



(51) МПК  
*C23C 30/00* (2006.01)  
*C23C 14/48* (2006.01)  
*C23C 28/00* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009116342/02, 28.04.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 28.04.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.04.2009

(43) Дата публикации заявки: 10.11.2010 Бюл. № 31

(45) Опубликовано: 27.01.2012 Бюл. № 3

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
 поиске: RU 2264480 C2, 20.11.2005. RU 2078148  
 C1, 27.04.1997. RU 2165478 C2, 20.04.2001. RU  
 2065505 C1, 20.08.1996. JP 10-219476 A,  
 18.08.1998. JP 07-305162 A, 21.11.1995.

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),  
 Дыбленко Юрий Михайлович (RU),  
 Быбин Андрей Александрович (RU),  
 Новиков Антон Владимирович (RU),  
 Петухов Игорь Геннадиевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

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

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к методам нанесения защитных покрытий на лопатки энергетических и транспортных турбин, в частности газовых турбин авиадвигателей. Технический результат - повышение жаростойкости покрытия при одновременном повышении выносливости и циклической прочности деталей с покрытием. Способ включает ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки, формирование подслоя путем нанесения жаростойкого слоя с его ионной имплантацией и переходного слоя, и нанесение внешнего керамического слоя на основе  $ZrO_2$ , стабилизированного  $Y_2O_3$ . Ионно-имплантационную обработку поверхности

лопатки производят ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si. В качестве материала для формирования жаростойкого слоя используют сплав состава: Si - от 4,0% до 12, 0%; Y - от 1,0 до 2,0%; Al - остальное. При этом нанесение жаростойкого слоя чередуют с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями. В качестве материала для нанесения переходного слоя используют 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. 19 з.п. ф-лы, 3 табл.

RU 2 441 103 C2

RU 2 441 103 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C23C 30/00* (2006.01)  
*C23C 14/48* (2006.01)  
*C23C 28/00* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2009116342/02, 28.04.2009**

(24) Effective date for property rights:  
**28.04.2009**

Priority:

(22) Date of filing: **28.04.2009**

(43) Application published: **10.11.2010 Bull. 31**

(45) Date of publication: **27.01.2012 Bull. 3**

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**Smyslov Anatolij Mikhajlovich (RU),  
Smyslova Marina Konstantinovna (RU),  
Mingazhev Askar Dzhamilevich (RU),  
Dyblenko Jurij Mikhajlovich (RU),  
Bybin Andrej Aleksandrovich (RU),  
Novikov Anton Vladimirovich (RU),  
Petukhov Igor' Gennadievich (RU)**

(73) Proprietor(s):

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

**(54) METHOD OF PRODUCING REFRACTORY COAT**

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: proposed method comprises ion-plasma preparation and ion-implanting vane surface treatment, and vacuum-plasma application of heat-resisting ceramic layer based on  $ZrO_2$  stabilised by  $Y_2O_3$ . Ion-implanting treatment of vane surface is performed by ions of one or several elements selected from Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si. Note here that following material for producing outer heat-resisting layer is used with composition that follows in wt %: Si - 4.0-12.0, Y - 1.0-2.0, Al making the rest. Note here that application of outer heat-resisting layer

is alternated with periodic implantation by ions of one or several elements Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si to make said outer heat-resisting layer made up of micro layers separated by implanted micro- or nano-layers. Transition layer application material represents the alloy of composition including Cr - 18 wt % to 34 wt %; Al - 3 wt % to 16 wt %; Y - 0.2 wt % to 0.7 wt %; Ni making the set, or the following composition: Cr - 18 wt % to 34 wt %; Al - 3 wt % to 16 wt %; Y 0.2 wt % to 0.7 wt %; Co - 16 wt % to 30 wt %; Ni making the rest.

EFFECT: higher heat resistance, longer life and higher cyclic strength.

20 cl, 3 tbl

Изобретение относится к области машиностроения, а именно к методам нанесения защитных 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 20 высоких температур.

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 подслоя. 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 30 предварительную обработку поверхности лопатки и нанесение связующего подслоя, жаростойкого слоя системы  $MeCrAlY$  и теплозащитного керамического слоя на основе диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия.

Известен также способ нанесения теплозащитного покрытия на лопатку турбины (патент США №4904542. Многослойное коррозионно-стойкое покрытие), 35 включающий газотермическое нанесение многослойного покрытия, состоящего из 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 40 существенно снижает его термическую усталость и долговечность. Материал 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, 45 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 50 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 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  
5 керамического слоя из диоксида циркония, стабилизированного 7-9 мас.%, оксида иттрия ( $ZrO_2$ -7%  $Y_2O_3$ ), и последующие дополнительные вакуумный диффузионный и окислительный отжиг.

Известен также способ подготовки поверхности детали под нанесение  
10 многослойного покрытия на металлические изделия методом катодного распыления, включающий ионную очистку и/или модификацию поверхности изделия [патент РФ №2228387, МПК C23C 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  
15 жаростойкости слоя.

Наиболее близким по технической сущности является способ получения теплозащитного покрытия на рабочих лопатках турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок, включающий ионно-имплантационную обработку  
20 поверхности лопатки, формирование подслоя путем нанесения жаростойкого слоя из сплава Al-Si-Y с его ионной имплантацией и переходного слоя и нанесение внешнего керамического слоя на основе  $ZrO_2$ , стабилизированного  $Y_2O_3$  (патент РФ №2264480, МПК C23C 14/06, C23C 14/34, C23C 14/48, C23C 14/58. СПОСОБ НАНЕСЕНИЯ  
25 ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕТАЛИ ИЗ ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ.

Опубл. 20.11 2005, Бюл. №32). Известный способ включает также следующие операции: очистка поверхности детали; модификация поверхности детали; нанесение конденсационного покрытия многокомпонентного сплава; образование переходных микрослоев путем ионной имплантации; нанесение интерметаллидных микрослоев  
30 путем диффузионной металлизации или ионно-плазменного напыления и отжига; образование переходных слоев путем ионного перемешивания; нанесение оксидных слоев путем контролируемого отжига, шликерным методом или электронно-лучевым напылением; модификация наружной поверхности покрытия имплантацией; дополнительная обработка покрытия.

Основным недостатком прототипа является низкая жаростойкость подслоя, 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.

40 Техническим результатом заявляемого способа является повышение жаростойкости подслоя при одновременном повышении выносливости и циклической прочности деталей с защитными покрытиями.

Технический результат достигается тем, что в способе получения теплозащитного покрытия на рабочих лопатках турбин газотурбинных двигателей или энергетических  
45 установок, включающем ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки, формирование подслоя путем нанесения жаростойкого слоя из сплава Al-Si-Y с его ионной имплантацией и переходного слоя, и нанесение внешнего керамического слоя на основе  $ZrO_2$ , стабилизированного  $Y_2O_3$ , в отличие от прототипа ионно-  
50 имплантационную обработку поверхности лопатки производят ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si, в качестве материала для формирования жаростойкого слоя используют сплав состава: Si - от 4,0% до 12,0%; Y - от 1,0 до 2,0%; Al - остальное, причем нанесение жаростойкого слоя чередуют с

периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями, а в качестве материала для нанесения переходного слоя используют 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, а перед нанесением жаростойкого слоя на поверхность лопатки дополнительно наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения теплозащитного покрытия жаростойкий слой наносят с толщиной от 5 мкм до 60 мкм и с количеством микрослоев от 3 до 1000, а переходный слой наносят с толщиной от 1 мкм до 10 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения теплозащитного покрытия перед нанесением внешнего керамического слоя дополнительно наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм, керамический слой наносят толщиной от 80 мкм до 300 мкм.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения теплозащитного покрытия нанесение слоев покрытия осуществляют шликерным или газотермическим, или магнетронными методами, или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме; в качестве материала керамического слоя используют  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  - 5...9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное, а после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

Технический результат достигается также тем, что в способе получения 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.

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) приведены в таблице 1.

Табл.1

№ Группы образцов	Ионы, имплантируемые в основу	Ионы, имплантируемые в покрытие	Переходный слой	Жаростойкий слой	Дополнительный слой на поверхности лопатки	Дополнительный слой, наносимый перед нанесением внешнего керамического слоя				
1	2	3	4	5	6	7				
(Изв)	-	-	Co- 20% Cr - 30% Al - 13% Y - 0,6% Ni- ост.	Si - 12% Ni - 10% B - 1,6% Al - ост.	-	-				
1	Nb	Y+ Pt	Cr - 18% Al - 5% Y - 0,2% Ni - ост.	Si - 4,0% Y - 1,0% Al - ост.	Nb, толщ. 0,1мкм	Nb, толщ. 0,1мкм				
2	Yb	Y + Cr								
3	Yb + Nb	Y+ Cr								
4	Pt	Nb								
5	Y	Nb	Cr - 30%, Al - 13%, Y- 0,65%, Ni - ост.	Si -12,0% Y - 2,0% Al - ост.	Nb+Pt, толщ. 0,5мкм	Nb, толщ. 2,0 мкм				
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.	Si - 6,0% Y - 1,5% Al - ост.	Pt, толщ. 0,1мкм	Pt+Cr, толщ. 2,0мкм
10	La+ Nb+ Y	Cr+Si								
11	Yb + Nb	Yb + Nb								
12	Si + Cr	Hf + Nb								
13	Y	Y	Cr - 24% Al - 8%, Y	Si - 8,0% Y - 1,0%	Pt+Cr, толщ.	Pt, толщ. 2,0мкм				
14	Pt	Nb								
15	Cr+Si	Pt	- 0,4% Ni - ост.	Al - ост.	2,0мкм	Nb+Pt, толщ. 0,5мкм				
16							Nb	Cr+Si		
17	La	Hf	Cr - 26% Al - 10%, Y - 0,3%, Ni - ост.	Si - 10 % Y - 2,0% Al - ост.	Cr, толщ. 2,0мкм	Pt, толщ. 0,1мкм				
18	La	La								
19	Yb + Nb	Yb								
20	Yb	Yb								
					Nb+Cr, толщ. 2,0 мкм	Cr, толщ. 2,0мкм				

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). Нанесение слоев покрытия осуществляли следующими методами: шликерным, газотермическим, магнетронными, электронно-

лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

Материал слоев и схема их чередования - согласно таблице 1. Толщины слоев составляли: по известному способу жаростойкий слой - толщиной 40 мкм и 80 мкм, переходный слой - 80 мкм и 40 мкм. При формировании по предлагаемому способу толщина переходного слоя составляла от 1 мкм до 10 мкм; толщина жаростойкого слоя составляла от 5 мкм до 60 мкм, а количество микро- или нанослоев - от 3 до 1000; керамический слой как в известном, так и в предлагаемых способах наносили толщинами от 80 мкм до 300 мкм, а в качестве материала керамического слоя использовали  $ZrO_2-Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  - 5...9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное. Перед ионно-имплантационной обработкой поверхности части лопаток подвергали упрочняющей обработке микрошариками.

Были также 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. В результате проведенных испытаний было установлено 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).

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

Изотермическая жаростойкость покрытий оценивалась на образцах диаметром  $d=10$  мм и длиной  $l=30$  мм. Образцы 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 определялось 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  $\Delta P$ , г/м. Полученные результаты представлены в таблице 3.

5

Таблица 3

№ группы образцов	Циклическая жаростойкость, цикл	Изотермическая жаростойкость,			
		$\tau$ , ч	$\Delta P$ , г/м <sup>2</sup>		
			500 ч	1000 ч	
1	2	3	4	5	
10	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
15	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
20	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
25	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

30 Стойкость покрытий к теплосменам оценивалось по количеству циклов, которые выдерживали покрытия до разрушения керамического слоя. Цикл термосмены представлял собой нагрев образца до 1150°C, температурную выдержку в течение 15 мин и охлаждение в воде до температуры 20°C. После каждого цикла термосмены по

35 наличию отслоений оценивалось стойкость покрытия. Данные по сравнительным испытаниям на термостойкость показали, что в среднем количество теплосмен до разрушения у покрытия-прототипа составило 36 циклов, а у покрытий, нанесенных по предлагаемому способу, от 47 до 85 циклов.

40 Повышение 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 нанесения теплозащитного покрытия на рабочие лопатки турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок: ионно-имплантационная обработка поверхности лопатки ионами одного или

45 нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si; формирование подслоя путем нанесения жаростойкого слоя из сплава Al-Si-Y с его ионной имплантацией и переходного слоя, и нанесение внешнего керамического слоя на основе ZrO<sub>2</sub>, стабилизированного Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; использование в качестве материала для формирования жаростойкого слоя сплава состава: Si - от 4,0% до 12, 0%; Y - от 1,0 до 2,0%; Al -

50 остальное; чередование нанесения жаростойкого слоя с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или



нанослоями; использование в качестве материала для нанесения переходного слоя 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; дополнительное нанесение перед нанесением жаростойкого слоя на поверхность лопатки слоя одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм; нанесение жаростойкого слоя с толщиной от 5 мкм до 60 мкм и с количеством микрослоев от 3 до 1000; нанесение переходного слоя с толщиной от 1 мкм до 10 мкм; дополнительное нанесение перед нанесением внешнего керамического слоя одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм; нанесение керамического слоя толщиной от 80 мкм до 300 мкм; нанесение слоев покрытия шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами, или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме; использование в качестве материала керамического слоя  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  - 5...9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное; 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> как при обработке поверхности основного материала детали, так и при формировании жаростойкого и переходного слоев покрытия; проведение диффузионного отжига после нанесения покрытия - всё это позволяет достичь технического результата заявляемого изобретения - повышения жаростойкости подслоя при одновременном повышении выносливости и циклической прочности деталей с защитными покрытиями.

#### Формула изобретения

1. Способ получения теплозащитного покрытия на рабочих лопатках турбин газотурбинных двигателей или энергетических установок, включающий ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки, формирование подслоя путем нанесения жаростойкого слоя из сплава Al-Si-Y с его ионной имплантацией и переходного слоя и нанесение внешнего керамического слоя на основе  $ZrO_2$  стабилизированного  $Y_2O_3$ , отличающийся тем, что ионно-имплантационную обработку поверхности лопатки производят ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si, в качестве материала для формирования жаростойкого слоя используют сплав состава: Si - от 4,0% до 12,0%; Y - от 1,0% до 2,0%; Al - остальное, причем нанесение жаростойкого слоя чередуют с периодической имплантацией ионами одного или нескольких элементов Nb, Pt, Yb, Y, La, Hf, Cr, Si с формированием жаростойкого слоя в виде микрослоев, разделенных имплантированными микро- или нанослоями, а в качестве материала для нанесения переходного слоя используют 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.

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

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что жаростойкий слой наносят с толщиной от 5 мкм до 60 мкм и с количеством микрослоев от 3 до 1000.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что переходный слой наносят толщиной от 1 мкм до 10 мкм.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что перед нанесением внешнего керамического слоя дополнительно наносят слой одного или нескольких металлов Nb, Pt, Cr толщиной от 0,1 мкм до 2,0 мкм.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что керамический слой наносят толщиной от 80 мкм до 300 мкм.

7. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что нанесение слоев покрытия осуществляют шликерным, или газотермическим, или магнетронными методами или электронно-лучевым испарением и конденсацией в вакууме.

8. Способ по любому из пп.1-6, отличающийся тем, что в качестве материала керамического слоя используют  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  - 5-9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное.

9. Способ по п.7, отличающийся тем, что в качестве материала керамического слоя используют  $ZrO_2$ - $Y_2O_3$  в соотношении  $Y_2O_3$  - 5-9 вес.%,  $ZrO_2$  - остальное.

10. Способ по любому из пп.1-6, 9, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

11. Способ по п.7, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

12. Способ по п.8, отличающийся тем, что после нанесения покрытия производят его диффузионный отжиг.

13. Способ по любому из пп.1-6, 9, 11, 12, отличающийся тем, что 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>.

14. Способ по п.7, отличающийся тем, что 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>.

15. Способ по п.8, отличающийся тем, что 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>.

16. Способ по любому из пп.1-6, 9, 11, 12, 14, 15, отличающийся тем, что перед ионно-имплантационной обработкой поверхности лопатки производят упрочняющую обработку микрошариками.

17. Способ по п.7, отличающийся тем, что перед ионно-имплантационной обработкой поверхности лопатки производят упрочняющую обработку микрошариками.

18. Способ по п.8, отличающийся тем, что перед ионно-имплантационной обработкой поверхности лопатки производят упрочняющую обработку микрошариками.

19. Способ по п.10, отличающийся тем, что перед ионно-имплантационной обработкой поверхности лопатки производят упрочняющую обработку микрошариками.

20. Способ по п.13, отличающийся тем, что перед ионно-имплантационной обработкой поверхности лопатки производят упрочняющую обработку микрошариками.