

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036011**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.09.14

(21) Номер заявки
201800400

(22) Дата подачи заявки
2018.06.13

(51) Int. Cl. **C23C 4/06** (2016.01)
C23C 4/129 (2016.01)
C23C 4/18 (2006.01)

(54) **СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОГО ПОКРЫТИЯ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ДЕТАЛИ УЗЛА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ**

(43) **2019.12.30**

(96) **2018/EA/0049 (BY) 2018.06.13**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
НАУК БЕЛАРУСИ" (BY)**

(56) **BY-C1-9465
WO-A1-2001032948
BY-C1-11776
US-A1-5268045**

(72) Изобретатель:

**Белоцерковский Марат Артёмович,
Кукареко Владимир Аркадьевич,
Астрашав Евгений Викторович,
Григорчик Александр Николаевич,
Сосновский Алексей Валерьевич (BY)**

(57) Изобретение относится к технологии изготовления деталей триботехнического назначения и, в частности, деталей узлов трения скольжения, эксплуатирующихся при повышенных удельных нагрузках. Задачей изобретения является повышение антифрикционных свойств и расширение области использования имплантированных азотом стальных газотермических покрытий. Способ получения износостойкого покрытия на металлической детали узла трения скольжения состоит из распыления расплавленного в электрической дуге материала проволоки высокоскоростной струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси, послойное осаждение распыленных частиц на предварительно подготовленную поверхность детали, механическую обработку сформированного покрытия и последующую ионную имплантацию азотом, согласно изобретению в качестве материала одной проволоки выбирают сталь с содержанием хрома не менее 10 об.%, в качестве материала второй проволоки выбирают антифрикционный сплав на основе меди, при этом вторую проволоку выбирают с диаметром D_2 , определяемым в зависимости от условий эксплуатации узла трения скольжения, из выражения $D_2 = k \cdot D_1$, где D_1 - диаметр стальной проволоки, k - коэффициент состава, который принимают при эксплуатации металлической детали в условиях сухого трения в присутствии абразива $k = (0,64-0,80)$, а в условиях граничного трения $k = (1,20-1,56)$. Заявляемый способ позволяет повысить антифрикционные свойства и расширить области использования имплантированных азотом стальных газотермических покрытий.

B1**036011****036011****B1**

Изобретение относится к технологии изготовления деталей триботехнического назначения и, в частности, деталей узлов трения скольжения, эксплуатирующихся при повышенных удельных нагрузках. Может быть использовано при изготовлении элементов подшипников и опор скольжения, сферических и цилиндрических сочленений, применяемых в сельхозмашиностроении, станкостроении, металлургической промышленности.

Одним из наиболее эффективных путей решения задачи обеспечения требуемой износостойкости и антифрикционных показателей деталей трущихся сопряжений является формирование на их рабочих поверхностях покрытий с необходимым комплексом физико-механических характеристик.

Известен способ получения износостойкого покрытия на металлической детали узла трения скольжения [1], заключающийся в формировании газотермическим напылением металлических порошков слоя требуемым размером на предварительно подготовленную поверхность детали, механическую обработку слоя и его последующее упрочнение путем термообработки.

Недостатком известного способа являются относительно невысокие значения физико-механических свойств напыляемых покрытий, поскольку указанная термообработка используется в основном для повышения плотности и адгезии покрытий. Использование упрочняющих режимов термообработки (закалка) невозможно из-за необходимости нагрева детали до высоких температур (более 1000 К) и резкого охлаждения, что приведет к отрыву слоя от основы. Покрытия, полученные термообработкой напыленных металлических слоев по данному способу, нельзя использовать для защиты деталей, работающих в контакте с абразивосодержащими средами, вследствие их низкой износостойкости.

Известен способ получения износостойких стальных покрытий [2], включающий формирование струи нагретых частиц путем распыления нагретой до плавления стальной проволоки, осаждение частиц в виде слоя на предварительно подготовленную поверхность детали, механическую обработку слоя и его последующее упрочнение химико-термической обработкой.

Недостатком данного способа является необходимость использования высоких температур, при которых осуществляется процесс химико-термической обработки (от 900 до 1200 К), что приводит к отслоению покрытий, возникающему из-за большой разности значений коэффициентов термического расширения основы и слоя. Даже при использовании стального порошка, напыленного на деталь из стали того же состава, коэффициент термического расширения слоя и основы отличается на 20-25%. Это объясняется наличием в слое большого количества оксидов и структурными особенностями напыленных материалов. Кроме того, использование дорогих металлических порошков для формирования слоя под последующую химико-термическую обработку экономически нецелесообразно.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является способ получения стальных износостойких покрытий [3], принятый за прототип, включающий формирование струи частиц, полученных путем распыления нагретой до плавления стальной проволоки, осаждение частиц в виде высокоплотного слоя на предварительно подготовленную поверхность детали, механическую обработку слоя и его упрочнение путем ионно-лучевой имплантации азотом.

Недостатком использования данного способа в узлах трения скольжения, несмотря на высокую износостойкость, являются его низкие антифрикционные показатели (высокий коэффициент трения азотированных слоев) и длительный период приработки покрытия.

Задачей изобретения является повышение антифрикционных свойств и расширение области использования имплантированных азотом стальных газотермических покрытий.

Для решения поставленной задачи в способе получения износостойкого покрытия на металлической детали узла трения скольжения, включающем распыление расплавленного в электрической дуге материала проволок высокоскоростной струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси, послойное осаждение распыленных частиц на предварительно подготовленную поверхность детали, механическую обработку сформированного покрытия и последующую ионную имплантацию азотом, согласно изобретению в качестве материала одной проволоки выбирают сталь с содержанием хрома не менее 10 об.%, в качестве материала второй проволоки выбирают антифрикционный сплав на основе меди, при этом вторую проволоку выбирают с диаметром D_2 , определяемым в зависимости от условий эксплуатации узла трения скольжения, из выражения

$$D_2 = k \cdot D_1,$$

где D_1 - диаметр стальной проволоки;

k - коэффициент состава, который принимают при эксплуатации металлической детали в условиях сухого трения в присутствии абразива $k=(0,64-0,80)$, а в условиях граничного трения $k=(1,20-1,56)$.

В заявляемом способе для обеспечения высоких антифрикционных показателей (низкий коэффициент трения при небольших значениях интенсивности изнашивания) деталей узлов трения скольжения, эксплуатирующихся при повышенных удельных нагрузках, предусматривается формирование поверхностного слоя, включающего участки из высокотвердого материала (азотированной стали) и участки из антифрикционного материала (сплав на основе меди), то есть создается покрытие из т.н. "псевдосплава". При этом можно использовать не только ионно-лучевое азотирование, как в прототипе, но и ионно-плазменное азотирование.

Ионно-плазменное азотирование - химико-термический процесс в импульсной "холодной" плазме

тлеющего разряда в газовой азотосодержащей среде. Суть процесса заключается в том, что ионы азота ускоряются электрическим полем, бомбардируют поверхность детали и, таким образом, создают условия для активной диффузии атомарного азота в кристаллическую решетку металла и формирования азотированного слоя с повышенной твердостью [4]. Ионно-лучевое азотирование предусматривает применение ионных пучков высокой плотности. Ускоренные ионы азота имеют энергию, существенно превышающую энергию межатомного взаимодействия в твердых телах, что позволяет при сравнительно кратковременном облучении достигать сверхвысокую концентрацию азота в поверхностных слоях [4] и синтезировать в них метастабильные фазы и химические соединения.

Экспериментальные исследования осуществлялись на оборудовании для гиперзвуковой металлизации конструкции ОИМ НАН Беларуси. Для формирования высокоскоростной струи использовалась пропаново-воздушная смесь стехиометрического состава, продукты горения которой истекали из камеры через сопло Лавалья, обеспечивая скорость частиц расплывенных проволок 370-390 м/с. В качестве материала стальной проволоки использовались стали 40X9HC2, 15X5M, 40X10C2M, 08X13, 40X13. Диаметр стальных проволок - 1,5-2,6 мм. Материал второй проволоки - бронза БрОЦС5-5-4,5. В экспериментах использовалась бронзовая проволока диаметром от 1,6 до 2,8 мм.

Для ионно-плазменной обработки (ИПО) использовалась экспериментальная установка с цилиндрической рабочей камерой диаметром 450 и длиной 500 мм. Рабочий диапазон давлений газа в камере составлял 0,1-10 Па. Источник электронов с плазменным катодом, установленный на верхнем фланце камеры, генерировал электронный пучок круглого сечения площадью 100 см². В экспериментах использовалась азотно-аргоновая смесь, причем аргон напускался через полый катод, азот подавался непосредственно в камеру. Соотношение потоков Ar:N₂ составляло 1:1. Для зажигания использовался вспомогательный разряд в электродной системе типа обращенный магнетрон, плазма которого обеспечивала зажигание тлеющего разряда. Напряжение горения составляло 40 В при токе 20 А и потоке газа через полый катод 80 см³/мин. Температура ионно-плазменного азотирования составляла 720 К.

Ионно-лучевая обработка (ИЛО) осуществлялась на экспериментальной установке с помощью ионного источника с замкнутым дрейфом электронов. Источник генерировал азотный пучок ленточного типа длиной 120 мм и шириной 2,5 мм. Для однородного распределения ионного пучка по обрабатываемой поверхности применялась система механического сканирования узла крепления образцов, которая обеспечивала равномерность дозы облучения не менее 93%. Имплантация проводилась в течение 2 ч при энергии ионов 1-3 кэВ и плотности ионного тока 2 мА/см², что обеспечивало суммарную дозу падающих ионов ~3·10⁹ см⁻². Температура образцов в процессе ионно-лучевой обработки составляла 630-700 К.

В табл. 1 приведены микротвердость и толщина азотированных слоев, полученных используемыми методами на покрытиях из используемых стальных проволок. Диапазон толщин и микротвердости дан для максимальных значений ионно-лучевой и ионно-плазменной обработок. Анализ результатов показал, что максимальной микротвердостью и толщиной обладают слои, полученные после имплантации азотом покрытий, сформированных распылением проволок из сталей с содержанием хрома более 10%.

Таблица 1
Свойства азотированных слоев на покрытиях из различных сталей

Материал проволоки	15X5M	40X9HC2	40X10C2M	08X13	40X13
Среднее содержание хрома, %	4,5	9,2	10,1	12,8	12,9
Толщина слоя, мкм	10 – 25	15 – 25	30 – 60	30 – 65	35 – 70
Микротвердость, МПа	8300 – 8700	8400 – 8800	9400 – 9600	9500 – 9800	9600 – 10000

Повышенные физико-механические свойства упрочненных ионами азота слоев на покрытиях из хромосодержащих сталей объясняются следующими причинами:

меньшим количеством оксидов в напыленных покрытиях из хромосодержащих сталей, причем количество оксидов обратно пропорционально количеству хрома;

легированностью ϵ - и γ -нитридных фаз хромом, приводящей к увеличению их твердости, износостойкости и пластичности;

высокой растворимостью азота в легированной хромом матричной α -фазе сталей, обеспечивающей реализацию механизма объемной диффузии имплантируемой примеси, а также образованию зоны внутреннего азотирования;

выделением в азотированном слое высокопрочных нитридов хрома CrN.

Сравнительные триботехнические испытания модифицированных ионами азота напыленных слоев проводились на трибометре АТВП в режиме сухого трения с присутствием абразива (частицы SiO₂ размером менее 10 мкм) и в режиме граничного трения (фитильная подача смазки 10W40) по схеме возвратно-поступательного движения контактирующих тел при удельной нагрузке 1,5 МПа и средней ско-

рости взаимного перемещения 0,1 м/с. Интенсивность изнашивания определялась методом искусственных баз по отпечаткам пирамиды на твердомере Виккерса. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Состав покрытий и их интенсивность изнашивания

N п/п	Диаметр стальной проволоки D ₁ , мм	Диаметр бронзовой проволоки D ₂ , мм	Величина коэффициента k (k = D ₂ /D ₁)	Условия трения	Интенсивность изнашивания, мкм/км
1	2,6	1,6	0,62	Сухое трение + абразивная пыль	22,3
2	2,5	1,6	0,64	-«-	17,1
3	2,4	1,6	0,67	-«-	16,7
4	2,2	1,6	0,73	-«-	16,9
5	2,0	1,6	0,80	-«-	17,3
6	2,2	1,8	0,82	-«-	22,7
7	1,8	1,6	0,89	-«-	23,2
8	2,0	2,0	1,00	-«-	24,1
9	1,8	1,6	0,89	Граничное трение	0,64
10	2,0	2,0	1,00	-«-	0,49
11	2,0	2,4	1,20	-«-	0,44
12	1,8	2,2	1,22	-«-	0,42
13	2,0	2,5	1,25	-«-	0,43
14	1,8	2,4	1,33	-«-	0,46
15	1,6	2,4	1,50	-«-	0,47
16	1,6	2,5	1,56	-«-	0,47
17	1,5	2,5	1,67	-«-	0,68
18	1,6	2,8	1,75	-«-	0,77

В результате испытаний установлено, что наиболее высокую износостойкость имеют модифицированные покрытия, полученные напылением проволок при следующем соотношении диаметров: в условиях сухого трения в присутствии абразива $k=D_2/D_1=0,64-0,80$, а в условиях граничного трения $k=D_2/D_1=1,0-1,56$, где k - коэффициент состава.

Пример реализации способа.

1. Восстановлению - упрочнению подвергались пальцы диаметром 32 мм створок загрузочного устройства шаровой однокамерной мельницы помола цемента типа УХ12(VS) производства КНР. Условия работы поверхностей пальцев - трение скольжения в присутствии абразивной пыли. Материал - сталь 40. Контртело - стальная проушина, внутренняя рабочая поверхность которой закалена до твердости 48-52 HRC.

Первую партию пальцев в количестве 4 шт. восстанавливали по заявляемому способу. С целью удаления жировых загрязнений и масел с поверхности пальцев их обезжировали и мыли в моечных ваннах, а затем подготавливали под напыление рабочую поверхность струйно-абразивной обработкой дробленой чугунной крошкой ДЧК 1,8 455 ГОСТ 11964-81 с размером частиц 1,0-1,8 мм. Режимы обработки: давление сжатого воздуха - 0,55-0,65 МПа; расход воздуха 3,0-3,5 м³/мин; расстояние от среза сопла до поверхности пальца - 50-70 мм; угол наклона струи абразива к поверхности - 70-90°. Нанесение покрытия осуществляли на установке для гиперзвуковой металлизации АДМ-10, одновременным распылением расплавленных материалов проволоки из стали 40Х13 диаметром D₁=2,2 мм и проволоки из бронзы БрОФ10 диаметром D₂=1,6 мм, k=0,73, так как пальцы эксплуатируются в условиях сухого трения, высокоскоростной струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси и послойным осаждением частиц на предварительно подготовленную поверхность детали. Толщина покрытия 1,1-1,2 мм. Контроль за толщиной покрытия осуществляют с помощью толщиномера типа Elcometer 435 Statistics.

Обработку покрытий 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). Ионно-лучевое азотирование осуществляли при температуре 770 К, плотности ионного пучка 2 мА/см², дозе облучения 3×10¹⁹ ион/см², продолжительность - 100 мин. Толщина азотированного слоя, определенная на боковом срезе рабочей поверхности пальцев, составила 32-40 мкм.

Вторую партию пальцев в количестве 4 шт. восстанавливали по способу-прототипу, для чего нанесли покрытие распылением проволоки марки 20Х13, последующее шлифование и ионно-лучевое азотирование. После механической обработки и азотирования (режимы аналогичны ранее использованным для первой партии) были получены покрытия с азотированными слоями толщиной 25-35 мкм.

Сравнительные испытания в условиях подконтрольной эксплуатации в течение 120 смен показали,

что интенсивность изнашивания элементов узла трения "палец-проушина" с пальцами, восстановленных по предлагаемой технологии более чем в 1,4 раза ниже, чем у восстановленных по известному способу.

2. Восстановлению - упрочнению подвергались изношенные сегменты трехсегментной радиальной тяжело нагруженной опоры скольжения машины направленного бурения МНБ-50. Изношенные сегменты были выполнены из бронзы БрАЖ9-4. Условия работы - граничное трение (масло И-Г-А-46) при высоких удельных нагрузках (до 100 МПа). Контртело - сталь 30ХГСА, термообработанная до твердости 49-54 HRC.

Первую партию в количестве 3-х сегментов восстанавливали по заявляемому способу. Подготовку поверхности осуществляли по технологии, описанной в предыдущем примере. Нанесение покрытия осуществляли на установке для гиперзвуковой металлизации АДМ-10 одновременным распылением расплавленных материалов проволоки из стали 40Х13 диаметром $D_1=1,8$ мм и проволоки бронзы БрОФ10 диаметром $D_2=2,2$ мм, $k=1,22$, так как сегменты эксплуатируются в условиях граничного трения, высокоскоростной струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси и послойным осаждением частиц на предварительно подготовленную поверхность детали. Толщина покрытия 1,5-1,7 мм. Механическую обработку покрытия и ионно-лучевое азотирование осуществляли на режимах, описанных в предыдущем примере.

Вторую партию сегментов в количестве 3 шт. восстанавливали по способу-прототипу, для чего наносили покрытие распылением проволоки марки 20Х13, последующее шлифование и ионно-лучевое азотирование.

Сравнительные испытания восстановленных сегментов и новых сегментов из бронзы БрАЖ9-4 в условиях подконтрольной эксплуатации в течение 340 ч показали следующее.

Сегменты, восстановленные по заявляемому способу, имели износостойкость в 1,6-1,7 раза выше, чем новые из бронзы. Сегменты, восстановленные по способу-прототипу, вышли из строя в результате схватывания после 22-40 ч эксплуатации.

Таким образом, заявляемый способ позволяет повысить антифрикционные свойства и расширить области использования имплантированных азотом стальных газотермических покрытий.

Источники информации.

1. Петров Г.К. Свойства и характеристики износостойких напыленных и термообработанных воздушно-плазменных покрытий// Газотермическое напыление в промышленности. ГТНП-93. - СПб., 1993. - с. 92-96.

2. Хасуй А. Техника напыления. - М.: Машиностроение, 1975. - с. 15, 51, 71, 79-81, 194.

3. Патент РФ № 9465, кл. С23С 4/18, опубл. 30.09.2004 г.

4. Белый, А.В. Инженерия поверхностей конструкционных материалов концентрированными потоками ионов азота/ А.В. Белый, В.А. Кукареко, А. Патеюк. - Минск: Белорусская наука, 2007. - 244 с.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения износостойкого покрытия на металлической детали узла трения скольжения, включающий распыление расплавленного в электрической дуге материала проволок высокоскоростной струей продуктов сгорания пропано-воздушной смеси, послойное осаждение частиц на предварительно подготовленную поверхность детали, механическую обработку сформированного покрытия и последующую ионную имплантацию азотом, отличающийся тем, что в качестве материала одной проволоки выбирают сталь с содержанием хрома не менее 10 об.%, в качестве материала второй проволоки выбирают антифрикционный сплав на основе меди, при этом вторую проволоку выбирают с диаметром D_2 , из выражения

$$D_2=k \cdot D_1,$$

где D_1 - диаметр стальной проволоки;

k - коэффициент, выбираемый в зависимости от условий эксплуатации узла трения скольжения.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что при эксплуатации металлической детали в условиях сухого трения в присутствии абразива $k=(0,64-0,80)$.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что при эксплуатации металлической детали в условиях граничного трения $k=(1,0-1,56)$.

