



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **118616** (13) **C2**
(51) МПК (2018.01)
B29C 64/153 (2017.01)
B33Y 10/00
B22F 3/105 (2006.01)
B23K 26/342 (2014.01)

МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2017 04726</p> <p>(22) Дата подання заявки: 16.05.2017</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 11.02.2019</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 26.11.2018, Бюл.№ 22</p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 11.02.2019, Бюл.№ 3</p>	<p>(72) Винахідник(и): Коржик Володимир Миколайович (UA), Люттик Микола Павлович (UA), Хаскін Владислав Юрійович (UA), Шевченко Віталій Юхимович (UA)</p> <p>(73) Власник(и): Коржик Володимир Миколайович, вул. Антоновича, 94/96, кв. 65, м. Київ, 031509 (UA), Люттик Микола Павлович, просп. Відрадний, 18-б, кв. 15, м. Київ, 03061 (UA), Хаскін Владислав Юрійович, вул. Машинобудівна, 13, кв. 63, м. Київ, 03058 (UA), Шевченко Віталій Юхимович, вул. Драгоманова, 6/1, кв. 456, м. Київ, 02068 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: EP 2258670 A2, 08.12.2010 Пелещенко С. И. Анализ современного состояния аддитивных сварочных технологий изготовления объемных металлических изделий / С. И. Пелещенко, Коржик В. Н., Войтенко А. Н. и др. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774. – 3/1. – 2017 Li He-Ping. Three Dimensional Modeling of the Plasma Spray Process / He-Ping Li, E. Pfender // Journal of Thermal Spray Technology. – Vol. 16. – June 2007. – P. 245 – 260 RU 2450891 C1, 20.05.2012 CN 204584274 U, 26.08.2015 KR 20150053884 A, 19.05.2015 KR 20150044418 A, 24.04.2015 RU 2014141566, 27.06.2016</p>
---	---

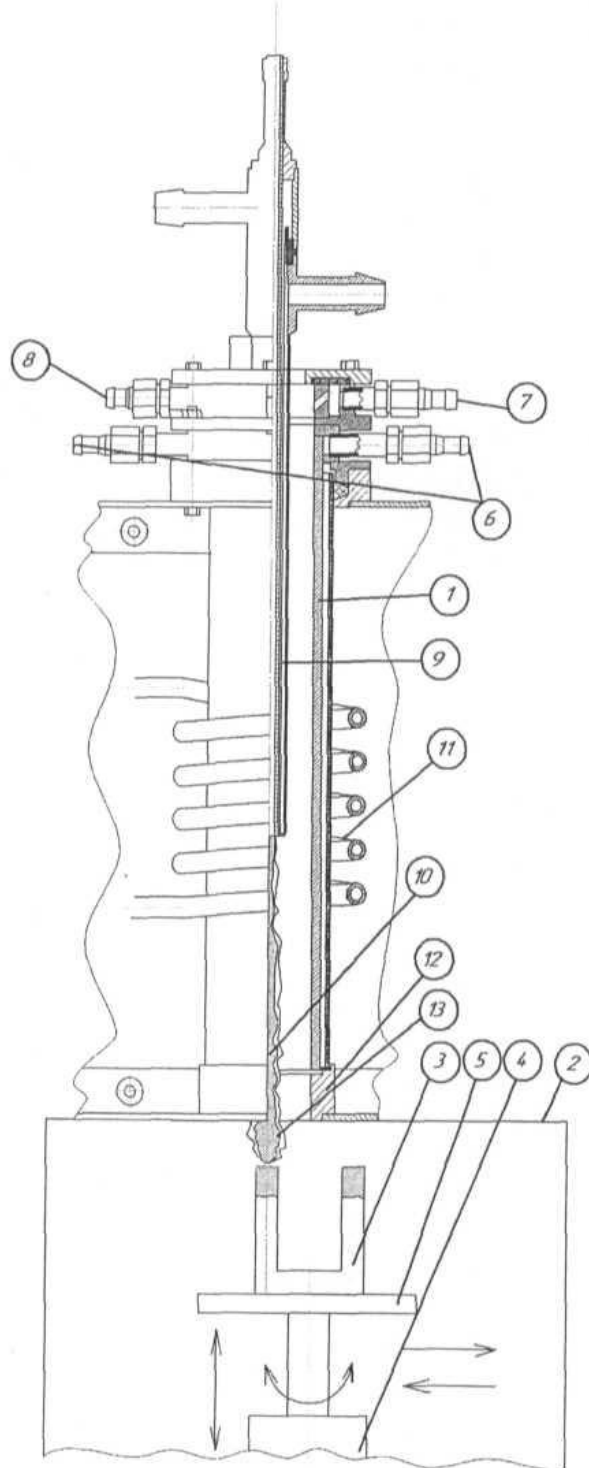
(54) СПОСІБ ВИРОЩУВАННЯ (3D-ДРУКУ) ОБ'ЄМНИХ (ТРИВИМІРНИХ) ВИРОБІВ ІЗ ТУГОПЛАВКИХ МАТЕРІАЛІВ

(57) Реферат:

Винахід належить до галузі порошкова металургія. Спосіб вирощування (3D-друку) об'ємних (тривимірних) виробів із тугоплавких матеріалів включає формування високочастотної плазми, доставку твердих частинок порошку в плазму, плавлення цих частинок, осадження

UA 118616 C2

розплавлених частинок на підкладку, утворення розплавленого шару на поверхні підкладки, яка може переміщуватися в трьох незалежних напрямках, а також обертання навколо її вертикальної осі, при цьому тверді частинки матеріалу подають в зону індуктора високочастотного плазмотрона за допомогою водоохолоджуваного зонда із діаметром внутрішнього каналу $d_{in} = 4-6$ мм по осі плазмотрона в напрямі від верхніх до нижніх витків індуктора на відстань від верхньої точки першого витка індуктора l_{supply} , яка визначається за формулою: $l_{supply} = (l_{total}:2) + 10\% \cdot l_{total}$, де l_{total} - загальна довжина індуктора (відстань між верхньою точкою першого витка та нижньою точкою останнього витка індуктора по його осі). Винахід підвищує продуктивність виготовлення об'ємних деталей, очищує їх від шкідливих домішок та знижує схильність до тріщиноутворення.



Винахід належить до адитивних виробництв, а саме процесів виготовлення тривимірних деталей з порошків тугоплавких матеріалів (оксидів та безкисневої кераміки, таких металів, як вольфрам, ніобій, тантал, молібден, тощо, та сплавів на їх основі) та із застосуванням технології пошарового нарощування (наплавлення) об'єму виробу. При цьому винахід може

бути застосований в виробництвах виготовлення тривимірних деталей із різноманітних металів, сплавів, а також в процесах порошкової металургії, технологіях отримання монокристалів та високочистих матеріалів. Винахід може знайти застосування в різних галузях промисловості, зокрема машино- і авіабудування.

Відомим є спосіб спікання при лазерному пошаровому порошковому синтезі об'ємних деталей [Патент РФ RU № 2423203: Способ спекания при лазерном послойном порошковом синтезе объемных деталей. Авторы: Сироткин О.С., Рыцев С.Б., Тимофеев А.И., Филиппов Е.И.; МПК В22F 3/105, В23К 26/00; 10.07.2011]. Цей спосіб містить дозовану пошарову подачу порошку на робочій стіл із забезпеченням формування шару заданої товщини. Вирівнювання шару порошку здійснюють за допомогою регульованого по висоті ножа, після чого проводять ущільнення валиком в режимі вільного качання. Надлишкову кількість порошку усувають і спікають променем лазера. Спосіб дозволяє підвищити якість спікання деталі за рахунок вирівнювання кожного шару порошку із досягненням його оптимальної щільності, яка забезпечує поверхневу активність мікрочасток при спіканні.

Недоліками такого способу є низька продуктивність процесу синтезу об'ємної деталі, відсутність можливості попереднього підігріву порошку для зменшення схильності до утворення тріщин при спіканні, а також обмеженість способу формою і складом порошку.

Для усунення вказаних недоліків можливо застосувати технології обробки порошку за допомогою високочастотної індукційної (ВЧІ) плазми [Дресвин С.В., Зверев С.Г. Плазмотроны. Конструкции, параметры, технологии. - СПб.: Политехнический университет, 2007. - 208 с]. Для цього доцільно використовувати металеві ВЧІ-плазмотрони із частотою струму в індукторі 1,76 або 5,28 МГц. Порошок вводиться у плазму, генеровану таким плазмотроном, за допомогою дозатора-живильника, де підігривається до температури вищої за температуру плавлення, сферодизується та очищується від шкідливих домішок. Надалі з цього підігрітого порошку може пошарово спікатися або сплавлятися об'ємна деталь.

Недоліками зазначеного процесу є відсутність можливості нанесення розігрітого порошку на підкладку і взаємного переміщення ВЧІ-плазмотрону і підкладки для пошарового спікання об'ємної деталі.

Найбільш близьким за технічною суттю (найближчий аналог) до описуваного винаходу є спосіб виробництва щільних блоків [European patent №EP1910246B1: Method for producing dense blocks. Автор: Mogilevsky R.; МПК С04В 35/111, С04В 35/443, С04В 35/486, С04В 35/14, С04В 35/44; 16.04.2008]. Згідно цьому способу запропоновано спосіб виготовлення блоків зі щільного оксиду алюмінію (Al_2O_3), який містить етапи формування плазми, доставку частинок оксиду алюмінію в плазму, плавлення частинок оксиду алюмінію, осадження розплавлених частинок на підкладку, утворення шару розплавленого оксиду алюмінію на поверхні підкладки, яка може переміщуватися в трьох незалежних напрямках (обернено-поступний горизонтальний рух, обертальний рух і вертикальний опускання вниз), для виготовлення щільних блоків з оксиду алюмінію. Спосіб може бути використаним для одержання блоків з інших щільних матеріалів високої чистоти, таких як алюмомагнієва шпінель і оксид цирконію.

Недоліками такого способу є відсутність можливості формування об'ємних деталей (виробів) довільної форми.

В основу винаходу поставлена задача створення способу вирощування (3D-друку) об'ємних виробів із тугоплавких матеріалів за допомогою ВЧІ-розряду. Такий спосіб дозволить підвищити продуктивність виготовлення об'ємних деталей довільної форми пошаровим спіканням, очищувати матеріал деталей від шкідливих домішок в процесі їх виготовлення, а також знизити їх схильність до тріщиноутворення.

Поставлена задача створення способу вирощування (3D-друку) об'ємних виробів із тугоплавких матеріалів вирішується за рахунок формування високочастотної плазми, доставку частинок порошку в плазму, плавлення цих частинок, осадження розплавлених частинок на підкладку, утворення розплавленого шару на поверхні підкладки, яка може переміщуватися в трьох незалежних напрямках, а також обертання навколо її вертикальної осі. Тверді частинки матеріалу подають в зону індуктора високочастотного плазмотрону за допомогою водоохолоджуваного зонда із діаметром внутрішнього каналу $d_{in}=4-6$ мм по осі плазмотрона в напрямку від верхніх до нижніх витків індуктора на відстань від верхньої точки першого витка індуктора I_{supply} , яка визначається за формулою:

$$I_{supply} = (I_{total}:2) + 10 \% \cdot I_{total},$$

де l_{total} - загальна довжина індуктора (відстань між верхньою точкою першого витка та нижньою точкою останнього витка індуктора по його осі).

Співвідношення коливальної потужності в індукторі до зовнішнього діаметра трубчастого водоохолоджуваного зонда для подачі твердих частинок визначається за формулою:

$$N_{inductor} \cdot d_{probe} = 5 \cdot 12,$$

де $N_{inductor}$ - значення коливальної потужності в індукторі в кВт;

d_{probe} - діаметр зонда в мм.

Співвідношення відстані l_{dist} між зрізом сопла індукційного плазмотрона і підкладкою маніпулятора до внутрішнього діаметра d_{pl} плазмотрона $l_{dist} \cdot d_{pl} = 1 \cdot 1,8$.

Плазмоутворюючий газ подають в плазмотрон двома незалежними потоками, при цьому один потік подається вздовж стінок плазмотрона із витратою 70 % від загального обсягу (витрат) плазмоутворюючого газу, а другий потік подається вздовж поверхні трубчастого зонда із витратами 30 % від загального обсягу (витрат) плазмоутворюючого газу.

Двом незалежним потокам плазмоутворюючого газу надають вихровий рух із можливістю регулювання кутів витікання потоків до осі плазмотрону та їх витрати.

Згідно з винаходом, спосіб включає операцію обробки порошків матеріалів шляхом їх введення в індукційну плазму, що генерується двома незалежними потоками плазмоутворюючого газу, які витікають паралельно осі плазмотрона і зонда в ламінарному режимі, із їх розплавленням, сферодизацією, твердінням у газовому потоці у вигляді сфер, і подальшу операцію введення цих сфер в індукційну плазму, як матеріалу для вирощування тривимірних об'єктів.

Суть винаходу пояснюється кресленнями.

Запропонований спосіб вирощування (3D-друку) об'ємних виробів із тугоплавких матеріалів реалізується за рахунок використання ВЧІ-плазмотрона 1 і камери 2 вирощування виробу 3, обладнаної маніпулятором 4 із підкладкою 5. ВЧІ-плазмотрон 1 має водяне охолодження 6, а також вузли підведення двох незалежних газових потоків 7 і 8. Потік 7 подається вздовж стінок плазмотрона із витратою 70 % від загального обсягу (витрат) плазмоутворюючого газу, а потік 8 подається вздовж поверхні трубчастого водоохолоджуваного зонда 9 із витратами 30 % від загального обсягу (витрат) плазмоутворюючого газу. Через зонд 9 до плазмотрону подають порошок 10, з якого вирощується об'ємний виріб 3. Плазмотрон 1 розміщений в індукторі 11 і має сопло 12, через яке виходить плазмовий факел 13 із порошком 10.

Дія пристрою для реалізації запропонованого способу відбувається наступним чином. Після запалення ВЧІ-розряду у плазмотроні 1 в нього вводиться трубчастий водоохолоджуваний зонд 9 на відстань l_{supply} від верхньої точки першого витка індуктора 11, яка визначається за формулою: $l_{supply} = (l_{total} \cdot 2) + 10 \% \cdot l_{total}$, де l_{total} - загальна довжина індуктора 11 (відстань між верхньою точкою першого витка та нижньою точкою останнього витка індуктора по його осі). Для захисту стінок плазмотрону від дії ВЧІ-плазми плазмоутворюючий газ подають двома незалежними потоками 7 і 8, яким надають вихровий рух із можливістю регулювання кутів їх витікання відносно осі плазмотрону 1 та витрат газу. Крізь зонд 9 за допомогою газового потоку подається порошок 10, який розігрівається у ВЧІ-плазмі та крізь сопло 12 попадає на підкладку 5. На підкладці 5 вирощується об'ємний виріб 3 під дією плазмового факелу 13. За допомогою маніпулятора 4 підкладка 5 переміщується таким чином, щоб на ній формувалася виріб 3 потрібної просторової форми. Частота струму індуктора становить 1,76 або 5,28 МГц. Співвідношення коливальної потужності в індукторі до зовнішнього діаметра трубчастого водоохолоджуваного зонда для подачі твердих частинок визначається за формулою: $N_{inductor} \cdot d_{probe} = 5 \cdot 12$, де $N_{inductor}$ - значення коливальної потужності в індукторі в кВт; d_{probe} - діаметр зонда в мм. На початку процесу вирощування об'ємної деталі відстань l_{dist} між зрізом сопла 12 індукційного плазмотрона 1 і підкладкою 5 маніпулятора 4 вибирається із співвідношення $l_{dist} \cdot d_{pl} = 1 \cdot 1,8$, де d_{pl} - внутрішній діаметр плазмотрона 1. В процесі вирощування об'ємної деталі ця відстань зберігається постійною відносно верхньої точки деталі 3, що вирощується.

Перевірку ефективності пропонованого способу виконували шляхом вирощування тривимірних об'єктів з негранульованих порошків оксиду алюмінію та вольфраму. В обох випадках виготовляли пустотілі циліндри із зовнішнім діаметром 130 мм, товщиною стінки 36 мм і висотою 160 мм. При цьому використовували високочастотний генератор із частотою струму 1,76 МГц. Результати проведених експериментів наведено у табл. 1. Крім того, аналогічні пустотілі циліндри виготовляли за запропонованим способом і за найближчим аналогом (табл. 2). Проведені експерименти показали, що запропонований спосіб для вирощування 3D-друком об'ємних виробів із тугоплавких матеріалів є достатньо ефективним і більш продуктивним за найближчий аналог.

Таблиця 1

Режими вирощування тривимірних об'єктів із оксиду алюмінію та вольфраму (пустотілий циліндр, зовнішній діаметр 130 мм, товщина стінки 36 мм, висота 160 мм) при використанні високочастотного генератора із частотою струму 1,76 МГц.

№ режиму	d_{in} , мм	I_{supply} , мм	$N_{inductor} \cdot d_{probe}$	$I_{dist} \cdot d_{pl}$	Умова подачі плазموутворюючого газу	Умова надання вихрового руху двом потокам плазмотворюючого газу	Застосування операції попередньої обробки (сферодизації) твердих часток в індукційній плазмі
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Найближчий аналог	Не застосовується	Не контролюється	Не застосовується	Не контролюється	Подається одним потоком	Не надається	ні
1	3,5	Досягається співвідношення $(I_{total} \cdot 2) - 5 \% \cdot I_{total}$,	4,5	0,8	Подається двома незалежними потоками, один потік подається вздовж стінок плазмотрона і містить 80 % загального обсягу плазموутворюючого газу, а другий потік подається вздовж поверхні трубчастого зонда і містить 20 % від загального обсягу плазмоутворюючого газу	Не надається	ні
2	4	Досягається співвідношення $(I_{total} \cdot 2) - 10 \% \cdot I_{total}$	5	1,0	Подається двома незалежними потоками, один потік подається вздовж стінок плазмотрона і містить 70 % загального обсягу плазмоутворюючого газу, а другий потік подається вздовж поверхні трубчастого зонда і містить 30 % від загального обсягу плазмоутворюючого газу	Надається	так
3	5	Таке ж	7	1,4	Таке ж	Надається	так
4	6	Таке ж	12	1,6	Таке ж	Надається	так
5	6,3	Таке ж	13	1,8	Таке ж	Надається	так
6	5	Досягається співвідношення $(I_{total} \cdot 2) - 15 \% \cdot I_{total}$	7	1,9	Подається двома незалежними потоками, один потік подається вздовж стінок плазмотрона і	Не надається	Ні

Таблиця 1

Режими вирощування тривимірних об'єктів із оксиду алюмінію та вольфраму (пустотілий циліндр, зовнішній діаметр 130 мм, товщина стінки 36 мм, висота 160 мм) при використанні високочастотного генератора із частотою струму 1,76 МГц.

№ режиму	d_{in} , мм	I_{supply} , мм	$N_{inductor} \cdot d_{probe}$	$I_{dist} \cdot d_{pl}$	Умова подачі плазموутворюючого газу	Умова надання вихрового руху двом потокам плазмотворючого газу	Застосування операції попередньої обробки (сферодизації) твердих часток в індукційній плазмі
					містить 60 % загального обсягу плазموутворюючого газу, а другий потік подається вздовж поверхні трубчастого зонда і містить 40 % від загального обсягу плазмоутворюючого газу		

Таблиця 2

Вплив режимів вирощування тривимірного об'єктів із оксиду алюмінію (пустотілий циліндр, зовнішній діаметр 130 мм, товщина стінки 36 мм, висота 160 мм) при використанні високочастотного генератора із частотою струму 1,76 МГц.

№ режиму	Показники							
	Продуктивність вирощування (3D-друку) об'єкту, кг/годину		Діаметр розплавленого рухомого шару матеріалу, яким нарощують об'єм об'єкту, в мм		Щільність отриманого тривимірного виробу, в г/см ³		Хімічна чистота, %	
	Al ₂ O ₃	W	Al ₂ O ₃	W	Al ₂ O ₃	W	Al ₂ O ₃	W
Найближчий аналог	0,15	0,12	130	130	3,5-3,7	18,5-19,0	99,990	99,990
1	0,20	0,18	5	5	3,75-3,95	19,0-19,6	99,995	99,995
2	0,18	0,16	4,5-5,0	4,5-5,0	3,8-4,0	18,8-19,2	99,995	99,995
3	0,22	0,20	5	5	3,9-4,0	18,9-19,3	99,995	99,995

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

5

Спосіб вирощування (3D-друку) об'ємних (тривимірних) виробів із тугоплавких матеріалів, що включає формування високочастотної плазми, доставку твердих частинок порошку в плазму, плавлення цих частинок, осадження розплавлених частинок на підкладку, утворення розплавленого шару на поверхні підкладки, яка може переміщуватися в трьох незалежних напрямках, а також обертання навколо її вертикальної осі, який **відрізняється** тим, що тверді частинки матеріалу подають в зону індуктора високочастотного плазмотрону за допомогою водоохолоджуваного зонда із діаметром внутрішнього каналу $d_{in} = 4-6$ мм по осі плазмотрона в напрямі від верхніх до нижніх витків індуктора на відстань від верхньої точки першого витка індуктора I_{supply} , яка визначається за формулою:

10

$$I_{\text{supply}} = (I_{\text{total}}:2) + 10 \% \cdot I_{\text{total}},$$

де I_{total} - загальна довжина індуктора (відстань між верхньою точкою першого витка та нижньою точкою останнього витка індуктора по його осі).

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що співвідношення коливальної потужності в індукторі до зовнішнього діаметра трубчастого водоохолоджуваного зонда для подачі твердих частинок визначається за формулою:

$$N_{\text{inductor}} \cdot d_{\text{probe}} = 5-12,$$

де N_{inductor} - значення коливальної потужності в індукторі, в кВт;

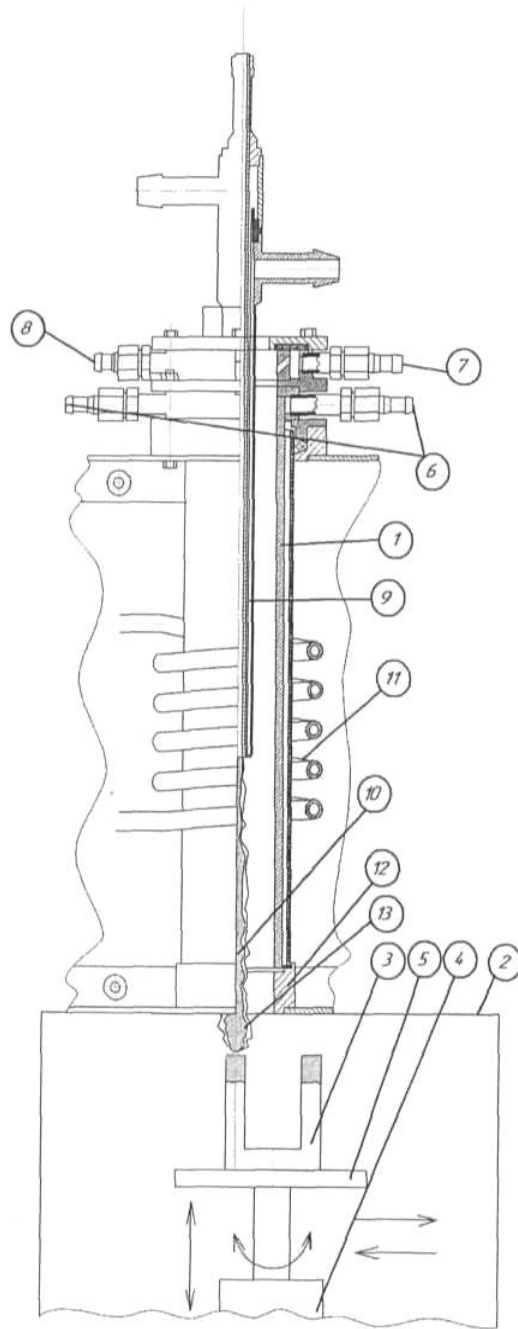
d_{probe} - діаметр зонда, в мм.

3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що співвідношення відстані l_{dist} між зрізом сопла індукційного плазмотрона і підкладкою маніпулятора до внутрішнього діаметра d_{pi} плазмотрона $l_{\text{dist}}:d_{\text{pi}} = 1-1,8$.

4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що передбачена подача плазмоутворюючого газу в плазмотрон двома незалежними потоками, при цьому один потік подають вздовж стінок плазмотрона із витратою 70 % від загального обсягу (витрат) плазмоутворюючого газу, а другий потік подають вздовж поверхні трубчастого зонда із витратами 30 % від загального обсягу (витрат) плазмоутворюючого газу.

5. Спосіб за п. 4, який **відрізняється** тим, що двом незалежним потокам плазмоутворюючого газу надають вихровий рух із можливістю регулювання кутів витікання потоків до осі плазмотрону та їх витрати.

6. Спосіб за пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що включає операцію обробки порошків матеріалів шляхом їх введення в індукційну плазму, яку генерують двома незалежними потоками плазмоутворюючого газу, які витікають паралельно осі плазмотрона і зонда в ламінарному режимі, із їх розплавленням, сферодизацією, твердінням у газовому потоці у вигляді сфер, і подальшу операцію введення цих сфер в індукційну плазму, як матеріалу для вирощування тривимірних об'єктів.



Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601