



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **127706** (13) **C2**
(51) МПК (2023.01)
B33Y 10/00
B23K 26/34 (2014.01)
B23K 11/10 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

<p>(21) Номер заявки: а 2020 06528</p> <p>(22) Дата подання заявки: 09.10.2020</p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 07.12.2023</p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: 13.04.2022, Бюл.№ 15</p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 06.12.2023, Бюл.№ 49</p>	<p>(72) Винахідник(и): Коржик Володимир Миколайович (UA), Хаскін Владислав Юрійович (UA), Ілляшенко Євгеній Володимирович (UA), Пелешенко Святослав Ігорович (UA), Ганущак Олег Васильович (UA), Альошин Андрій Олексійович (UA)</p> <p>(73) Володілець (володільці): ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ЗОВНІШНЬОЕКОНОМІЧНЕ ПРЕДСТАВНИЦТВО КИТАЙСЬКО- УКРАЇНСЬКОГО ІНСТИТУТУ ЗВАРЮВАННЯ ІМ. Є.О. ПАТОНА", вул. Кизимира Малевича, 11, м. Київ, 03150 (UA), ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "НАУКОВО- ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР "ПЛАЗЕР", вул. Філатова, 10-А, оф. 2/10, м. Київ, 01042 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2001091924 A1, 06.12.2001 US 4775092 A, 04.10.1988 CN 101480753 A, 15.07.2009 RU 2691017 C1, 07.06.2019 RU 2674588 C2, 11.12.2018 RU 2641945 C2, 23.01.2018 CN 110614368 A, 27.12.2019 US 2019184462 A, 20.06.2019 Коржик В. Н. Трехмерная печать металлических объемных изделий сложной формы на основе сварочных плазменно-дуговых технологий / В. Н. Коржик, В. Ю. Хаскин, А. А. Гринюк, В. И. Ткачук, С. И. Пелешенко, В. В. Коротенко, А. А. Бабич // Автоматическая сварка. – 2016. - №5 - 6 (753). – С. 127 - 134. CN 108480629 A, 04.09.2018</p>
--	--

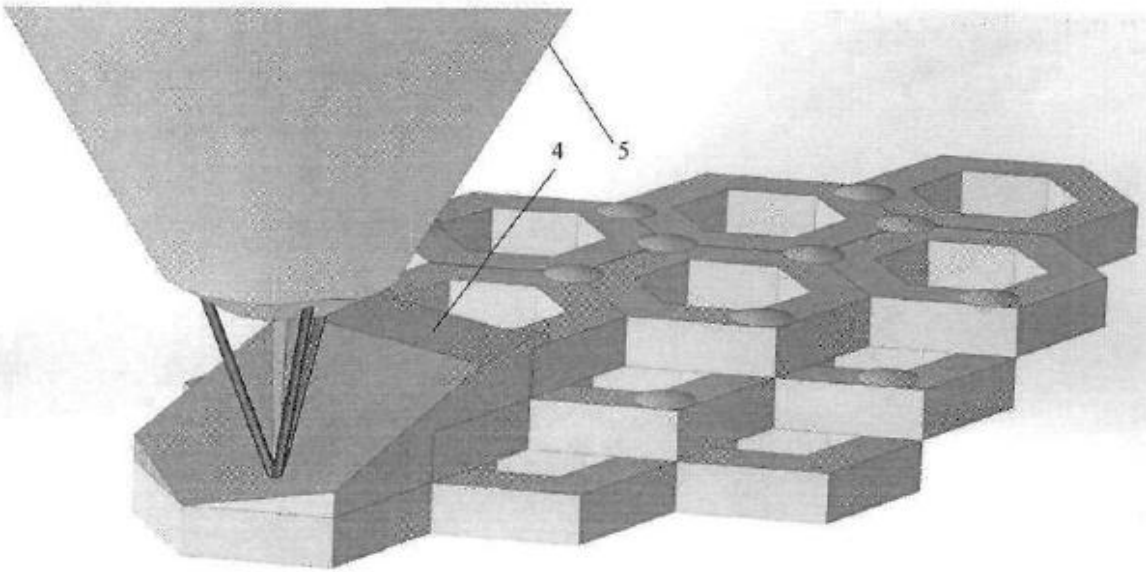
(54) СПОСІБ 3D-ДРУКУ ОБ'ЄМНИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗВАРЮВАННЯМ

(57) Реферат:

Винахід належить до технології 3D-друку складних об'ємних конструкцій. В способі 3D-друку об'ємних конструкцій зварюванням виріб бажаної геометрії створюють шляхом наплавлення,

UA 127706 C2

для чого використовують зварювальну головку для нанесення розплавленого присаджувального матеріалу. Згідно з винаходом, внутрішню несучу об'ємну конструкцію формують за допомогою лазерного точкового зварювання з одностороннім підходом із наскрізним проплавленням уніфікованих однакових витратних елементів товщиною 0,3...3,0 мм, за допомогою яких формують основний внутрішній об'єм виробу у вигляді пустотілої жорсткої зварної конструкції. При цьому проплавлення при точковому зварюванні здійснюють лазерним випромінюванням із щільністю потужності $10^6...10^8$ Вт/см² за час експозиції 0,03...0,3 с так, що утворюється зварна точка із коефіцієнтом форми до 1,0 глибиною 1,1...1,5 товщини стінки елемента, що зварюють. Суцільну оболонку конструкції формують адитивним пошаровим лазерним порошковим наплавленням із щільністю потужності $10^5...10^6$ Вт/см² так, що на поверхні звареної конструкції утворюється шар товщиною 0,1...1,0 мм. При цьому несучі зварені елементи сформованої конструкції є підкладкою для адитивного наплавлення суцільної оболонки. Винахід забезпечує отримання складних об'ємних полегшених конструкцій.



Фіг. 2

Винахід належить до технології 3D-друку складних об'ємних полегшених конструкцій із окремих заздалегідь виготовлених плоских металевих примітивів (наприклад кубів, паралелепіпедів, призм, ікосаєдрів та ін.) шляхом їх поєднання зварюванням у пустотілі жорсткі фермові конструкції із наступним пошаровим наплавленням оболонки на несучі зварені елементи. Винахід може знайти застосування в різних галузях промисловості, зокрема будівництві, машино- і авіабудуванні.

Відомим є спосіб прямого селективного ящерного спікання металів [Patent W02001091924A1: Direct selective laser sintering of metals. Автори: Suman Das, Joseph J. Veaman; МПК G05B19/4062; 06.12.2001]. Згідно з даним способом виготовляється повністю щільний тривимірний об'єкт за допомогою прямого лазерного спікання. У вакуумованій камері з атмосферою парціального тиску над поверхнею мішені розподіляється порошкоподібний шар, а пучок спрямованої енергії розплавляє металевий порошок для утворення поперечного перерізу твердого шару. Наступний шар порошку наноситься і плавиться разом з частиною попереднього шару. Енергетичний промінь зазвичай є лазерним, який сканує за траєкторією, що нагадує параметричну криву або іншу, довільну частково-параметричну криву (векторне сканування). В іншому варіанті попередній шар не переплавляють, створюючи таким чином оксидну плівку, яка діє як бар'єр для запобігання небажаному проплавленню.

Недоліком зазначеного способу є його низька продуктивність, пов'язана з необхідністю покровоного формування кожного шару, а також із необхідністю застосування порошку із гранулами малого розміру, оскільки від розміру гранул залежить висота шару і шорсткість одержуваного об'єкта.

Для усунення вказаних недоліків можна застосовувати спосіб швидкого прототипування шляхом ламінування металевими листами [Patent CN101480753 A: Rapid shaping method for manufacturing metal laminated solid mass. Автори: 伍晓宇, 彭太江, 雄梁, 蓉程, 郭小勤, 阮双琛; МПК B23K11/00; 15.07.2009.]. Даний спосіб містить наступні стадії. По-перше, створення геометрії окремих, металевих частин деталі за допомогою САD та дискретного розшарування. По-друге, підготовка механізму зберігання і подачі сировини, в якому будуть зберігатися металеві листи. По-третє, відповідно комп'ютерної моделі за допомогою лазерного різання виготовляється контур поперечного перегину, який вилучають на першій позиції підйомним столом з отвору заготовки листового металу; на підйомному столі в першій позиції вирізають отвори контуру і вилучають відходи з листової металеві деталі. В четвертих, механізм зберігання і подачі металевих листів, що подається в отвір після усунення відходів, може бути переміщеним по вертикалі над першим з двох положень столу. По-п'яте, за допомогою зварювального механізму підіймають поточний металевий лист і зварюють разом з базовим металевим листом на столі у другій позиції, одержуючи ламінований блок зварених разом листів. По-шосте, система лазерного різання згідно з комп'ютерною моделлю виконує периферійне контурне різання поточного листового металу за поперечним перетином периферійного контуру заготовки на другій позиції. По-сьоме, підйомний стіл опускається вниз (напрямок Z), щоб повторити процес з другої по шосту стадії, таким чином одержуючи зварний багатошаровий ламінат з набору металевих листів. По-восьме, готовий металевий об'єкт отримується безпосередньо на другій позиції. Такий об'єкт може містити металеві листи зі сталі, заліза, алюмінію або міді.

Недоліками даного способу є шарувата структура бокової поверхні готового об'єкта і наявність відходів, що утворюються при лазерному різанні металевих листів. Причому таких відходів стає тим більше, чим більш полегшеною є об'ємна конструкція, яку виготовляють.

Найбільш близьким за технічною суттю (прототип) до описуваного способу є спосіб побудови заготовки шляхом наплавлення [Patent US4775092A: Method and apparatus for building a workpiece by deposit welding, Автори: David P. Edmonds, Michael D. McAninch; МПК B23K9/046; 04.10.1988]. Згідно з даним способом осесиметричну заготовку бажаної геометрії створюють шляхом наплавлення. Для цього використовують зварювальну головку для нанесення розплавленого присаджувального матеріалу за допомогою обертального багаторазового башмака, який рухається разом із зварювальною головкою. Обертальний багаторазовий башмак утворює, підтримує і охолоджує рідку ванну матеріалу, що наплавляється, поки цей матеріал застигає, тим самим усуваючи необхідність у традиційних засобах формовки відливок.

Недоліком даного способу є можливість формування лише зовнішньої оболонки без внутрішніх ребер жорсткості, а також необхідність використання додаткового оснащення у вигляді обертального багаторазового башмака.

В основу винаходу поставлена задача створення способу 3D-друку полегшених об'ємних конструкцій зварюванням і наплавленням, причому основний внутрішній об'єм пустотілої жорсткої фермової зварної конструкції пошарово зварюється з уніфікованих (однакових)

витратних елементів точковим або лінійним зварюванням, а оболонка конструкції (поверхневий шар) формується адитивним пошаровим наплавленням на несучі зварені елементи сформованого об'єму. Такий спосіб дозволить виготовляти складні об'ємні полегшені конструкції для застосування у різних галузях промисловості, зокрема будівництві, машино- і авіабудуванні тощо.

Для вирішення поставленої задачі створення способу 3D-друку об'ємних конструкцій зварюванням виріб бажаної геометрії створюють шляхом наплавлення, для чого використовують зварювальну головку для нанесення розплавленого присаджувального матеріалу. Внутрішню несучу об'ємну конструкцію формують за допомогою лазерного точкового зварювання з одностороннім підходом із наскрізним проплавленням уніфікованих однакових витратних елементів товщиною 0,3...3,0 мм, за допомогою яких формують основний внутрішній об'єм виробу у вигляді пустотілої жорсткої зварної конструкції, при цьому проплавлення при точковому зварюванні здійснюється лазерним випромінюванням із щільністю потужності $10^6...10^8$ Вт/см² за час експозиції 0,03...0,3 с так, що утворюється зварна точка із коефіцієнтом форми до 1,0 глибиною 1,1...1,5 товщини стінки елемента, що зварюють, а суцільну оболонку конструкції формують адитивним пошаровим лазерним порошковим наплавленням із щільністю потужності $10^5...10^6$ Вт/см² так, що на поверхні звареної конструкції утворюється шар товщиною 0,1...1,0 мм, при цьому несучі зварені елементи сформованої конструкції є підкладкою для адитивного наплавлення суцільної оболонки. Для формування пустотілої жорсткої конструкції застосовують стрижневі витратні елементи, за допомогою лазерного точкового зварювання яких отримують фермові конструкції. Для формування жорсткої пустотілої конструкції застосовують кільцеві витратні елементи у вигляді пустотілих циліндрів, які стикують циліндричними поверхнями і приварюють пошарово в точках їхнього стикування, при цьому наступний шар зміщується відносно попереднього на відстань, яка дорівнює половині зовнішнього радіуса кільцевого елемента, а точкове зварювання виконують в місцях їх перекриття. Для формування жорсткої пустотілої конструкції застосовують витратні елементи у вигляді пустотілих паралелепіпедів, які зварюють в місцях стику їх ребер, а в процесі нарощування внутрішнього об'єму їх приварюють пошарово, при цьому наступний шар зміщується відносно попереднього на відстань, яка дорівнює половині ширини поверхні верхньої або нижньої основи паралелепіпеда, а точкове зварювання виконують в місцях перекриття цих поверхонь. Для формування жорсткої пустотілої конструкції застосовують витратні елементи у вигляді пустотілих шестикутних призм, які зварюють в місцях стику їх ребер, а в процесі нарощування внутрішнього об'єму їх приварюють пошарово, при цьому наступний шар зміщується відносно попереднього на відстань, яка дорівнює половині більшої діагоналі призми, що проходить між точками зовнішньої поверхні призми, а точкове зварювання виконують в місцях їх перекриття. За рахунок кільцевого сканування лазерного випромінювання із амплітудою порядку 1,5 діаметра зварної точки і частотою 50-250 Гц зварна точка має ширину перерізу в місці з'єднання витратних елементів не менш ніж 1,2-1,6 від товщини стінки елемента і глибину провару 1,1-1,5 від значень товщини перерізу (стінки) витратного елемента, що зварюють. Суцільну оболонку формують наплавленням одного або кількох сплавів, що мають хімічний склад, відмінний від хімічного складу сплаву, з якого виконані витратні елементи. Для точкового зварювання застосовують лазерно-плазмовий спосіб, який дозволяє отримувати з'єднання прорізними точковими швами.

Суть способу пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 і фіг. 2 наведено відповідно перший і другий етапи виготовлення полегшених об'ємних конструкцій зварюванням. На першому етапі (фіг. 1) формують основний внутрішній каркас пустотілої жорсткої фермової конструкції шляхом точкового лазерного зварювання окремих уніфікованих (однакових) витратних елементів 1. Елементи 1 можуть мати вигляд кубів, паралелепіпедів, призм, ікосаедрів та інших подібних пустотілих елементів із стінками певної товщини. Залежно від розмірів конструкції, що виготовляється з елементів, і їхня висота може бути меншою за ширину й довжину, чи навпаки. У найбільш простому варіанті вони мають вигляд профільних шайб. Формування основного внутрішнього каркаса пустотілої жорсткої фермової конструкції здійснюється шляхом точкового зварювання лазерним чи іншим методом, який дозволяє одержувати локальне глибоке проплавлення 2. Шари витратних елементів 1 наносять адитивно. При лазерному зварюванні кожний наступний шар з витратних елементів 1 зварюється таким чином, щоб щільністю потужності випромінювання становила $10...10$ Вт/см² при часі експозиції 0,03...0,3 с (згідно з літературними технологічними рекомендаціями, наприклад [Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 5. Лазерная сварка металлов: Учеб, пособие для вузов / А.Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов; Под ред. А.Г. Григорьянца // М: Высш. шк., 1988-207 с: ил.]). При цьому утворюється зварна точка 2 із коефіцієнтом форми до 1,0 глибиною 1,1...1,5 товщини стінки

елемента, що зварюють. У разі застосування кільцевого сканування випромінювання може бути отримане локальне глибоке проплавлення 2 із шириною перерізу в місці з'єднання витратних елементів 1 не менш ніж 1,2-1,6 від товщини стінки елемента 1 і глибиною провару 1,1-1,5 від значень товщини перерізу (стінки) витратного елемента 1. При відсутності сканування

5

випромінювання коефіцієнт форми шва має бути близьким до 1,0 при глибині 1,1-1,5 від значень товщини перерізу витратного елемента 1.

На другому етапі (фіг. 2) після закінчення виготовлення внутрішнього каркаса пустотілої жорсткої фермової конструкції на її зовнішню поверхню здійснюється адитивне пошарове лазерне порошкове наплавлення покриття 4 за допомогою наплавочної головки 5. При цьому щільність потужності випромінювання вибирають $10^5 \dots 10^6$ Вт/см² і за один прохід наплавляють шари товщиною 0,1...1,0 мм, яка регулюється швидкістю процесу (30...300 м/год.) і масовими витратами порошку (0,1...0,5 г/с) (згідно з літературними технологічними рекомендаціями, наприклад [Лазерная техника и технология. В 7 кн. Кн. 3. Методы поверхностной лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н; Под ред. Григорьянца А.Г. // М: Высш. шк., 1987, - 191 с.]). Зовнішнє покриття 4, що формується на цій поверхні, може мати один або кілька шарів із сплаву (сплавів), які мають хімічний склад, що може відрізнитися від хімічного складу сплаву, з якого виконані витратні елементи 1.

10

15

Перевірку ефективності пропонованого способу виконували шляхом порівняння запропонованого способу із способом-прототипом. Згідно з способом-прототипом за допомогою плазмового пальника і мідної обертальної підкладки з використанням присаджувального дроту ESAB OK Autrod 308L (Ø1,2 мм) формували циліндричний виріб зовнішнім розміром Ø11×10 мм із товщиною стінки 3 мм. При наплавленні із лінійною швидкістю 30 м/год. зварювальний струм становив 80 А при напрузі 24 В. Через необхідність у мінімізації термічного впливу на наплавлені шари загальний час виготовлення цього виробу становив 1,5 години. Згідно з пропонованим способом за допомогою лазерного точкового зварювання із шайб Ø10×Ø8×1 мм зі сталі SUS304 (аналог 08 × 18Н10) виготовляли циліндричний виріб висотою 10 мм (з 10 шарів шайб), після чого здійснювали його зовнішнє наплавлення по боковій поверхні до отримання розміру Ø11×10 мм. Потужність випромінювання волоконного лазера при точковому зварюванні з експозицією 0,2 с становила 800 Вт, а при наплавленні із швидкістю 90 м/год. - 500 Вт. Загальний час виготовлення цього виробу становив 1,0 годину.

20

25

30

Обидва виготовлені вироби випробовували на боковий зсув із застосуванням спеціально виготовленого оснащення зі сталі 5ХВГ, яке під час випробувань не деформувалося. Кожен з виготовлених виробів розташовували в оснащенні так, щоб зсув відбувався поперек вертикальної осі. Оснащення із виробом встановлювали під прес. Прес натискав на рухому частину оснащення і в момент зрізу фіксувалася руйнівне зусилля. Було встановлено, що у разі випробувань виробу, виготовленого за способом-прототипом, зусилля зрізу становило 25-30 кН, а у разі випробувань виробу, виготовленого за пропонованим способом, - 35-40 кН.

35

40

Таким чином, запропонований спосіб 3D-друку полегшених об'ємних конструкцій зварюванням дозволяє щонайменше на третину збільшити продуктивність виготовлення полегшених об'ємних конструкцій, а також щонайменше на 20-40 % збільшити їхню міцність порівняно із способом-прототипом.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

45

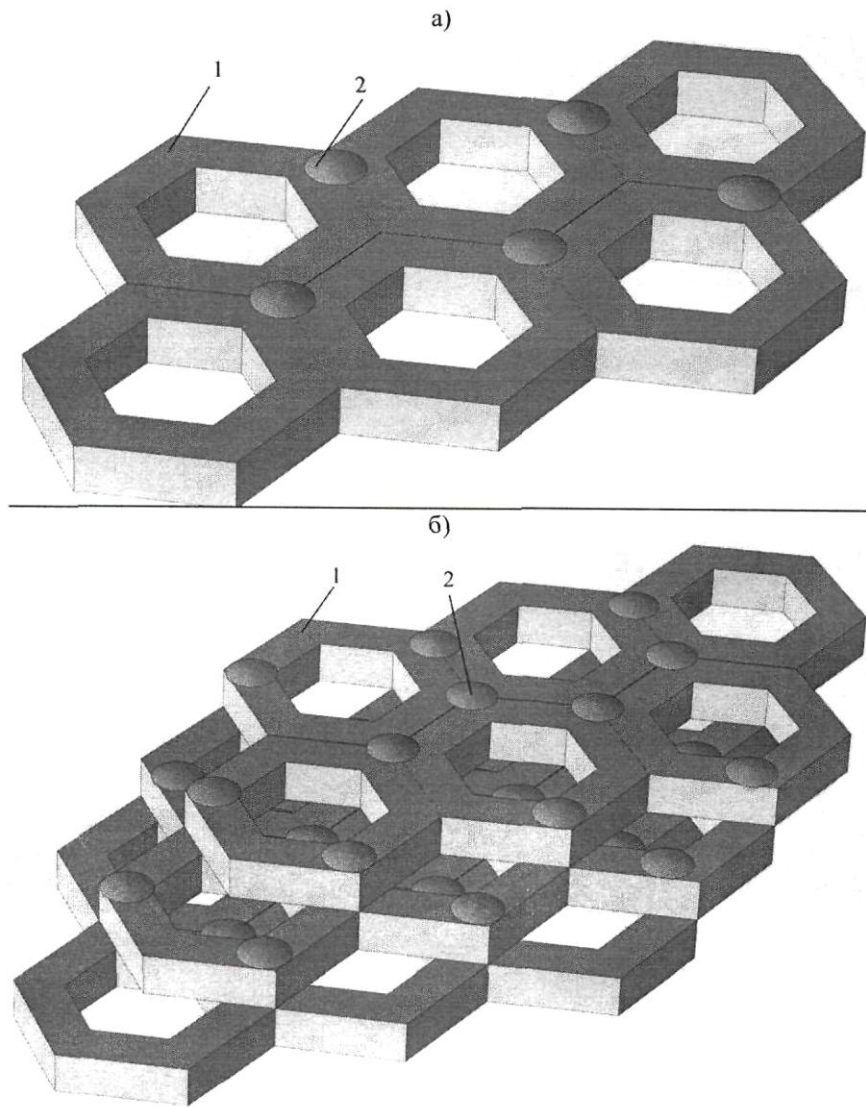
1. Спосіб 3D-друку об'ємних конструкцій зварюванням, згідно з яким виріб бажаної геометрії створюють шляхом наплавлення, для чого використовують зварювальну головку для нанесення розплавленого присаджувального матеріалу, який **відрізняється** тим, що внутрішню несучу об'ємну конструкцію формують за допомогою лазерного точкового зварювання з одностороннім підходом із наскрізним проплавленням уніфікованих однакових витратних елементів товщиною

50

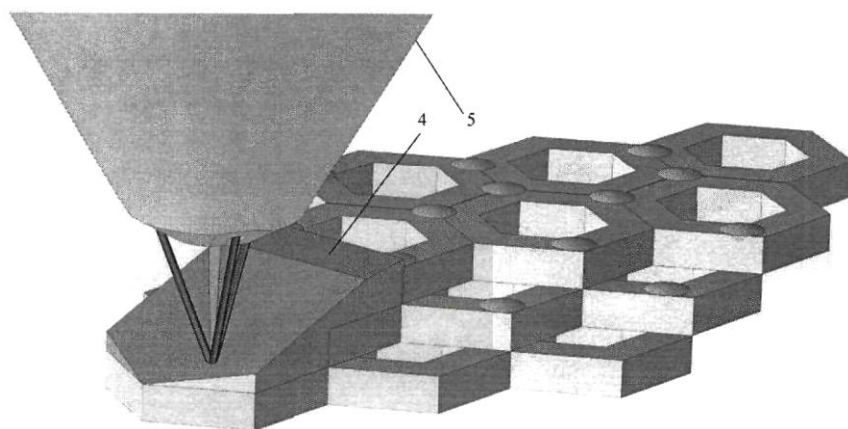
55

0,3...3,0 мм, за допомогою яких формують основний внутрішній об'єм виробу у вигляді пустотілої жорсткої зварної конструкції, при цьому проплавлення при точковому зварюванні здійснюють лазерним випромінюванням із щільністю потужності $10^6 \dots 10^8$ Вт/см² за час експозиції 0,03...0,3 с так, що утворюється зварна точка із коефіцієнтом форми до 1,0 глибиною 1,1...1,5 товщини стінки елемента, що зварюють, а суцільну оболонку конструкції формують адитивним пошаровим лазерним порошковим наплавленням із щільністю потужності $10^5 \dots 10^6$ Вт/см² так, що на поверхні звареної конструкції утворюється шар товщиною 0,1...1,0 мм, при цьому несучі зварені елементи сформованої конструкції є підкладкою для адитивного наплавлення суцільної оболонки.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для формування пустотілої жорсткої конструкції застосовують стрижневі витратні елементи, за допомогою лазерного точкового зварювання яких отримують фермові конструкції.
- 5 3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для формування пустотілої жорсткої конструкції застосовують кільцеві витратні елементи у вигляді пустотілих циліндрів, які стикують циліндричними поверхнями і приварюють пошарово в точках їхнього стикування, при цьому наступний шар зміщується відносно попереднього на відстань, яка дорівнює половині зовнішнього радіуса кільцевого елемента, а точкове зварювання виконують в місцях їх перекриття.
- 10 4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для формування пустотілої жорсткої конструкції застосовують витратні елементи у вигляді пустотілих паралелепіпедів, які зварюють в місцях стику їх ребер, а в процесі нарощування внутрішнього об'єму їх приварюють пошарово, при цьому наступний шар зміщується відносно попереднього на відстань, яка дорівнює половині ширини поверхні верхньої або нижньої основи паралелепіпеда, а точкове зварювання виконують в місцях перекриття цих поверхонь.
- 15 5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для формування пустотілої жорсткої конструкції застосовують витратні елементи у вигляді пустотілих шестикутних призм, які зварюють в місцях стику їх ребер, а в процесі нарощування внутрішнього об'єму їх приварюють пошарово, при цьому наступний шар зміщується відносно попереднього на відстань, яка дорівнює половині більшої діагоналі призми, що проходить між точками зовнішньої поверхні призми, а точкове зварювання виконують в місцях їх перекриття.
- 20 6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що за рахунок кільцевого сканування лазерного випромінювання із амплітудою порядку 1,5 діаметра зварної точки і частотою 50-250 Гц отримують зварну точку, яка має ширину перерізу в місці з'єднання витратних елементів не менше ніж 1,2-1,6 від товщини стінки елемента і глибину провару 1,1-1,5 від значень товщини стінки витратного елемента, що зварюють.
- 25 7. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що суцільну оболонку формують наплавленням одного або кількох сплавів, що мають хімічний склад, відмінний від хімічного складу сплаву, з якого виконані витратні елементи.
- 30 8. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що для точкового зварювання застосовують лазерно-плазмовий спосіб для отримання з'єднання прорізними точковими швами.



Фіг. 1



Фіг. 2