



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B32B 3/28 (2019.08); F23R 3/42 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2017126621, 09.01.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.01.2016

Дата регистрации:
13.11.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
09.01.2015 US 62/101,832;
20.02.2015 US 62/118,833

(43) Дата публикации заявки: 11.02.2019 Бюл. № 5

(45) Опубликовано: 13.11.2019 Бюл. № 32

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 09.08.2017

(86) Заявка РСТ:
US 2016/012767 (09.01.2016)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2016/112366 (14.07.2016)

Адрес для переписки:
191036, Санкт-Петербург, а/я 24 "НЕВИНПАТ"

(72) Автор(ы):

ИННЕС Меттью Кристофер (СА),
ФАМ Мин Кван (СА),
ШАНЗЕР Меган (СА),
ШАНИАН Али (СА),
ДЖАВИД Фархад (US),
БЕРТОЛДИ Катя (US)

(73) Патентообладатель(и):

ПРЕЗИДЕНТ ЭНД ФЕЛЛОУС ОФ
ХАРВАРД КОЛЛЕДЖ (US),
Сименс Канада Лимитед (СА)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2738297A, 13.03.1956. US
20140250281 A1, 18.09.2014. WO 2007001392 A3,
18.05.2007. US 4302940 A, 01.12.1981.

(54) Вафельная структура с отрицательным коэффициентом Пуассона

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к непористым ауксетическим структурам, состоящим из одного или нескольких непористых ауксетических слоев, и системам, содержащим такие структуры, предназначенным для применений, включающих камеру сгорания газовой турбины, элемента теплообменника или котла. В одном аспекте описана ауксетическая структура, содержащая первый лист, на котором имеется первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов, при этом первое множество структурных элементов выступает из первого листа в виде выпуклостей,

а второе множество структурных элементов выступает из первого листа в виде вогнутостей, при этом первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов размещены в чередующемся взаимном расположении, причем первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов выполнены с возможностью обеспечения отрицательного коэффициента Пуассона, при этом первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов обладают нулевой пористостью, что предотвращает

протекание жидкостей сквозь множество структурных элементов; и второй лист, который прилегает к первому листу с образованием первой внутренней полости между первым и вторым листами. В других аспектах один или несколько дополнительных листов могут использоваться

для получения многослойной структуры, имеющей ауксетические свойства. Изобретение обеспечивает создание ауксетической структуры, которая обеспечивает характеристику отрицательного коэффициента Пуассона. 3 н. и 14 з.п. ф-лы, 6 ил.

RU 2706058 C2

RU 2706058 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

B32B 3/28 (2019.08); **F23R 3/42** (2019.08)(21)(22) Application: **2017126621, 09.01.2016**(24) Effective date for property rights:
09.01.2016Registration date:
13.11.2019

Priority:

(30) Convention priority:
09.01.2015 US 62/101,832;
20.02.2015 US 62/118,833(43) Application published: **11.02.2019 Bull. № 5**(45) Date of publication: **13.11.2019 Bull. № 32**(85) Commencement of national phase: **09.08.2017**(86) PCT application:
US 2016/012767 (09.01.2016)(87) PCT publication:
WO 2016/112366 (14.07.2016)Mail address:
191036, Sankt-Peterburg, a/ya 24 "NEVINPAT"

(72) Inventor(s):

SHANIAN Ali (CA),
SCHAENZER Megan (CA),
PHAM Minh Quan (CA),
INNES Matthew Christopher (CA),
BERTOLDI Katia (US),
JAVID Farhad (US)

(73) Proprietor(s):

Siemens Canada Limited (US),
PRESIDENT AND FELLOWS OF HARVARD
COLLEGE (CA)(54) **WAFFLE STRUCTURE WITH NEGATIVE POISSON COEFFICIENT**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: group of inventions relates to non-porous auxetic structures consisting of one or more non-porous auxaline layers, and systems containing such structures intended for applications, including combustion chamber of gas turbine, heat exchanger element or boiler. In one aspect, an auxetic structure is described, comprising a first sheet on which there is a first plurality of structural elements and a second plurality of structural elements, wherein first plurality of structural elements protrudes from first sheet in form of bulges, and second plurality of structural elements protrudes from first sheet in form of concavities, wherein first plurality of structural elements and second

plurality of structural elements are arranged in alternating relative position, wherein the first plurality of structural elements and the second plurality of structural elements are configured to provide a negative Poisson ratio, wherein first plurality of structural elements and second plurality of structural elements have zero porosity, which prevents leakage of liquids through multiple structural elements; and a second sheet that adjoins the first sheet to form a first inner cavity between the first and second sheets. In other aspects, one or more additional sheets can be used to produce a multilayer structure having auxetic properties.

EFFECT: invention provides creating an auxetic structure which provides a characteristic of a negative

R U 2 7 0 6 0 5 8 C 2

R U 2 7 0 6 0 5 8 C 2

Перекрестная ссылка на родственные заявки

[0001] Данная заявка испрашивает право приоритета согласно предварительной заявке на патент США №62/118833, зарегистрированной 20 февраля 2015 г., и согласно предварительной заявке на патент США №62/101832, зарегистрированной 9 января 5 2015 г., обе они полностью включены в текст данного документа посредством ссылки.

Область техники, к которой относится изобретение

[0002] Данное изобретение относится, в целом, к непористым ауксетическим структурам, состоящим из одного или нескольких непористых ауксетических слоев, и системам, содержащим такие структуры.

10 Предпосылки создания изобретения

[0003] Когда материалы сжимают по определенной оси, обычно наблюдается, что они расширяются в направлениях, перпендикулярных прикладываемой осевой нагрузке. И наоборот, большинство материалов сжимается по определенной оси, когда растягивающее усилие прикладывается по оси, перпендикулярной оси сжатия.

15 Характеристика материала, которая характеризует это поведение, известна как коэффициент Пуассона, который может быть определен как взятое с обратным знаком отношение поперечной деформации к осевой/продольной деформации в условиях осевой нагрузки. Большинство материалов характеризуются положительным коэффициентом Пуассона (например, приблизительно 0,3 для алюминия, латуни и стали) и расширяются 20 в поперечном направлении, когда сжимаются в осевом направлении, и сжимаются в поперечном направлении, когда растягиваются в осевом направлении. Материалы с отрицательным коэффициентом Пуассона (Negative Poisson's Ratio, NPR), известные также как "ауксетические" материалы, с другой стороны, сжимаются в поперечном направлении, когда сжимаются в осевом направлении, и расширяются в поперечном 25 направлении, когда растягиваются в осевом направлении.

[0004] В патенте США №5233828 ("патенте '828"), Phillip D. Napoli, показан пример разработанного структурного элемента - футеровки камеры сгорания, используемой в высокотемпературных применениях. Футеровки камеры сгорания вообще 30 используются в блоке камеры сгорания газовой турбины. Футеровки камеры сгорания могут использоваться также в выпускной секции или в других секциях или компонентах газовой турбины, таких как лопатки турбины. Во время работы камеры сгорания сжигают газ при очень высоких температурах, до 1649°C и выше. Чтобы воспрепятствовать разрушению камеры сгорания этой интенсивной теплотой прежде, чем она выходит в турбину, футеровка камеры сгорания предусматривается во 35 внутренней области камеры сгорания, чтобы изолировать окружающий двигатель. Чтобы минимизировать перепады температуры и давления в футеровках камеры сгорания, традиционно предусматривались охлаждающие прорези, такие как показанные в патенте '828. В патенте '828 показана часть футеровки кольцевой камеры сгорания, имеющей отверстия охлаждения, расположенные в непрерывном порядке под углом 40 сквозь стенку футеровки. Патент США №8066482 B2, James Page Strohl et al., показывает другой пример разработанного структурного элемента, имеющего отверстия охлаждения, сформированные для улучшения охлаждения необходимой области газовой турбины и уменьшения уровней напряжения в отверстиях охлаждения и вокруг них.

Европейский патентный документ №EP 0971172 A1, Dr. Jakob Keller, аналогично 45 показывает другой пример перфорированной футеровки камеры сгорания, используемой в зоне горения газовой турбины.

[0005] В еще одном примере в заявке на патент США №2010/0009120 A1, Mary C. Bouse et al., раскрывается ряд трансформируемых периодических структур, содержащих

высокоэластичные или упругопластические периодические твердые частицы, которые испытывают трансформацию в структурной конфигурации при приложении критического макроскопического напряжения или растяжения. Заявка PCT/US2014/025324, президента и сотрудников Harvard College, раскрывает, среди прочего, пористые структуры с повторяющимися рисунками удлиненных отверстий, обеспечивающих характеристику с отрицательным коэффициентом Пуассона. Заявка PCT/US2014/024830, президента и сотрудников Harvard College, раскрывает, среди прочего, твердое тело, имеющее спроектированную пористую структуру, которая заставляет твердое тело (имеющее положительный коэффициент Пуассона) показывать псевдо-ауксетическое (NPR) поведение при приложении нагрузки к этому твердому телу. Спроектированная пористая структура является пористой до известной степени или доли, которая пригодна, например, для применений, включающих камеры сгорания газовых турбин. Все предшествующие патентные документы включены в текст данного документа посредством ссылок во всей своей полноте во всех отношениях.

Сущность изобретения

[0006] Аспекты данного изобретения относятся, в общем, к непористым ауксетическим структурам и системам.

[0007] По меньшей мере в некоторых аспектах ауксетическая структура содержит первый лист, на котором имеется множество структурных элементов, выступающих из первого листа, причем множество структурных элементов выполнено с возможностью обеспечения отрицательного коэффициента Пуассона, и второй лист, прилегающий к первому листу и служащий для образования первой внутренней полости между первым и вторым листами.

[0008] Согласно некоторым аспектам данных концепций, многослойная ауксетическая структура содержит первый лист, на котором имеется множество структурных элементов, выступающих из первого листа, причем множество структурных элементов выполнено с возможностью обеспечения отрицательного коэффициента Пуассона, второй и третий листы, причем второй лист расположен между первым и третьим листами для образования первой внутренней полости между первым и вторым листами и образования второй внутренней полости между вторым и третьим листами, причем по меньшей мере один из второго и третьего листов включает множество структурных элементов, которое выполнено с возможностью обеспечения отрицательного коэффициента Пуассона.

[0009] В соответствии с другими аспектами данных концепций, многослойная ауксетическая структура содержит первый, второй и третий листы, причем второй лист расположен между первым и третьим листами для образования первой внутренней полости между первым и вторым листами и образования второй внутренней полости между вторым и третьим листами, причем по меньшей мере один из первого, второго или третьего листов включает множество структурных элементов, форма и расположение которых обеспечивает получение в нем отрицательного коэффициента Пуассона.

[0010] Вышеприведенное описание сущности изобретения не предназначено для представления каждой формы осуществления или каждого аспекта данного изобретения. Напротив, оно представляет просто пояснение на примерах некоторых из новых аспектов и признаков, излагаемых здесь ниже. Вышеупомянутые отличительные признаки и преимущества, а также другие отличительные признаки и преимущества данного изобретения будут с очевидностью явствовать из следующего подробного описания типичных форм осуществления и способов выполнения данного изобретения, приводимого вместе с прилагаемыми чертежами и формулой изобретения.

Краткое описание чертежей

[0011] Фиг. 1 изображает непористый ауксетический лист, используемый в соответствии по меньшей мере с некоторыми аспектами данных концепций.

5 [0012] На фиг. 2 показана композитная "вафельная" структура, содержащая ауксетический лист, такой как показанный на фиг. 1, прилегающий к плоскому листу, в соответствии по меньшей мере с некоторыми аспектами данных концепций.

[0013] На фиг. 3 показан изометрический вид составной "вафельной" структуры, содержащей два противоположных ауксетических листа, таких как показанный на фиг. 1, прилегающих друг к другу, в соответствии по меньшей мере с некоторыми аспектами
10 данных концепций.

[0014] На фиг. 4 показан вид сбоку композитной "вафельной" структуры, показанной на фиг. 3.

[0015] На фиг. 5 показан первый пример многослойной композитной "вафельной" структуры, содержащей лист, расположенный между двумя ауксетическими листами,
15 в соответствии по меньшей мере с некоторыми аспектами данных концепций.

[0016] На фиг. 6 показан второй пример многослойной композитной "вафельной" структуры, содержащей три сложенные в стопу ауксетические листы, в соответствии по меньшей мере с некоторыми аспектами данных концепций.

[0017] Данное изобретение способно к различным модификациям и альтернативным
20 формам, и некоторые типичные формы осуществления изобретения показаны в качестве примера на чертежах и будут здесь подробно описаны. Однако следует понимать, что изобретение не ограничено конкретными формами, показанными на чертежах. Напротив, изобретение должно охватывать все модификации, эквиваленты, комбинации и варианты, находящиеся в пределах сущности и объема изобретения, как определено
25 прилагаемой формулой изобретения.

Подробное описание показанных форм осуществления изобретения

[0018] Данные концепции должны пониматься в контексте ауксетических структур, таких как описанные для примера в документах WO 2014/151045 A1 и US 2011/0059291 A1, оба они полностью включены в текст данного документа посредством ссылок.

30 [0019] Данное изобретение пригодно для осуществления во многих различных формах. Показаны на чертежах и будут описаны подробно типичные формы осуществления изобретения, при этом данное описание следует рассматривать как пояснение на примере принципов данного изобретения, и оно не предназначено для ограничения широких аспектов изобретения проиллюстрированными формами осуществления. В той мере,
35 в какой элементы и ограничения раскрыты, например, в разделах реферата, сущности изобретения и подробном описании, но не сформулированы явно в формуле изобретения, они не должны включаться в формулу изобретения, отдельно или все вместе, подразумеваемым образом, косвенно или иным образом. Для целей данного подробного описания, если только это специально не оговаривается и логически допускается,
40 единственное число включает множественное число, и наоборот, и термины "включающий", "содержащий" и "имеющий" являются неограничивающими. Кроме того, слова приближения, таких как "около", "почти", "по существу", "приблизительно" и т.п., могут использоваться здесь, например, в смысле "около, в окрестности или почти что", или "в пределах 3-5%", или "в пределах приемлемых технологических допусков",
45 или их любой логической комбинации.

[0020] Аспекты данного изобретения относятся к гибридным ауксетическим структурам "выступов и пустот", содержащим повторяющиеся рисунки отверстий и выступов, которые обеспечивают характеристику отрицательного коэффициента

Пуассона (NPR) при макроскопическом нагружении. Коэффициент Пуассона вообще выражается как отношение деформации поперечного сжатия к деформации продольного растяжения в деформируемом объекте. Коэффициент Пуассона является обычно положительным для большинства материалов, включая большинство сплавов, полимеров, пенополимеров и твердые тела с ячеистой структурой, которые становятся более тонкими в поперечном сечении при растяжении. Ауксетические структуры, раскрываемые здесь, показывают характеристику отрицательного коэффициента Пуассона.

[0021] Согласно аспектам раскрываемых концепций, когда ауксетическую структуру сжимают по одной оси (например, в направлении Y), коаксиальная деформация приводит к моменту относительно центра каждой ячейки вследствие того, как размещены соседние отверстия. Это, в свою очередь, заставляет ячейки поворачиваться. Каждая ячейка поворачивается в направлении, противоположном направлению поворота ее непосредственных соседей. Этот поворот приводит к уменьшению расстояния вдоль поперечной оси (направлению по оси X) между соседними по горизонтали ячейками. Другими словами, сжатие структуры в направлении Y заставляет ее сжиматься в направлении X. Наоборот, растяжение в направлении Y приводит к расширению в направлении X. В масштабе всей структуры это имитирует поведение ауксетического материала. Но многие из структур, раскрываемых здесь, составлены из обычных материалов. Таким образом, сам по себе материал может иметь положительный коэффициент Пуассона, но благодаря модификации структуры введением рисунков отверстий и комбинаций, раскрываемых здесь, структура ведет себя, локально и/или глобально, как имеющая отрицательный коэффициент Пуассона.

[0022] В отличие от раскрытого типа структуры с NPR, например, тех, которые описаны в документах WO 2014/151045 A1 и US 2011/0059291 A1, включенных в текст данного документа путем ссылок во всей своей полноте во всех отношениях, раскрываемые здесь структуры с NPR не имеют никакой пористости.

[0023] На фиг. 1 показан изометрический вид структуры 10 (например, листового материала, и т.д.), снабженной рисунком с первым множеством структурных элементов 20 (например, "выпуклостями"), сконфигурированных как выступы из плоскости структуры в первом направлении (например, нормально к плоскости листа, и т.д.), и вторым множеством структурных элементов 30, сконфигурированных как выступы из плоскости структуры во втором направлении (например, нормально к плоскости листа в направлении, противоположном первому направлению, и т.д.). В качестве иллюстрации первое множество структурных элементов 20 может содержать выпуклые структуры, выступающие из плоскости структуры в первом направлении, нормальном к плоскости листа, и второе множество структурных элементов 30 может содержать выпуклые структуры, сконфигурированные как выступающие из плоскости структуры во втором направлении, нормальном к плоскости листа (то есть, противоположном первому направлению).

[0024] В различных аспектах структура 10 выполняется из металла, алюминия, стали и/или сплава, в зависимости от конкретного применения, такого как, но не ограничиваясь этим, футеровка камеры сгорания газовой турбины, элемент теплообменника или котел. Для примера, в некоторых высокотемпературных применениях подходящий материал может включать, но не ограничивается этим, "суперсплав", такой как суперсплав на основе никеля (например, инконель (например, IN100, IN600, IN713), Waspaloy, сплавы Rene (например, Rene 41, Rene 80, Rene 95, Rene N5), сплавы Haynes, Incoloy, MP98T, сплавы TMS и CMSX (например, CMSX-4), монокристаллические сплавы и т.д.).

[0025] Структурные элементы 20, 30 трансформируют исходную структуру 10 с положительным коэффициентом Пуассона (Positive Poisson's Ratio, PPR) в структуру с отрицательным коэффициентом Пуассона (NPR), реагирующую на напряжения, действующие по плоскости структуры. Как показано на фиг. 1, большие оси первых
 5 структурных элементов 20 и вторых структурных элементов 30 показаны ортогональными друг к другу, и первые структурные элементы 20 и вторые структурные элементы 30 расположены в чередующемся взаимном расположении. Это расположение не имеет ограничительного характера, и данные концепции включают любое мозаичное расположение одного или нескольких структурных элементов, как раскрыто здесь,
 10 которое обеспечивает отрицательный коэффициент Пуассона (NPR).

[0026] В примере, показанном на фиг. 1, структурные элементы 20, 30 показаны с произвольно выбранными поперечными сечениями, глубиной, и поперечными профилями с целью иллюстрации, и эти параметры могут быть различны в соответствии с различными аспектами данных концепций. В частности, в то время как на приводимых
 15 примерах показана однородность в конструктивных элементах 20, 30, данные концепции включают использование различных структурных элементов (например, сфероидальных или эллипсоидальных выпуклостей), выступающих из одной или обеих сторон листа или структуры 10. Структурные элементы могут включать, например, полностью эллиптические структурные элементы, комбинацию различных структурных элементов,
 20 таких как комбинация структурных элементов в виде сферических выпуклостей и эллиптических структурных элементов. Для любого из этих структурных элементов, структурный элемент может изменяться, среди других переменных конструкции, по глубине, отношению ширины к длине и крутизне наклонной части.

[0027] Структурные элементы 20, 30, однако, могут включать другие формы, чем те,
 25 которые показаны на приводимых в качестве примера фигурах, и не обязательно должны быть подобными друг другу по размеру (например, форма структурного элемента 20 может отличаться от формы структурного элемента 30). Кроме того, расположение структурных элементов 20, 30 не обязательно должно быть таким, как показано, и расположение может отличаться от показанного (например, иметь больший
 30 интервал между структурными элементами 20, 30 или другие соотношения между углами структурных элементов 20, 30). Следует отметить, что мозаичные рисунки не обязательно должны обеспечивать глобальное поведение NPR и вместо этого могут быть сконфигурированы для обеспечения локального поведения с NPR, такого, которое обеспечивают специальные рисунки сужений или расширений в поле смещений
 35 структуры. Структурные элементы 20, 30, показанные как эллиптические "выступы", не ограничены эллипсоидальными структурами (например, они могут включать сферические выпуклости), и могут изменяться, среди других особенностей, по глубине, отношению ширины к длине и крутизне наклонной части. Таким образом, поперечное сечение, глубина и/или поперечные профили структурных элементов 20, 30 могут
 40 значительно изменяться в соответствии с данными концепциями.

[0028] По меньшей мере в некоторых аспектах структура 10, несущая структурные элементы 20, 30, является тонкостенной структурой или структурой тонкостенной оболочки, где толщина материала приблизительно в десять раз меньше чем поперечные
 45 размеры, и такие относительные размеры облегчают реализацию поведения с NPR. Дополнительно, по меньшей мере в некоторых аспектах, радиус поперечного сечения структурного элемента (например, сферической выпуклости) или половина малой оси эллиптического элемента приблизительно составляет менее десятикратной толщины структуры, чтобы облегчить реализацию поведения с NPR. Кроме того, по меньшей

мере, в некоторых аспектах, площадь поперечного сечения структурных элементов 20, 30 покрывает большой участок структуры 10 (например, больше чем приблизительно 40%, больше чем приблизительно 50% и т.д.), чтобы облегчить реализацию поведения с NPR. Там, где предусматриваются сферические структурные элементы (например, сферические выпуклости), в некоторых аспектах глубина сферического структурного элемента составляет приблизительно половину его радиуса, чтобы облегчить реализацию поведения с NPR.

[0029] Как отмечено выше, структурные элементы 20, 30 могут принимать ряд форм (включая множество форм для данного материала или меньшей части материала) и могут быть оптимизированы, чтобы придать желательные механические свойства материалу или его меньшей части. По меньшей мере в некоторых аспектах профили конструктивных элементов 20, 30 определяются следующей функцией:

$$z = f(x, y) = \exp\left(\delta \left[1 - \frac{1}{1 - \frac{|x|^\alpha}{|a|} - \frac{|y|^\beta}{|b|}} \right]\right),$$

ограниченной до:

$$\frac{|x|^\alpha}{|a|} + \frac{|y|^\beta}{|b|} < 1.$$

[0030] Сформированный структурный элемент затем располагается мозаикой на структуре (например, листовом металле, и т.д.), чтобы получить структурный элемент, обеспечивающий как NPR, так и другие характеристики, подходящие для применения (например, площади поверхности теплообмена, и т.д.). В функции, представленной выше, а и b управляет отношением ширины к длине эллипсоида в плоскости $f(x, y)=0$, δ показывает максимальную глубину структурного элемента 20, 30 (например, выступа), и α , β изменяют поперечную кривизну.

[0031] Псевдопористость для структурных элементов может быть определена как отношение между площадью поперечного сечения комбинированного структурного элемента (A_{SE}) и площадью (A_S) всей структуры (то есть, псевдопористость = A_{SE}/A_S). В локальной области (например, единичной ячейке) псевдопористость может пониматься как отношение между площадью одного из структурных элементов 20, 30 и площадью воображаемого геометрического элемента (например, прямоугольника или квадрата), окружающего его.

[0032] Одним преимуществом, обеспечиваемым структурой 10, является нулевая пористость и низкие значения механического напряжения, показываемые при нагрузке с управляемым смещением, вследствие, среди прочего, локального и/или глобального поведения с NPR. Так как раскрытые структуры с NPR являются не имеющими пор и не позволяют проходить никаким жидкостям, они представляют превосходного кандидата на использование в любой конструкции, для которой пористость была бы невыгодна, такой как, но не ограничиваясь этим, компоненты турбины, теплообменники, котлы или любая другая конструкция или компонент, подвергающийся механической и/или тепловой нагрузке.

[0033] Форма(-ы) и/или распределение(-я) структурных элементов 20, 30 по структуре (-ам) 10 или по структурам 100 на фиг. 2-4 могут быть различными, чтобы обеспечивать желательное локальное ауксетическое поведение, такое как допускающее оптимизацию для сложной структуры и/или применения, где требуется различное поведение в различных секциях структуры. Например, конкретная структура 100 (например, футеровка камеры сгорания газовой турбины, и т.д.) может содержать первую часть, имеющую первое расположение структурных элементов 20, 30 (например, форму(-ы), глубину(-ы) и т.д.), вторую часть, имеющую второе расположение структурных элементов 20, 30, и третьей частью, имеющую третье расположение структурных

элементов 20, 30. Вообще, структуры 10, 100 показывают очень низкие значения напряжения в случаях с управляемым смещением и демонстрируют относительно высокую структурную жесткость, делая их очень хорошими кандидатами для использования в обоих условиях нагружения с управлением нагрузкой и смещением.

5 [0034] В частности, структура 100 на фиг. 2-4 определяет пространство или внутреннюю полость 250 между противоположными структурами 10, 200 (фиг. 2) и 10, 10' (фиг. 3-4). Это пространство 250 особенно полезно для использования в таких применениях как котлы или теплообменники, причем улучшения для охлаждения могут быть достигнуты протеканием охлаждающей текучей среды через пространство. Следует
10 отметить, однако, что данные концепции аналогично распространяются на структуры 100 и применения, в которые нагревающий теплоноситель пропускается через пространство 250. Эффективность теплопередачи через структуру 100 дополнительно улучшается при использовании структурных элементов 20, 30 для увеличения площади поверхности структуры 10. Кроме того, волнистая структура структурных элементов
15 20, 20', 30 и 30', изображенная в конфигурации фиг. 3-4, максимизирует площадь поверхности всей структуры 100 и, следовательно, теплопередачу из нее и через нее.

[0035] Кроме того, раскрытые структуры 100 могут содержать более двух листов или структур 10, 10', 200, формируя многослойную структуру, которая содержит, для примера, три, четыре, пять или больше слоев, таких как показанные на фиг. 5-6. На
20 фиг. 5 показан пример многослойной композитной структуры 100, содержащей плоский лист 200, расположенный между двумя ауксетическими листами 10, 10', в соответствии по меньшей мере с некоторыми аспектами данных концепций. На фиг. 6 показан пример многослойной композитной структуры 100, которая содержит три сложенные в стопу ауксетические листа 10, 10', 10" в соответствии по меньшей мере с некоторыми аспектами
25 данных концепций.

[0036] Структуры 100 в примерах на фиг. 2-6 более широко определяются просто как многослойная структура, содержащая два или более (например, 3, 4, 5 и т.д.) слоев или листов. Многослойная структура 100 образована из комбинаций одной или нескольких непористых структур 10, 10', 200 и, необязательно, одной или нескольких
30 пористых структур (то есть, структур, имеющих поры или сквозные отверстия), таких как описанные в документах WO 2014/151045 A1 или US 2011/0059291 A1, включенных в текст данного документа путем ссылок во всей своей полноте во всех отношениях. Таким образом, в соответствии по меньшей мере с некоторыми аспектами данных концепций, многослойная структура 100 сформирована из комбинаций плоского листа
35 (-ов) (см., например, структуру 200 на фиг. 2), рифленого листа(-ов) (см., например, рифленую структуру 10 на фиг. 2) и/или пористого рифленого листа(-ов), ограничивающих одно или несколько пространств 250, 250' между ними, чтобы достигнуть необходимой комбинации структурной характеристики и характеристики охлаждения.

40 [0037] В структурах 100, представленных на фиг. 2-6, структурные элементы 20, 30 (и 20', 30') увеличивают турбулентное течение и улучшают коэффициент теплопередачи, обеспечивая существенное преимущество везде, где внутреннее охлаждение (или нагревание) необходимо для регулирования температуры компонента. Кроме того, использование структурных элементов 20, 30 (и/или 20', 30') таким образом, чтобы
45 передать ауксетическое поведение в связанную структуру 10 (и/или 10') при нагружении, заставляет такие структуры показывать более низкие напряжения, чем напряжения обычного пористого листа, под действием термического напряжения. В качестве одного примера, структуры 100 на фиг. 2-6 могут использоваться в футеровке камеры сгорания,

при этом охлаждающая текучая среда (например, воздух) пропускается через пространства (например, 250) между структурами (например, 10, 10', и т.д.) для улучшения отвода тепла от футеровки камеры сгорания. Особенно там, где футеровка камеры сгорания использует структуры 100, которые содержат один или несколько

5 "снабженных выступами" листов (например, 10, 10'), несущих структурные элементы 20, 30 и т.п., структурные элементы обеспечивают увеличенную площадь поверхности и улучшают механическую реакцию по отношению к реакции плоской или в основном ровной структуры и делают структуру 100 способной выдерживать без разрушения более высокие температуры пламени.

10 [0038] В еще одном примере структура 100, такая как показанная на фиг. 2-6, используется в рабочей лопатке или лопатке направляющего аппарата турбины, с одной или несколькими поверхностями, контактирующими с внешней рабочей средой и, необязательно, внутренней рабочей жидкостью, циркулирующей через пространства (например, 250) структуры. Такая структура 100 содержит один или несколько

15 "снабженных выступами" листов (например, 10, 10'), несущих структурные элементы 20, 30 и т.п. (внешним и/или внутренним образом), чтобы улучшить теплообмен и минимизировать образование мест концентрации напряжений.

[0039] Листы или структуры (например, 10, 10' и т.д.), используемые для формирования структуры 100, могут быть выполнены из металлов или сплавов таких как, но не

20 ограничиваясь этим, тонколистовая сталь или инконель, как подходящие для конкретного применения, подвергаемые обычному процессу формообразования (например, вытяжке, штамповке, прессованию, чеканке, выдавливанию рельефа или чему-либо подобному, каждый из которых может выполняться за один шаг или постепенно за множество шагов), чтобы формировать структурные элементы (например,

25 20, 20', 30, 30', и т.д.). Для листов или структур, имеющих поры или отверстия (не показанные), процесс для формирования пор или отверстий может включать обычный процесс формирования (например, пробивку отверстий, лазерную резку, лазер-штамповку, сверление, резку водяной струей и т.д.), чтобы формировать отверстия. В еще других аспектах структурные элементы (например, 20, 20', 30, 30' или отверстия (не

30 показанные) и т.д.) могут создаваться процессом литья, таким как, но не ограничиваясь этим, точное литье (литье по выплавляемым моделям), литье с расходуемой моделью, литье в песчаную форму, литье в керамическую форму, комбинированное литье в песчаную форму с керамическими стержнями, литье по выжигаемым моделям, литье по газифицируемым моделям или подобными процессами.

35 [0040] В некоторых аспектах листы или структуры (например, 10, 10' и т.д.) формируются как отдельные блоки, которые затем выставляются, собираются и соединяются для формирования структуры 100.

[0041] В других аспектах листы или структуры (например, 10, 10' и т.д.) формируются как единое целое. Для примера, структура 100 пустотелой литой лопатки ротора или

40 направляющего аппарата содержит структурные элементы как определено здесь (например, выступы 20, 20', 30, 30' или отверстия и т.д.) в их внутренних каналах для охлаждения; структура и образующие ее структурные элементы формируются обычным процессом литья, таким как, но не ограниченного этим, процесс изготовления с керамическими стержнями или другим сложным процессом литья.

45 [0042] Данное изобретение не ограничено точными конструкцией и композициями, раскрытыми здесь. Напротив, любые и все модификации, изменения и варианты, очевидные из предшествующего описания, находятся в объеме изобретения, как определено в прилагаемой формуле изобретения. Кроме того, данные концепции

включают любую и все комбинации и субкомбинации предыдущих элементов и аспектов.

(57) Формула изобретения

1. Ауксетическая структура, содержащая:

5 первый лист, на котором имеется первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов, при этом первое множество структурных элементов выступает из первого листа в виде выпуклостей, а второе множество структурных элементов выступает из первого листа в виде вогнутостей, при этом первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов размещены в
10 чередующемся взаимном расположении, причем первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов выполнены с возможностью обеспечения отрицательного коэффициента Пуассона, при этом первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов обладают нулевой пористостью, что предотвращает протекание жидкостей сквозь множество структурных
15 элементов; и

второй лист, который прилегает к первому листу с образованием первой внутренней полости между первым и вторым листами.

2. Ауксетическая структура по п. 1, в которой второй лист является, по меньшей мере по существу, плоским.

20 3. Ауксетическая структура по п. 1, в которой на втором листе имеется третье множество структурных элементов, выступающих из второго листа в виде выпуклостей, и четвертое множество структурных элементов, выступающих из второго листа в виде вогнутостей, причем третье множество структурных элементов и четвертое множество структурных элементов выполнены с возможностью обеспечения отрицательного
25 коэффициента Пуассона.

4. Ауксетическая структура по п. 1, в которой первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов первого листа выполнены в виде эллипсоидальных выпуклостей.

30 5. Ауксетическая структура по п. 3, в которой третье множество структурных элементов и четвертое множество структурных элементов второго листа выполнены в виде эллипсоидальных выпуклостей.

6. Ауксетическая структура по п. 3, в которой первое множество структурных элементов первого листа выровнено относительно соответствующих элементов третьего множества структурных элементов второго листа так, что соответствующие выпуклости
35 прилегают друг к другу, и второе множество структурных элементов первого листа выровнено относительно соответствующих элементов четвертого множества структурных элементов второго листа так, что соответствующие вогнутости прилегают друг к другу.

40 7. Ауксетическая структура по какому-либо из пп. 1-6, в которой первый и второй листы являются металлическими листами.

8. Ауксетическая структура по какому-либо из пп. 2-7, дополнительно содержащая: третий лист, прилегающий ко второму листу так, чтобы образовывать вторую внутреннюю полость между третьим и вторым листами.

45 9. Ауксетическая структура по п. 8, в которой второй лист имеет множество отверстий, чтобы позволить потоку протекать между первой и второй внутренними полостями.

10. Многослойная ауксетическая структура, содержащая:

первый лист, на котором имеется первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов, при этом первое множество структурных элементов

выступает из первого листа в виде выпуклостей, а второе множество структурных элементов выступает из первого листа в виде вогнутостей, при этом первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов размещены в чередующемся взаимном расположении, причем первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов выполнены с возможностью обеспечения отрицательного коэффициента Пуассона, при этом первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов обладают нулевой пористостью, что предотвращает протекание жидкостей сквозь первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов;

второй лист и

третий лист,

при этом второй лист расположен между первым и третьим листами для создания первой внутренней полости между первым и вторым листами и создания второй внутренней полости между вторым и третьим листами, и

по меньшей мере один из второго и третьего листов включает третье множество структурных элементов, причем третье множество структурных элементов выполнено с возможностью обеспечения отрицательного коэффициента Пуассона.

11. Многослойная ауксетическая структура по п. 10, в которой первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов первого листа выполнены в виде эллипсоидальных выпуклостей.

12. Многослойная ауксетическая структура по п. 10, в которой третье множество структурных элементов по меньшей мере одного из второго и третьего листов выполнено в виде эллипсоидальных выпуклостей.

13. Многослойная ауксетическая структура по п. 10, в которой третье множество структурных элементов по меньшей мере одного из второго и третьего листов выполнено в виде отверстий.

14. Многослойная ауксетическая структура по п. 10, в которой каждый из второго и третьего листов содержит упомянутое третье множество структурных элементов.

15. Многослойная ауксетическая структура, содержащая:

первый лист, на котором имеется первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов, при этом первое множество структурных элементов выступает из первого листа в виде выпуклостей, а второе множество структурных элементов выступает из первого листа в виде вогнутостей, при этом первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов размещены в чередующемся взаимном расположении, причем первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов выполнены с возможностью обеспечения отрицательного коэффициента Пуассона, при этом первое множество структурных элементов и второе множество структурных элементов обладают нулевой пористостью, что предотвращает протекание жидкостей сквозь множество структурных элементов;

второй лист и

третий лист,

при этом второй лист расположен между первым и третьим листами для образования первой внутренней полости между первым и вторым листами и образования второй внутренней полости между вторым и третьим листами.

16. Многослойная ауксетическая структура по п. 15, в которой по меньшей мере одно из первого множества структурных элементов и второго множества структурных элементов выполнено в виде эллипсоидальных выпуклостей.

17. Многослойная ауксетическая структура по п. 15, в которой по меньшей мере один из второго и третьего листов включает третье множество структурных элементов с отверстиями в нем.

5

10

15

20

25

30

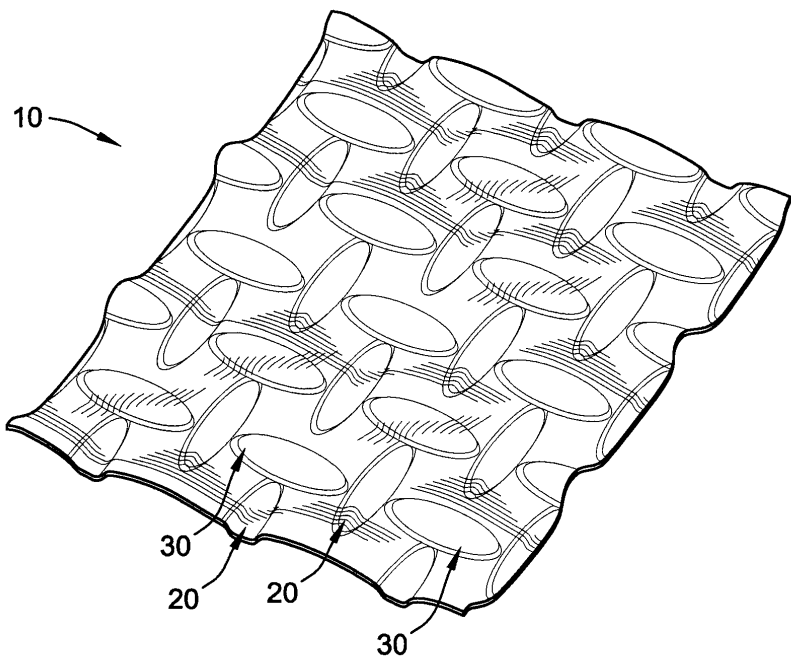
35

40

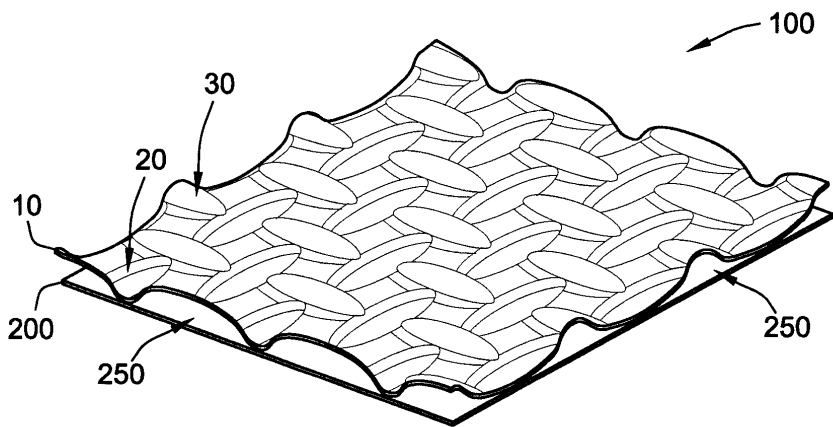
45

1

1/3



Фиг. 1



Фиг. 2

2

