



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **162495** (13) **U**
(51) МПК (2026.01)

B33Y 10/00

B33Y 30/00

B22F 12/80 (2021.01)

B22F 10/37 (2021.01)

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2025 03690**

(22) Дата подання заявки: **29.07.2025**

(24) Дата, з якої є чинними
права інтелектуальної
власності: **02.04.2026**

(46) Публікація відомостей
про державну
реєстрацію: **01.04.2026, Бюл.№ 13**

(72) Винахідник(и):

**Головачук Ігор Павлович (UA),
Пустюльга Сергій Іванович (UA),
Бондарчук Юлія Сергіївна (UA)**

(73) Володілець (володільці):

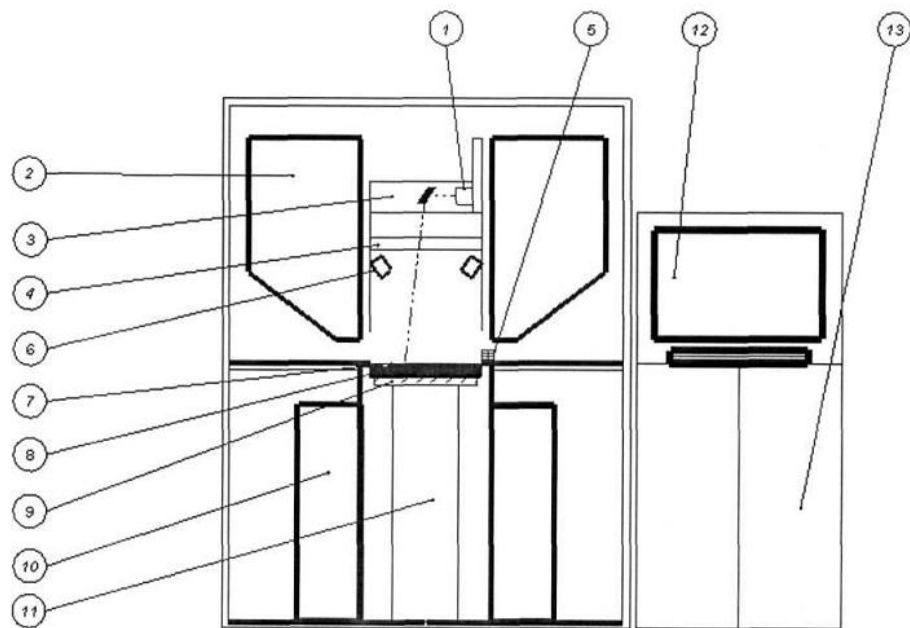
**ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ,
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018 (UA)**

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ТРИВИМІРНОГО ДРУКУ ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПІКАННЯ

(57) Реферат:

Спосіб керування якістю тривимірного друку за технологією селективного лазерного спікання включає нанесення шару порошку на платформу, формування воксельної моделі зазначеного шару та визначення його фрактальної розмірності. Здійснюють одночасне знімання порошкового шару під кутом, використовуючи стереокамери, з яких додатково отримують інформацію про внутрішню мікроструктуру шару порошку шляхом розділення на підшари, проведення розрахунку фрактальної розмірності та ступеня кластеризації порожнин з метою ідентифікації прихованих неоднорідностей, після чого застосовують до шару порошку п'єзовібраційний вплив з регульованими характеристиками, який забезпечує зміну просторового розташування частинок порошку, а також виконують коригування укладання порошку шляхом його вирівнювання та ущільнення згідно з результатами аналізу. При цьому формують порошковий шар із стабілізованими параметрами перед етапом спікання.

UA 162495 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до галузі адитивного виробництва (тривимірного друку), а саме стосується способів підвищення якості готових виробів шляхом аналізу та коригування геометричної мікроструктури порошкового шару до його спікання.

В умовах сучасного виробництва достатньо популярним став тривимірний друк виробів з порошкових матеріалів із використанням технологій пошарового їх формування на основі селективного лазерного спікання. В таких інноваційних виробничих системах якість кінцевого результату значною мірою залежить від мікроструктури кожного порошкового шару для поетапного формування виробу.

Відомий спосіб тривимірного друку. Він пропонує ряд інноваційних рішень для тривимірного друку, зокрема для підвищення точності, швидкості виготовлення та покращення якості виробів. Технологія дозволяє зменшити відходи матеріалу, оскільки спосіб декларує оцінювання та врахування геометричних характеристик порошку [див. опис до патенту US 2021/0069783A1, дата публікації 11.03.2021 р., винахідники: Payman Torabi, Matthew Petros].

Недоліками пропонованого способу є наступне: не розглядається внутрішня структура поданих на платформу принтера шарів порошку, яка є визначальною характеристикою якості тривимірного друку; не наведені практичні рекомендації щодо керування технологічними процесами подачі порошкових шарів для лазерного спікання; не використовуються показники фрактальної розмірності шарів порошку для оцінки їх впливу на якість друку виробів.

Найбільш близьким аналогом корисної моделі за технічною суттю є патент "Адитивне виробництво для швидкого прототипування порошкових матеріалів". Спосіб пропонує визначати середню фрактальну розмірність частинок як показника гладкості поверхні насипного шару порошку. Патент пропонує використовувати спосіб обчислення фрактальної розмірності поверхневого шару на основі зображень із електронного мікроскопа [див. опис до патенту US 10710157B2, дата публікації 14.07.2020 р., винахідники: Hiroyuki Ibe, Junya Yamada].

Недоліками даного способу є: використання показників фрактальної розмірності зосереджується тільки для аналізу властивостей порошкових матеріалів, а не на процесах контролю їх впливу на якість виробів під час друку; зосередженість лише на аналізі поверхні порошкового шару (двовимірна оцінка), без урахування фрактальної геометрії та внутрішньої тривимірної структури шару, що не дозволяє передбачити ані теплопровідність шару, ані ймовірність дефектів у структурі виробу після спікання; відсутні пропозиції щодо інтеграції фрактальної розмірності в систему моніторингу або управління якістю тривимірного друку за технологіями селективного лазерного спікання.

Задачею корисної моделі є розробка способу керування якістю селективного лазерного спікання, при тривимірному друку виробів на основі аналізу та коригування внутрішньої тривимірної мікроструктури тривимірного шару нанесеного порошку за допомогою показників його фрактальної розмірності та ступеня кластеризації порожнин.

Поставлена задача вирішується тим, що за способом керування якістю тривимірного друку за технологією селективного лазерного спікання, що включає нанесення шару порошку на платформу, формування воксельної моделі зазначеного шару та визначення його фрактальної розмірності, згідно з корисною моделлю, здійснюють одночасне знімання порошкового шару під кутом, використовуючи стереокамери, з яких додатково отримують інформацію про внутрішню мікроструктуру шару порошку шляхом розділення на підшари, проведення розрахунку фрактальної розмірності та ступеня кластеризації порожнин з метою ідентифікації прихованих неоднорідностей, після чого застосовують до шару порошку п'єзовібраційний вплив з регульованими характеристиками, який забезпечує зміну просторового розташування частинок порошку, а також виконують коригування укладання порошку шляхом його вирівнювання та ущільнення згідно з результатами аналізу, при цьому формують порошковий шар із стабілізованими параметрами перед етапом спікання.

Запропонований підхід дозволить візуалізувати та аналізувати внутрішню структуру порошку із тривимірною роздільною здатністю. Розрахунок фрактальної розмірності та ступеня кластеризації порожнин здійснюється для шару у розрізі по осі нанесення, що дає змогу "зазирнути всередину" шару та виявити приховані неоднорідності. Такий спосіб має перевагу в точності та репрезентативності оцінки якості підготовки порошкового середовища для адитивного виготовлення, оскільки враховує вплив важливих характеристик, які безпосередньо впливають на результати лазерного спікання: теплопровідність, наявність дефектних зон, локальні порожнини та анізотропію густини розташування частинок.

Спосіб забезпечується модернізованим для селективного лазерного спікання тривимірним принтером. На кресленні (фіг. 1), схематично представлено загальний вигляд пристрою для реалізації способу, із позначенням основних функціональних блоків: 1 - лазерний блок; 2 - блоки подачі порошку (дозатори); 3 - скануючий блок із системою дзеркал; 4 - блок нагрівальних

елементів; 5 - вирівнювач шару порошку (ракель); 6 - стереокамери; 7 - один шар нанесеного порошку; 8 - рухома платформа; 9 - блок п'єзовібрації, для ущільнення порошку; 10 - контейнери для збору надлишку порошку і повторного його використання; 11 - механізм для приведення руху платформи із п'єзовібратором; 12 - обчислювальний блок; 13 - програмний блок для корекції параметрів нанесення порошку та процедури лазерного спікання.

Пристрій для тривимірного друку на основі селективного лазерного спікання, адаптований до способу керування якістю за допомогою показників фрактальної розмірності та ступеня кластеризації порожнин, включає наступні етапи роботи та взаємодію окремих елементів (фіг. 1). Порошок надходить із дозаторів 2 на рухому платформу 8, де формується новий шар 7, надлишки порошку повертаються в контейнери 10 для повторного використання. Вирівнювач шару 5 (ракель) розподіляє порошок на поверхні платформи. Стереокамери 6 здійснюють одночасне знімання порошкового шару під кутом, що дозволяє сформувати глибинну карту шару порошку. Ця карта дає змогу виявити рельєф, заглиблення, локальні ущільнення. На основі глибинної карти формується тривимірна воксельна модель шару (фіг. 2), в якій кожна точка має координати X, Y, Z. Це дозволяє простежити внутрішню структуру шару, а не лише його поверхню.

Воксельна модель розбивається по осі Z на 3-5 підшарів (фіг. 3), що відповідають умовним рівням усередині шару порошку (наприклад, 20-40-60-80-100 мкм). Для кожного підшару (фіг. 4) здійснюється обчислення фрактальної розмірності. Після чого визначаються значення фрактальної розмірності всього тривимірного шару та ступінь кластеризації порожнин, яке є основою для прийняття рішень.

Після розрахунку фрактальних показників система 13 переходить до прийняття рішення. Якщо показник фрактальної розмірності та ступінь кластеризації порожнин більші допустимого порога, автоматично активується блок п'єзовібрації 9 для ущільнення порошку, що забезпечує ущільнення частинок у шарі (фіг. 5).

Якщо фрактальна розмірність у межах норми, система переходить до наступного етапу без корекції та активує лазерний блок 1 і скануючу систему із дзеркалами 3. Відбувається процедура селективного лазерного спікання в зонах відповідно до побудованої тривимірної моделі. Цей цикл повторюється після нанесення кожного нового шару порошку.

Інноваційність даного способу полягає у впровадженні діагностики структури порошкового шару до його спікання, що дозволяє зменшити ймовірність браку та забезпечити високу якість виробів.

Такий підхід до селективного лазерного спікання тривимірного друку дає зниження частки браку, підвищення якості та однорідності готових виробів і потребує лише модернізації окремих вузлів принтера (камери, п'єзомодуля, ПЗ), що знижує вартість провадження.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб керування якістю тривимірного друку за технологією селективного лазерного спікання, що включає нанесення шару порошку на платформу, формування воксельної моделі зазначеного шару та визначення його фрактальної розмірності, який **відрізняється** тим, що здійснюють одночасне знімання порошкового шару під кутом, використовуючи стереокамери, з яких додатково отримують інформацію про внутрішню мікроструктуру шару порошку шляхом розділення на підшари, проведення розрахунку фрактальної розмірності та ступеня кластеризації порожнин з метою ідентифікації прихованих неоднорідностей, після чого застосовують до шару порошку п'єзовібраційний вплив з регульованими характеристиками, який забезпечує зміну просторового розташування частинок порошку, а також виконують коригування укладання порошку шляхом його вирівнювання та ущільнення згідно з результатами аналізу, при цьому формують порошковий шар із стабілізованими параметрами перед етапом спікання.

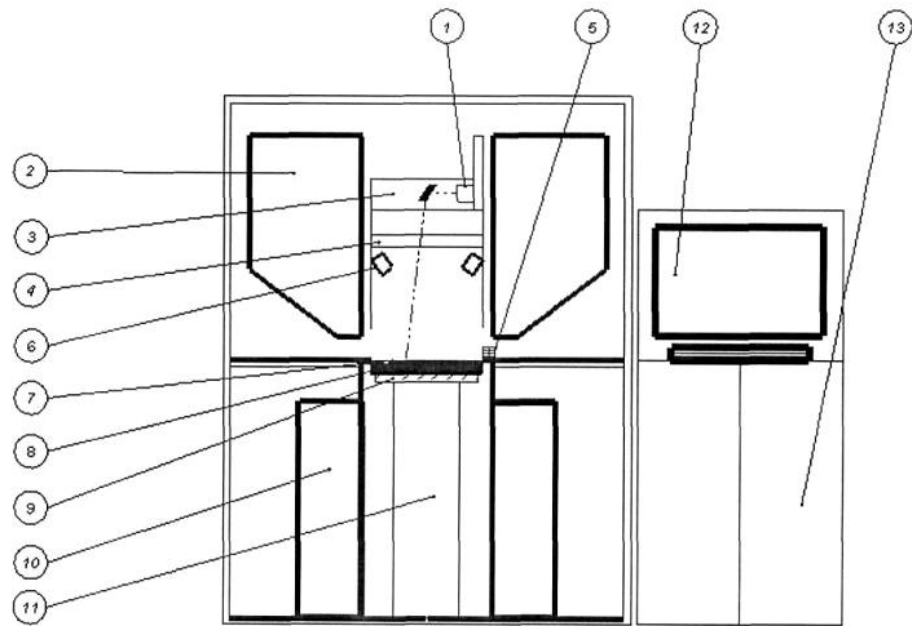


Fig. 1

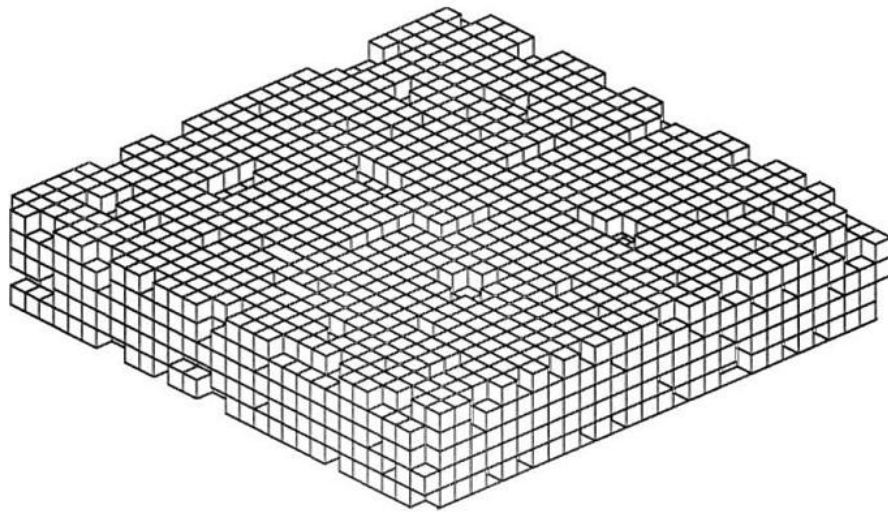


Fig. 2

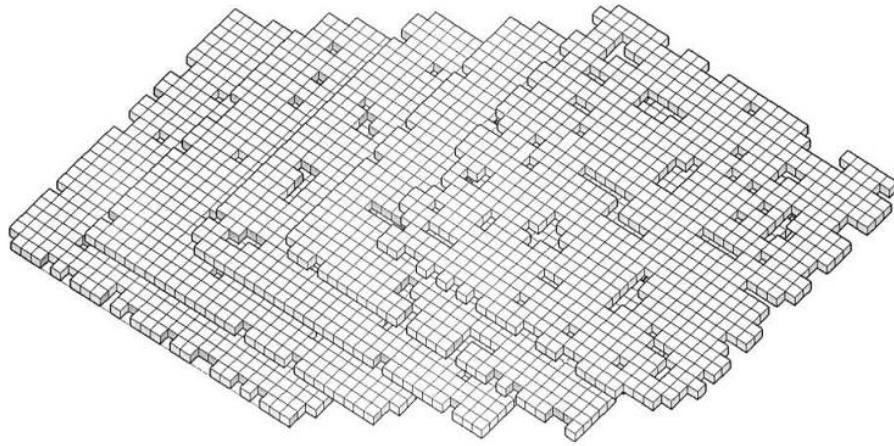


Fig. 3

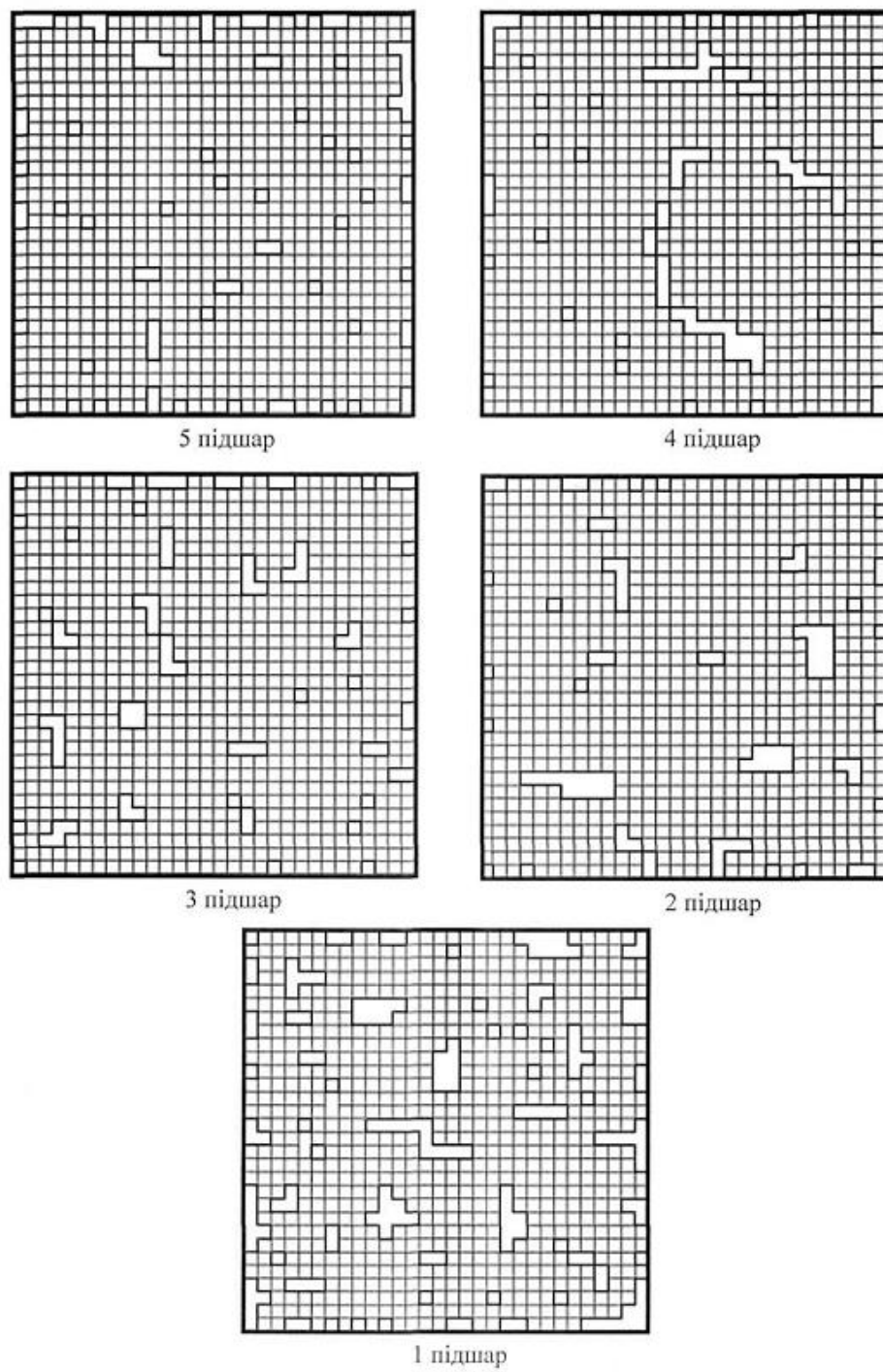


Fig. 4

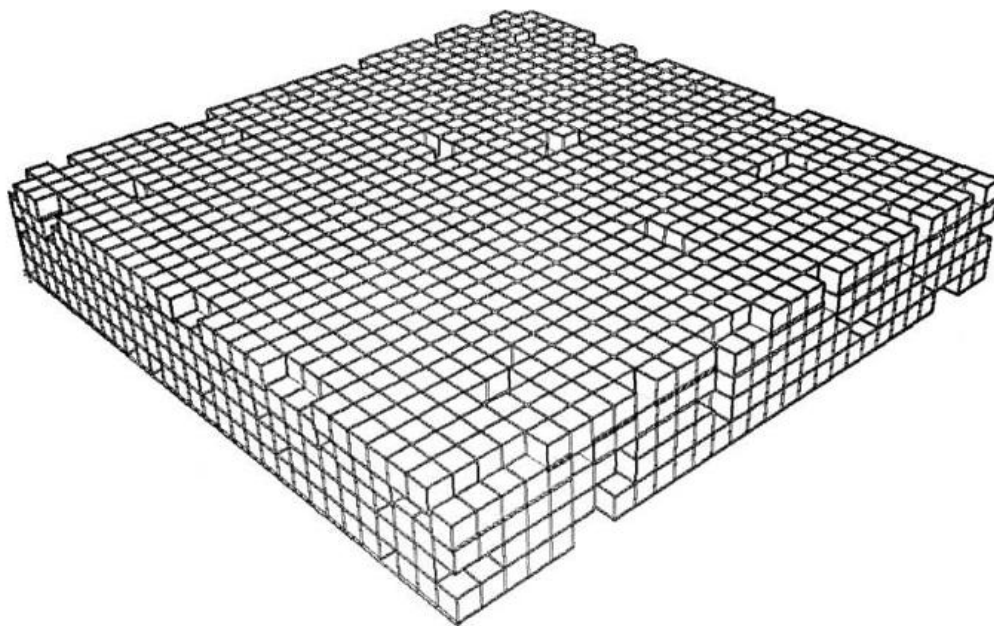


Fig. 5