



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 218 451** <sup>(13)</sup> **C2**

(51) МПК<sup>7</sup> **C 23 C 30/00, 14/08**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО  
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

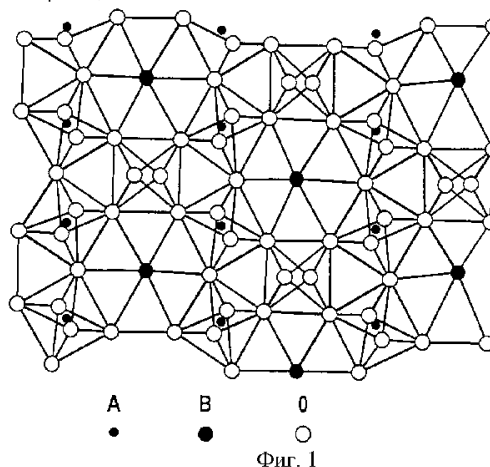
(21), (22) Заявка: 99114831/02, 26.11.1997  
(24) Дата начала действия патента: 26.11.1997  
(30) Приоритет: 10.12.1996 DE 19651273.5  
(46) Дата публикации: 10.12.2003  
(56) Ссылки: US 5223045 A, 29.06.1993. EP 0684322 A, 20.11.1995. WO 96/34128 A, 31.10.1996. RU 2065505 C1, 20.08.1996.  
(85) Дата перевода заявки PCT на национальную фазу: 12.07.1999  
(86) Заявка PCT: DE 97/02769 (26.11.1997)  
(87) Публикация PCT: WO 98/26110 (18.06.1998)  
(98) Адрес для переписки: 129010, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", пат.пов. Е.В.Томской

(71) Заявитель: СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)  
(72) Изобретатель: БЕЕЛЕ Вольфрам (DE)  
(73) Патентообладатель: СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)  
(74) Патентный поверенный: Томская Елена Владимировна

(54) ИЗДЕЛИЕ С ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИМ СЛОЕМ, ПОДВЕРГАЕМОЕ ВОЗДЕЙСТВИЮ ГОРЯЧЕГО ГАЗА, А ТАКЖЕ СПОСОБ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

(57) Изобретение относится к конструктивным элементам для каналов горячих газов, в частности лопаткам турбин, жарозащитным экранам и т.д., содержащим металлическое основание из сверхсплава на основе никеля, кобальта или железа. Повышающий адгезию слой действует также в качестве образователя оксида алюминия/оксида хрома. Теплоизолирующий слой состоит из триоксида или псевдотриоксида со структурой пироклора или перовскита, являющихся фазостабильными между комнатной температурой и температурой плавления. Кроме того, изобретение относится к способу изготовления таких конструктивных элементов атмосферным плазменным напылением или способом электронно-лучевого PVD. Техническим результатом изобретения является создание изделий с теплоизолирующим слоем, стойким к

воздействию горячего газа. 3 с. и 19 з.п.ф-лы, 5 ил.





(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 218 451** <sup>(13)</sup> **C2**  
 (51) Int. Cl.<sup>7</sup> **C 23 C 30/00, 14/08**

RUSSIAN AGENCY  
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

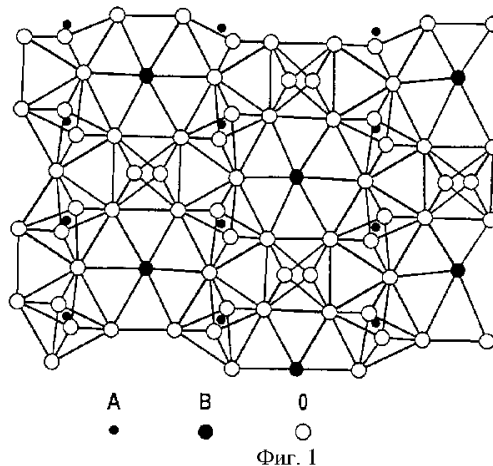
(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 99114831/02, 26.11.1997  
 (24) Effective date for property rights: 26.11.1997  
 (30) Priority: 10.12.1996 DE 19651273.5  
 (46) Date of publication: 10.12.2003  
 (85) Commencement of national phase: 12.07.1999  
 (86) PCT application:  
DE 97/02769 (26.11.1997)  
 (87) PCT publication:  
WO 98/26110 (18.06.1998)  
 (98) Mail address:  
129010, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3,  
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i  
Partnery", pat.pov. E.V.Tomskoj

(71) Applicant:  
SIMENS AKTsiENGEZELL'ShAFT (DE)  
 (72) Inventor: BEELE Vol'fram (DE)  
 (73) Proprietor:  
SIMENS AKTsiENGEZELL'ShAFT (DE)  
 (74) Representative:  
Tomskaja Elena Vladimirovna

(54) **ARTICLE WITH HEAT-INSULATING LAYER SUBJECTED TO ACTION OF HOT GAS AND METHOD OF MANUFACTURE OF SUCH ARTICLE**

(57) Abstract:  
 FIELD: structural members for hot gas passages, turbine blades, heat shields, etc containing metal base made from nickel-, cobalt- or iron-based super-alloy. SUBSTANCE: adhesion enhancing layer is also used for forming aluminum oxide/chromium oxide. Heat-insulating layer consists of trioxide or pseudo-trioxide with structure of pyro-chlorine or perovskite which are phase-stable between room temperature and melting temperature. Besides that, article may be used for manufacture of elements by plasma spraying or PVD. EFFECT: enhanced stability to hot gases. 22 cl, 5 dwg



RU 2 218 451 C 2

RU 2 218 451 C 2

Объектом изобретения является изделие с керамическим покрытием, в частности конструктивный элемент, для использования в канале горячих газов, в частности в промышленных газовых турбинах. Изобретение относится также к способу изготовления изделия с теплоизолирующим слоем.

Такое изделие содержит основание из металлического сплава на основе никеля, кобальта или железа. Подобные изделия служат прежде всего в качестве конструктивного элемента газовой турбины, в частности в качестве лопаток газовой турбины или жарозащитных экранов. Конструктивные элементы подвержены воздействию потока горячих агрессивных газов сгорания. Поэтому они должны выдерживать высокие тепловые нагрузки. Кроме того, требуется, чтобы эти конструктивные элементы были стойкими к окислению и коррозии. Прежде всего к подвижным конструктивным элементам, например лопаткам газовой турбины, однако и к неподвижным конструктивным элементам должны предъявляться далее механические требования. Мощность и КПД газовой турбины, в которых находят применение нагружаемые горячим газом конструктивные элементы, возрастают по мере повышения рабочей температуры. Для достижения высокого КПД и высокой мощности особенно нагруженные высокими температурами компоненты газовых турбин покрывают керамическим материалом. Он действует как теплоизолирующий слой между потоком горячего газа и металлической подложкой.

От потока агрессивного горячего газа металлическое основание защищают покрытиями. При этом современные конструктивные элементы имеют в большинстве случаев несколько покрытий, выполняющих соответственно специфические задачи. Таким образом, имеет место многослойная система.

Поскольку мощность и КПД газовой турбины возрастают по мере повышения рабочей температуры, постоянно предпринимались попытки достичь более высокой мощности газовых турбин за счет усовершенствования системы покрытия.

Первое предложение по усовершенствованию состоит в оптимизации адгезионного покрытия. В патенте США 4321310 предложено наносить адгезионное покрытие из  $MCrAlY$  так, чтобы оно имело небольшую шероховатость поверхности. На нем образуется затем слой оксида алюминия. За счет этого должно достигаться существенное повышение адгезии теплоизолирующего слоя.

В патенте США 4880614 предложено наносить между адгезионным слоем из  $MCrAlY$  и металлическим основанием высокочистый слой алюминия. Этот алюминий служит для образования на адгезионном слое плотного слоя  $Al_2O_3$ . Благодаря этой мере должен быть повышен срок службы конструктивных элементов с покрытием.

В патенте США 5238752 раскрыт адгезионный слой из алюминидов никеля или алюминидов платины. На этом адгезионном слое образуется слой оксида алюминия. На него наносят теплоизолирующий слой.

В патенте США 5262245 указано, что слой

оксида алюминия в качестве оксидирующего слоя образуется из материала основания. Основание содержит для этой цели сплав на основе никеля, имеющий легирующие компоненты с высокой оксидообразующей способностью.

В патенте США N 4676994 раскрыто нанесение на основание слоя, образующего оксид алюминия. На поверхности этого слоя образуется оксид алюминия. На него напыляют плотное керамическое покрытие. Это керамическое покрытие состоит из плотного достехиометрического керамического материала. Он может быть оксидом, нитридом, карбидом, боридом, силицидом или иным огнеупорным керамическим материалом. На это керамическое покрытие наносят теплоизолирующий слой.

В преобладающей части приведенных патентов США говорится о том, что теплоизолирующий слой имеет столбчатую микроструктуру. При этом столбики кристаллитов столбчатой микроструктуры перпендикулярны поверхности основания. В качестве керамического материала приведен стабилизированный оксид циркония. В качестве стабилизатора рассматриваются оксид кальция, оксид магния, оксид церия и предпочтительно оксид иттрия. Стабилизатор требуется для предотвращения фазового превращения кристаллической структуры из кубической в тетрагональную и, наконец, в моноклинную. Стабилизируется, в основном, тетрагональная фаза примерно на 90%.

В патенте США 4321311 предусмотрены объемные дефектные участки в теплоизолирующем слое для снятия напряжений, возникающих в теплоизолирующем слое при изменениях температуры за счет того, что основание и теплоизолирующий слой имеют разные коэффициенты теплового расширения. Теплоизолирующий слой имеет столбчатую структуру, причем между отдельными столбиками покрытия из стабилизированного оксидом иттрия оксида циркония должны оставаться вакансии.

Другое предложение по решению проблемы напряжений при изменениях температуры раскрыто в патенте США 5236787. Здесь между основанием и теплоизолирующим слоем нанесен промежуточный слой, состоящий из металлокерамики. При этом металлическая доля этого промежуточного слоя должна возрастать в направлении основания и убывать в направлении теплоизолирующего слоя. Наоборот, керамическая доля должна быть низкой вблизи основания и высокой вблизи теплоизолирующего слоя. В качестве теплоизолирующего слоя предложен стабилизированный оксид иттрия оксид циркония с содержанием оксида церия. Теплоизолирующие слои осаждают на основание плазменным напылением или способом PVD. Доля стабилизатора оксид иттрия составляет 8-20 об. %.

В патенте США 4764341 описано связывание тонкого металлического покрытия с керамикой. Для металлического покрытия применяют никель, кобальт, медь, а также сплавы этих металлов. Для связывания металлического слоя с керамической подложкой на последнюю наносят

промежуточный оксид, например оксид алюминия, оксид церия, оксид титана или оксид циркония, который при достаточно высокой температуре образует за счет окисления триоксид с включением элемента металлического покрытия.

Задачей изобретения является создание изделия с теплоизолирующим слоем, подвергаемое воздействию горячего газа. Другая задача состоит в создании способа изготовления изделия с теплоизолирующим слоем.

Изобретение исходит из того факта, что прежние материалы теплоизолирующего слоя содержат преимущественно псевдодиоксидную керамику. Под ней следует понимать такие керамические материалы, общую структурную формулу которых можно привести как  $AB_2$  или  $A_2B_3$ . Наиболее предпочтительным оказался при этом материал на основе оксида циркония. Однако оксид циркония начиная уже с 900 °С показывает явления старения. Они вызваны спеканием теплоизолирующего слоя из оксида циркония. За счет этого в возрастающей степени уменьшаются поры и объемные дефектные участки в теплоизолирующем слое. Напряжения, вызванные разными коэффициентами теплового расширения материала теплоизолирующего слоя и материала основания, могут быть сняты, таким образом, все хуже. Этот процесс спекания усиливается загрязнением материалов. Дальнейшее усиление он приобретает в результате взаимодействия теплоизолирующего слоя с компонентами горячего газа, материалами основания и материалом адгезионного слоя. Прежде всего применяемый в качестве стабилизатора оксид иттрия требует старения. Поскольку длительный срок службы газовых турбин в режиме полной нагрузки желателен, например, в 10000 часов, допустимая температура поверхности конструктивных элементов с теплоизолирующими слоями из оксида циркония ограничена значением 1250 °С. Из-за этой максимально допустимой температуры поверхности мощность и КПД газовых турбин установлены и ограничены.

Согласно изобретению изделие содержит теплоизолирующий слой с керамикой с триоксидом или псевдотриоксидом.

Преимущественно оксид имеет структуру пироклора или перовскита. Материал теплоизолирующего слоя не имеет фазового превращения от комнатной температуры до температуры плавления. Добавки стабилизатора в этом случае не требуется. Температура плавления зависит от соответствующего химического соединения. Она составляет преимущественно свыше 2150 °С.

Преимущественно между основанием и теплоизолирующим слоем расположен связывающий слой со связывающим оксидом. Этот слой может быть получен, например, путем нанесения оксида. Предпочтительно связывающий слой образуется, однако, в результате окисления повышающего адгезию слоя, который расположен между теплоизолирующим слоем и основанием. Окисление повышающего адгезию слоя может происходить уже перед нанесением теплоизолирующего слоя или же при

использовании изделия в кислородсодержащей атмосфере. Повышающий адгезию слой содержит при этом предпочтительно оксидобразующий металлический элемент. Возможно также, чтобы связывающий слой был образован непосредственно за счет окисления сплава металлического основания. Для этого сплав основания содержит соответствующий металлический элемент. Связывающим оксидом является преимущественно оксид хрома и/или оксид алюминия.

Изделие представляет собой преимущественно конструктивный элемент тепловой машины, например лопатку газовой турбины, компонент жарозащитного экрана камеры сгорания газовой турбины или конструктивный элемент двигателя внутреннего сгорания. Конструктивные элементы газовой турбины, например лопатки турбины или жарозащитные экраны, содержат при этом предпочтительно основание, состоящее из сверхсплава на основе никеля, хрома или железа. На этом основании находится, в частности, повышающий адгезию слой из  $MCrAlY$ . Он служит также в качестве слоя для защиты от окисления, поскольку на воздухе или практически в любом другом кислородсодержащем окружении (самое позднее, следовательно, при использовании конструктивного элемента) часть алюминия и/или хрома превращается в оксид. На этом повышающем адгезию слое находится теплоизолирующий слой. Он состоит из триоксида или псевдотриоксида. Последний имеет преимущественно структуру пироклора или перовскита. Под триоксидом при этом понимается вещество, содержащее атомы более чем трех различных химических элементов. Под псевдотриоксидом понимается вещество, содержащее атомы более чем трех различных химических элементов, однако эти атомы относятся лишь к трем различным группам элементов, причем атомы отдельных элементов в соответствии одной из трех различных групп элементов действуют в кристаллографическом отношении одинаково.

Эти керамические вещества показывают требуемую для теплоизолирующего слоя низкую теплопроводность. Теплопроводность, в частности при повышенных температурах, сравнима с теплопроводностью оксида циркония. Кроме того, керамические вещества теплоизолирующего слоя имеют коэффициент теплового расширения, сопоставимый с коэффициентом теплового расширения материала основания. Коэффициент теплового расширения составляет около  $9 \cdot 10^{-6}/K$ . Содержащие триоксиды керамические вещества теплоизолирующего слоя преимущественно между комнатной температурой и температурой плавления являются фазостабильными. Таким образом, отпадает необходимость в стабилизаторе, требующем свойство старения. Кроме того, обеспечивается то, что они посредством повышающего адгезию слоя из  $MCrAlY$  стабильно сцепляются с основанием. Далее следует подчеркнуть, что скорость выпаривания керамических веществ теплоизолирующего слоя очень мала. Например, скорость выпаривания гафната лантана составляет при 1600 °С 0,4 мкм за

1000 часов.

Согласно изобретению задача, направленная на способ нанесения теплоизолирующих слоев, решается за счет того, что покрытие с триоксидом, в частности керамикой со структурой пироклора и перовскита, осуществляют атмосферным плазменным напылением или способом PVD, например способом EB-PVD (Electron Beam Physical Vapor Deposition). У обоих способов с помощью подходящего выбора параметров можно получить слой нужной пористости. Может быть также получена столбчатая микроструктура. При этом необязательно требуется, чтобы служащий для покрытия исходный материал уже имел те же химические и кристаллографические свойства, что и материал готового покрытия. Прежде всего у гафната тантала возможно применение в способе покрытия в качестве исходного материала порошковой смеси, состоящей из двух диоксидов. Массовое соотношение обоих порошков соответствует при этом стехиометрическому составу полученного затем способом покрытия теплоизолирующего слоя на конструктивном элементе. Например, теплоизолирующий слой из гафната тантала можно получить за счет использования в EB-PVD-процессе в качестве исходного материала смесь оксида гафния и оксида лантана. При этом молярное отношение оксида гафния к оксиду лантана составляет 1,29.

Ниже керамические вещества с триоксидом или псевдотриоксидом для теплоизолирующего слоя, в частности со структурой пироклора или перовскита, более подробно описаны с помощью примера выполнения. На чертежах изображают:

фиг.1: вид сверху на плоскость структуры пироклора;

фиг.2: фрагмент элементарной ячейки структуры пироклора;

фиг.3: стандартную ячейку структуры перовскита;

фиг. 4: стандартную ячейку структуры перовскита, причем она смещена относительно элементарной ячейки из фиг.1 на  $1/2, 1/2, 1/2$ ;

фиг.5: сечение фрагмента лопатки турбины.

У теплоизолирующего слоя из керамического вещества с триоксидом со структурой пироклора кристаллическая структура содержит 88 атомов на элементарную ячейку. Общая структурная формула таких триоксидов гласит  $A_2B_2O_7$ . При этом "А" и "В" обозначают ионы металлов. "О" обозначает кислород.

Структура пироклора описана ниже (фиг.1). Относительно меньшие катионы В координируются с атомами кислорода в форме октаэдра. Эти октаэдры образуют трехмерную решетку, у которой соседние октаэдры делят соответственно один атом кислорода. Относительно большие катионы А находятся при этом в гексагональном кольце, образованном атомами кислорода координационных октаэдров катионов В. Перпендикулярно поверхности кольца над и под соответствующим катионом А находится один атом кислорода. Длина его связи при этом немного короче, чем длина связи с атомами кислорода кольца. Таким образом, катион А координируется с кислородом в

форме гексагональной бипирамиды. Другое описание структуры пироклора (фиг.2) показывает, что структура составлена из двух типов координационных полиэдров катионов. При этом относительно меньший катион В координирует шесть эквидистантных атомов кислорода в форме тригональных антипризм. Большой катион А координируется шестью эквидистантными атомами кислорода и двумя дополнительными атомами кислорода с немного более короткой длиной связи. Эти восемь атомов кислорода образуют повернутый куб вокруг катиона А.

Трудности в описании структуры возникают, в частности, потому, что при различных длинах связей между катионами и атомами кислорода в зависимости от того, какие химические элементы конкретно имеются для катионов А и В, координационные полиэдры искажаются. Поэтому представляется, что дифрактометрические измерения порошка не позволяют сделать выводы о взаимной координации различных атомов. В этом отношении требуется и для характеристики структуры пироклора достаточно охарактеризовать ее посредством значений  $2\theta$  из дифрактометрических измерений порошка. В нижеследующей таблице приведены значения  $2\theta$  характерных для пироклора интенсивностей и соответствующие значения  $hkl$ .

$2\theta - hkl$

29.2 - 111

33.2 - 200

47.8 - 220

56.7 - 311

59.4 - 222

69.8 - 400

77.2 - 331

79.6 - 420

89.0 - 511/311

Из-за загрязнений исследуемого порошка могут возникнуть незначительные отклонения от значений  $2\theta$  в области первого десятичного разряда. При дифрактометрическом измерении порошка могут возникнуть также систематические погрешности. Они могут, в принципе, сказаться на измеренных значениях  $2\theta$  двояким образом. Во-первых, измеренные значения  $2\theta$  могут сместиться, в целом, в сторону больших или меньших значений  $2\theta$ . При этом, однако, разрыв между двумя соседними значениями  $2\theta$  остается одинаковым. Во-вторых, может произойти так, что интенсивности, в целом, появятся на шкале  $2\theta$  с большим или меньшим разрывом. Тогда, однако, соотношение разрывов между соседними значениями  $2\theta$  у измеренного образца равно соотношению соответствующих разрывов между соседними значениями  $2\theta$  в указанной таблице.

Катионы А и В в общей химической структурной формуле обозначают преимущественно редкоземельные металлы и алюминий (вообще: катионы  $A^{3+}$ ) и гафний, цирконий и церий (вообще: катионы  $B^{4+}$ ).

Для теплоизолирующего слоя с триоксидом, в частности со структурой пироклора, пригодны преимущественно следующие вещества: гафнат лантана ( $La_2Hf_2O_7$ ), цирконат лантана ( $La_2Zr_2O_7$ ), гафнат алюминия ( $Al_2Hf_2O_7$ ), гафнат церия ( $Ce_2Hf_2O_7$ ), цирконат церия ( $Ce_2Zr_2O_7$ ),

церат алюминия ( $Al_2Ce_2O_7$ ) и церат лантана ( $La_2Ce_2O_7$ ). В подходящих материалах покрытия со структурой пирохлора содержатся также псевдотриоксиды. Они могут иметь, например, структурную формулу  $La_2(HfZr)O_7$  или  $(CeLa)Hf_2O_7$ . Кроме того, принимаются во внимание соединения с нецелочисленными индексами, например  $La_2(Hf_{1,5}Zr_{0,5})O_7$ . Возможно также, чтобы ионы А и В имели одновременно несколько элементов.

Эти соединения отличаются тем, что по сравнению с замещающими их элементами они имеют диапазон растворимости несколько мол.%. Это предотвращает образование выделений у почти сверх- или достехиометрического состава. Они отличаются также тем, что являются фазостабильными в более широком интервале температур. Это означает, что структура пирохлора сохраняется в ответственном для эксплуатации каналов для горячих газов интервале температур. Так,  $La_2Hf_2O_7$  и  $La_2Zr_2O_7$  изменяют свою кристаллическую структуру лишь при температуре свыше  $1500^\circ C$ . Таким образом, отпадает необходимость также в добавке стабилизатора. Вследствие этого исключено действие стабилизатора, которое усиливает старение материала. Допустимая рабочая температура может быть, следовательно, увеличена до более высоких значений.

Материалы покрытия со структурой перовскита имеют общую химическую структурную формулу  $ABO_3$ . Соединения со структурой перовскита отличаются от соединений со структурой ильменита, также имеющих общую химическую структурную формулу  $ABO_3$ , тем, что ионы А относительно меньше по сравнению с ионами В. Структура перовскита в кристаллографическом отношении описана достаточно достоверно. Она существенно меньше, чем структура пирохлора. Структура перовскита содержит четыре атома в элементарной ячейке. На фиг.3 изображена элементарная ячейка структуры перовскита. На фиг.4 изображена элементарная ячейка структуры перовскита, которая смещена относительно элементарной ячейки на фиг. 2 на  $1/2$ ,  $1/2$ ,  $1/2$ . Меньшие катионы А обозначены сплошными окружностями, большие катионы В - заштрихованными окружностями, а анионы кислорода - полыми окружностями. Как видно из фиг.3 и 4, перовскит представляет собой кубическую структуру. В ней большие ионы В занимают углы элементарного куба, меньшие ионы А - его центр, а ионы О - центры его граней (фиг. 4). Структуру можно также описать так, что большие ионы В и ионы О образуют вместе кубически плотнейшую шаровую упаковку, в которой  $1/4$  октаэдрических вакансий заняты ионами А. Ионы В координируются соответственно 12 ионами О в форме кубического октаэдра, а с ионами О соседствуют соответственно четыре иона В и два иона А.

В качестве материала для теплоизолирующих слоев применяются предпочтительно следующие соединения: цирконат иттербия ( $YbZrO_3$ ), гафнат иттербия ( $YbHfO_3$ ), цирконат кальция ( $CaZrO_3$ ) и гафнат кальция ( $CaHfO_3$ ).

Особенно предпочтительными являются при этом цирконат иттербия и гафнат иттербия.

Также у материалов теплоизолирующих слоев со структурой перовскита не требуется, чтобы все катионы группы А и В относились к одному и тому же элементу. Так, здесь возможны и соединения псевдотриоксида, например со структурной формулой  $Yb(Zr_{0,5}Hf_{0,5})O_3$ , и т.п.

Как и материалы покрытия со структурой пирохлора, материалы со структурой перовскита не показывают фазового превращения от комнатной температуры до высоких температурных значений, хотя и не до температуры плавления. По этой причине они являются аналогично предпочтительными, как и материалы покрытия со структурой пирохлора.

На фиг. 5 изображен фрагмент лопатки газовой турбины или элемента жарозащитного экрана камеры сгорания газовой турбины (не показаны). На основании 1, состоящее из суперсплава, в частности, на основе никеля, кобальта или железа, нанесен повышающий адгезию слой 2. Повышающий адгезию слой 2 состоит из сплава металл-хром-алюминий-иттрий (MCrAlY).

Повышающий адгезию слой 2 служит для обеспечения адгезии между теплоизолирующим слоем 4 и основанием 1. Содержащийся в повышающем адгезию слое алюминий и/или хром служит в качестве образователя соответственно оксида алюминия или оксида хрома. Он образует связывающий слой 3, в частности плотный пассивный слой, соответственно из оксида алюминия и оксида хрома, который в качестве кислородного барьера защищает основание 1 от окисления. Теплоизолирующий слой 4 наносит на основание 1 предпочтительно атмосферным плазменным напылением или способом PVD, например способом EB-PVD. В случае применения атмосферного плазменного напыления в качестве способа нанесения параметры способа могут быть выбраны так, чтобы в теплоизолирующем слое 4 установилась нужная пористость. С помощью способа EB-PVD можно получить столбчатую структуру теплоизолирующего слоя 4. При этом столбики кристаллитов перпендикулярны поверхности основания 1. Теплоизолирующий слой 4 состоит, например, из гафната лантана. Теплоизолирующий слой 4 имеет относительно рыхлую микроструктуру. Он содержит поры или другие объемные дефектные участки. Также в качестве столбчатой микроструктуры он отличается относительно рыхлой структурой. Эта рыхлая структура обладает определенной склонностью к эрозии в потоке горячего газа. В качестве защиты от таких явлений эрозии поверхность теплоизолирующего слоя 4 может быть расплавлена в плотный и компактный защитный слой 5, как это изображено здесь. Защитный слой 5 может быть получен, например, путем лазерного расплавления.

Возможно также нанесение теплоизолирующего слоя 4 непосредственно на основание 1. В этом случае сплав основания 1 уже выполнен так, что он пригоден для образования связывающего оксида, например оксида хрома и/или оксида алюминия. Этот связывающий оксид образует затем связывающий слой 3.

### Формула изобретения:

1. Изделие, подвергаемое воздействию горячего газа, содержащее металлическое основание (1), с которым связан керамический теплоизолирующий слой (4), содержащий триоксид или псевдотриоксид, отличающееся тем, что триоксид или псевдотриоксид имеют кристаллическую структуру пирохлора со структурной формулой  $A_2B_2O_7$ .

2. Изделие по п.1, у которого триоксид или псевдотриоксид представляет собой гафнат металла, цирконат металла, или церат металла, или их смесь.

3. Изделие по п.2, у которого триоксид или псевдотриоксид содержит в качестве элемента для А лантан, алюминий и/или церий.

4. Изделие по п.3, у которого триоксид или псевдотриоксид содержит гафнат лантана.

5. Изделие по любому из пп.1-4, у которого между основанием (1) и теплоизолирующим слоем (4) образован связывающий слой (3), содержащий связывающий триоксид или псевдотриоксид.

6. Изделие по любому из пп.1-5, у которого между основанием (1) и теплоизолирующим слоем (4) образован повышающий адгезию слой (2), образующий связывающий триоксид или псевдотриоксид.

7. Изделие по любому из пп.1-6, у которого связывающий триоксид или псевдотриоксид представляет собой оксид алюминия и/или оксид хрома.

8. Изделие по любому из пп.1-7, у которого триоксид или псевдотриоксид не имеет фазового превращения между комнатной температурой и максимально допустимой рабочей температурой, превышающей  $1250^{\circ}\text{C}$ .

9. Изделие по любому из пп.1-8, у которого триоксид или псевдотриоксид имеет температуру плавления свыше  $2150^{\circ}\text{C}$ .

10. Изделие по любому из пп.1-9, у которого теплоизолирующий слой (4) имеет поры или другие объемные дефектные участки.

11. Изделие по любому из пп.1-10, у которого теплоизолирующий слой (4) имеет столбчатую микроструктуру, причем осевое направление кристаллитов перпендикулярно поверхности основания (1).

12. Изделие по любому из пп.1-11, представляющее собой нагружаемый горячими газами конструктивный элемент двигателя внутреннего сгорания, в частности газовой турбины.

13. Изделие, подвергаемое воздействию

горячего газа, содержащее металлическое основание (1), с которым связан керамический теплоизолирующий слой (4), содержащий триоксид или псевдотриоксид, отличающееся тем, что триоксид или псевдотриоксид имеют кристаллическую структуру перовскита со структурной формулой  $ABO_3$ , причем А обозначает иттербий, а В обозначает гафний или цирконий, или А обозначает кальций, а В - гафний.

14. Изделие по п.13, у которого между основанием (1) и теплоизолирующим слоем (4) образован связывающий слой (3), содержащий связывающий триоксид или псевдотриоксид.

15. Изделие по любому из пп.13 и 14, содержащее между основанием (1) и теплоизолирующим слоем (4) повышающий адгезию слой (2), образующий связывающий триоксид или псевдотриоксид.

16. Изделие по любому из пп.13-15, у которого связывающий триоксид или псевдотриоксид представляет собой оксид алюминия и/или оксид хрома.

17. Изделие по любому из пп.13-16, у которого триоксид или псевдотриоксид не имеет фазового превращения между комнатной температурой и максимально допустимой рабочей температурой, превышающей  $1250^{\circ}\text{C}$ .

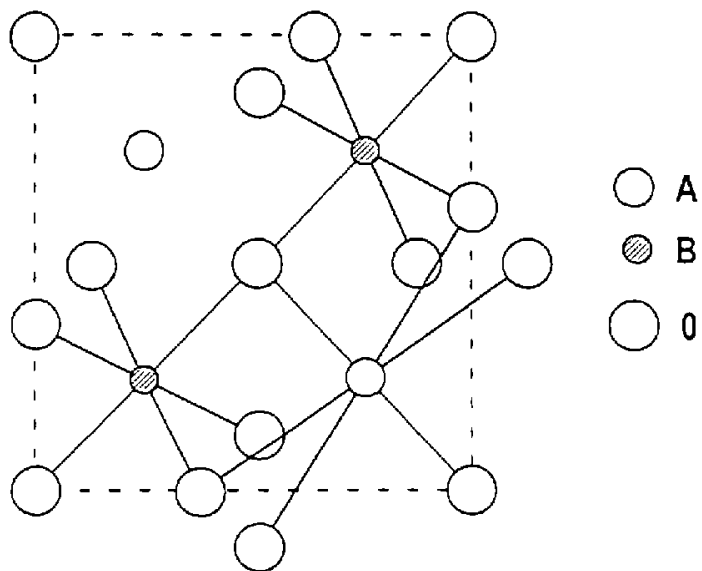
18. Изделие по любому из пп.13-17, у которого триоксид имеет температуру плавления свыше  $2150^{\circ}\text{C}$ .

19. Изделие по любому из пп.13-18, у которого теплоизолирующий слой (4) имеет поры или другие объемные дефектные участки.

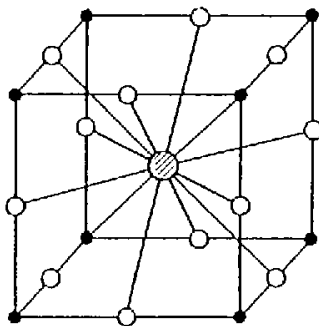
20. Изделие по любому из пп.13-19, у которого теплоизолирующий слой (4) имеет столбчатую микроструктуру, причем осевое направление кристаллитов перпендикулярно поверхности основания (1).

21. Изделие по любому из пп.13-20, представляющее собой нагружаемый горячими газами конструктивный элемент двигателя внутреннего сгорания, в частности газовой турбины.

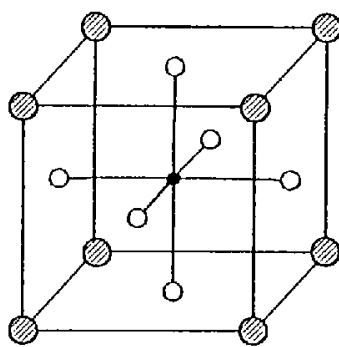
22. Способ изготовления подвергаемого воздействию горячего газа изделия, содержащего металлическое основание и керамический теплоизолирующий слой из триоксида или псевдотриоксида, имеющего кристаллическую структуру пирохлора со структурной формулой  $A_2B_2O_7$ , причем керамический теплоизолирующий слой наносят на основание (1) плазменным напылением или способом PVD, в частности способом электронно-лучевого PVD.



Фиг. 2



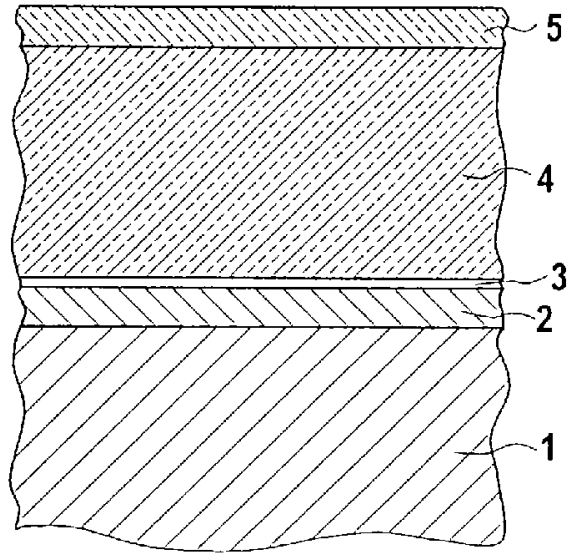
Фиг. 3



Фиг. 4



RU 2218451 C2



Фиг. 5

RU 2218451 C2