

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202390868** (13) **A1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2023.06.05**

(22) Дата подачи заявки  
**2021.10.11**

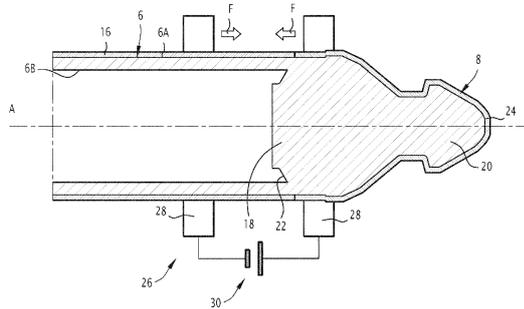
(51) Int. Cl. *G21C 3/07* (2006.01)  
*G21C 3/10* (2006.01)  
*G21C 21/02* (2006.01)  
*B23K 11/00* (2006.01)  
*B23K 11/093* (2006.01)  
*B23K 11/16* (2006.01)  
*B23K 11/18* (2006.01)  
*C23C 30/00* (2006.01)  
*C23C 28/02* (2006.01)  
*F16L 57/06* (2006.01)  
*B23K 101/12* (2006.01)  
*B23K 101/34* (2006.01)  
*B23K 103/08* (2006.01)  
*B23K 103/18* (2006.01)

**(54) ЯДЕРНЫЙ СТЕРЖНЕВОЙ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

(31) **FR2010437**  
(32) **2020.10.13**  
(33) **FR**  
(86) **PCT/EP2021/078038**  
(87) **WO 2022/078951 2022.04.21**  
(71) Заявитель:  
**ФРАМАТОМ (FR)**

(72) Изобретатель:  
**Бишоф Жереми, Дюто Доминик (FR)**  
(74) Представитель:  
**Фелицына С.Б. (RU)**

(57) Изобретение относится к ядерному стержневому тепловыделяющему элементу, содержащему ядерное топливо, находящееся в оболочке (4), причём оболочка (4) содержит трубку (6) и две заглушки (8), при этом трубка (6) проходит вдоль центральной оси (A) и имеет два конца, а каждая заглушка (8) закреплена на соответствующем конце трубки (6), герметично закрывая этот конец. Трубка (6) покрыта покрытием (16) трубки, проходящим по всей длине трубки (6), от одного конца трубки (6) до другого.



**A1**

**202390868**

**202390868**

**A1**

## ЯДЕРНЫЙ СТЕРЖНЕВОЙ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ И СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Данное изобретение относится к области ядерных стержневых тепловыделяющих элементов, в частности для легководных реакторов.

Ядерные тепловыделяющие сборки, используемые в легководных реакторах, обычно содержат пучок ядерных стержневых тепловыделяющих элементов, причём каждый ядерный стержневой тепловыделяющий элемент содержит оболочку, содержащую ядерное топливо, причём оболочка образована трубкой, закрытой заглушкой на каждом из двух ее концов.

Каждая заглушка, например, приварена к соответствующему концу трубки, чтобы закрывать трубку герметичным образом. Для крепления каждой заглушки на трубке могут использоваться различные технологии сварки, например, сварка TIG (дуговая сварка в инертной атмосфере с вольфрамовым электродом), лазерная сварка или электронно-лучевая сварка.

Трубка и заглушки обычно изготавливаются из металла. Они же изготавливаются, например, из циркония или циркониевого сплава, например, циркониевого сплава типа циркалой.

Для того чтобы защитить оболочку от особо агрессивной окружающей среды, в которой она находится при работе ядерного реактора, можно снабдить трубку наружным защитным покрытием, например защитное покрытие изготавливается из хрома или сплава хрома.

Имеется вероятность, что наличие защитного покрытия на трубке может оказывать отрицательное влияние на сварной шов, выполненный между трубкой и заглушкой. Полученный сварной шов может быть ослабленным и/или чувствительным к коррозии.

Чтобы ограничить такой риск, защитное покрытие наносится на большую часть длины трубки, не покрывая концевые участки трубки, к которым привариваются заглушки. Таким образом, защитное покрытие не загрязняет сварной шов, выполненный между трубкой и каждой заглушкой.

Однако участки трубки, не покрытые защитным покрытием, образуют слабые зоны трубки и стержневых элементов, так как они могут быть более чувствительны к сильному износу или коррозии, в том числе высокотемпературному окислению в аварийных условиях.

Одна из задач изобретения состоит в том, чтобы предложить простой в изготовлении ядерный стержневой тепловыделяющий элемент, устойчивый, в частности,

к коррозии и окислению при высокой температуре.

С этой целью изобретением предложен ядерный стержневой тепловыделяющий элемент, содержащий ядерное топливо, находящееся в оболочке, причём оболочка содержит трубку и две заглушки, при этом трубка проходит вдоль центральной оси и имеет два конца, а каждая заглушка прикреплена к соответствующему концу трубки герметизируя указанный конец, при этом трубка покрыта покрытием трубки, причём покрытие трубки проходит по всей длине трубки от одного конца трубки до другого.

В соответствии с конкретными вариантами осуществления изобретения, ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по необязательному выбору содержит один или несколько следующих признаков, взятых по отдельности или во всех технически возможных комбинациях:

- одна из заглушек или каждая заглушка покрыта, по меньшей мере частично, покрытием заглушки;
- покрытие заглушки каждой заглушки, снабженной покрытием заглушки, и покрытие трубки, являются различными;
- покрытие трубки и покрытие заглушки изготовлены из одного и того же материала;
- покрытие заглушки каждой заглушки, снабженной покрытием заглушки, и покрытие трубки соприкасаются на границе раздела между трубкой и заглушкой;
- при этом каждая заглушка, с покрытием или без него, приварена к трубке без влияния на форму границы раздела между трубкой и заглушкой и/или без обработки границы раздела между трубкой и заглушкой, в частности, посредством механического или химического способа, включая удаление материала;
- трубка изготовлена из материала на основе циркония;
- каждая заглушка изготовлена из материала на основе циркония;
- покрытие трубки изготовлено из материала на основе хрома;
- каждая заглушка прикреплена к трубке без присутствия эвтектики на стыке между трубкой и заглушкой, между материалом трубки, материалом покрытия трубки, материалом заглушки и, при необходимости, материалом покрытия заглушки, покрывающим заглушку.

Изобретение также относится к способу изготовления определенного выше ядерного стержневого тепловыделяющего элемента, включающего в себя изготовление трубки и заглушек, причём каждая заглушка покрывается, при необходимости, покрытием заглушки, и приваривание контактной сваркой сопротивлением по меньшей мере одной из заглушек или каждой заглушки к соответствующему концу трубки.

В соответствии с конкретными вариантами осуществления изобретения, способ изготовления включает в себя один или несколько из следующих признаков по необязательному выбору, взятых по отдельности или во всех технически возможных комбинациях:

- каждая заглушка приваривается к трубке с помощью контактной стыковой сварки сопротивлением;
- контактная сварка сопротивлением по меньшей мере одной из заглушек или каждой заглушки выполняется посредством тока от 10 кА до 20 кА;
- контактная сварка сопротивлением по меньшей мере одной из заглушек или каждой заглушки выполняется с помощью прижимания заглушки к соответствующему концу трубки с усилием прижатия 200 - 400 даН, предпочтительно 250 - 350 даН;
- контактная сварка сопротивлением по меньшей мере одной из заглушек или каждой заглушки выполняется с помощью применения электрического тока с продолжительностью по времени, составляющей 10 мс - 30 мс;
- способ изготовления осуществляется без дополнительной обработки границы раздела между трубкой и каждой заглушкой, приваренной к трубке с помощью механического или химического процесса, включающего в себя удаление материала;
- каждая заглушка приваривается к трубке без образования эвтектики на стыке между трубкой и заглушкой между материалом трубки, материалом покрытия трубки, материалом заглушки и, при необходимости, материалом покрытия заглушки, покрывающим заглушку.

Изобретение и преимущества изобретения станут более понятными после прочтения нижеследующего описания, приведенного исключительно в качестве неограничивающего примера со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых:

на фиг. 1 схематично показан ядерный стержневой тепловыделяющий элемент, вид в продольном разрезе;

на фиг. 2 и 3 представлен способ изготовления ядерного стержневого тепловыделяющего элемента, изображенного на фиг. 1, виды в разрезе.

На фиг. 1 показан ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2, предназначенный, например, для использования в легководном реакторе, в частности, в реакторе с водой под давлением (PWR) или кипящем водо-водяном ядерном реакторе (BWR), реакторе «VVER» (водо-водяной энергетический реактор (ВВЭР)), реакторе «РВМК» (реактор большой мощности канальный (РБМК)) или тяжеловодном реакторе, например реактор «CANDU» (тяжеловодный водо-водяной ядерный реактор производства Канады).

Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2 имеет форму стержня, вытянутого вдоль центральной оси А.

Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2 содержит оболочку 4, заключающую в себе ядерное топливо.

Оболочка 4 содержит трубку 6 и две заглушки 8, причём каждая заглушка 8 приварена к соответствующему концу трубки 6, чтобы закрыть этот конец герметичным образом. Трубка 6 проходит вдоль центральной оси А ядерного стержневого тепловыделяющего элемента 2. Трубка 6 предпочтительно имеет круглое поперечное сечение, с центром на центральной оси А.

Ядерное топливо, например, представлено в виде стопки топливных таблеток 10, уложенных в осевом направлении внутри трубки 6, причём каждая таблетка 10 содержит делящийся материал. Стопка топливных таблеток 10 также называется «делящейся колонной».

Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2 в качестве необязательного выбора содержит пружину 12, расположенную внутри трубки 6 между стопкой топливных таблеток 10 и одной из заглушек 8, для подталкивания стопки топливных таблеток 10 в направлении к другой заглушке 8. Пружина 12 сжата между стопкой топливных таблеток 10 и заглушкой 8.

Между стопкой топливных таблеток 10 и заглушкой 8, на которую давит пружина 12, имеется пространство или камера 14. Камера 14 может быть использована для хранения газа, выделяющегося из ядерного топлива при работе реактора. Пружина 12 расположена внутри камеры 14.

Как показано на фиг. 2 и 3, которые иллюстрируют приваривание заглушки 8 к одному концу трубки 6, трубка 6 снабжена покрытием 16 трубки.

Трубка 6 имеет внутреннюю поверхность 6В, ориентированную внутрь трубки 6, и наружную поверхность 6А, ориентированную наружу трубки 6.

Покрытие 16 трубки покрывает наружную поверхность 6А трубки 6, чтобы защитить трубку от внешней среды. Во время работы покрытие 16 трубки находится в контакте с окружающей средой.

Трубка 6, например, изготовлена из материала на основе циркония.

В данном контексте материал на основе циркония относится к материалу, изготовленному из чистого циркония или сплава на основе циркония. Материал из чистого циркония представляет собой материал, содержащий по меньшей мере 99 мас.% циркония.

Сплав на основе циркония является сплавом, содержащим по меньшей мере 95

мас.% циркония.

В одном примере варианта осуществления изобретения материал на основе циркония для трубки 6 представляет собой четверной сплав циркония, состав которого включает в себя 0,8 - 1,8 мас.% ниобия, 0,2 - 0,6 мас.% олова и 0,02 - 0,4 мас.% железа, остальное состоит из циркония и неизбежных примесей.

Трубка 6 имеет, например, толщину составляющую 0,4 мм - 1 мм. Толщина трубки 6 представляет собой расстояние между внутренней поверхностью 6В и наружной поверхностью 6А трубки 6.

Покрытие 16 трубки является тонким и, например, имеет толщину, которая строго меньше толщины трубки 6.

Покрытие 16 трубки имеет, например, толщину, составляющую 5 мкм - 25 мкм, в частности, толщина составляет 10 мкм - 20 мкм. Толщина покрытия 16 трубки определяется перпендикулярно наружной поверхности 6А трубки 6, т.е. радиально по отношению к центральной оси А трубки 6.

Покрытие 16 трубки изготовлено из материала на основе хрома.

В данном контексте материал на основе хрома относится к чистому материалу из хрома или сплаву на основе хрома.

Чистый материал из хрома представляет собой материал, содержащий по меньшей мере 99 мас.% хрома. Сплав на основе хрома представляет собой сплав, содержащий по меньшей мере 85 мас.% хрома.

В одном варианте осуществления изобретения материал на основе хрома представляет собой сплав на основе хрома, выбранный из: бинарного хром-алюминиевого сплава, бинарного хром-азотного сплава и бинарного хром-титанового сплава.

Покрытие 16 трубки содержит один слой, изготовленный из материала на основе хрома или множества наложенных друг на друга слоёв, изготовленных из материала на основе хрома, предпочтительно из одного и того же материала на основе хрома.

Структура покрытия 16 трубки в виде множества наложенных друг на друга слоёв является результатом, например, процесса осаждения, используемого для нанесения покрытия 16 трубки на трубку 6, в частности, если осаждение осуществляется за множество подходов.

Покрытие 16 трубки проходит по всей длине трубки 6 от одного конца трубки 6 до другого.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения покрытие 16 трубки является непрерывным. Покрытие полностью покрывает наружную поверхность 6А трубки 6.

Каждая заглушка 8 содержит вставную часть 18, вставленную в трубку 6 для прикрепления заглушки 8 к соответствующему концу трубки 6, и открытую часть 20, остающуюся снаружи трубки 6, как только заглушка 8 присоединяется к соответствующему концу трубки 6.

Каждая заглушка 8 имеет кольцевую поверхность 22, которая прижимается к концу трубки 6, когда заглушка 8 расположена на конце трубки 6. Кольцевая поверхность 22 центрирована на центральной оси А. Кольцевая поверхность 22 расположена на соединении между вставной частью 18 и открытой частью 20. Как показано на фиг. 2, кольцевая поверхность 22 выполнена, например, в виде усеченного конуса, расширяющегося от вставной части 18 по направлению к открытой части 20.

Каждая заглушка 8, например, изготовлена из материала на основе циркония.

В одном из примеров варианта осуществления изобретения материал на основе циркония заглушки 8 представляет собой четверной сплав циркония, химический состав которого содержит от 0,8 до 1,8 мас.% ниобия, 0,2 - 0,6 мас.% олова и 0,02 - 0,4 мас.% железа, остальное состоит из циркония и неизбежных примесей.

В одном примере варианта осуществления изобретения трубка 6 и каждая заглушка 8 изготовлены из одного и того же материала.

По необязательному выбору, каждая заглушка 8 ядерного стержневого тепловыделяющего элемента 2 снабжена покрытием 24 заглушки. Покрытие 24 заглушки проходит по открытой части 20 заглушки 8.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения покрытие 24 заглушки является непрерывным. Покрытие заглушки, например, полностью закрывает открытую часть 20.

Покрытие 24 заглушки предпочтительно проходит до наружного края кольцевой поверхности 22.

Покрытие 24 заглушки, например, изготовлено из материала на основе хрома.

В одном примере варианта осуществления изобретения материал на основе хрома покрытия 24 заглушки представляет собой сплав на основе хрома, выбранный из следующих: бинарный хром-алюминиевый сплав, бинарный хром-азотный сплав и бинарный хром-титановый сплав.

Покрытие 24 заглушки каждой заглушки 8, снабженной покрытием 24 заглушки, отличается от покрытия 16 трубки.

В одном примере варианта осуществления изобретения покрытие 16 трубки и покрытие 24 заглушки каждой заглушки 8 изготовлены из одного и того же материала.

Когда заглушка 8 снабжена покрытием 24 заглушки, это покрытие выполняется

так, что покрытие 16 трубки и покрытие 24 заглушки соприкасаются, когда заглушка 8 расположена на конце трубки 6.

Более конкретно, покрытие 24 заглушки проходит по открытой части 20 таким образом, чтобы соприкасаться с покрытием 16 трубки, когда заглушка 8 установлена на конце трубки 6.

Вставная часть 18 и, при необходимости, кольцевая поверхность 22 не имеют покрытия 24 заглушки. Покрытие 24 заглушки не закрывает вставную часть 18 и, при необходимости, кольцевую поверхность 22.

Предпочтительно, каждая заглушка 8 прикрепляется и, в частности, приваривается к трубке 6 без присутствия эвтектики на стыке между трубкой 6 и заглушкой 8, между материалом трубки 6, материалом покрытия 16 трубки, материалом заглушки 8 и, при необходимости, материалом покрытия 24 заглушки, покрывающим заглушку 8.

В частности, когда трубка 6 и/или заглушка 8 изготовлена(ы) из материала на основе циркония, а покрытие 16 трубки и/или возможное покрытие 24 заглушки изготовлено(ы) из материала на основе хрома, ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2 не имеет хромо-циркониевой эвтектики (Cr-Zr) на стыке между трубкой 6 и заглушкой 8.

Наличие эвтектики на стыке между трубкой 6 и заглушкой 8, в частности, хромо-циркониевой эвтектики (Cr-Zr), вероятно, ослабит ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2 и снизит его стойкость к окислению, в частности при высокой температуре (обычно выше 350°C).

Как показано на фиг. 2 и 3, способ изготовления ядерного стержневого тепловыделяющего элемента 2 включает в себя обеспечение наличия трубки 6, покрытой покрытием 16 трубки, и заглушки 8, покрытой, при необходимости, покрытием 24 заглушки (фиг. 2), затем выполняется прикрепление заглушки 8 к одному концу трубки 6, причём крепление осуществляется с помощью стыковой сварки сопротивлением или «контактной стыковой сваркой сопротивлением» (фиг. 3).

Для прикрепления заглушки 8 к трубке 6 с помощью контактной сварки сопротивлением, заглушка 8 позиционируется на конце трубки 6 и электрический ток пропускается между трубкой 6 и заглушкой 8 так, чтобы приварить заглушку 8 к трубке 6. При протекании электрического тока трубка 6 и заглушка 8 нагреваются за счет эффекта Джоуля таким образом, что их поверхности, находящиеся в контакте, свариваются друг с другом под совместным действием сварочного усилия и нагревания.

Более конкретно, в данном случае заглушка 8 расположена на конце трубки 6 таким образом, что ее кольцевая поверхность 22 прижимается в осевом направлении к

концу трубки 6, и затем подаётся электрический ток (см. фиг. 3).

Контактная сварка сопротивлением выполняется без добавления материала.

Предпочтительно, прикрепление осуществляется с помощью стыковой сварки сопротивлением, также известной под названием «Контактная стыковая сварка сопротивлением».

Для прикрепления каждой заглушки 8 к трубке 6 с помощью контактной сварки сопротивлением, заглушка 8 позиционируется на конце трубки 6, при этом заглушку 8 и трубку 6 прикладывают друг к другу с определенным прижимным усилием (стрелки F на фиг. 3), электрический ток подаётся между трубкой 6 и заглушкой 8, сохраняя прижимное усилие, чтобы приварить заглушку 8 к трубке 6.

В частности, в данном случае заглушка 8 расположена на конце трубки 6 таким образом, что кольцевая поверхность 22 прижимается в осевом направлении к концу трубки 6 под действием определенной силы давления, поддерживаемой в течение времени подвода электрического тока (см. фиг. 3).

Как показано на фиг. 3, контактная сварка сопротивлением выполняется, например, с использованием сварочного аппарата 26, содержащего захватные элементы 28, один из которых предназначен для захвата заглушки 8, а другой - для захвата трубки 6 рядом с концом трубки 6, к которому прикрепляется упомянутая заглушка 8, причём захватные элементы 28 выполнены с возможностью прижимания трубки 6 и заглушки 8 друг к другу, предпочтительно, с определенным прижимным усилием, при этом сварочный аппарат 26 содержит источник 30 электропитания для подачи тока между трубкой 6 и заглушкой 8 через захватные элементы 28.

Контактная сварка сопротивлением выполняется с подводом постоянного тока, переменного тока или импульсного тока. Предпочтительно, контактная сварка осуществляется с подводом переменного тока. В равной степени можно предусмотреть использование постоянного тока или импульсного тока (получаемого, например, посредством разрядки от конденсаторов).

Предпочтительно, контактная сварка сопротивлением каждой заглушки 8 выполняется с подводом электрического тока со значением, составляющим 10 кА - 20 кА.

Предпочтительно, контактная сварка сопротивлением каждой заглушки 8 выполняется при усилении прижатия, составляющем 200 - 400 даН, предпочтительно 250 - 350 даН.

Предпочтительно, контактная сварка сопротивлением каждой заглушки 8 выполняется посредством подвода электрического тока в течение времени, составляющего 10 мс - 30 мс.

Предпочтительно, контактная сварка сопротивлением каждой заглушки 8 выполняется таким образом, чтобы температура трубки 6 и заглушки 8 на их границе раздела находилась в пределах 1300°C - 1600°C.

Предпочтительно, контактная сварка сопротивлением выполняется таким образом, чтобы в конце сварки трубка 6 и заглушка 8 имели наплавленный валик, размерные характеристики которого находятся под контролем и проверяются.

Другими словами, в конце сварки трубка 6 и заглушка 8 имеют форму, совместимую с конструктивными элементами тепловыделяющей сборки.

Такая ситуация достигается посредством контроля, например, типа подаваемого тока (постоянный ток, переменный ток или импульсный ток), силы тока, продолжительности подвода тока и прижимного усилия, используемого для прижатия трубки 6 и заглушки 8 друг к другу, и, в случае необходимости, поддерживаемого во время подвода электрического тока, а также характера и геометрии захватных элементов 28.

Диапазоны значений, как указано выше, особенно когда они взяты в сочетании друг с другом, позволяют поддерживать желаемый диапазон температур и, следовательно, достигать выполнения контактной сварки сопротивлением.

Контроль размеров наплавленного валика вдоль сварного шва позволяет избежать выполнения операции по доработке сварного шва, в частности с помощью механического или химического процесса, включающего в себя удаление материала, например, с помощью удаления заусенцев и полировки, что позволяет сохранить покрытие 16 трубки и, при необходимости, покрытие 24 заглушки.

Таким образом, можно получить стержень, трубка 6 которого снабжена покрытием 16 трубки по всей длине трубки 6, от одного конца трубки 6 до другого. При необходимости, когда каждая заглушка 8 снабжена покрытием 24 заглушки, оболочка 4 в общем (т.е. трубка 6 и каждая заглушка 8) таким образом покрывается и эффективно защищается от внешней среды.

В частности, покрытие 24 заглушки каждой заглушки 8, снабженной покрытием 24 заглушки, и покрытие 16 трубки, являются примыкающими друг к другу на границе раздела между трубкой 6 и заглушкой 8.

В примере варианта осуществления изобретения, в котором покрытие 16 трубки и покрытие 24 заглушки являются непрерывными, то после сварки покрытие 24 заглушки и покрытие 16 трубки вместе образуют непрерывное покрытие, непрерывно проходящее по трубке 6 и заглушке 8, в частности, на границе раздела между трубкой 6 и заглушкой 8.

Когда покрытие 16 трубки является непрерывным и каждая заглушка 8 снабжена

непрерывным покрытием 24 заглушки, то покрытие 16 трубки и покрытие 24 заглушки образуют покрытие оболочки, непрерывно покрывающее оболочку 4, проходящее по всей длине трубки 6 и заглушек 8, с непрерывностью покрытия на границе раздела между трубкой 6 и каждой заглушкой 8.

Каждая заглушка 8, снабженная покрытием 24 заглушки, приваривается к трубке 6 без влияния на форму границы раздела между трубкой 6 и заглушкой 8 и/или без дополнительной обработки границы раздела между трубкой 6 и заглушкой 8, в частности, посредством механического или химического процесса, включающего в себя удаление материала.

Кроме того, способ изготовления может быть использован для прикрепления каждой заглушки 8 к трубке 6 без образования эвтектики на стыке между трубкой 6 и заглушкой 8, между материалом трубки 6, материалом покрытия 16 трубки, материалом заглушки 8 и, при необходимости, материалом покрытия 24 заглушки, покрывающим заглушку 8.

В частности, когда трубка 6 и/или заглушка 8 изготовлена(ы) из материала на основе циркония, а покрытие 16 трубки и/или возможное покрытие 24 заглушки изготовлено(ы) из материала на основе хрома, ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2 не имеет хром-циркониевой эвтектики (Cr-Zr) на стыке между трубкой 6 и заглушкой 8. Предпочтительно, две заглушки 8 прикрепляются к трубке 6, как указано выше, чтобы образовать ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2.

Прикрепление заглушек 8, введение ядерного топлива, в данном случае в виде топливных таблеток 10, и, при необходимости, введение пружины 12 выполняются последовательно.

Например, одна из заглушек 8 крепится к трубке 6, затем в трубку 6 вставляется ядерное топливо и, при необходимости, пружина 12, затем к трубке 6 крепится другая заглушка 8.

Заглушкой 8, прикрепляемой первой, предпочтительно является заглушка 8, расположенная со стороны, противоположной пружине 12. После этого в трубку 6 вставляется ядерное топливо, затем пружина 12, а затем к трубке 6 крепится другая заглушка 8.

По необязательному выбору, в трубку 6 вставляются дополнительные элементы. Дополнительным элементом, который может быть вставлен в трубку 6, является трубчатая прокладка, предназначенная для размещения между столбиком топливных таблеток 10 и заглушкой 8, расположенной на конце трубки 6, противоположном тому концу, где находится пружина 12. В частности, прокладка позволяет образовывать вторую

камеру на конце стержня, противоположном пружине 12.

В процессе работы, ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2, вставленный в ядерную тепловыделяющую сборку, ориентирован, по существу, вертикально внутри активной зоны ядерного реактора.

Одна из заглушек 8, называемая верхней заглушкой 8, предназначена для размещения вверху, а другая заглушка из заглушек 8, называемая нижней заглушкой 8, предназначена для размещения внизу.

Верхняя заглушка 8 представляет собой заглушку, примыкающую к пружине 12. Если предусмотрена трубчатая прокладка, она прилегает к нижней заглушке 8.

Как можно видеть на фиг. 1, одна или каждая из заглушек 8 предпочтительно содержит захватный элемент 32, выполненный с возможностью захвата ядерного стержневого тепловыделяющего элемента, например, для извлечения его из ядерной тепловыделяющей сборки. На фиг. 1 каждая из заглушек 8 имеет такой захватный элемент 32.

Таким образом, предпочтительно, способ изготовления включает в себя сначала прикрепление нижней заглушки 8 к одному концу трубки 6, затем введение ядерного топливного элемента и пружины 12 внутрь трубки 6, затем крепление верхней заглушки 8 на другом конце трубки 6.

Во время процесса изготовления трубка 6 снабжается покрытием 16 трубки до крепления каждой заглушки 8 к трубке 6, при этом каждая заглушка 8, снабженная покрытием 24 заглушки, снабжается этим покрытием 24 заглушки до ее крепления к трубке 6.

Хотя каждая заглушка 8 затем приваривается к трубке 6, можно получить непрерывное покрытие трубки 6 и каждой заглушки 8, покрываемой покрытием 24 заглушки, при этом покрытие 16 трубки и покрытие 24 заглушки являются примыкающими друг к другу.

Процесс изготовления включает в себя изготовление трубки 6, например, посредством пилигримовой прокатки труб.

Способ изготовления включает в себя нанесение покрытия 16 трубки на трубку 6 и, при необходимости, нанесение покрытия 24 заглушки на каждую заглушку 8, обеспечиваемую таким покрытием 8.

Нанесение покрытия 16 трубки и/или покрытия 24 каждой заглушки выполняется, например, посредством физического осаждения из паровой фазы, в частности посредством физического осаждения из паровой фазы катодным напылением, еще более конкретно магнетронным напылением. Таким образом получается стойкое покрытие 16

трубки.

Физическое осаждение из паровой фазы посредством магнетронного напыления покрытия 16 трубки и/или покрытия 24 каждой заглушки может быть выполнено, например, в соответствии с одной из следующих технологий или комбинацией по меньшей мере двух из следующих технологий: магнетронное напыление постоянным током («Direct Current» или «DC» на английском языке), магнетронное напыление импульсным постоянным током («Pulsed Direct Current» или «DC pulsed» на английском языке), высокомогновенное импульсное магнетронное напыление («High Power Impulse Magnetron Sputtering» (HiPIMS или HPPMS) на английском языке), магнетронное Биполярное напыление («Magnetron Sputtering Bi-polar» (MSB) на английском языке), двойное магнетронное напыление («Dual Magnetron Sputtering» (DMS) на английском языке), несбалансированное магнетронное напыление («Unbalanced Magnetron Sputtering» (UBM) на английском языке).

Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент 2 не ограничивается вариантом осуществления, указанным выше.

В варианте осуществления изобретения, показанном на фиг. 1-3, каждая заглушка 8 снабжена покрытием 24 заглушки, покрывающим открытую часть 20 заглушки 8.

В другом варианте ни одна из двух заглушек 8 не снабжена покрытием 24 заглушки, или только одна из двух заглушек 8 снабжена покрытием 24 заглушки. В последнем случае речь идет либо о нижней заглушке 8, либо о верхней заглушке 8. Нижняя заглушка 8 и верхняя заглушка 8 не подвергаются абсолютно одинаковым термическим, химическим и нейтронным нагрузкам, поэтому было бы предпочтительно наносить покрытие только на одну из двух заглушек 8.

Когда по меньшей мере одна из заглушек 8 не имеет покрытия (или является «непокрытой»), каждая непокрытая заглушка 8 крепится к трубке 6 и, в частности, приваривается к трубке 6, не влияя на форму границы раздела между трубкой 6 и заглушкой 8 и/или крепится без дополнительной обработки границы раздела между трубкой 6 и заглушкой 8, в частности, с помощью механического или химического процесса, включающего в себя удаление материала.

В варианте осуществления изобретения, показанном на фиг. 1-3, ядерное топливо представляет собой стопку топливных таблеток 10, содержащих делящийся материал.

В другом варианте ядерное топливо может быть другой формы, например в виде порошка.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент, содержащий ядерное топливо, находящееся в оболочке (4), причём оболочка (4) содержит трубку (6) и две заглушки (8), при этом трубка (6) проходит вдоль центральной оси (А) и имеет два конца, а каждая заглушка (8) закреплена на соответствующем конце трубки (6), герметично закрывая этот конец, при этом трубка (6) покрыта покрытием (16) трубки, причём покрытие (16) трубки проходит по всей длине трубки (16), от одного конца трубки (6) до другого.

2. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по п. 1, отличающийся тем, что одна из заглушек (8) или каждая заглушка (8) по меньшей мере частично покрыта покрытием (24) заглушки.

3. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по п. 2, отличающийся тем, что покрытие (16) трубки и покрытие (24) заглушки выполнены из одного и того же материала.

4. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по п. 2 или п. 3, отличающийся тем, что покрытие (24) заглушки каждой заглушки (8), снабженной покрытием (24) заглушки, и покрытие (16) трубки примыкают друг к другу на границе раздела между трубкой (6) и заглушкой (8).

5. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по любому из пп. 1-4, отличающийся тем, что каждая заглушка (8) с покрытием или без покрытия приварена к трубке (6) без изменения формы границы раздела между трубкой (6) и заглушкой (8) и/или без дополнительной обработки границы раздела между трубкой (6) и заглушкой (8), в частности, с помощью механического или химического процесса, включающего в себя удаление материала.

6. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по любому из пп. 1-5, отличающийся тем, что трубка (6) изготовлена из материала на основе циркония.

7. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по любому из пп. 1-6, в котором каждая заглушка (8) изготовлена из материала на основе циркония.

8. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по любому из пп. 1-7, отличающийся тем, что покрытие (16) трубки изготовлено из материала на основе хрома.

9. Ядерный стержневой тепловыделяющий элемент по любому из пп. 1-8, отличающийся тем, что каждая заглушка закреплена на трубке без присутствия эвтектики на стыке между трубкой и заглушкой, между материалом трубки, материалом покрытия трубки, материалом заглушки, и, при необходимости, материалом покрытия заглушки, покрывающим заглушку.

10. Способ изготовления ядерного стержневого тепловыделяющего элемента по

любому из пп. 1-9, включающий в себя изготовление трубки (6) и заглушек (8), при этом каждая заглушка (8) покрывается, при необходимости, покрытием (24) заглушки, и приваривание с помощью контактной сварки сопротивлением по меньшей мере одной из заглушек (8) или каждой заглушки (8) к соответствующему концу трубки (6).

11. Способ изготовления по п. 10, отличающийся тем, что каждую заглушку (8) приваривают к трубе (6) с помощью контактной стыковой сварки сопротивлением.

12. Способ изготовления по п. 10 или 11, отличающийся тем, что контактная сварка сопротивлением по меньшей мере одной из заглушек (8) или каждой заглушки (8) выполняется током от 10 кА до 20 кА.

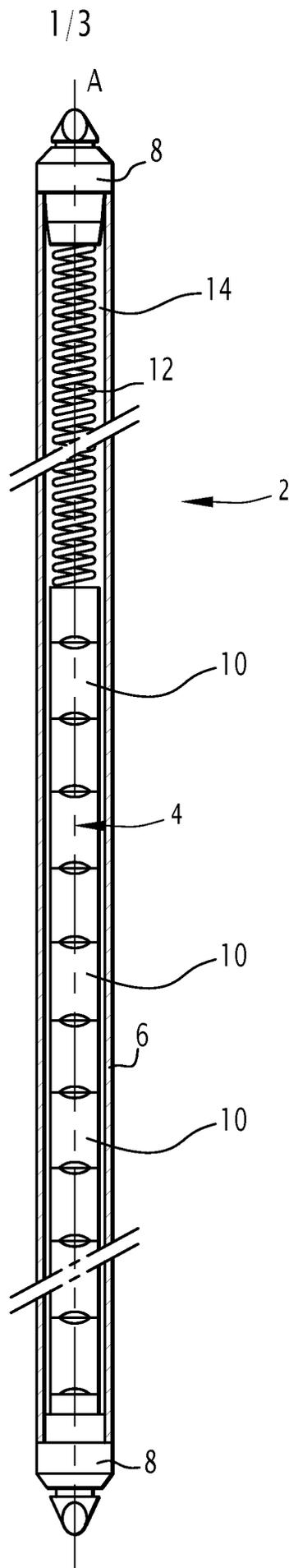
13. Способ изготовления по любому из пп. 10-12, отличающийся тем, что контактная сварка сопротивлением по меньшей мере одной из заглушек (8) или каждой заглушки (8) выполняется посредством прикладывания заглушки (8) к соответствующему концу трубки (6) при прижимном усилии 200 - 400 даН, предпочтительно 250 - 350 даН.

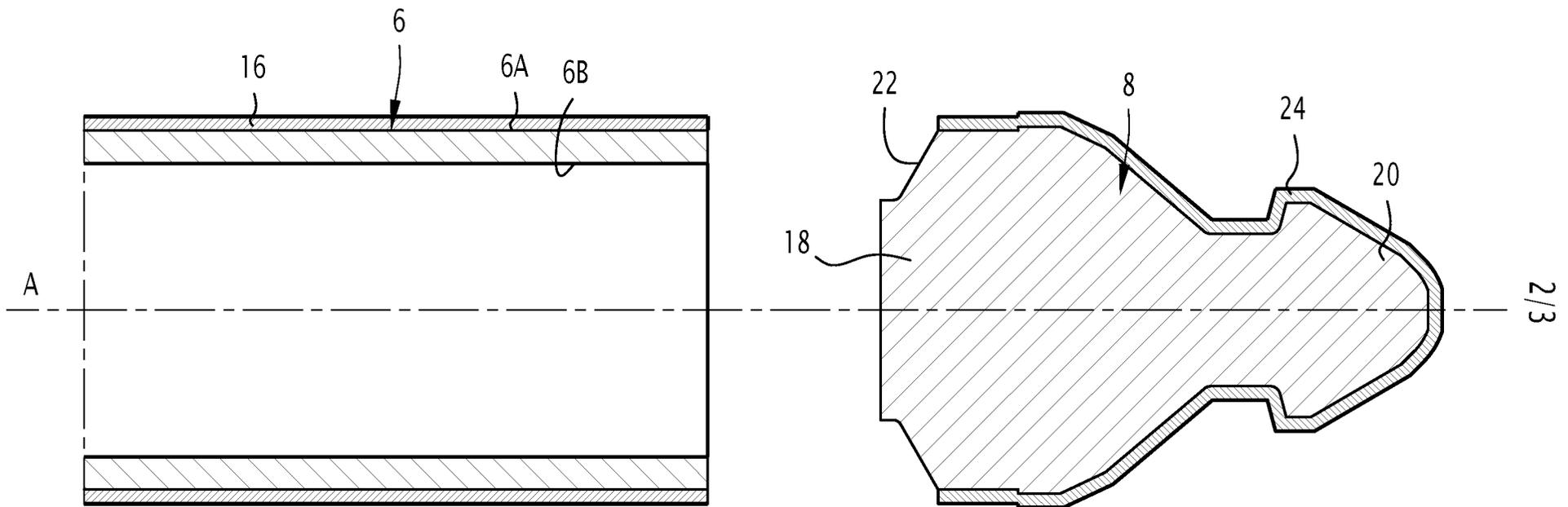
14. Способ изготовления по любому из пп. 10-13, отличающийся тем, что контактная сварка сопротивлением по меньшей мере одной из заглушек (8) или каждой заглушки (8) выполняется посредством подвода электрического тока в течение определенного промежутка времени, составляющего 10 мс - 30 мс.

15. Способ изготовления по любому из пп. 10-14, отличающийся тем, что выполняется без дополнительной обработки поверхности раздела между трубкой (6) и каждой заглушкой (8), привариваемой к трубке (6) с помощью механического или химического процесса, включающего в себя удаление материала.

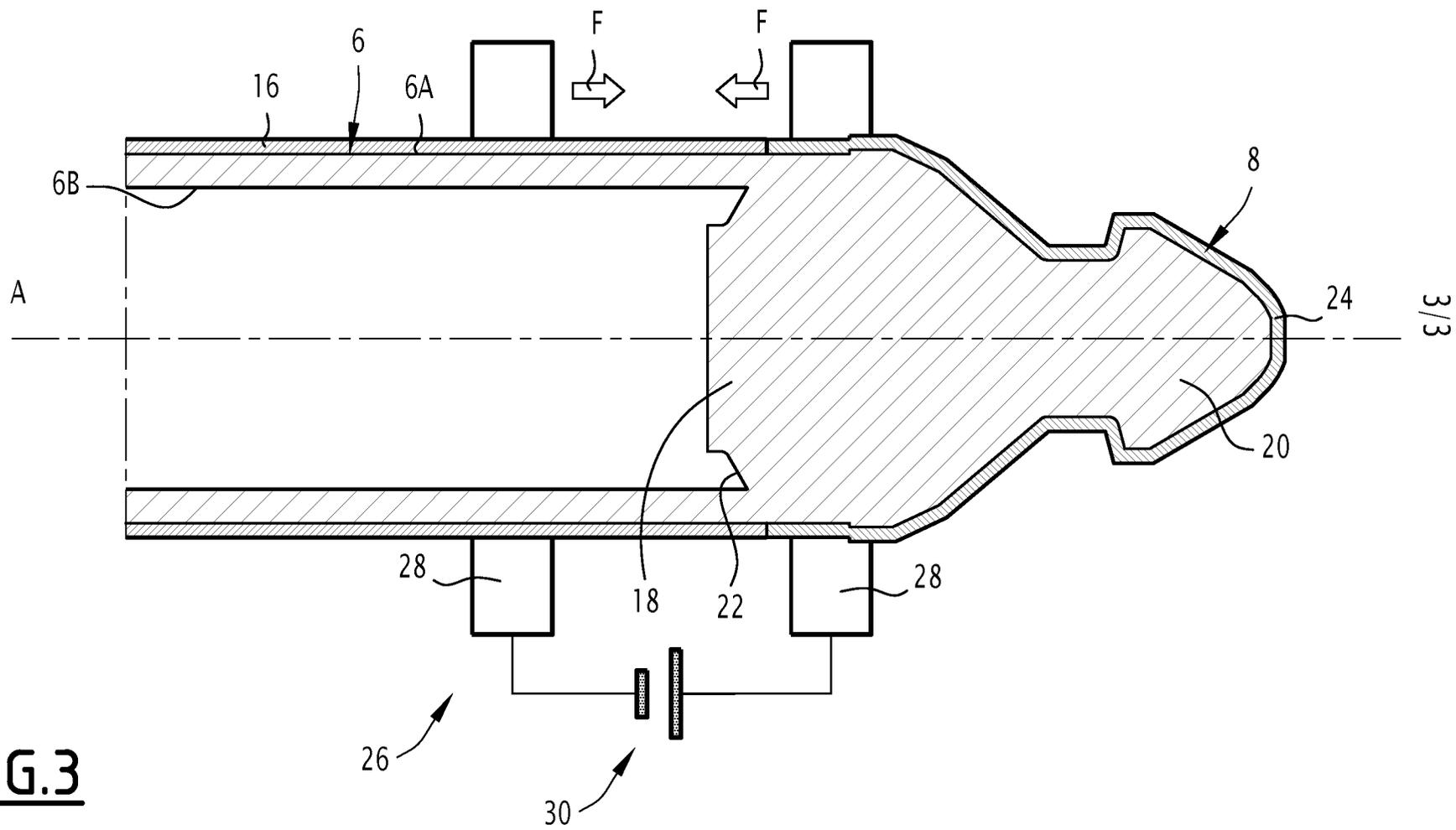
16. Способ изготовления по любому из пп. 10-15, отличающийся тем, что каждая заглушка (8) приваривается к трубке (6) без образования эвтектики на стыке между трубкой (6) и заглушкой (8), между материалом трубки (6), материалом покрытия (16) трубки, материалом заглушки (8) и, при необходимости, материалом покрытия (24) заглушки, покрывающим заглушку (8).

FIG.1





**FIG.2**



**FIG.3**