

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **039515**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.02.04**

(21) Номер заявки  
**202000055**

(22) Дата подачи заявки  
**2019.12.23**

(51) Int. Cl. **C23C 4/04** (2006.01)  
**C23C 4/08** (2016.01)  
**C23C 4/131** (2016.01)

---

(54) **СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛИ УЗЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ**

---

(43) **2021.06.30**

(96) **2019/ЕА/0107 (ВУ) 2019.12.23**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ  
НАУК БЕЛАРУСИ" (ВУ)**

(56) **EA-B1-032173  
CN-A-101250683  
US-A-6001426  
US-A1-2004124256  
RU-C1-2641427**

(72) Изобретатель:  
**Белоцерковский Марат Артёмович,  
Кукареко Владимир Аркадьевич,  
Григорчик Александр Николаевич,  
Астрашаб Евгений Викторович,  
Сосновский Алексей Валерьевич (ВУ)**

(57) Задачей изобретения является повышение физико-механических свойств покрытий используемых в узлах трения скольжения, а также расширение области применения газотермических покрытий. Изобретение относится к технологии восстановления и упрочнения поверхности деталей узлов трения скольжения методом газотермического напыления, а именно гиперзвуковой электрометаллизацией. Способ включает нанесение газотермического покрытия методом гиперзвуковой электрометаллизации двух проволочных сталей. В качестве материала одной проволоки используют хромсодержащую сталь с содержанием хрома до 25 мас.%, а в качестве другой проволоки используют алюминиевый сплав с содержанием алюминия не менее 80 мас.%, причем ее диаметр выбирают в зависимости от количества хрома в стальной проволоке. Способ позволяет повысить износостойкость детали на 15-25%.

**B1**

**039515**

**039515 B1**

Изобретение относится к технологии нанесения износостойких покрытий на детали триботехнического назначения, работающие при высоких удельных нагрузках и в слабоагрессивных средах. Может быть использовано при восстановлении опор скольжения, валов, цилиндрических сочленениях, применяемых в машиностроении, станкостроении, текстильной и металлургической промышленности.

Одним из наиболее традиционных и эффективных путей решения задачи восстановления узлов трения и обеспечения их требуемой износостойкости является формирование на рабочих поверхностях пар трения газотермических покрытий с необходимым комплексом физико-механических характеристик.

Известен способ получения газотермических покрытий из порошковых проволок, включающий электродуговую металлизацию порошковой проволоки определенного состава и последующую термическую обработку, в виде закалки и отпуска [1]. Недостатками данного способа являются использование дорогостоящей порошковой проволоки определенного состава и термическая обработка покрытий с достаточно высокой температурой нагрева (840°C). Закалка газотермических покрытий с температуры 840°C будет способствовать возникновению дополнительных напряжений между покрытием и подложкой за счет различных коэффициентов линейного расширения при нагреве, что будет приводить к снижению прочностных свойств покрытий.

Известен способ получения износостойких покрытий, согласно которому напыление проводится плазменным методом, при этом вводится дисперсный керамический порошок через кольцевую щель в воздушно-плазменную струю [2]. Недостатком данного способа является использование дорогостоящего метода плазменного напыления, а также использование дисперсных частиц  $Al_2O_3$  (20-40 мкм и менее).

Известен способ нанесения износостойкого покрытия на металлическую подложку, в котором напыляют композиционные проволоки, заполненные частицами износостойкого наполнителя, расплавляют и переносят частицы посредством газовой струи [3]. Недостатками известного способа является использование дорогостоящей композиционной проволоки.

Наиболее близким по технической сущности является способ получения покрытия гиперзвуковой металлизацией, принятый за прототип, согласно которому проводят гиперзвуковую металлизацию пропано-воздушной смесью расплавленных электрической дугой двух проволок с различной температурой плавления [4]. При этом, более тугоплавкая проволока является анодом. Диаметр легкоплавкой проволоки выбирают по формуле. Недостатком известного способа является его трудоемкость и сложность подбора режимов напыления, а также пониженные триботехнические свойства покрытий.

Задачей изобретения является повышение физико-механических свойств покрытий деталей, используемых в узлах трения скольжения, а также расширение области их применения.

Для решения поставленной задачи, в способе изготовления детали узла трения скольжения, состоящем из распыления расплавленных электрической дугой проволочных материалов, на предварительно подготовленную поверхность детали, послойном осаждении частиц, механической обработки сформированного покрытия, согласно изобретению, в качестве материала одной проволоки выбирают хромистую сталь с содержанием хрома до 25 мас.%, а в качестве материала другой проволоки используют алюминиевый сплав с содержанием алюминия не менее 80 мас.%, причем диаметр проволоки алюминиевого сплава выбирают в зависимости от количества хрома в стальной проволоке. Максимальное содержание хрома и минимальное алюминия при этом в проволоках обусловлено необходимостью образования определенной структуры покрытия, а также доступностью проволочных материалов.

В заявленном способе для обеспечения повышения износо- и коррозионной стойкости покрытия, предусматривается газотермическое распыление методом гиперзвуковой металлизации, пропано-воздушной смесью стальных и алюминиевых частиц. При напылении такого псевдосплава (распыление стальной и алюминиевой проволок) формируется покрытие, содержащее пониженное количество оксидов, по сравнению со стальным покрытием. Низкое содержание оксидов железа в напыленном псевдосплаве связано с предотвращением окисления частиц железа за счет их обволакивания легкоплавким алюминием в процессе металлизации, а также с восстановлением оксидов железа алюминием. В результате этого, распыляемые частицы стали при охлаждении в полёте практически не контактируют с кислородом воздуха, и, как следствие, в покрытиях регистрируется пониженное количество оксидов железа. При этом образование тонкой пленки оксида  $Al_2O_3$  защищает от интенсивного окисления алюминиевые частицы.

Напыление газотермических покрытий из высокохромистых сталей, методом гиперзвуковой металлизации сопровождается окислением легирующих элементов, и в частности, хрома, в напыляемых проволочных материалах. В результате этого, в сформированных стальных покрытиях из высокохромистых сталей регистрируется пониженная концентрация хрома, и как следствие, снижение их коррозионной стойкости. Вместе с тем, напыление газотермических покрытий методом гиперзвуковой металлизации двумя проволочными материалами (высокохромистая сталь и алюминиевый сплав) будет приводить к практически полному предотвращению окисления легирующих элементов стальной проволоки, за счет формирования тонких пленок оксида алюминия на поверхности напыленных частиц, что в свою очередь приведет к существенному возрастанию износо- и коррозионной стойкости газотермических покрытий.

Для формирования псевдосплавных покрытий гиперзвуковой металлизацией использовалась установка АДМ-10 и проволоки различных диаметров из хромосодержащих сталей 30ХГС, 40Х13, 95Х18 и

алюминиевых сплавов АК12, АД-1. Исследовалась структура, фазовый состав, а также триботехнические свойства напыленных покрытий. Металлографические исследования проводились с помощью микроскопа АЛТАМИ МЕТ 1МТ с использованием программного обеспечения AltamiStudio 3.3, фазовый состав покрытий исследовался с использованием дифрактометра ДРОН-3.0. Триботехнические испытания проводились по схеме возвратно-поступательного движения призматического образца с газотермическим покрытием (8×6×5 мм) по пластинчатому контртелу из закаленной стали У8, при средней скорости взаимного перемещения ≈0,1 м/с. Номинальная нагрузка составляла при граничном трении 10 МПа, путь трения ≈1200 м.

Проводилось напыление покрытий из указанных сталей, а также псевдосплавов 30ХГС+АК12, 40Х13+АК12, 95Х18+АД-1 с различными соотношениями диаметра стальной и алюминиевой проволоки (табл. 1). В результате исследований структурно-фазового состава и триботехнических свойств напыленных покрытий установлено, что покрытия напыленные из псевдосплавов (сталь-алюминиевый сплав) обладают пониженным содержанием оксидов и повышенной износостойкостью при трении в смазочном материале по сравнению с покрытиями из аналогичной стали, но без алюминиевого сплава. При этом, износостойкость псевдосплавов повышается при содержании в покрытиях определенного количества стали и алюминия.

Таблица 1. Износостойкость и качественные характеристики напыленных газотермических покрытий из псевдосплавов

Материал покрытия		Соотношение диаметра стальной и алюминиевой проволоки, $D_1/D_2$	Интенсивность линейного изнашивания при трении в смазочном материале $I_n, \times 10^{-10}$	Пористость, не более %	Наличие трещин
Хромсодержащая стальная проволока, $D_1$	Алюминиевая проволока, $D_2$				
30ХГС	АК12	1,5	4,42	2-5	Да
		1,3	4,20	2-3	Да
		1,1	3,80	1-3	Нет
		1	3,86	2-4	Нет
		0,9	4,27	2-4	Нет
		0,8	4,46	2-4	Да
40Х13	АК12	1,5	2,94	2-5	Нет
		1,4	2,77	2-3	Нет
		1,3	2,91	2-4	Нет
		1,2	3,00	2-4	Нет
		1,1	3,11	2-5	Да
		1,0	3,20	3-6	Да
95Х18	АД-1	1,5	1,65	2-5	Да
		1,4	1,60	2-4	Нет
		1,3	1,69	3-5	Нет
		1,2	1,71	3-5	Нет
		1,1	1,80	3-5	Нет
		1,0	1,86	2-6	Да

Анализ и математическая обработка результатов показали, что диаметры стальной и алюминиевой проволок находятся в следующей зависимости:

$$D_2 = D_1/k, \quad (1)$$

где  $D_1$  - диаметр стальной проволоки, мм;  $D_2$  - диаметр проволоки алюминиевого сплава, мм;  $k$  - коэффициент, зависящий от содержания хрома в стальной проволоке.

$$k = 1,51 - 0,53 * 0,87^x,$$

где  $x$  - содержание хрома в стальной проволоке, %.

Пример реализации способа.

Для обеспечения требуемой работоспособности шпиндель 5М150 зубодолбежного станка должен обладать повышенной коррозионной стойкостью и износостойкостью при трении в жидких смазочных материалах. Ранее деталь восстанавливалась методом гиперзвуковой металлизации путем напыления покрытия из стали 40Х13. При эксплуатации восстановленной детали было выявлено, что покрытие из стали обладает недостаточной коррозионной стойкостью и износостойкостью в среде жидкого смазочного материала.

Был выбран шпиндель 5М150 зубодолбежного станка с изношенной рабочей поверхностью диаметром 132 мм, выполненный из стали У9. На рабочей поверхности выбранной детали формировали покрытие на основе хромсодержащей стали и алюминиевого сплава путем нагрева до плавления в электрической дуге двух проволок и их распыления продуктами сгорания пропано-воздушной смеси, движущимися со сверхзвуковой скоростью, осаждения в виде покрытия расплавленного материала на рабочей по-

верхности. Подготовка поверхности под нанесение покрытия осуществлялась в виде струйно-абразивной обработки дробленой чугуной крошкой ДЧК 1,8 ГОСТ 11964-81 с размером частиц 1,0-1,8 мм. Толщина покрытия 1,1-1,2 мм. Обработку покрытия осуществляли шлифованием кругом КЗ зернистостью М40, твердостью СМ1-СТ1 и следующими режимами: скорость круга 28-30 м/с; поперечная подача 0,016-0,006 мм/дв.ход (0,016 - при предварительном шлифовании; 0,006 - при чистовом).

Покрытие наносили с использованием установки для электродуговой металлизации АДМ-10. При этом, в качестве хромосодержащей стальной проволоки использовали проволочную сталь 40Х13 с содержанием хрома 13 мас.% диаметром 2 мм, а в качестве второй алюминиевый сплав АК12 с содержанием алюминия более 84 мас.%, диаметром из расчета по выражению (1), т.е. равным 1,4 мм (при этом  $k=1,42$ ). Режим напыления: давление пропан-бутановой смеси 0,37 МПа, давление сжатого воздуха 0,35 МПа, напряжении на дуге 30 В, ток дуги 170 А.

Испытания детали узла трения скольжения проводились в течение 100 ч наработки с промежуточными визуальными осмотрами и измерением интенсивности линейного изнашивания напыленных покрытий. Установлено, что износостойкость покрытия напыленного по заявляемому способу на 15-25% выше износостойкости покрытий, напыленных известными способами. Также отмечено, что твердость заявленного покрытия выше. Это связано с пониженным удельным объемом алюминиевых частиц в заявленном покрытии. Необходимо отметить, что покрытие из псевдосплава обладает повышенной коррозионной стойкостью по сравнению с покрытием из одной стали.

#### Источники информации

1. Способ получения газотермических покрытий из порошковых проволок: пат. №RU 2 394 936С2, МПК С23С 4/04, С23С 4/18 / А.К. Кычкин, Г.Г. Винокуров, Н.Ф. Стручков; заявитель ООО «Центр трансферта технологий» – №2008140238/02, заявл. 09.10.2008; опубл. 20.07.2010 Бюл № 20.
2. Способ плазменного напыления износостойких покрытий: пат. RU2 462 533С2, МПК С23С 4/10, С23С 4/12 / В. И. Кузмин, А.А. Михальченко, Е.В. Картаев, Н.А. Руденская, Н.В. Соколов; заявитель ИППМ СО РАН – № 2011116526/02; заявл. 26.04.2011; опубл. 27.09.2012 Бюл. №27.
3. Способ нанесения износостойкого покрытия на металлическую подложку: пат. № 20975, С23С4/123, В05D7/00 / М. А. Белоцерковский, А. А. Дюжев, А. С. Прядко, А. Е. Черепко, А. В. Сосновский; заявитель ОИМ НАН Беларуси – № а20140295; заявл. 23.05.2014 опубл. 30.04.2017.
4. Способ получения покрытия гиперзвуковой металлизацией: пат. ВУ №22381, В05В 7/20, С23С 4/00 / М.А. Белоцерковский, А.В. Сосновский, Н.Ф. Соловей, А.И. Камко; заявитель ОИМ НАН Беларуси – № а20170327; заявл. 05.09.2017; опубл. 28.02.2019.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ упрочнения детали узла трения скольжения, включающий формирование на рабочей поверхности детали покрытия на основе хромосодержащих сталей и алюминиевых сплавов путем нагрева до плавления в электрической дуге двух проволок и их последующего распыления продуктами сгорания пропано-воздушной смеси, движущимися с сверхзвуковой скоростью, осаждение в виде покрытия расплавленного материала на рабочей поверхности детали, механическую обработку покрытия, отличающийся тем, что в качестве материала одной проволоки используют хромосодержащую сталь с содержанием хрома до 25 мас.%, а в качестве другой проволоки используют алюминиевый сплав с содержанием алюминия не менее 80 мас.%, причем ее диаметр выбирают в зависимости от количества хрома в хромосодержащей стальной проволоке, используя следующее выражение:

$$D_2 = D_1 / k, \text{ мм},$$

где  $D_1$  - диаметр хромосодержащей стальной проволоки, мм;  $D_2$  - диаметр проволоки алюминиевого сплава, мм;  $k$  - коэффициент, зависящий от содержания хрома в стальной проволоке;

$$k = 1,51 - 0,53 \times 0,87^x,$$

где  $x$  - содержание хрома в стальной проволоке, мас.%.  


---

