

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 607 056** <sup>(13)</sup> **C2**

(51) МПК  
[C23C 14/35 \(2006.01\)](#)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: [2014117430](#), 29.04.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
29.04.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.04.2014

(43) Дата публикации заявки: 10.11.2015 Бюл.  
№ [31](#)

(45) Опубликовано: [10.01.2017](#) Бюл. № [1](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: ВУ 13516 С1, 30.08.2010; RU 2228387  
С2, 10.05.2004; ВУ 15928 С1, 30.06.2012. ЕР  
1374992 В1, 15.02.2006; ЕР 1541714 А1,  
15.06.2005.

Адрес для переписки:

394026, г.Воронеж, Московский просп., 14,  
ГОУВПО "ВГТУ", патентный отдел

(72) Автор(ы):

Стогней Олег Владимирович (RU),  
Валюхов Сергей Георгиевич (RU),  
Бурыкин Валерий Евгеньевич (RU),  
Филатов Максим Сергеевич (RU),  
Черниченко Владимир Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Воронежский государственный  
технический университет" (RU)

(54) **Способ нанесения теплозащитного композитного покрытия**

(57) Реферат:

Изобретение относится к напылению теплозащитных покрытий и может найти применение в авиастроении и других областях машиностроения при производстве деталей турбинных двигателей и установок. Способ нанесения теплозащитного композитного покрытия, содержащего оксид циркония, на поверхность изделия из никелевого сплава включает формирование на поверхности упомянутого изделия композитного градиентного переходного слоя со структурой металл-оксид и напыление пленки оксида циркония до достижения ею требуемой толщины. Формирование упомянутого градиентного переходного слоя со структурой металл-оксид осуществляют путем осаждения градиентного переходного слоя, содержащего металлическую фазу на основе никелевого сплава, соответствующего составу упомянутой поверхности изделия, и диэлектрическую фазу, содержащую оксиды циркония разной стехиометрии, при этом соотношение фаз в градиентном переходном слое изменяют с возрастанием доли оксидной фазы по мере увеличения толщины пленки. Используют магнетронную систему с двумя магнетронами, причем

с помощью первого магнетрона распыляют первую мишень из никелевого сплава, а с помощью второго магнетрона распыляют вторую мишень из циркония с добавками стабилизирующих элементов. Градиентный переходный слой формируют путем совместного распыления указанных мишеней. Сначала распыление мишеней осуществляют в атмосфере аргона с обеспечением превышения интенсивности атомного потока, сформированного от упомянутой первой мишени, над интенсивностью атомного потока от упомянутой второй мишени с формированием сплошного металлического слоя. Затем осуществляют распыление в присутствии кислорода с образованием в напыляемой пленке оксида циркония при неокисленном никелевом сплаве. При напылении парциальное давление кислорода плавно увеличивают до  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Па, а мощность первого магнетрона, распыляющего первую мишень из никелевого сплава, уменьшают вплоть до его полного отключения. Обеспечивается механическая прочность покрытия, повышение его жаропрочности и жаростойкости, а также высокое значение адгезии и когезии покрытия на рабочих поверхностях изделий.

Изобретение относится к области материаловедения, в частности к способам напыления теплозащитных покрытий, и может найти применение в авиастроении и других областях машиностроения при производстве деталей турбинных двигателей и установок, которые требуют формирования на рабочих поверхностях покрытий, имеющих достаточно высокое значение адгезии и когезии.

В настоящее время при создании покрытия с заданными свойствами методом послойного напыления образуются межфазные макроскопические границы в плоскостях, параллельных обрабатываемой поверхности, и при циклических термонагрузках разница в значениях коэффициентов термического расширения может привести к расслоению покрытия и его разрушению.

Известен способ нанесения теплозащитного композитного покрытия, содержащего оксид циркония, на поверхность изделия из никелевого сплава, включающий формирование на поверхности изделия из никелевого сплава композитного градиентного переходного слоя со структурой металл-оксид и напыление пленки оксида циркония до достижения ею требуемой толщины (ВУ 13516 С1, МПК С23С 4/04, 30.08.2010 - прототип).

Недостатком способа является возможность получения сквозной пористости, приводящей к коррозии подложки и к разрушению покрытия. Кроме этого в процессе послойного напыления образуются межфазные границы в плоскостях, параллельных поверхности, и при циклических термонагрузках разница в значениях коэффициентов термического расширения может привести к расслоению покрытия и его разрушению.

Задачей предложенного технического решения является устранение указанных недостатков и создание способа нанесения оксидного покрытия на металлическую поверхность, применение которого позволит сформировать плавный переход от металлического материала к оксидному покрытию без межфазной границы макроскопического размера.

Решение указанной задачи достигается тем, что в предложенном способе нанесения теплозащитного композитного покрытия, содержащего оксид циркония, на поверхность изделия из никелевого сплава, включающем формирование на поверхности изделия из никелевого сплава композитного градиентного переходного слоя со структурой металл-оксид и напыление пленки оксида циркония до достижения ею требуемой толщины, согласно изобретению формирование упомянутого градиентного переходного слоя со структурой металл-оксид осуществляют путем осаждения градиентного переходного слоя, содержащего металлическую фазу на основе никелевого сплава, соответствующего составу упомянутой поверхности изделия, и диэлектрическую фазу, содержащую оксиды

циркония разной стехиометрии, при этом соотношение фаз в градиентном переходном слое изменяют с возрастанием доли оксидной фазы по мере увеличения толщины пленки, при этом используют магнетронную систему с двумя магнетронами, причем с помощью первого магнетрона распыляют первую мишень из никелевого сплава, а с помощью второго магнетрона распыляют вторую мишень из циркония с добавками стабилизирующих элементов, а градиентный переходный слой формируют путем совместного распыления указанных мишеней, причем сначала распыление мишеней осуществляют в атмосфере аргона с обеспечением превышения интенсивности атомного потока, сформированного от упомянутой первой мишени, над интенсивностью атомного потока от упомянутой второй мишени с формированием сплошного металлического слоя, затем осуществляют распыление в присутствии кислорода с образованием в напыляемой пленке оксида циркония при неокисленном никелевом сплаве, при этом при напылении парциальное давление кислорода плавно увеличивают до  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Па, а мощность первого магнетрона, распыляющего первую мишень из никелевого сплава, уменьшают вплоть до его полного отключения.

Предложенный способ реализуется следующим образом.

Формирование градиентного переходного слоя со структурой металл-оксид осуществляют путем осаждения градиентного переходного слоя, содержащего металлическую фазу на основе никелевого сплава, соответствующего составу упомянутой поверхности изделия, и диэлектрическую фазу, содержащую оксиды циркония разной стехиометрии. Соотношение фаз в градиентном переходном слое изменяют с возрастанием доли оксидной фазы по мере увеличения толщины пленки, для чего используют магнетронную систему с двумя магнетронами. С помощью первого магнетрона распыляют первую мишень из никелевого сплава, а с помощью второго магнетрона распыляют вторую мишень из циркония с добавками стабилизирующих элементов. Градиентный переходный слой формируют путем совместного распыления указанных мишеней, причем сначала распыление мишеней осуществляют в атмосфере аргона с обеспечением превышения интенсивности атомного потока, сформированного от упомянутой первой мишени, над интенсивностью атомного потока от упомянутой второй мишени с формированием сплошного металлического слоя, затем осуществляют распыление в присутствии кислорода с образованием в напыляемой пленке оксида циркония при неокисленном никелевом сплаве. При напылении парциальное давление кислорода плавно увеличивают до  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Па, а мощность первого магнетрона, распыляющего первую мишень из никелевого сплава, уменьшают вплоть до его полного отключения.

В этом случае формируемый градиентный слой является не только композитным, но и наноструктурированным, поскольку характерные размеры включений каждой фазы составляют от единиц до нескольких десятков нанометров, в зависимости от объемной доли фазы.

Полученная наноструктурированность не только повышает механическую прочность покрытия, но и приводит к изотропному распределению внутренних напряжений при циклических термонагрузках, что повышает жаропрочность и жаростойкость покрытия.

Использование предложенного технического решения позволит создать способ нанесения оксидного покрытия на металлическую поверхность, применение которого позволит сформировать плавный переход от металлического материала к оксиду без межфазной границы макроскопического размера, что в конечном итоге позволит повысить механическую прочность покрытия и приведет к изотропному распределению внутренних напряжений при циклических термонагрузках, что позволит повысить жаропрочность и жаростойкость покрытия.