

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ

(19) **ВУ** (11) **5783**

(13) **С1**

(51)<sup>7</sup> **С 22С 9/01**



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(54)

**ПОРОШКОВЫЙ МАТЕРИАЛ  
ДЛЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ**

(21) Номер заявки: а 19990929

(22) 1999.10.14

(46) 2003.12.30

(71) Заявитель: Полоцкий государственный университет (ВУ)

(72) Авторы: Пантелеенко Федор Иванович;  
Константинов Валерий Михайлович;  
Сивый Сергей Брониславович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Полоцкий государственный университет (ВУ)

(57)

Порошковый материал для антифрикционных покрытий, содержащий алюминий, железо и медь, **отличающийся** тем, что он дополнительно содержит кремний при следующем соотношении компонентов, мас. %:

железо	2,0-4,0
алюминий	8,5-10,5
кремний	2,0-4,0
медь	остальное.

(56)

Витязь П.А. и др. Теория и практика газопламенного напыления. - Мн.: Наука и техника, 1993. - С. 54.

RU 2003719 C1, 1993.

SU 1640190 A1, 1991.

RU 94015775 A1, 1996.

SU 1622414 A1, 1991.

US 5296057 A, 1994.

RU 2061081 C1, 1996.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к порошковым наплавочным материалам, и может быть использовано для получения антифрикционных покрытий с высокой износостойкостью и наплавляемостью.

Известен порошковый материал для наплавки антифрикционных покрытий на основе меди ПР-БрАЖНМц 8,5-4-5-1,5 (ТУ 14-1-3330-82) производства НПО "Тулачермет" [1], имеющий следующий химический состав (% мас.):

железо	4,0
алюминий	8,5
никель	4,8
марганец	1,4
медь	остальное.

# ВУ 5783 С1

Указанный порошковый материал обеспечивает высокие антифрикционные свойства и износостойкость в условиях смазки маслом или без нее и скольжения с возможным внедрением абразивных частиц. Однако он содержит большое количество легирующих компонентов, коэффициент использования которых при изготовлении порошков низкий, что обуславливает высокую стоимость этого порошкового материала. К тому же наплавленные покрытия из этого порошка обеспечивают высокие антифрикционные свойства и износостойкость только при испытаниях в условиях смазки маслом и удельных давлениях на вкладыш не более 3,0 МПа, что ограничивает применение этого покрытия для работы в тяжелых условиях трения.

В качестве порошкового материала для получения антифрикционного покрытия разработаны и более дешевые материалы на медной основе с высокими антифрикционными свойствами, содержащие (мас. %): Al - 5...8, Fe - 2...4 [2] и Al - 10...12, Fe - 6...8 [3]. Однако они не предназначены для получения покрытий и используются преимущественно для получения деталей путем спекания.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому является порошок алюминиевой бронзы ПГ-19М01, выпускаемый Торезским заводом наплавочных твердых сплавов [4], имеющий следующий химический состав (мас. %):

железо	менее 4,0
алюминий	8,5...10,5
медь	остальное.

Порошок представляет собой распыленную алюминиевую бронзу и предназначен для нанесения покрытий методом напыления. Наплавкой порошка ПГ-19М01 практически невозможно получить качественное покрытие из-за крайне низкой смачиваемости и неудовлетворительной наплавляемости. Пористость покрытия в этом случае не позволяет использовать его для работы в тяжелых условиях, т.е. при высокой удельной нагрузке и малых скоростях скольжения в подшипнике. При плазменной наплавке порошка бронзы происходит интенсивное формирование трудноудаляемого налета на наплавляемой поверхности, смачиваемость после одного-двух витков практически отсутствует. Одной из главных причин, препятствующих образованию качественного антифрикционного покрытия, является высокое содержание в порошке таких химически активных компонентов, как алюминий и железо, при отсутствии раскисляющих компонентов.

Задачей данного изобретения является разработка антифрикционного порошкового материала с хорошей наплавляемостью на металлическую подложку и получения покрытий с высокой износостойкостью и требуемым ресурсом работы пары трения вал-втулка.

Решение данной задачи позволит эффективно применять разработанный антифрикционный материал в машиностроении. Например, эксплуатация подшипников скольжения в тяжелом машиностроении предусматривает высокие удельные нагрузки (более 20 Мпа) и небольшие скорости скольжения (около 1 м/с), вследствие чего необходимо обеспечить специфическую структуру покрытия. Структура покрытия антифрикционного сплава должна быть гетерогенной и состоять из твердых, опорных частиц, выдерживающих нагрузку вала, и мягкой, истирающейся при работе основы, которая обеспечивает циркуляцию масла в местах выработки.

Решение задачи состоит в том, что материал для антифрикционных покрытий содержит алюминий, железо, кремний и медь при следующем соотношении компонентов (мас. %):

железо	2,0...4,0
алюминий	8,5...10,5
кремний	2,0...4,0
медь	остальное.

Отличительными признаками по сравнению с прототипом являются:  
иной качественный состав (введение кремния);  
иной количественный состав (процентное содержание компонентов).

# BY 5783 C1

Выбор данного диапазона процентного содержания кремния как легирующего компонента в порошке обусловлен оптимальными технологическими и физико-механическими свойствами получаемого наплавленного покрытия, полученного на основе проведенного анализа и результатов эксперимента.

Легирование порошка бронзы кремнием позволяет получать наплавочные порошки определенного химического состава с высокими технологическими свойствами: низкой температурой плавления, хорошей смачиваемостью и высокой раскисляющей способностью. Раскисляющее действие кремния помимо повышения смачиваемости также уменьшает окисленность наплавленного слоя.

Сущность заявляемого изобретения поясняется примерами (1-8), результаты которых представлены в таблице.

Порошки заявляемого химического состава получали методом диффузионного легирования кремнием во вращающемся контейнере.

Покрытия получали путем электродуговой и плазменной наплавки. Электродуговую наплавку проводили графитовым электродом по шликеру на обратной полярности при силе тока 70...80 А. Плазменную наплавку производили на установке УПНС-304 на прямой полярности.

Металлографический анализ порошков производили с использованием микроскопа МВТ-71 на шлифах, приготовленных с использованием эпоксидных смол.

Фазовый состав покрытий из силицированной бронзы исследовали методом рентгеноструктурного анализа на дифрактометре ДРОН-0,5 в медном монохроматизированном излучении, при скорости движения диаграмной ленты 600 мм/час, скорости вращения счетчика 2,0 град/мин.

Твердость покрытий определяли по Роквеллу на приборе ТК-2, в соответствии с требованиями ГОСТ 20017. Измерение производили по шкале "В". Результаты измерений подвергали статистической обработке.

Испытания на изнашивание в условиях трения-скольжения при граничной смазке проводили на машине трения СМЦ-2 по схеме "стальной вал-вкладыш". Скорость скольжения составляла 2,1 м/с, нагрузка  $P = 60$  Н. Материал вала - сталь 40Х, твердость 50HRCэ. Смазка - М10В с добавкой 30 % абразивных частиц.

Известно, что структура медного сплава, легированного алюминием и железом ниже температуры 565 °С состоит из светлых зерен  $\alpha$ -твердого раствора алюминия и железа в меди, темного эвтектоида  $\alpha + \gamma$  и черных вкраплений железистой составляющей (интерметаллид Fe-Al).

Анализ микроструктуры после насыщения порошка кремнием показал, что обработка при температуре 800...850 °С и времени выдержки 1,5 часа приводит к образованию новой избыточной фазы, по-видимому, - эвтектоида на основе  $\alpha$ -твердого раствора алюминия и кремния в меди и  $\gamma(\text{Cu}_5\text{Si})$ . Включений силицидов в структуре порошка не обнаружено. Это дает основание предположить, что весь кремний сосредоточен в  $\alpha$ -твердом растворе и избыточной  $\gamma$ -фазе, который способствует формированию гетерогенной структуры наплавленного покрытия с достаточным уровнем твердости.

Сопоставительный анализ с прототипом показал, что заявляемый наплавочный порошок отличается от известного наличием в структуре кремния в составе избыточной  $\gamma$ -фазы.

Из данных, приведенных в примерах № 1-8 (таблица), следует, что при увеличении содержания кремния в порошке существенно улучшается смачиваемость покрытием подложки; уменьшаются пористость и окисленность получаемого покрытия. Все эти явления объясняются флюсоууще-раскисляющим действием кремния при наплавке. Увеличение пористости и ухудшение смачиваемости (примеры № 5-8) связано прежде всего с выгоранием легирующего элемента - кремния.

# BY 5783 C1

Таблица 1

Состав	Пример	Содержание кремния в наплавочном порошке, %мас	Интенсивность изнашивания, *10 <sup>-11</sup>		Твердость, HRB	Качество покрытия			Примечание
			вал	вкладыш с покрытием		Угол смачивания Θ, град.	Пористость, %	Содержание оксидов в наплавленном слое, %	
Прототип	1	0	5,51	11,60	67	31,3	18	30,5	Интенсивное искрообразование при наплавке. Формирование трудноудаляемого налета на подложке. Несплавление соседних валков.
	2	1,9	6,93	9,31	74	22,3	17	14,8	
	3	2,0	7,17	9,23	74	21,9	3	14,2	
	4	2,1	7,35	9,10	74	15,2	1	13,5	
	5	2,2	7,65	8,04	75	23,3	2	13,0	
	6	3,4	9,58	7,34	78	23,5	7	12,4	
	7	4,0	11,34	6,57	80	23,8	8	12,1	
Предлагаемый	8	4,8	20,90	5,28	82	24,5	11	11,6	Растрескивание фрагментов наплавленного слоя при остывании. Затруднена лезвийная механическая обработка наплавленного слоя

# ВУ 5783 С1

Зависимость твердости от содержания кремния имеет прямо пропорциональный характер. Так, при содержании в порошке около 5 (мас. %) кремния твердость увеличивается на 25 % по сравнению с порошком исходного состава. При дальнейшем увеличении твердости происходит растрескивание наплавленного слоя при остывании. Затруднена механическая обработка покрытия лезвийным инструментом.

Таким образом, применение порошка заявляемого состава позволяет повысить эксплуатационные свойства антифрикционных покрытий, улучшить качество и технологичность получаемых покрытий. При использовании порошка заявляемого состава обеспечивается хорошая наплавляемость, а также высокая износостойкость и оптимальная твердость антифрикционного покрытия.

## Источники информации:

1. Металлические для газотермического напыления и наплавки покрытий. Каталог (номенклатура, свойства, область применения). - Тула, 1989.
2. А.с. 2003719, МПК<sup>5</sup> С22С9/01, 1992.
3. А.с. 1640190, МПК<sup>5</sup> С22С9/01, 1988.
4. Теория и практика газопламенного напыления/П.А. Витязь, В.С. Ивашко, Е.Д. Манойло и др. -Мн.: Навука і тэхніка, 1993. - С. 295.