

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



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

(19) RU<sup>(11)</sup> **2 591 098**<sup>(13)</sup> C2

(51) МПК

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

[C23C 14/16 \(2006.01\)](#)

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

[C23C 4/12 \(2006.01\)](#)

(21)(22) Заявка: [2014118041/02](#), 05.05.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.05.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.05.2014

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

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

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: EP 1533396 A2, 25.05.2005. RU  
2510429 C1, 27.03.2014. BY 15928 C1,  
30.06.2012. US 6180184 B2, 30.01.2001. RU  
2053310 C1, 27.01.1996.

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 КОМПОЗИТНОГО ОКСИДНОГО ПОКРЫТИЯ НА  
МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

(57) Реферат:

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. Способ нанесения теплозащитного покрытия на рабочую поверхность детали из сплава на основе никеля включает нанесение плазменным напылением на предварительно подготовленные поверхности детали покрытия из оксида циркония, стабилизированного иттрием, причем нанесение покрытия осуществляют созданием в нем градиентного переходного слоя с помощью двух магнетронов, при этом посредством первого магнетрона распыляют первую мишень из сплава на основе никеля, состав которого соответствует составу сплава детали, а посредством второго магнетрона распыляют вторую мишень из циркония с добавками стабилизирующего элемента иттрия, причем сначала распыление мишеней осуществляют в атмосфере аргона таким образом, чтобы интенсивность атомного потока, сформированного от

первой мишени, превышала интенсивность атомного потока, сформированного от второй мишени, при этом после формирования на поверхности детали сплошного металлического слоя в рабочую камеру подают кислород для формирования в напыляемом покрытии оксида циркония, при этом в процессе напыления парциальное давление кислорода плавно увеличивают до  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Па, а мощность первого магнетрона уменьшают до его полного отключения, затем продолжают напыление до формирования оксида циркония, стабилизированного иттрием, требуемой толщины, при этом получают наноструктурированное покрытие, содержащее металлическую фазу с составом, соответствующим составу сплава защищаемой поверхности детали, и фазу из оксида циркония, стабилизированного иттрием, с возрастающей от поверхности детали долей фазы оксида циркония. Применение предложенного способа направлено на формирование плавного перехода от металлического материала к оксиду без межфазной границы макроскопического размера, что позволит сформировать на рабочих поверхностях покрытие, имеющее достаточно высокие значения адгезии и когезии.

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  $Y_2O_3$ , включающий послойное нанесение покрытия на изделие (Патент US 6180184, C23C 4/10, 30.01.2001 - прототип).

Согласно этому способу, получают термобарьерное покрытие 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 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 теплозащитного покрытия на рабочую поверхность детали из сплава на основе никеля, 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 покрытия на рабочую поверхность детали из сплава на основе никеля, включающем нанесение плазменным напылением на предварительно подготовленные поверхности детали покрытия из оксида циркония, стабилизированного иттрием, согласно изобретению, нанесение покрытия осуществляют созданием в нем градиентного переходного слоя с помощью двух

магнетронов, при этом посредством первого магнетрона распыляют первую мишень из сплава на основе никеля, состав которого соответствует составу сплава детали, а посредством второго магнетрона распыляют вторую мишень из циркония с добавками стабилизирующего элемента иттрия, причем сначала распыление мишеней осуществляют в атмосфере аргона таким образом, чтобы интенсивность атомного потока, сформированного от первой мишени, превышала интенсивность атомного потока, сформированного от второй мишени, при этом после формирования на поверхности детали сплошного металлического слоя в рабочую камеру подают кислород для формирования в напыляемом покрытии оксида циркония, при этом в процессе напыления парциальное давление кислорода плавно увеличивают до  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Па, а мощность первого магнетрона уменьшают до его полного отключения, затем продолжают напыление до формирования оксида циркония, стабилизированного иттрием, требуемой толщины, при этом получают наноструктурированное покрытие, содержащее металлическую фазу с составом, соответствующим составу сплава защищаемой поверхности детали и фазу из оксида циркония, стабилизированного иттрием, с возрастающей от поверхности детали долей фазы оксида циркония.

Предложенный способ реализуется следующим образом.

Создают 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. Соотношение фаз в переходном слое обеспечивают не постоянным, а изменяют 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.

Для создания указанного градиентного переходного слоя используется магнетронная система с двумя магнетронами. Первый магнетрон распыляет мишень, состав которой соответствует составу металлического изделия, а второй магнетрон распыляет мишень из циркония с добавками 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 порядка  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Па, а мощность магнетрона, распыляющего металлический сплав, уменьшается вплоть до его полного отключения. После этого продолжается напыление чистого оксида циркония до достижения им требуемой толщины.

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 теплозащитного покрытия на рабочую поверхность детали из сплава на основе никеля, 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.