встроенную внутрь трубчатого тела 204 горелки коаксиально с этим трубчатым телом горелки. Высокочастотный электрический ток может быть подан на индукционную катушку 228 через электрические выводы 230. Индукционная катушка 228 генерирует, как правило, аксиальное магнитное поле в трубке 218 для удержания плазмы, для подачи, как было описано в настоящей работе выше, энергии к плазменному газу, присутствующему в трубке 218 для удержания плазмы, и генерирования электрического пробоя в плазменном газе. Сразу после достижения электрического пробоя и зажигания плазмы, тангенциальный ток индуцируется в плазменном газе, в области (см. 122 на Фигуре 1) корпуса 204 горелки, где встроена индукционная катушка 228. Этот индуцированный тангенциальный ток отвечает за нагрев плазменного газа в трубке 218 для удержания плазмы и для поддержания разряда плазменного газа, генерирующего плазму. Индукционная катушка 228 может быть изготовлена из электропроводящей трубки, круглой или прямоугольной (как было проиллюстрировано на Фигуре 2) в поперечном сечении, для ее охлаждения посредством потока охлаждающей текучей среды, установленного в ней, через электрические выводы 230. Опять же, неограничивающий пример охлаждающей текучей среды включает в себя воду, такую как деионизованная вода или другая подходящая охлаждающая жидкость.

[0041] Фигуры 2 и 3 показывают варианты вкладыша 216 индукционной плазменной

горелки 200. На Фигуре 2, вкладыш 216 длиннее и простирается вдоль более длинной части трубки 218 для удержания плазмы, причем верхняя 206 по потоку секция трубчатого тела 204 горелки короче, чем нижняя 208 по потоку секция. На Фигуре 3, вкладыш 216 короче и простирается вдоль более короткой нижней по потоку части трубки 218 для удержания плазмы, и хотя Фигура 3 не показывают трубчатое тело 204 горелки, следует понимать, что в этом варианте верхняя 206 по потоку секция трубчатого тела 204 горелки длиннее, чем нижняя 208 по потоку секция. Обычные специалисты в данной области техники, прибегающие к настоящему раскрытию, должны уметь адаптировать геометрические формы различных компонентов индукционной плазменной горелки 200 в зависимости от ее рабочих и эксплуатационных потребностей, включающих в себя требования по охлаждению трубки 218 для удержания плазмы.

[0042] В другом варианте индукционной плазменной горелки 200, трубка 218 для удержания плазмы может быть изготовлена из материала, проницаемого для охлаждающей текучей среды, текущей через кольцевой канал 204. Доля охлаждающей текучей среды может затем проникать сквозь материал трубки 218 для удержания плазмы, с образованием пленки охлаждающей текучей среды на внутренней поверхности 238 трубки 218 для удержания плазмы. Охлаждающая текучая среда испаряется с пленки под действием тепла, производимого в индукционной плазменной горелке 200. Охлаждающую текучую среду затем выгодно выбирают для образования, при ее испарении, газа, пригодного для генерирования плазмы.

[0043] Фигура 4 представляет собой вид спереди поперечного разреза индукционной плазменной горелки 400, имеющей вкладыш 416 и емкостной экран 440 согласно одному варианту воплощения. Фигура 5 представляет собой перспективное изображение с частичным вырезом трубки 418 для удержания плазмы, вкладыша 416 и емкостного экрана 440 индукционной плазменной горелки 400 по Фигуре 4. Фигура 6 представляет собой перспективное изображение с частичным вырезом трубчатого тела 404 индукционной плазменной горелки 400 по Фигуре 4. Обратимся теперь сразу к Фигурам 4-6, где индукционная плазменная горелка 400 включает в себя большинство элементов индукционной плазменной горелки 200, описанной в настоящей работе выше, со ссылкой на Фигуры 2 и 3. Одни и те же номера ссылок используются для идентификации элементов, идентичных в обоих вариантах воплощения.

[0044] Как показано на Фигурах 4-6, индукционная плазменная горелка 400 содержит трубчатое 404 тело горелки, которое может быть без ограничений изготовлено из литой керамики или из композита с полимерной матрицей. Трубчатое 404 тело горелки также образовано с верхней по потоку секцией 406, центральной секцией 407 и нижней по потоку секцией 408. Верхняя 406 по потоку секция задает внутреннюю цилиндрическую поверхность 410. Центральная секция 407, имеющая внутренний диаметр, плавно уменьшается от верхней 406 по потоку секции до кольцевой кромки 414, с образованием поверхности в форме усеченного конуса 411. Наконец, нижняя 408 по потоку секция задает внутреннюю цилиндрическую поверхность 412. Кольцевая кромка 414 разделяет внутреннюю поверхность в форме усеченного конуса 411 центральной секции 407 и внутреннюю цилиндрическую поверхность 412 нижней по потоку секции 408.

[0045] Индукционная плазменная горелка 400 также содержит головку газораспределителя, как правило, показанную под номером 202. Головка газораспределителя 202 установлена на верхнем по потоку конце трубчатого тела 404 индукционной плазменной горелки 400. Как было описано в настоящей работе выше, головка газораспределителя 202 сконструирована для подачи, в частности, но не исключительно, вышеупомянутого плазменного газа и оболочечного газа к

индукционной плазменной горелке 400. Индукционная плазменная горелка 400 дополнительно содержит кольцевое, например, круглое или овальное выходное сопло 240 для плазмы, прикрепленное к нижнему по потоку концу трубчатого тела 404 горелки. Головка газораспределителя 202 и выходное сопло 240 для плазмы хорошо известны в области индукционных плазменных горелок, и по этой причине, не будет дополнительно описано в настоящей спецификации.

[0046] Вкладыш 416 является трубчатым и изготовлен, например, из двух полуцилиндрических секций разделенного цилиндра. Трубчатый вкладыш 416 расположен на внутренней поверхности 412 нижней по потоку секции 408 трубчатого тела 404 горелки. Также вкладыш 416 имеет верхний по потоку конец, упирающийся в кольцевую кромку 414 и нижний по потоку конец. Как было проиллюстрировано, вкладыш 416 имеет (а) внешний постоянный диаметр, соответствующий внутреннему постоянному диаметру внутренней поверхности 412 нижней по потоку секции 408 трубчатого тела 404 горелки, и (b) внутренний диаметр, который плавно уменьшается от верхнего по потоку конца в аксиальном направлении 222 потока плазмы до повышения толщины трубчатого вкладыша 416 в том же направлении и образует внутреннюю поверхность 426 в форме усеченного конуса, вплоть до точки 443, где внутренний диаметр поддерживается постоянным, для поддержания толщины трубчатого вкладыша 416 постоянной и образования внутренней цилиндрической поверхности 427. Как видно на Фигуре 4, толщина вкладыша 416 на его верхнем по потоку конце равна ширине кольцевой кромки 414, вследствие чего внутренняя поверхность в форме усеченного конуса 411 центральной части 407 трубчатого тела 404 горелки образуется с внутренней поверхностью в форме усеченного конуса 426 вкладыша 418, причем внутренняя поверхность в форме усеченного конуса является непрерывной. Вкладыш 416 может быть изготовлен из тефлона или из другого материала, обладающего сходными или подходящими физическими свойствами.

[0047] Индукционная плазменная горелка 400 содержит трубку 418 для удержания плазмы. Трубка 418 для удержания плазмы, которая может быть изготовлена из стойкого к высокой температуре и керамического материала с высокой теплопроводностью, расположена внутри трубчатого тела 404 горелки, коаксиально с этим трубчатым телом 404 горелки, между головкой газораспределителя 202 и выходным соплом 240 для плазмы. Трубка 418 для удержания плазмы имеет постоянный внутренний диаметр, а например, в области индукционной катушки 428, - внешний диаметр, который плавно уменьшается в аксиальном направлении 222 потока плазмы, с образованием части 419 в форме усеченного конуса внешней поверхности трубки 418 для удержания плазмы, с сужением, таким образом, толщины трубчатой стенки 420 в том же направлении. Поскольку сужение толщины трубчатой стенки 420 трубки 418 для удержания плазмы в проиллюстрированном примере ограничено в области индукционной катушки 428, трубка 418 для удержания плазмы содержит верхнюю по потоку секцию большей постоянной толщины с внешней частью цилиндрической поверхности 421 большего диаметра, и нижнюю по потоку секцию меньшей постоянной толщины с внешней частью цилиндрической поверхности 423 меньшего диаметра.

[0048] Как было описано выше, кольцевые гнезда образованы на головке газораспределителя 202 и выходном сопле 240 для плазмы, для приема соответствующих концов трубки 418 для удержания плазмы и подходящего размещения этой трубки 418 для удержания плазмы внутри трубчатого тела 404 горелки. В частности, как показано на Фигуре 5, нижний по потоку конец трубки 418 для удержания плазмы содержит внешнюю кольцевую кромочную/фланцевую насадку 450, принимаемую в

комплементарное кольцевое гнездо 241 выходного сопла 240 для плазмы.

[0049] Кольцевой канал 424 задан с одной стороны, между внутренней поверхностью 410 верхней по потоку секции 406 трубчатого тела 404 горелки, внутренней поверхностью в форме усеченного конуса 411 центральной секции 407, и внутренней, в форме усеченного конуса 426 и цилиндрической 427 поверхностью вкладыша 416, а с другой стороны, - частями 419, 412 и 423 внешней поверхности трубки 418 для удержания плазмы. Кольцевой канал 424 сконфигурирован для приема охлаждающей текучей среды (не показано) для охлаждения трубки 418 для удержания плазмы. Без ограничений, кольцевой канал 424 может иметь постоянную толщину, по меньшей мере, на значительном участке трубки 418 для удержания плазмы, на котором плазма генерируется. Когда кольцевой канал 424 достаточно тонок, в нем может быть установлен высокоскоростной поток охлаждающей текучей среды для эффективного охлаждения трубки 418 для удержания плазмы. Неограничивающий пример охлаждающей текучей среды включает в себя воду, такую как деионизованная вода, или другая подходящая охлаждающая жидкость. В частности, охлаждающая текучая среда подается на кольцевой вход 432 для охлаждающей текучей среды, образованный в выходном сопле 240, течет через кольцевой канал 424 и откачивается через кольцевой выход 434 для охлаждающей текучей среды, образованный в трубчатом теле 404 горелки и в газораспределительной головке 202. Без ограничений, охлаждающая текучая среда течет в канале охлаждения 424 в направлении, противоположном аксиальному направлению 222 потока плазмы. В проиллюстрированном варианте воплощения, для облегчения прохождения охлаждающей текучей среды из кольцевого входа 432 для охлаждающей текучей среды в кольцевой канал 424, несколько полукруглых отверстий, таких как 436 механически обрабатывают на периферии кольцевого нижнего по потоку конца вкладыша 416. Также могут быть предусмотрены и другие конфигурации для прохождения охлаждающей текучей среды из кольцевого входа 432 для охлаждающей текучей среды и кольцевого канала 424.

[0050] Как и в варианте воплощения по Фигуре 2, индукционная плазменная горелка 400 включает в себя элемент индуктивного связывания, например, вышеупомянутую индукционную катушку 428, встроенную внутрь трубчатого тела 404 горелки, коаксиально с этим трубчатым телом горелки.

[0051] Индукционная плазменная горелка 400 включает в себя, как было проиллюстрировано на Фигурах 4-6, трубчатый емкостной экран 440, образованный из слоя, например, трубки электропроводящего материала, например, металла, встроенного в материал внутренних поверхностей 410 и 411 верхней по потоку 406 и центральной 407 секции трубчатого тела 404 горелки. В одном варианте воплощения, слой, например, трубка электропроводящего материала будет достаточно толстым для механической обработки вместе с внутренней стенкой трубчатого тела 404 горелки, т.е., внутренними поверхностями 410 и 411 трубчатого тела горелки, для обнажения упомянутого слоя электропроводящего материала на этих внутренних поверхностях 410 и 411 и получения гладкой поверхности внутренней стенки трубчатого тела 404 горелки.

[0052] Слой, например, трубка электропроводящего материала, образующего емкостной экран 440, может быть сегментирован, с образованием нижних по потоку осевых полос, таких как 442, соединенных между собой верхним по потоку кольцом 444, расположенным на верхней части верхней по потоку секции 406 трубчатого тела 404 горелки. Емкостной экран 440 также может быть просто нанесен на внутреннюю поверхность 410 и 411 верхней по потоку 406 и центральной 407 секции трубчатого тела

404 горелки.

[0053] Элемент индуктивного связывания 428 в значительной степени расположен на уровне, и снаружи емкостного экрана 440. Поэтому, емкостной экран 440 покрывает большую часть области трубки 418 для удержания плазмы, где поток плазменного газа подвергается воздействию энергии, исходящей из элемента индуктивного связывания 428. Следовательно, емкостной экран 440 будет снижать емкостную энергию, связанную с разрядом плазменного газа в индукционной плазменной горелке 400, вследствие чего вероятность возникновения зажигания дуги сбоку, если не исключается полностью, то значительно снижается.

[0054] В вышеописанных индукционных плазменных горелках 200 и 400, внешняя 250 кольцевая кромочная/фланцевая насадка 450 сконфигурирована для поддержания вкладыша 216/416 в положении в индукционной плазменной горелке 200/400. Для этой цели, внешняя 250/450 кольцевая кромочная/фланцевая насадка задает кромку 251/451, упирающуюся в нижний по потоку конец вкладыша 216/416. Использование внешней 250/450 кольцевой кромочной/фланцевой насадки, включающей в себя кромку 251/451, также предусматривает точное размещение трубки 218/418 для удержания плазмы внутри трубчатого тела 204/404 горелки, при размещении в кольцевом гнезде 241. Очевидно, что внешняя 250/450 кольцевая кромочная/фланцевая насадка, когда она имеется, предотвращает сползание вверх трубки 218/418 для удержания плазмы, приводящего к удалению с верхнего по потоку конца индукционных плазменных горелок 200/400.

[0055] Фигуры 7а, 7б и 7с представляют собой поперечные разрезы индукционной плазменной горелки 400, взятые соответственно вдоль линий А-А, В-В и С-С Фигуры 4.

[0056] Емкостной экран 440, который виден на Фигуре 7а, присутствует только в индукционной плазменной горелке 400 по Фигуре 4. Изображения на Фигурах 7б и 7с применимы для обеих индукционных плазменных горелок 200 и 400, показанных на Фигурах 2 и 4.

[0057] Фигура 7б иллюстрирует, что вкладыш 216/416 содержит, по меньшей мере, две комплементарные полуцилиндрические секции 216А и 216В/416А и 416В, разделенные осевыми вырезами 454. Комплементарные секции 216А и 216В/416А и 416В полностью окружают трубку 218/418 для удержания плазмы и могут отвинчиваться от индукционной плазменной горелки 200/400 за счет соскальзывания трубки 218/418 для удержания плазмы и вкладыша 216/416 с трубчатого тела 204/404 горелки через нижний по потоку конец трубчатого тела 204/404 горелки, и с последующим отсоединением их друг от друга вдоль осевых вырезов 454.

[0058] Фигура 7с показывает, в частности, несколько полукруглых отверстий, таких как 236/436, подвергаемых механической обработке и распределенных по периферии кольцевого нижнего по потоку конца вкладыша 216/416.

[0059] Хотя Фигуры 7а, 7б и 7с приведены не в масштабе, они иллюстрируют, что у трубчатой стенки трубки 418 для удержания плазмы толщина уменьшается между поперечными сечениями вдоль линий А-А, В-В, а затем и С-С Фигуры 4. Кольцевой канал 224/424 имеет фактически постоянную толщину на этих уровнях.

[0060] В области индукционной катушки 228/428, переменная толщина трубчатой стенки 220/420 трубки 218/418 для удержания плазмы, для данного поперечного сечения вдоль ее длины, может быть рассчитана следующим образом:

$$[0061] \delta_w = \frac{k\Delta T}{q} \quad (1),$$

[0062] в которой:

[0063] δ_w - толщина трубчатой стенки 220/420 при выбранном расстоянии от верхнего по потоку конца трубки 218/418 для удержания плазмы, выраженное в метрах;

[0064] K - теплопроводность материала, образующего трубку 218/418 для удержания плазмы, выраженная в ваттах на метр и на Кельвин;

[0065] ΔT - допустимая разность температур поперек трубчатой стенки 220/420 трубки 218/418 для удержания плазмы, выраженная в Кельвинах;

[0066] Q - тепловой поток к трубке для удержания плазмы при выбранном расстоянии от верхнего по потоку конца трубки 218/418 для удержания плазмы, выраженный в ваттах на квадратный метр.

[0067] Зная тепловой поток, вызванный работой индукционной плазменной горелки 200/400, и зная теплопроводность и теплостойкость и желаемую долговечность трубки 218/418 для удержания плазмы, можно установить отклонение толщины трубки 218/418 для удержания плазмы, а исходя из этого - геометрические размеры других компонентов индукционной плазменной горелки 200/400.

[0068] Фигура 8 представляет собой график, показывающий осевое распределение теплового потока к трубчатой стенке (а) трубки для удержания плазмы с постоянной толщиной и (б) трубки для удержания плазмы, как было проиллюстрировано на Фигурах 2 или 3, причем индукционная плазменная горелка работает при 100 кВт. Модель PL-70 индукционной плазменной горелки от компании TEKNA, Sherbrooke, QC, Канада, была использована для получения результатов вычислений, проиллюстрированных на Фигуре 8. Сначала, вычисления и измерения были получены с использованием стандартной индукционной плазменной горелки PL-70. Затем был сделан прототип путем модифицирования индукционной плазменной горелки PL-70, с использованием признаков, введенных на Фигурах 2 и 3. В обоих случаях, внутренний диаметр трубки для удержания плазмы составляет 70 мм, плазма состоит из смеси аргона и водорода при атмосферном давлении, а индукционная плазменная горелка работает при мощности на аноде 100кВт, причем 65 кВт мощности связывается в разряд плазмы.

[0069] На Фигуре 8, график 800 сопровождается частичным схематическим изображением 850 деталей индукционной плазменной горелки 200/400. График 800 показывает на своей горизонтальной оси осевое расстояние в миллиметрах, отложенных вдоль длины трубки для удержания плазмы от ее верхнего по потоку конца. Стрелки 852 и 854 позволяют получить наглядное представление об этом осевом расстоянии вдоль частичного схематического изображения 850, относительно местоположения элемента индуктивного связывания 228/428. Первая вертикальная ось, на левой стороне графика 800, показывает тепловой поток на трубчатой стенке 220/420 трубки для удержания плазмы 204/404, в ваттах на квадратный метр. Вторая вертикальная ось, на правой стороне графика 800, показывает температуру в Кельвинах для трубчатой стенки трубки для удержания плазмы. Кривая 802 показывает изменения теплового потока, достигающего максимума приблизительно $1,4 \times 10^6$ Вт/м² около центра элемента индуктивного связывания 228/428, падающего примерно до $0,3 \times 10^6$ Вт/м² на верхнем по потоку конце элемента индуктивного связывания 228/428 и примерно до $0,5 \times 10^6$ Вт/м² на нижнем по потоку конце элемента индуктивного связывания 228/428.

[0070] При использовании стандартной индукционной плазменной горелки PL-70, температура трубчатой стенки трубки для удержания плазмы, показанная на температурной кривой 804, близко следует ходу кривой 802 теплового потока, достигая максимального значения, близкого к 700К в позиции максимума теплового потока,

снижаясь, соответственно, примерно к 400К и 500К на верхнем по потоку и нижнем по потоку концах элемента индуктивного связывания 228/428.

5 [0071] При использовании трубки для удержания плазмы с сужающейся толщиной, как показано на Фигурах 2 и 3, температурный профиль трубчатой стенки трубки для удержания плазмы значительно уплощается, как показано на температурной кривой 806. Можно отметить, что максимальная температура трубчатой стенки в этом случае составляет менее 450К, что значительно ниже значения 700К, полученного при однородной трубчатой толщине.

10 [0072] Фигура 9 представляет собой график, показывающий осевое распределение теплового потока к трубчатой стенке (а) трубки для удержания плазмы с постоянной толщиной и (б) трубки для удержания плазмы, как было проиллюстрировано на Фигурах 2 или 3, причем индукционная плазменная горелка работает при 140 кВт. Была использована одна и та же модель PL-70 индукционной плазменной горелки, - сначала со стандартной конфигурацией, а затем - с использованием признаков, введенных на 15 Фигурах 2 и 4, причем различие между Фигурами 8 и 9 состоит в том, что результаты были получены при более высокой рабочей мощности в случае Фигуры 9.

[0073] На Фигуре 9, график 900 сопровождается частичным схематическим изображением 950 деталей индукционной плазменной горелки 200/400. График 900 20 показывает на своей горизонтальной оси осевое расстояние в миллиметрах, отложенное вдоль длины трубки для удержания плазмы от ее верхнего по потоку конца. Стрелки 952 и 954 позволяют отчетливо представить себе это осевое расстояние вдоль частичного схематического изображения 950, относительно позиции элемента индуктивного связывания 228/428. Первая вертикальная ось на левой стороне графика 900 отображает тепловой поток на трубчатой стенке трубки для удержания плазмы, в ваттах на 25 квадратный метр. Вторая вертикальная ось на правой стороне графика 900 отображает температуру в Кельвинах для трубчатой стенки трубки для удержания плазмы. Кривая 902 показывает изменения теплового потока, достигающего максимума примерно $2,2 \times 10^6$ Вт/м² вокруг центра элемента индуктивного связывания 228/428, падающего 30 примерно до $0,2 \times 10^6$ Вт/м² на верхнем по потоку конце элемента индуктивного связывания 228/428 и примерно до $0,7 \times 10^6$ Вт/м² на нижнем по потоку конце элемента индуктивного связывания 228.

[0074] При использовании стандартной индукционной плазменной горелки PL-70, температура трубчатой стенки трубки для удержания плазмы, показанная на 35 температурной кривой 904, близко следует ходу кривой 902 теплового потока 902, достигая максимального значения, близкого к 1000К, в положении максимального теплового потока, снижаясь, соответственно, примерно к 470К и 600К на верхнем по потоку и нижнем по потоку концах элемента индуктивного связывания 228/428.

40 [0075] При использовании трубки для удержания плазмы с сужающейся толщиной, как показано на Фигурах 2 и 3, несмотря на более высокую рабочую мощность индукционной плазменной горелки, температурный профиль трубчатой стенки трубки для удержания плазмы еще является достаточно уплощенным, как показано на температурной кривой 906. Можно отметить, что максимальная температура трубчатой стенки в этом случае составляет примерно 550К, которая значительно ниже значения 45 1000К, полученного при однородной трубчатой толщине стенки, и которая еще ниже, чем максимальное значение 700К, полученное при мощности на аноде 100 кВт, с использованием трубки для удержания плазмы, имеющей однородную трубчатую толщину стенки.

[0076] Можно отметить, что на температурный градиент на трубчатой стенке трубки для удержания плазмы в достаточной мере не оказывает влияния наличие емкостного экрана 440 по Фигуре 4, и в результате, кривая 806 на графике 800 и кривая 906 на графике 900 применима к обоим вариантам воплощения по Фигурам 2 и 4. Также можно отметить, что температурные кривые 804, 806, 904 и 906 были получены с использованием трубок для удержания плазмы, непроницаемых для охлаждающей текучей среды.

[0077] Хотя настоящая технология снижает крайний нагрев, прикладываемый к трубчатой стенке 220/420 трубок 218/418 для удержания плазмы, последние еще подвергаются воздействию высоких температур, что, в конечном счете, вызывает необходимость в их замене. Специалист в данной области техники должен учитывать, что конфигурация индукционной плазменной горелки 200/400 без вкладышей 216/416 может сделать замену трубки 218/418 для удержания плазмы очень сложной, а иногда и невозможной в некоторых конфигурациях. Поскольку трубка 218/418 для удержания плазмы толще на ее верхнем по потоку конце, она может не соскальзывать с трубчатого тела 204/404 горелки, не соударяясь с периферией внутренней поверхности трубчатого тела 204/404 горелки, если эта внутренняя поверхность простиралась с постоянным снижением ее диаметра для обеспечения тонкого кольцевого канала 224/424, имеющего фактически постоянную толщину.

[0078] Решение, при котором внутренняя поверхность корпуса горелки может иметь постоянный диаметр, может допустить удаление и замену трубки для удержания плазмы, но это решение можно выполнить плохо с точки зрения охлаждения, поскольку оно может сделать кольцевой канал охлаждения толще на его нижнем конце. Другое решение, при котором трубка для удержания плазмы может удаляться за счет скольжения вверх в корпусе горелки, может состоять в расширении людского персонала, когда может потребоваться отсоединение распределительной головки индукционной плазменной горелки. Дополнительно, это решение может просто не быть выполнимым в присутствии внешней кольцевой кромочной/фланцевой насадки, такой как 250/450 на нижнем по потоку конце трубки для удержания плазмы.

[0079] Способ для извлечения трубки 218/418 для удержания плазмы индукционной плазменной горелки 200/400, при котором трубка 218/418 для удержания плазмы включает в себя внешнюю 250/450 кольцевую кромочную/фланцевую насадку, содержит извлечение выходного сопла 240 для плазмы из трубчатого тела 204/404 горелки. Удаление выходного сопла 240 для плазмы высвобождает внешнюю 250/450 кольцевую кромочную/фланцевую насадку трубки 218/418 для удержания плазмы из кольцевого гнезда 241 выходного сопла 240 для плазмы. Затем, трубка 218/418 для удержания плазмы может быть вытянута наружу, в одном направлении 222 вместе с трубчатым вкладышем 216/416, с отделением верхнего по потоку конца трубки 218/418 для удержания плазмы от кольцевого гнезда головки газораспределителя 202 и отделением вкладыша 216/416 от внутренней поверхности 212/412 нижней по потоку 208 секции/408 трубчатого тела 204/404 горелки. После того, как трубка 218/418 для удержания плазмы и вкладыш 216/416 были извлечены изнутри трубчатого тела 204/404 горелки, трубчатый вкладыш 216/416 может быть отвинчен от трубки 218/418 для удержания плазмы путем отделения ее двух комплементарных полуцилиндрических секций 216А, 216В/416А, 416В друг от друга на осевых вырезах 454 (Фигура 7b). Следует отметить, что внутренний диаметр трубчатого тела 404 горелки на кольцевой кромке 414 достаточно велик, чтобы позволить верхней по потоку секции трубки 418 для удержания плазмы, имеющей больший внешний диаметр, соскальзывать с трубчатого тела 404

горелки.

[0080] В индукционной плазменной горелке 200/400 затем может быть установлена новая трубка 218/418 для удержания плазмы. Для этой цели, комплементарные полуцилиндрические секции 216А, 216В/416А, 416В вкладыша 216/416 монтируют друг с другом на осевых вырезах 454 и размещают в позиции поверх новой трубки 218/418 для удержания плазмы. Комплект вкладыш/трубка для удержания плазмы затем вводят 5 внутрь трубчатого тела 204/404 горелки через нижний по потоку конец этого трубчатого тела горелки; вкладыш 216/416 сдвигают в местоположение на внутренней поверхности 212/412 нижней по потоку 208 секции/408 трубчатого тела 204/404 горелки, а верхний 10 по потоку конец трубки 218/418 для удержания плазмы помещают на кольцевое гнездо головки газораспределителя 202. Наконечник выходное сопло 240 для плазмы устанавливают на трубчатое тело 204/404 горелки, помещая внешнюю 250/450 кольцевую кромочную/фланцевую насадку в кольцевое гнездо 241.

[0081] Обычным специалистам в данной области техники должно быть понятно, что 15 описание способа замены индукционной плазменной горелки и трубки для удержания плазмы являются лишь иллюстративными и не предназначены в качестве какого-либо ограничения. Обычные специалисты в данной области техники могут легко предложить и другие варианты воплощения, обладающие преимуществами согласно настоящему раскрытию. Кроме того, раскрытый способ замены индукционной плазменной горелки 20 и трубки для удержания плазмы может быть подобран для обеспечения ценных решений для существующих потребностей, связанных с повышением плотности энергии в плазме при снижении или устранении зажигания дуги сбоку в индукционных плазменных горелках.

[0082] Для ясности, показаны и описаны не все из обычных признаков воплощений 25 способа замены индукционной плазменной горелки и трубки для удержания плазмы. Конечно, следует учитывать, что в развитие любого такого реального воплощения способа замены индукционной плазменной горелки и трубки для удержания плазмы, может потребоваться выполнить многочисленные специфичные для воплощения решения, для достижения целей, специфичных для разработчика, таких как соответствие 30 с ограничениями, относящимися к применению, системе и бизнесу, и что эти конкретные цели могут меняться от одного воплощения до другого и от одного разработчика до другого. Более того, следует учитывать, что опытно-конструкторские работы могут быть сложными и продолжительными, но, тем не менее, могут представлять собой рутинные меры, связанные с инжинирингом для обычного специалиста в области 35 индукционных плазменных горелок, обладающие преимуществами согласно настоящему раскрытию.

[0083] Настоящее раскрытие было описано в вышеизложенной спецификации в виде неограничивающих иллюстративных вариантов воплощения, приведенных в качестве 40 примеров. Эти иллюстративные варианты воплощения при желании могут быть модифицированы. Объем формулы изобретения не ограничен вариантами воплощения, изложенными в примерах, а имеет самую широкую интерпретацию, соответствующую описанию в целом.

(57) Формула изобретения

45 1. Индукционная плазменная горелка, содержащая:
- трубчатое тело горелки, имеющее верхнюю по потоку секцию и нижнюю по потоку секцию, причем верхняя по потоку и нижняя по потоку секции задают соответствующие внутренние поверхности;

- трубку для удержания плазмы, расположенную внутри трубчатого тела горелки коаксиально с трубчатым телом горелки и имеющую внутреннюю поверхность постоянного внутреннего диаметра и внешнюю поверхность, причем трубка для удержания плазмы имеет трубчатую стенку с толщиной, сужающейся в аксиальном направлении потока плазмы по меньшей мере на участке трубки для удержания плазмы;

- трубчатый вкладыш, установленный внутри трубчатого тела горелки и имеющий внешнюю поверхность, прилегаемую к внутренней поверхности нижней по потоку секции трубчатого тела горелки, и внутреннюю поверхность; и

- кольцевой канал, образованный между (а) внутренней поверхностью верхней по потоку секции трубчатого тела горелки и внутренней поверхностью трубчатого вкладыша и (б) внешней поверхностью трубки для удержания плазмы, причем кольцевой канал выполнен с возможностью пропускания охлаждающей текучей среды для охлаждения трубки для удержания плазмы.

2. Горелка по п. 1, содержащая элемент индуктивного связывания, встроенный внутрь трубчатого тела горелки, для приложения энергии к плазменному газу, присутствующему в трубке для удержания плазмы, для получения и поддержания плазмы.

3. Горелка по п. 2, в которой элемент индуктивного связывания содержит коаксиальную катушку, причем толщина трубчатой стенки трубки для удержания плазмы сужается в области коаксиальной катушки.

4. Горелка по любому из пп. 1-3, в которой внутренняя поверхность верхней по потоку секции трубчатого тела горелки, внутренняя поверхность трубчатого вкладыша и внешняя поверхность трубки для удержания плазмы выполнены с возможностью формирования кольцевого канала с постоянной толщиной.

5. Горелка по любому из пп. 1-4, в которой трубчатое тело горелки содержит кольцевую кромку между внутренней поверхностью верхней по потоку секции и внутренней поверхностью нижней по потоку секции, причем трубчатый вкладыш содержит верхний по потоку конец, упирающийся в кольцевую кромку.

6. Горелка по любому из пп. 1-5, в которой:

- трубка для удержания плазмы задает внешнюю верхнюю по потоку часть цилиндрической поверхности, внешнюю центральную часть поверхности в форме усеченного конуса и внешнюю нижнюю по потоку часть цилиндрической поверхности; и

- внутренняя поверхность верхней по потоку секции трубчатого тела горелки является цилиндрической и обращена к внешней верхней по потоку части цилиндрической поверхности трубки для удержания плазмы; и

- внутренняя поверхность трубчатого вкладыша содержит верхнюю по потоку часть поверхности в форме усеченного конуса, обращенную к внешней центральной части поверхности в форме усеченного конуса трубки для удержания плазмы, а нижняя по потоку часть цилиндрической поверхности обращена к внешней нижней по потоку части цилиндрической поверхности трубки для удержания плазмы.

7. Горелка по любому из пп. 1-6, содержащая внутренний емкостной экран, включающий в себя слой электропроводящего материала на внутренней стенке трубчатого тела горелки, причем слой проводящего материала сегментирован с образованием осевых полос и образует кольцо для соединения между собой верхних по потоку концов осевых полос.

8. Горелка по п. 7, в которой емкостной экран встроен во внутреннюю стенку трубчатого тела горелки, причем трубчатое тело горелки имеет гладкую внутреннюю поверхность, полученную в результате механической обработки емкостного экрана

вместе с внутренней стенкой трубчатого тела горелки для обнажения слоя электропроводящего материала.

9. Горелка по п. 7, в которой слой электропроводящего материала содержит трубку из упомянутого электропроводящего материала.

5 10. Индукционная плазменная горелка, содержащая:

- трубчатое тело горелки, имеющее верхнюю по потоку секцию, центральную секцию и нижнюю по потоку секцию, причем верхняя по потоку, центральная и нижняя по потоку секции задают соответствующие внутренние поверхности;

10 - трубку для удержания плазмы, расположенную внутри трубчатого тела горелки коаксиально с трубчатым телом горелки и имеющую внутреннюю поверхность постоянного внутреннего диаметра и внешнюю поверхность, причем трубка для удержания плазмы имеет трубчатую стенку с толщиной, сужающейся в аксиальном направлении потока плазмы по меньшей мере на участке трубки для удержания плазмы;

15 - трубчатый вкладыш, установленный внутри трубчатого тела горелки и имеющий внешнюю поверхность, прилегаемую к внутренней поверхности нижней по потоку секции трубчатого тела горелки, и внутреннюю поверхность; и

- кольцевой канал, образованный между (а) внутренней поверхностью верхней по потоку секции трубчатого тела горелки, внутренней поверхностью центральной секции трубчатого тела горелки и внутренней поверхностью трубчатого вкладыша и (б) 20 внешней поверхностью трубки для удержания плазмы, причем кольцевой канал выполнен с возможностью пропускания охлаждающей текучей среды для охлаждения трубки для удержания плазмы.

11. Горелка по п. 10, содержащая элемент индуктивного связывания, встроенный 25 внутрь трубчатого тела горелки, для приложения энергии к плазменному газу, присутствующему в трубке для удержания плазмы, для получения и поддержания плазмы.

12. Горелка по п. 11, в которой элемент индуктивного связывания содержит коаксиальную катушку, причем толщина трубчатой стенки трубки для удержания плазмы сужается в области коаксиальной катушки.

30 13. Горелка по любому из пп. 10-12, в которой внутренняя поверхность верхней по потоку секции трубчатого тела горелки, внутренняя поверхность центральной секции трубчатого тела горелки, внутренняя поверхность трубчатого вкладыша и внешняя поверхность трубки для удержания плазмы выполнены с возможностью формирования кольцевого канала с постоянной толщиной.

35 14. Горелка по любому из пп. 10-13, в которой трубчатое тело горелки содержит кольцевую кромку между внутренней поверхностью центральной секции и внутренней поверхностью нижней по потоку секции, причем трубчатый вкладыш содержит верхний по потоку конец, упирающийся в кольцевую кромку.

15. Горелка по любому из пп. 10-14, в которой:

40 - трубка для удержания плазмы задает внешнюю верхнюю по потоку часть цилиндрической поверхности, внешнюю центральную часть поверхности в форме усеченного конуса и внешнюю нижнюю по потоку часть цилиндрической поверхности; и

45 - внутренняя поверхность верхней по потоку секции трубчатого тела горелки является цилиндрической, а внутренняя поверхность центральной секции трубчатого тела горелки имеет форму усеченного конуса;

- внутренняя поверхность трубчатого вкладыша содержит верхнюю по потоку часть поверхности в форме усеченного конуса, образующую с внутренней, в форме усеченного

конуса, поверхностью центральной секции трубчатого тела горелки внутреннюю однородную поверхность в форме усеченного конуса, и нижнюю по потоку часть цилиндрической поверхности;

5 причем (а) внутренняя цилиндрическая поверхность верхней по потоку секции трубчатого тела горелки обращена к верхней по потоку части цилиндрической поверхности трубки для удержания плазмы, (b) внутренняя однородная поверхность в форме усеченного конуса обращена к внешней центральной части поверхности в форме усеченного конуса трубки для удержания плазмы, и (с) нижняя по потоку цилиндрическая часть внутренней поверхности трубчатого вкладыша обращена к
10 внешней нижней по потоку части цилиндрической поверхности трубки для удержания плазмы.

16. Горелка по любому из пп. 10-15, содержащая внутренний емкостной экран, включающий в себя слой электропроводящего материала на внутренней стенке трубчатого тела горелки, причем слой проводящего материала сегментирован с
15 образованием осевых полос и образует кольцо для соединения между собой верхних по потоку концов осевых полос.

17. Горелка по п. 16, в которой емкостной экран встроен во внутреннюю стенку верхней по потоку и центральной секций трубчатого тела горелки, причем трубчатое тело горелки имеет гладкую внутреннюю поверхность, полученную в результате
20 механической обработки емкостного экрана вместе с внутренними поверхностями верхней по потоку и центральной секций трубчатого тела горелки для обнажения слоя электропроводящего материала.

18. Горелка по п. 16 или 17, в которой слой электропроводящего материала содержит трубку из упомянутого электропроводящего материала.

25 19. Горелка по любому из пп. 1-18, содержащая:
- вход для охлаждающей текучей среды, предназначенный для подачи охлаждающей текучей среды к кольцевому каналу; и
- выход для охлаждающей текучей среды, предназначенный для откачки охлаждающей текучей среды из кольцевого канала.

30 20. Горелка по п. 19, в которой вход и выход для охлаждающей текучей среды расположены таким образом, чтобы охлаждающая текучая среда текла в кольцевом канале в направлении, противоположном направлению потока плазмы.

21. Горелка по любому из пп. 1-20, в которой трубка для удержания плазмы изготовлена из материала, проницаемого для охлаждающей текучей среды, причем
35 доля охлаждающей текучей среды проникает сквозь материал трубки для удержания плазмы с образованием пленки охлаждающей текучей среды на внутренней поверхности трубки для удержания плазмы, причем охлаждающая среда испаряется с пленки под действием тепла, производимого плазмой, причем охлаждающая среда выбрана для образования, при ее испарении, газа, пригодного для генерирования плазмы.

40 22. Горелка по любому из пп. 1-21, в которой трубка для удержания плазмы содержит нижний по потоку конец, снабженный внешней кольцевой кромочной/фланцевой насадкой, причем индукционная плазменная горелка содержит кольцевое выходное сопло для плазмы, прикрепленное к нижнему по потоку концу трубчатого тела горелки и содержащее кольцевое гнездо для приема внешней кольцевой кромочной/фланцевой
45 насадки.

23. Горелка по п. 22, в которой кольцевая кромочная/фланцевая насадка задает кольцевую кромку, в которую упирается нижний по потоку конец трубчатого вкладыша для удержания кольцевого вкладыша в индукционной плазменной горелке на внутренней

поверхности нижней по потоку секции трубчатого тела горелки.

24. Горелка по любому из пп. 1-23, в которой трубчатый вкладыш содержит по меньшей мере две комплементарные секции, окружающие трубку для удержания плазмы.

25. Горелка по п. 24, в которой комплементарные секции трубчатого вкладыша
5 содержат две полуцилиндрические секции.

26. Способ извлечения трубки для удержания плазмы из индукционной плазменной горелки по любому из пп. 1-25, содержащий одновременное вытягивание трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша в аксиальном направлении потока плазмы из трубчатого тела горелки.

10 27. Способ по п. 26, содержащий:

- извлечение кольцевого выходного сопла для плазмы, прикрепленного к нижнему по потоку концу трубчатого тела горелки, до одновременного вытягивания трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша в аксиальном направлении потока плазмы из трубчатого тела горелки; и

15 - демонтаж трубчатого вкладыша, изготовленного по меньшей мере из двух комплементарных секций для окружения трубки для удержания плазмы, причем демонтаж трубчатого вкладыша содержит отделение по меньшей мере двух комплементарных секций друг от друга.

28. Способ монтажа трубки для удержания плазмы на индукционной плазменной
20 горелке по любому из пп. 1-25, содержащий одновременное введение трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша в трубчатое тело горелки в аксиальном направлении, противоположном направлению потока плазмы.

29. Способ по п. 28, содержащий:

25 - сборку трубчатого вкладыша, изготовленного по меньшей мере из двух комплементарных секций для окружения трубки для удержания плазмы, причем сборка трубчатого вкладыша содержит сборку по меньшей мере двух комплементарных секций друг с другом вокруг трубки для удержания плазмы; и

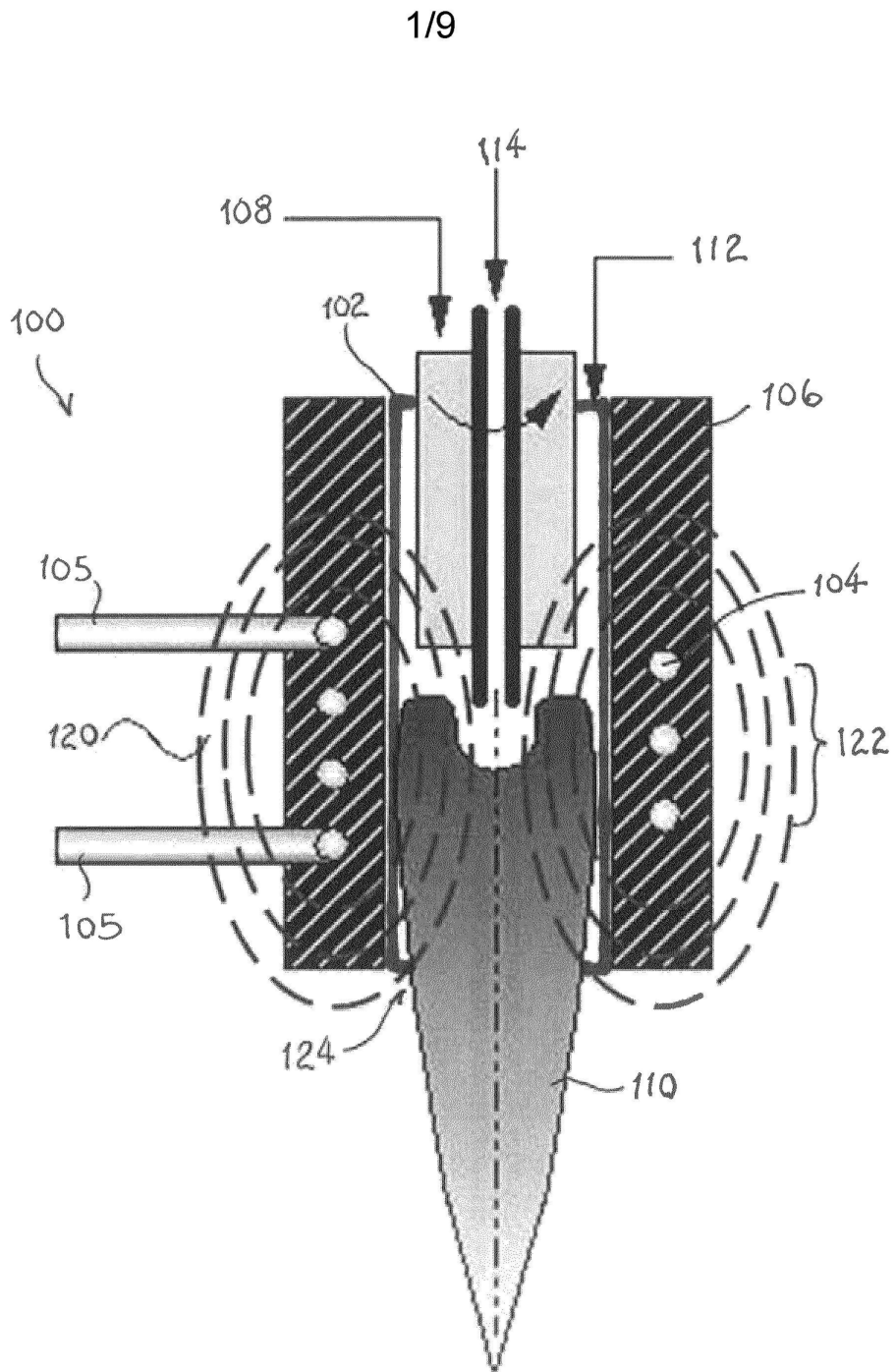
30 - прикрепление кольцевого выходного сопла для плазмы к нижнему по потоку концу трубчатого тела горелки для размещения и поддержания трубки для удержания плазмы и трубчатого вкладыша в трубчатом теле горелки.

35

40

45

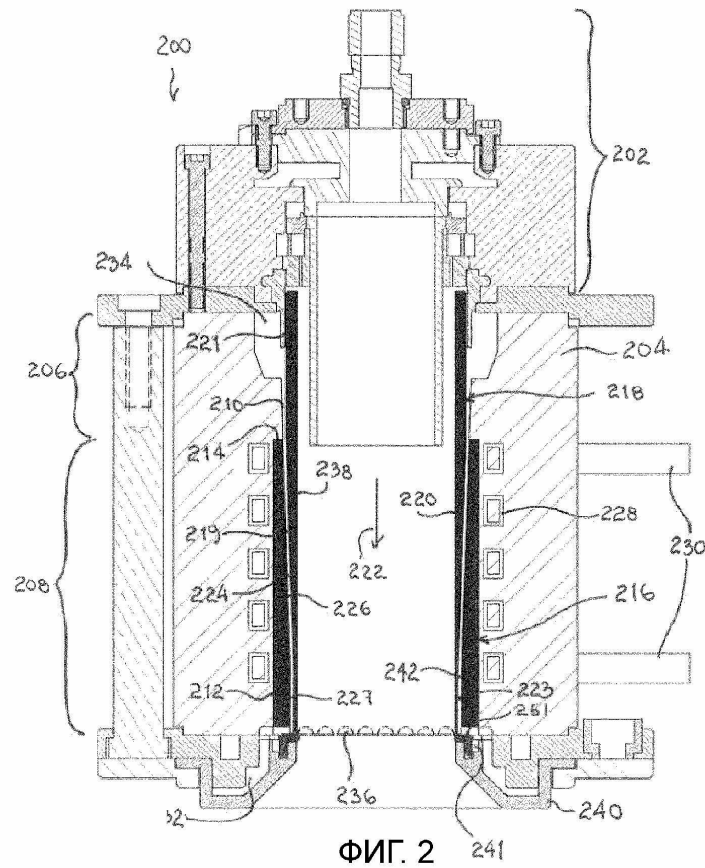
1



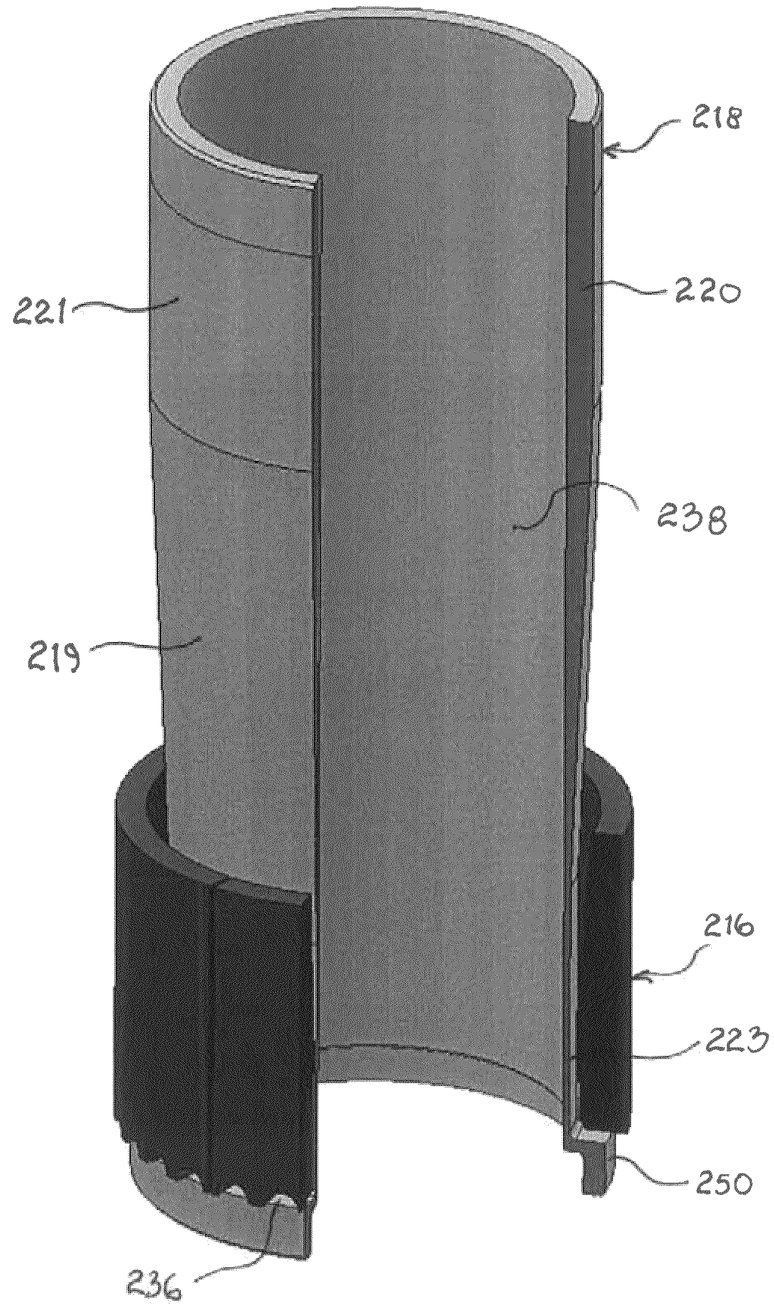
ФИГ. 1

2

2/9

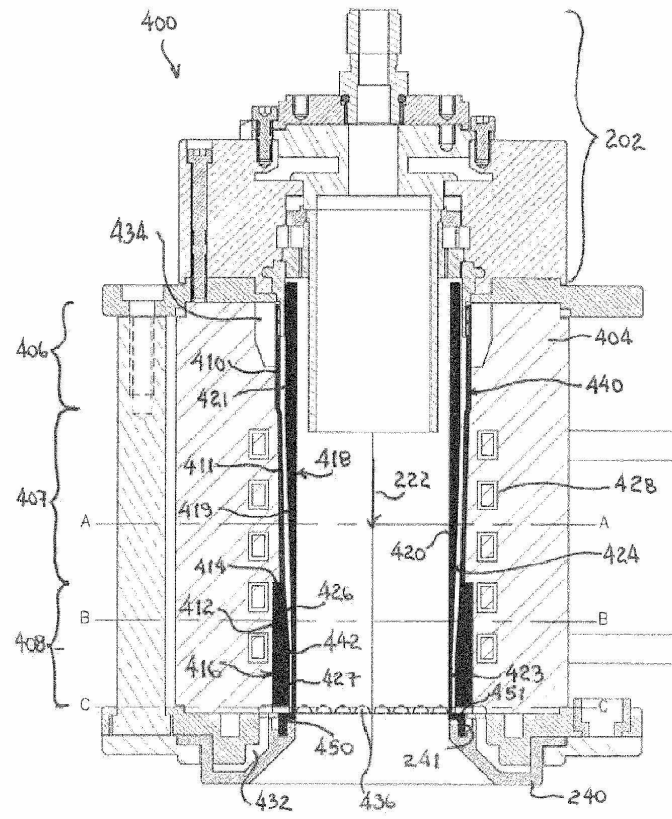


3/9



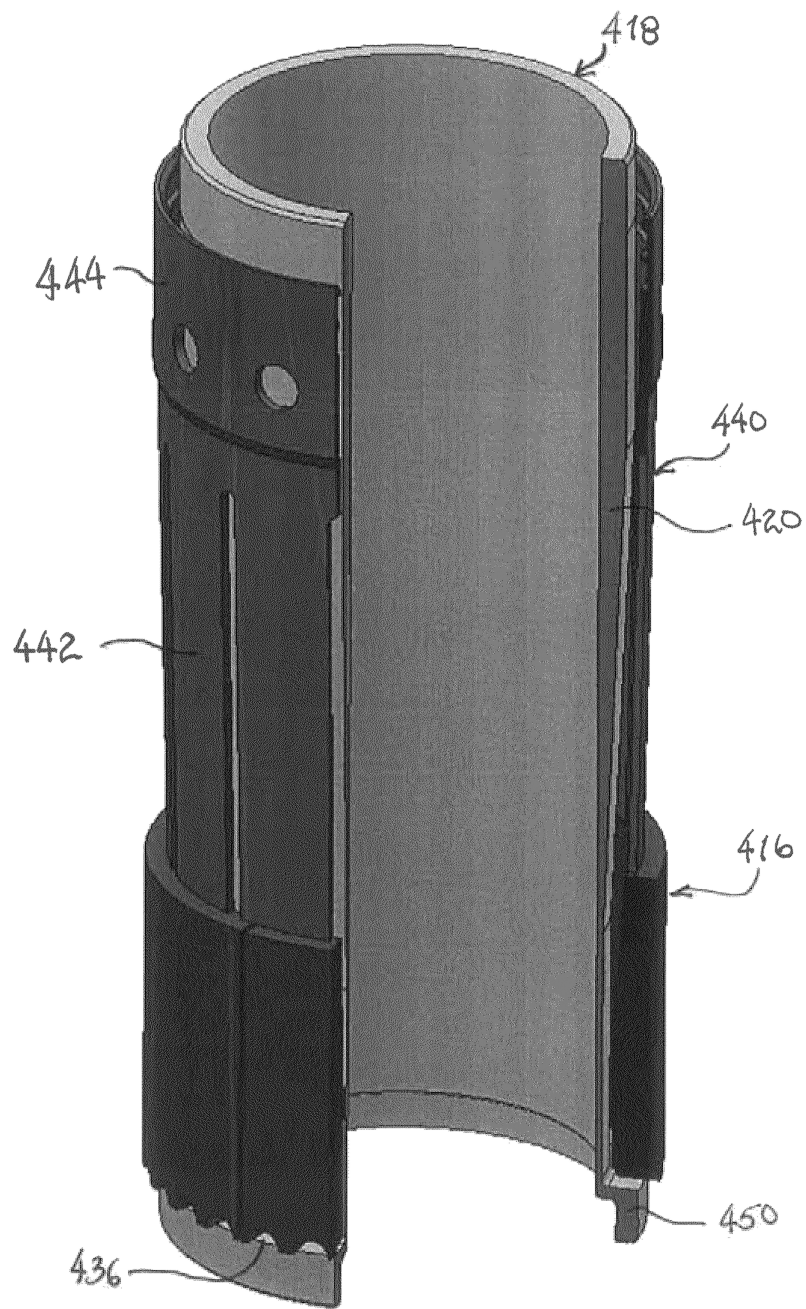
ФИГ. 3

4/9



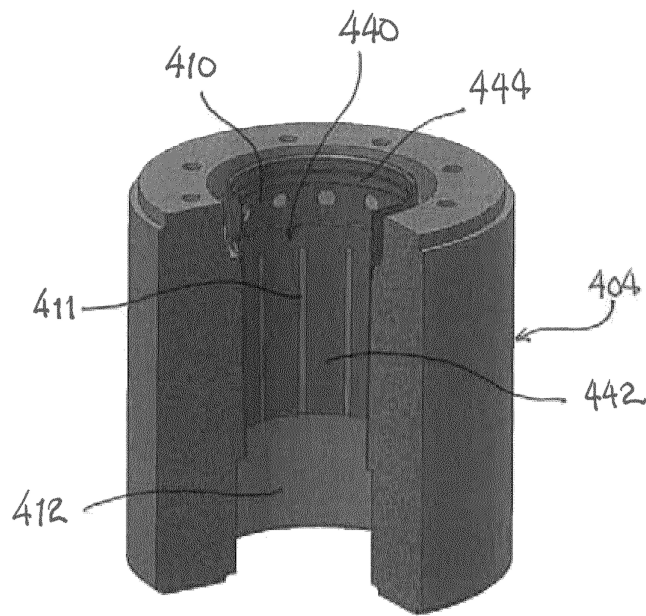
ФИГ. 4

5/9

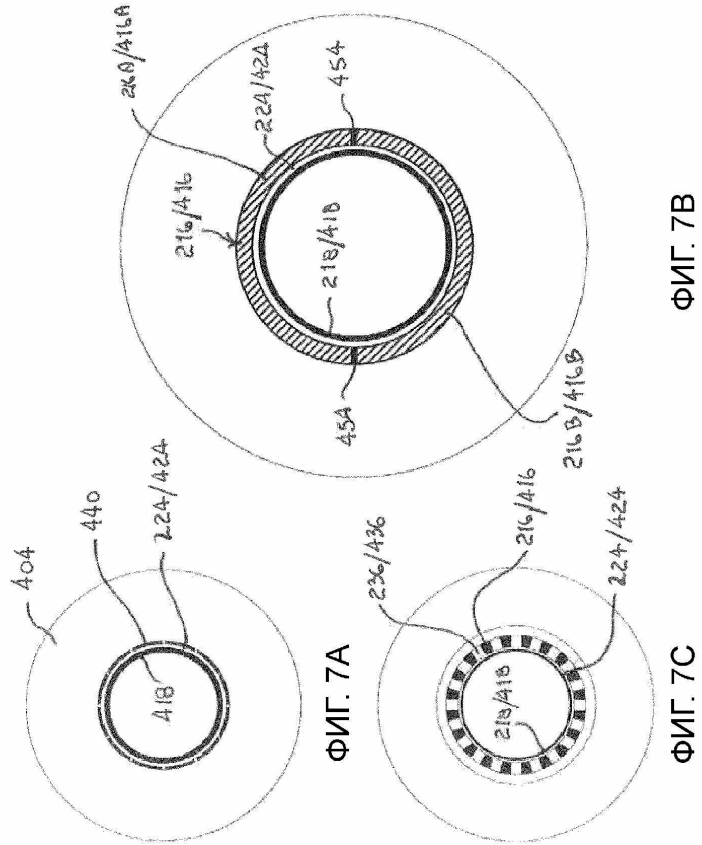


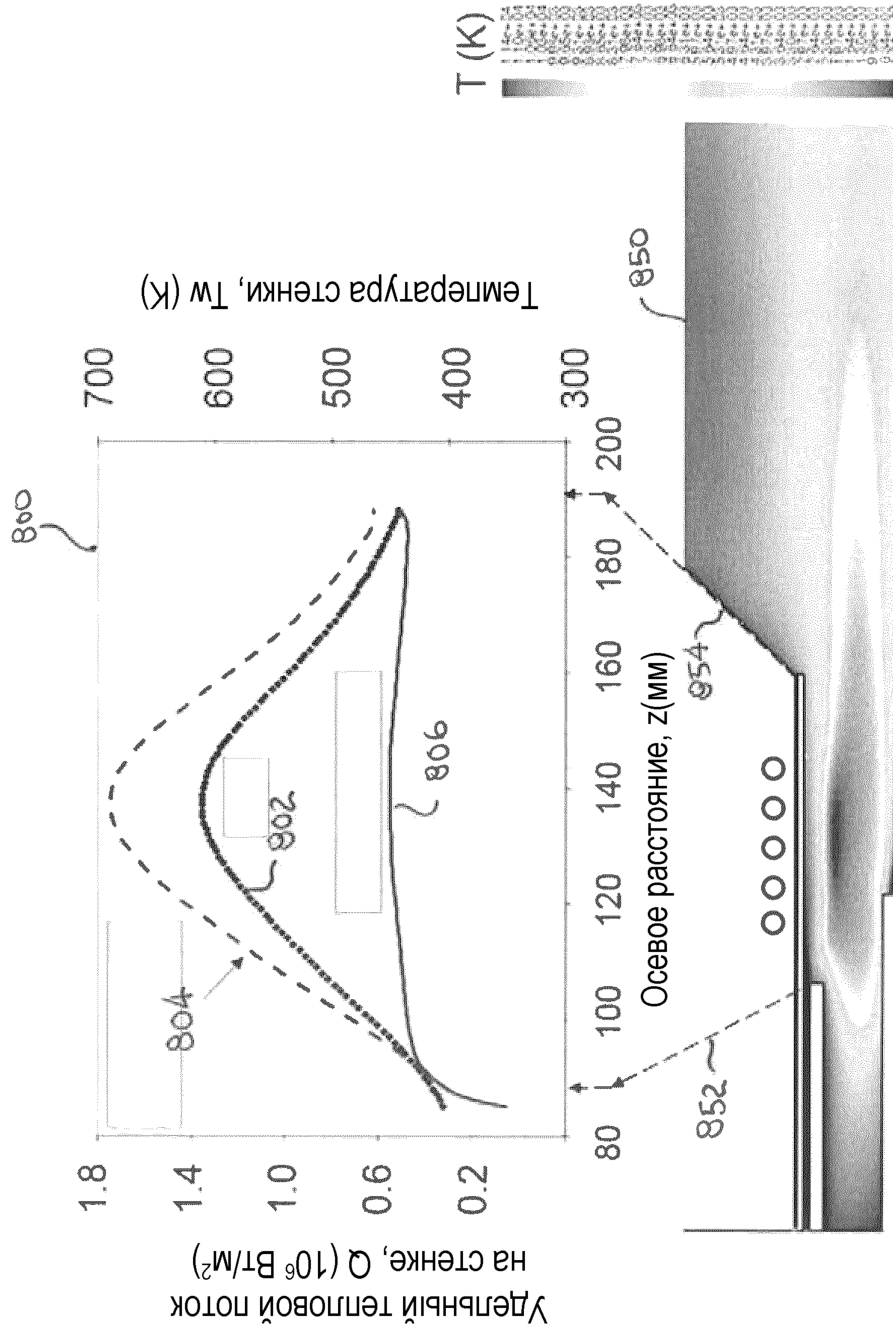
ФИГ. 5

6/9

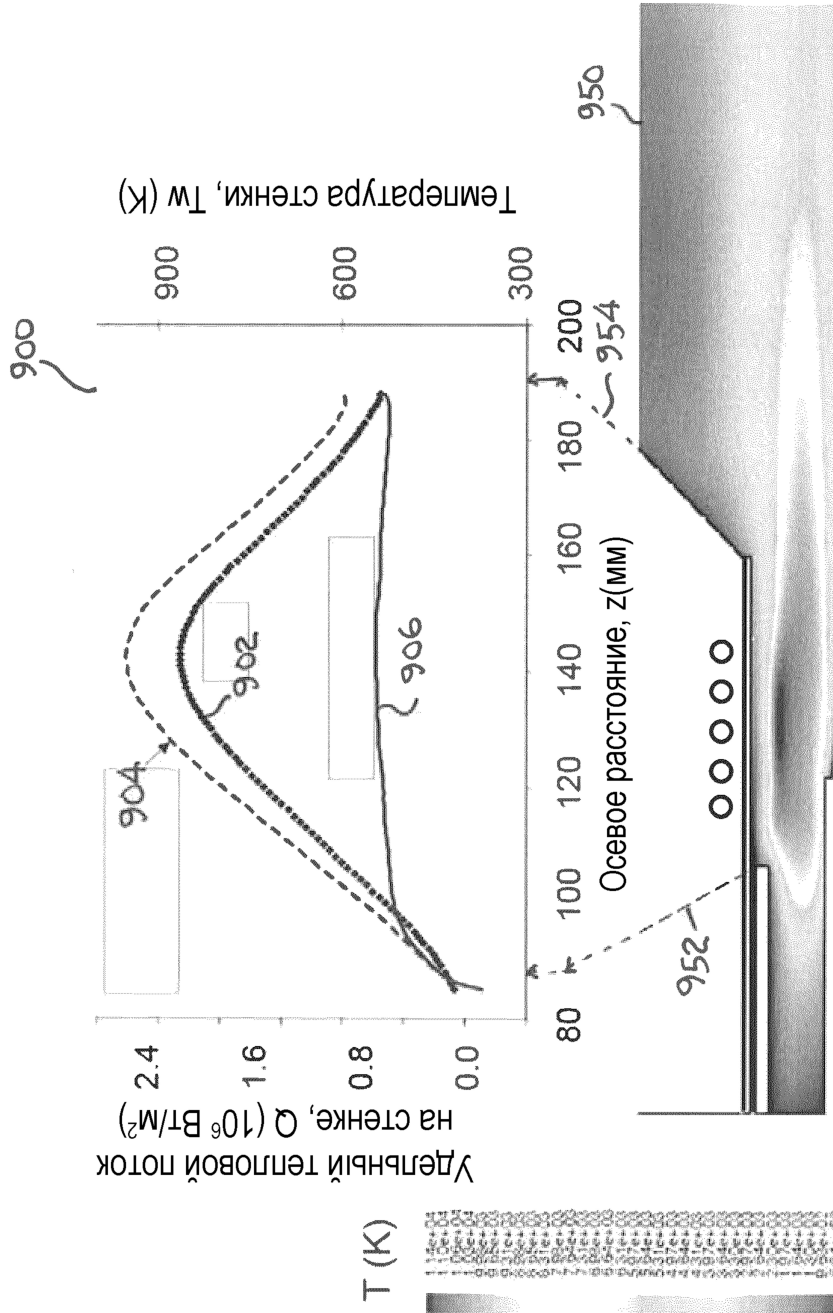


ФИГ. 6





ФИГ. 8



ФИГ. 9