

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



(19) ВУ (11) 3933

(13) С1

(51)<sup>7</sup> В 21D 22/20,  
В 22F 3/02

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПАТЕНТНЫЙ  
КОМИТЕТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

## (54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛОГО КОМПОЗИЦИОННОГО ИЗДЕЛИЯ

(21) Номер заявки: а 19980507

(22) 1998.05.25

(46) 2001.06.30

(71) Заявитель: Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого (ВУ)

(72) Авторы: Стрикель Н.И., Бобарикин Ю.Л., Лискович М.И. (ВУ)

(73) Патентообладатель: Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого (ВУ)

(57)

1. Способ изготовления полого композиционного изделия, включающий получение полости в металлической листовой заготовке, размещение в полости материала внутреннего слоя, вытяжку полого композиционного изделия матрицей и пуансоном с обжатием материала внутреннего слоя по толщине, отличающийся тем, что в качестве материала внутреннего слоя используют дисперсный материал, получение полости в листовой металлической заготовке осуществляют путем предварительной вытяжки с образованием боковых стенок за не менее чем один переход, при этом объем полости в заготовке  $V_0$  получают удовлетворяющим условию:

$$V_0 \geq V_d \cdot \frac{\vartheta}{\vartheta_0} + V_{\Pi} \cdot \frac{h_0}{h_k},$$

где  $V_d$  - объем дисперсного материала в композиционном изделии;

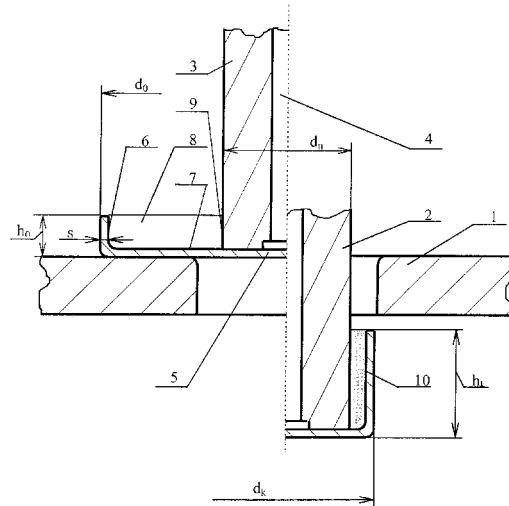
$V_{\Pi}$  - объем полости в композиционном изделии;

$\vartheta_0$  - относительная плотность дисперсного материала перед вытяжкой композиционного изделия;

$\vartheta$  - относительная плотность дисперсного материала в изделии;

$h_0$  - высота исходной заготовки;

$h_k$  - высота полого композиционного изделия,



размещение дисперсного материала в полости осуществляют так, чтобы он находился между ее боковыми стенками и боковой поверхностью пуансона, а обжатие, определяемое величиной  $\epsilon$ ,

$$\epsilon = \frac{d_0 - d_k}{d_0 - 2 \cdot s - d_{\Pi}},$$

где  $d_0$  - наружный диаметр полой металлической заготовки перед вытяжкой композиционного изделия;

$d_k$  - наружный диаметр композиционного изделия;

# ВУ 3933 С1

$d_n$  - диаметр пуансона;  
 $s$  - толщина боковой стенки полый металлической заготовки,  
устанавливают в диапазоне от 0,6 до 0,98.

2. Способ по п. 1, **отличающийся** тем, что используют дисперсный материал из не менее чем двух компонентов.

3. Способ по п. 1 или 2, **отличающийся** тем, что вытянутое композиционное изделие термически обрабатывают.

4. Способ по пп. 1-3, **отличающийся** тем, что используют металлическую листовую заготовку, выполненную из не менее чем двух слоев разных сплавов.

5. Способ по п. 4, **отличающийся** тем, что используют металлическую заготовку, выполненную из не менее чем двух слоев разных сплавов, между слоями которой располагают дисперсный материал.

6. Способ по пп. 1-5, **отличающийся** тем, что вытянутое композиционное изделие подвергают дополнительной вытяжке с утонением стенок.

(56)

Добровольский И.Г., Любимов В.И. Прогрессивные процессы обработки металлов давлением. - М.: ДИЗАЙН ПРО, 1996. - С. 80.

ДОВНАР С.А. и др. Штамповка с плакированием прессоштамповых инструментов. - М.: Наука и техника, 1987. - С. 25.

SU 1514445 A1, 1989.

JP 06320225, 1994.

JP 09177785, 1997.

EP 0439670 A1, 1991.

DE 3207649 A1, 1983.

US 5168740 A, 1992.

RU 2023523 C1, 1994.

---

Изобретение относится к обработке материалов давлением, а именно к изготовлению полых композиционных изделий, в частности для изготовления антифрикционных втулок подшипников скольжения. Изобретение может быть применено также в порошковой металлургии для изготовления высоких тонкостенных полых изделий.

Известен способ изготовления полых композиционных изделий, включающий получение полости в металлической заготовке, размещение в полости материала внутреннего слоя, получение полого композиционного изделия матрицей и пуансоном с обжатием материала внутреннего слоя, осуществляемое путем выдавливания [1].

Основным недостатком этого способа является сложность получения тонкостенных полых композиционных изделий вследствие больших неравномерных деформаций и напряжений, приводящих к разрушению инструмента и деформируемого изделия, также недостатками являются невысокие эксплуатационные характеристики изделий, вызванные неравномерностью деформации внутреннего слоя, перемещающегося между движущимися в противоположных направлениях наружным слоем и поверхностью деформирующего пуансона и недостаточная прочность соединения слоев из разнородных материалов.

Известен способ получения тонкостенного полого композиционного изделия вытяжкой двух плоских листовых металлических заготовок матрицей и пуансоном с обжатием материала заготовок по толщине [2, стр. 38-39].

Недостатками этого способа являются недостаточная прочность соединения слоев изделия, неравномерная деформация слоев из разнородных металлов, ограниченная высота композиционной вытяжки, невозможность использовать в качестве материала внутреннего слоя дисперсный материал и ограниченные в связи с этим эксплуатационные возможности изделий.

Наиболее близким к заявленному по технической сущности является способ изготовления полого композиционного изделия, включающий получение полости в металлической листовой заготовке, размещение в полости материала внутреннего слоя и вытяжку полого композиционного изделия матрицей и пуансоном с обжатием материала внутреннего слоя по толщине [2, стр. 47-49].

Недостатками известного способа являются, во-первых, ограниченные технологические возможности из-за невозможности получить полое композиционное изделие с относительной высотой по отношению к диаметру большей 0,6...0,8, при которой в процессе вытяжки происходит разрушение металлической заготовки в месте концентрации напряжений, и, во-вторых, невозможность использования в качестве материала внутреннего слоя дисперсный материал и ограниченные в связи с этим эксплуатационные возможности изделий.

Задачей настоящего изобретения является расширение технологических возможностей получением изделий высотой равной или превышающей их диаметр, достижение заданных эксплуатационных характеристик,

# ВУ 3933 С1

получаемых путем размещения и использования в качестве материала для образования внутреннего слоя дисперсного материала и регулированием величины относительной плотности этого дисперсного материала в изделии.

Поставленная задача достигается тем, что в известном способе изготовления полого композиционного изделия, включающем получение полости в металлической листовой заготовке, размещение в полости материала внутреннего слоя, вытяжку полого композиционного изделия матрицей и пуансоном с обжатием материала внутреннего слоя по толщине, согласно изобретению, в качестве материала внутреннего слоя используется дисперсный материал, получение полости в листовой металлической заготовке осуществляют путем предварительной вытяжки с образованием боковых стенок за не менее чем один переход, при этом объем полости в заготовке  $V_0$  получают удовлетворяющим условию:

$$V_0 \geq V_d \cdot \frac{\vartheta}{\vartheta_0} + V_{\Pi} \cdot \frac{h_0}{h_k},$$

где  $V_d$  - объем дисперсного материала в композиционном изделии;

$V_{\Pi}$  - объем полости в композиционном изделии;

$\vartheta_0$  - относительная плотность дисперсного материала перед вытяжкой композиционного изделия;

$\vartheta$  - относительная плотность дисперсного материала в изделии;

$h_0$  - высота исходной заготовки;

$h_k$  - высота полого композиционного изделия,

размещение дисперсного материала в полости осуществляют так, чтобы он находился между ее боковыми стенками и боковой поверхностью пуансона, а обжатие, определяемое величиной  $\varepsilon$ ,

$$\varepsilon = \frac{d_0 - d_k}{d_0 - 2 \cdot s - d_{\Pi}},$$

где  $d_0$  - наружный диаметр полой металлической заготовки перед вытяжкой композиционного изделия;

$d_k$  - наружный диаметр композиционного изделия;

$d_{\Pi}$  - диаметр пуансона;

$s$  - толщина боковой стенки полой металлической заготовки,

устанавливают в диапазоне от 0,6 до 0,98.

При этом не исключены использование дисперсного материала из не менее чем двух компонентов, а также термическая обработка вытянутого композиционного изделия, использование металлической листовой заготовки, выполненной из не менее чем двух слоев разных сплавов, и использование металлической листовой заготовки, выполненной из не менее чем двух слоев разных сплавов, между слоями которой располагают дисперсный материал. Возможно также проведение дополнительной вытяжки с утонением стенок вытянутого композиционного изделия.

Благодаря тому, что в заявляемом способе получение полости в листовой металлической заготовке осуществляется путем предварительной вытяжки за не менее чем один переход, снижается требуемая степень деформации при получении изделия и достигается расширение технологических возможностей изготовления полых композиционных изделий высотой, равной или превышающей их диаметр.

Благодаря тому, что в заявляемом способе в качестве материала внутреннего слоя используется дисперсный материал достигаются эксплуатационные характеристики, которые невозможно достичь при применении компактного материала.

Благодаря тому, что в заявляемом способе объем полости в металлической заготовке  $V_0$  получают удовлетворяющим условию:

$$V_0 \geq V_d \cdot \frac{\vartheta}{\vartheta_0} + V_{\Pi} \cdot \frac{h_0}{h_k},$$

где  $V_d$  - объем дисперсного материала в композиционном изделии;

$V_{\Pi}$  - объем полости в композиционном изделии;

$\vartheta_0$  - относительная плотность дисперсного материала перед вытяжкой композиционного изделия;

$\vartheta$  - относительная плотность дисперсного материала в изделии;

$h_0$  - высота исходной заготовки;

$h_k$  - высота полого композиционного изделия,

и обжатие  $\varepsilon$  дисперсного материала по толщине:

$$\varepsilon = \frac{d_0 - d_k}{d_0 - 2 \cdot s - d_{\Pi}},$$

где  $d_0$  - наружный диаметр полой металлической заготовки перед вытяжкой композиционного изделия;

$d_k$  - наружный диаметр композиционного изделия;

$d_{\Pi}$  - диаметр пуансона;

$s$  - толщина боковой стенки полой металлической заготовки,

# ВУ 3933 С1

устанавливают в диапазоне от 0,6 до 0,98, достигается расширение технологических возможностей за счет обеспечения возможности регулирования величины относительной плотности дисперсного материала в изделии, а, соответственно, и эксплуатационных характеристик изделий подбором объема полости в металлической заготовке и величины обжатия дисперсного материала в достаточно широких диапазонах.

Благодаря тому, что в заявляемом способе используют дисперсный материал из не менее чем двух компонентов, увеличиваются возможности расширения диапазона достигаемых эксплуатационных характеристик.

Благодаря тому, что в заявляемом способе вытянутое композиционное изделие термически обрабатывают, используют металлическую листовую заготовку, выполненную из не менее чем двух слоев разных сплавов, что используют металлическую заготовку, выполненную из не менее чем двух слоев разных сплавов, между слоями которой располагают дисперсный материал, что вытянутое композиционное изделие подвергают дополнительной вытяжке с утонением стенок также достигается расширение диапазона достигаемых эксплуатационных характеристик.

На чертеже представлена схема процесса изготовления полого композиционного изделия (слева - установка металлической заготовки после ее предварительной вытяжки с образованием боковых стенок и размещенным в полости дисперсным материалом; справа - полое композиционное изделие после вытяжки).

Устройство для реализации заявляемого способа содержит матрицу 1 с рабочим отверстием 2, пуансон 3 и съемник 4. Способ реализуется следующим образом. Металлическую заготовку 5 после ее предварительной вытяжки с образованием боковых стенок 6 и размещенным в полости 7 дисперсным материалом 8 между боковыми стенками 6 и боковой поверхностью 9 пуансона 3 перед началом вытяжки композиционного изделия 10 размещают на матрице 1. Перемещением пуансона 3 проводят окончательную вытяжку металлической заготовки 5 до образования готового полого композиционного изделия 10, которое отделяет от пуансона 3 его перемещением с помощью съемника 4.

Осуществление заявляемого способа характеризуется следующими примерами.

## Пример 1.

Осуществляли изготовление полого композиционного теплоохлаждающего экрана наружного диаметра 17,1 мм, внутреннего диаметра 15 мм, высотой 22 мм из меди М1 и олова порошкового ПО-2.

В листовой заготовке из меди М1 толщиной 1 мм, диаметром 40 мм путем предварительной вытяжки за два перехода, на первом из которых использовали матрицу с рабочим отверстием диаметром 26 мм и пуансон диаметром 23,8 мм, а на втором - матрицу с рабочим отверстием диаметром 22 мм и пуансон диаметром 19,5 мм, получали полость объемом  $V_0 = 4700 \text{ мм}^3$ , удовлетворяющим условию:

$$V_0 \geq V_d \cdot \frac{\vartheta}{\vartheta_0} + V_n \cdot \frac{h_0}{h_k} = 2870 \text{ мм}^3,$$

где  $V_d = 50 \text{ мм}^3$  - объем дисперсного материала в композиционном изделии;

$V_n = 3700 \text{ мм}^3$  - объем полости в композиционном изделии;

$\vartheta_0 = 0,3$  - относительная плотность дисперсного материала перед вытяжкой композиционного изделия;

$\vartheta = 0,98$  - относительная плотность дисперсного материала в изделии;

$h_0 = 17 \text{ мм}$  - высота исходной полой заготовки перед вытяжкой композиционного изделия;

$h_k = 22 \text{ мм}$  - высота изделия.

Полученную полую металлическую заготовку подвергали отжигу при температуре 630 °С в течение 30 минут с охлаждением на воздухе, последующими травлению в азотной кислоте, промывке в проточной холодной воде, нейтрализации в слабом щелочном растворе при температуре 80 °С, промывке в горячей воде, сушке при температуре 80 °С в течение 30 минут.

Высушенную заготовку устанавливают на матрицу 1 (см. чертеж). При этом размещение дисперсного материала в виде порошкового олова ПО-2 осуществляли так, чтобы он находился между боковыми стенками 6 заготовки 5 и боковой поверхностью 9 пуансона 3. Далее осуществляли вытяжку полого композиционного изделия 10 матрицей 1 и пуансоном 3 с уплотнением порошкового олова обжатием по толщине с величиной обжатия  $\varepsilon = 0,98$ , определяемом по формуле:

$$\varepsilon = \frac{d_0 - d_k}{d_0 - 2 \cdot s - d_n},$$

где  $d_0 = 22 \text{ мм}$  - наружный диаметр полой металлической заготовки перед вытяжкой композиционного изделия;

$d_k = 17,1 \text{ мм}$  - наружный диаметр композиционного изделия;

$d_n = 15 \text{ мм}$  - диаметр пуансона;

$s = 1,0$  - толщина боковой стенки полой медной заготовки.

После выхода композиционного изделия 10 из матрицы 1 с помощью съемника 4 проводили снятие изделия 10 с пуансона 3. Так как получить композиционную втулку подшипника скольжения с такими же размерами известным способом не удалось, сравнение полученных данных не проводили.

# ВУ 3933 С1

## Пример 2.

Получали композиционную втулку подшипника скольжения с размерами, приведенными в примере 1, из меди М1 и использованием дисперсного материала в виде композиции двух компонентов: олово порошковое ПО-2 - 70 %, свинец порошковый ПС - 30 %.

Композиционную втулку подшипника скольжения получали, выполнив все операции, приемы, действия, описанные в примере 1. При этом использовался только другой состав дисперсного материала.

Коэффициент трения стального вала по композиционной втулке подшипника скольжения в масляной ванне (масло индустриальное И-30А) при давлении вала на подшипник 0,1 МПа и окружной скорости на шейке вала 1 м/с получили величиной 0,03.

Так как получить композиционную втулку подшипника скольжения с такими же размерами известным способом не удалось, сравнение полученных данных не проводили.

## Пример 3.

Получали полую композиционную втулку подшипника скольжения наружного диаметра 8 мм, внутреннего диаметра 5 мм, высотой 7 мм с относительной к внутреннему диаметру высотой 1,4 из стали 08кпВГ и дисперсного материала в виде композиции следующих компонентов: железо порошковое ПЖ2М - 20 %, медь порошковая ПМС-1 - 70 %, графит порошковый ГАК - 10 % с толщиной дисперсного слоя, равной толщине металлической заготовки.

В листовой заготовке из стали 08кпВГ толщиной 1 мм, диаметром 19 мм путем предварительной вытяжки за один переход получали полость внутреннего диаметра 8 мм объемом:

$$V_0 = 387 \text{ мм}^3 \approx V_0 \geq V_d \cdot \frac{\vartheta}{\vartheta_0} + V_n \cdot \frac{h_0}{h_k} = 384 \text{ мм}^3,$$

где  $V_d = 133 \text{ мм}^3$  - объем дисперсного материала в композиционном изделии;

$V_n = 151 \text{ мм}^3$  - объем полости в композиционном изделии;

$\vartheta_0 = 0,3$  - относительная плотность дисперсного материала перед вытяжкой композиционного изделия;

$\vartheta = 0,62$  - относительная плотность дисперсного материала в изделии;

$h_0 = 8,7 \text{ мм}$  - высота исходной полый заготовки;

$h_k = 22 \text{ мм}$  - высота полого композиционного изделия.

Полую заготовку устанавливали на матрицу с рабочим диаметром 8 мм, размещали дисперсный материал между боковыми стенками заготовки и боковой поверхностью пуансона, осуществляли вытяжку композиционной втулки подшипника, матрицей и пуансоном с уплотнением дисперсного материала по толщине с обжатием  $\epsilon$ , равным 0,6.

После съема втулки подшипника с пуансона проводили спекание дисперсного материала при температуре 970 °С в течение 30 минут в вакуумной электрической печи, после чего удаляли на токарном станке донную часть и получали подшипник со стальной оболочкой и пористым антифрикционным слоем. Толщина слоя, равная толщине металлической заготовки, а также повышенная пористость (38 %) способствовали удержанию смазочного масла. Маслорепитываемость пористого слоя получали величиной 2 %, коэффициент трения по стали со смазкой 0,07 при давлении на подшипник 4 МПа и окружной скорости 1 м/с. Так как получить композиционную втулку подшипника скольжения с такими же размерами известным способом не удалось, сравнение полученных данных не проводили.

## Пример 4.

Получали втулку подшипника скольжения наружного диаметра 15 мм, внутреннего диаметра 12 мм, высотой 24 мм с наружным слоем из стали 08кпВГ толщиной 1 мм, промежуточным пористым слоем толщиной 0,4 мм в виде композиции следующих компонентов: железо порошковое ПЖ2М - 20 %, медь порошковая ПМС-1 - 70 %, графит порошковый омедненный ГАК - 10 % с порами, заполненными фторопластом, и слоя фторопласта-4 толщиной 0,1 мм.

Используя листовую заготовку из стали 08кпВГ толщиной 1 мм, диаметром 40 мм, путем предварительной вытяжки за два перехода (как в примере 1) получали полую металлическую заготовку, устанавливали на матрицу, размещали дисперсный материал в виде композиции порошков железа, меди и графита между боковыми стенками заготовки и боковой поверхностью пуансона, осуществляли вытяжку с уплотнением дисперсного материала обжатием по толщине с величиной обжатия  $\epsilon = 0,68$ , применяя в отличие от примера 1 пуансон диаметром  $d_n = 13 \text{ мм}$ .

После спекания при температуре 970 °С в течение 30 минут в вакуумной электрической печи полученное полое композиционное изделие использовали для получения многослойного изделия, для чего ее устанавливали на матрицу с отверстием диаметром 15 мм, размещали дисперсный материал в виде порошка фторопласта-4 между боковыми стенками заготовки и боковой поверхностью пуансона диаметром 12 мм и вытягивали трехслойное изделие. После плавления фторопласта-4 при 300 °С в течение 30 минут удаляли донную часть на токарном станке. Коэффициент трения композиционной втулки по стали в сухую получили 0,09 при давлении на подшипник 1 МПа и окружной скорости на шейке вала 1 м/с. Так как получить аналогичную композиционную втулку подшипника известным способом нельзя, сравнение полученных данных не проводилось.

# ВУ 3933 С1

## Пример 5.

Получали многослойную композиционную втулку подшипника скольжения наружного диаметра 22 мм, внутреннего диаметра 17 мм, высотой 15 мм.

В листовой заготовке из стали 08кпВГ толщиной 1 мм, диаметром 40 мм путем предварительной вытяжки за один переход получали полость внутреннего диаметра 26 мм, глубиной 8 мм. Полученную полую стальную заготовку устанавливали на матрицу с рабочим отверстием диаметром 26 мм. На стальную заготовку устанавливали полую алюминиевую заготовку наружного диаметра 23,3 мм с полостью диаметром 21,3 мм, полученную путем предварительной вытяжки листовой заготовки из алюминия АД1М диаметром 38 мм, толщиной 1 мм. Между боковыми стенками стальной и алюминиевой заготовок размещали дисперсный материал в виде композиции следующих компонентов: цинк порошковый ПЦ - 95 %, медь порошковая ПМС-1 - 5 %, осуществляли вытяжку трехслойного полого полуфабриката пуансоном диаметром 21,2 мм с величиной  $\epsilon = 0,74$  степени обжатия дисперсного материала между боковыми стенками стальной и алюминиевой заготовки. Полученный полуфабрикат устанавливали на матрицу с рабочим диаметром 22 мм, между боковыми стенками алюминиевого слоя полуфабриката и боковой поверхностью пуансона диаметром 17 мм размещали дисперсный материал в виде композиции следующих компонентов: порошковый алюминий ПАВ-4 - 87 %, медь порошковая ПМС-1 - 10 %, графит порошковый омедненный ГАК - 3 %, осуществляли вытяжку многослойной композиционной втулки подшипника скольжения с величиной  $\epsilon = 0,8$  степени обжатия дисперсного материала между боковыми стенками алюминиевой заготовки и боковой поверхностью пуансона. После вытяжки осуществляли спекание при температуре 615 °С в течение 30 минут в вакуумной электропечи и удаляли донную часть на токарном станке. Коэффициент трения стального вала по многослойной композиционной втулке подшипника скольжения со смазкой маслом индустриальным И-30А при давлении на подшипник 0,5 МПа и окружной скорости 5 м/с получали величиной 0,08. Вибродемпфирование подшипника при частотах 100...200 Гц получали величиной 6 дБ, а при частотах 1000...2000 Гц - 8 дБ по уровню виброскорости. Так как получить аналогичную многослойную композиционную втулку подшипника скольжения известным способом не удалось, сравнение полученных данных не проводилось.

## Пример 6.

Изготавливали скользящий токосъемный контакт в виде полой композиционной втулки внутреннего диаметра 5 мм, длиной 15 мм.

В листовой заготовке из меди М1 толщиной 1,2 мм, диаметром 19 мм путем предварительной вытяжки за один переход получали полость внутреннего диаметра 8,6 мм. Полую заготовку устанавливали на матрицу с рабочим диаметром 8 мм, размещали дисперсный материал в виде композиции следующих компонентов: медь порошковая ПМС-1 - 70 %, железо порошковое ПЖ2М - 20 %, свинец порошковый ПС - 7 %, графит порошковый омедненный ГАК - 3 % между боковыми стенками заготовки и боковой поверхностью пуансона. Далее осуществляли вытяжку полого композиционного изделия матрицей и пуансоном с уплотнением дисперсного материала по толщине с обжатием  $\epsilon = 0,83$ , после чего снимали композиционный полый полуфабрикат с пуансона, осуществляли его спекание при температуре 970 °С в течение 30 минут в вакуумной электрической печи. За спеканием полый композиционный полуфабрикат подвергали дополнительной вытяжке с утонением стенок с помощью матрицы с рабочим отверстием диаметром 7 мм и пуансона диаметром 5 мм и в конце концов удаляли донную часть на токарном станке.

Коэффициент трения скользящего токосъемного контакта по медному проводу без смазки при давлении 0,05 МПа и скорости скольжения 0,1 м/с получали величиной 0,12, электрическое сопротивление контакта 0,005 Ом.

Так как изготовить подобный скользящий токосъемный контакт известным способом не удалось, сравнение полученных данных не проводилось.

Таким образом, заявляемый способ по сравнению с известным обладает тем преимуществом, что обеспечивает более широкие технологические возможности при получении полых композиционных изделий со сложным комплексом физико-механических свойств для различных областей техники высотой, равной или превышающей их диаметр, регулирование величины относительной плотности дисперсного материала и расширение диапазона получаемых эксплуатационных характеристик.

## Источники информации:

1. Довнар С.А., Грауманис Я.В., Сидор Е.И. Штамповка с плакированием прессоштамповых инструментов. - Мн: Наука и техника, 1987. - С.25.
2. Добровольский И.Г., Любимов В.И. Прогрессивные процессы обработки материалов давлением. - Мн: ДизайнПРО, 1996. - С.80.