РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 588 973** (13) **C2**

(51) МПК
*C23C 4/10* (2006.01)
*B82B 3/00* (2006.01)
*C23C 4/12* (2006.01)
*C23C 14/35* (2006.01)
*C23C 14/16* (2006.01)

# (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: **2014118299/02, 06.05.2014**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
**06.05.2014**

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **06.05.2014**

(43) Дата публикации заявки: **20.11.2015** Бюл. № 32

(45) Опубликовано: **10.07.2016** Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **EP 1533396 A2, 25.05.2005. SU 1749311 A1, 23.07.1992. BY 15928 C1, 30.06.2012. RU 2218447 C2, 10.12.2003. US 20080220177 A1, 11.09.2008.**

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 ОБРАБОТКИ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ЛОПАСТНЫХ МАШИН

(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 рабочие поверхности детали лопастной машины включет нанесение плазменным напылением на предварительно подготовленные поверхности детали из сплава на основе никеля 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, 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 $1,5*10^{-3}$ 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 деталей покрытий, имеющих достаточно высокое значение 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 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 обработки рабочих поверхностей деталей лопастных машин, включающем нанесение защитного оксидного покрытия на предварительно механически обработанные и подготовленные поверхности деталей, последующее формирование на металлической поверхности композитной структуры металл-оксид при совместном реактивном распылении металлов, согласно изобретению в наносимом покрытии создают

градиентный переходной слой из градиентного нанокомпозитного материала, содержащего две фазы: металлическую фазу с составом, соответствующим составу защищаемой поверхности, которую располагают в непосредственной близости от защищаемой поверхности, и диэлектрическую фазу, преимущественно оксид циркония различной стехиометрии, которую наносят на упомянутую металлическую фазу, при этом соотношение фаз в переходном слое изменяют с возрастанием доли оксидной фазы по мере увеличения толщины пленки, обеспечивая при этом плавный переход от металлического материала к оксиду без межфазной границы макроскопического размера.

В варианте применения способа для создания упомянутого градиентного переходного слоя используют магнетронную систему с двумя магнетронами, причем при помощи первого магнетрона распыляют мишень с металлическим сплавом, состав которого соответствует составу металлического изделия, и, преимущественно, содержащую никель, а при помощи второго магнетрона распыляют мишень из циркония с добавками стабилизирующих элементов, преимущественно, иттрия, причем первоначальное распыление мишеней осуществляют в атмосфере аргона таким образом, что интенсивность атомного потока, сформированного от первой никелевой мишени, превышает интенсивность атомного потока от циркониевой мишени, при этом после формирования первичного сплошного металлического слоя в рабочую камеру добавляют кислород и придают процессу напыления характер реактивного с образованием в напыляемой пленке оксида циркония при неокисленном никеле, при этом в процессе напыления парциальное давление кислорода плавно увеличивают до давления порядка $1{,}5*10^{-3}$ Па, а мощность первого магнетрона, распыляющего мишень с металлическим сплавом, уменьшают вплоть до его полного отключения, после чего продолжают напыление чистого оксида циркония до достижения им требуемой толщины.

Предложенный способ реализуется следующим образом.

Для повышения адгезионной прочности покрытия из оксида циркония, стабилизированного иттрием, напыляемого на рабочие поверхности деталей лопастных машин, создают переходной слой из градиентного нанокомпозитного 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, например никелевый сплав ХН71МТЮБ, а второй магнетрон распыляет мишень из циркония с добавками стабилизирующих элементов, например иттрий. 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 $1,5*10^{-3}$ 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 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.