



(51) МПК  
*C23C 30/00* (2006.01)  
*C23C 14/06* (2006.01)  
*C23C 4/04* (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: **2009125841/02, 06.07.2009**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**06.07.2009**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **06.07.2009**

(43) Дата публикации заявки: **20.01.2011** Бюл. № 2

(45) Опубликовано: **10.04.2012** Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **US 6610420 B2, 26.08.2003. RU 2280095 C2, 20.07.2006. RU 2078148 C1, 27.04.1997. WO 2001018277 A1, 15.03.2001. US 6620525 B1, 16.09.2003.**

Адрес для переписки:

**450081, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.  
 Шота Руставели, 49, ООО ПП  
 "Турбинаспецсервис"**

(72) Автор(ы):

**Смыслов Анатолий Михайлович (RU),  
 Смыслова Марина Константиновна (RU),  
 Мингажев Аскар Джамилевич (RU),  
 Петухов Игорь Геннадиевич (RU),  
 Быбин Андрей Александрович (RU),  
 Седов Виктор Викторович (RU),  
 Новиков Антон Владимирович (RU),  
 Селиванов Константин Сергеевич (RU),  
 Павлинич Сергей Петрович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Общество с ограниченной  
 ответственностью "Производственное  
 предприятие "Турбинаспецсервис" (RU)**

**(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННОГО ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к методам нанесения теплозащитных покрытий на лопатки энергетических и транспортных турбин, в частности газовых турбин авиадвигателей. Способ включает нанесение подслоя из жаростойкого сплава и формирование на подслое армированного керамического слоя. Армированный керамический слой формируют поэтапно. Сначала наносят дискретный керамический слой в виде островковых участков на поверхности подслоя, оставляя открытыми

от 4% до 98% от общей поверхности подслоя. Затем на дискретный керамический слой и открытые участки подслоя наносят по крайней мере один дискретный металлический слой в виде полос или сетки площадью от 4% до 98% от общей поверхности формируемого покрытия и толщиной от 0,8 мкм до 5 мкм. После чего наносят внешний сплошной керамический слой. Технический результат - повышение эксплуатационных свойств покрытий, снижение трудоемкости способа, повышение выносливости и циклической прочности деталей с покрытиями. 23 з.п. ф-лы, 3 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C23C 30/00* (2006.01)  
*C23C 14/06* (2006.01)  
*C23C 4/04* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2009125841/02, 06.07.2009**

(24) Effective date for property rights:  
**06.07.2009**

Priority:

(22) Date of filing: **06.07.2009**

(43) Application published: **20.01.2011 Bull. 2**

(45) Date of publication: **10.04.2012 Bull. 10**

Mail address:

**450081, Respublika Bashkortostan, g.Ufa, ul.  
Shota Rustaveli, 49, OOO PP "Turbinaspetservis"**

(72) Inventor(s):

**Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),  
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),  
Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU),  
Petukhov Igor' Gennadievich (RU),  
Bybin Andrej Aleksandrovich (RU),  
Sedov Viktor Viktorovich (RU),  
Novikov Anton Vladimirovich (RU),  
Selivanov Konstantin Sergeevich (RU),  
Pavlinich Sergej Petrovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju  
"Proizvodstvennoe predpriyatie  
"Turbinaspetservis" (RU)**

**(54) METHOD FOR PRODUCTION OF REINFORCED HEAT-SHIELDING COATING**

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: method includes application of a sublayer from a heat-resistant alloy and formation of a reinforced ceramic layer on the sublayer. The reinforced ceramic layer is formed in stages. At first the discrete ceramic layer is applied in the form of isle sections on the sublayer surface, leaving open from 4% to 98% of the total sublayer surface. Then at least one discrete metal layer is applied onto the discrete ceramic layer and open

sections of the sublayer in the form of strips or a grid with the area from 4% to 98% from the total surface of the formed coating and thickness from 0.8 mcm to 5 mcm. Afterwards the outer solid ceramic layer is applied.

EFFECT: higher operational properties of coatings, reduced labour intensiveness of the method, increased endurance and cyclic strength of parts with the coating.

24 cl, 3 tbl

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к методам нанесения теплозащитных покрытий на лопатки энергетических и транспортных турбин, и в особенности газовых турбин авиадвигателей.

5 Газотурбинные установки и двигатели находят все более широкое применение в современной технике: двигатели самолетов и вертолетов, судовые газотурбинные двигатели, энергетические ГТУ и газоперекачивающие агрегаты. К основным деталям, определяющим надежность, экономичность и ресурс их работы, относятся рабочие лопатки турбины. Турбинные лопатки работают в достаточно жестких условиях: 10 высокие температуры, агрессивные среды (кислород, сера, окислы ванадия и другие элементы), значительные знакопеременные механические нагрузки и резкие теплосмены. Существующие тенденции совершенствования турбомашин приводят к еще большему ужесточению указанных условий эксплуатации и к повышению стоимости деталей. Все это требует применения на лопатках турбин более 15 эффективных защитных покрытий. Одним из путей повышения температуры в турбине при сохранении ресурса лопаток является применение теплозащитных покрытий (ТЗП). Керамические ТЗП, при их достаточной толщине, могут ощутимо снизить теплоприток к основному материалу охлаждаемой лопатки и обеспечить ее работоспособность в условиях высоких температур. 20

Наиболее перспективным материалом для формирования теплозащитного слоя ТЗП является керамика на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия ( $ZrO_2 \cdot Y_2O_3$ ). Для обеспечения адгезии керамического слоя и защиты основного материала детали от окисления ТЗП имеет жаростойкий подслой. 25

Известен способ нанесения теплозащитного покрытия на лопатку турбины [патент РФ №2325467, МПК C23C 4/10. Способ получения создающего термический барьер покрытия. Я.Вигрен, М.Ханссон. Вольво аэро корп. 2008], включающий предварительную обработку поверхности лопатки и нанесение связующего подслоя, жаростойкого слоя системы  $MeCrAlY$  и теплозащитного керамического слоя на основе 30 диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия.

Кроме того, известен способ нанесения теплозащитного покрытия на лопатку турбины (патент США №4,904,542 "Многослойное коррозионно-стойкое покрытие"), включающий газотермическое нанесение многослойного покрытия, состоящего из 35 чередующихся керамических и металлических слоев. Также известно многослойное высокотемпературное покрытие, состоящее из керамических слоев, разделенных металлическими слоями. Данное покрытие имеет ряд существенных недостатков. Входящая в его состав керамика образована путем плазменного напыления, что существенно снижает его термическую усталость и долговечность. Материал 40 металлических слоев выбирается исходя из характеристик его стойкости к эрозии. Это ведет к тому, что при наличии перепадов температуры как по толщине, так и по его поверхности в материале металлического слоя возникнут термические напряжения, которые будут переданы керамике, имеющей низкую прочность на растяжение.

Известен также способ получения теплозащитного покрытия, преимущественно для рабочих лопаток турбин газотурбинных двигателей и энергетических установок, включающий подготовку поверхности лопатки, формирование подслоя, путем 45 нанесения жаростойкого слоя и переходного слоя, нанесение на переходный слой внешнего керамического слоя на основе  $ZrO_2$ , стабилизированного  $Y_2O_3$  (патент РФ №2078148). Известный способ нанесения теплозащитного покрытия на лопатку турбины включает также предварительную абразивно-жидкостную обработку и обработку шлифпорошком, нанесение слоя жаростойкого покрытия из сплава на 50

никелевой основе методом вакуумно-плазменной технологии, нанесение второго слоя из сплава на основе алюминия, легированного никелем 13-16% и иттрием 1,5-1,8%, вакуумный отжиг и подготовку поверхности перед нанесением третьего керамического слоя из диоксида циркония, стабилизированного 7-9 мас.% оксида иттрия ( $ZrO_2 \cdot 7\% Y_2O_3$ ), и последующие дополнительные вакуумный диффузионный и окислительный отжиг.

Наиболее близким по технической сущности является способ получения армированного теплозащитного покрытия, преимущественно для рабочих лопаток турбин газотурбинных двигателей и энергетических установок, включающий нанесение подслоя и формирование на подслое армированного керамического слоя (А.Хасуй. Техника напыления. М.: Машиностроение, 1975. Патент США №6610420 // МПК В32В 015/04; F03В 003/12 // Thermal Barrier coating system of a turbine engine component, 2003).

Известен способ подготовки поверхности детали под нанесение многослойного покрытия на металлические изделия методом катодного распыления, включающий ионную очистку и/или модификацию поверхности изделия [патент РФ №2228387. МПК С23С 14/06. Способ нанесения многослойного покрытия на металлические изделия. Опубл. 2004 г.]. Однако функциональным назначением ионно-имплантационной обработки поверхности в данном случае не является повышение жаростойкости слоя.

Основным недостатком прототипа является низкая жаростойкость подслоя и недостаточно высокие эксплуатационные свойства керамического слоя, сложность получения армирующей составляющей в керамическом слое и как следствие этого - высокая трудоемкость процесса формирования покрытия, а также недостаточная выносливость и циклическая прочность деталей с покрытием, т.е. параметры, которые необходимо обеспечивать при эксплуатации рабочих лопаток турбин газотурбинных двигателей и установок.

Техническим результатом заявляемого способа является повышение эксплуатационных свойств теплозащитного покрытия, снижение трудоемкости, при одновременном повышении выносливости и циклической прочности деталей с защитными покрытиями.

Технический результат достигается тем, что в способе получения армированного теплозащитного покрытия рабочих лопаток турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок, включающем нанесение подслоя из жаростойкого сплава и формирование на подслое армированного керамического слоя, в отличие от прототипа, армированный керамический слой формируют поэтапно, причем сначала наносят дискретный керамический слой в виде островковых участков на поверхности подслоя, оставляя открытыми от 4% до 98% от общей поверхности подслоя, затем на дискретный керамический слой и открытые участки подслоя наносят, по крайней мере, один дискретный металлический слой в виде полос или сетки площадью от 4% до 98% от общей поверхности формируемого покрытия и толщиной от 0,8 мкм до 5 мкм и затем наносят внешний сплошной керамический слой.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения армированного теплозащитного покрытия перед нанесением подслоя производят ионную очистку и ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения армированного теплозащитного покрытия в качестве подслоя наносят жаростойкий

сплав состава: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni -  
 5 остальное, или состава: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Co -  
 от 16% до 30%; Ni - остальное, или жаростойкий сплав состава: Si - от 4,0% до 12,0%; Y  
 - от 1,0 до 2,0%; Al - остальное, причем, как варианты: подслоя наносят с  
 10 чередующейся имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y,  
 La, Hf, Cr, Si с формированием подслоя в виде микрослоев, разделенных  
 имплантированными микро- или нанослоями; перед нанесением подслоя на  
 15 поверхность лопатки дополнительно наносят слой одного или нескольких  
 металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм; количество микрослоев в подслое  
 составляет от 3 до 1000; при формировании подслоя, перед нанесением дискретного  
 слоя керамического материала, дополнительно наносят переходный слой одного или  
 нескольких элементов Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сочетания слоев из Nb, Pt, Hf, Cr, Si,  
 либо в виде сплава из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, причем толщина переходного слоя составляет  
 от 1 мкм до 10 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения  
 армированного теплозащитного покрытия в качестве дискретного керамического  
 20 слоя и внешнего керамического слоя наносят слой  $ZrO_2-Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  -  
 5..9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное, причем толщина армированного керамического слоя  
 составляет от 20 мкм до 350 мкм, дискретный керамический слой наносят толщиной  
 от 18 до 340 мкм, но не более 97% от общей толщины армированного керамического  
 слоя, в качестве дискретного металлического слоя наносят слой одного или  
 25 нескольких металлов Nb, Pt, Hf, Cr, или сплава состава: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3%  
 до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное, или сплава состава: Cr - от 18% до 34%; Al -  
 от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Co - от 16% до 30%; Ni - остальное.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения  
 армированного теплозащитного покрытия нанесение слоев армированного  
 30 теплозащитного покрытия осуществляют газотермическим и/или вакуумными ионно-  
 плазменными методами и/или магнетронными методами и/или электронно-лучевым  
 испарением и конденсацией в вакууме и, как вариант, после нанесения покрытия  
 производят его диффузионный отжиг.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения  
 35 армированного теплозащитного покрытия ионную имплантацию проводят при  
 энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от  $10^{10}$  до  $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>  
 и, как вариант, перед ионно-имплантационной обработкой поверхности лопатки  
 производят упрочняющую обработку микрошариками.

40 Для оценки стойкости лопаток газовых турбин с теплозащитными покрытиями,  
 полученными по известному и предлагаемому способам, были проведены следующие  
 испытания. Режимы и условия нанесения покрытий на образцы из никелевых и  
 кобальтовых сплавов (ЦНК-7, ЦНК-21, FSX-414, ЖС-6, ЖС-6У, ЭИ-893, U-5000)  
 45 приведены в таблице 1.

Табл.1						
№ Группы образцов	Ионы, имплантируемые в основу	Ионы, имплантируемые в покрытие	Подслой	Дискретный металлический слой	Дополнительный слой на поверхности лопатки	Дополнительный слой на внутреннем слое
1	2	3	4	5	6	7

	(Прот.)		Co - 20% Cr - 30% Al - 13% Y - 0,6% Ni - ост.	Металл. сетка из сплава NiCrAlY		
5	1	Nb	Y+Pt	Cr - 18% Al - 5% Y - 0,2% Ni - ост.	Nb, толщ. 1 мкм	Nb, толщ. 0,1 мкм
	2	Yb	Y+Cr			
	3	Yb+Nb	Y+Cr			
	4	Pt	Nb			
	5	Y	Nb	Cr - 30%, Al - 13%, Y - 0,65%, Ni - ост.	Nb+Pt, толщ. 2,0 мкм.	Nb+Pt, толщ. 0,5 мкм
10	6	Y+Pt	Yb			
	7	Y+Cr	Yb			
	8	Y+Cr	Pt			
	9	Hf+Nb	Y	Cr - 22% Al - 11%, Y - 0,5%, Ni - ост.	Nb+Cr, толщ. 2,0 мкм	Pt, толщ. 0,1 мкм
15	10	La+Nb+Y	Cr+Si			
	11	Yb+Nb	Yb+Nb			
	12	Si+Cr	Hf+Nb			
	13	Y	Y	Cr - 24% Al - 8%, Y - 0,4% Ni - ост.	Cr - 22% Al - 11%, Y - 0,5%, Ni - ост.	Pt+Cr, толщ. 2,0 мкм
20	14	Pt	Nb			
	15	Cr+Si	Pt			
	16	Nb	Cr+Si			
	17	La	Hf	Cr - 26% Al - 10%, Y - 0,3%, Ni - ост.	Cr, толщ. 2,0 мкм	Pt, толщ. 0,1 мкм
25	18	La	La			
	19	Yb+Nb	Yb			
	20	Yb	Yb			
						Nb+Cr, толщ. 2,0 мкм
						Cr, толщ. 2,0 мкм

Дискретный слой керамического материала наносился в виде островковых участков на поверхности подслоя, оставляя открытыми от 4% до 98% от общей поверхности подслоя. При этом для охвата всего диапазона указанных площадей использовались экраны с изменением площади экранирования по протяженности от 0% до 100%. Это позволило сформировать и исследовать армированное керамическое покрытие в диапазоне площадей островковых керамических участков от 0% (полное экранирование при нанесении керамики) до 100% нанесения керамики сплошным слоем. Подобным же образом на керамический дискретный слой и открытые участки подслоя наносили дискретный металлический слой в виде полос и сетки, охватывая диапазон от 0% до 100%. При этом для получения полос армирующей фазы покрытия использовали экран с протяженными прорезями, а для получения сетки наносили дважды через экран с прорезями, разворачивая его относительно предыдущего его положения для пересечения с предыдущими полосами. Испытания на термоциклирование, имитирующее условие эксплуатации ГТД, показало, что наиболее оптимальной конструкцией покрытия является покрытие, сформированное при площади островковых участков дискретного керамического слоя от 2% до 96 (или от 4% до 98% открытых, междуостровковых участков) от общей поверхности формируемого покрытия, с дискретным металлическим слоем в виде полос или сетки площадью от 4% до 98% от общей поверхности формируемого покрытия и толщиной от 0,8 мкм до 5 мкм. В качестве дискретного слоя керамического материала и внешнего керамического слоя используют  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  - 5..9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное. Толщина армированного керамического слоя составляла от 20 мкм до 350 мкм. В качестве материалов дискретного металлического слоя были

исследованы вариации в виде одого из металлов Nb, Pt, Hf, Cr и их сочетания, а также варианты сплавов состава: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное, и составов: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Co - от 16% до 30%; Ni - остальное, и их сочетания, которые показали на возможность их применения для получения армирующей фазы.

Режимы обработки образцов и нанесения покрытия: ионная имплантация (Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si или их сочетанием) при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от  $10^{10}$  до  $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup> (диффузионный отжиг в вакууме при температуре 400°C в течение 1 ч). Материал слоев и схема их чередования - согласно таблице 1. Толщины слоев составляли: по способу-прототипу внутренний слой - толщиной 40 мкм и 80 мкм, внешний слой - 80 мкм и 40 мкм. При формировании по предлагаемому способу толщина внутреннего жаростойкого слоя составляла от 2 мкм до 10 мкм, а количество микро- или нанослоев в жаростойком слое составляло от 3 до 200; толщина внешнего жаростойкого слоя составляла от 10 мкм до 60 мкм, а количество микро- или нанослоев - от 3 до 1000. В качестве дискретного слоя керамического материала и внешнего керамического слоя использовались ZrO<sub>2</sub>-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в соотношении Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 5..9 вес.%, ZrO<sub>2</sub> - остальное. При этом толщина армированного керамического слоя составляла от 20 мкм до 350 мкм.

Проведены испытания на выносливость и циклическую прочность образцов из никелевых и кобальтовых сплавов ЦНК-7, ЦНК-21, FSX-414, ЖС-6, ЖС-6У, ЭИ-893, U-5000 в условиях высоких температур (при 870-950°C) на воздухе. Результаты испытаний показали следующее: условный предел выносливости ( $\sigma_{-1}$ ) лопаток составляет:

1) по известному способу - никелевые сплавы в среднем 230-250 МПа, кобальтовые - 220-235 МПа;

2) по предлагаемому способу никелевые сплавы в среднем 260-290 МПа, кобальтовые - 250-275 МПа (таблица 2).

Табл.2		
№ групп образцов	Никелевые сплавы, МПа	Кобальтовые сплавы, МПа
1	2	3
1	255-280	235-250
2	260-285	245-260
3	260-285	245-265
4	265-300	240-260
5	280-290	250-275
6	275-285	240-265
7	260-280	250-270
8	270-285	245-265
9	275-290	240-250
10	275-285	250-280
11	270-290	245-275
12	280-300	245-270
13	275-295	250-275
14	270-290	250-265
15	265-285	250-270
16	275-290	240-270
17	275-295	250-275
18	270-280	245-270
19	265-285	250-275
20	270-285	240-250

Изотермическая жаростойкость покрытий оценивалась на образцах диаметром  $d=10$  мм и длиной  $l=30$  мм. Образцы с покрытиями помещались в тигли и выдерживались на воздухе при температуре  $T=1200^{\circ}\text{C}$ . Жаростойкость покрытий оценивалась по характерному времени ( $\tau$ ) до появления первых очагов газовой коррозии или других дефектов, которые определялись путем визуального осмотра через каждые 50 часов испытаний при температуре  $1200^{\circ}\text{C}$ . Взвешивание образцов вместе с окалиной производилось через 500 и 1000 ч испытаний, при этом определялась величина удельного прироста массы образца на единицу его поверхности по сравнению с исходным весом  $\Delta P$ ,  $\text{г/м}^2$ . Полученные результаты представлены в таблице 3.

Табл.3				
№ группы образцов	Циклическая жаростойкость, цикл	Изотермическая жаростойкость		
		$\tau$ , ч	$\Delta P$ , $\text{г/м}^2$	
			500 ч	1000 ч
1	2	3	4	5
0	550	350	7,4	13,1
1	750	650	6,1	10,4
2	700	600	5,8	9,8
3	800	700	6,3	10,1
4	900	750	4,4	8,8
5	850	700	5,9	9,1
6	900	850	3,6	7,9
7	950	850	3,4	7,8
8	700	600	6,2	9,9
9	900	850	4,1	8,7
10	800	700	5,7	10,2
11	900	800	4,5	8,8
12	750	650	5,6	9,7
13	750	600	5,8	10,1
14	900	800	4,3	9,9
15	850	750	4,9	9,4
16	900	850	4,4	8,8
17	800	700	5,1	8,9
18	800	650	5,4	8,7
19	850	700	5,3	9,3
20	800	700	5,7	9,9

Стойкость покрытий к теплосменам оценивалось по количеству циклов, которые выдерживали покрытия до разрушения керамического слоя. Цикл теплосмены представлял собой нагрев образца до  $1150^{\circ}\text{C}$ , температурную выдержку в течение 15 мин и охлаждение в воде до температуры  $20^{\circ}\text{C}$ . После каждого цикла теплосмены по наличию отслоений оценивалась стойкость покрытия. Данные по сравнительным испытаниям на термостойкость показали, что в среднем количество теплосмен до полного разрушения у покрытия-прототипа составило 14 циклов, а у покрытий, нанесенных по предлагаемому способу, - от 32 до 47 циклов.

Повышение стойкости к теплосменам, жаростойкости покрытий и предела выносливости лопаток из никелевых и кобальтовых сплавов с покрытиями (таблицы 2 и 3) указывает на то, что при применении следующих вариантов получения армированного теплозащитного покрытия: нанесение подслоя из жаростойкого сплава и формирование на подслое армированного керамического слоя, при формировании армированного керамического слоя поэтапно: сначала наносят дискретный керамический слой в виде островковых участков на поверхности подслоя,



оставляя открытыми от 4% до 98% от общей поверхности подслоя, затем на дискретный керамический слой и открытые участки подслоя наносят, по крайней мере, один дискретный металлический слой в виде полос или сетки площадью от 4% до 98% от общей поверхности формируемого покрытия и толщиной от 0,8 мкм до 5 мкм и затем наносят внешний сплошной керамический слой, также при применении

5 следующих вариантов формирования покрытия: проведение перед нанесением подслоя ионной очистки и ионно-имплантационной обработки поверхности лопатки ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si; нанесение в

10 качестве подслоя жаростойкого сплава состава: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное, или состава: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Co - от 16% до 30%; Ni - остальное, или нанесение жаростойкого сплава состава: Si - от 4,0% до 12,0%; Y - от 1,0 до 2,0%; Al - остальное; нанесение

15 подслоя с чередующейся имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием подслоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями; дополнительно нанесение перед нанесением подслоя на поверхность лопатки слоя одного или нескольких

20 металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм; обеспечение толщины жаростойкого слоя от 5 мкм до 60 мкм; обеспечение количества микрослоев в жаростойком слое от 3 до 1000; нанесение при формировании подслоя, перед нанесением дискретного слоя керамического материала, дополнительно переходного

25 слоя одного или нескольких элементов Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сочетания слоев из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сплава из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, причем толщина переходного слоя составляет от 1 мкм до 10 мкм; нанесение в качестве дискретного керамического слоя и внешнего керамического слоя слоя  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  в соотношении

30  $Y_2O_3$  - 5..9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное, причем толщина армированного керамического слоя составляет от 20 мкм до 350 мкм; нанесение дискретного керамического слоя толщиной от 18 до 340 мкм, но не более 97% от общей толщины армированного керамического слоя; нанесение армированного керамического слоя толщиной от 20

35 мкм до 350 мкм, а в качестве дискретного металлического слоя нанесение слоя одного или нескольких металлов Nb, Pt, Hf, Cr, или сплава состава: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Ni - остальное, или сплава состава: Cr - от 18% до 34%; Al - от 3% до 16%; Y - от 0,2% до 0,7%; Co - от 16% до 30%; Ni - остальное; осуществление нанесения слоев армированного теплозащитного покрытия

40 газотермическим и/или вакуумными ионно-плазменными методами и/или магнетронными методами и/или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме; после нанесения покрытия проведение его диффузионного отжига; проведение ионной имплантации при энергии ионов от 0,2 кэВ до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от  $10^{10}$  до  $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>; проведение перед ионно-имплантационной обработкой поверхности лопатки упрочняющей обработки

45 микрошариками - позволяют достичь технического результата заявляемого изобретения - повышение эксплуатационных свойств теплозащитного покрытия, снижение трудоемкости, при одновременном повышении выносливости и циклической прочности деталей с защитными покрытиями.

#### Формула изобретения

50 1. Способ получения армированного теплозащитного покрытия на рабочих лопатках турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок, включающий нанесение подслоя из жаростойкого сплава и формирование на подслое

армированного керамического слоя, отличающийся тем, что армированный керамический слой формируют поэтапно, причем сначала наносят дискретный керамический слой в виде островковых участков на поверхности подслоя, оставляя открытыми от 4 до 98% от общей поверхности подслоя, затем на дискретный керамический слой и открытые участки подслоя наносят по крайней мере один дискретный металлический слой в виде полос или сетки площадью от 4 до 98% от общей поверхности формируемого покрытия и толщиной от 0,8 до 5 мкм и затем наносят внешний сплошной керамический слой.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед нанесением подслоя производят ионную очистку и ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si.

3. Способ по п.2, отличающийся тем, что в качестве подслоя наносят жаростойкий сплав состава Cr - от 18 до 34%; Al - от 3 до 16%; Y - от 0,2 до 0,7%; Ni - остальное, или состава Cr - от 18 до 34%; Al - от 3 до 16%; Y - от 0,2 до 0,7%; Co - от 16 до 30%; Ni - остальное.

4. Способ по п.2, отличающийся тем, что в качестве подслоя наносят жаростойкий сплав состава Si - от 4,0 до 12,0%; Y - от 1,0 до 2,0%; Al - остальное.

5. Способ по п.3, отличающийся тем, что подслоем наносят с чередующейся имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием подслоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями.

6. Способ по любому из пп.2-5, отличающийся тем, что перед нанесением подслоя на поверхность лопатки дополнительно наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 до 2,0 мкм.

7. Способ по п.4, отличающийся тем, что перед нанесением подслоя на поверхность лопатки дополнительно наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 до 2,0 мкм.

8. Способ по любому из п.п.3-5, 7, отличающийся тем, что толщина подслоя составляет от 5 до 60 мкм.

9. Способ по любому из п.п.5, 7, отличающийся тем, что количество микрослоев в подслое составляет от 3 до 1000.

10. Способ по п.8, отличающийся тем, что количество микрослоев в подслое составляет от 3 до 1000.

11. Способ по любому из пп.1-5, 7 и 10, отличающийся тем, что при формировании подслоя перед нанесением дискретного слоя керамического материала дополнительно наносят переходный слой одного или нескольких элементов Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сочетания слоев из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сплава из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, причем толщина переходного слоя составляет от 1 до 10 мкм.

12. Способ по п.6, отличающийся тем, что при формировании подслоя перед нанесением дискретного слоя керамического материала дополнительно наносят переходный слой одного или нескольких элементов Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сочетания слоев из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сплава из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, причем толщина переходного слоя составляет от 1 до 10 мкм.

13. Способ по п.8, отличающийся тем, что при формировании подслоя перед нанесением дискретного слоя керамического материала дополнительно наносят переходный слой одного или нескольких элементов Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сочетания слоев из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, либо в виде сплава из Nb, Pt, Hf, Cr, Si, причем толщина переходного слоя составляет от 1 до 10 мкм.

14. Способ по п.12, отличающийся тем, что в качестве дискретного керамического слоя и внешнего керамического слоя наносят слой  $ZrO_2-Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  - 5...9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное, причем толщина армированного керамического слоя составляет от 20 до 350 мкм.

15. Способ по п.13, отличающийся тем, что в качестве дискретного керамического слоя и внешнего керамического слоя наносят слой  $ZrO_2-Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  - 5...9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное, причем толщина армированного керамического слоя составляет от 20 до 350 мкм.

16. Способ по любому из пп.1-5, 7, 10, 12-15, отличающийся тем, что дискретный керамический слой наносят толщиной от 18 до 340 мкм, но не более 97% от общей толщины армированного керамического слоя.

17. Способ по п.16, отличающийся тем, что армированный керамический слой наносят толщиной от 20 до 350 мкм, а в качестве дискретного металлического слоя наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Hf, Cr, или сплава состава Cr - от 18 до 34%; Al - от 3 до 16%; Y - от 0,2 до 0,7%; Ni - остальное, или сплава состава Cr - от 18 до 34%; Al - от 3 до 16%; Y - от 0,2 до 0,7%; Co - от 16 до 30%; Ni - остальное.

18. Способ по любому из пп.1-5, 7, 10, 12-15 и 17, отличающийся тем, что нанесение слоев армированного теплозащитного покрытия осуществляют газотермическим, и/или вакуумными ионно-плазменными методами, и/или магнетронными методами, и/или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

19. Способ по любому из пп.1-5, 7, 10, 12-15 и 17, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

20. Способ по п.18, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

21. Способ по любому из пп.2-5, 7, 10, 12-15, 17 и 20, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от  $10^{10}$  до  $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>.

22. Способ по п.6, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от  $10^{10}$  до  $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>.

23. Способ по п.8, отличающийся тем, что ионную имплантацию проводят при энергии ионов от 0,2 до 30 кэВ и дозе имплантации ионов от  $10^{10}$  до  $5 \cdot 10^{20}$  ион/см<sup>2</sup>.

24. Способ по любому из пп.2-5, 7, 10, 12-15, 17, 20, 22 и 23, отличающийся тем, что перед ионно-имплантационной обработкой поверхности лопатки производят упрочняющую обработку микрошариками.