

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 202290755 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.07.11(22) Дата подачи заявки
2020.10.02

(51) Int. Cl. *G21C 3/32* (2006.01)
G21C 3/33 (2006.01)
G21C 21/00 (2006.01)
B01D 29/01 (2006.01)
B01D 39/10 (2006.01)
B01D 46/10 (2006.01)
B28B 1/00 (2006.01)
B33Y 10/00 (2015.01)
B33Y 80/00 (2015.01)
G21C 3/322 (2006.01)

(54) ФИЛЬТР ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В НИЖНЕЙ КОНЦЕВОЙ ЧАСТИ
ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ И СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТАКОГО ФИЛЬТРА

(31) 19306285.8

(32) 2019.10.04

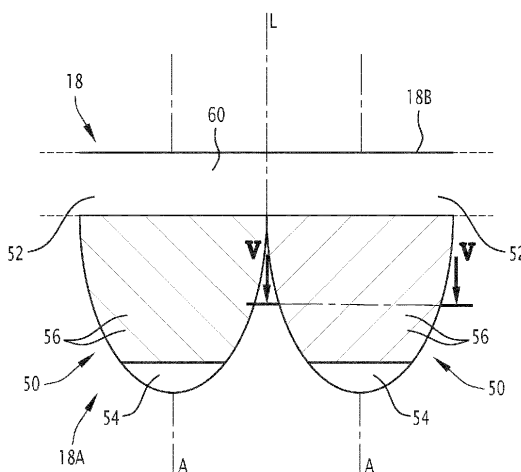
(33) EP

(86) PCT/EP2020/077656

(87) WO 2021/064171 2021.04.08

(71) Заявитель:
ФРАМАТОМ (FR)(72) Изобретатель:
Блавиус Дирк, Ламм Матиас (DE)(74) Представитель:
Фелицына С.Б. (RU)

(57) Фильтр твердых частиц, имеющий входную сторону (18А) и расположенную напротив нее выходную сторону (18В) и содержащий множество фильтрующих структур (50), выступающих на входной стороне (18А) фильтра (18) твердых частиц, при этом каждая фильтрующая структура (50) имеет основание (52) и вершину (54), разнесенные вдоль оси (А) структуры, каждая фильтрующая структура (50) содержит лопасти (56), распределенные по окружности вокруг оси (А) структуры, каждая лопасть имеет один конец, соединенный с основанием (52) структуры, и один конец, соединенный с вершиной (54) структуры, причем каждая лопасть (56) определяет щель (58) с каждой соседней лопастью (56) этой же фильтрующей структуры (50).



A1

202290755

202290755

A1

ФИЛЬТР ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В НИЖНЕЙ КОНЦЕВОЙ ЧАСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩЕЙ СБОРКИ И СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТАКОГО ФИЛЬТРА

Изобретение относится к тепловыделяющим сборкам для использования в ядерных реакторах, в частности, к тепловыделяющим сборкам для использования в легководном ядерном реакторе.

Тепловыделяющая сборка (ТВС) для легководного реактора обычно содержит пучок стержневых тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), проходящих вдоль продольной оси и поддерживаемых в продольном и поперечном направлениях на расстоянии друг от друга опорной конструкцией.

При использовании множество ТВС располагается вертикально и бок о бок в корпусе реактора, образуя, таким образом, активную зону реактора, а охлаждающая текучая среда, например вода, протекает вертикально через тепловыделяющие сборки. Охлаждающая текучая среда предназначена для замедления ядерной реакции и отвода тепла от стержневых ТВЭЛов тепловыделяющихборок.

Твердые частицы, присутствующие в охлаждающей текучей среде, потенциально могут повредить стержневые ТВЭЛы тепловыделяющей сборки, и для предотвращения этого риска тепловыделяющая сборка может быть снабжена нижней концевой частью, включающей в себя нижнюю головку для приема потока охлаждающей текучей среды и фильтр твердых частиц, например, как раскрыто в документах EP2204819A1 и EP2164076A1.

Одной из задач изобретения является обеспечение возможности создания в нижней концевой части ТВС фильтра твердых частиц, который эффективно улавливает твердые частицы, характеризуется низкими или регулируемыми потерями давления и при этом предпочтительно прост в изготовлении.

С этой целью согласно изобретению предлагается фильтр твердых частиц для нижней концевой части ТВС, содержащей нижнюю головку и фильтр твердых частиц, поддерживаемый нижней головкой, при этом фильтр твердых частиц имеет входную сторону и противоположную ей выходную сторону и содержит множество фильтрующих структур, выступающих на входной стороне фильтра твердых частиц, каждая фильтрующая структура имеет основание и вершину, разнесенные вдоль оси структуры, каждая фильтрующая структура содержит лопасти, распределенные по окружности вокруг оси структуры, каждая лопасть имеет один конец, соединенный с основанием структуры, и один конец, соединенный с вершиной структуры, при этом каждая лопасть ограничивает щель с каждой соседней лопастью этой же фильтрующей структуры.

Фильтр твердых частиц, содержащий фильтрующие структуры в виде лопастей, распределенных по окружности вокруг оси структуры, может быть приспособлен для эффективного улавливания твердых частиц при одновременном ограничении потерь давления в фильтре.

Фильтр твердых частиц такой сложной формы может изготавливаться по меньшей мере частично посредством аддитивной технологии, будучи при этом простым в изготовлении.

В конкретных вариантах осуществления фильтр твердых частиц характеризуется одной или несколькими из следующих дополнительных особенностей, взятых по отдельности или в любой технически возможной комбинации:

- каждая лопасть перекрывается по окружности с каждой соседней лопастью этой же фильтрующей структуры;
- каждая лопасть каждой фильтрующей структуры проходит по спирали вокруг оси (А) упомянутой фильтрующей структуры;
- каждая фильтрующая структура предназначена для создания в текучей среде, протекающей через фильтрующую структуру, циклонного эффекта или завихрения вокруг оси структуры;
- фильтр твердых частиц содержит фильтрующую секцию, характеризующуюся удерживающей способностью, которая постепенно или ступенчато увеличивается в направлении от входной стороны к выходной стороне;
- фильтрующая секция содержит несколько наложенных друг на друга фильтрующих слоев, расположенных друг над другом между входной и выходной сторонами, причем фильтрующие слои характеризуются разной удерживающей способностью;
- каждый предшествующий фильтрующий слой имеет удерживающую способность строго меньше, чем у следующего фильтрующего слоя, если рассматривать фильтрующие слои от входной стороны к выходной стороне.

Изобретение также относится к ТВС с нижней концевой частью, содержащей фильтр твердых частиц, как определено выше.

Изобретение также относится к способу изготовления фильтра твердых частиц, как определено выше, включающему в себя этап, на котором фильтр твердых частиц изготавливают по меньшей мере частично посредством аддитивной технологии.

В конкретных вариантах осуществления, способ изготовления характеризуется одной или несколькими из следующих дополнительных особенностей, взятых по отдельности или в любой технически возможной комбинации:

- фильтр твердых частиц по меньшей мере частично наращивают на нижнюю головку (8) посредством аддитивной технологии;

- по меньшей мере два фильтрующих слоя фильтра твердых частиц изготавливают отдельно и собирают вместе для получения фильтра твердых частиц;

- по меньшей мере два фильтрующих слоя фильтра твердых частиц выполняют целиком в виде одного куска материала посредством аддитивной технологии.

В другом аспекте изобретение также относится к способу изготовления фильтра твердых частиц для нижней концевой части ТВС, включающей в себя нижнюю головку, снабженную фильтром твердых частиц, поддерживаемым нижней головкой и имеющим входную сторону и противоположную ей выходную сторону, при этом способ включает в себя этап, на котором фильтр твердых частиц изготавливают по меньшей мере частично посредством аддитивной технологии.

В конкретных вариантах осуществления, способ изготовления характеризуется одной или несколькими из следующих дополнительных особенностей, взятых по отдельности или в любой технически возможной комбинации:

- фильтр твердых частиц по меньшей мере частично наращивают на нижнюю головку посредством аддитивной технологии;

- фильтр твердых частиц содержит по меньшей мере одну фильтрующую секцию, характеризующуюся удерживающей способностью, которая постепенно или ступенчато увеличивается от входной стороны к выходной стороне;

- фильтр твердых частиц содержит несколько наложенных друг на друга фильтрующих слоев, расположенных друг над другом между входной и выходной сторонами, причем фильтрующие слои характеризуются разной удерживающей способностью;

- каждый предшествующий фильтрующий слой имеет удерживающую способность строго меньше, чем у следующего фильтрующего слоя, если рассматривать фильтрующие слои от входной стороны к выходной стороне;

- по меньшей мере два фильтрующих слоя изготавливают отдельно и собирают вместе для получения фильтра твердых частиц;

- по меньшей мере два фильтрующих слоя изготавливают целиком в виде одного куска материала посредством аддитивной технологии;

- фильтр твердых частиц содержит множество фильтрующих структур, выступающих на входной стороне фильтра твердых частиц, причем каждая фильтрующая структура имеет основание и вершину, разнесенные вдоль оси структуры, каждая фильтрующая структура представляет собой лопасти, распределенные по окружности

вокруг оси структуры, каждая лопасть имеет один конец, соединенный с основанием структуры, и один конец, соединенный с вершиной структуры, причем каждая лопасть определяет щель с каждой соседней лопастью этой же фильтрующей структуры;

- каждая лопасть перекрывается по окружности с каждой соседней лопастью этой же фильтрующей структуры;

- каждая лопасть продолжается по спирали вокруг оси структуры.

Изобретение и его преимущества станут более понятными по прочтении последующего описания, приведенного исключительно в качестве примера и выполненного со ссылкой на чертежи.

На фиг. 1 показана ТВС для реактора с кипящей водой (BWR), вид сбоку;

на фиг. 2 – нижняя концевая часть ТВС, вид в разрезе;

на фиг. 3 – нижняя концевая часть ТВС согласно другому варианту осуществления, вид в разрезе;

на фиг. 4 – фильтр твердых частиц, частный вид сбоку;

на фиг. 5 – фильтрующая структура фильтра твердых частиц, показанного на фиг. 4, вид сечения по плоскости V-V на фиг. 4;

на фиг. 6 – фильтр твердых частиц на фиг. 4, частный вид сверху;

на фиг. 7 – фильтр твердых частиц, вид сбоку; и

на фиг. 8 – ТВС для водо-водяного реактора (PWR), вид сбоку.

Тепловыделяющая сборка 2, показанная на фиг. 1, вытянута вдоль продольной оси L. При использовании ТВС размещают в активной зоне ядерного реактора с продольной осью L, проходящей, по существу, вертикально, при этом ТВС опирается на нижнюю плиту активной зоны реактора.

В дальнейшем, если не указано иное, понятия «продольный», «поперечный», «вертикальный», «горизонтальный», «верх», «низ», «верхний» и «нижний» используются для описания положения относительно эксплуатационного положения ТВС 2.

ТВС 2 содержит пучок стержневых ТВЭЛов 4, которые вытянуты и проходят параллельно друг другу вдоль продольной оси L.

Каждый стержневой ТВЭЛ 4 представляет собой трубчатую оболочку, заполненную ядерным топливом, т.е. уложенными в оболочку таблетками ядерного топлива.

ТВС 2 содержит опорную конструкцию 6, поддерживающую стержневые ТВЭЛы 4 в продольном и поперечном направлениях.

Опорная конструкция 6 предназначена для поддержания стержневых ТВЭЛов 4 в поперечном направлении на расстоянии друг от друга. Стержневые ТВЭЛы 4

расположены, например, в виде решетки в узлах воображаемой сетки, предпочтительно регулярной сетки. Поперечное расстояние между стержневыми ТВЭЛами позволяет охлаждающей текучей среде протекать между стержневыми ТВЭЛами в основном в продольном направлении.

Опорная конструкция 6 ТВС 2 содержит нижнюю головку 8, верхнюю головку 10 и поддерживающие решетки 12, распределенные вдоль стержневых ТВЭЛов 4. Стержневые ТВЭЛы 4 проходят между нижней головкой 8 и верхней головкой 10, проходя через дистанцирующие решетки 12. Функция дистанцирующих решеток 12 состоит в поддержании стержневых ТВЭЛов 4 в продольном и поперечном направлениях на расстоянии друг от друга.

ТВС 2, показанная на фиг. 1, предназначена для использования в реакторе с кипящей водой (BWR).

Опорная конструкция 6 содержит водяной канал 14 (или «водяные стержни»), встроенный внутрь пучка стержневых ТВЭЛов 4 путем замены стержневых ТВЭЛов 4 в решетке, и топливный канал 16, окружающий пучок стержневых ТВЭЛов 4.

Водяной канал 14 и топливный канал 16 проходят между нижней головкой 8 и верхней головкой 10, будучи соединенными с нижней головкой 8 и верхней головкой 10. Дистанцирующие решетки 12, закрепленные на водяном канале 14, распределены в различных местах вдоль водяного канала 14.

При использовании ТВС 2 размещена вертикально на нижней плите активной зоны, при этом нижняя головка 8 принимает поток охлаждающей текучей среды, который проходит через нижнюю головку 8 в пучок стержневых ТВЭЛов 4, как показано стрелкой F.

ТВС 2 содержит фильтр 18 твердых частиц, расположенный внутри нижней головки 8. Нижняя головка 8 и фильтр 18 твердых частиц совместно определяют нижнюю концевую часть 20 ТВС 2.

Фильтр 18 твердых частиц предназначен для улавливания твердых частиц, присутствующих в охлаждающей текучей среде, поступающей в ТВС 2 через нижнюю головку 8.

Как показано на фиг. 2, нижняя головка 8 содержит нижнюю соединительную пластину 22 и сопловую часть 24.

Нижняя соединительная пластина 22 предназначена, в частности, для прикрепления к ней водяного канала 14 и топливного канала 16. Сопловая часть 24 предназначена для приема потока охлаждающей текучей среды и направления его в водяной канал 14 и топливный канал 16.

Сопловая часть 24 имеет трубчатую форму и проходит вниз от периферии нижней соединительной пластины 22. Сопловая часть 24 содержит нижнее входное отверстие 26 и верхнее выходное отверстие 28.

Нижняя соединительная пластина 22 проходит поперек верхнего выходного отверстия 28 сопловой части 24. Нижняя соединительная пластина 22 имеет форму решетки. Нижняя соединительная пластина 22 имеет проточные отверстия 30 для текучей среды, через которые охлаждающая текучая среда может протекать сквозь нижнюю соединительную пластину 22.

Сопловая часть 24 имеет, например, верхнюю секцию 32 постоянного поперечного сечения, проходящую вниз от нижней соединительной пластины 22, и нижнюю часть 34 конической формы, сужающуюся книзу.

Сопловая часть 24 головки определяет внутреннее пространство 36. Внутреннее пространство 36 ограничено нижним входным отверстием 26 и верхним выходным отверстием 28 сопловой части 24.

Фильтр 18 твердых частиц размещен внутри нижней головки 8, более конкретно внутри сопловой части 24 и ниже соединительной пластины 22. Фильтр 18 твердых частиц расположен выше по потоку от нижней соединительной пластины 22, если учитывать направление потока охлаждающей текучей среды при использовании. Фильтр 18 твердых частиц может соприкасаться с нижней стороной нижней соединительной пластины 22. В качестве альтернативы может иметься небольшой зазор между фильтром 18 твердых частиц и нижней стороной нижней соединительной пластины.

В предпочтительном варианте осуществления фильтр 18 твердых частиц по меньшей мере частично изготовлен аддитивной технологией.

Аддитивная технология относится к способу изготовления, в котором фильтр 18 твердых частиц или по меньшей мере часть фильтра 18 твердых частиц изготавливается путем постепенного добавления материала к уже изготовленной части.

Аддитивная технология относится, в частности, к постепенному изготовлению по меньшей мере части фильтра твердых частиц путем постепенного добавления изготавливаемых слоев.

Фильтр 18 твердых частиц по меньшей мере частично изготавливается аддитивной технологией, т.е. с использованием одного или комбинации следующих способов аддитивной технологии: послойное аддитивное наращивание в порошковом слое, в частности, сплавление, спекание или склеивание, послойное аддитивное наращивание с осаждением, в частности, послойное аддитивное наращивание осаждением порошка или послойное аддитивное наращивание осаждением проволоки, послойное аддитивное

наращивание посредством струйной 3D печати материала и струйной печати связующим.

В одном из вариантов осуществления фильтр 18 твердых частиц только частично изготавливается с использованием аддитивной технологии.

В одном из примеров изготавливается первая часть фильтра 18 твердых частиц, а вторая часть фильтра 18 твердых частиц наращивается на первую часть путем послойного аддитивного наращивания.

В предпочтительном варианте осуществления, первая часть изготавливается с использованием способа, который не является аддитивной технологией. Первая часть, например, изготавливается путем обычного фрезерования кованных металлических пластин или литья.

В другом примере первая и вторая части фильтра 18 твердых частиц изготавливаются отдельно, причем каждая из первой и второй частей изготавливается, соответственно, с использованием аддитивной технологии, а затем первая и вторая части собираются вместе для получения фильтра 18 твердых частиц.

В приведенных выше примерах первая часть изготавливается, например, из металла. Вторая часть изготавливается, например, из металла. Металл первой части и металл второй части представляют собой один и тот же металл или разные металлы.

В одном из вариантов осуществления фильтр 18 твердых частиц полностью изготавливается с использованием аддитивной технологии. Таким образом, фильтр твердых частиц изготавливается в виде цельного куска материала, получаемого аддитивной технологией.

В одном из вариантов осуществления, фильтр 18 твердых частиц изготавливается отдельно от нижней головки 8, а затем соединяется с нижней головкой 8.

Например, способ изготовления нижней концевой части 20 включает в себя изготовление сопловой части 24, нижней соединительной пластины 22 и фильтра 18 твердых частиц по отдельности, а затем их сборку.

В одном из вариантов осуществления фильтр 18 твердых частиц наращивается на нижнюю головку 8 с использованием аддитивной технологии.

Способ изготовления включает в себя, например, изготовление нижней соединительной пластины 22, затем наращивание фильтра 18 твердых частиц на нижнюю соединительную пластину 22 посредством аддитивной технологии и последующую сборку сопловой части 24 с нижней соединительной пластиной 22.

В качестве альтернативы, способ изготовления включает в себя, например, изготовление сопловой части 24, затем наращивание фильтра 18 твердых частиц на сопловую часть посредством аддитивной технологии и последующую сборку нижней

соединительной пластины 22 с сопловой частью 24.

Как показано на фиг. 2, согласно одному из вариантов осуществления фильтр 18 твердых частиц проходит вдоль продольной оси L на большей части протяженности внутреннего пространства 36 сопловой части 24 вдоль продольной оси L.

Изготовление фильтра 18 твердых частиц по меньшей мере частично посредством аддитивной технологии позволяет получить фильтр 18 твердых частиц большой толщины, чтобы повысить эффективность фильтрации и в то же время снизить потери давления охлаждающей текучей среды при прохождении через фильтр 18 твердых частиц.

Сопловая часть 24 головки содержит здесь верхний участок 32 и сужающийся книзу нижний участок 34.

В одном из вариантов осуществления фильтр 18 твердых частиц проходит в верхнем участке 32 сопловой части 24 по меньшей мере вниз к нижнему участку 34 сопловой части 24.

В одном из вариантов осуществления фильтр 18 твердых частиц проходит в верхнем участке 32 и по меньшей мере части нижнего участка 34 сопловой части 24.

В конкретном варианте осуществления, как показано на фиг. 2, фильтр 18 твердых частиц полностью занимает внутреннее пространство 36 нижней головки 8 между нижним входным отверстием 26 и верхним выходным отверстием 28 сопловой части 24.

Фильтр 18 твердых частиц имеет входную сторону 18А и выходную сторону 18В, расположенную напротив входной стороны 18А. При использовании охлаждающая текучая среда поступает в фильтр 18 твердых частиц через входную сторону 18А и выходит из фильтра твердых частиц через выходную сторону 18В. Входная сторона 18А примыкает к нижнему входному отверстию 26 сопловой части 24, а выходная сторона 18В обращена к нижней соединительной пластине 22.

Фильтр 18 твердых частиц является пористым или имеет ажурную структуру, позволяющую охлаждающей текучей среде проходить сквозь фильтр твердых частиц, в то же время удерживая твердые частицы, содержащиеся в охлаждающей текучей среде. Фильтр 18 твердых частиц содержит проточные отверстия для обеспечения протекания охлаждающей текучей среды через фильтр 18 твердых частиц от входной стороны 18А к выходной стороне 18В. Твердые частицы, размеры которых превышают размер проточных отверстий, будут удерживаться фильтром 18 твердых частиц.

Фильтр 18 твердых частиц характеризуется удерживающей способностью, соответствующей размеру наименьшей твердой частицы, которая может быть удержана в фильтре 18 твердых частиц. Чем выше удерживающая способность, тем меньше размер наименьших твердых частиц, которые задерживаются фильтром 18 твердых частиц.

Фильтр 18 твердых частиц будет задерживать твердые частицы, размеры которых превышают размеры проточных отверстий. Чем меньше размеры проточных отверстий, тем выше удерживающая способность фильтра 18 твердых частиц.

В одном из вариантов осуществления фильтр 18 твердых частиц имеет удерживающую способность, которая изменяется от входной стороны 18А к выходной стороне 18В, и, более конкретно, удерживающая способность постепенно увеличивается от входной стороны 18А к выходной стороне 18В фильтра 18 твердых частиц.

Ввиду постепенного увеличения удерживающей способности в направлении толщины фильтра 18 твердых частиц, фильтр 18 твердых частиц имеет, например, проточные отверстия, размеры которых постепенно уменьшаются в фильтре 18 твердых частиц от входной стороны 18А к выходной стороне 18В фильтра 18 твердых частиц.

Имея постепенно увеличивающуюся удерживающую способность, самые крупные твердые частицы задерживаются рядом с входной стороной 18А фильтра 18 твердых частиц, а самые маленькие твердые частицы проникают в фильтр 18 твердых частиц 18, но задерживаются вблизи выходной стороны фильтра 18 твердых частиц.

Одним из преимуществ такой конфигурации является то, что слой или часть фильтра твердых частиц с более низкой удерживающей способностью и/или с проточными отверстиями большего размера можно сделать механически более стойкими, чем слой или часть фильтра твердых частиц с более высокой удерживающей способностью и/или с проточными отверстиями меньшего размера. Слой с более высокой удерживающей способностью может снабжаться более тонкими стенками, чем у слоя с более низкой удерживающей способностью, для максимального увеличения количества проточных отверстий и для ограничения потерь давления в фильтре 18 твердых частиц.

Аддитивная технология фильтра 18 твердых частиц позволяет легко регулировать удерживающую способность фильтра 18 твердых частиц и, в частности, позволяет с меньшими производственными затратами изготавливать фильтр 18 твердых частиц с удерживающей способностью, изменяющейся от входной стороны 18А к выходной стороне 18В, в частности, с удерживающей способностью, постепенно или ступенчато увеличивающейся от входной стороны 18А к выходной стороне 18В, и снижать потери давления в фильтре.

Удерживающая способность фильтра 18 твердых частиц увеличивается, например, постепенно или ступенчато от входной стороны 18А к выходной стороне 18В фильтра 18 твердых частиц. Например, фильтр 18 твердых частиц имеет проточные отверстия, размеры которых постепенно или ступенчато изменяются от входной стороны 18А к выходной стороне 18В фильтра 18 твердых частиц.

В примере, показанном на фиг. 2, фильтр 18 твердых частиц имеет удерживающую способность, которая ступенчато увеличивается от входной стороны 18А к выходной стороне 18В. Например, фильтр 18 твердых частиц имеет проточные отверстия, размеры которых ступенчато изменяются от входной поверхности 18А к выходной поверхности 18В.

Фильтр 18 твердых частиц имеет, например, несколько фильтрующих слоев 40, 42, 44 от входной стороны 18А до выходной стороны 18В, причем каждый последующий слой имеет более высокую удерживающую способность, чем предыдущий слой, если рассматривать фильтрующие слои от входной стороны 18А до выходной стороны 18В.

Каждый фильтрующий слой 40, 42, 44 имеет, например, постоянную удерживающую способность по всей толщине этого фильтрующего слоя 40, 42, 44.

Каждый последующий фильтрующий слой имеет, например, проточные отверстия меньшего размера, чем предшествующий фильтрующий слой, если рассматривать фильтрующие слои от входной стороны 18А до выходной стороны 18В.

Таким образом, фильтр 18 твердых частиц имеет по меньшей мере входной фильтрующий слой 40, примыкающий к входной стороне 18А, который характеризуется более низкой удерживающей способностью, и выходной фильтрующий слой 44, примыкающий к выходной стороне 18В фильтра 18 для твердых частиц. Входной фильтрующий слой 40 имеет, например, проточные отверстия большего размера, чем выходной фильтрующий слой 44.

В одном из вариантов осуществления фильтр твердых частиц имеет ровно два фильтрующих слоя, то есть входной фильтрующий слой 40 и выходной фильтрующий слой 44.

В другом варианте осуществления фильтр 18 твердых частиц имеет по меньшей мере один промежуточный фильтрующий слой 42, расположенный между входным фильтрующим слоем 40 и выходным фильтрующим слоем 44.

В примере, показанном на фиг. 2, фильтр 18 твердых частиц имеет ровно один промежуточный фильтрующий слой 42. В одном из вариантов осуществления, фильтр 18 твердых частиц имеет более двух промежуточных фильтрующих слоев и более трех фильтрующих слоев.

В одном из вариантов осуществления способа изготовления, фильтрующие слои 40, 42, 44 фильтра 18 твердых частиц с различной удерживающей способностью изготавливаются целиком в виде одного куска материала посредством аддитивной технологии. В этом случае фильтр 18 твердых частиц изготавливается целиком в виде одного куска материала посредством аддитивной технологии.

В другом варианте осуществления по меньшей мере два фильтрующих слоя 40, 42, 44 изготавливаются отдельно, а затем по меньшей мере два фильтрующих слоя 40, 42, 44 собираются вместе для получения фильтра 18 твердых частиц. Сборка осуществляется, например, путем сварки, склейки, свинчивания, склепывания...

Как показано на фиг. 3, в одном из вариантов осуществления фильтр 18 твердых частиц характеризуется постепенно увеличивающейся удерживающей способностью.

Фильтр 18 твердых частиц с постепенно увеличивающейся удерживающей способностью демонстрирует градиент удерживающей способности от входной стороны 18А к выходной стороне 18В. Проточные отверстия фильтра 18 твердых частиц демонстрируют, например, градиент уменьшающихся размеров от входной стороны 18А к выходной стороне 18В.

Изготовление фильтра 18 твердых частиц посредством аддитивной технологии позволяет придавать фильтру 18 твердых частиц сложные трехмерные формы, которые могут улучшать фильтрацию, ограничивая при этом потери давления в фильтре твердых частиц.

На фиг. 4-6 показан один из примеров фильтра 18 твердых частиц сложной трехмерной формы, который можно изготовить посредством аддитивной технологии.

Как показано на фиг. 4-6, фильтр 18 твердых частиц имеет входную сторону 18А и выходную сторону 18В.

Фильтр 18 твердых частиц снабжен на своей входной стороне 18А множеством выступающих фильтрующих структур 50. Каждая фильтрующая структура 50 выполнена так, чтобы пропускать охлаждающую текучую среду сквозь фильтрующую структуру 50, удерживая при этом твердые частицы.

Каждая фильтрующая структура 50 является полой. Каждая фильтрующая структура 50 имеет основание 52 и вершину 54, разнесенные вдоль оси А структуры, и множество лопастей 56, распределенных по окружности вокруг оси А структуры и определяющих щели 58 между ними. Каждая лопасть 56 имеет один конец, соединенный с основанием 52 структуры, и один конец, соединенный с вершиной 54 структуры. Каждая лопасть 56 расположена по окружности между двумя соседними лопастями 56, определяя соответствующую щель 58 между каждой из двух соседних лопастей 56.

Каждая лопасть 56 имеет две свободные боковые кромки. Каждая лопасть 56 проходит подобно мосту между двумя ее концами, соединенными соответственно с основанием 52 структуры и вершиной 54 структуры.

Каждая фильтрующая структура 50 имеет общую форму, сужающуюся от основания 52 структуры к вершине 54 структуры. Поперечные размеры каждой

фильтрующей структуры 50, взятые поперек оси А структуры, постепенно уменьшаются вдоль оси А структуры от основания 52 к вершине 54 структуры. Каждая фильтрующая структура 50 имеет, например, общую оживальную форму.

Оси А множества фильтрующих структур 50 в предпочтительном варианте осуществления параллельны. Ось А каждой фильтрующей структуры 50 в предпочтительном варианте осуществления, по существу, перпендикулярна выходной стороне 18В фильтра 18 твердых частиц. Ось А каждой фильтрующей структуры 50 в предпочтительном варианте осуществления параллельна продольной оси ТВС 2, когда в ней установлен фильтр 18 твердых частиц.

Основания 52 фильтрующих структур 50 соединены вместе. Основания 52 структур совместно определяют выходной участок 60 фильтра 18 твердых частиц, определяющий выходную сторону 18В фильтра 18 твердых частиц.

Фильтрующие структуры 50 придают трехмерную форму входной стороне 18А фильтра 18 твердых частиц. Выходная сторона 18А фильтра 18 твердых частиц, например, по существу, плоская. Выходная сторона 18А фильтра твердых частиц снабжена выходными отверстиями 62, позволяющими охлаждающей текучей среде выходить из фильтра 18 твердых частиц.

Каждая фильтрующая структура 50 определяет улавливающий объем, ограниченный вдоль оси А структуры основанием 52 и вершиной 54, а в поперечном направлении – лопастями 56.

Щели 58, определяемые лопастями 56, позволяют охлаждающей текучей среде поступать внутрь фильтрующей структуры 50, а выходные отверстия 62, расположенные на выходной стороне 18В, позволяют охлаждающей текучей среде выходить из фильтрующей структуры 50 и, таким образом, из фильтра 18 твердых частиц.

Выходная сторона 18В фильтра 18 твердых частиц имеет, например, множество продолговатых выходных отверстий 62, проходящих в разных поперечных направлениях. В предпочтительном варианте осуществления, как показано на фиг. 5, лопасти 56 каждой фильтрующей структуры 50 распределены вокруг оси А структуры с перекрытием по окружности с соседними лопастями 56.

Каждая лопасть 56 перекрывается с каждой соседней лопастью 56, если смотреть в направлении, которое является радиальным относительно оси А структуры, как показано стрелкой V на фиг. 5. Другими словами, щели 58 не видны насквозь, если смотреть в направлении, которое является радиальным по отношению к оси А структуры.

В предпочтительном варианте осуществления, каждая фильтрующая структура 50 выполнена с возможностью придания потоку охлаждающей текучей среды,

протекающему через фильтрующую структуру 50, эффекта циклона или завихрения вокруг оси А фильтрующей структуры 50.

Такая фильтрующая структура 50 особенно эффективна для улавливания обломков в виде небольших проволок, которые очень опасны для ТВС 2 из-за механизма фреттинга. Благодаря эффекту циклона такие твердые частицы, скорее всего, будут вдавлены в фильтрующую структуру 50, что не позволит им выйти из фильтрующей структуры 50.

В одном из примеров вариантов осуществления, лопасти 56 каждой фильтрующей структуры 50 приспособлены для генерирования циклического эффекта с приданием потоку хладагента эффекта циклона или завихрения вокруг оси А фильтрующей структуры 50.

Как видно из фиг. 4, в предпочтительном варианте осуществления, лопасти 56 каждой фильтрующей структуры 50 проходят по спирали вокруг оси А структуры. Это улучшает улавливание продолговатых твердых частиц, ориентированных в продольном направлении, при достижении входной стороны фильтра 18 твердых частиц.

Спиральная конструкция работает как циклон и выбрасывает твердые частицы наружу в фильтрующую структуру 50.

Кроме того, такая фильтрующая структура 50 стремится отклонить поток охлаждающей текучей среды, придавая поперечную скорость потоку охлаждающей текучей среды после фильтра 18 твердых частиц. Это может способствовать теплообмену между охлаждающей текучей средой и стержневыми ТВЭЛами 4.

Фильтр 18 твердых частиц очень эффективен для фильтрации твердых частиц, обеспечивая при этом снижение потерь давления в фильтре.

Фильтр твердых частиц имеет сложную форму, но прост в изготовлении благодаря использованию аддитивной технологии.

По меньшей мере фильтрующие структуры 50 изготавливаются посредством аддитивной технологии. В одном из вариантов осуществления весь фильтр твердых частиц изготавливается посредством аддитивной технологии. В другом варианте осуществления имеется пластинчатый участок 60, а остальные фильтрующие структуры 50 затем наращиваются на пластинчатый участок 60 посредством аддитивной технологии.

В одном из примеров осуществления, показанном на фиг. 7, фильтр 18 твердых частиц может сочетать фильтрующие структуры 50 на входной стороне 18А фильтра 18 твердых частиц, как описано со ссылкой на фиг. 4 и 5, с постепенным или ступенчатым увеличением удерживающей способности между фильтрующими структурами 50 и выходной стороной 18В фильтра 18 твердых частиц.

Такой фильтр 18 твердых частиц содержит, например, входную фильтрующую

секцию 18С, образованную фильтрующими структурами 50, выступающими на входной поверхности 18А, и выходную фильтрующую секцию 18D, проходящую между фильтрующими структурами 50 и выходной стороной, и имеющую постепенно или ступенчато увеличивающуюся удерживающую способность по мере приближения к выходной стороне 18В.

Выходная секция 18D содержит, например, один или несколько фильтрующих слоев, расположенных между входной секцией 18С фильтрующих структур 50 и выходной стороной 18В, ограничивающих, например, один фильтрующий слой с постепенно увеличивающейся удерживающей способностью или несколько наложенных друг на друга фильтрующих слоев с постепенно увеличивающейся удерживающей способностью, придающих выходной секции 18D ступенчато увеличивающуюся удерживающую способность.

Кроме того, фильтр твердых частиц может иметь фильтрующую секцию с постепенно или ступенчато увеличивающейся удерживающей способностью, связанную с другой фильтрующей секцией, расположенной выше или ниже по потоку, отличающейся от фильтрующих структур 50. Как правило, фильтр 18 твердых частиц может содержать по меньшей мере фильтрующую секцию, характеризующуюся удерживающей способностью, которая постепенно или ступенчато увеличивается от входной стороны 18А к выходной стороне 18В.

Изобретение не ограничено примерами, описанными и поясненными выше. Можно рассмотреть и другие примеры.

Фильтр 18 твердых частиц особой конструкции, описанный и поясненный выше (с увеличивающейся удерживающей способностью и/или с фильтрующей структурой с лопастями и/или с циклонным эффектом), может изготавливаться с использованием другого обычного способа производства, не связанного с аддитивной технологией. Кроме того, изобретение не ограничивается ТВС для реакторов с кипящей водой (BWR). В более общем плане оно применимо к ТВС для легководных реакторов (LWR). В частности, оно применимо к ТВС для водо-водяных реакторов (PWR).

На фиг. 7, на которой элементы, идентичные или подобные элементам, показанным на фиг. 1, обозначены теми же ссылочными позициями, показана ТВС для водо-водяного реактора (PWR).

ТВС содержит пучок стержневых ТВЭЛов 4, проходящих вдоль продольной оси L, и опорную конструкцию 6, поддерживающую стержневые ТВЭЛы 4.

Опорная конструкция 6 содержит нижнюю головку 8 и верхнюю головку 10, разнесенные вдоль продольной оси L, направляющие трубки 63, соединенные с нижней

головкой 8 и верхней головкой 10, и дистанцирующие решетки 12, распределенные вдоль направляющих трубок 63 и прикрепленные к направляющим трубкам 63.

Нижняя головка 8 снабжена фильтром 18 твердых частиц. Нижняя головка 8 имеет пластину 64 с квадратными ячейками и ножки 66, отходящие вниз от углов пластины 64 с квадратными ячейками. При использовании, ТВС 2 опирается на нижнюю плиту активной зоны ножками 66.

Фильтр 18 твердых частиц прикреплен к нижней головке 8 ниже пластины 64 с сотовой структурой. Таким образом, фильтр 18 твердых частиц расположен выше по потоку пластины 64 с сотовой структурой. Фильтр 18 твердых частиц расположен между ножками 66.

Фильтр 18 твердых частиц может соответствовать примерам, описанным со ссылкой на ТВС для реактора с кипящей водой.

Способ изготовления фильтра 18 твердых частиц по меньшей мере частично посредством аддитивной технологии, а также примеры вариантов осуществления и вариант, описанный выше (послойное аддитивное наращивание на нижней головке, слои, получаемые с помощью послойного аддитивного наращивания и собираемые или формируемые в единое целое с помощью послойного аддитивного наращивания...), являются предпочтительными независимо от формы фильтра твердых частиц.

Таким образом, в общем случае изобретение также относится к способу изготовления фильтра твердых частиц для нижней концевой части ТВС, включающей в себя нижнюю головку, снабженную фильтром твердых частиц, поддерживаемым нижней головкой, причем фильтр твердых частиц имеет входную сторону и противоположную ей выходную сторону, при этом способ включает в себя изготовление фильтра твердых частиц по меньшей мере частично посредством аддитивной технологии.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Фильтр твердых частиц для нижней концевой части тепловыделяющей сборки, содержащей нижнюю головку (8) и фильтр (18) твердых частиц, поддерживаемый нижней головкой (8), при этом фильтр твердых частиц имеет входную сторону (18А) и расположенную напротив нее выходную сторону (18В) и содержит множество фильтрующих структур (50), выступающих на входной стороне (18А) фильтра (18) твердых частиц, каждая фильтрующая структура (50) имеет основание (52) и вершину (54), разнесенные вдоль оси (А) структуры, каждая фильтрующая структура (50) содержит лопасти (56), распределенные по окружности вокруг оси (А) структуры, каждая лопасть имеет один конец, соединенный с основанием (52) структуры, и один конец, соединенный с вершиной (54) структуры, при этом каждая лопасть (56) определяет щель (58) с каждой соседней лопастью (56) этой же фильтрующей структуры (50).

2. Фильтр твердых частиц по п. 1, в котором каждая лопасть (56) перекрывается по окружности с каждой соседней лопастью (56) этой же фильтрующей структуры (50).

3. Фильтр твердых частиц по п. 1 или 2, в котором каждая лопасть (56) каждой фильтрующей структуры (50) проходит по спирали вокруг оси (А) упомянутой фильтрующей структуры (50).

4. Фильтр твердых частиц по любому из пп. 1 – 3, в котором каждая фильтрующая структура (50) выполнена с возможностью создания в текучей среде, протекающей через фильтрующую структуру (50), циклонного эффекта или завихрения вокруг оси (А) структуры.

5. Фильтр твердых частиц по любому из пп. 1 – 4, содержащий фильтрующую секцию (18D), характеризующуюся удерживающей способностью, которая постепенно или ступенчато увеличивается в направлении от входной стороны (18А) к выходной стороне (18В).

6. Фильтр твердых частиц по п. 5, в котором фильтрующая секция (18D) содержит несколько наложенных друг на друга фильтрующих слоев (40, 42, 44), расположенных друг над другом между входной стороной (18А) и выходной стороной (18В), при этом фильтрующие слои (40, 42, 44) характеризуются различной удерживающей способностью.

7. Фильтр твердых частиц по п. 6, в котором каждый предшествующий фильтрующий слой (40, 42) имеет удерживающую способность строго меньше, чем у следующего фильтрующего слоя (42, 44), если рассматривать фильтрующие слои (40, 42, 44) от входной стороны (18А) к выходной стороне (18В).

8. Тепловыделяющая сборка, включающая в себя нижнюю концевую часть, содержащую фильтр твердых частиц по любому из пп. 1 – 7.

9. Способ изготовления фильтра (18) твердых частиц по любому из пп. 1 – 7, включающий в себя этап, на котором фильтр (18) твердых частиц изготавливают по меньшей мере частично посредством аддитивной технологии.

10. Способ по п. 9, в котором фильтр (18) твердых частиц по меньшей мере частично наращивают на нижнюю головку (8) посредством аддитивной технологии.

11. Способ по п. 9 или 10 при зависимости от п. 6, в котором по меньшей мере два фильтрующих слоя (40, 42, 44) изготавливают отдельно и собирают вместе для получения фильтра (18) твердых частиц.

12. Способ по любому из пп. 9-11 при зависимости от п. 6, в котором по меньшей мере два фильтрующих слоя (40, 42, 44) изготавливают целиком в виде одного куска материала посредством аддитивной технологии.

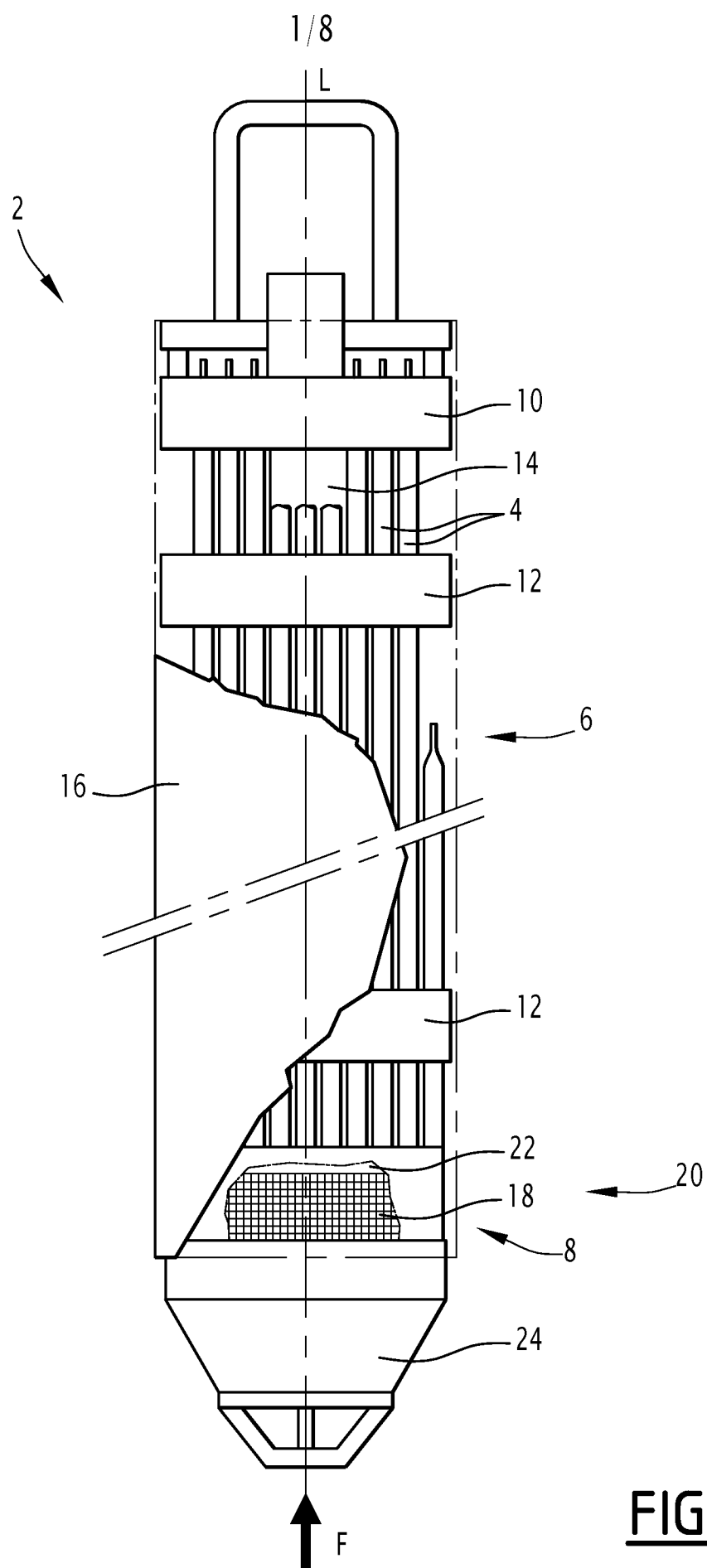
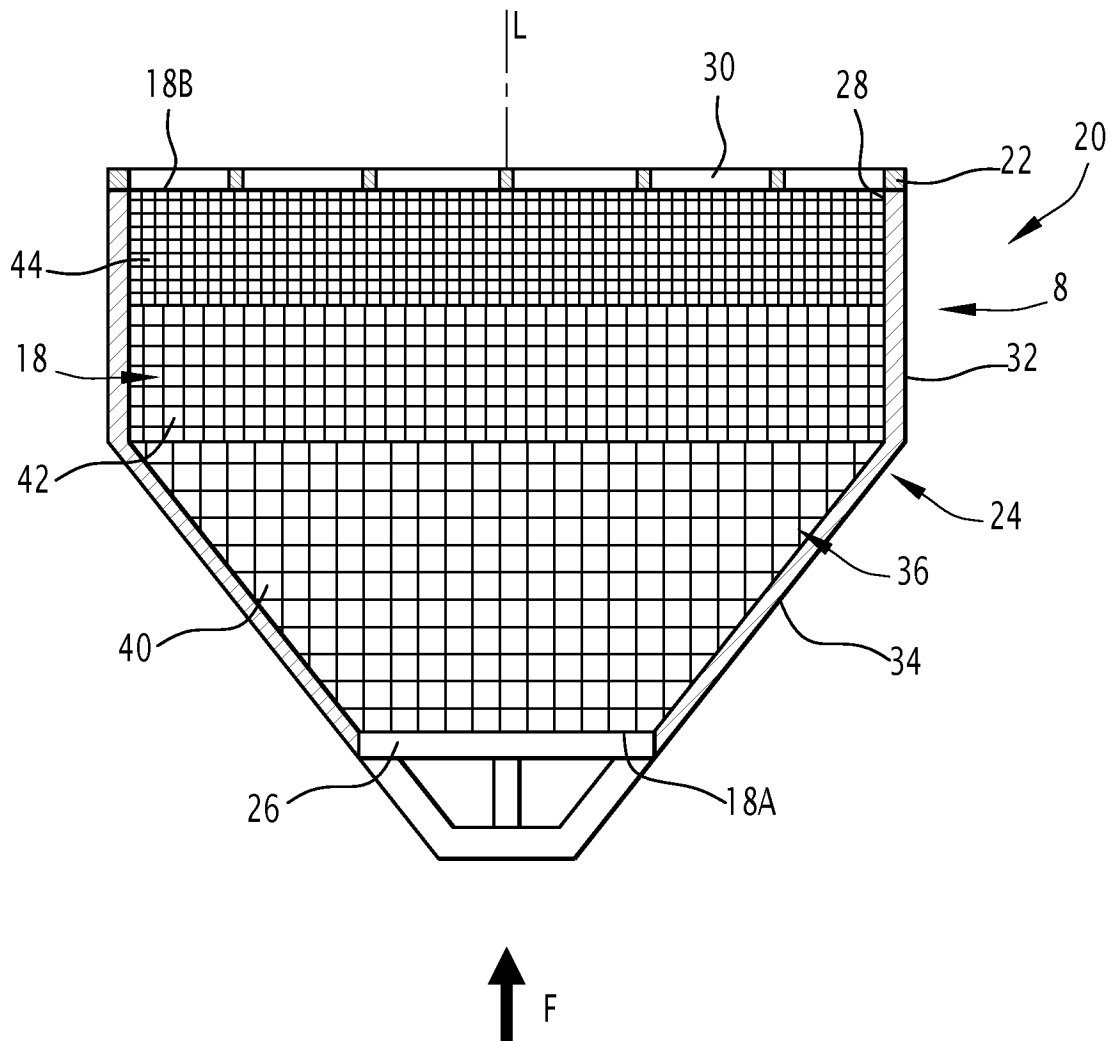


FIG.1

**FIG.2**

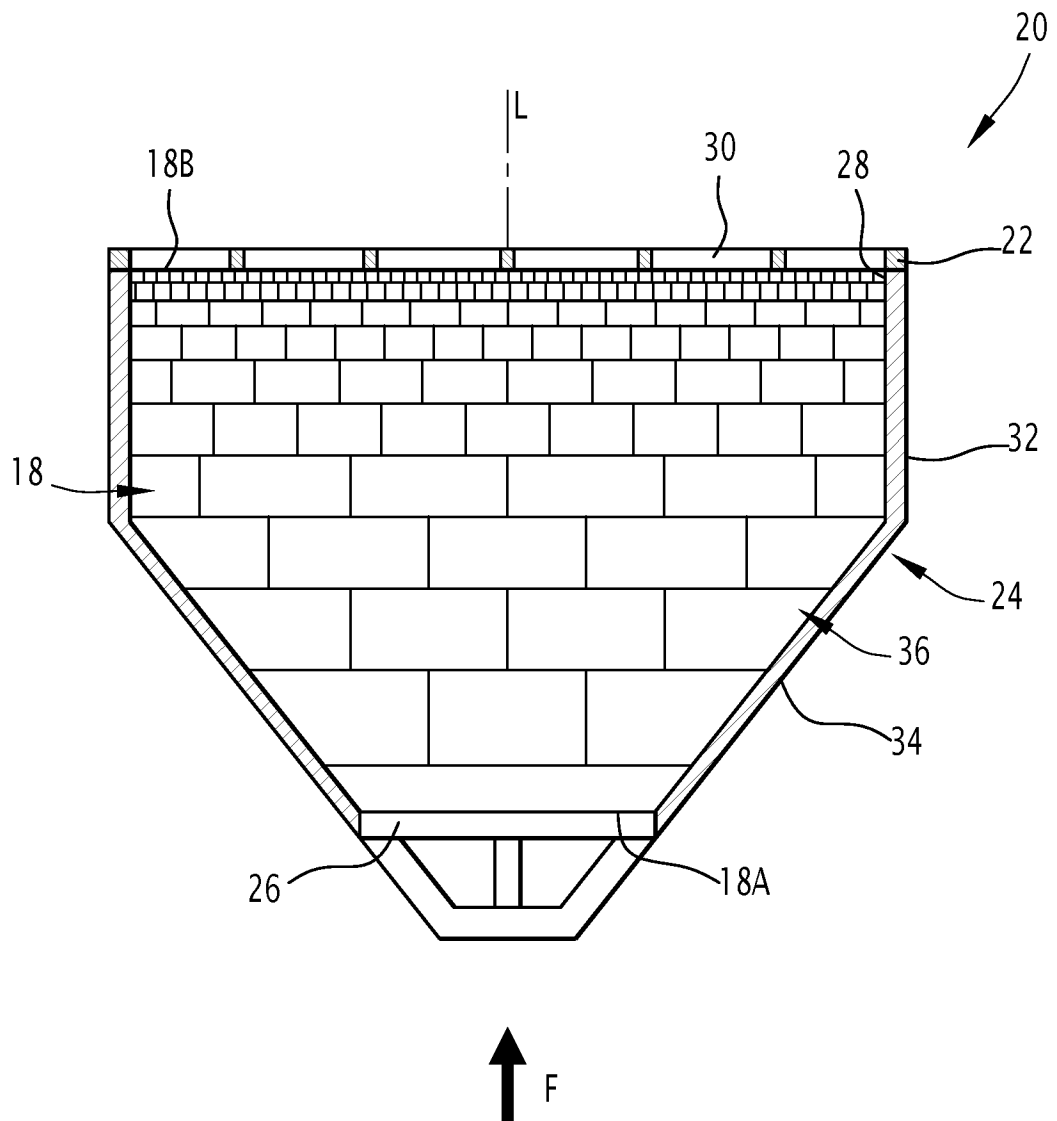


FIG.3

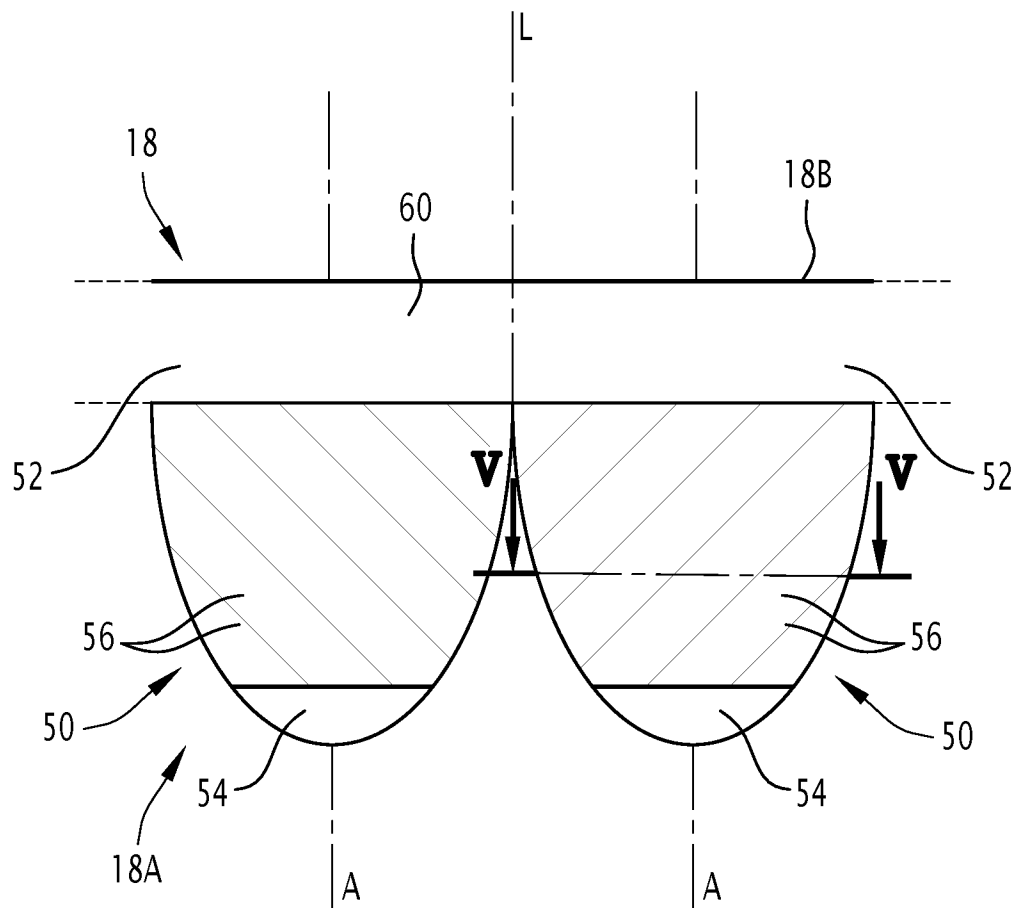


FIG.4

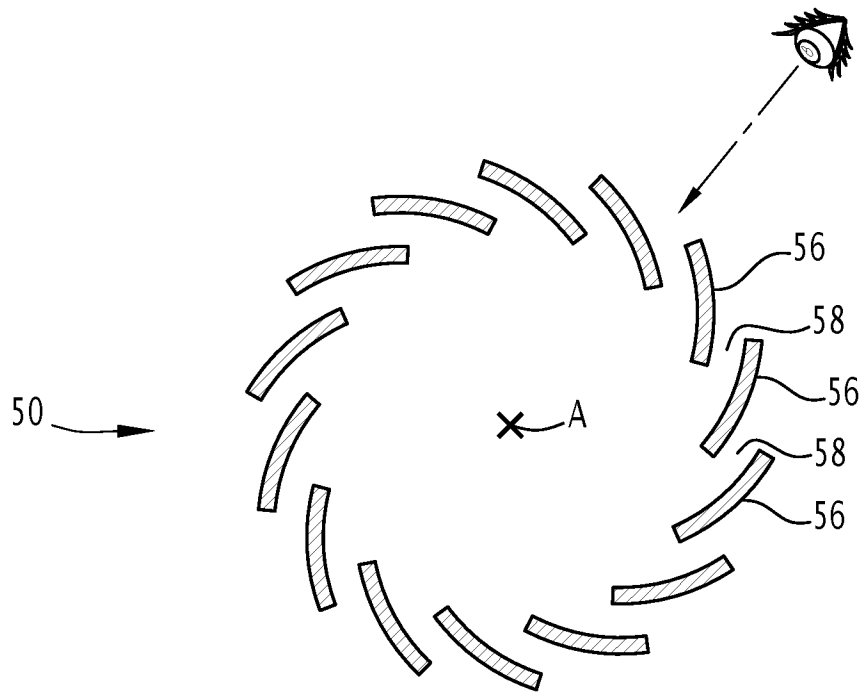


FIG.5

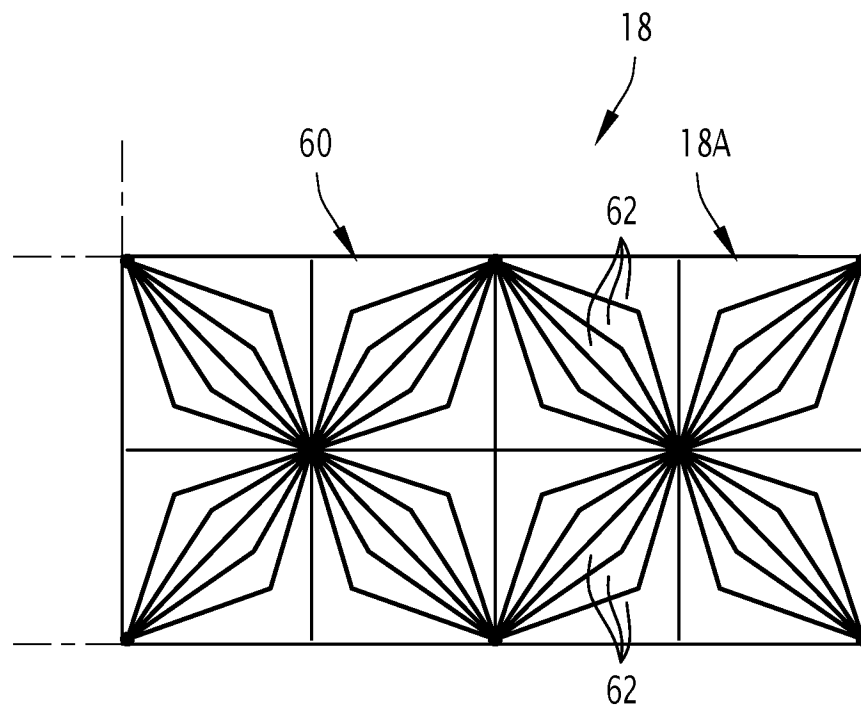


FIG. 6

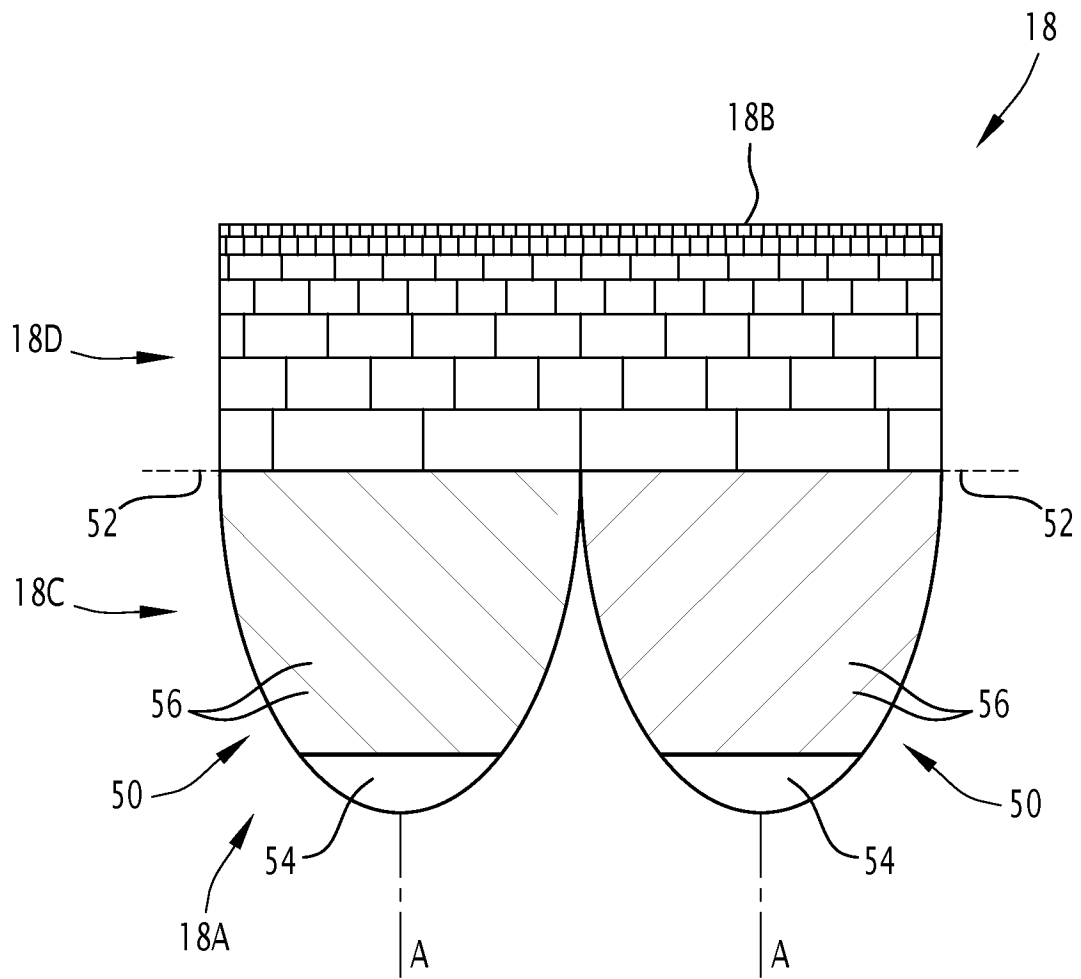


FIG.7

8/8

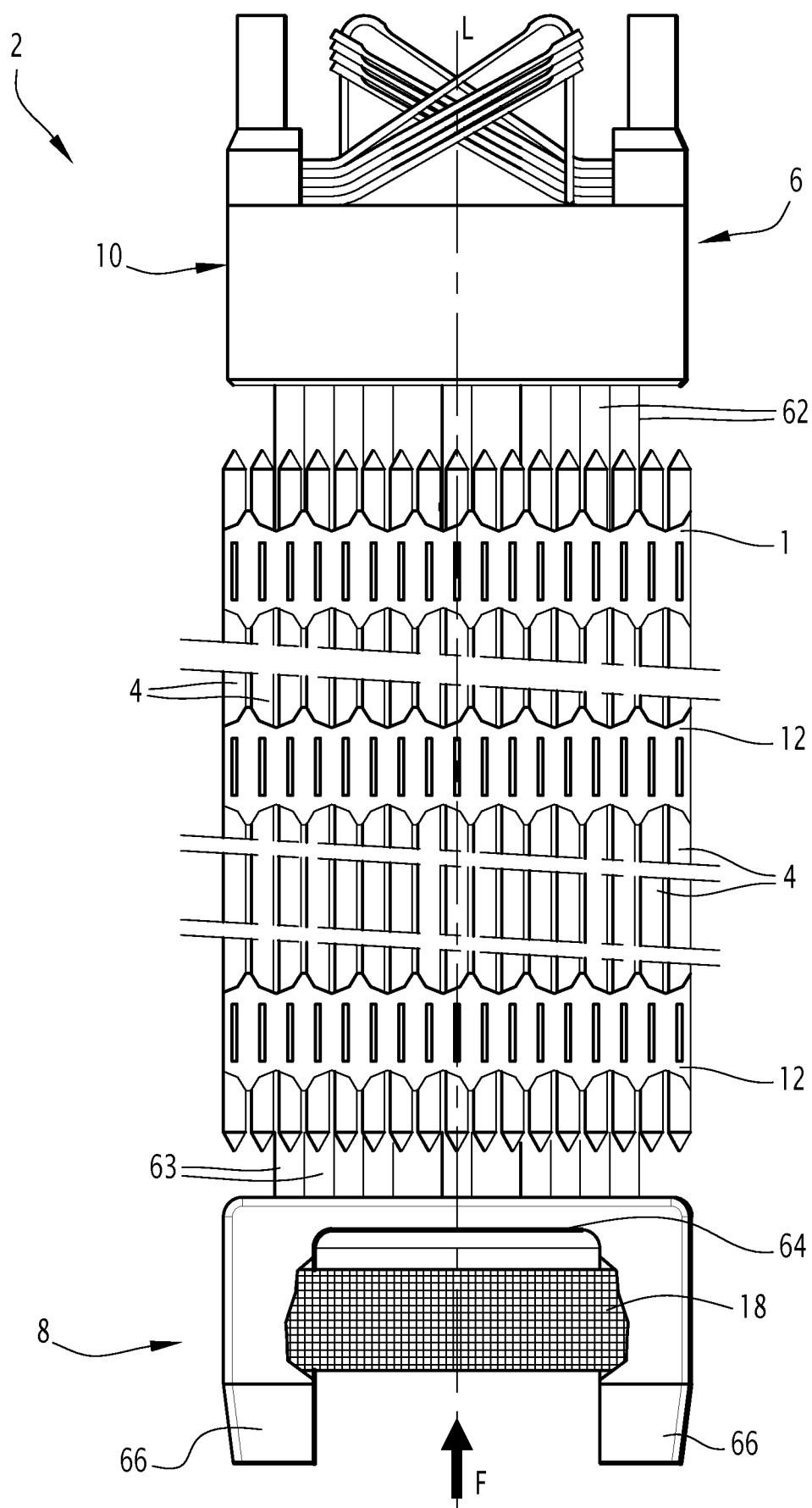


FIG. 8