

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 588 619** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) МПК

[C23C 4/10 \(2006.01\)](#)

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

[C01G 25/02 \(2006.01\)](#)

[B82B 1/00 \(2006.01\)](#)

[B82Y 30/00 \(2011.01\)](#)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: [2014108805/05](#), 06.03.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
06.03.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 06.03.2014

(43) Дата публикации заявки: 20.09.2015 Бюл.
№ [26](#)

(45) Опубликовано: [10.07.2016](#) Бюл. № [19](#)

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: GB 2495793 A, 24.04.2013. US
20100015467 A1, 21.01.2010. US 20130153408
A1, 20.06.2013. RU 2120494 C1, 20.10.1998.
BY 11379 C1, 30.12.2008. US 6180184 B1,
30.01.2001.

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) **НАНОСТРУКТУРНОЕ КОМПОЗИТНОЕ ПОКРЫТИЕ ИЗ ОКСИДА ЦИРКОНИЯ**

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано в производстве деталей турбинных двигателей и установок, которые требуют формирования на рабочих поверхностях покрытий, имеющих высокое значение адгезии и когезии. Наноструктурное композитное покрытие из оксида циркония, стабилизированного иттрием, наносят на поверхности из никелевого сплава методом ионно-лучевого напыления. Покрытие содержит градиентный переходной слой из градиентного нанокompозитного материала, содержащего две фазы: металлическую фазу с составом, соответствующим составу защищаемой поверхности из никелевого сплава, и оксид циркония различной стехиометрии. Указанный слой содержит оксид циркония при неокисленном никелевом сплаве. Соотношение фаз в переходном слое изменяется с возрастанием доли оксидной фазы по мере увеличения толщины пленки. Изобретение

позволяет сформировать плавный переход от металлического материала к оксиду без межфазной границы макроскопического размера.

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 напыления теплозащитного покрытия с использованием оксида циркония, стабилизированного Y₂O₃, включающий послойное нанесение покрытия на изделие, и покрытие, полученное этим способом (Патент US 6180184, C23C 4/10, 30.01.2001 - прототип).

Термобарьерное покрытие, согласно этому способу, получают из жаропрочных сплавов, стабилизированных иттрием, оксида циркония, которое послойно наносят с помощью вакуумного электронно-лучевого напыления. При этом получают покрытие, имеющее столбчатую структуру, проявляющуюся в одном или нескольких слоях.

Недостатком получаемого покрытия 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 предложенное наноструктурное композитное покрытие из оксида циркония, стабилизированного иттрием, для поверхности из никелевого сплава, полученное методом ионно-лучевого напыления на подложки и представляющее собой наноструктурный материал, согласно изобретению содержит градиентный переходной слой из градиентного нанокompозитного материала, содержащего две фазы: металлическую фазу с составом, соответствующим составу защищаемой поверхности из никелевого сплава, и оксид циркония различной стехиометрии, причем указанный слой содержит оксид циркония при неокисленном никелевом сплаве, при этом соотношение фаз в переходном слое изменяется с возрастанием доли оксидной фазы по мере увеличения толщины пленки.

Предложенное наноструктурное композитное покрытие может быть получено следующим образом.

Для получения указанного наноструктурного композитного покрытия (далее - покрытие) используется магнетронная система с двумя магнетронами. При помощи первого магнетрона распыляют мишень, состав которой соответствует составу металлического изделия - никелевый сплав ХН71МТЮБ, а при помощи второго

магнетрона распыляют мишень из циркония с добавками стабилизирующих элементов - иттрия.

Первоначальное распыление мишеней осуществляется в атмосфере аргона, причем интенсивность атомного потока, сформированного от никелевой мишени, превышает интенсивность атомного потока от циркониевой мишени. После формирования первичного сплошного металлического слоя в рабочую камеру добавляется кислород, после чего процесс напыления приобретает характер реактивного - в напыляемой пленке начинает образовываться оксид. В силу различных значений энергий связи в оксиде никеля и оксиде циркония в формирующемся покрытии происходит образование оксида циркония, в то время как никель остается неокисленным.

Таким образом, в результате одновременного распыления никелевого сплава и циркония в смешанной кислородно-аргонной атмосфере происходит напыление композитного материала металл-оксид. В процессе напыления парциальное давление кислорода плавно увеличивается до давления $1,5 \cdot 10^{-3}$ Па, а мощность магнетрона, распыляющего металлический сплав, уменьшают вплоть до его полного отключения. После этого продолжают напыление чистого оксида циркония до достижения им требуемой толщины. В этом случае, в покрытии образуется переходной слой из градиентного нанокompозитного материала, содержащего две фазы: металлическую фазу с составом, соответствующим составу защищаемой поверхности, и диэлектрическую фазу, собственно, оксид циркония различной стехиометрии, при этом соотношение фаз в переходном слое обеспечивается не постоянным, а переменным, с возрастанием доли оксидной фазы по мере увеличения толщины пленки. В результате создания такого градиентного слоя формируется плавный переход от металлического материала к оксиду без межфазной границы макроскопического размера.

В этом случае, сформированный 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 наноструктурное композитное покрытие из оксида циркония, 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.