



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007114942/02, 20.04.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.04.2007

(43) Дата публикации заявки: 27.10.2008

(45) Опубликовано: 27.04.2009 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2285746 C1, 10.02.2006. RU 2281590 C2,  
20.12.2004. RU 2081202 C1, 10.06.1997. US  
5196049 A, 23.03.1993. JP 2005089802 A,  
07.04.2005. JP 2006289364 A, 26.10.2006. JP  
2006342379 A, 21.12.2006.Адрес для переписки:  
630090, г.Новосибирск, ул. Институтская, 4/1,  
ИТПМ СО РАН

(72) Автор(ы):

Алхимов Анатолий Павлович (RU),  
Фомин Василий Михайлович (RU),  
Косарев Владимир Федорович (RU),  
Артеменко Юрий Николаевич (RU),  
Паршиков Алексей Аркадьевич (RU),  
Гиммельман Вадим Георгиевич (RU),  
Кучинский Генрих Станиславович (RU),  
Мозгов Александр Павлович (RU),  
Кабанов Евгений Борисович (RU),  
Бондаренко Сергей Максимович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Институт теоретической и прикладной  
механики им. С.А. Христиановича СО РАН  
(ИТПМ СО РАН) (RU),  
Физический Институт им. Лебедева РАН,  
Астрокосмический центр (АКЦ ФИАН)  
(RU),  
Открытое акционерное общество  
"Конструкторское бюро специального  
машиностроения" (ОАО КБСМ) (RU)

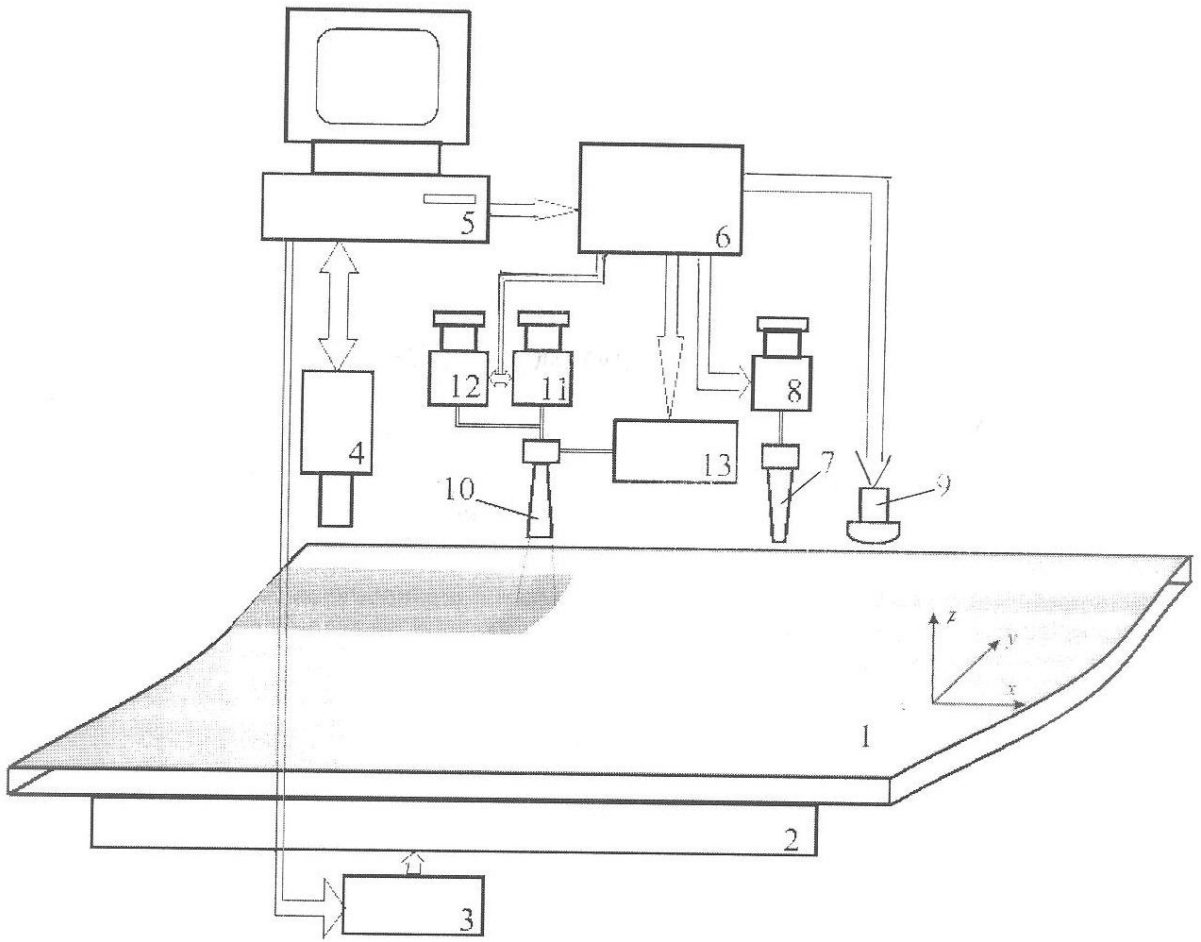
## (54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу изготовления функциональной поверхности и может быть использовано в машиностроении, например, для формирования отражающих и других металлосодержащих покрытий. Осуществляют газодинамическое напыление порошковым материалом с размером частиц 0,01-50 мкм из выбранных материалов или материалом в виде сфероидизированных частиц с размером 70-300 мкм из стальных и других твердых магнитных материалов. Используют систему обратной связи между толщиной покрытия и плотностью потока напыляемого материала и/или скоростью перемещения пятна напыления относительно поверхности детали. Напыляемому порошковому материалу задают скорость,

обеспечивающую соединение с поверхностью, а частицам обрабатываемого материала - скорость, обеспечивающую ударное прессование напыляемого материала. Проводят доводку поверхности механической обработкой с программным управлением до номинальных размеров ее профиля и шероховатости. Процесс осуществляют с одновременным отсосом, улавливанием и сепарацией частиц материалов. Температура поверхности и газопорошкового потока напыляемого материала ниже температуры рекристаллизации низкоплавкого компонента напыляемого порошкового материала. В результате получают отражающую поверхность с заданными параметрами кривизны и шероховатости. 2 з.п. ф-лы, 1 ил.

RU 2353706 C2



RU 2353706 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.  
*C23C 24/04* (2006.01)  
*C23C 28/02* (2006.01)

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2007114942/02, 20.04.2007**

(24) Effective date for property rights:  
**20.04.2007**

(43) Application published: **27.10.2008**

(45) Date of publication: **27.04.2009 Bull. 12**

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

(72) Inventor(s):

**Alkhimov Anatolij Pavlovich (RU),  
Fomin Vasilij Mikhajlovich (RU),  
Kosarev Vladimir Fedorovich (RU),  
Artemenko Jurij Nikolaevich (RU),  
Parshchikov Aleksej Arkad'evich (RU),  
Gimmel'man Vadim Georgievich (RU),  
Kuchinskij Genrikh Stanislavovich (RU),  
Mozgov Aleksandr Pavlovich (RU),  
Kabanov Evgenij Borisovich (RU),  
Bondarenko Sergej Maksimovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Institut teoreticheskoy i prikladnoj mekhaniki  
im. S.A. Khristianovicha SO RAN (ITPM SO  
RAN) (RU),  
Fizicheskij Institut im. Lebedeva RAN,  
Astrokosmicheskij tsentr (AKTs FIAN) (RU),  
Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo  
"Konstruktorskoe bjuro spetsial'nogo  
mashinostronija" (OAO KBSM) (RU)**

**(54) MANUFACTURING METHOD OF FUNCTIONAL SURFACE**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

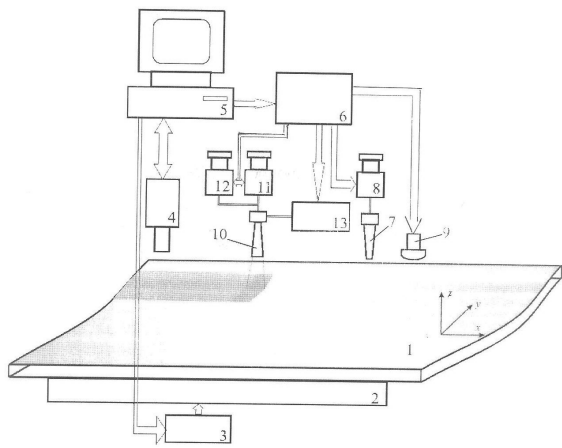
SUBSTANCE: invention relates to method of manufacturing of functional surface and can be used in mechanical engineering, for instance, for forming of reflecting and other metal-containing coatings. It is implemented gas-dynamic sputtering by powder material with rains size 0.01-50 mcm from chosen materials and material in the form of spheroidized particles with size 70-300 mcm made of steel and other solid magnetic medium It is used feedback system between coating thickness and density of evaporated material flow and/or velocity of travel sputtering spot of evaporation relative to detail surface. Evaporated powder material is tagged rate

providing connection to the surface and to particles of treated material - rate, providing impact moulding of evaporated material. It is implemented surface finish by programmable mechanical operation till nominal dimensions of its profile and roughness. Process is implemented with simultaneous pumping out, catching and separation of materials particles. Temperature of surface and gas powder flow of evaporated material is lower the temperature of recrystallisation soft component of evaporated powder material.

EFFECT: receiving of reflecting surface with defined parameters of curvature and roughness.

3 cl, 1 dwg

RU 2353706 C2



RU 2353706 C2

Изобретение относится к технологии управляемых процессов формирования функциональной поверхности и может быть использовано в машиностроении, например, для формирования отражающих и других металлосодержащих покрытий с заданными параметрами кривизны и шероховатости, в том числе и на  
5 крупноразмерных подложках.

Известен способ нанесения металлосодержащих покрытий на крупноразмерные подложки в вакууме, используемый для радиочастотного и оптического диапазона. По этому способу напыление покрытия осуществляется в вакуумной камере с  
10 использованием источника металлической плазмы. Этот способ не позволяет формировать покрытия на деталях, имеющих размеры, более чем габариты вакуумной камеры, имеет низкую производительность и сложен в автоматизации процесса [1].

Известен способ нанесения покрытий плазменным напылением. По этому способу материал покрытия в виде порошка либо проволоки вводится в  
15 высокотемпературную плазменную струю, где он интенсивно нагревается, плавится, распыляется и при взаимодействии с поверхностью обрабатываемой детали образует покрытие [2].

Основными недостатками являются температурные напряжения в покрытии и подложке, приводящие к температурным поводкам и скажению профиля, а также невозможность использовать высокодисперсные наноструктурные композиты, интенсивное взаимодействие частиц с окружающей средой, приводящее к окислению и испарению высокодисперсных порошков.

Известен способ изготовления отражающей поверхности рефлектора, заключающийся в том, что на поверхность рефлектора наносят слой металла напылением в вакууме или гальваническим путем, после чего на поверхность слоя  
20 металла наносят защитное покрытие - лак или краску с последующим формированием отражающей поверхности путем частичного удаления лучом лазера защитного  
30 покрытия и выполнения травлением на поверхности отражателя без защитного покрытия канавок с последующим удалением с отражателя оставшегося защитного покрытия [3].

Анализ известного способа показывает его недостатки: ограничение по габаритам обрабатываемых изделий, связанное с размерами применяемых вакуумных камер и емкостей для гальваники, низкую производительность, невозможность наносить  
35 многокомпонентные металлосодержащие и композиционные покрытия, наводороживание детали и связанное с этим снижение ее механических свойств, наличие неуправляемых или не поддающихся автоматизации технологических  
40 операций, например травление, гальваника, которые представляют к тому же экологическую опасность.

Наиболее близким к предлагаемому является способ нанесения функциональных покрытий с высокими адгезивными свойствами, заключающийся в том, что используется метод холодного газодинамического нанесения порошков из двух или  
45 более автономно работающих дозаторов с регулируемым по определенной зависимости, ускоренных сверхзвуковым потоком подогретого рабочего газа, например воздуха [4].

Анализ известного способа показывает его недостатки:

1. Не обеспечивается нанесение ультра- и наночастиц для получения покрытий из порошковых материалов, создание наноструктурных покрытий.

2. Не обеспечивается возможность изготовления заданной кривизны, регулируемого изменения шероховатости поверхности при напылении, а также ее

финишной доводки.

3. Не позволяет влиять на степень деформации частиц и, соответственно, упрочнение напыляемого слоя, т.е. улучшение качества поверхности.

5 4. Не задается температурный режим формирования покрытия, что может вызвать температурные напряжения в покрытии и подложке, привести к температурным поводкам и искажению профиля.

Предлагаемым изобретением решается задача создания способа, обеспечивающего управляемый процесс изготовления функциональной поверхности, например, 10 отражающей с заданными параметрами кривизны и шероховатости, в том числе и на крупноразмерных подложках, а также экологически безопасного процесса.

Указанный технический результат достигается тем, что в способе изготовления функциональной поверхности, включающем холодное газодинамическое напыление на поверхность слоя материала порошковым материалом со скоростью, 15 обеспечивающей соединение частиц порошка с поверхностью, для чего частицам порошка задают скорость, обеспечивающую ударное прессование напыляемого материала, и последующую доводку поверхности, новым является то, что в процессе напыления осуществляют формирование профиля поверхности с помощью программного управления с использованием зависимости между толщиной покрытия и плотностью потока напыляемого материала и/или скоростью перемещения пятна напыления относительно поверхности, в процессе напыления используют напыляемый 20 порошковый материал с размером частиц 0,01-50 мкм из металлов, или сплавов, или композитов, или их взаимные смеси, или механические смеси с диэлектриками и 25 полупроводниками или используют указанный напыляемый порошковый материал совместно с обрабатываемым материалом, в качестве которого используют грубодисперсные сфероидизированные частицы с размером 70-300 мкм из стальных или твердых магнитных материалов, а температуру поверхности и порошкового 30 напыляемого материала поддерживают ниже температуры рекристаллизации низкоплавкого компонента напыляемого порошкового материала, а после напыления проводят доводку напыленной поверхности механической обработкой с программным управлением до номинальных размеров ее профиля и шероховатости.

35 Процесс изготовления функциональной поверхности осуществляют с одновременным отсосом, улавливанием и сепарацией частиц материалов.

Программно-управляемую механическую обработку и доводку поверхности до номинальных размеров ее профиля и шероховатости осуществляют путем пневмоабразивной и/или фрезерной обработки.

40 Указанные признаки не выявлены в других технических решениях при изучении уровня данной области техники, и, следовательно, решение является новым и имеет изобретательский уровень.

Предлагаемый способ поясняется чертежом, на котором изображена схема управления процессом изготовления функциональной поверхности.

45 На схеме показаны обрабатываемая деталь 1, трехкоординатный стол 2 с механизмом перемещения 3 автоматизированного робототехнического комплекса (АРТК), сканирующая бесконтактная 3D-измерительная система технического зрения 4, компьютер 5, пулт управления 6, система абразивной обработки 7 с 50 дозатором 8, система фрезерной обработки 9, система напыления, состоящая из узла напыления 10, дозаторов напыляемого 11 и обрабатываемого материалов 12, нагревателя 13.

Предлагаемый способ осуществляется следующим образом.

Обрабатываемую деталь (например, элемент отражающего зеркала - facets) 1 устанавливают на трехкоординатный стол 2 с механизмом перемещения 3, где ее поверхность сканируется бесконтактной 3D-измерительной системой технического зрения 4. После математической обработки данных, полученных со сканера 4, и расчета трехмерного профиля поверхности с помощью программно-математического обеспечения (ПМО) персонального компьютера 5 формируется трехмерная модель поверхности facets 1 с получением и записью в памяти компьютера 3D-координат в каждой точке этой поверхности с непосредственной ее визуализацией в режиме реального времени в виде трехмерной картины на экране монитора компьютера. Затем после сравнения реального профиля поверхности с математической моделью заданного профиля с компьютера выдаются управляющие команды в виде 3D-координат механизму перемещения АРТК и через пульт управления 6 подаются команды системе абразивной обработки 7, системе фрезерной обработки 9 и системе напыления порошка с целью получения профиля поверхности facets 1, максимально приближенного к теоретическому.

Процесс напыления поверхности осуществляют порошковым материалом методом холодного газодинамического напыления. При этом предварительно подготовленные напыляемые порошковые материалы с размером частиц 0,01-50 мкм из требуемых для выполнения данной задачи, например сплавов или композитов, их взаимные смеси и механические смеси с диэлектриками и полупроводниками, в которых объем последних не более 25%, засыпают в дозатор 11. Подают сжатый рабочий газ в узел напыления 10 и выводят его на рабочий режим с помощью запорно-регулирующих органов (на чертеже не показано) (по давлению) и системы (на чертеже не показано), регулирующей подачу электроэнергии на омический нагреватель 13 (по температуре торможения газа). В узел напыления 10 вводят порошковый материал с расходом частиц, задаваемым дозатором 11, обеспечивая нужную плотность массового расхода частиц. Температуру формируемой поверхности и газопорошкового потока напыляемого материала поддерживают ниже температуры рекристаллизации низкоплавкого компонента напыляемого порошкового материала с помощью нагревателя 13 и полученным газопорошковым потоком формируют покрытие на обрабатываемой поверхности. Для повышения качества поверхности процесс напыления порошкового материала можно проводить совместно с обрабатывающим материалом, которые засыпают в дозаторы 11 и 12. При этом в качестве обрабатывающего материала используют сфероидизированные частицы с размером 70-300 мкм из стальных или твердых магнитных материалов.

Причем напыляемому порошковому материалу задают скорость, обеспечивающую соединение его с поверхностью, а частицам обрабатывающего материала - скорость, обеспечивающую ударное прессование напыляемого материала. Процесс изготовления отражающей поверхности осуществляют с одновременным отсосом, улавливанием, сепарацией и утилизацией частиц абразивных, напыляемых и обрабатываемых материалов с помощью стандартного оборудования. А при необходимости производится механическая программно-управляемая обработка и доводка поверхности до номинальных размеров ее профиля и шероховатости. Контрольное сканирование поверхности с получением ее 3D-картины возможно в процессе и после напыления, пневмоабразивной обработки и фрезерования.

Применение метода ХГН для изготовления функциональных поверхностей, например отражающих, поглощающих в широком диапазоне длин волн, позволяет автоматизировать процесс нанесения покрытия, обеспечивает высокое качество

покрытия и подложки без температурных напряжений и поводок в связи с тем, что процесс напыления осуществляется в низкотемпературном режиме при комнатной температуре или, если допускают требования, при температуре 150-400°C, но всегда ниже температуры рекристаллизации низкоплавкого компонента. Применение  
5 высокодисперсных, в том числе наноразмерных частиц обеспечивает создание плотноупакованных материалов покрытий. А использование дополнительно обрабатывающих материалов в виде стальных шариков обеспечивает в процессе напыления ударное прессование (холодное поверхностное деформирование),  
10 упрочнение и повышение плотности. Кроме того, крупные тяжелые частицы обрабатываемого материала в связи с большой инерционностью имеют сравнительно низкую по сравнению с напыляемыми частицами скорость соударения с поверхностью. При этом под действием упругой энергии частицы обрабатываемого материала отражаются от поверхности на расстояние около 10 диаметров своего  
15 размера, трансформируют прямую ударную волну газа перед напыляемой поверхностью в коническую и тем самым обеспечивают высокую скорость натекающего газа и частиц [5, 6] и их компактирование на поверхности детали.

Зависимость толщины формируемого покрытия от плотности потока напыляемого материала (прямая) и от скорости перемещения пятна напыления относительно  
20 поверхности детали (обратная) дает возможность создания программы, управляющей технологическими операциями формирования поверхности определенного профиля и шероховатости, используя для этого стандартное оборудование. Чем выше плотность потока, тем выше производительность напыления по массе и, соответственно, больше  
25 толщина покрытия при постоянной скорости перемещения пятна напыления. Под пятном напыления понимается площадь контакта неподвижной газопорошковой струи с неподвижной деталью. С увеличением скорости перемещения пятна напыления и сохранении постоянной плотности потока толщина покрытия будет уменьшаться.

30 Пример 1.

Пример реализации способа изготовления функциональной поверхности с заданной кривизной и шероховатостью, обладающей отражающими, коррозионно-стойкими и  
хладостойкими свойствами. Использовалась деталь - фацета из алюминиевого сплава в виде пластины с размером (150×200×5) мм. В качестве напыляемого материала  
35 использовалась механическая смесь следующих порошков: алюминия Al марки АСД-1 с дисперсностью 1-50 мкм и средним размером  $d=20$  мкм, металлополимерного нанокompозита, полученного совместной механической обработкой в шаровой мельнице порошков Al марки ПАВЧ с дисперсностью 1-40 мкм и ультрадисперсного  
40 порошка политетрафторэтилена УПТФЭ с дисперсностью менее 1 мкм.

Предварительно, используя программно-управляющую систему, записывались в память компьютера координаты реальной поверхности, регистрируемой с помощью  
автоматизированного робототехнического комплекса (АРТК) и 3D-измерительной системы. Затем задавалась требуемая кривизна (средняя поверхность) за минусом  
45 допуска на толщину напыления и подавалась команда с программно-управляющей системы на систему фрезерной обработки. После выполнения фрезерной обработки осуществляется компьютерная обработка данных и выдаются управляющие команды на системы утилизации частиц (отсос, улавливание, сепарация) и напыления:  
50 последовательно производится подача сжатого газа (воздуха) в дозатор напыляемого порошка 11, в подогреватель 13 газа и узел напыления 10, контролируется выход последнего на сверхзвуковое истечение газа, подается электропитание на систему утилизации частиц и нагреватель газа с фиксацией расчетного режима - по давлению



$P_0=1,6$  МПа и температуре торможения газа  $150^{\circ}\text{C}$  и после этого - на электропривод дозатора напыляемого порошка 11, числом оборотов которого устанавливается расход порошка (г/с) и при известных размерах пятна напыления и относительной скорости перемещения узла напыления и подложки - плотность потока напыляемого материала (порошка) в г/с·см<sup>2</sup> на подложку. Одновременно по координатам поверхности измеряется толщина покрытия в пятне напыления. По результатам обработки этих данных система программного управления вырабатывает команды на электропривод дозатора и систему АРТК для поддержания условий напыления покрытия заданной толщины (номинальной). Покрытие наносилось по всей площади подложки, толщиной не менее 50 мкм и шероховатостью  $R_z$  20. После этого отключался узел напыления и включалась система пневмоабразивной доводки и приработки. Использовался дозвуковой поток воздуха с давлением и температурой торможения соответственно (0,4-0,5) МПа и  $(15-20)^{\circ}\text{C}$ , а в качестве абразивного материала применялись порошки окиси алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) размером 1-10 мкм для достижения шероховатости 1-5 мкм и окиси кремния ( $\text{SiO}_2$ ) размером 30-40 нм для достижения шероховатости менее 30 нм. Средний угол встречи пневмоабразивной струи с обрабатываемой поверхностью составлял около  $20^{\circ}$ , т.е. был реализован процесс скользящего воздействия абразивных частиц, работающих как микро- или нанозерно при шлифовании. Кроме среза выступов металлического компонента скользящее движение абразива вызывает сдвиговое течение в материале УПТФЭ, способного растекаться в молекулярные слои, вследствие чего формируется наноразмерный поверхностный коррозионно-стойкий слой. С учетом того, что подложка и покрытие состоят из материалов, не подверженных хладоломкости до  $-253^{\circ}\text{C}$  (20 К) - алюминий и его сплавы и  $-269^{\circ}\text{C}$  для УПТФЭ, аналога фторопласта - 4, данная поверхность обладает повышенной хладостойкостью.

30 Пример 2.

Пример создания функциональной поверхности с заданной кривизной и шероховатостью, с повышенной плотностью, прочностью и отражающей способностью в инфракрасной области.

Использовалась подложка из алюминиевого сплава Д16 размером  $(40 \times 80 \times 5)$  мм. Напылялась механическая смесь порошков меди размером  $500 \div 10$  нм, УПТФЭ 0,5% по объему с дисперсностью менее 1 мкм, дисперсно-упрочняющие частицы  $\text{TiB}_2$  и/или WC менее 1% (объема) размером 0,1-0,02 мкм, с одновременной обработкой сферическими частицами из шарикоподшипниковой стали ШХ15 или ШХ15СГ, размером 70-300 мкм.

Использовалось тоже оборудование, что и в примере 1, но дополнительно для ввода грубодисперсных частиц применялся отдельный дозатор 12 (см. чертеж), а в системе утилизации включались электромагнитные улавливатели. При этом частицы напыляемых порошков и обрабатываемого материала на стадии напыления подавались в узел напыления 10 одновременно с независимо регулируемым расходом. Рабочий газ (воздух) с параметрами торможения соответственно по давлению 1,6 МПа, по температуре  $250^{\circ}\text{C}$ . При этих параметрах и сверхзвуковом потоке газа перед подложкой возникает скачок уплотнения, в котором сверхзвуковое течение переходит в дозвуковое. Соответственно и скорость безинерционных частиц (менее 1 мкм) при ударе составляет менее 300 м/с, т.к. они тормозятся после скачка уплотнения в сжатом слое, т.е. менее критической, необходимой для напыления. Ввод в узел напыления стальных частиц размером 70-300 мкм, ускоряемых в узле напыления до скорости 100-

150 м/с (по данным лазерно-доплеровского измерителя скорости), приводит к тому, что при ударе о подложку они упруго отражаются и, выходя за пределы сжатого слоя, изменяют дозвуковое течение в нем на сверхзвуковое, образуя конические отрывные зоны. В связи с этим, ультра- и наноразмерные частицы ускоряются в этот момент до

5 сверхзвуковой скорости и образуют покрытие на подложке. Время жизни отрывной зоны по данным оптических измерений не менее 1 мс. В соответствии с этим оптимальный расход крупных частиц со средним диаметром 180 мкм составлял не более 1000 шт./с, а по массе не более 0,024 г/с и не лимитировал расхода напыляемых

10 частиц. И хотя скорость крупных частиц при ударе была почти на порядок меньше, чем напыляемых, их кинетическая энергия была на несколько порядков выше, чем напыляемых (размер частиц выше на 3 порядка, а объем и соответственно масса - на девять). В результате этого локальное давление на напыляемую частицу, закрепившуюся на подложке, пропорционально отношению объема крупной частицы

15 к объему напыляемой ( $d_k^3 / d_n^3$ , где  $d_k$  - размер крупной частицы,  $d_n$  - размер напыляемой частицы) и много больше предела текучести материала напыляемых частиц. Частицы меди и УПТФЭ пластически деформируются и создают высокопластичную плотную матрицу покрытия, а частицы керамики ( $TiB_2$ , WC)

20 закреплялись в матрице покрытия и поверхности подложки, приводя их к дисперсному упрочнению. Кроме того, использование ультра- и наноразмерных частиц обеспечивает малую шероховатость, соизмеримую с размером частиц, а одновременная обработка стальными шариками снижает ее еще в большей степени,

25 т.к. в первую очередь деформируются наноразмерные выступы. Очень высокая скорость их деформации  $\sim 10^8 \text{ с}^{-1}$  вызывает динамическое упрочнение материала покрытия по сравнению с исходным, например, для меди в 3-7 раз. Пористость покрытия - закрытая, т.е. покрытие влагонепроницаемое, составляла величину, соизмеримую с погрешностью прибора - менее 0,5%, т.е. близкую к нулевой. Из

30 примера видно, что использование ультра- и наноразмерных частиц обеспечивает создание плотных покрытий с повышенной прочностью, а применение крупных инерционных частиц с магнитными свойствами обеспечивает напыление ультра- и наноразмерных частиц, их высокоскоростное деформирование со степенью

35 деформации  $\epsilon$ , близкой к  $\epsilon \sim 1$ , и упрочнением. Кроме того, упрощает процесс сепарации, улавливания, одновременно проводимых с напылением, и возможность последующего использования крупных (70-300) мкм частиц.

Следует подчеркнуть, исходя из примеров, что характерная температура частиц

40 была значительно ниже температуры рекристаллизации их материала, в том числе наиболее низкоплавкого компонента  $T_{рек} = (0,4-0,6)T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  - температура плавления материала частиц, что приводило к отсутствию термического напряжения в покрытии и подложке.

45 Таким образом, использование метода холодного газодинамического напыления с ударным прессованием обрабатываемым материалом и автоматизированного робототехнического комплекса позволяет создать способ изготовления функциональной поверхности, например, отражающей, поглощающей в широком диапазоне длин волн с заданными параметрами кривизны и шероховатости, в том

50 числе и на крупноразмерных подложках и обеспечить экологичность процесса.

Источники информации

1. Патент РФ № 2062818, кл. С23С 14/34, опубл. 1996.

2. Кудинов В.В., Иванов В.И. Нанесение плазмой тугоплавких покрытий. - М.:

Машиностроение, 1981. - С.159-165.

3. Патент РФ № 2281590, кл. H01Q 15/00, опубл. 2006.

4. Патент РФ № 2285746, кл. C23C 24/04, опубл. 2006 - прототип.

5. А.с. № 1228579, кл. F15D 1/10, B64C 23/00, опубл. 1986.

6. Яненко Н.Н., Алхимов А.П., Фомин В.М. и др. Изменение волновой структуры при обтекании тел двухфазным потоком. ДАН СССР, 1981, Т.260, № 4. с.821-825.

#### Формула изобретения

10 1. Способ изготовления функциональной поверхности, включающий холодное газодинамическое напыление на поверхность слоя материала порошковым  
материалом со скоростью, обеспечивающей соединение частиц порошка с  
поверхностью, для чего частицам порошка задают скорость, обеспечивающую  
15 ударное прессование напыляемого материала, и последующую доводку поверхности,  
отличающийся тем, что в процессе напыления осуществляют формирование профиля  
поверхности с помощью программного управления с использованием зависимости  
между толщиной покрытия и плотностью потока напыляемого материала и/или  
20 скоростью перемещения пятна напыления относительно поверхности, в процессе  
напыления используют напыляемый порошковый материал с размером частиц 0,01-50  
мкм из металлов, или сплавов, или композитов, или их взаимные смеси, или  
механические смеси с диэлектриками и полупроводниками, или используют указанный  
напыляемый порошковый материал совместно с обрабатываемым материалом, в  
качестве которого используют грубодисперсные сфероидизированные частицы с  
25 размером 70-300 мкм из стальных или твердых магнитных материалов, а температуру  
поверхности и порошкового напыляемого материала поддерживают ниже  
температуры рекристаллизации низкоплавкого компонента напыляемого  
порошкового материала, а после напыления проводят доводку напыленной  
30 поверхности механической обработкой с программным управлением до номинальных  
размеров ее профиля и шероховатости.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что процесс изготовления функциональной  
поверхности осуществляют с одновременным отсосом, улавливанием и сепарацией  
частиц материалов.

35 3. Способ по п.1, отличающийся тем, что доводку поверхности до номинальных  
размеров ее профиля и шероховатости осуществляют путем пневмоабразивной и/или  
фрезерной обработки.

40

45

50