

**ОПИСАНИЕ  
ПОЛЕЗНОЙ  
МОДЕЛИ К  
ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **6235**  
(13) **U**  
(46) **2010.06.30**  
(51) МПК (2009)  
**C 21D 1/04**

(54) **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УЗЕЛ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
ФОРМООБРАЗУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НАПЫЛЕНИЕМ**

(21) Номер заявки: u 20090889  
(22) 2009.10.28  
(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

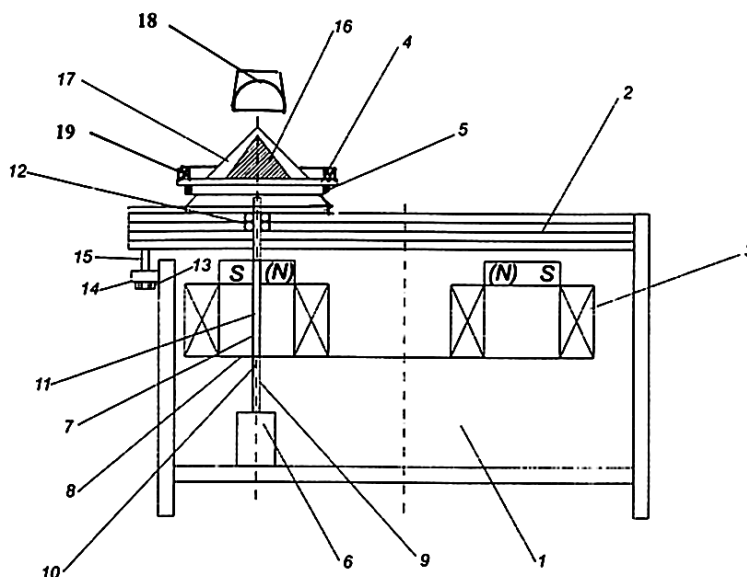
(72) Авторы: Соколов Юрий Валентинович; Хлебцевич Всеволод Алексеевич; Позняк Ирина Геннадьевна (ВУ)  
(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(57)

Технологический узел для изготовления формообразующего инструмента напылением, содержащий двухполюсную электромагнитную систему переменной полярности, технологический вращаемый стол, кинематически связанный с магнитопроводом-траверсой электромагнитной системы, и источник газовой плазмы, **отличающийся** тем, что технологический вращаемый стол снабжен средством для возбуждения импульсного магнитного поля синхронно импульсам источника потока плазмы с направлением вектора напряженности под углом к потоку плазмы, причем средство для возбуждения импульсного магнитного поля выполнено в виде соленоида, охватывающего технологический вращаемый стол.

(56)

1. А.с. СССР 1509410, МПК С 21D 1/04, 1989.
2. Патент РБ 8644, МПК С 21D 1/04, 2004.



Фиг. 1

**ВУ 6235 U 2010.06.30**

# BY 6235 U 2010.06.30

Полезная модель относится к порошковой металлургии и предназначена для изготовления формообразующего инструмента технологической оснастки типа матриц, пресс-форм, волок для обработки материалов давлением и других, получаемых технологией плазменного напыления.

Известно устройство для изготовления формообразующего инструмента с одновременным снятием в нем внутренних напряжений, содержащее электромеханический вибратор с дисбалансом ротора, на столе которого размещена инструментальная оснастка, закрепленная посредством винтовых прихватов [1].

Известное устройство отличают высокая производительность, простота конструкции и возможность стабилизации внутренних напряжений в получаемых изделиях простой пространственной формы.

Недостаток устройства проявляется в анизотропии распределения остаточных напряжений по объему изделия в процессе его изготовления, имеющего конструктивные особенности в виде сложной конфигурации.

В качестве прототипа принято устройство технологического узла для изготовления формообразующего инструмента - изделия технологической оснастки, получаемой напылением, преимущественно матриц, пресс-форм и кокилей, содержащее двухполюсную электромагнитную систему переменной полярности, включающую подвижный магнитопровод-траверсу, установленный с зазором над полюсными наконечниками электромагнитной системы с возможностью регулирования зазора, величина которого соответствует заданному интервалу резонансных частот двухполюсной электромагнитной системы, технологический модельный стол, кинематически связанный с магнитопроводом-траверсой и выполненный с возможностью вращения вокруг своей оси, и источник напыления газовой плазмы [2].

Известное устройство позволяет улучшить качество изделий при обработке формообразующих деталей с простой формой и геометрией гравюры.

Недостаток проявляется в снижении качества изделия за счет наличия анизотропии внутренних напряжений в части объема изделия сложной пространственной формы, которая снижает однородность макроструктуры и плотность напыляемой на модель оболочки изделия и, соответственно, ограничивает технологические возможности при одновременном снятии внутренних напряжений непосредственно в процессе изготовления изделий.

В основу полезной модели поставлена задача улучшения качества однородности макроструктуры материала формообразующего инструмента путем исключения анизотропии внутренних напряжений по всему объему получаемого инструмента и расширения технологических возможностей устройства путем повышения плотности напыляемой оболочки корпуса инструмента и, соответственно, повышения его конструктивной прочности с одновременным снижением внутренних напряжений в уже готовом формообразующем инструменте, так и уменьшении внутренних напряжений непосредственно в процессе изготовления инструмента и формообразования ее геометрии.

Поставленная задача достигается тем, что в технологическом узле для изготовления формообразующего инструментария напылением, содержащем двухполюсную электромагнитную систему переменной полярности, технологический вращаемый стол, кинематически связанный с магнитопроводом-траверсой электромагнитной системы, и источник газовой плазмы, согласно полезной модели, технологический вращаемый стол снабжен средством для возбуждения импульсного магнитного поля синхронно импульсам источника потока плазмы с направлением вектора напряженности под углом к потоку плазмы, причем средство для возбуждения импульсного магнитного поля выполнено в виде соленоида, охватывающего технологический вращаемый стол.

Технический результат проявляется в повышении качества получаемых изделий путем одновременного воздействия на формируемую оболочку корпуса инструмента низкочастотных колебаний и импульсного магнитного поля синхронно импульсам источника потока плазмы.

# BY 6235 U 2010.06.30

Для лучшего понимания устройство поясняется чертежом, где

фиг. 1 - общий вид устройства;

фиг. 2 - линии составляющей магнитный поток T;

фиг. 3 - линии CD и MN - линии раздела основных магнитных потоков северного и южного полюсов электромагнитной системы;

фиг. 4 - фрагмент технологического узла для изготовления формообразующего инструмента напылением.

Технологический узел для изготовления формообразующего инструмента напылением - формообразующих изделий технологической оснастки, преимущественно матриц, пресс-форм и кокилей, получаемых плазменным напылением с одновременным снятием внутренних напряжений в формообразующих изделиях, по фиг. 1 дан на примере получения пресс-формы для изготовления конуса, содержит двухполюсную электромагнитную систему 1 переменной полярности с двухполюсным подвижным магнитопроводом-траверсой 2, расположенным заданным образом относительно статора 3 двухполюсной электромагнитной системы 1 переменной полярности. Устройство снабжено вращаемым вокруг своей оси столом 4, кинематически связанным с траверсой 2.

Вращаемый стол 4 размещен на траверсе 2 посредством опор 5 качения-скольжения и связан с приводом 6 своего вращения через канал 7, выполненный в одном из полюсных наконечников 8 двухполюсной электромагнитной системы 1 переменной полярности, разрезным валом 9 отбора мощности, муфтой-демпфером 10 и валом 11 вращаемого стола 4. Вал 11 вращаемого стола 4 связан с магнитопроводом-траверсой 2 посредством подшипниковой опоры 12.

Устройство снабжено механизмом 13 изменения магнитного зазора ( $\Delta$ ) между траверсой 2 и полюсными наконечниками 8. Механизм 13 может быть выполнен, например, в виде гайки 14, смонтированной на корпусе двухполюсной электромагнитной системы 1 с возможностью свободного вращения подвижного винта 15.

На технологическом модельном вращаемом столе 4 устройства размещают мастер-модель 16 сложной пространственной формы или иной другой, на которой непосредственно формируют плазменным напылением металлического материала оболочку-деталь 17 изделия.

Технологический вращаемый модельный стол 4 снабжен средством для возбуждения импульсного магнитного поля синхронно импульсам источника потока плазмы 18 с направлением вектора напряженности под углом к потоку плазмы, причем средство для возбуждения импульсного магнитного поля выполнено в виде соленоида 19, охватывающего технологический вращаемый стол 4.

Сущность работы устройства заключается в новой технологии изготовления формообразующей оснастки типа матриц, пресс-форм и тому подобных деталей с одновременным снятием внутренних напряжений.

Модель 16 помещают на вращаемый вокруг своей оси стол 4, кинематически связанный с магнитопроводом-траверсой 2 через опоры 5 качения-скольжения, и от привода 6 задают вращение столу 4 вокруг оси. Одновременно с инициированием в источнике 18 газовой плазмы в соленоиде 19 возбуждают импульсное магнитное поле H синхронно импульсам источника 18 потока плазмы с направлением вектора напряженности под углом к потоку E газовой плазмы.

Управление направлением потока газовой плазмы от источника 2 осуществляют таким образом, чтобы направление вектора напряженности импульсного магнитного поля образовывало угол с потоком E газовой плазмы. Управление осуществляют вручную путем экспериментальной наработки или посредством специального привода, который на чертеже условно не показан.

Под воздействием потока E плазмы в соленоиде 19 протекает ток с возбуждением магнитного поля H (фиг. 3). При достижении покрытия заданной толщины соленоид 19 выключают.

## ВУ 6235 U 2010.06.30

На поверхности мастер-модели 16 плазменным напылением износостойкого, например, металлического, керамического или иного материала формируют изделие 17. При нагружении возмущающей силой модели 16 и формируемой оболочки-изделия 17 через привод 6 столу 4 с моделью 16 придают вращение относительно оси, проходящей через их центр тяжести с частотой 10...100 об/мин, выявленной экспериментально.

Посредством гайки 14 и ходового винта 15 выставляют зазор ( $\Delta$ ) между подвижным магнитопроводом-траверсой 2 и полюсными наконечниками 8. Величина зазора ( $\Delta$ ) соответствует интервалу резонансных частот двухполюсной электромагнитной системы 1 переменной полярности, используемых в качестве рабочего режима для снятия внутренних напряжений. Сигнал от звукового генератора ГЗ-47 через усилитель мощности, который на чертеже условно не показан, подают на обмотки электромагнита системы 1. Частоту выходного сигнала генератора устанавливают посредством частотомера ЧЗ-33. Возмущающую силу создают переменным магнитным потоком в воздушном зазоре ( $\Delta$ ) между подвижным магнитопроводом-траверсой 2 и полюсными наконечниками 8 при прохождении через обмотки переменного и пульсирующего тока, оказывая воздействие при формировании оболочки детали 17 напылением износостойкого материала на модель 16. Возмущающая сила представляет собой силу тяги электромагнита и равна

$$F(t, Z) = \frac{\Phi^2}{\mu_0 S}, \quad (1)$$

где  $\Phi$  - магнитный поток в воздушном зазоре;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м - магнитная постоянная;

$S$  - площадь поперечного сечения сердечника электромагнита.

Рабочая зона двухполюсной электромагнитной системы 1 делится на две части, которые на чертеже условно не показаны. Линия-зона основного магнитного потока  $T$  имеет составляющие:  $T$  - направлена вертикально вверх;  $F$  - направлена вправо, по кратчайшему направлению между полюсами (составляющая основного магнитного потока);  $P$  - составляющая потока рассеивания. Линия пересечения вертикальной плоскости, в которой расположена составляющая магнитного потока  $T$ , и горизонтальной плоскости полюсного наконечника является линией-зоной с нулевой напряженностью магнитного поля двухполюсной электромагнитной системы (фиг. 2). Линии  $CD$  и  $MN$  - линии раздела основных магнитных потоков северного и южного полюсов электромагнита (фиг. 3). При обработке оболочки-изделия 17 для снятия внутренних напряжений без их поворота вокруг вертикальной оси  $T$ , как это следует графически (фиг. 3), продольная зона (часть объема детали) находится постоянно вдоль линии с нулевой напряженностью магнитного потока. Измерение величины внутренних напряжений по объему детали показывает значительную неравномерность величины напряжений, что снижает качественные показатели формообразующих деталей, например матриц, имеющих сложную форму. Поворот оболочки-детали 17 вокруг вертикальной оси в процессе обработки циклически изменяет положение объемов обрабатываемой детали относительно линии с нулевой напряженностью магнитного поля. Такая обработка уменьшает неравномерность распределения в объеме детали внутренних остаточных напряжений, что выражается в повышении конструктивной прочности детали в целом за счет улучшения механических характеристик.

Пример осуществления работы устройства. Коническую модель диаметром 80 мм и высотой 30 мм, изготовленную из стали 45, полируют, покрывают гальваническим хромом, вновь полируют до достижения шероховатости, соответствующей 10-11 классу, и окисляют при 700 °С для получения пленки оксида хрома. Разделительный слой из оксида хрома предотвращает приваривание к модели частиц напыляемого порошка. Напыляют порошок марки 10P6M5 (ГОСТ - ТУ-14-1-3851-84) фракции 60-100 мкм. Напыление проводят на плазменной установке УПУ-3Д при следующем режиме: сила тока 300 А, напряжение дуги 100 В. Плазмообразующий газ - смесь аргона с аммиаком. При этом на

## ВУ 6235 U 2010.06.30

поверхности модели напылением износостойкого материала 10P6M5 формируют оболочку-деталь. Толщина напыленной металлической оболочки 10 мм. При нагружении возмущающей силой одновременно модели и формируемой оболочки-детали им придают вращение относительно оси, проходящей через их центр тяжести с частотой 10...100 об/мин. Низкочастотную электромагнито-вибрационную обработку производят на полюсах двухполюсного электромагнита переменной полярности с сетевым напряжением 220 В и номинальным током 10 А при напряженности магнитного поля 200-300 кА/м. Резонансная частота в интервале 42-45 Гц при номинальном зазоре ( $\Delta$ ) 300-350 мкм. Под действием знакопеременного магнитного поля на резонансной частоте, прикладываемого во время магнитной стабилизации, происходит снятие остаточных напряжений в деталях, возникающих вследствие термических условий напыления, различия теплофизических свойств материалов модели и оболочки, фазовых превращений и т.д. Через 20-40 с подвижную часть магнитопровода-траверсы выводят из резонансного режима, выключают двухполюсную электромагнитную систему. После напыления модель извлекают и с полученной оболочки-детали, внутренняя полость которой точно копирует конфигурацию и класс шероховатости поверхности модели. В связи с тем что центральную (осевую) зону детали при формообразовании располагают по линии CD нулевой напряженности, например, южного полюса, поэтому на фиг. 3 видно, что при вращении оболочки-детали ее центральная зона отключается от линии нулевой напряженности магнитного поля. Оптимальная частота вращения стола выявлена экспериментально и составляла  $\pm 10-100$  об/мин. При таком режиме получали максимальное взаимодействие материала оболочки-детали с составляющими F и P магнитных потоков. Смещение осевой зоны детали от линий CD и MN (с нулевой напряженностью) составляло 405 мм при одновременном воздействии на формируемое и готовое изделие 17.

Сущность работы устройства и изобретательский уровень объекта заключается в следующем. При взаимодействии потока E плазмы с магнитным полем H соленоида 19 с направлением вектора под углом к вектору потока E на ионы плазмы действуют силы Лоренца  $F_L$  (фиг. 4), перпендикулярно направленные вектору электрических сил  $F_{эл.}$  потока E плазмы. Под влиянием равнодействующей силы F сил  $F_{эл.}$  и  $F_L$  ионы плазмы начнут отклоняться в направлении действия силы F, что приведет к смещению потоков плазмы по касательной, направленной в сторону внутренней поверхности. Благодаря этому обеспечивается равномерная плотность-укривистость напыляемого потока газовой плазмы на поверхностях сложной пространственной геометрии.

При получении плазменно напыляемой оболочки разнотолщинность составила не более 5 %. При нанесении покрытий с использованием традиционного оборудования и технологии разнотолщинность напыляемой оболочки составляла около 10 %.

При воздействии низкочастотной электромагнито-вибрационной обработки на резонансной частоте в интервале 42-45 Гц при номинальном зазоре ( $\Delta$ ) 300-350 мкм в колеблющейся поверхности плазменно напыляемой оболочки изделия возникают механические биения, приводящие к улучшению микроструктуры и механических свойств напыляемых слоев оболочки. Это позволяет проводить изготовление изделий большой площади и сложной пространственной конфигурации при высокой степени релаксации остаточных напряжений.

Контроль качества снятия остаточных напряжений производили рентгенографическим методом по программе гармонического анализа формы рентгеновских линий. В соответствии с программой на ЭВМ Pentium IV осуществляли анализ формы дифракционных линий. Полученные данные были подвергнуты статистической обработке. Результаты оценки физико-механических свойств: ударной вязкости и кратковременной прочности на растяжение при прочих равных условиях - определяются равномерностью снятия внутренних напряжений по объему детали. Образцы для испытаний вырезали из напыленных заготовок изделий в соответствии с ГОСТом 9454-78 (ударные испытания) и ГОСТом 1497-73 (испытания на кратковременную прочность). Ударные испытания проводили на

# BY 6235 U 2010.06.30

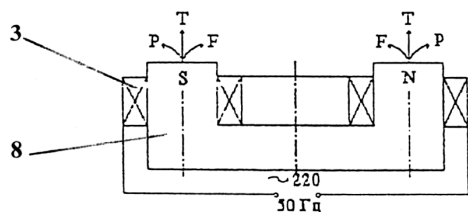
маятниковом копре МК-5, испытания на кратковременную прочность - на разрывной машине марки "Instron".

| Объект, режимы  | Разнотолщинность покрытия, % | Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup> | Кратковременная прочность на сжатие, МПа |
|---|------------------------------|--------------------------------------|--|
| Прототип, воздействие низкочастотных колебаний (Гц)   | 7-10                         | 32-34                                | 1350-1400                                |
| Полезная модель, суммарное воздействие низкочастотных колебаний и импульсного магнитного поля | 3-5                          | 35-37                                | 1430-1440                                |
|   |                              | 38-40                                | 1450-1500                                |
|   |                              | 36-39                                | 1428-1435                                |

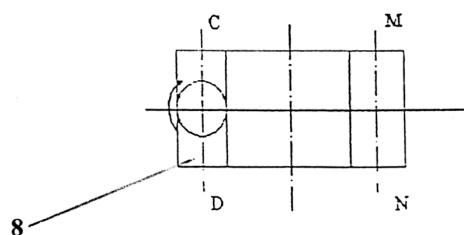
Результаты испытаний, приведенные в таблице, свидетельствуют о том, что по сравнению с прототипом снижение остаточных напряжений и уменьшение разнотолщинности с использованием новой конструкции устройства происходят более эффективно.

По сравнению с известным уровнем новое качество устройства для изготовления формообразующих изделий технологической оснастки, получаемой плазменным напылением, проявляется в улучшении качества формируемых изделий путем одновременного воздействия на формируемую оболочку изделия низкочастотных колебаний и импульсного магнитного поля синхронно импульсам источника потока плазмы.

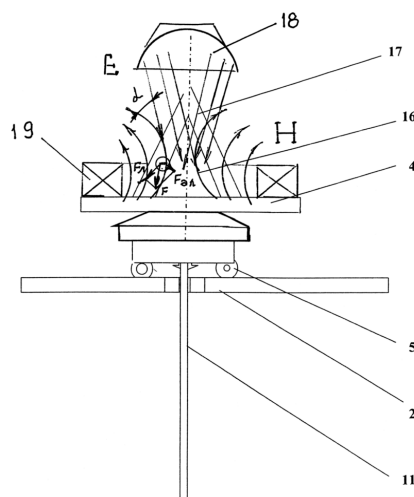
Устройство изготовлено в виде промышленного макета и используется в мелкосерийном производстве.



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4