

**ОПИСАНИЕ
ИЗОБРЕТЕНИЯ
К ПАТЕНТУ**
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **24145**

(13) **С1**

(46) **2023.12.30**

(51) МПК

В 23К 35/22 (2006.01)

В 23К 35/40 (2006.01)

С 23С 4/10 (2016.01)

(54) **САМОФЛЮСУЮЩАЯСЯ ПРОВОЛОКА ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ
ВЫСОКОПРОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ**

(21) Номер заявки: а 20220130

(22) 2022.05.20

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Пантелеенко Федор Иванович; Карпец Максим Николаевич; Белоцерковский Марат Артемович; Пантелеенко Алексей Федорович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(56) ПАНТЕЛЕЕНКО Ф.И. и др. Особенности химико-термической обработки микрообъектов различных структурных классов. Вестник Брестского государственного технического университета, 2022, № 1, с. 73-76.

ВУ 13823 С1, 2010.

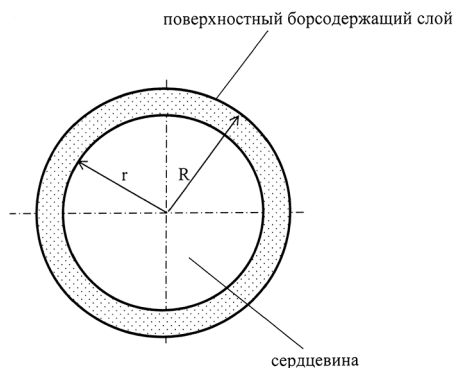
WO 2018/018997 А1.

CN 103978318 А, 2014.

ВУ 6599 С1, 2004.

(57)

Самофлюсующаяся проволока для нанесения высокопрочных покрытий газотермическим методом напыления, полученная путем борирования стальной проволоки диаметром 0,8-2,0 мм с образованием поверхностного борсодержащего слоя толщиной 30-160 мкм, при этом содержание бора в проволоке составляет 1-5 мас. %.



Фиг. 2

Изобретение относится к материалам для нанесения покрытий газотермическими методами напыления.

Одним из способов улучшения качественных характеристик покрытий, нанесенных с применением газотермических методов напыления и наплавки, является дополнительное

ВУ 24145 С1 2023.12.30

ВУ 24145 С1 2023.12.30

легирующие применяемых материалов с применением химико-термической обработки (далее - ХТО). Известно, что для увеличения износостойкости покрытий можно успешно применять самофлюсующиеся порошки для наплавки.

Известен самофлюсующийся порошок для износостойких покрытий [1], который представляет собой чугунное сферическое ядро и борсодержащую диффузионную оболочку, где ядро представляет собой отходы производства чугунной дроби со средним диаметром 0,05-0,80 мм, а количество бора в порошке составляет 1,0-13,5 мас. %.

Данный материал относится к порошковым наплавочным материалам и не может применяться в качестве материала для газотермического напыления покрытий по причине отличия формы материала, технологии и оборудования для нанесения покрытий.

Техническая задача, которую решает предлагаемое изобретение, заключается в разработке самофлюсующейся проволоки для получения качественных металлических покрытий, нанесенных с применением газотермического напыления, обладающих высокой прочностью сцепления с основой, меньшим содержанием пор и большей износостойкостью.

Техническая задача достигается тем, что самофлюсующаяся проволока для нанесения высокопрочных покрытий газотермическим методом напыления получена путем борирования стальной проволоки диаметром 0,8-2,0 мм с образованием поверхностного борсодержащего слоя толщиной от 30 до 160 мкм, при этом содержание бора в проволоке составляет 1-5 мас. %.

Сущность изобретения поясняется фигурами, где на фиг. 1 изображена микроструктура заявляемой самофлюсующейся проволоки ($\times 50$) на фиг. 2 изображена схема поперечного сечения заявляемой проволоки; на фиг. 3 - микроструктура покрытия из обычной проволоки ($\times 500$); на фиг. 4 - микроструктура покрытия из самофлюсующейся проволоки ($\times 500$).

В качестве материалов для газотермических методов нанесения покрытий, как правило, применяются проволоки, порошки и шнуры. Учитывая экономические преимущества применения проволочных материалов, они получили большее распространение. В качестве проволочных материалов для газотермических методов напыления покрытий применяют стандартные сварочные проволоки и проволоки специального назначения. В процессе нанесения покрытий проволочными материалами летящие к поверхности основы капли расплавленного металла пребывают в воздушной среде и интенсивно окисляются. Для различных методов газотермического напыления процесс окисления расплавленных капель выражен в большей или меньшей степени. Образовавшиеся оксиды металлов значительно ухудшают качественные характеристики покрытия (прочность сцепления с основой, коррозионную стойкость, износостойкость). На основе изучения работоспособности деталей с покрытиями прочность сцепления покрытий с основным металлом является одним из важных факторов, характеризующих возможность применения металлических покрытий. Металлическое покрытие, нанесенное с применением заявляемой самофлюсующейся проволоки, обладает более высокой прочностью сцепления с основой, является более плотным и менее пористым, не содержит оксидов железа (FeO , Fe_3O_4), обладает более высокой твердостью и износостойкостью, чем покрытие из стальной проволоки сплошного сечения без борсодержащего поверхностного слоя.

Учитывая, что на сегодняшний день отсутствуют проволочные материалы, которые можно использовать в качестве прототипа, в качестве сравнительных материалов применялись стальная сварочная проволока марки Св-08Г2С диаметром 1,6 мм (далее - обычная проволока) и заявляемая самофлюсующаяся проволока с сердцевинкой из проволоки Св-08Г2С.

Исходную стальную проволоку сплошного сечения помещали в контейнер с насыщающей средой из карбида бора B_4C и герметизировали плавким затвором. Нагрев осуществляли в электрической печи до температуры 900-950 °С. Продолжительность химико-

ВУ 24145 С1 2023.12.30

термической обработки составляла 0,5-5 ч, в зависимости от требуемого количества бора в составе проволоки. Покрытие наносили на стальную пластину газотермическим методом напыления.

Для определения и сравнения качественных характеристик покрытий, нанесенных с применением заявляемой самофлюсующейся проволоки и обычной проволоки, проводились исследования покрытий, нанесенных методом гиперзвуковой металлизации на стальные образцы с применением установки АДМ-10.

По результатам металлографических исследований было выявлено, что в покрытии из обычной проволоки просматриваются оксидные пленки на границах между частицами металла, в покрытии из заявляемой самофлюсующейся проволоки их практически не видно, и оно выглядит более плотным.

Анализ пористости выполнялся двумя способами: микроскопическим (металлографическим) методом с применением секущих, нанесенных на фотографию микроструктур, а также с применением микроскопа МИ-1 и программного обеспечения SIAMS 800.

Испытания прочности сцепления покрытий выполнялись по штифтовому методу. Испытаниям подвергали по пять образцов-штифтов с покрытиями для каждого из наносимых материалов. За результат принимали среднеарифметическое значение. Испытания выполнялись на разрывной машине GALDABINI QUASAR 50 с применением программного обеспечения GRAPH WORK 6.

Измерение толщины борсодержащего слоя выполняли металлографическим способом с применением микроскопа МИ-1 и программного обеспечения SIAMS 800.

Содержание бора рассчитывалось по формуле $C = \pi(R^2 - r^2) / \pi R^2 \times C_b$, где C - содержание бора в самофлюсующейся проволоке; R - радиус сечения проволоки с поверхностным борсодержащим слоем, мкм; r - радиус сечения сердцевины проволоки, мкм; C_b - содержание бора в поверхностном борсодержащем слое, %.

Исследование микротвердости выполнялось методом вдавливания алмазного наконечника в соответствии с ГОСТ 9450-76 с применением микротвердомера ПМТ-3М и программного обеспечения LOMO-Microsystems MCview.

Испытания покрытий на износостойкость выполняли на лабораторной машине трения при трении образцов в одинаковых условиях о цилиндрический абразив из карбида кремния, с усилием прижатия 20 Н. Износ определяли по уменьшению массы образцов, взвешивая их на аналитических весах RADWAG AS310/X с точностью 0,1 мг до и после испытаний.

Анализ фазового состава выполнялся методом рентгеноструктурного анализа с применением рентгеновского дифрактометра ДРОН-3 в кобальтовом монохроманизированном излучении, анализ рентгенограмм для нахождения присутствующих фаз выполнялся с помощью электронной базы PDF-2.

№ образца	Содержание бора, мас. %	Прочность сцепления покрытия, МПа	Микротвердость покрытия, HV	Пористость покрытия, %	Наличие оксидов FeO, Fe ₃ O ₄ , %	Износ, мг/м
Обычная проволока						
1	-	24,20	286	1,63-2,0	2,5	4,42
Заявляемая самофлюсующаяся проволока						
2	1,57-1,93	25,20	308	0,3-1,2	не обнаружено	4,01
3	1,98-2,42	26,50	356	0,6-1,2	не обнаружено	3,50
4	2,70-3,47	29,14	432	0,6-0,9	не обнаружено	2,77
5	3,70-4,48	33,12	504	0,6-1,2	не обнаружено	2,58

По результатам представленных данных можно установить, что покрытия, нанесенные с применением заявляемой самофлюсующейся проволоки, являются более плотными, менее пористыми, чем покрытия, нанесенные с применением обычной проволоки. Порис-

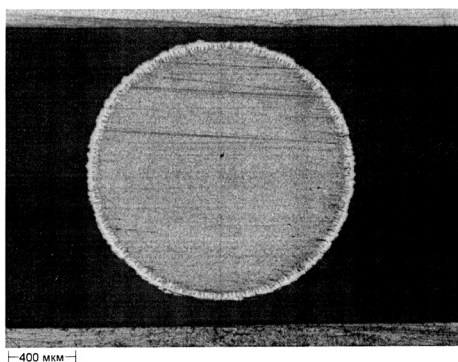
ВУ 24145 С1 2023.12.30

тость покрытий из самофлюсующейся проволоки не превышает 1,2 %. Прочность сцепления покрытий, выполненных с применением самофлюсующейся проволоки, на 37 % превышает прочность сцепления покрытий, выполненных обычной проволокой. Износостойкость покрытий, выполненных с применением самофлюсующейся проволоки, превышает износостойкость покрытий, выполненных с применением обычной проволоки, на 71 %. Микротвердость покрытия, выполненного с применением самофлюсующейся проволоки, превышает микротвердость покрытия, выполненного с применением обычной проволоки, на 76 %. В покрытии, выполненном самофлюсующейся проволокой оксидов железа не выявлено, в покрытии из обычной проволоки было выявлено 2,5 % оксидов железа.

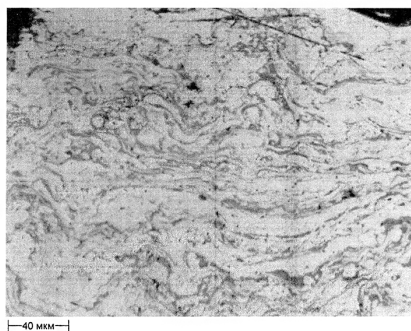
Отличие анализируемых механических свойств и микроструктуры покрытий, нанесенных с применением самофлюсующейся и обычной проволоки, основано на самофлюсующихся свойствах борированной проволоки, при которых бор защищает расплавленные капли металла от окисления в процессе пребывания их в воздушной среде. За счет отсутствия оксидов увеличивается смачиваемость основы и отдельных слоев покрытия расплавленными каплями, за счет чего покрытие получается более плотным, прочным, с меньшим содержанием пор. Твердые бориды железа (FeB , Fe_2B) увеличивают твердость и износостойкость покрытия. На основании представленных результатов применение самофлюсующейся проволоки для восстановления и упрочнения деталей машин является более предпочтительным, чем применение обычной проволоки.

Источники информации:

1. ВУ 13823, 2010.

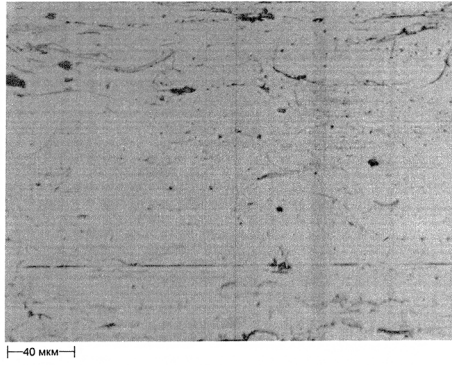


Фиг. 1



Фиг. 3

ВУ 24145 С1 2023.12.30



Фиг. 4