



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004138568/06, 28.05.2003

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.05.2003(30) Конвенционный приоритет:  
28.05.2002 (пп.1-7) SE 0201595-6  
28.05.2002 (пп.1-7) US 60/319,270

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2006

(45) Опубликовано: 20.07.2007 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2124639 C1, 10.01.1999. RU 2061890  
C1, 10.06.1996. DE 4301041 C1, M 28.04.1994.  
FR 2553148 A1, 12.04.1985. US 3043103 A,  
10.07.1962.(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную фазу:  
28.12.2004(86) Заявка РСТ:  
SE 03/00877 (28.05.2003)(87) Публикация РСТ:  
WO 03/100243 (04.12.2003)

Адрес для переписки:  
101000, Москва, М.Златоустинский пер., 10,  
кв.15, "ЕВРОМАРКПАТ", пат.пов.  
И.А.Веселицкой, рег. № 11

(72) Автор(ы):  
ХЕГАНДЕР Ян (SE)(73) Патентообладатель(и):  
ВОЛЬВО АЭРО КОРПОРЕЙШН (SE)

RU 2 303 155 C2

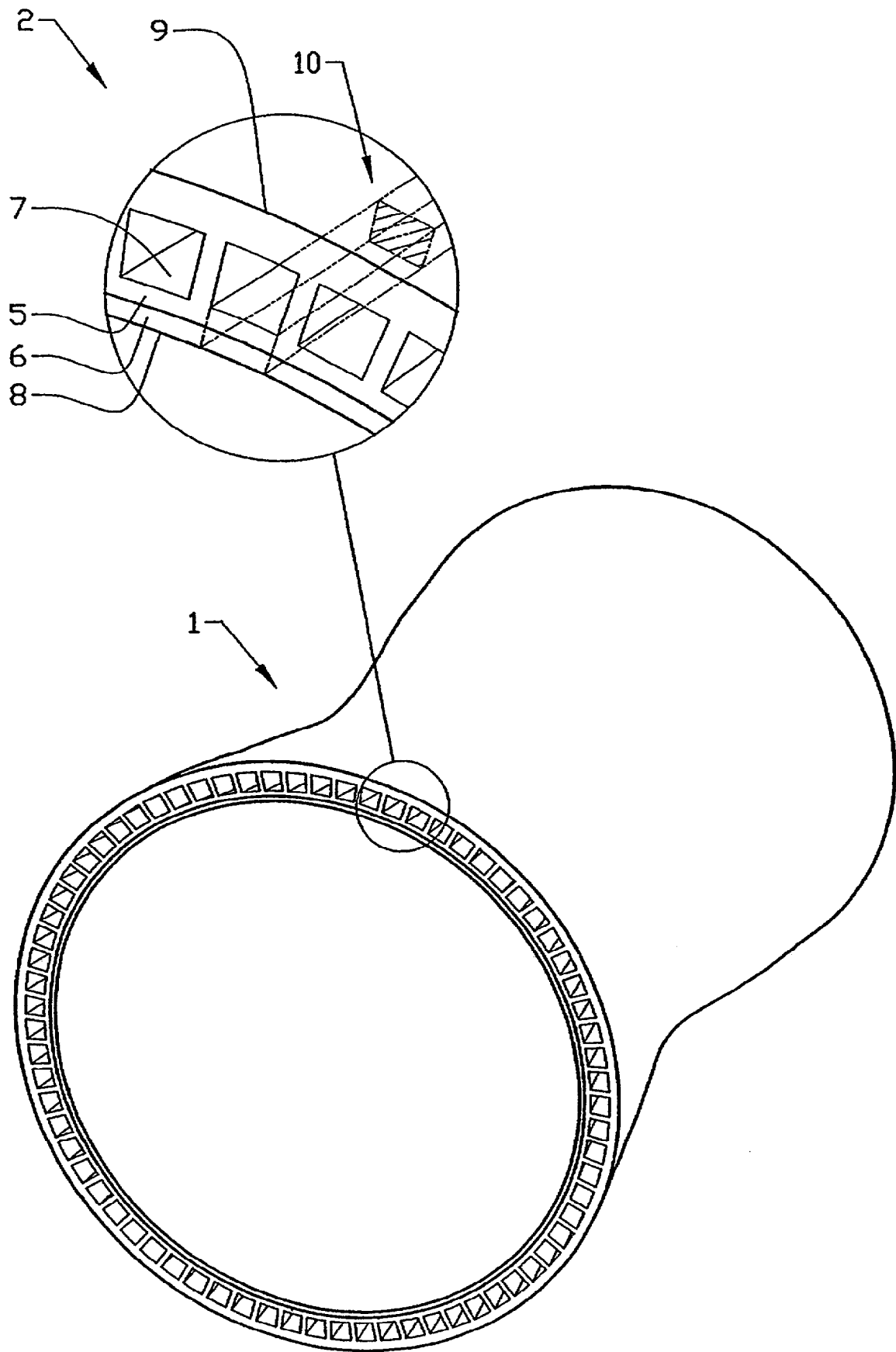
RU 2 303 155 C2

## (54) КОНСТРУКЦИЯ СТЕНКИ И ЭЛЕМЕНТ РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

(57) Реферат:

Изобретение относится к реактивному двигателю космического аппарата. В заявке описана стенка (2), подверженная воздействию тепловых нагрузок и состоящая, по меньшей мере, из первого слоя (5) и второго слоя (6), который расположен ближе, чем первый слой, к источнику тепла и через который тепло передается первому слою. Предлагаемая в изобретении стенка

отличается тем, что первый и второй слои (5, 6) способны воспринимать значительную часть действующей на стенку нагрузки, при этом второй слой (6) обладает большей теплопроводностью и/или меньшим тепловым расширением, чем первый слой (5). Изобретение позволяет уменьшить тепловые деформации, возникающие в стенке (2) под действием тепловой нагрузки. 2 н. и 5 з.п. ф-лы, 3 ил.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2004138568/06, 28.05.2003**

(24) Effective date for property rights: **28.05.2003**

(30) Priority:  
**28.05.2002 (cl.1-7) SE 0201595-6**  
**28.05.2002 (cl.1-7) US 60/319,270**

(43) Application published: **27.01.2006**

(45) Date of publication: **20.07.2007 Bull. 20**

(85) Commencement of national phase: **28.12.2004**

(86) PCT application:  
**SE 03/00877 (28.05.2003)**

(87) PCT publication:  
**WO 03/100243 (04.12.2003)**

Mail address:  
**101000, Moskva, M.Zlatoustinskij per., 10,**  
**kv.15, "EVROMARKPAT", pat.pov.**  
**I.A.Veselitskoj, reg. № 11**

(72) Inventor(s):  
**KhEGGANDER Jan (SE)**

(73) Proprietor(s):  
**VOL'VO AEhRO KORPOREJShN (SE)**

(54) **WEB CONSTRUCTION AND MEMBER OF SPACE VEHICLE JET ENGINE**

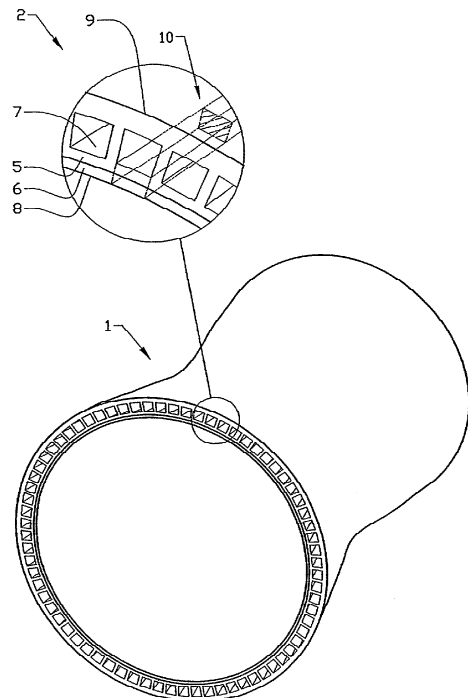
(57) Abstract:

FIELD: space vehicle jet engine.

SUBSTANCE: web(2) subjected to the action of thermal loads has at least the first layer (5) and the second layer (6), which is positioned closer than the first layer to the heat source and through which the heat is transferred to the first layer. The offered web is featured by the fact that the first and second layers (5, 6) can perceive the considerable part of the load acting on the web, the second layer (6) features a greater heat conduction and/or lower thermal expansion as compared with the first layer (5).

EFFECT: reduced thermal deformations arising in the web (2) under the action of heat load.

2 cl, 3 dwg



ФГ. 1

Настоящее изобретение относится к конструкции стенки, подверженной воздействию тепловых нагрузок. Изобретение относится, в частности, к конструкции стенки компонента реактивного двигателя космического аппарата.

Во время работы реактивного двигателя космического аппарата выделяется очень большое количество тепла и стенки камеры сгорания и сопла, в котором происходит расширение газа, нагреваются до очень высоких температур. Для защиты стенок от недопустимого перегрева и разрушения необходимо их эффективное охлаждение. В жидкостных реактивных двигателях, т.е. в двигателях, работающих на жидком топливе, для охлаждения стенок камеры сгорания и сопла используют холодное топливо, т.е. водород или керосин, которое прокачивают по выполненным в стенках каналам и таким образом используют в качестве охлаждающей среды (хладагента).

При нагревании конструкционного материала стенки происходит его тепловое расширение. При высокой тепловой нагрузке на горячей стороне стенки, одновременно охлаждаемой изнутри, в стенке возникает большой перепад температуры. При большом перепаде температуры и, как следствие этого, большом перепаде теплового расширения в стенке возникают большие тепловые напряжения, которые снижают долговечность всего компонента реактивного двигателя, в частности тяговой камеры, состоящей из камеры сгорания и реактивного сопла. Самым нагруженным местом тяговой камеры реактивного двигателя является внутренняя часть стенки камеры сгорания, т.е. горячая сторона стенки, расположенная между охлаждающими каналами и обращенной внутрь камеры сгорания поверхностью стенки.

Многokrратно используемые реактивные двигатели, равно как и реактивные двигатели космических аппаратов одноразового использования, должны выдерживать высокие тепловые нагрузки. Многokrратно используемые реактивные двигатели космических аппаратов должны, кроме того, выдерживать многokrратное воздействие тепловых нагрузок, возникающих в них при каждом запуске космического аппарата многоразового применения, т.е. должны обладать большой долговечностью при многоцикловой усталости. Для увеличения количества запусков космического аппарата многоразового использования его двигатель должен, как очевидно, обладать достаточно высокой долговечностью при многоцикловой усталости.

Суммарное напряжение во внутренней части стенки тяговой камеры двигателя зависит от перепада температур на этом участке стенки и от перепада температур на всей стенке - от ее горячей стороны до холодной. Уменьшение тепловых напряжений в стенке, как очевидно, увеличивает ее долговечность. При уменьшении напряжений во внутренней части стенки одновременно уменьшаются напряжения и в наружной части стенки, поскольку усилия в стенках зависят, как известно, не только от внешнего воздействия, но и от силы реакции.

Обычно в качестве топлива в реактивных двигателях космических аппаратов используют водород. При использовании водорода в качестве хладагента для охлаждения стенок, изготовленных из металлов, чувствительных к воздействию водорода, часто возникают определенные проблемы, связанные с усложнением конструкции стенок и снижением их прочности. Использование водорода в качестве хладагента заметно ограничивает возможности выбора материала, из которого изготавливают стенки камеры сгорания и сопла тяговой камеры реактивного двигателя космического аппарата.

Использование материалов с высокой теплопроводностью снижает перепад температур и возникающие из-за этого в стенке тепловые напряжения. Высокой теплопроводностью, как известно, обладают медь и алюминий, применение которых, однако, ограничено возможностью существенного увеличения температуры из-за отсутствия холодного топлива на определенных этапах полета, например при входе в плотные слои атмосферы. Уменьшить возникающие в стенке тепловые напряжения можно и за счет применения материалов с низким тепловым расширением. В настоящее время, однако, сложно найти материалы, которые, помимо низкого теплового расширения, обладали бы достаточной вязкостью, стойкостью к воздействию водорода и необходимой технологичностью.

В настоящее время существует много различных конструкций стенок тяговых камер реактивных двигателей космических аппаратов. В одной из известных конструкций хладагент прокачивают через сваренные друг с другом параллельные трубки с круглым поперечным сечением. Такая конструкция обладает определенной податливостью в направлении, перпендикулярном продольной оси трубок, и при изгибной деформации трубок, поперечное сечение которых при этом приобретает форму овала, компенсирует тепловое расширение стенки. Однако в направлении оси трубок такая конструкция является жесткой. Другим недостатком стенки такой конструкции является ее волнистая форма и очень высокая температура расположенных на горячей стороне стенки вершин трубок.

В другой известной конструкции стенку изготавливают из трубок с прямоугольным поперечным сечением, которые приваривают друг к другу на холодной или наружной стороне стенки. Стенка такой конструкции не имеет выступов, расположенных на ее горячей стороне. Кроме того, во время охлаждения на внутренней стороне такой стенки, изготовленной из трубок, приваренных друг к другу только снаружи, между трубками образуются промежутки. Возможность образования таких промежутков между соседними трубками снижает тепловые напряжения, возникающие в стенке во время ее охлаждения. Однако при образовании промежутков между соседними трубками внутренняя сторона стенки становится негладкой и, как следствие этого, увеличивает трение и снижает среднюю скорость пламени.

Другой известной стенкой является стенка так называемой трехслойной конструкции, у которой основной лист имеет выполненные, например, фрезерованием охлаждающие каналы, закрытые другим листом, приваренным к основному листу. Такая трехслойная стенка имеет сплошную в тангенциальном направлении внутреннюю стенку и поэтому обладает очень небольшой податливостью и не снижает возникающих в ней в результате теплового расширения напряжений.

В настоящее время известны также стенки, которые изнутри покрыты слоем теплоизоляционного материала с низкой теплопроводностью, например керамикой, которая защищает от теплового воздействия несущую металлическую конструкцию. Из-за низкой теплопроводности температура покрытия при постоянной тепловой нагрузке постепенно возрастает. При тепловом расширении стенки в покрытии возникают высокие напряжения сжатия, из-за которых при высоких тепловых нагрузках происходит выкрашивание покрытия. Основным недостатком таких теплоизолирующих покрытий при их использовании в реактивных двигателях космических аппаратов является заметное увеличение веса двигателя.

Краткое изложение сущности изобретения

В основу настоящего изобретения была положена задача разработать новую конструкцию стенки, способной выдерживать высокие тепловые нагрузки и обладающей большей долговечностью, чем стенки известных конструкций. Эта задача решается с помощью конструкции стенки, предлагаемой в п.1 формулы изобретения. Предпочтительные варианты выполнения стенки предлагаемой в изобретении конструкции приведены в зависимых пунктах формулы изобретения.

В настоящем изобретении предлагается конструкция подверженной воздействию тепловых нагрузок стенки, состоящей по меньшей мере из двух слоев - первого слоя и второго слоя, который расположен ближе, чем первый, к источнику тепла и через который тепло передается первому слою. Предлагаемая в изобретении стенка отличается тем, что первый и второй слои могут воспринимать значительную часть действующей на стенку нагрузки, при этом второй слой обладает большей теплопроводностью и/или меньшим тепловым расширением, чем первый слой. Такая конструкция обладает существенным преимуществом и позволяет уменьшить тепловые напряжения и их влияние на конструкцию стенки и за счет этого повысить ее долговечность. Объясняется это следующим. Благодаря первой особенности предлагаемой в изобретении конструкции оба слоя стенки воспринимают действующую на стенку нагрузку, что позволяет, несмотря на

двухслойную конструкцию, уменьшить общую толщину стенки. Преимущества, связанные со вторым отличительным признаком предлагаемой в изобретении стенки можно разделить на два следующих. 1) Сравнительно высокая теплопроводность второго слоя позволяет уменьшить и температуру, и перепад температур в стенке. Поскольку тепловые напряжения зависят от температуры и коэффициента теплового расширения материала, уменьшение температуры и перепада температур позволяет уменьшить абсолютные значения тепловых напряжений и сделать более равномерным их изменение по толщине стенки. 2) Уменьшение коэффициента теплового расширения второго слоя снижает тепловое расширение наиболее горячей части конструкции, уменьшает максимальные тепловые напряжения и делает более равномерным их изменение по толщине стенки. Снижение величины напряжений и их более равномерное изменение по толщине положительно сказывается и на долговечности стенки.

Еще одним преимуществом предлагаемой в изобретении стенки с двумя слоями, воспринимающими действующую на стенку нагрузку, является отсутствие так называемого "мертвого веса", который, в частности, приходится добавлять к весу стенки с теплоизолирующими покрытиями. Кроме того, отсутствие теплоизолирующего покрытия обеспечивает возможность проверки состояния несущих нагрузку элементов стенки. Снижение температуры, кроме того, благоприятно сказывается на свойствах материала и, в частности, повышает его механическую прочность.

В первом предпочтительном варианте выполнения предлагаемой в изобретении двухслойной стенки второй ее слой обладает большей теплопроводностью и меньшим тепловым расширением, чем первый слой. Такое решение положительно влияет на свойства материалов и позволяет улучшить конструкцию стенки.

Во втором предпочтительном варианте предлагаемая в изобретении двухслойная стенка имеет охлаждающие каналы, которые расположены на противоположной источнику тепла стороне второго слоя и через которые проходит поток хладагента. Расположенные таким образом охлаждающие каналы увеличивают перепад температур в стенке и оказывают положительное влияние на ее прочность и долговечность.

В третьем предпочтительном варианте предлагаемая в изобретении двухслойная стенка имеет охлаждающие каналы, которые расположены на расстоянии от второго слоя. Такой вариант расположения охлаждающих каналов позволяет изготовить второй слой из материала, чувствительного к воздействию водорода, и использовать водород в качестве хладагента.

В четвертом предпочтительном варианте указанные охлаждающие каналы расположены в соединенном с первым слоем месте, предпочтительно по меньшей мере частично внутри первого слоя. Такое расположение охлаждающих каналов положительно сказывается на всей конструкции стенки.

В пятом предпочтительном варианте выполнения предлагаемой в изобретении двухслойной стенки ее первый слой изготовлен по существу из первого металлического материала, второй слой изготовлен по существу из второго металлического материала, который обладает большей теплопроводностью и/или меньшим тепловым расширением, чем первый металлический материал. Изготовление обоих слоев из конструкционных материалов позволяет значительно улучшить конструкцию стенки.

В шестом предпочтительном варианте второй слой предлагаемой в изобретении двухслойной стенки содержит керамические частицы. Наличие керамических частиц позволяет дополнительно уменьшить тепловое расширение второго слоя.

Краткое описание чертежей

Ниже изобретение более подробно рассмотрено со ссылкой на прилагаемые к описанию чертежи, на которых показано:

на фиг.1 - предпочтительный вариант выполнения предлагаемой в изобретении стенки, на фиг.2 - графики изменения температуры по толщине стенки, иллюстрирующие положительный эффект от предлагаемых в изобретении решений, и на фиг.3 - графики изменения тепловых деформаций стенки, иллюстрирующие

положительный эффект от предлагаемых в изобретении решений.

Предпочтительные варианты осуществления изобретения

На фиг.1 показан предпочтительный вариант выполнения предлагаемой в изобретении стенки 2 тяговой камеры 1 реактивного двигателя космического аппарата. Как показано на фиг.1 в увеличенном масштабе, стенка 2 состоит из первого слоя 5 и второго слоя 6. Второй слой 6 расположен на горячей стороне 8 стенки 2, т.е. на стороне, обращенной к источнику тепла, который по меньшей мере периодически создает действующую на стенку 2 тепловую нагрузку. В этом варианте источником тепла являются горячие газы в тяговой камере. Первый слой 5 имеет охлаждающие каналы 7, через которые при охлаждении стенки проходит поток хладагента.

Каждый слой 5, 6 воспринимает значительную часть действующей на стенку нагрузки. В варианте, показанном на фиг.1, оба слоя 5, 6 изготовлены из материалов, имеющих схожие прочностные свойства, что исключает необходимость увеличения общей толщины стенки 2, несмотря на ее двухслойную конструкцию. В принципе толщину второго слоя 6 можно несколько увеличить, уменьшив при этом на такую же величину толщину первого слоя 5. Первый и второй слои 5, 6 соединены друг с другом таким образом, чтобы тепло могло передаваться от одного слоя к другому, при этом второй слой 6 обладает большей теплопроводностью и меньшим тепловым расширением, чем первый слой 5.

Под приложенной к стенке нагрузкой понимаются нагрузки, под действием которых в стенке возникают соответствующие напряжения. К таким нагрузкам относятся, например, давление, тепловая нагрузка, вес (инерционные перегрузки) и механические силы, возникающие в местах сопряжения. Выражение "оба слоя 5, 6 воспринимают значительную часть действующей на стенку нагрузки" означает, что оба слоя 5, 6 стенки являются несущими. Этим предлагаемая в изобретении стенка принципиально отличается от упомянутой выше стенки известной конструкции с внутренним слоем теплоизоляционного покрытия, которое не служит несущим слоем стенки и не воспринимает значительную часть действующей на стенку нагрузки.

При увеличении температуры в тяговой камере 1 температура термически нагруженной внутренней поверхности стенки 2 возрастает и в стенке создается определенный перепад температур. При этом наибольшему нагреву подвергается внутренняя, ближайшая к источнику тепла поверхность второго слоя 6. По мере удаления от источника тепла в направлении охлаждающих каналов 7 и к наиболее холодной стороне 9 стенки 2 температура постепенно падает. Наибольшее изменение температуры имеет место на участке между горячей стороной 8 стенки 2 и охлаждающими каналами 7, через которые проходит хладагент. На фиг.1 этот участок стенки обозначен позицией 10.

Обычные конструкционные материалы при увеличении температуры расширяются. Чем выше температура, тем больше тепловое расширение материала. Если тепловое расширение материала не компенсируется полностью, например, деформацией расширения, то в результате отрицательных тепловых деформаций в элементах конструкции возникают напряжения сжатия. Тепловые деформации в определенной точке конструкции зависят и от температуры, и от коэффициента теплового расширения материала. Профиль тепловых деформаций в определенном материале принципиально имеет такую же форму, что и профиль температуры. Высокие тепловые деформации снижают ресурс прочности и долговечность материала. Предлагаемые в изобретении решения позволяют уменьшить тепловые деформации стенки или по меньшей мере ограничить уровень максимальных значений в профиле тепловых деформаций. Более подробно об этом сказано ниже.

На фиг.2 показан типичный график изменения температуры на обозначенном на фиг.1 позицией 10 участке стенки 2 с наибольшим перепадом температур. В верхней части графика показано изменение температуры в первом слое 5, а в нижней - во втором слое 6. Типичный профиль изменения температуры на участке 10 термически нагруженной стенки показан в правой части графика в виде сплошной линии К. С целью более четко показать положительный эффект от предлагаемых в изобретении решений на фиг.2 для

сравнения приведен также график изменения температуры в обычной однослойной стенке. Обычная однослойная стенка при той же толщине, что и предлагаемая в изобретении двухслойная стенка, не имеет второго слоя 6 и состоит по существу только из одного первого слоя 5, толщина которого увеличена на толщину слоя 6 и от материала которого зависят теплопроводность и тепловое расширение всего участка 10 с максимальным перепадом температур. Профиль изменения температуры стенки обычной конструкции показан в правой части графика прерывистой линией L. Как показано на фиг.2, профиль изменения температуры в обычной стенке представляет собой прямую линию (прерывистая линия L), а профиль изменения температуры в предлагаемой в изобретении стенке имеет форму ломаной линии с постепенным уменьшением температуры (сплошная линия K) во втором, обладающем большей теплопроводностью слое 6. Сравнив между собой графики, показанные на фиг.2, можно сделать вывод о том, что в наиболее термически нагруженном участке 10 предлагаемой в изобретении стенки 2 температура ниже, чем в стенке известной конструкции.

Показанному на фиг.2 типичному профилю температуры стенки соответствует определенный профиль тепловых деформаций. Типичный график тепловых деформаций показанного на фиг.1 участка 10 стенки изображен на фиг.3. В верхней части этого графика показаны тепловые деформации первого слоя 5, а в нижней - тепловые деформации второго слоя 6. Как уже было отмечено выше, второй слой 6 обладает большей теплопроводностью и меньшим тепловым расширением, чем первый слой 5. Типичный профиль тепловых деформаций участка 10 термически нагруженной стенки показан на графике слева в виде сплошной линии K. Отрицательные тепловые деформации ( $\epsilon$ ) обусловлены силами сжатия, возникающими в стенке, расширяющейся под действием тепловой нагрузки. С целью более четко показать положительный эффект от предлагаемых в изобретение решений на фиг.3 аналогично показанному на фиг.2 профилю изменения температуры для сравнения приведен график тепловых деформаций стенки обычной конструкции. Обычная однослойная стенка при той же толщине, что и предлагаемая в изобретении двухслойная стенка, не имеет второго слоя 6 и состоит по существу только из одного первого слоя 5, толщина которого увеличена на толщину слоя 6 и от материала которого зависят теплопроводность и тепловое расширение всего участка 10 с максимальным перепадом температуры. Прерывистой линией L в левой части графика показан профиль тепловых деформаций стенки обычной конструкции. Как показано на фиг.3, профиль тепловых деформаций обычной стенки представляет собой прямую линию, тогда как профиль тепловых деформаций предлагаемой в изобретении стенки 2 имеет форму ломаной линии с постепенным уменьшением тепловых деформаций во втором слое 6 стенки. Такой характер изменения тепловых деформаций и постепенное уменьшение деформаций во втором слое 6 стенки обусловлены высокой теплопроводностью второго слоя и его меньшим по сравнению с первым слоем тепловым расширением. Сравнив между собой графики, показанные на фиг.3, можно сделать вывод о том, что в наиболее термически нагруженном участке предлагаемой в изобретении стенки 2 тепловые деформации меньше, чем в стенке известной конструкции.

На фиг.3 показаны также две другие линии K' и K". Линией K' показан профиль тепловых деформаций стенки, у которой второй слой 6 имеет такое же тепловое расширение, что и первый слой 5, и более высокую теплопроводность, чем первый слой 5. Линией K" показан профиль тепловых деформаций стенки, у которой второй слой 6 имеет такую же теплопроводность, что и первый слой 5, и меньшее тепловое расширение, чем первый слой 5. Очевидно, что в обоих этих случаях тепловые деформации предлагаемой в изобретении стенки 2 меньше, чем тепловые деформации стенки известной конструкции (прерывистая линия L). Из этого можно сделать вывод о том, что для уменьшения тепловых деформаций предлагаемой в изобретении стенки 2 ниже уровня тепловых деформаций стенки известной конструкции достаточно, чтобы либо теплопроводность второго слоя 6 была больше теплопроводности первого слоя 5, либо тепловое расширение второго слоя было меньше теплового расширения первого слоя. Такой же результат можно



получить и при теплопроводности второго слоя 6, несколько меньшей теплопроводности первого слоя 5, при условии, что этот эффект будет полностью компенсирован существенно меньшим по сравнению с первым слоем 5 тепловым расширением второго слоя 6. Очевидно, что наибольший эффект можно получить в показанном на фиг.1

5 варианте выполнения предлагаемой в изобретении стенки, у которой второй слой 6 одновременно имеет большую в сравнении с первым слоем 5 теплопроводность и меньшее в сравнении с ним тепловое расширение (линия К на фиг.3).

В предлагаемой в изобретении стенке оба слоя 5, 6 могут иметь разные прочностные свойства. Поэтому суммарная толщина первого и второго слоев 5, 6 предлагаемой в  
10 изобретении стенки не обязательно должна быть равна толщине обычной однослойной стенки, о чем свидетельствует сказанное выше в отношении прерывистой линии L, показанной на фиг.2 и 3. Предлагаемая в изобретении конструкция двухслойной стенки, второй слой 6 которой изготовлен из материала, отличающегося по своим свойствам от  
15 материала первого слоя, но обладающего соответствующей теплопроводностью и линейным расширением, позволяет уменьшить тепловые деформации даже при толщине стенки, большей толщины обычной стенки. Возможность увеличения толщины одного или обоих слоев 5, 6 позволяет изготовить стенку с разной несущей способностью слоев. Однако эффективность предлагаемых в изобретении решений в наибольшей степени  
20 проявляется при минимальной толщине стенки и снижается с ее увеличением. Уменьшение толщины стенки целесообразно в любом случае, поскольку при этом одновременно уменьшается и вес стенки.

В предлагаемой в изобретении стенке двухслойной конструкции первый слой 5 можно изготовить из первого материала, а второй слой 6 - из второго материала и оптимальным образом использовать разные физические свойства разных материалов. Кроме  
25 соответствующего сочетания тепловых свойств, о чем говорилось выше, в предлагаемой в изобретении стенке можно оптимальным образом комбинировать и другие свойства материалов, связанные, например, с их стоимостью и технологичностью. Так, например, используемый для изготовления второго слоя 6 материал, который должен обладать определенными тепловыми свойствами, может оказаться более дорогим и более трудным  
30 в обработке, чем весь материал, необходимый для изготовления стенки 2. При изготовлении предлагаемой в изобретении стенки такой сравнительно дорогой и трудоемкий в обработке материал можно использовать в сочетании с другим более дешевым и более легким в обработке материалом, из которого можно изготовить первый слой 5 стенки.

Предлагаемая в изобретении стенка 2 может не иметь охлаждающих каналов 7 и может не охлаждаться соответствующим хладагентом, однако в наибольшей степени  
35 преимущества предлагаемой в изобретении конструкции проявляются в охлаждаемых стенках и прежде всего в стенках, охлаждаемых водородом. Связано это, во-первых, с тем, что нагреваемые и одновременно охлаждаемые стенки отличаются сравнительно  
40 большим градиентом температуры. В данном случае очень важно уменьшить тепловую деформацию конструкции стенки. Во-вторых, определенные материалы, которые по своим физическим свойствам полностью пригодны для изготовления из них предлагаемой в изобретении стенки, не обладают необходимым сопротивлением к воздействию водорода. В показанном на фиг.1 варианте стенки такие материалы можно использовать для  
45 изготовления не находящегося в прямом контакте с водородом второго слоя 6, а расположенные на расстоянии от второго слоя 6 охлаждающие каналы 7 изготовить из другого стойкого к воздействию водорода материала.

Первый слой 5 предлагаемой в изобретении стенки предпочтительно изготовить из первого металлического материала, а второй слой 6 - из второго металлического  
50 материала с большей, чем у первого металлического материала, теплопроводностью и меньшим тепловым расширением.

Первый слой 5 предлагаемой в изобретении стенки можно изготовить из аустенитной нержавеющей стали, а второй слой 6 - из ферритно-мартенситной нержавеющей стали. В

качестве примера материала, который можно использовать для изготовления первого слоя 5, можно назвать сплав Nitronic 40, а в качестве примера материала, который можно использовать для изготовления второго слоя 6, можно назвать сплав INCO 600 или Greek. Изготовление двухслойной стенки из таких материалов позволяет по сравнению со

5 стенкой, целиком изготовленной из сплава Nitronic 40, уменьшить тепловые деформации приблизительно на 75%. Изготовление первого слоя 5 из сплава Nitronic 40, а второго слоя 6 - из чистого никеля позволяет дополнительно уменьшить тепловые деформации предлагаемой в изобретении стенки.

Уменьшение тепловых деформаций на 75% увеличивает долговечность стенки

10 приблизительно в три раза. Снижение тепловых деформаций может не только увеличить долговечность стенки, но и упростить процесс ее изготовления, например, за счет увеличения допусков или уменьшения количества охлаждающих каналов и тем самым уменьшить стоимость ее изготовления.

Обычно толщина наиболее термически нагруженного участка 10 стенки (или расстояние

15 от горячей стороны 8 до охлаждающих каналов 7) составляет от 0,6 до 0,9 мм. Толщина второго слоя 6 предпочтительно составляет половину толщины участка 10, т.е. около 0,4 мм.

В другом варианте в изобретении предлагается показанная на фиг.1 стенка, во втором слое 6 которой содержатся керамические частицы, наличие которых дополнительно

20 уменьшает тепловые деформации стенки. Обычно керамический материал обладает очень небольшим по сравнению с металлическим материалом тепловым расширением и его добавление во второй слой 6 стенки позволяет уменьшить тепловые деформации этого слоя. Многие керамические материалы обладают также хорошей теплопроводностью. При низкой теплопроводности керамического материала для сохранения оптимальной

25 теплопроводности второго слоя стенки следует ограничить количество добавляемого во второй слой керамического материала. Слишком высокое содержание керамического материала во втором слое 6 стенки может существенно снизить его несущую способность. Компенсировать это можно только за счет увеличения толщины второго слоя, которое неблагоприятно влияет на профиль тепловых деформаций стенки 2 и увеличивает ее вес.

30 В некоторых случаях при использовании керамического материала для уменьшения тепловых деформаций стенки и при достаточно хороших тепловых свойствах стенки можно, как очевидно, пойти и на определенное увеличение ее толщины.

Существует множество различных керамических материалов, таких как оксиды, карбиды или нитриды, которые для уменьшения тепловых деформаций можно добавлять к

35 материалу второго слоя 6 стенки. При нанесении второго слоя 6 на первый слой лазерным спеканием предпочтительно использовать карбиды или нитриды, а не оксиды, которые абсорбируют слишком много энергии лазера. В качестве примера таких керамических материалов можно назвать нитрид алюминия, нитрид титана, карбид алюминия, карбид титана и карбид кремния. Для уменьшения концентрации напряжений в заполняемой

40 керамическим материалом полости металла частицы добавляемого во второй слой керамического материала предпочтительно должны иметь круглую форму. Размеры керамических частиц должны быть намного меньше толщины второго слоя 6.

Ниже рассмотрен предпочтительный вариант осуществления способа изготовления предлагаемой в изобретении стенки 2, показанной на фиг.1. Стенку изготавливают из

45 листа, которому на первой стадии придают необходимую форму, в частности форму конуса. Затем на второй стадии лазерным спеканием металлического порошка на согнутый лист наносят второй слой 6. Сам лист образует в изготавливаемой стенке часть первого слоя 5 согласно фиг.1. При выполнении второй стадии очень важно, чтобы в любой точке толщина второго слоя 6 была больше определенной минимальной толщины. На третьей

50 стадии второй слой 6 подвергают механической обработке, например точению, выравнивая его толщину по всей поверхности стенки. На четвертой стадии в основном листе или части первого слоя 5 с холодной стороны 9 стенки 2 фрезеруют пазы, которые образуют охлаждающие каналы 7. На пятой стадии к основному листу, т.е. к части первого слоя 5,

приваривают второй лист, которым закрывают выполненные в первом листе фрезерованием пазы/охлаждающие каналы 7. Изготовленные из одного и того же материала первый и второй листы после сварки образуют первый слой 5 показанной на фиг.1 стенки. В принципе первый и второй листы можно изготовить и из разных материалов.

При добавлении во второй слой керамического материала используют керамический порошок, который на второй стадии смешивают с металлическим порошком.

Лазерное спекание, которое обеспечивает хорошую адгезию основного листа с образующим второй слой другим материалом, является наиболее предпочтительным методом изготовления стенки с прочно соединенными друг с другом в одну деталь слоями разных материалов. Кроме того, при лазерном спекании между разными слоями стенки образуется очень плотный и прочный материал.

Вместо лазерного спекания нанести на основной лист второй слой 6 другого материала можно, например, электроосаждением или плазменным напылением. Кроме того, для изготовления предлагаемой в изобретении стенки с первым и вторым слоями 5, 6 можно использовать готовый двухслойный лист, изготовленный прокаткой из соответствующих материалов. Кроме того, после придания основному листу соответствующей формы нанести на него второй слой 6 другого материала можно плакированием с помощью взрыва.

Настоящее изобретение не ограничено рассмотренными выше вариантами его осуществления и предполагает возможность внесения в них различных изменений и усовершенствований, не выходящих за объем формулы изобретения. Так, например, предлагаемая в изобретении стенка может иметь дополнительные слои из материалов, обладающих разными свойствами. В частности, для снижения тепловых деформаций, обусловленных перепадом температур по всей толщине стенки от ее горячей стороны 8 до холодной стороны 9 закрыть выполненные в основном листе пазы/охлаждающие каналы 7 можно листом из другого материала. Кроме того, предлагаемая в изобретении стенка может иметь дополнительные слои, расположенные рядом или между первым и вторым слоями 5, 6. Наличие таких дополнительных слоев из материалов с разными свойствами позволяет изготовить многослойную стенку и дополнительно уменьшить отрицательное влияние на ее долговечность возникающих в ней тепловых деформаций.

В некоторых случаях на внутренние поверхности охлаждающих каналов 7 целесообразно нанести специальное покрытие из материала, не чувствительного к воздействию хладагента.

В заключение следует отметить, что настоящее изобретение не ограничено элементами реактивных двигателей космических аппаратов и может найти применение для конструирования других объектов, подверженных воздействию высоких тепловых нагрузок, таких как камеры сгорания, турбореактивные двигатели и газовые турбины.

#### Формула изобретения

1. Стенка (2), подверженная воздействию тепловых нагрузок и состоящая, по меньшей мере, из первого слоя (5) и второго слоя (6), который расположен ближе, чем первый слой, к источнику тепла и через который тепло передается первому слою, отличающаяся тем, что первый и второй слои (5, 6) способны воспринимать значительную часть действующей на стенку нагрузки, при этом второй слой (6) обладает большей теплопроводностью и/или меньшим тепловым расширением, чем первый слой (5).

2. Стенка (2) по п.1, отличающаяся тем, что она имеет охлаждающие каналы (7), которые расположены на противоположной источнику тепла стороне второго слоя (6) и через которые проходит поток хладагента.

3. Стенка (2) по п.2, отличающаяся тем, что охлаждающие каналы (7) расположены на расстоянии от второго слоя (6).

4. Стенка (2) по п.3, отличающаяся тем, что охлаждающие каналы (7) расположены в соединенном с первым слоем (5) участке стенки, предпочтительно, по меньшей мере,

частично внутри первого слоя (5).

5. Стенка (2) по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что первый слой (5) изготовлен по существу из первого металлического материала, второй слой (6) изготовлен по существу из второго металлического материала, теплопроводность которого больше и/или тепловое расширение которого меньше, чем у первого металлического материала.

6. Стенка (2) по п.5, отличающаяся тем, что во втором слое содержатся керамические частицы.

7. Элемент (1) реактивного двигателя космического аппарата, отличающийся тем, что он имеет стенку (2) по одному из пп.1-6.

15

20

25

30

35

40

45

50

