(19) Евразийское патентное ведомство

(11) 034648 (13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.03.03

(21) Номер заявки
201800211

(22) Дата подачи заявки
2018.02.28

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

(54) СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ СТАЛЬНОГО ПОКРЫТИЯ

(43) **2019.08.30**
(96) **2018/EA/0013 (BY) 2018.02.28**

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

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

(56) BY-C1-20946
UA-A-1182
BY-C1-4365
WO-A1-199813143

(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 трибосопряжений, для повышения срока службы металлических деталей. В заявляемом способе формирования стального покрытия на металлическом изделии, включающем 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 газовоздушной 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, 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.

034648 B1

034648 B1

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 K), 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 Лаваля 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 Лаваля с гиперзвуковой скоростью и с переносом частиц расплава на поверхность металлизируемой 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 газовоздушной смеси с образованием высокотемпературной сверхзвуковой струи, истекающей из камеры через сопло Лаваля, 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 (метилацетиленалленовую 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, использующегося 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 95Х18 содержит повышенное количество аустенитной фазы, параметр кристаллической решетки которой существенно превышает параметр кристаллической решетки аустенитной фазы для монолитной закаленной стали 95Х18 (a_γ = 0,35970 нм). Определенное из выражения (1) с учетом значений параметров кристаллической решетки покрытия (a_γ = 0,36075-0,36095 нм) содержание атомов примесей внедрения в аустенитной фазе покрытия из стали 95Х18 составляет 1,19-1,24 мас.% (таблица 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_γ, 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

В то же время данные химического анализа свидетельствуют о том, что общее содержании углерода в покрытии вследствие его окисления при напылении составляет 0,6 мас.% [4]. Таким образом, регистрируемое увеличение параметра решетки аустенитной фазы [5]

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

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 мас.%.

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 дюрометри-ческих свойств напыляемых газотермических покрытий (≈ 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 газовоздушной 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 $м^3$/ч. В рабочую камеру установки АДМ-10 для горения горючего газа МАФ подавался ионизированный воздух при давлении 0,4 МПа и общим расходом - 95 $м^3$/ч. Ионизация воздуха, подаваемого на горение горючего газа МАФ, осуществляется в положительном столбе тлеюще-

го разряда [7]. Степень ионизации воздуха составляла ≈ 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 дроби 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 $м^3$/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 ч.

Рентгеноструктурный анализ напыленных газотермических покрытий из стали Св-08Г2С проводили на дифрактометре ДРОН-2.0 в монохромати-зированном кобальтовом (CoKα) 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 осуществлялось при помощи программного обеспечения Crystallographica Search-Match с картотекой PDF-2. Для определения твердости использовался метод Виккер-са. Твердость по Виккерсу определяли посредством вдавливания четырехгранной алмазной пирамиды с углом заострения 136° 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 ≈ 300 HV 10 [9]. Твердость газотермического покрытия из стали Св-08Г2С, полученного методом газопламенного напыления без использования ионизированного воздуха для сжигания горючего газа, составляет ≈ 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. C23C4/12. 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 95Х18 / 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 95Х18 / 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 газовоздушной 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, отличающийся тем, что воздух на горение ионизируют электрическим разрядом до степени ионизации от 0,25 до 0,65, а в качестве горючего газа используют метилацетиленаллленовую фракцию.

Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2