



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 48653

(13) A

(51) 6 B22F3/16

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІОПИС  
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВИНАХІДВидається під  
відповідальність  
власника  
патенту

## (54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИРОБІВ З МЕТАЛЕВИХ ПОРОШКІВ

1

2

(21) 2001117489

(22) 02 11 2001

(24) 15 08 2002

(46) 15 08 2002, Бюл. № 8, 2002 р.

(72) Петрунко Анатолій Миколайович, Ляшенко  
Олександр Петрович, Дрозденко Віктор  
Антонович, Анохін Вячеслав Михайлович,  
Дрозденко Ганна Вікторівна, Тер-Погосьянц  
Едуард Дмитрович(73) ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ТА  
ПРОЕКТНИЙ ІНСТИТУТ ТИТАНУ, ЗАПОРІЗЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ(57) Спосіб виготовлення виробів з металевих  
порошків, який включає холодне пресування  
заготовки, її нагрів, уміщення в матрицю, наступне

гаряче ущільнення та об'ємне деформування, що проводяться в процесі робочого ходу преса, який відрізняється тим, що холодне пресування виконують з можливістю забезпечення відносної щільності заготовки на ділянках, де формуються небезпечні перерізи, на 2-12 % більше, ніж на інших ділянках, причому після холодного пресування проводять спікання заготовки, а гаряче ущільнення виконують зі ступенем деформації нижче критичного для матеріалу, який використовується на ділянках заготовки, де формуються небезпечні перерізи, та максимально допустимим на інших ділянках, при цьому об'ємне деформування завершують на всіх ділянках заготовки одночасно

Винахід стосується порошкової металургії, а саме виробництва виробів з металевих порошків, в тому числі середньо та важконавантажених виробів

Відомий "Спосіб виготовлення безпористих порошкових виробів", патент РФ №2168392 від 28.12.98 р., B22F 3/16, згідно якого заготовку піддають холодному пресуванню, потім її нагрівають, уміщують у матрицю. Після цього в процесі робочого ходу пресування заготовку піддають гарячому ущільненню до залишкової щільності 1 - 2% і наступному об'ємному деформуванню.

Гаряче ущільнення заготовки до залишкової пористості 1 - 2% і наступне об'ємне деформування в процесі робочого ходу пресування не спеченої заготовки відбувається в умовах максимально наближених до всебічного рівномірного стиснення. Відсутність операції спікання після холодного пресування приводить до того, що гаряче деформування відбувається при низьких ступенях деформації. При таких умовах деформування течія металу відсутня, що не дозволяє одержати дрібнозернисту, орієнтовану в заданому напрямі мікроструктуру, що забезпечує максимальний рівень щільності та високі механічні властивості виробу. Це вельми важно для середньо та важконавантажених виробів.

Винахід вирішує задачу одержання максимального рівня щільності та поліпшення механічних властивостей матеріалу виробів із металевих порошків, в тому числі середньо та важконавантажених виробів, шляхом управління процесом течії металу при об'ємному деформуванні за рахунок пресування заготовки з заданим розподіленням щільності.

Поставлена задача вирішується тим, що в відомому способі виготовлення виробів з металевих порошків, який включає холодне пресування заготовки, її нагрівання, уміщення в матрицю та наступні гаряче ущільнення та об'ємне деформування, які проводять в процесі робочого ходу преса, згідно з винаходом, холодне пресування виконують з можливістю забезпечення відносної щільності заготовки на ділянках, де формуються небезпечні перерізи на 2 - 12% більше, ніж на інших ділянках, причому після холодного пресування проводять спікання заготовки, а гаряче ущільнення виконують зі ступенем деформації нижче критичної для матеріалу, який використовується, на ділянках заготовки, де формуються небезпечні перерізи та максимально допустимою на інших ділянках, при цьому об'ємне деформування завершують на всіх ділянках одночасно.

Сукупність ознак, що заявляється, дозволяє

(13) A

(11) 48653

(19) UA

виготовити вироби з порошку в умовах всебічного нерівномірного стиснення та одержати дрібнозернисту, орієнтовану в заданому напрямку мікроструктуру, що забезпечує максимальний рівень щільності та високу механічну властивість

Нерівномірне розподілення відносно щільності по конкретним ділянкам в процесі холодного пресування забезпечує оптимальні умови формування заданої структури металу при гарячому деформуванні. Гаряче деформування заготовки відбувається в дві стадії. I - гаряче ущільнення, II - об'ємне деформування. Підвищення щільності на ділянках заготовки, де формуються небезпечні перерізи та спікання заготовки приводять до передчасного закінчення I-ї стадії та передчасному початку II-ї стадії саме на цих ділянках при умовах, що обидві стадії проводять в процесі робочого ходу пресу, а об'ємне деформування завершують на всіх ділянках одночасно. Операція спікання після холодного пресування забезпечує оптимальні умови для продовження дифузійних процесів на межах спресованих частинок. Оптимізація дифузійних процесів при спіканні дозволяє одержати в спечених пористих заготовках достатньо високий рівень механічних властивостей і проводити гаряче ущільнення та об'ємне деформування при максимально допустимих поперечних ступнях деформації.

Проведення гарячого деформування в області критичної ступні деформації та вище на ділянках, де формуються небезпечні перерізи, не рекомендується тому, що в першому випадку це приводить до утворення крупнозернистої структури металу та різкому зниженню механічних властивостей, а в другому випадку - до проведення деформування в умовах всебічного рівномірного стиснення (різниця між ступнями деформації на ділянках мінімальна).

Проведення гарячого деформування на інших зі ступнями деформації нижче максимально допустимих наближає процес деформування заготовки до умов всебічного рівномірного стиснення, течії металу при цьому немає.

Гаряче деформування проводять за один робочий хід пресу. При гарячому ущільненні, під дією пуансону, заготовка деформується та відбувається її осадка. Метал тече в поперечному напрямі. Висота ділянок заготовки зменшується, а поперечні розміри збільшуються. Гаряче ущільнення починається на всіх ділянках одночасно, але, в зв'язку з тим, що щільність на ділянках, де формуються небезпечні перерізи на 2 - 12% більше, ніж на інших ділянках і ступінь деформації нижче критичної для матеріалу, що використовується, перша стадія тут закінчується раніше та раніше почнеться друга стадія об'ємне деформування відносно інших ділянок, де відносна щільність нижче, а поперечна ступінь деформації максимальна для матеріалу, що використовується.

На ділянках заготовки, де раніше почалось об'ємне деформування, метал, після заповнення матриці починає текти в напрямку ділянок, де продовжується перша стадія - гаряче ущільнення та опір деформуванню незначний. При цьому

напрямок течії металу співвісно співпадає з напрямком експлуатаційного навантаження виробу, що одержують. Інтенсивність течії, у міру того як відбувається заповнення пористості матриці, збільшується та сприяє підвищенню течії металу на ділянках, де друга стадія процесу почалася значно пізніше. Процес деформування на всіх ділянках закінчується одночасно, після витікання обмеженої кількості металу в компенсаційні щілини, які розташовані в периферійних порожнинах матриці. Таким чином, нерівномірним розподіленням відносно щільності по ділянках при холодному пресуванні та суттєвою різницею між ступнями деформації на ділянках заготовки, де формуються небезпечні перерізи та інших ділянках при гарячому ущільненні, забезпечується при наступному об'ємному деформуванні течія металу в заданому напрямку, яке співвісно співпадає з напрямком експлуатаційного навантаження виробу. Це підвищує механічні властивості матеріалу та забезпечує максимальну щільність виробу.

При підвищенні щільності на ділянках, де формуються небезпечні перерізи, порівняно з іншими ділянками менше ніж на 2%, відносна щільність заготовки можливо вважати близькою до рівномірної. В наслідок чого процес гарячого деформування буде проходити в умовах близьких до всебічного рівномірного стиснення. Течія металу мінімальна, що не дозволить одержати дрібнозернисту, орієнтовану в заданому напрямку структуру та, відповідно, високий рівень механічних властивостей і максимальний рівень щільності. Підвищення щільності більш ніж на 12% недоцільно тому, що при цьому різко підвищується тиск холодного пресування, а відносна щільність підвищується незначно.

Спосіб здійснюється таким чином.

Первісно, згідно заданим умовам, розраховують і проектують за відомими методиками конфігурацію порошкової заготовки та матриці прес-форми для холодного пресування. Розподілення відносно щільності, що заявляється, можливо забезпечити двома шляхами: перерозподіленням маси порошку по ділянках шляхом підвищення маси засипки металевих порошків на ділянках формування небезпечних перерізів заготовки відносно маси цієї ділянки у виробі на 2 - 12% або розрахунковим ходом пресування порошку на конкретній ділянці заготовки. Розрахунок ходу пресування відомий і застосовується при проектуванні прес-форм для холодного пресування заготовок з металевих порошків. У сталій прес-формі, площа порожнини матриці якої у плані та конфігурація повністю відповідають цим же параметрам заготовки, складовими елементами пуансонів забезпечують розрахунковий хід пресування на конкретній ділянці та одержують заготовку з заданою конфігурацією та розподіленням площі.

Нижня межа відносно щільності на ділянках, де формуються небезпечні перерізи (на 2% більше ніж на інших ділянках) призначається в тих випадках, коли конфігурація заготовки дозволяє одержати на інших ділянках відносна щільність 86 - 88%, а максимально допустимий ступень,

деформації спеченого матеріалу більше 40 %. Верхня межа відносної щільності на цих ділянках (на 12% більше) рекомендується в випадках коли щільність на інших ділянках - мінімально допустима - 70%, а максимально допустима ступінь деформації спеченого матеріалу цих ділянок не більше 20%. Після холодного пресування заготовку спікають в печі у вакуумі або захисній атмосфері. Режимі спікання вибирають для конкретного матеріалу експериментальним шляхом.

Нагрівання спечених заготовок здійснюють в печах опору в атмосфері аргону до температур штамповки для конкретного матеріалу.

Гаряче деформування заготовки виконують у закритому штампі у дві стадії, в заданій черговості по ділянках, за один робочий хід пресу. Перша стадія - гаряче ущільнення з осадкою заготовки та течією металу в боковому напрямку закінчується в момент дотикання бокової поверхні заготовки стінок матриці штампі. З моменту дотикання починається друга стадія - об'ємне деформування. На другій стадії течія металу спрямована на заповнення порожнини матриці.

Конфігурація торців заготовки, яка близька до форми робочих поверхнів - пуансонів, забезпечує одночасний початок першої стадії на всіх ділянках. Але, тому що на ділянках, де формуються небезпечні перерізи виробу, ступінь деформації менше критичної, а відносна щільність більше, ніж на інших ділянках, перша стадія тут закінчиться раніше та раніше почнеться друга стадія, яка характеризується інтенсивною течією металу в напрямку прикладення максимального експлуатаційного навантаження у виробі. На інших ділянках перша стадія продовжується довше та матеріал з ділянки, де вже почалась друга стадія тече в ці ділянки. Напрямок течії металу сприяє ущільненню та формуванню дрібнозернистої структури до завершення другої стадії на всіх ділянках виробу одночасно. Друга стадія на ділянках заготовки з меншою вихідною щільністю починається пізніше та закінчується витіканням обмеженої кількості металу в компенсаційні щілини, які розташовані в периферійних зонах порожнини матриці. Таким чином, управлінням черговістю формування конкретних ділянок заготовки та спіканням забезпечується течія матеріалу, яка сприяє створенню дрібнозернистої структури орієнтованої в напрямку, співпадаючим з віссю максимального експлуатаційного навантаження виробу, а також максимальний рівень щільності та високі механічні властивості матеріалу.

Тиск, режими температури та часу підбираються для конкретного матеріалу за літературними даними або дослідним шляхом.

#### Приклад № 1

З титанового електролітичного порошку ПТЗ-2 за технологією, що заявляється, виготовлений шатун. На фіг 1 зображена конструкція виробу, яка містить ділянки I, II, III різної висоти, що розташовані вздовж головної осі. Ділянка II містить небезпечний переріз А-А. Вісь експлуатаційного

навантаження  $P_{max}$  та головна вісь виробу співпадають. За відомими методиками розраховували поперечні ступені деформації для ділянки II - 6% (нижче критичної для даного матеріалу), для ділянок I і III - 36% (відповідає максимально допустимій).

Розрахункове розподілення відносної щільності по ділянках I і III - 76%, II - 86%. Форма торців порошкової заготовки наближена до форми торців робочої поверхні штампі для гарячого деформування.

Для холодного пресування спроектована та виготовлена прес-форма з складеними пуансонами. Кожний складений елемент пуансонів мав визначений розрахунковий хід пресування на ділянці II - 16мм, на ділянках I і III - 24мм. Тиск при пресуванні - 600МПа. На гидравлічному пресі холодним пресуванням одержали порошкові заготовки конфігурація в плані яких відповідала розрахунковій.

Після холодного пресування виконали інструментальний контроль маси заготовок та їх геометричних розмірів. Заготовки піддавали спіканню в вакуумі при температурі  $1250 \pm 20^\circ\text{C}$  з видержкою 3 години. Після спікання провели інструментальний контроль розмірів заготовки і визначення відносної щільності ділянок. Виріб розрізали по межах ділянок I, згідно з ГОСТ 18898-89, визначили відносну щільність.

Далі заготовку нагрівали в печі опору в атмосфері аргону. Розрахункова температура нагрівання  $820 \pm 20^\circ\text{C}$ , час нагрівання 12 хвилин.

Потім заготовку уміщували в матрицю штампі. Гаряче ущільнення та об'ємне деформування проводили за один робочий хід пресу з тиском 800 МПа. Тиск контролювали за штатно установленими на пресі приладами.

Після гарячого деформування заготовки піддавали інструментальному контролю на відповідність розмірів і визначали відносну щільність матеріалу (ГОСТ 18898-89).

Рівень механічних властивостей визначали на зразках вирізаних з ділянки II виробу. Механічні випробування на розрив проводили на зразках згідно з ГОСТ 1497-84 (тип зразка III, №7), а ударну в'язкість визначали згідно з ГОСТ 9454-78 (тип зразка II, вид концентратора V).

Після гарячого деформування виріб розрізали вздовж головної осі, виготовили шліф і вивчали мікроструктуру матеріалу. Мікроструктура відповідала 3-му балу шкали титанових сплавів з орієнтовкою зерна вздовж головної осі виробу.

Для виготовлення виробу використане пресове та термічне обладнання, яке випускається серійно.

Приклади 2, 3 виконані згідно з прикладом 1 з коректирувкою режимів для порошкової шихти на основі титану Ti6Al4V та залізного порошку ПЗ4МЗ, дані наведені в таблиці.

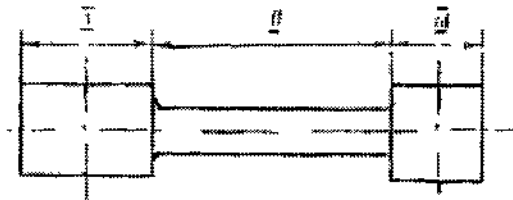
Для порівняння з матеріалу ПТЗ-2, Ti6Al4V, ПЗ4МЗ виготовили вироби за способом прототипом, результати випробувань наведені в таблиці.

Таблиця

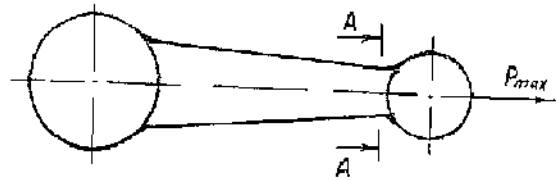
Показники	Спосіб, що заявляється			Прототип		
	Матеріал			Матеріал		
	пр №1 ПТЗ-2	пр №2 Ti6Al4V	пр №3 ПЗ4МЗ	пр №4 ПТЗ-2	пр №5 Ti6Al4V	пр №6 ПЗ4МЗ
1 Відносна щільність, %	100,0	100,0	100,0	99,8	99,6	99,9
2 Межа міцності при розтягненні $\sigma_B$ , Мпа	545,0	940,0	340,0	320,0	720,0	210,0
3 Відносне подовження $\delta$ , %	24,0	8,0	24,0	8,0	2,0	6,0
4 Поперечне звуження $\psi$ , %	36,0	18,0	34,0	14,0	6,0	12,0
5 Ударна в'язкість $\alpha_H$ , кДж/м <sup>2</sup>	1070,0	240,0	230,0	420,0	110,0	120,0

Як видно з таблиці, використання способу, що заявляється дозволяє досягти максимального рівня щільності та підвищити механічні властивості виробів з порошку та, додатково, розширити

можливості використання способу за рахунок застосування його для виготовлення середньо та важконавантажених виробів



Фиг 1



Фиг 2

ДП «Український інститут промислової власності» (Укрпатент)  
вул. Сим'ї Хохлових, 15, м. Київ, 04119, Україна  
(044) 456 – 20 – 90

ТОВ «Міжнародний науковий комітет»  
вул. Артема, 77, м. Київ, 04050, Україна  
(044) 216 – 32 – 71