



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2008142377/02, 01.03.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
01.03.2007

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
27.03.2006 ЕР 06006326.0

(43) Дата публикации заявки: 10.05.2010 Бюл. № 13

(45) Опубликовано: 20.02.2011 Бюл. № 5

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2161661 C1, 10.01.2001. US 5070587 A,  
10.12.1991. US 6887044 B2, 03.05.2005.АБРАИМОВ Н.В. и др. Химико-термическая  
обработка жаропрочных сталей и сплавов.  
М.: Интермет Инжиниринг, 2001, с.300-301.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 27.10.2008(86) Заявка РСТ:  
ЕР 2007/051929 (01.03.2007)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2007/110295 (04.10.2007)Адрес для переписки:  
129090, Москва, ул.Б.Спасская, 25, стр.3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры", пат.п.в. А.В.Мицу, рег.№ 364

(72) Автор(ы):

ШТАЙНБАХ Ян (DE),  
ШТАММ Вернер (DE)

(73) Патентообладатель(и):

СИМЕНС АКЦИЕНГЕЗЕЛЛЬШАФТ (DE)

RU 2 4 1 2 2 7 7 C 2

## (54) МАТРИЦА И СЛОИСТАЯ СИСТЕМА С НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИМИ ЧАСТИЦАМИ

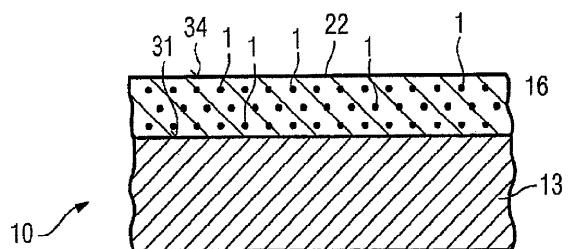
(57) Реферат:

Изобретение относится к области металлургии, в частности к слоистым системам с частицами. Заявлена матрица и слоистая система с нестехиометрическими частицами. Матрица с частицами (1) для детали (10, 120, 130, 138, 155) или для слоя (16), содержащая матричный материал, содержащий по меньшей мере один элемент-металл (Me). Частица (1) содержит оксид (Me-O), или частица (1) содержит нитрид алюминия (Al-N), или

частица (1) содержит оксинитрид алюминия (Al-N-O), или соединение частицы (1) содержит металлоорганическое соединение (R-C-Me-R), где R = углеродная цепь, в частности соединение Si-O-C-Me, или соединение содержит сплав, и элемент-металл (Me) имеет в этом соединении нестехиометрическую долю, в частности частица (1) состоит из этого соединения. Слоистая система, содержащая подложку (13) и/или по меньшей мере один слой (16, 19),

RU 2 4 1 2 2 7 7 C 2

расположенный на подложке (13), и матрицу. Технический результат - повышение защитного действия матрицы и слоистой системы. 2 н. и 24 з.п. ф-лы, 6 ил.



ФИГ.1

R U 2 4 1 2 2 7 7 C 2

R U 2 4 1 2 2 7 7 C 2

RU 2412277 C2

RUSSIAN FEDERATION



(19) RU (11) 2 412 277<sup>(13)</sup> C2

(51) Int. Cl.  
C23C 26/00 (2006.01)

FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2008142377/02, 01.03.2007

(24) Effective date for property rights:  
01.03.2007

Priority:

(30) Priority:  
27.03.2006 EP 06006326.0

(43) Application published: 10.05.2010 Bull. 13

(45) Date of publication: 20.02.2011 Bull. 5

(85) Commencement of national phase: 27.10.2008

(86) PCT application:  
EP 2007/051929 (01.03.2007)

(87) PCT publication:  
WO 2007/110295 (04.10.2007)

Mail address:

129090, Moskva, ul.B.Spasskaja, 25, str.3, OOO  
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",  
pat.pov. A.V.Mitsu, reg.№ 364

(72) Inventor(s):

ShTAJNBAKh Jan (DE),  
ShTAMM Verner (DE)

(73) Proprietor(s):

SIMENS AKTsIENGEZELL'ShAFT (DE)

RU 2412277 C2

**(54) MATRIX AND LAMINATED SYSTEM WITH NON-STOICHIOMETRIC PARTICLES**

(57) Abstract:

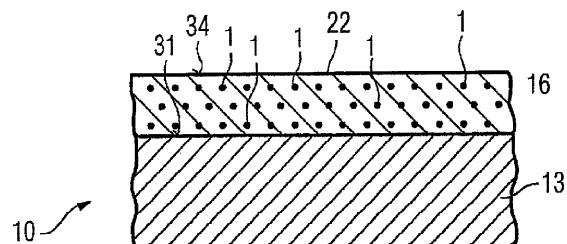
FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: here is disclosed matrix and laminated system with non-stoichiometric particles. Matrix with particles (1) for part (10, 120, 130, 138, 155) or for layer (16) contains matrix material containing at least one element - metal (Me). Particle (1) contains oxide (Me-O), or particle (1) contains aluminium nitride (Al-N), or particle (1) contains oxy-nitride of aluminium (Al-N-O), or compound of particle (1) contains metal-organic compound (R-C-Me-R), where R = carbon backbone chain, particularly, compound Si-O-C-Me or compound contains alloy and element - metal (Me) has non-stoichiometric share in this compound, in particular, particle (1) consists of this compound.

Also, here is disclosed laminated system containing substratum (13) and/or at least one layer (16, 19) located on the substratum and the matrix.

EFFECT: increased protective properties of matrix and laminated system.

26 cl, 6 dwg



ФИГ.1

Изобретение относится к матрице по пункту 1 и слоистой системе по пункту 22 формулы изобретения.

5 Детали, используемые при высоких температурах, например турбинные лопатки и стенки камер сгорания газовых турбин, имеют слои защиты от окисления и коррозии. Такие слои состоят, например, из сплава типа MCrAlX, причем на этом слое MCrAlX образуется защитный слой оксида алюминия. Алюминий сплава MCrAlX диффундирует к поверхности слоя MCrAlX, в результате чего сплав MCrAlX обедняется элементом алюминием.

10 Профилактически повышенное с самого начала содержание алюминия в сплаве MCrAlX во избежание этого обеднения приводит, однако, к ухудшению механических свойств слоя MCrAlX.

15 Кроме того, известны лопатки компрессора, снабженные защитными слоями от коррозии и эрозии. При нанесении эти слои содержат неорганическое связующее с металлом, причем металл служит в качестве гальванического «жертвенного» элемента и поэтому электропроводящим образом соединен с подложкой детали. Подходящий состав такого защитного слоя известен из EP 0142418 B1.

20 Также здесь проблема состоит в том, что металл со временем расходуется, в результате чего защитная функция больше не выполняется.

Покрытые оболочкой порошковые частицы, состоящие из алюминия (Al), известны из US 6635362.

В EP 0933448 B1 раскрыты оксидные частицы в слое, состоящем из алюминида.

25 В WO 2002/066706 A2 описана матрица с покрытыми оболочкой частицами, состоящими из стехиометрических сплавов.

Задачей изобретения является создание таких матриц и слоистой системы, которые обладают длительным защитным действием.

30 Эта задача решается посредством матрицы по пункту 1 и слоистой системы по пункту 22 формулы изобретения.

В соответствующих зависимых пунктах приведены дополнительные предпочтительные меры, которые могут быть произвольно скомбинированы друг с другом предпочтительным образом.

На чертежах изображены:

35 фигуры 1, 2, 3 - слои и подложка по изобретению;  
фигура 4 - газовая турбина;  
фигура 5 - в перспективе турбинная лопатка;  
фигура 6 - в перспективе камера сгорания.

40 Соединение состоит из по меньшей мере двух или более химических элементов и имеет определенную стехиометрию. Сплав (металлическое соединение) состоит из по меньшей мере двух металлических элементов.

45 Частица 1 (фиг.1, 2, 3) состоит из соединения, содержащего по меньшей мере один металл Me матрицы слоя 16 (фиг.1, 2) или подложки 13 (фиг.3) в нестехиометрическом соотношении. По меньшей мере один дополнительный химический элемент Z, образующий соединение с металлом Me, может быть компонентом матричного материала или представлять собой химический элемент, не содержащийся в матричном материале.

50 Соединение, т.е. материал частицы 1, является, в частности, соединением металла Me с неметаллом, т.е. представляет собой керамику (неоксидная или оксидная керамика, оксинитрид, нитрид, борид или карбид) и является преимущественно оксидом, преимущественно оксидом алюминия и/или оксидом хрома. Частица 1

содержит также преимущественно нитрид. Преимущественно частица 1 состоит из оксида металла и/или нитрида металла.

Частица 1 может содержать также несколько видов соединений: оксиды, оксинитриды, нитриды, бориды или карбиды.

5 Преимущественно применяется сверхстехиометрическое соединение  $Me_aZ_{b-y}$  ( $y>0$ ),  $Me_{a+x}Z_b$  ( $x>0$ ) или  $Me_{a+x}Z_{b-y}$  ( $x>0, y>0$ ) вместо  $Me_aZ_b$ , т.е., например, ( $Z$  = азот N)  $AlN_{1-y}$  ( $y>0$ ),  $Al_{1+x}$  ( $x>0$ ) или  $Al_{1+x}N_{1-y}$  ( $x>0, y>0$ ) вместо  $AlN$ .

Точно так же соединение для частицы 1 может состоять из сплава,

10 представляющего собой нестехиометрический состав сплава.

Так, например, вместо  $NiAl$  применяется сплав  $Ni_{1-y}Al$  ( $y>0$ ) или  $NiAl_{1+x}$  ( $x>0$ ).

Предпочтительными могут быть также достехиометрические соединения.

Преимущественно частица 1 содержит только один элемент-металл Me.

15 Преимущественно частица 1 содержит два элемента-металла Me. Элементом-металлом Me в соединении, в сплаве или в кремниевых цепях является, в частности, алюминий (Al). Точно так же элементом-металлом может быть хром (Cr). Кроме того, для того чтобы получить соединение для частицы 1, может применяться хромоалюминиевый сплав (Al-Cr).

20 Точно так же для частицы 1 может применяться органический материал R-Me-C-R, такой как, например, материал Si-Me-O-C (кремниевые цепи), где Me=Al, C = углерод, R = углеродная цепь.

Материал R-Me-C-R получен, в частности, из полисилоксановой смолы.

25 Полисилоксановые смолы являются полимерно-керамическими полупродуктами («форполимерами») структурной формулы  $R-SiO_{1,5}$  с по меньшей мере одним элементом-металлом, где R может быть  $=CH_3$ ,  $-CH$ ,  $-CH_2$ ,  $-C_6H_5$  и т.д. Материал термически сшивается, причем неорганические компоненты (цепи Si-O-Si) и органические боковые цепи преимущественно из R находятся рядом друг с другом.

30 Затем полупродукты посредством температурной обработки в атмосфере Ar,  $N_2$ , воздуха или вакуума керамизируются при температурах от 600 до 1200°C. При этом полимерная сетчатая структура разлагается и через термические промежуточные продукты от аморфных до кристаллических фаз заново структурируется, при этом из полисилоксановых полупродуктов возникает сетчатая структура Si-Al(=Me)-O-C.

35 Точно так же могут применяться полупродукты типа полисилана (Si-Si), поликарбосилана (Si-C), полисилазана (Si-N) или полиборосилазана (Si-B-C-N) с элементами-металлами Me. Здесь элемент-металл Me необязательно должен быть в нестехиометрическом соотношении. Достаточно той способности соединения, что

40 элемент-металл Me может легко отделяться от этого соединения.

Частица 1 может быть спеченной порошковой частицей или спеченным порошковым зерном.

45 Диаметр частицы 1 может лежать в микронном, субмикронном ( $<1$  мкм) или нанодиапазоне ( $\leq 500$  мкм). В качестве диаметра можно понимать также наибольшую поперечную длину многогранника.

Частицы 1 преимущественно не имеют оболочки из другого материала.

На фигуре 1 изображена предложенная в изобретении матрица слоя 16. Слой 16 является частью детали 10 или слоистой системы 10, состоящей из подложки 13, на которой расположен слой 16.

Подложка 13 является, например, деталью, используемой при высоких температурах, например, в паровых или газовых турбинах 100 (фиг.5), состоящей из суперсплава на основе никеля, кобальта или железа.

Такие слоистые системы 10 находят применение в турбинных лопатках 120, 130 (фиг.4, 5), элементах 155 теплозащитных экранов (фиг.6) или корпусных деталях 138 (фиг.4).

Слой 16 содержит матрицу из матричного материала, в которой частицы 1 распределены однородно или локально по-разному, например, с градиентом. Частица 1 представляет собой, следовательно, вторичную фазу в матрице (слой, подложке).

При этом может иметь место местный градиент концентрации частиц 1 внутри слоя 16 или же подложки 13. Так, например, концентрация частиц 1 возрастает от поверхности 31 подложки 13 в направлении поверхности 34 слоя 16. При этом могут быть также получены и использованы несколько слоев 16, 19, причем частицы 1 имеются в одном или нескольких слоях.

Матрица слоя 16 имеет преимущественно металлическую основу. Например, слой 16 является сплавом типа MCrAlX, а частицы 1 состоят из соединения алюминия. Частицы 1 могут быть расположены распределенными по всему слою 16 или локально сконцентрированными вблизи внешней поверхности 22 слоя 16 (фиг.2).

Принцип длительного защитного действия будет описан на примере слоя MCrAlX. Как уже описано выше, защитная функция сплава MCrAlX возникает за счет того, что алюминий образует оксид алюминия, причем, однако, в результате этого матричный материал обедняется алюминием.

При высоких температурах алюминий медленно диффундирует из частиц 1 в матрицу слоя 16 и тем самым восполняет в матричном материале израсходованный в результате окисления алюминий, так что первоначальный состав сплава MCrAlX почти или вообще не изменяется до тех пор, пока в частице 1 больше не будет содержаться алюминий. Тем самым достигается то, что срок службы защитного слоя 16 значительно продлевается.

Частицы 1 растворяются в матрице диффузионно двумя различными путями. Они либо пронизываются атомами матричного материала, в случае материалов на основе никеля - это атомы гамма-фазы, либо неметаллический керамикообразующий партнер по связи в частице диффундирует внутрь, а металлический элемент растворяется в матрице.

В случае материалов на основе никеля металлический элемент, преимущественно алюминий, растворяется в гамма-фазе. В последнем случае сохранялось бы стехиометрическое ядро соответствующего керамического состава и за счет упрочнения дисперсными частицами оказывало бы длительное упрочняющее действие на  $\gamma'$ -фазу.

Точно так же эти частицы 1 могут использоваться для усиления суперсплава. Величина частиц 1 преимущественно соответствует оптимальной величине  $\gamma'$ -фазы суперсплава.

В этом случае нерасплавившиеся частицы 1 преимущественно находятся уже в расплаве и разливаются вместе с ним. В отношении расположения и принципа действия вторичной фазы в суперсплаве следует сослаться на уровень техники. В этом случае частицы 1 имеют следующие функции: улучшение механических свойств и достижение способности работать в поврежденном состоянии.

Стехиометрия может также быть выбрана так, чтобы сверхстехиометрическая доля за счет диффузии медленно растворялась в кристаллической структуре матричного материала слоя 16 и неизбежно образовывала выделения в матричном материале и, таким образом, только по истечении определенного времени обеспечивала

возможность диффузии материала частицы 1 непосредственно в матрицу, поскольку до этого момента времени защитная функция, например, слоя MCrAlX еще сохраняется.

5 Независимо от того, расположены ли частицы 1 также и в слое 16, находящемся на подложке 13, при наличии частиц 1 в подложке 13 возникает следующая дополнительная защитная функция.

10 Во время применения слоистой системы 10 может произойти так, что слой 16 (MCrAlX или MCrAlX+внешний керамический слой) отслоится на участке 37, в результате чего часть поверхности 31 подложки 13 останется незащищенной (фиг.3). Однако в близкой к поверхности зоне частицы 1 расположены преимущественно в высокой концентрации (фиг.2). В ходе дальнейшего применения слоистой системы 10 при высоких температурах  $T$  в течение длительного времени  $t$  поверхность 31 подложки 13 корродирует на участке 37, в результате чего частица 1 высвобождается.

15 20 За счет реакции материала частицы 1 возникает защитная функция на участке 37 подложки 13. В случае суперсплавов, применяемых для лопаток газовых турбин, частицы 1 содержат алюминий, так что образуется защитный слой 40 из оксида алюминия, возникший в результате окисления алюминия частицы 1.

25 Частицы 1 могут быть расположены либо только в слое 16 (MCrAlX), либо только в подложке 13. Точно так же возможно, чтобы частицы были расположены как в слое 16, так и в подложке 13.

30 Точно так же слой 16 может представлять собой слой защиты против коррозии и/или эрозии лопатки компрессора, причем частицы 1 в слое 16 преимущественно с химическим составом согласно патенту EP 0142418 B1 приводят к тому, что в течение заметно более длительного промежутка времени в распоряжении появится достаточно «жертвенного» материала, чтобы возникла желаемая защитная функция.

35 При этом для частицы применяется алюминийсодержащее соединение.

40 45 При сжатии воздуха в компрессоре (конденсаторе) может выпадать вода, которая в определенных условиях в сочетании с другими содержащимися в воздухе элементами образует электролит, который может привести к коррозии и эрозии компрессорных лопаток.

50 55 Поэтому для предотвращения коррозии и/или эрозии лопатки компрессора, как правило, снабжаются покрытиями. При этом рассматриваются, в частности, покрытия 16, включающие в себя, например, основную матрицу на фосфатном связующем с дисперсно распределенными в ней металлическими частицами, такими как алюминиевые частицы. Защитное действие покрытия такого рода состоит в том, что заключенные в основном покрытии металлические частицы вместе с (более благородным) металлом лопатки компрессора и электролитом образуют гальваническую ячейку, в которой металлические частицы образуют так называемые жертвенные аноды. Тогда окисление или коррозия происходит в жертвенных анодах, т.е. в металлических частицах, а не в металле лопатки компрессора.

60 65 Основная матрица на фосфатном связующем такого покрытия обладает стеклокерамическими свойствами, является термически стабильной, необязательно коррозионно-устойчивой и защищает от механических воздействий, например абразии и эрозии.

70 75 Помимо металлических частиц, такое покрытие может содержать дополнительные частицы в качестве заполнителей. В качестве примера следует привести частицы красителей.

Помимо покрытий на фосфатном связующем предусматриваются другие виды

покрытий 16. В EP 0412418 B1, EP 0905279 A1 и EP 0995816 A1 описаны покрытия на основе хромата/фосфата. В EP 1096040 A2 описано покрытие 16 на основе фосфата/бората, а в EP 0933446 B1 - покрытие на основе фосфата/перманганата.

Эти слои также могут содержать предложенную в изобретении матрицу.

Частицы 1 могут наноситься почти любым способом нанесения покрытий, т.е. посредством термического плазменного напыления (APS - воздушно-плазменное напыление, VPS - вакуумно-плазменное напыление, LPPS - плазменное напыление под низким давлением), холодного газового напыления, HVOF (высокоскоростное газопламенное напыление) или электролитического напыления.

На фиг.2 изображен другой пример применения слоя 16 по изобретению.

Слоистая система 10 состоит из подложки 13, слоя 16 по изобретению с дополнительным слоем 19 на матрице слоя 16.

Этот пример является примером слоистой системы 10 для высокотемпературного применения, причем подложка 13 также представляет собой суперсплав, как это описано выше, а слой 16 содержит матрицу типа MCrAlX. Тогда слой 19 представляет собой керамический теплоизоляционный слой, причем между слоем 16 и слоем 19 образуется защитный слой оксида алюминия (TGO). Частицы 1 по изобретению сконцентрированы, например, вблизи граничной поверхности между слоями 16 и 19.

Точно так же можно представить себе деталь из материала, содержащего частицы 1, т.е. они отсутствуют в покрытии, но присутствуют в массивном материале.

На фигуре 4 в продольном частичном разрезе изображена газовая турбина 100.

Газовая турбина 100 включает в себя установленный с возможностью вращения вокруг оси 102 ротор 103 с валом 101, которые также называют рабочим колесом турбины.

Вдоль ротора 103 друг за другом следуют всасывающий корпус 104, компрессор 105, выполненная, например, тороидальной камера 110 сгорания, в частности кольцевая камера сгорания, с несколькими коаксиально расположенными горелками 107, турбина 108 и корпус 109 для выпуска отработавших газов.

Кольцевая камера 110 сгорания сообщается с выполненным, например, кольцеобразным каналом 111 горячих газов. В нем, например, четыре включенные друг за другом ступени 112 образуют турбину 108.

Каждая ступень 112 образована, например, двумя лопаточными кольцами. В направлении течения рабочей среды 113 в канале 111 горячих газов за рядом 115 направляющих лопаток следует образованный рабочими лопатками 120 ряд 125.

Направляющие лопатки 130 закреплены на внутреннем корпусе 138 статора 143, а рабочие лопатки 120 ряда 125 размещены на роторе 103, например, посредством турбинного диска 133.

К ротору 103 присоединен генератор или рабочая машина (не показано).

Во время работы газовой турбины 100 воздух 135 всасывается компрессором 105 через всасывающий корпус 104 и сжимается. Полученный на находящемся со стороны турбины конца компрессора 105 сжатый воздух направляется к горелкам 107 и смешивается там с топливом. Смесь сжигается затем в камере 110 сгорания с образованием рабочей среды 113. Оттуда рабочая среда 113 течет вдоль канала 111 горячих газов мимо направляющих лопаток 130 и рабочих лопаток 120. На рабочих лопатках 120 рабочая среда 113 расширяется с передачей импульсов, в результате чего рабочие лопатки 120 приводят во вращение ротор 103, а тот - присоединенную к нему рабочую машину.

Подверженные воздействию горячей рабочей среды 113 детали подвергаются при

работе газовой турбины 100 термическим нагрузкам. Больше всего термически нагружены направляющие лопатки 130 и рабочие лопатки 120 первой ступени 112, если смотреть в направлении течения рабочей среды 113, помимо облицовывающих кольцевую камеру 110 сгорания элементов теплозащитного экрана.

Чтобы выдерживать господствующие там температуры, они должны охлаждаться посредством охлаждающей среды.

Точно так же подложки деталей могут иметь направленную структуру, т.е. они являются монокристаллическими (SX-структура) или содержат только продольно 10 ориентированные зерна (DS-структура).

В качестве материала для деталей, в частности для турбинных лопаток 120, 130 и деталей камеры 110 сгорания, применяются, например, суперсплавы на основе железа, никеля или кобальта.

Такие суперсплавы известны, например, из EP 1204776 B1, EP 1306454, EP 1319729 15 A1, WO 99/67435 или WO 00/44949; эти публикации в отношении химического состава сплавов являются частью содержания настоящей заявки.

Направляющая лопатка 130 содержит обращенный к внутреннему корпусу 138 турбины 108 хвостовик направляющей лопатки (не показан) и противоположную ему 20 головку направляющей лопатки. Головка направляющей лопатки обращена к ротору 103 и закреплена на крепежном кольце 140 статора 143.

На фигуре 5 показан вид в перспективе рабочей лопатки 120 или направляющей лопатки 130 лопаточной машины, которая простирается вдоль продольной оси 121.

Лопаточная машина может быть газовой турбиной летательного аппарата 25 (самолета) или электростанции для выработки электричества, паровой турбиной или компрессором.

Лопатка 120, 130 имеет вдоль продольной оси 121 следующие друг за другом 30 крепежную область 400, примыкающую к ней платформу 403 лопатки, перо 406 лопатки и вершину 415 лопатки.

В качестве направляющей лопатки 130, лопатка 130 может иметь на своей вершине 415 дополнительную платформу (не показана).

В крепежной области 400 выполнен хвостовик (корень) 183 лопатки, который служит для закрепления лопатки 120, 130 на валу или диске (не показано).

Хвостовик 183 лопатки выполнен, например, в виде молотка. Возможны другие 35 варианты исполнения типа «елка» или «ласточкин хвост».

Лопатка 120, 130 имеет переднюю кромку 409 и заднюю кромку 412 для обтекающей перо 406 среды.

В случае традиционных лопаток 120, 130 во всех областях 400, 403, 406 лопатки 120, 130 применяются, например, массивные металлические материалы, в частности 40 суперсплавы.

Такие суперсплавы известны, например, из EP 1204776 B1, EP 1306454, EP 1319729 45 A1, WO 99/67435 или WO 00/44949; эти публикации в отношении химического состава сплавов являются частью содержания настоящей заявки.

Лопатка 120, 130 может быть изготовлена методом литья, а также посредством направленной кристаллизации, методом ковки, методом фрезерования или их комбинаций.

Заготовки с монокристаллической структурой или структурами используются в 50 качестве деталей машин, подверженных при работе высоким механическим, термическим и/или химическим нагрузкам.

Изготовление таких монокристаллических заготовок осуществляется, например,

посредством направленной кристаллизации из расплава. При этом речь идет о способах литья, при которых жидкий металлический сплав затвердевает в монокристаллическую структуру, т.е. в монокристаллическую заготовку.

5 При этом дендритные кристаллы ориентируются вдоль теплового потока и образуют либо столбчато-кристаллическую зернистую структуру (столбчатую, т.е. зерна, которые проходят по всей длине заготовки и которые здесь в соответствии с общим словоупотреблением называются направленно-кристаллизованными), либо монокристаллическую структуру, т.е. вся заготовка состоит из одного единого 10 кристалла. В этих способах следует избегать перехода к глобулярной (поликристаллической) кристаллизации, поскольку в результате ненаправленного роста неизбежно образуются поперечные и продольные границы зерен, которые сводят на нет хорошие свойства направленно-кристаллизованной или монокристаллической детали.

15 Если в целом речь идет о направленно-кристаллизованных структурах, то под ними подразумеваются как монокристаллы, которые не имеют границ зерен или имеют, самое большее, малоугловые границы зерен, так и столбчато-кристаллические структуры, которые имеют проходящие в продольном направлении границы зерен, но 20 не имеют поперечных границ зерен. В случае этих последних кристаллических структур говорят также о направленно-кристаллизованных структурах (directionally solidified structures).

25 Такие методы известны из патента США №US 6024792 и EP 0892090 A1; эти публикации в отношении метода кристаллизации являются частью содержания настоящей заявки.

30 Точно так же лопатки 120, 130 могут содержать покрытия для защиты от коррозии или окисления, например, MCrAlX, где M является по меньшей мере одним элементом из группы железа (Fe), кобальта (Co), никеля (Ni), а X является активным элементом и обозначает иттрий (Y) и/или кремний и/или по меньшей мере один элемент из 35 редкоземельных металлов, или гафний (Hf). Такие сплавы известны из публикаций EP 0486489 B1, EP 0786017 B1, EP 0412397 B1 или EP 1306454 A1, которые в отношении химического состава сплава являются частью содержания настоящей заявки.

Плотность составляет преимущественно 95% от теоретической плотности.

35 На слое MCrAlX (в качестве промежуточного слоя или в качестве внешнего слоя) образуется защитный слой оксида алюминия (термически выращенный оксидный слой, TGO = thermal grown oxide layer).

40 На слое MCrAlX может быть еще предусмотрен теплоизоляционный слой, который преимущественно является внешним слоем и состоит, например, из ZrO<sub>2</sub>, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>, т.е. он не стабилизирован, частично стабилизирован или полностью стабилизирован оксидом иттрия и/или оксидом кальция, и/или оксидом магния.

45 Теплоизоляционный слой покрывает весь слой MCrAlX. Посредством подходящих способов нанесения покрытий, таких как, например, физическое осаждение паров электронным лучом (EB-PVD), в теплоизоляционном слое образуются столбчатые зерна.

50 Возможны другие способы нанесения покрытий, например, APS, LPPS, VPS или CVD (химическое осаждение из паровой фазы). Теплоизоляционный слой может содержать пористые, пораженные микро- или макротрещинами зерна для улучшения стойкости к тепловому удару. Следовательно, теплоизоляционный слой является преимущественно более пористым, чем слой MCrAlX.

Лопатка 120, 130 может быть выполнена полой или сплошной. Если лопатка 120,

130 должна охлаждаться, то она является полой и имеет, при необходимости, еще пленочные охлаждающие отверстия 418 (обозначены штрихпунктиром).

На фигуре 6 изображена камера 110 сгорания газовой турбины 100. Камера 110 сгорания выполнена, например, в виде так называемой кольцевой камеры сгорания, у которой множество горелок 107, расположенных в направлении периферии вокруг оси 102 вращения, направлены в общий объем 154 камеры сгорания и создают пламя 156. Для этого камера 110 сгорания выполнена по своей общей форме в виде кольцеобразной конструкции, которая помещена вокруг оси 102 вращения.

Для достижения сравнительно высокого к.п.д. камера 110 сгорания рассчитана на сравнительно высокую температуру рабочей среды  $M$  от примерно  $1000^{\circ}\text{C}$  до  $1600^{\circ}\text{C}$ . Чтобы даже при таких неблагоприятных для материалов рабочих параметрах обеспечить сравнительно длительный срок службы, стенка 153 камеры сгорания на своей обращенной к рабочей среде  $M$  стороне снабжена внутренней футеровкой, 15 образованной элементами 155 теплозащитного экрана.

Из-за высоких температур во внутреннем пространстве камеры 110 сгорания для элементов 155 теплозащитного экрана и их держателей может быть предусмотрена система охлаждения. Тогда элементы 155 теплозащитного экрана являются, например, 20 полыми и имеют, при необходимости, еще сообщенные с объемом 154 камеры сгорания охлаждающие отверстия (не показаны).

Каждый элемент 155 теплозащитного экрана из сплава снабжен со стороны рабочей среды особенно жаростойким защитным слоем (слой MCrAlX и/или 25 керамическое покрытие) или изготовлен из высокотемпературостойкого материала (массивные керамические кирпичи).

Эти защитные слои могут быть аналогичны турбинным лопаткам, что означает, например, MCrAlX:  $M$  является по меньшей мере одним элементом из группы железа (Fe), кобальта (Co), никеля (Ni), а  $X$  является активным элементом и обозначает 30 иттрий (Y) и/или кремний и/или по меньшей мере один элемент из редкоземельных металлов, или гафний (Hf). Такие сплавы известны из публикаций EP 0486489 B1, EP 0786017 B1, EP 0412397 B1 или EP 1306454 A1, которые в отношении химического состава сплава являются частью содержания настоящей заявки.

На слое MCrAlX может быть еще предусмотрен, например, керамический 35 теплоизоляционный слой, состоящий, например, из  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ - $\text{ZrO}_2$ , т.е. он не стабилизирован, частично стабилизирован или полностью стабилизирован оксидом иттрия и/или оксидом кальция, и/или оксидом магния.

Посредством подходящих способов нанесения покрытий, таким как, например, 40 физическое осаждение паров электронным лучом (EB-PVD), в теплоизоляционном слое образуются столбчатые зерна.

Возможны другие способы нанесения покрытий, например, APS, LPPS, VPS или CVD. Теплоизоляционный слой может содержать пористые, пораженные микропорами или макротрещинами зерна для улучшения стойкости к тепловому удару.

45 Восстановление (refurbishment) означает, что турбинные лопатки 120, 130 и элементы 155 теплозащитного экрана после их использования должны быть освобождены, при необходимости, от защитных слоев (например, посредством пескоструйной обработки). Затем осуществляется удаление коррозионных и/или оксидных слоев или продуктов окисления. При необходимости, ремонтируются также трещины в турбинной лопатке 120, 130 или элементе 155 теплозащитного экрана. После этого осуществляется повторное покрытие турбинных лопаток 120, 130, элементов 155 теплозащитного экрана и повторное использование этих турбинных

лопаток 120, 130 или элементов 155 теплозащитного экрана.

Формула изобретения

1. Матрица с частицами (1) для детали (10, 120, 130, 138, 155) или для слоя (16),  
<sup>5</sup> содержащая матричный материал, содержащий по меньшей мере один элемент-металл (Me),  
 отличающаяся тем, что  
 частица (1) содержит оксид (Me-O), или  
<sup>10</sup> частица (1) содержит нитрид алюминия (Al-N), или  
 частица (1) содержит оксинитрид алюминия (Al-N-O), или  
 соединение частицы (1) содержит металлоорганическое соединение (R-C-Me-R),  
 где R - углеродная цепь, в частности соединение Si-O-C-Me, или  
<sup>15</sup> соединение содержит сплав, и  
 элемент-металл (Me) имеет в этом соединении нестехиометрическую долю,  
 в частности частица (1) состоит из этого соединения.
2. Матрица по п.1, отличающаяся тем, что упомянутый по меньшей мере один элемент-металл (Me) имеет в соединении сверхстехиометрическую долю.
- <sup>20</sup> 3. Матрица по п.1, отличающаяся тем, что частица (1) содержит только один элемент-металл (Me).
4. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что частица (1) содержит только два элемента-металла (Me).
- <sup>25</sup> 5. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что элемент-металл (Me) является алюминием (Al).
6. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что элемент-металл (Me) является хромом (Cr).
- <sup>30</sup> 7. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что частица (1) содержит алюминий (Al) и хром (Cr).
8. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что частица (1) содержит оксид алюминия и/или оксид хрома.
9. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что частица (1) выполнена зерновидной.
- <sup>35</sup> 10. Матрица по п.1, отличающаяся тем, что диаметр частицы (1) составляет  $\leq 1$  мкм,  
 в частности  $\leq 500$  нм.
11. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что дополнительный элемент (Z) не является компонентом матричного материала.
12. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что дополнительный элемент (Z)  
<sup>40</sup> является компонентом матричного материала.
13. Матрица по п.1 или 2, отличающаяся тем, что частица (1) не имеет оболочки из другого материала.
14. Слоистая система, содержащая подложку (13) и/или по меньшей мере один слой (16, 19), расположенный на подложке (13), матрицу по любому пп.1-13.
- <sup>45</sup> 15. Слоистая система по п.14, отличающаяся тем, что на слое (16) расположен дополнительный слой (19).
16. Слоистая система по п.14 или 15, отличающаяся тем, что слой (16) является металлическим.
- <sup>50</sup> 17. Слоистая система по п.15, отличающаяся тем, что слой (16) представляет собой сплав типа MCrAlX.
18. Слоистая система по п.14 или 15, отличающаяся тем, что слой (16) является керамическим или стеклокерамическим, а подложка (13) является металлической.

19. Слоистая система по п.14, или 15, или 17, отличающаяся тем, что внутри слоя (16) и/или подложки (13) имеется градиент концентрации частиц (1).

20. Слоистая система по п.14, или 15, или 17, отличающаяся тем, что только подложка (13) содержит матрицу по одному или нескольким из пп.1-13.

<sup>5</sup> 21. Слоистая система по п.14, или 15, или 17, отличающаяся тем, что только слой (16) содержит матрицу по одному или нескольким из пп.1-13.

22. Слоистая система по п.14, отличающаяся тем, что подложка (13) выполнена на основе никеля.

<sup>10</sup> 23. Слоистая система по п.14, отличающаяся тем, что слой (16) выполнен на основе никеля.

24. Слоистая система по п.14, или 15, или 17, отличающаяся тем, что подложка (13) представляет собой суперсплав на основе кобальта, никеля или железа, на которую нанесен слой (16), в частности, с матрицей из MCrAlX, на котором предусмотрен, в <sup>15</sup> частности, керамический теплоизоляционный слой, состоящий, в частности, из материала оксида циркония.

<sup>20</sup> 25. Слоистая система по п.24, отличающаяся тем, что эта слоистая система (10) применяется для детали, в частности для турбинной лопатки (120, 130), элемента (155) теплозащитного экрана или корпусной детали (138) турбины, в частности газовой (100) или паровой турбины.

26. Слоистая система по п.24, отличающаяся тем, что эта слоистая система (10) применяется для лопатки компрессора, в частности газовой турбины (100).

<sup>25</sup>

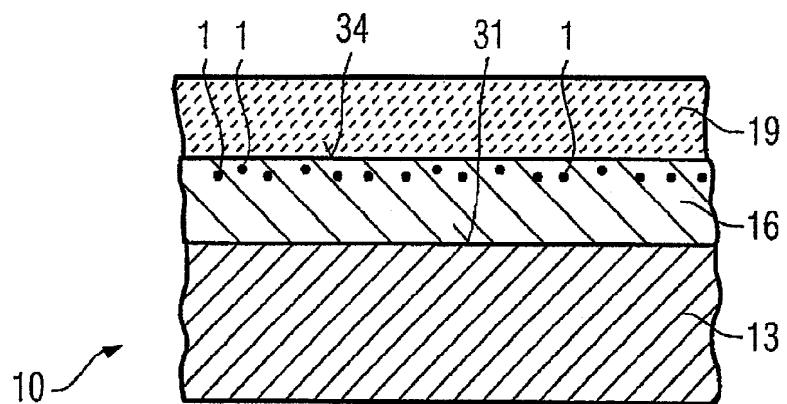
<sup>30</sup>

<sup>35</sup>

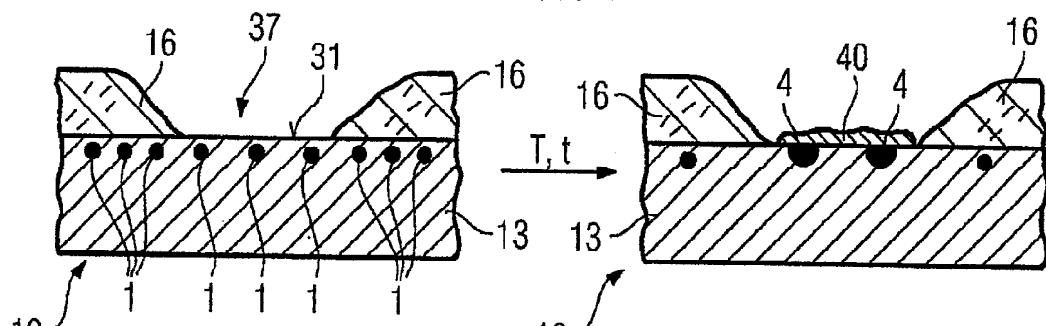
<sup>40</sup>

<sup>45</sup>

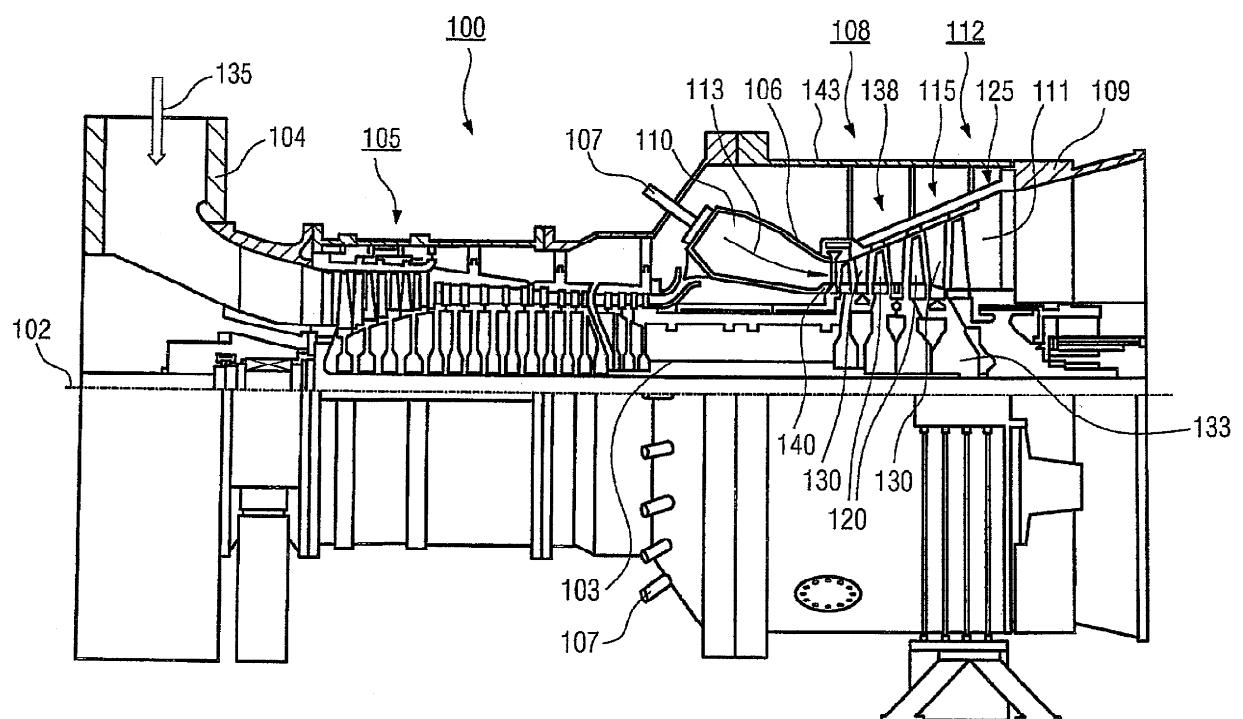
<sup>50</sup>



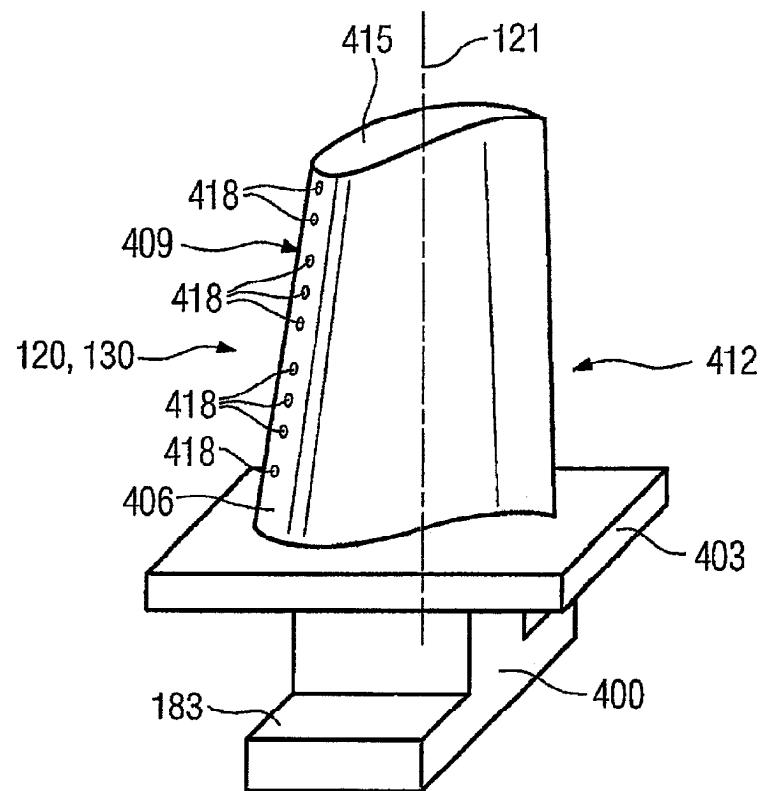
ФИГ.2



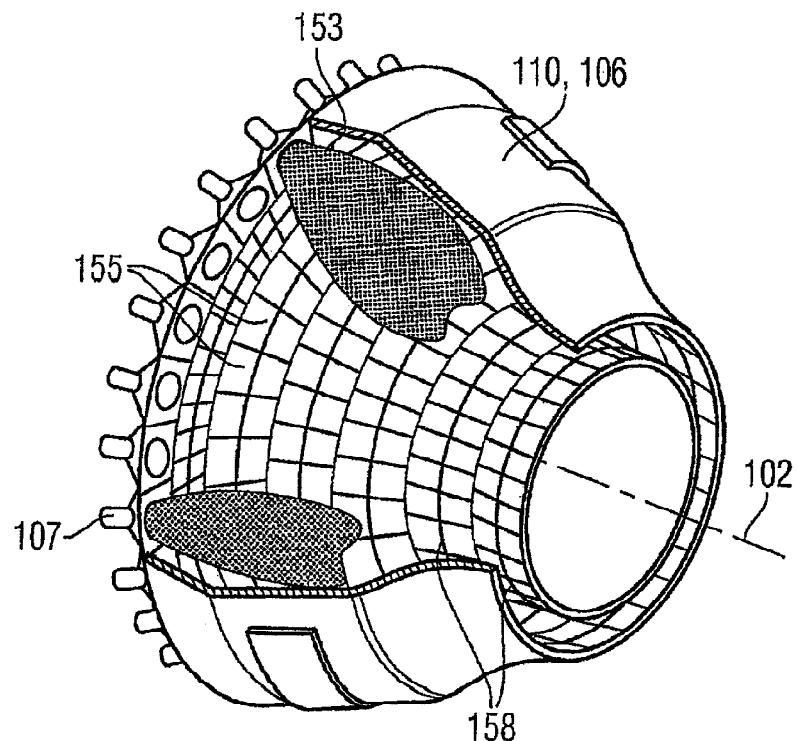
ФИГ.3



ФИГ.4



ФИГ.5



ФИГ.6