



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F28F 1/10 (2023.05); F28F 3/02 (2023.05); B22F 10/28 (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2023108622, 06.04.2023

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.04.2023Дата регистрации:
17.07.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.04.2023

(45) Опубликовано: 17.07.2023 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

420136, Респ. Татарстан, г. Казань, ул. Фатыха
Амирхана, 77, кв. 257, Путилова Надежда
Владиславовна

(72) Автор(ы):

Лопатин Алексей Александрович (RU),
Свирина Анна Андреевна (RU),
Габдуллина Розалия Альбертовна (RU),
Биктагирова Айгуль Рафисовна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Лопатин Алексей Александрович (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2215963 C2, 10.11.2003. RU
2626032 C2, 21.07.2017. EA 39188 B1, 15.12.2021.
SU 1102494 A3, 07.07.1984. KR 20220159460 A,
02.12.2022. US 2008044621 A1, 21.02.2008.

(54) Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой

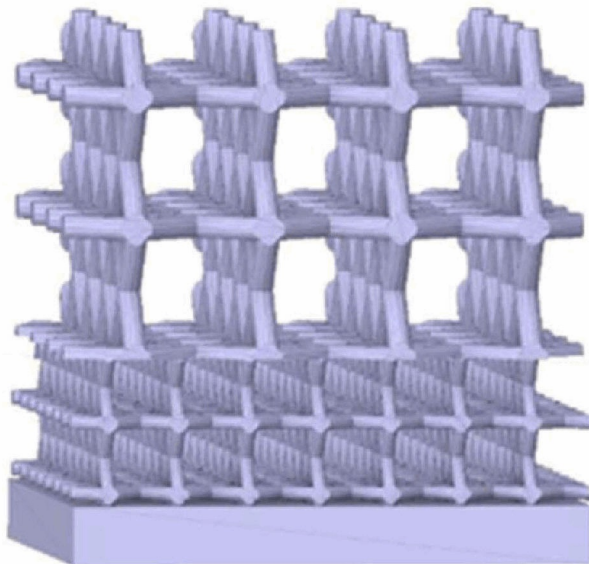
(57) Реферат:

Заявленная полезная модель относится к теплообменным устройствам, например, радиаторам, содержащим охлаждающую решетчатую часть. Указанные устройства имеют универсальный характер, их можно использовать, например, для охлаждения микропроцессоров, силовых транзисторов, энергетических установок и др. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой выполнен методом селективного лазерного плавления из металла, содержащий корпусную поверхность с возможностью контакта с генерирующим тепло устройством и охлаждающую часть, соединенную с корпусной поверхностью, при этом охлаждающая часть содержит пространственную решетчатую упорядоченную структуру. Пространственная решетчатая упорядоченная структура содержит 2-30 стопок различных ориентированных решетчатых элементов, расположенных друг над

другом и соединенных друг с другом в точках соединения. При этом стопки выполнены с градиентом по отношению друг к другу – каждая стопка содержит одноименные между собой, но разноименные с соседними стопками решетчатые элементы, при этом каждая стопка содержит 2-1500 слоев одноименных ориентированных решетчатых элементов толщиной в один решетчатый элемент, соединенных друг с другом в точках соединения, при этом размер одного решетчатого элемента составляет 0,1-100 мм. Техническим результатом заявленной полезной модели является создание теплообменного элемента с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой, позволяющий по сравнению с прототипом повысить эффективность теплоотдачи вследствие чередования решетчатых элементов по форме и размеру. 4 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 219432 U1

RU 219432 U1



Фиг. 2

RU 219432 UN 219432

RU 219432 UN

Заявленная полезная модель относится к теплообменным устройствам, например, радиаторам, содержащим охлаждающую решетчатую часть. Указанные устройства имеют универсальный характер, их можно использовать, например, для охлаждения микропроцессоров, силовых транзисторов, энергетических установок и др.

5 Далее в тексте заявителем приведено пояснение терминов, которое необходимо для облегчения однозначного понимания сущности заявленных материалов и исключения противоречий и/или спорных трактовок при выполнении экспертизы по существу.

Решетчатый элемент – ячейка, может быть разного размера и различной формы.

10 Слой – двумерная последовательность связанных между собой одноименных решетчатых элементов толщиной в один решетчатый элемент (ячейку).

Стопка – последовательность одноименных слоев, расположенных друг над другом.

Градиент – в контексте настоящего описания чередование размера и/или формы соседних стоек.

15 Активное развитие радиоэлектронного и электросилового оборудования в последние 10-15 лет привело к значительному росту тепловыделения с единицы площади компонента. В таких условиях использование традиционных радиаторов в пассивных или активных системах охлаждения зачастую уже не обеспечивает адекватного отвода тепла и приводит к возникновению локального перегрева. При этом нарушение теплового режима эксплуатации является наиболее распространенной причиной выхода
20 из строя электронных компонентов. Для повышения эффективности работы систем отвода тепла возможно использовать теплообменные элементы с пространственной решетчатой структурой или упорядоченной пористостью. Такой подход позволяет обеспечить оптимальные режимные параметры теплоотдачи в условиях свободной и вынужденной конвекции, а также кипения.

25 Известно изобретение по патенту RU № 2127408 «Теплообменная труба», сущностью является теплообменная труба, содержащая пакет пористых элементов, размещенных по длине трубы, и установленных с переменной пористостью, уменьшающейся в направлении движения горячего потока, отличающаяся тем, что каждый пористый элемент выполнен в виде объемной решетки, образующей ячейки, соосные в трех
30 ортогональных плоскостях, при этом элементы расположены по длине и по диаметру трубы вплотную друг к другу. Труба, отличающаяся тем, что ячейки пористого элемента выполнены или квадратного, или прямоугольного, или круглого сечения. Труба, отличающаяся тем, что пористый элемент содержит не менее четырех ячеек. Труба, отличающаяся тем, что пористые элементы прикреплены друг к другу и к корпусу
35 посредством пайки или сварки.

Недостатками известного технического решения является то, что пористые элементы устанавливаются в корпус теплообменной трубы путем простого набора или предварительно скрепленными между собой путем спайки, сварки или спекания, либо крепятся к корпусу за счет сил трения, либо путем спайки или сварки, что делает данное
40 техническое устройство ненадежным с точки зрения эксплуатации – так как оно является не цельным, эта вставка может вылететь, крепления могут повредиться. Кроме этого, известное техническое решение не является универсальным – например, оно не может быть использовано для охлаждения тепловыделяющих компонентов радиоэлектронного оборудования.

45 Известно изобретение по патенту № WO 2013053174 (A1) «Высокоэффективный радиатор с пористой металлической структурой», сущностью является высокоэффективный радиатор с пористой металлической структурой, содержащий пластинчатую теплопроводную часть, соединенную с источником тепла, и блочную

теплоотводящую часть, соединенную с теплопроводной частью, отличающийся тем, что: теплоотводящая часть (1) представляет собой пористую металлическую конструкцию, теплопроводная часть (3), соединенная с теплопроводной частью (2), равномерно распределена в теплоотводящей части, а теплопроводная часть, теплопроводящая полоса и теплоотводящая часть представляют собой единую

5 конструкцию. Высокоэффективный радиатор с пористой металлической структурой, отличающийся тем, что теплопроводные полосы расположены через равные промежутки, а теплопроводные полосы соединены как одно целое с образованием

10 недостатками известного технического решения является нетехнологичный способ изготовления, устройство подразумевает собой составное металлическое тело, а также известное техническое решение ограничено областью применения: относится к устройствам отвода тепла для полупроводниковых или других твердотельных приборов, в частности, к высокоэффективным радиаторам с пористой металлической структурой,

15 используемым для отвода тепла мощных полупроводниковых микросхем и мощных светодиодов.

Наиболее близким по совокупности признаков, выбранным заявителем в качестве прототипа, является изобретение по патенту US 2016069622 «Радиатор с охлаждающей структурой с уменьшающейся плотностью структуры». Сущностью является радиатор

20 для охлаждения теплогенерирующего устройства, содержащий: корпусную часть с первой поверхностью для контакта с генерирующим тепло устройством; и охлаждающую часть, соединенную со второй поверхностью корпусной части и включающую охлаждающую конструкцию; при этом плотность материала охлаждающей конструкции уменьшается с увеличением расстояния до второй и/или первой поверхности

25 корпусной части; при этом охлаждающая часть содержит трехмерную сетку или решетчатую охлаждающую структуру; и при этом при определении центральной линии или оси, перпендикулярной первой поверхности корпусной части и проходящей через центр корпусной части, плотность материала охлаждающей конструкции уменьшается с увеличением расстояния во всех направлениях до указанной центральной оси;

30 характеризуется тем, что толщина материала охлаждающей конструкции уменьшается с увеличением расстояния до второй поверхности корпусной части; или характеризуется тем, что по меньшей мере, часть второй поверхности образует изогнутую вверх или куполообразную, или конусообразную, или пирамидальную верхнюю поверхность, с которой соединена охлаждающая конструкция. Радиатор по любому из пп.1-3, в котором

35 первая поверхность является первой внешней поверхностью корпусной части, и вторая поверхность представляет собой вторую внешнюю поверхность корпусной части. Радиатор по любому из пп.1-4, отличающийся тем, что корпусная часть имеет нижнюю наружную поверхность, удерживающую первую поверхность, и при этом по меньшей мере часть второй поверхности образует проходящую вверх верхнюю поверхность, с которой соединена охлаждающая конструкция. Радиатор по любому из пп.1-5, в котором

40 по меньшей мере часть решетчатой охлаждающей конструкции образована различными ориентированными решетчатыми элементами, соединенными с друг друга в точках соединения, причем плотность материала уменьшается с увеличением расстояния до второй и/или первой поверхности корпусной части для нескольких

45 разноориентированных элементов решетки, соединенных друг с другом в точках соединения; и/или при этом решетчатая или решетчатая охлаждающая конструкция изготовлена из материала, образующего каналы для потока воздуха и/или жидкости, и при этом общее пространство, занимаемое каналами для воздуха и/или жидкости

внутри охлаждающей конструкции больше, чем общее пространство, занимаемое материальными частями охлаждающей конструкции. Радиатор по любому из пп.1-6, в котором трехмерная решетчатая или решетчатая охлаждающая структура представляет собой пространственную решетчатую структуру. Радиатор по любому из пп.1-7, в котором решетчатая или подобная решетке охлаждающая конструкция изготовлена из твердого материала, ограничивающего воздух и/или каналы потока жидкости; или при этом охлаждающая конструкция, подобная сетке или решетке, изготовлена из структуры материала, образующей каналы для потока воздуха и/или жидкости, и при этом по меньшей мере часть структуры материала является полый. Радиатор по любому из пп.1-8, в котором корпусная часть и охлаждающая часть с охлаждающей конструкцией монолитно соединены друг с другом. Радиатор по любому из пп.1-9, в котором охлаждающая конструкция изготовлена из металла, такого как алюминий или медь; или при этом охлаждающая конструкция изготовлена из технической керамики, такой как нитрид алюминия (AlN) или карбид кремния; или при этом охлаждающая конструкция изготовлена из композита, содержащего графит и/или углерод, такой как графен или углеродные нанотрубки. Способ изготовления радиатора, содержащего охлаждающую конструкцию по любому из пп.1-11, причем указанный способ включает процесс аддитивного производства. Способ по п.12, в котором процесс аддитивного производства включает процесс селективного лазерного плавления (SLM).

Недостатками прототипа является недостаточная эффективность теплоотдачи вследствие отсутствия чередования решетчатых элементов различной формы и размера.

Техническим результатом заявленной полезной модели является создание теплообменного элемента с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой, позволяющий по сравнению с прототипом повысить эффективность теплоотдачи вследствие чередования решетчатых элементов по форме и размеру.

Сущностью заявленного технического решения является теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой, выполненный методом селективного лазерного плавления из металла, содержащий корпусную поверхность с возможностью контакта с генерирующим тепло устройством и охлаждающую часть, соединенную с корпусной поверхностью, при этом охлаждающая часть содержит пространственную решетчатую упорядоченную структуру, характеризующийся тем, что пространственная решетчатая упорядоченная структура содержит 2-30 стопок различных ориентированных решетчатых элементов, расположенных друг над другом и соединенных друг с другом в точках соединения, при этом стопки выполнены с градиентом по отношению друг к другу – каждая стопка содержит одноименные между собой, но разноименные с соседними стопками решетчатые элементы, при этом каждая стопка содержит 2-1500 слоев одноименных ориентированных решетчатых элементов толщиной в один решетчатый элемент, соединенных друг с другом в точках соединения, при этом размер одного решетчатого элемента составляет 0,1-100 мм. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по п.1, характеризующийся тем, что градиентом является размер решетчатых элементов. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по п.1, характеризующийся тем, что градиентом является форма решетчатых элементов. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по п.1, характеризующийся тем, что градиентом является размер и форма решетчатых элементов. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по любому из п. 3, 4, характеризующийся тем,

что форма решетчатых элементов в любой стопке выполнена призматической, цилиндрической, сферической, искривленной осесимметричной.

Заявленное техническое решение иллюстрируется фиг.1-3.

На фиг.1 приведена схематично конструкция заявленного теплообменного элемента с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой.

На фиг.2 приведена схематично конструкция заявленного теплообменного элемента с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по Примеру 1 – с двумя стопками, содержащими ячейки одинаковой формы, но разного размера.

На фиг.3 приведен схематично вид сбоку заявленного теплообменного элемента с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по Примеру 3 - с семью стопками, содержащими ячейки разной формы и разного размера.

Далее заявителем приведено описание заявленного технического решения.

Заявленный технический результат достигается разработкой теплообменного элемента с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой (далее - теплообменный элемент, или ТО).

Преимущество заявленного технического решения состоит в обеспечении максимально эффективного взаимодействия теплообменного элемента с потоками теплоносителя за счет чередования пространственной решетчатой структуры ТО. Также заявленный ТО предполагает рост отводимых тепловых потоков за счёт кратного увеличения площади теплообмена по сравнению с традиционными теплообменными элементами, а также смены условий теплоотдачи, связанной с более ранней реализацией ламинарно-турбулентного перехода.

Далее заявителем приведена конструкция заявленного теплообменного элемента.

Заявленный теплообменный элемент выполнен методом селективного лазерного плавления из металла, например, сплава железа, алюминия, меди и др., и содержит (фиг.1):

корпусную поверхность 1 с возможностью контакта с генерирующим тепло устройством;

охлаждающую часть 2, соединенную с корпусной поверхностью 1.

При этом охлаждающая часть 2 содержит пространственную решетчатую упорядоченную структуру (далее – решетчатая структура), которая образована 2-30 стопками 3 различных ориентированных решетчатых элементов, расположенных (стопки) друг над другом и соединенных друг с другом в точках соединения.

При этом стопки выполнены с градиентом по отношению друг к другу – каждая стопка содержат одноименные между собой, но разноименные с соседними стопками решетчатые элементы, при этом:

в одном частном случае выполнения градиентом является размер решетчатых элементов,

во втором частном случае выполнения градиентом является форма решетчатых элементов,

в третьем частном случае выполнения градиентом является размер и форма решетчатых элементов.

При этом каждая стопка содержит 2-1500 слоев одноименных ориентированных решетчатых элементов (ячеек) толщиной в один решетчатый элемент, соединенных друг с другом в точках соединения.

При этом размер одного решетчатого элемента (ячейки) составляет 0,1-100 мм.

При этом форма решетчатых элементов (ячеек) в любой стопке в частных случаях выполнения: призматическая, цилиндрическая, сферическая, искривленная

осесимметричная.

Заявленный пористый теплообменный элемент может быть выполнен методом аддитивного производства, конкретно – путем селективного лазерного плавления (СЛП). В процессе СЛП может использоваться металл для формирования радиатора с охлаждающей конструкцией, например, сплава железа, алюминия, меди и др. Процесс начинается с создания 3D-модели заявленного теплообменного элемента, а затем разделения данных 3D-файла на слои, с созданием 2D-изображения каждого слоя. Затем указанный файл загружается в пакет программного обеспечения, который позволяет интерпретировать и создавать заявленный теплообменный элемент с помощью различных типов машин для аддитивного производства. В процессе СЛП слои металлического порошка равномерно распределяются на металлическую подложку, которая крепится к делительному столику, который перемещается по вертикальной оси. Процесс производится внутри камеры, содержащей строго контролируемый объем инертного газа, например, аргона или азота. После того как слой металлического порошка распределяется на металлической подложке, каждый геометрический срез детали сплавляется путем выборочного применения лазерной энергии к поверхности детали путем направления сфокусированного лазерного луча при помощи двух высокочастотных сканирующих зеркал по осям X и Y. Энергией лазера обеспечивается полное сплавление/спекание частиц с образованием твердого металлического теплообменного элемента. Процесс повторяется слой за слоем, пока деталь не будет построена.

Далее заявителем приведены примеры использования заявленной полезной модели.

Пример 1. Использование заявленного теплообменного элемента с пространственной решетчатой структурой по сравнению с прототипом.

Экспериментальные исследования были проведены согласно методическим основам научных исследований [Гортышов, Ю.Ф. Теория и техника теплофизического эксперимента. 2-е изд., перераб. и доп. / Ю.Ф. Гортышов, Ф.Н. Дресвянников, Н.С. Идиатуллин и др. / Под ред. В.К. Щукина. М.: Изд-во «Энергоатомиздат». 1993. 448 с. И Сергеев, А.Г. Метрология. Учеб. пособие для вузов / А.Г. Сергеев, В.В. Крохин / М.: Изд-во «Логос». 2002. 408 с.].

Для экспериментальных исследований теплоотдачи в условиях вынужденной конвекции была использована экспериментальная установка, созданная по схеме разомкнутого расходного контура, состоящая из системы подачи воздуха, рабочего участка и системы измерений. Система подачи (всасывания) воздуха представляет собой воздухоподувку с шиберной задвижкой, которая служит для регулирования расхода воздуха, а также трубка Пито и измеритель динамического давления.

Объектом исследования являются системы охлаждения:

по прототипу - теплообменный элемент № 1,

по заявленному решению - теплообменный элемент № 2.

В качестве нагревателя был разработан и создан тепловой клин, обеспечивающий равномерно распределенный по торцевой плоскости тепловой поток в диапазоне от 5 до 150 Вт, и имитирующий работу источника ионизирующего излучения. Регулирование мощности электронагревателя осуществлялось лабораторным трансформатором.

Система измерений включает:

1) хромель-копелевые термопары, установленные на поверхностях радиаторов и подключенные к персональному компьютеру с блоком преобразования сигналов термопар SCXI-1130 и процессором NL PXIe-1075 (снятие показаний осуществлялось в среде программирования NI LabVIEW),

- 2) термометр для измерения температуры окружающего воздуха,
- 3) датчик напряжения и тока,
- 4) ваттметр 12 для контроля мощности.

Теплообменный элемент № 1 (по прототипу) представляет собой радиатор
 5 прямоугольной формы с охлаждающей структурой с уменьшающейся плотностью
 структуры, ширина радиатора – 12 см, высота – 24 см, длина – 13 см. Выполнен методом
 селективного лазерного плавления, например, из сплава алюминия AlSi10Mg.

Теплообменный элемент № 2 (по заявленному решению) представляет собой
 10 радиатор, выполненный методом селективного лазерного плавления, например, из
 сплава алюминия AlSi10Mg, содержащий, например, 2 стопки чередующихся решетчатых
 элементов размером 40 мм и 200 мм, всего высота – 24 см, ширина – 12 см, длина – 13
 см. В каждой стопке выполнено по 2 слоя решетчатых элементов. Форма и размер
 решетчатых элементов – в первой стопке призматические размером 20 мм, во второй
 – призматические размером 100 мм (фиг.2).

15 Таким образом, размер заявленного ТО выполнен равным размеру ТО по прототипу
 для чистоты эксперимента.

При проведении экспериментов варьировались следующие параметры:

Q - мощность нагрева рабочего участка при помощи нагревателя: максимально
 допустимая мощность равнялась 150 Вт;

20 G - расход набегающего (охлаждающего) потока от 0,05 кг/с до 0,75 кг/с.

После включения воздуходувки на приборах устанавливали необходимые параметры
 нагрева, стабилизировали расход всасываемого потока. Далее после выхода режима
 нагрева на стационарность для расчета отводимой мощности нагрева производили
 замеры следующих значений: мощность на ваттметре; температурные показания с
 25 персонального компьютера; динамическое давление на измерителе давления.

Все данные фиксировали на персональном компьютере в виде электронной таблицы
 Excel. Обработка экспериментальных данных заключалась в расчете значений
 коэффициента теплоотдачи на различных режимах.

30 По результатам эксперимента при максимальной тепловой нагрузке и максимальном
 режиме обдува коэффициент теплоотдачи в среднем составил:

теплообменного элемента № 1 = $25 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ (по прототипу),

теплообменного элемента № 2 = $37 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ (по заявленному решению).

35 При этом заявленная полезная модель универсальна, так как позволяет более
 эффективно по сравнению с прототипом отводить тепловые потоки высокой плотности
 в различных условиях, например, в условиях свободной и вынужденной конвекции
 (Примеры 2, 3), а также в режиме кипения теплоносителя (Пример 4).

Пример 2. Использование заявленного теплообменного элемента с пространственной
 решетчатой структурой в условиях свободной конвекции.

40 В условиях свободной конвекции наибольшая эффективность работы
 теплоотводящего элемента будет реализовываться при максимальном температурном
 перепаде между рабочим участком и окружающей средой. Это обусловлено тем, что
 движение теплоносителя в условиях свободной конвекции происходит под действием
 массовых сил. При этом, нижние слои более нагретого теплоносителя поднимаются
 45 вверх, оттесняя менее нагретые, и, следовательно, более плотные слои вниз. Для
 обеспечения максимального взаимодействия радиатора с восходящими потоками
 теплоносителя нижние слои пространственного решетчатого теплообменного элемента
 необходимо выполнять с более плотной структурой. При этом, для оптимизации
 гидравлического сопротивления верхнюю часть пространственного решетчатого

теплообменного элемента, наоборот, необходимо выполнить с менее плотной структурой.

Провели последовательность действий по Примеру 1, отличающуюся тем, что в экспериментах отсутствовала система подачи воздуха.

5 Теплообменный элемент № 1 (по прототипу) представляет собой радиатор прямоугольной формы с охлаждающей структурой с уменьшающейся плотностью структуры, ширина радиатора – 0,5 см, высота – 3 см, длина – 1 см. Выполнен методом селективного лазерного плавления, например, из сплава железа 12X18H10T.

10 Теплообменный элемент № 2 по заявленному решению представляет собой радиатор, выполненный методом селективного лазерного плавления, например, из сплава железа 12X18H10T, содержащий, например, 30 стопок чередующихся решетчатых элементов высотой по 1 мм каждая, всего высота – 3 см, ширина – 0,5 см, длина – 1 см. В каждой стопке выполнено по 5 слоев решетчатых элементов. Размер решетчатых элементов каждой стопки 0,2 мм, форма решетчатых элементов в первой стопке – искривленные осесимметричные, во второй – призматические, в третьей – сферические, четвертой – искривленные осесимметричные, в пятой – призматические, в шестой – цилиндрические, в седьмой – искривленные осесимметричные, в восьмой – призматические, в девятой – сферические, в десятой – искривленные осесимметричные, в одиннадцатой – призматические, в двенадцатой – цилиндрические, в тринадцатой – сферические, в четырнадцатой – искривленные осесимметричные, в пятнадцатой – призматические, в шестнадцатой – цилиндрические, в семнадцатой – искривленные осесимметричные, в восемнадцатой – призматические, в девятнадцатой – сферические, в двадцатой – искривленные осесимметричные, в двадцать первой – призматические, в двадцать второй – цилиндрические, в двадцать третьей – призматические, в двадцать четвертой – цилиндрические, в двадцать пятой – призматические, в двадцать шестой – цилиндрические, в двадцать седьмой – призматические, в двадцать восьмой – цилиндрические, в двадцать девятой – цилиндрические, в тридцатой – призматические.

30 Результаты экспериментальных исследований теплоотдачи от заявленного ТО в условиях свободной конвекции показали высокую эффективность использования переменной плотности теплоотдающих элементов.

Так, в диапазоне тепловых нагрузок от 3 до 20 Вт коэффициент теплоотдачи в среднем составил:

35 теплообменного элемента с регулярной структурой = 12 Вт/м²К (по прототипу),
теплообменного элемента с градиентной пространственной решетчатой структурой
= 17 Вт/м²К (по заявленному решению).

Пример 3. Использование заявленного теплообменного элемента с пространственной решетчатой структурой в условиях вынужденной конвекции.

40 В условиях вынужденной конвекции теплоотдача во многом обусловлена скоростью движения теплоносителя внутри и вблизи теплоотдающего элемента. В этом случае максимальный теплоотдающий эффект от применения градиентной структуры будет достигаться при условии, когда более плотная структура пространственного решетчатого элемента будет расположена в верхней части теплообменного элемента. Такой подход позволит обеспечить максимальную тепловую эффективность при минимальном гидравлическом сопротивлении.

45 Провели последовательность действий по Примеру 1.

Теплообменный элемент № 1 (по прототипу) представляет собой радиатор прямоугольной формы с охлаждающей структурой с уменьшающейся плотностью структуры, ширина радиатора – 3 см, высота – 4,5 см, длина – 4 см. Выполнен методом

селективного лазерного плавления, например, из сплава меди М1.

Теплообменный элемент по заявленному решению представляет собой радиатор, выполненный методом селективного лазерного плавления, например, из сплава меди М1, содержащий, например: 7 стопок чередующихся решетчатых элементов высотой 1,5 мм, 9 мм, 3 мм, 6 мм, 9 мм, 15 мм, 1,5 мм соответственно, всего высота – 4,5 см, ширина – 3 см, длина – 4 см. В каждой стопке выполнено по 3 слоя решетчатых элементов. Форма и размер решетчатых элементов: в первой стопке призматические размером 0,5 мм, во второй – призматические размером 3 мм, в третьей – сферические размером 1 мм, в четвертой – призматические размером 2 мм, в пятой – искривленные осесимметричные размером 3 мм, в шестой – призматические размером 5 мм, в седьмой – призматические размером 0,5 мм (фиг.3).

Проведенные экспериментальные исследования тепловой эффективности пространственных решетчатых теплообменных элементов в условиях вынужденной конвекции продемонстрировали рост теплоотдачи в градиентных структурах по сравнению с регулярными.

Так, в диапазоне тепловых нагрузок от 10 до 40 Вт коэффициент теплоотдачи в среднем составил:

теплообменного элемента с регулярной структурой = 73-76 Вт/м²К (по прототипу),
теплообменного элемента с градиентной пространственной решетчатой структурой = 89 Вт/м²К (по заявленному решению).

Пример 4. Использование заявленного теплообменного элемента с пространственной решетчатой структурой в условиях кипения.

Максимальная эффективность пространственных решетчатых теплообменных элементов с точки зрения теплоотдачи при отводе тепловых нагрузок высокой плотности обеспечивается в процессе реализации пузырькового кипения. Для реализации стабильного пузырькового кипения в решетчатой структуре необходимо обеспечить наличие готовых центров парообразования и наиболее благоприятные условия для зарождения и роста пузырей. Таким образом, при реализации такого подхода необходимо, чтобы нижняя часть теплоотдающего элемента была выполнена из решетчатых конструкций высокой плотности, а верхняя часть из менее плотных элементов. Этот подход позволяет обеспечить на нижней наиболее плотной части конструкции наиболее благоприятные условия для зарождения и роста пузырей, а наименее плотная, верхняя часть решетчатой конструкции, обеспечит динамичный рост и всплытие пузырей. Фактически пространственная решетчатая конструкция теплообменного элемента служит армирующим элементом, обеспечивающим динамичную генерацию пузырей.

Провели последовательность действий по Примеру 1, отличающуюся тем, что в качестве теплоносителя была использована вода, а не воздух.

Теплообменный элемент № 1 (по прототипу) представляет собой радиатор прямоугольной формы с охлаждающей структурой с уменьшающейся плотностью структуры, ширина радиатора – 17 см, высота – 30 см, длина – 20 см. Выполнен методом селективного лазерного плавления, например, из сплава титана ВТ1-0.

Теплообменный элемент по заявленному решению представляет собой радиатор, выполненный методом селективного лазерного плавления, например, из сплава титана ВТ1-0, содержащий, например: 2 стопки чередующихся решетчатых элементов высотой по 15 см каждая, всего высота – 30 см, ширина – 17 см, длина – 20 см. В каждой стопке выполнено по 1500 слоев решетчатых элементов. Форма и размер решетчатых элементов: в первой стопке – цилиндрические размером 0,1 мм, во второй – сферические

размером 0,1 мм.

Использование градиентной пространственной решетки в теплообменном элементе при отводе тепловых потоков высокой плотности в условиях пузырькового кипения позволяет обеспечить максимально ранний переход от стадии начального к стадии развитого пузырькового кипения. Это обеспечивает значительный рост теплоотдачи по сравнению с регулярными решетчатыми структурами.

Так, в диапазоне тепловых нагрузок от 100 до 120 Вт коэффициент теплоотдачи в среднем составил:

теплообменного элемента с регулярной структурой = 200-205 Вт/м²К (по прототипу),
теплообменного элемента с градиентной пространственной решетчатой структурой = 245 Вт/м²К (по заявленному решению).

Таким образом, из описанного выше можно сделать вывод, что заявителем достигнут заявленный технический результат, а именно создан теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой, позволяющий по сравнению с прототипом повысить эффективность теплоотдачи вследствие чередования решетчатых элементов по форме и размеру, что приводит к росту отводимых тепловых потоков за счёт кратного увеличения площади теплообмена, а также смены условий теплоотдачи, связанной с более ранней реализацией ламинарно-турбулентного перехода – см. Примеры 1-4.

При этом заявленная полезная модель универсальна – может быть использована при охлаждении с различными видами теплообмена – свободная и вынужденная конвекция, кипение – см. Примеры 1-4.

(57) Формула полезной модели

1. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой, выполненный методом селективного лазерного плавления из металла, содержащий корпусную поверхность с возможностью контакта с генерирующим тепло устройством и охлаждающую часть, соединенную с корпусной поверхностью, при этом охлаждающая часть содержит пространственную решетчатую упорядоченную структуру, отличающийся тем, что пространственная решетчатая упорядоченная структура содержит 2-30 стопок различных ориентированных решетчатых элементов, расположенных друг над другом и соединенных друг с другом в точках соединения, при этом стопки выполнены с градиентом по отношению друг к другу – каждая стопка содержит одноименные между собой, но разноименные с соседними стопками решетчатые элементы, при этом каждая стопка содержит 2-1500 слоев одноименных ориентированных решетчатых элементов толщиной в один решетчатый элемент, соединенных друг с другом в точках соединения, при этом размер одного решетчатого элемента составляет 0,1-100 мм.

2. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по п.1, отличающийся тем, что градиентом является размер решетчатых элементов.

3. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по п.1, отличающийся тем, что градиентом является форма решетчатых элементов.

4. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной градиентной структурой по п.1, отличающийся тем, что градиентом является размер и форма решетчатых элементов.

5. Теплообменный элемент с пространственной решетчатой упорядоченной

градиентной структурой по любому из пп. 3, 4, отличающийся тем, что форма решетчатых элементов в любой стопке выполнена призматической, цилиндрической, сферической, искривленной осесимметричной.

5

10

15

20

25

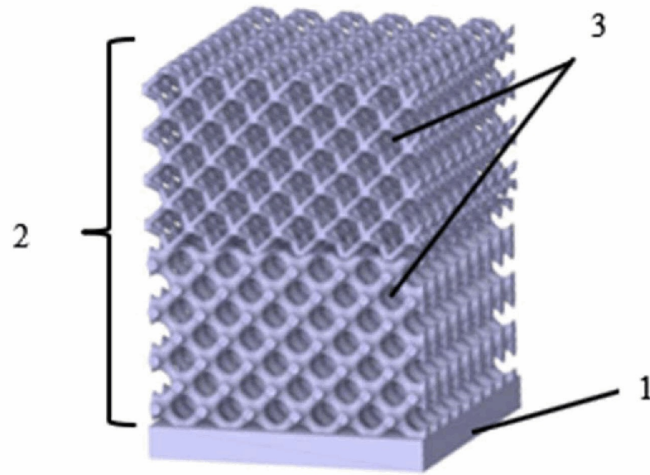
30

35

40

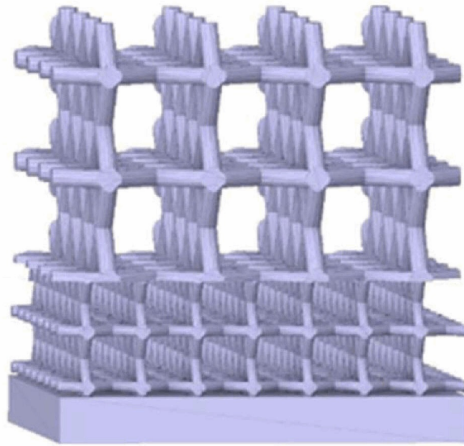
45

1

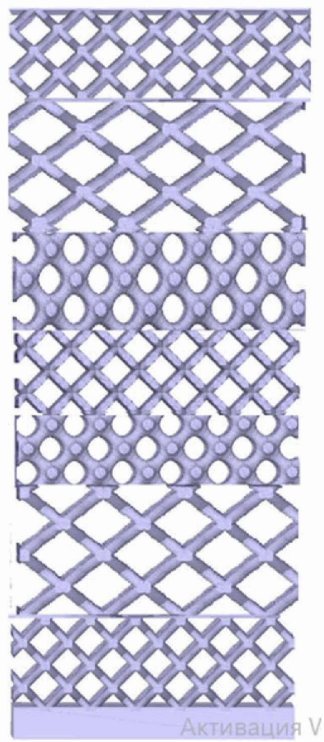


Фиг. 1

2



Фиг. 2



Фиг. 3