

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **201800211** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
2019.08.30

(51) Int. Cl. *C23C 4/06* (2016.01)  
*C23C 4/131* (2016.01)

(22) Дата подачи заявки  
2018.02.28

---

(54) **СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ**

---

(96) 2018/EA/0013 (BY) 2018.02.28

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

(72) Изобретатель:  
**Белоцерковский Марат Артёмович,  
Григорчик Александр Николаевич,  
Кукареко Владимир Аркадьевич,  
Сосновский Алексей Валерьевич,  
Трусев Дмитрий Игоревич (BY)**

(57) Изобретение относится к технологии восстановления-упрочнения деталей машин, подверженных интенсивному износу. Оно может быть использовано для нанесения износостойких, антифрикционных и коррозионностойких стальных покрытий на рабочую поверхность элементов трибосопрежений, для повышения срока службы металлических деталей. Способ формирования стального покрытия на металлическом изделии включает транспортировку двух стальных проволочных электродов вдоль камеры микрофакельного горения, пропускание сварочного тока по стальным проволочным электродам с образованием между ними электрической дуги, подачу в камеру горючего газа, воздуха на его горение и воздуха на охлаждение камеры, микрофакельное сжигание образовавшейся газо-воздушной смеси с формированием высокотемпературной сверхзвуковой струи, истекающей из камеры через сопло Лавала, последующее диспергирование этой струей расплавленных в дуге стальных проволочных электродов с образованием частиц и их перенос на поверхность покрываемого изделия и отличается тем, что воздух на горение ионизируют электрическим разрядом до степени ионизации от 0,25 до 0,65, а в качестве горючего газа используют метилацетилен-алленовую фракцию.

**A1**

**201800211**

**201800211**

**A1**

## СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

Изобретение относится к технологии восстановления-упрочнения быстроизнашивающихся деталей машин. Оно может быть использовано для нанесения износостойких стальных покрытий на рабочую поверхность элементов трибосопряжений, для повышения срока службы металлических деталей.

Известен способ получения износостойкого покрытия [1], 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 отслаиванию 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 отличаются 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.

Известен способ электродуговой металлизации [2], включающий подачу и расплавление электродов, и распыление полученного расплавленного

металла транспортирующими газами, один из которых - смесь углеводородов, подают в зону горения дуги, а другой газ в виде смеси с восстановительными свойствами - в область, прилегающую к зоне горения дуги.

Недостатком данного способа является низкие механические характеристики покрытий, поскольку транспортировка расплавленного металла производится смесью газов без горения.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является способ гиперзвуковой металлизации [3] поверхности детали при котором подают распыляемые проволочные электроды через камеру сгорания и выходное сопло Лавалья навстречу друг другу до их контакта, подают воздух и горючий газ в полость смешения газов для образования горючей смеси, пропускают по распыляемым проволочным электродам сварочный ток с образованием электрической дуги, нагревают распыляемые проволочные электроды до их плавления и распыляют расплав струей продуктов сгорания горючей смеси, истекающей из выходного сопла Лавалья с гиперзвуковой скоростью и с переносом частиц расплава на поверхность металлируемой детали.

Недостатком данного способа является недостаточная восстановительная способность продуктов сгорания пропано-воздушной смеси.

Кроме того, общим недостатком указанных способов являются низкие триботехнические и механические характеристики полученных покрытий.

Задачей изобретения является повышение механических свойств стальных покрытий и расширение области использования процесса гиперзвуковой металлизации.

Для решения поставленной задачи, в способе получения покрытия с высокими трибомеханическими свойствами на металлическом изделии, включающем транспортировку двух стальных проволочных электродов вдоль камеры микрофакельного горения, пропускание сварочного тока по электродам с образованием между ними электрической дуги, подачу в камеру из независимых источников горючего газа, воздуха на горение и воздуха

на охлаждение камеры, микрофакельное сжигание газо-воздушной смеси с образованием высокотемпературной сверхзвуковой струи, истекающей из камеры через сопло Лавалья, последующее диспергирование этой струей расплавленного в дуге материала проволок с образованием частиц и их перенос до поверхности покрываемого изделия, согласно изобретению, воздух на горение ионизируют электрическим разрядом до степени ионизации более 0,25, а в качестве горючего газа используют МАФ (метилацетилен-алленовую фракцию).

Совокупность указанных признаков способа получения покрытия позволяет достичь следующего эффекта:

1. увеличить предельную температуру пламени за счет повышенной степени сгорания в ионизированном воздухе горючего газа, используемого для распыления расплавленных капель металла при высокоскоростной металлизации, что дает возможность формировать покрытия с более высокими прочностными свойствами и пониженным количеством оксидов;

2. повысить трибомеханические свойства газотермических покрытий за счет насыщения атомами внедрения из ионизированного воздуха, идущего на сжигание горючего газа, распыляемых частиц.

Анализ выполненных исследований показал (таблица 1), что напыленное газотермическое покрытие из высокохромистой стали 95X18 содержит повышенное количество аустенитной фазы, параметр кристаллической решетки которой существенно превышает параметр кристаллической решетки аустенитной фазы для монолитной закаленной стали 95X18 ( $a_\gamma = 0,35970$  нм). Определенное из выражения (1) с учетом значений параметров кристаллической решетки покрытия ( $a_\gamma = 0,36075 - 0,36095$  нм) содержание атомов примесей внедрения в аустенитной фазе покрытия из стали 95X18 составляет 1,19-1,24 масс.% (таблица 1). В то же время данные химического анализа свидетельствуют о том, что общее содержание углерода в покрытии вслед-

ствие его окисления при напылении составляет 0,6 масс. % [4]. Таким образом, регистрируемое увеличение параметра решетки аустенитной фазы [5]

$$C \text{ (масс.\%)} = (a_\gamma - 3,555)/0,044 \quad (1)$$

Таблица 1 - Значения параметра решетки аустенита покрытия и содержания в нем атомов внедрения по глубине анализируемого слоя

Глубина анализируемого слоя покрытия, мм	Параметр решетки аустенита покрытия $a_\gamma$ , нм	Содержание углерода в аустените покрытия С, масс. %
0	0,36095	1,24
0,45	0,36090	1,23
0,60	0,36075	1,19
0,90	0,36075	1,19

газотермического покрытия связано с присутствием в этой фазе помимо атомов углерода также и других атомов внедрения. В частности, в процессе высокоскоростной металлизации в области дугового разряда происходит ионизация молекул азота  $N_2$ , преимущественно содержащихся в воздухе, используемом для сгорания горючего газа МАФ. В результате этого, ионизированные атомы азота, взаимодействуют с напыляемыми частицами, и могут входить в состав покрытий. По данным, приведенным в литературе [1], содержание нитридов в напыленном электродуговым методом стальном покрытии может достигать 1,5 масс. %.

Степень ионизации воздуха, подаваемого на горение горючего газа МАФ, в предлагаемом способе находится в пределах от 0,25 до 0,65. Верхний и нижний предел ионизации выбран на основании данных значений твердости, сформированных газотермических покрытий с использованием воздуха, использующегося для горения газа МАФ, различной степени ионизации. В частности, в таблице 2 представлены значения твердости напыленного газотермического покрытия из стали Св-08Г2С, сформированного с использованием ионизированного воздуха, использующегося для горения газа МАФ. Нижний предел степени ионизации воздуха (0,25), использующегося для горения газа МАФ, выбран с учетом регистрируемого возрастания дюрометрических свойств напыляемых газотермических покрытий ( $\approx 25$  %), а также

низким уровнем затрат, связанных с ионизацией воздуха. Верхний предел ионизации воздуха (0,65) выбран с учетом выхода твердости газотермических покрытий на максимальный уровень (таблица 2), а также с целью уменьшения стоимости обработки.

Таблица 2 - Твердость газотермического покрытия из стали Св-08Г2С напыленного с использованием ионизованного воздуха, подающегося для горения газа МАФ

Степень ионизации воздуха	Твердость напыленного покрытия, HV 10
0	230
0,15	270
0,25	300
0,35	325
0,45	335
0,55	340
0,65	345
0,75	350
0,85	350

Пример реализации способа.

Экспериментальные образцы газотермических покрытий напылялись с помощью установки для высокоскоростной металлизации АДМ-10 [6]. Напыление установкой АДМ-10 осуществлялось путем транспортировки двух стальных проволочных электродов вдоль камеры микрофакельного горения, пропускание сварочного тока по стальным проволочным электродам с образованием между ними электрической дуги, подачу в камеру горючего газа, воздуха на его горение и воздуха на охлаждение камеры, микрофакельное сжигание образовавшейся газо-воздушной смеси с формированием высокотемпературной сверхзвуковой струи, истекающей из камеры через сопло Лаваля, последующее диспергирование этой струей расплавленных в дуге стальных проволочных электродов с образованием частиц и их перенос на поверхность покрываемого изделия. При этом воздух на горение ионизировался электрическим разрядом до степени ионизации от 0,25.

Материал электродов - проволочная сталь Св-08Г2С диаметром 1,6 мм. Подаваемое напряжение на электроды – 34 В при силе тока 165 А. В качестве

горючего газа при металлизации использовалась метилацетилен-алленовая фракция (МАФ), которая подавалась в камеру металлизатора при давлении 0,4 МПа и с общим расходом – 0,9 м<sup>3</sup>/ч. В рабочую камеру установки АДМ-10 для горения горючего газа МАФ подавался ионизированный воздух при давлении 0,4 МПа и общим расходом - 95 м<sup>3</sup>/ч. Ионизация воздуха, подаваемого на горение горючего газа МАФ, осуществляется в положительном столбе тлеющего разряда [7]. Степень ионизации воздуха составляла  $\approx 0,25$ . Дистанция напыления – 150 мм.

Напыление проводилось на предварительно подготовленную поверхность металлических пластин из стали 45. Подготовка поверхности металлических пластин перед газотермическим напылением осуществлялась в дробеструйной камере при использовании смеси дробы ДЧК - 1,8 (ГОСТ 11964-81) и электрокорунда грануляцией 1,4 – 1,7 мм (ГОСТ 3647-80) или карбид кремния чёрного 54С с такой же грануляцией. Обработка поверхности проводилась до полного удаления следов ржавчины и получения равномерной матовой поверхности с шероховатостью 0,04 – 0,16 мкм. Струйно-абразивная обработка осуществляется при давлении воздуха 0,4...0,6 МПа и его в интервале 2,5-5,0 м<sup>3</sup>/мин, угле атаки между струей абразива и поверхностью детали – 60-75 градусов, расстоянии от сопла до обрабатываемой детали 70 – 100 мм. Срок годности подготовленной поверхности – 1,5 - 2 часа.

Рентгеноструктурный анализ напыленных газотермических покрытий из стали Св-08Г2С проводили на дифрактометре ДРОН-2.0 в монохроматизированном кобальтовом ( $CoK_{\alpha}$ ) излучении при напряжении 30 кВ и анодном токе 15 мА. Рентгеновскую съемку осуществляли в геометрии по Брэггу-Брентано, в режиме сканирования с шагом 0,1°. Дифрагированный вторичный пучок монохроматизировался с помощью графитового монохроматора НГП. В результате получали дифрактограмму, представляющую собой распределение интенсивности дифрагированного рентгеновского излучения в зависимости от угла дифракции. Расшифровка рентгенограмм осуществля-

лось при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match с картотекой PDF-2. Для определения твердости использовался метод Виккерса. Твердость по Виккерсу определяли посредством вдавливания четырехгранной алмазной пирамиды с углом заострения  $136^\circ$  при нагрузке 10 кг (98 Н). Измерения микротвердости по Виккерсу проводились на твердомере DuraScan 20. Для измерения диагоналей отпечатка использовалось программное обеспечение Ecos Workflow.

Рентгеноструктурный анализ газотермического покрытия из стали Св-08Г2С, напыленного методом высокоскоростной металлизации с использованием горючего газа МАФ и предварительно ионизированного воздуха показал, что в нем регистрируется нитридная фаза  $Fe_3N$  [8]. Наличие нитридной фазы в сформированном газотермическом покрытии свидетельствует о насыщении атомами внедрения распыляемых частиц покрытий в процессе электродугового газотермического напыления. Образование нитридных частиц  $Fe_3N$  в газотермическом покрытии из стали Св-08Г2С при высокоскоростной металлизации приводит к повышению трибомеханических свойств покрытия. В частности, твердость газотермического покрытия из низкоуглеродистой стали Св-08Г2С составляет  $\approx 300$  HV 10 [9]. Твердость газотермического покрытия из стали Св-08Г2С, полученного методом газопламенного напыления без использования ионизированного воздуха для сжигания горючего газа, составляет  $\approx 230$  HV 10.

Таким образом, можно сделать вывод, что заявляемый способ позволяет получать газотермические покрытия, характеризующиеся повышенными трибомеханическими свойствами за счет насыщения атомами внедрения распыляемых частиц покрытий.

#### Источники информации

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



2. Патент РФ № 2174158, Кл. С23С4/12. опубл. 27.09.2001 г.
3. Способ гиперзвуковой металлизации и устройство для его осуществления: пат. ЕАС № 024778, А.Е. Черепко, А.А. Дюжев, А.В. Сосновский, А.С. Прядко, В.А. Скворцов, М.А. Белоцерковский. - опубл. 31.10.2016 г.
4. О природе формирования метастабильной аустенитной структуры при газотермическом напылении высокохромистой стали мартенситного класса 95X18 / Кукареко В.А., Григорчик А.Н., Белоцерковский М.А., Сосновский А.В. // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2017. – Т.13. - №7 (151). – С. 318-322.
5. Металловедение и термическая обработка стали. Справ. Изд. – 3-е изд., перераб. и доп. В 3-х т. Т 1. Методы испытаний и исследований / под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. М.: Металлургия, 1983. 352 с.
6. Витязь П.А., Азизов Р.О., и др. Упрочнение газотермических покрытий. Минск: Бестпринт, 2004. – 192 с.
7. Механизм ионизации азота в тлеющем разряде / Полак Л.С., Сергеев П.А., Словецкий Д.И. // Теплофизика высоких температур. – 1977. – Т.15. - №1. – С. 15-23.
8. Кукареко В.А. Закономерности формирования структурно-фазового состояния газотермического покрытия из стали мартенситного класса 95X18 / В.А. Кукареко, А.Н. Григорчик, М.А. Белоцерковский, А.В. Сосновский // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы 12-й международно-технической конференции ; редкол.: А.В. Белый [и др.]. – Минск, 2017. – С. 54–62.
9. Влияние ионно-лучевого азотирования на структурно-фазовое состояние и триботехнические свойства экономичных газотермических покрытий из проволочных сталей различных классов / В.А. Кукареко, М.А. Белоцерковский, А.В. Белый, А.Н. Григорчик // Трение и износ. – 2013 (34). – № 6. – С. 621–627.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ


Способ формирования стального покрытия, включающий транспортировку двух стальных проволочных электродов вдоль камеры микрофакельного горения, пропускание сварочного тока по стальным проволочным электродам с образованием между ними электрической дуги, подачу в камеру горючего газа, воздуха на его горение и воздуха на охлаждение камеры, микрофакельное сжигание образовавшейся газо-воздушной смеси с формированием высокотемпературной сверхзвуковой струи, истекающей из камеры через сопло Лавалья, последующее диспергирование этой струей расплавленных в дуге стальных проволочных электродов с образованием частиц и их перенос на поверхность покрываемого изделия, *отличающийся тем, что* воздух на горение ионизируют электрическим разрядом до степени ионизации от 0,25 до 0,65, а в качестве горючего газа используют метилацетиленалленовую фракцию.

## ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ  
ПОИСКЕ(статья 15(3) ЕАПК и правило 42  
Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

201800211

Дата подачи: 28 февраля 2018 (28.02.2018)   Дата испрашиваемого приоритета:		
Название изобретения: Способ формирования стального покрытия		
Заявитель: ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»		
<input type="checkbox"/> Некоторые пункты формулы не подлежат поиску (см. раздел I дополнительного листа)		
<input type="checkbox"/> Единство изобретения не соблюдено (см. раздел II дополнительного листа)		
А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ: C23C 4/06 (2016.01) C23C 4/131 (2016.01)		
Согласно Международной патентной классификации (МПК) или национальной классификации и МПК		
Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:		
Минимум просмотренной документации (система классификации и индексы МПК) C23C 4/00, 4/04, 4/06, 4/12, 4/123, 4/131, B05B 7/00, 7/16, 7/22		
Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в область поиска:		
В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ		
Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A, D	ВУ 20946 С1 (ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ "ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ") 30.04.2017, формула	1
A	UA 1182 A (ИНСТИТУТ ГАЗА АН УКРАИНЫ) 30.12.1993, формула	1
A	ВУ 4365 С1 (ИНСТИТУТ НАДЕЖНОСТИ МАШИН НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ) 30.03.2002, htathfn	1
A	WO 1998/13143 A1 (COFAP- COMPANHIA FABRICADORA) 02.04.1998, формула	1
<input type="checkbox"/> последующие документы указаны в продолжении графы В		<input type="checkbox"/> данные о патентах-аналогах указаны в приложении
* Особые категории ссылочных документов:		"Т" более поздний документ, опубликованный после даты
"А" документ, определяющий общий уровень техники		приоритета и приведенный для понимания изобретения
"Е" более ранний документ, но опубликованный на дату		"Х" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету
подачи евразийской заявки или после нее		поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень,
"О" документ, относящийся к устному раскрытию, экспони-		взятый в отдельности
рованию и т.д.		"У" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету
"Р" документ, опубликованный до даты подачи евразийской		поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с
заявки, но после даты испрашиваемого приоритета		другими документами той же категории
"D" документ, приведенный в евразийской заявке		"&" документ, являющийся патентом-аналогом
		"L" документ, приведенный в других целях
Дата действительного завершения патентного поиска:		05 сентября 2018 (05.09.2018)
Наименование и адрес Международного поискового органа: Федеральный институт промышленной собственности РФ, 125993, Москва, Г-59, ГСП-3, Бережковская наб., д. 30-1. Факс: (499) 243-3337, телегайп: 114818 ПОДАЧА		Уполномоченное лицо:  Л. В. Андреева Телефон № (499) 240-25-91