



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2011116526/02, 26.04.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.04.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.04.2011

(45) Опубликовано: 27.09.2012 Бюл. № 27

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: EP 423370 A, 24.04.1991. RU 2361964 C2,  
20.07.2009. UA 4542 A, 28.12.1994. US 7045172  
B2, 16.05.2006. US 20060292390 A1, 28.12.2006.

Адрес для переписки:

630090, г.Новосибирск, ул. Институтская, 4/1,  
ИТПМ СО РАН

(72) Автор(ы):

**Кузмин Виктор Иванович (RU),  
Михальченко Александр Анатольевич (RU),  
Картаев Евгений Владимирович (RU),  
Руденская Наталья Александровна (BY),  
Соколова Наталья Владимировна (BY)**

(73) Патентообладатель(и):

**Учреждение Российской академии наук  
Институт теоретической и прикладной  
механики им. С.А. Христиановича  
Сибирского отделения РАН (ИТПМ СО  
РАН) (RU)****(54) СПОСОБ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к технологии газотермического напыления, а именно к плазменным способам напыления износостойких покрытий на детали, работающие при одновременном воздействии износа и коррозионных сред, и может быть использовано в машиностроении, металлургии, энергетике и других сферах производства. Согласно способу осуществляют ввод дисперсного керамического порошка через кольцевую щель в воздушно-плазменную

струи и последующее его напыление на предварительно обработанную поверхность изделия. При этом используют дисперсные частицы оксида алюминия  $Al_2O_3$  со следующим соотношением фракционного состава: 20-40 мкм в количестве 75-85% и менее 20 мкм - остальное. Напыление проводят при мощности плазмотрона в пределах 44-54 кВт и расходе воздуха 1-2 г/с. Технический результат - повышение микротвердости и износостойкости покрытия. 1 табл., 1 пр.

RU 2 462 533 C1

RU 2 462 533 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C23C 4/10* (2006.01)  
*C23C 4/12* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2011116526/02, 26.04.2011**

(24) Effective date for property rights:  
**26.04.2011**

Priority:

(22) Date of filing: **26.04.2011**

(45) Date of publication: **27.09.2012 Bull. 27**

Mail address:

**630090, g.Novosibirsk, ul. Institutskaja, 4/1,  
ITPM SO RAN**

(72) Inventor(s):

**Kuzmin Viktor Ivanovich (RU),  
Mikhal'chenko Aleksandr Anatol'evich (RU),  
Kartaev Evgenij Vladimirovich (RU),  
Rudenskaja Natal'ja Aleksandrovna (BY),  
Sokolova Natal'ja Vladimirovna (BY)**

(73) Proprietor(s):

**Uchrezhdenie Rossijskoj akademii nauk Institut  
teoreticheskoy i prikladnoj mekhaniki im. S.A.  
Khristianovicha Sibirskogo otdelenija RAN (ITPM  
SO RAN) (RU)**

**(54) METHOD OF PLASMA SPRAYING OF WEAR RESISTANT COATING**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention relates to a technology of gas-thermal spraying, namely to plasma methods of spraying of wear-resistant coatings on parts operating under the simultaneous effect of wear and corrosive environments, and can be used in machine industry, metallurgy, power engineering and other areas of production. According to the method the dispersed ceramic powder is entered through the annular gap in air-plasma jet and its subsequent

sputtering on the pretreated surface of the part. At the same time the dispersed particles of aluminium oxide  $Al_2O_3$  are used, with the following ratio of fractional composition: 20-40 microns in an amount of 75-85% and less than 20 microns - the rest. Spraying is carried out at the plasmatron power within the 44-54 kW and air flow rate of 1-2 g/s.

EFFECT: increased microhardness and wear resistance of coating.

1 tbl, 1 ex

Изобретение относится к технологии газотермического напыления, а именно к плазменным способам напыления износостойких покрытий на детали, работающие при одновременном воздействии износа и коррозионных сред и используемые в машиностроении, металлургии, энергетике и других сферах производства.

Известен способ получения износостойкого покрытия (Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л. и др. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник. Киев: «Наукова думка». 1987. С.544), включающий ввод в плазменную струю порошка оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) дисперсностью менее 80 мкм точечным методом, при мощности плазмотрона 70-100 кВт, плазмообразующим газом является смесь воздуха с природным газом. Относительная износостойкость такого покрытия - 1,5 при среднем значении микротвердости составляющих покрытие фаз 1100 кг/мм<sup>2</sup>, пористость - 8-15%.

Недостатком способа является неравномерное заполнение порошком плазменной струи по ее поперечному сечению, что приводит к неравномерности плавления частиц и существенному различию их скоростей и, как следствие, к получению низкой воспроизводимости свойств напыляемых покрытий. Микротвердость и износостойкость таких покрытий недостаточно высокие, кроме того, они характеризуются низким качеством.

Широкое применение получил способ нанесения плазменных покрытий, в котором ввод порошка в плазменный поток осуществляется под углом к направлению потока по кольцевой щели, окружающей плазменный поток. Использование кольцевого способа позволяет значительно уменьшить недостатки точечного способа нанесения покрытий и получить более высококачественные покрытия, что подтверждают проведенные эксперименты, представленные в описании предлагаемого изобретения.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению является способ плазменной обработки по патенту ЕР №0423370 (опубл. 18.10.1990), включающий ввод дисперсного керамического порошка через кольцевую щель в воздушно-плазменную струю и его напыление на предварительно обработанную поверхность изделия.

Основной недостаток - конструктивные особенности не позволяют использовать широкий интервал фракционного состава порошкового материала, что в ряде случаев не позволяет получать покрытия с заданными значениями пористости и микротвердости составляющих покрытие фаз.

Задача предлагаемого технического решения состоит в создании покрытия с низкой пористостью, повышенными значениями микротвердости составляющих покрытие фаз и износостойкости.

Поставленная задача достигается тем, что в предлагаемом способе плазменного напыления износостойких покрытий, включающем ввод дисперсного керамического порошка через кольцевую щель в воздушно-плазменную струю и последующее его напыление на предварительно обработанную поверхность изделия, новым является то, что напыление ведут дисперсными частицами оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) со следующим фракционным составом: 20-40 мкм в количестве 75-85% и остальное - менее 20 мкм. При этом регулируют мощность плазмотрона в пределах 44-54 кВт, а расход воздуха составляет 1-2 г/с. Относительно небольшая мощность плазмотрона исключает перегрев обрабатываемых изделий.

Таким образом, отличительными признаками предлагаемого способа являются следующие: соотношение фракций используемого порошка, мощность плазмотрона и расход плазмообразующего газа.

При осуществлении предлагаемого способа обнаружен положительный эффект,

5 сущность которого заключается в повышении микротвердости составляющих покрытие фаз, что можно объяснить повышением количества межзеренных границ вследствие использования порошков различной дисперсности. Кроме этого, полученные покрытия отличаются высокой износостойкостью, в том числе при работе в коррозионных средах, высоким качеством как по высоте слоя, так и по границе раздела со сталью.

Технический результат достигается при сочетании следующих факторов. Выбранная мощность плазмотрона 44-54 кВт и расход плазмообразующего газа 1-2 г/с, позволяют обеспечить высокое качество покрытий с пористостью не более 2%. Изменение расхода плазмообразующего газа и мощности плазмотрона в сторону их повышения и уменьшения приводит к снижению износостойкости напыленных слоев, микротвердость составляющих покрытие фаз при этом возрастает.

15 Равномерный кольцевой ввод в поток плазмы композиции оксида алюминия с оптимальным фракционным составом (20-40 мкм в количестве 75-85% и остальное - менее 20 мкм), при описанных характеристиках режима плазменного напыления, позволяет повысить количество межзеренных границ, а это, одновременно с высоким качеством покрытия, обеспечивает увеличение его микротвердости и износостойкости.

20 При увеличении размера частиц снижается количество межзеренных границ, соответственно, и уровень микротвердости. Частицы меньших фракций используются целенаправленно для повышения количества межзеренных границ.

25 Покрытия в целом характеризуются композиционной структурой. В матричном материале расположены области скопления ультрадисперсных включений. В процессе транспортировки порошков мелкие частицы образуют конгломераты в подводящих порошок коммуникациях, которые при напылении дробятся, оплавляются, расплавляются. Все эти моменты и влияют на появление областей скопления ультрадисперсных включений. И, естественно, чем мельче фракция, тем больше будет образовываться областей ультрадисперсных включений. Эти фрагменты структуры покрытий повышают хрупкость напыленных слоев и являются очагами износа. Поскольку задача состояла в повышении микротвердости (износостойкости) и сохранении пластичности покрытий, то это значит, что нужно было обеспечить появление минимального количества вышеописанных областей ультрадисперсных включений и при этом использовать частицы мелких фракций. Исходя из этого были найдены оптимальные соотношения фракций порошка, которые и предлагаются в заявке.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

40 Порошок подают в узел кольцевого ввода плазмотрона для напыления на стальные образцы, предварительно подвергнутые дробеструйной обработке и обезжириванию. Напыление осуществляют электродуговым плазмотроном постоянного тока ПНК - 50 при следующих режимах: мощность плазмотрона 44-54 кВт, плазмообразующий газ - воздух, расход плазмообразующего газа - 1-2 г/с. В качестве исходного порошка для нанесения покрытия используют оксид алюминия ( $Al_2O_3$ ) фракции 20-40 мкм в количестве 75-85% и остальное - менее 20 мкм. Напыляемые частицы порошка после ввода в воздушно-плазменную струю нагреваются до высоких температур, ускоряются и при попадании на поверхность изделия образуют покрытие. 45 Оплавленные и расплавленные частицы, осаждаясь на подложку, легко деформируются, большую роль при этом играет и динамика струи, которая определяется расходом плазмообразующего газа. Такие условия предотвращают образование пустот и зон несплавления. В результате на стальном образце 50

формируется керамическое покрытие. Высокие физико-механические характеристики покрытия обеспечиваются как подобранным экспериментально фракционным составом порошка  $Al_2O_3$ , так и его кольцевым вводом в плазменную струю, который обеспечивает равномерную осесимметричную загрузку потока плазмы и, соответственно, гарантирует равномерные нагрев и ускорение частиц порошка в потоке плазмы.

В результате проведенных экспериментов режим №2, характеристики которого представлены в таблице, был принят как оптимальный.

МикродюрOMETрические исследования проводят на приборе ПМТ-3. Пористость покрытий оценивают микроскопическим методом по секущей.

Испытания износостойкости в коррозионной среде выполняют на специальном стенде ПВ-12, разработанном в НИИХИММАШ (г. Москва). Условия испытаний на данном стенде максимально соответствуют таковым для промышленных деталей, например деталей бурового оборудования. Результаты испытаний приведены в таблице.

Пример.

На стальном образце необходимо сформировать плазменное покрытие с твердостью составляющих его фаз не менее  $1200 \text{ кг/мм}^2$ , относительной износостойкостью не менее 2 и с пористостью менее 2% (см. таблицу режим №2). Для получения покрытия с указанными рабочими характеристиками используют керамический порошок оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) с соотношением фракций: 20-40 мкм в количестве 75-85% и остальное - менее 20 мкм. Ввод частиц порошка в плазменный поток осуществляют через узел кольцевого ввода. В качестве плазмообразующего газа используют воздух, расход которого составляет 1,5 г/с; мощность плазмотрона поддерживают в диапазоне 47-50 кВт. В результате на стальном образце формируется керамическое покрытие с требуемыми рабочими характеристиками.

Режимы напыления и свойства полученных покрытий представлены в таблице, в которой приведены режимные параметры 1-3 при соотношении фракций порошка оксида алюминия: 20-40 мкм в количестве 75-85% и остальное - менее 20 мкм; а в режиме 4 - для фракции порошка  $\leq 80$  мкм.

Режим, №	Ввод порошка в плазменный поток	Расход плазмoобр. газа, г/с	Мощность плазмотрона, кВт	Среднее значение микротвердости, $\text{кг/мм}^2$	Износостойкость	Пористость, %
1.	Кольцевой	1,0	44	1176	1,8	2
2.	Кольцевой	1,5	49	1243	2,3	Менее 2
3.	Кольцевой	2,0	54	1316	2,0	2
4.	Точечный	-	70-100	1100	1,5	8-15

Результаты реализации предложенных режимов напыления и свойства покрытий, полученных при кольцевом и точечном вводах порошков в плазменный поток, представленные в таблице, показывают, что микротвердость увеличилась на 6,9-19,6% в сравнении с точечным видом подачи частиц; эксплуатационные свойства (стойкость покрытий в условиях одновременного воздействия абразивного изнашивания и коррозионной среды) повышены в 1,2-1,5 раза относительно точечного ввода, пористость снижена в 4-7,5 раза. Кроме того, предлагаемое техническое решение отличается энергосбережением (мощность процесса напыления снижена на 26-56 кВт) и ресурсосбережением (в качестве плазмообразующего газа используется воздух без добавок природного газа).

В процессе проведения экспериментов при кольцевом вводе порошка был подобран оптимальный режим (режим №2) для напыления керамического порошка в виде оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) с приведенными в таблице параметрами.

Таким образом, использование предлагаемого способа позволяет получить покрытия, характеризующиеся высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами, а именно повышенными значениями микротвердости составляющих покрытие фаз и износостойкости покрытий в условиях одновременного воздействия абразивного изнашивания и коррозионной среды, высоким качеством за счет снижения пористости.

#### Формула изобретения

Способ плазменного напыления износостойких покрытий, включающий ввод дисперсного керамического порошка через кольцевую щель в воздушно-плазменную струю и последующее его напыление на предварительно обработанную поверхность изделия, отличающийся тем, что напыление ведут дисперсными частицами оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ) со следующим соотношением фракционного состава: 20-40 мкм в количестве 75-85% и менее 20 мкм - остальное, при мощности плазмотрона в пределах 44-54 кВт и расходе воздуха 1-2 г/с.