



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **117759** (13) **U**  
(51) МПК (2017.01)

**B29C 35/08** (2006.01)

**B29C 41/02** (2006.01)

**G06F 17/50** (2006.01)

**G06F 19/00**

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2017 00060</b>	(72) Винахідник(и): <b>Доброскок Володимир Ленінмирович (UA), Гарашенко Ярослав Миколайович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>03.01.2017</b>	(73) Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.07.2017</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.07.2017, Бюл.№ 13</b>	

## (54) СПОСІБ ПОШАРОВОЇ ПОБУДОВИ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛАЗЕРНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА НА БАЗІ ТРІАНГУЛЯЦІЙНОЇ 3D МОДЕЛІ

### (57) Реферат:

Спосіб пошарової побудови виробів з використанням лазерного джерела тепла на базі тріангуляційної 3D моделі включає періодичне опускання платформи на величину кроку побудови і подальше формування шарів. Виконують розподіл шарів матеріалу на послідовні групи, за умови:

$$\sum_{i=1}^k h_i \leq h_{\max},$$

де  $h_i$  - крок побудови  $i$ -го шару;  $h_{\max}$  - максимально допустима величина кроку побудови, що визначається технологічними можливостями установки і властивостями первісного матеріалу;  $k$  - кількість шарів у групі. При формуванні шару матеріалу задають набір параметрів керування лазерним промінням для окремих обмежених зон: параметри лазерного проміння для спікання одного шару - зона, отримана в результаті операції різниці зони обробки поточного шару та зони формування матеріалу на глибину групи шарів. Параметри для спікання групи шарів на останньому шарі групи - зона формування матеріалу на глибину групи. Відсутня обробка на попередніх шарах групи - зона формування матеріалу на глибину групи.

UA 117759 U



Корисна модель належить до формоутворення, зокрема до пошарової побудови виробів на базі триангуляційної 3D моделі та може використовуватися в машинобудуванні.

Відомі способи побудови виробів пошаровими методами на установках лазерної стереолітографії та селективного лазерного спікання, при яких вироби виготовляються шляхом послідовного нероз'ємного з'єднання елементарних шарів матеріалу (полімеру, кераміки, металу) з використанням лазерного джерела тепла [1, 2]. Пошарові методи реалізують прямий перехід від віртуальної CAD-моделі до готового виробу. CAD-модель виробу розсікається серією досить тонких шарів (для більшості сучасних установок - 0,025÷0,2 мм товщиною) з отриманням набору зон побудови в січних площинах. Товщина шару обмежується технологічними можливостями застосовуваної установки і вибирається з урахуванням вимог точності та часу побудови. Велика товщина забезпечує менший час побудови при погіршенні фізико-механічних властивостей і точності виготовлення виробів. При меншій товщині потрібно більше часу на побудову, але забезпечується більш висока точність виготовлення.

Відомі способи [3-6] пошарової побудови з перемінним кроком забезпечують мінімальний час виготовлення при заданих обмеженнях, а саме допустимою похибкою форми або допусками на розміри виробу.

Найближчим аналогом до запропонованого є спосіб [7], що передбачає створення набору даних компенсації або функції компенсації для керування лазерним променем на основі аналізу триангуляційної моделі виробу та активного моніторингу відхилення контурів зон обробки. Функція компенсації створюється для всієї зони обробки або характерної її ділянки в залежності від розмірів і форми виробу або кута нахилу поверхонь. Пропонована функція спрямована на компенсування негативних технологічних особливостей процесу пошарової побудови (внутрішніх напружень, що виникають через нерівномірність температурних полів у шарах матеріалу, залишкових деформацій та ефекту "ступінчастості" похилих поверхонь), що знижують точність виготовлення. Наприклад, для зниження ефекту "ступінчастості" коректують параметри лазерного проміння при обробці контуру зон з урахуванням кута нахилу поверхні.

Загальний недолік способів [3-7] - це обробка лазерним промінням всієї зони в січних площинах незалежно від глибини шару (при мініальному або максимальному кроці побудови), що приводить до невиправдано більшого часу виготовлення виробу.

Задачею корисної моделі є розширення можливості застосування способів пошарової побудови виробів без обмежень на їх складність та можливості регулювання точності виготовлення без істотного зниження продуктивності.

Поставлена задача вирішується тим, що при здійсненні способу пошарової побудови виробів з використанням лазерного джерела тепла на базі триангуляційної 3D моделі, що включає періодичне опускання платформи на величину кроку побудови і подальше формування шарів, для підвищення продуктивності формоутворення, виконують розподіл шарів матеріалу на послідовні групи за умови:

$$\sum_{i=1}^k h_i \leq h_{\max},$$

де  $h_i$  - крок побудови  $i$ -го шару;

$h_{\max}$  - максимально допустима величина кроку побудови, що визначається технологічними можливостями установки і властивостями первісного матеріалу;

$k$  - кількість шарів у групі. При формуванні шару матеріалу задають набір параметрів керування лазерним промінням для окремих обмежених зон: параметри лазерного проміння для спікання одного шару - зона, отримана в результаті операції різниці зони обробки поточного шару та зони формування матеріалу на глибину групи шарів; параметри для спікання групи шарів на останньому шарі групи - зона формування матеріалу на глибину групи; відсутня обробка на попередніх шарах групи - зона формування матеріалу на глибину групи.

Відмітна ознака корисної моделі, що описує обмеження зони обробки лазерним промінням шару матеріалу і формоутворення групи шарів у їх загальній зоні, представляється раніше невідомим технологічним прийомом.

На Фіг. 1-3 зображено три можливих варіанти розташування зони обробки лазерним промінням для суміжних шарів матеріалу.

Первинною інформацією для пошарових способів виготовлення є триангуляційна модель виробу. Пропонований спосіб реалізується за наступною послідовністю дій:

1. Орієнтація і розміщення виробу на платформі установки.
2. Створення набору січних площин (зони побудови  $A_1, \dots, A_N$ ) по заданому постійному або змінному кроці побудови. У відповідності з технологічними можливостями устаткування і вимог до фізико-механічних властивостей виробу визначаються мініально і максимально допустима

величина кроку побудови  $h_{\min}$ ,  $h_{\max}$ . При побудові з постійним кроком визначається мінімальне значення кратне максимально допустимому ( $h_{\max}/h_{\min} = n_{\max/\min}$ ). При змінному - задається значення кратне мінімально допустимому:

$$h_i = m \cdot h_{\min}, \{m \in \mathbb{N} | 1 \leq m \leq n_{\max/\min}\},$$

5 де  $h_i$  - крок побудови  $i$ -го шару.

3. Розподіл набору січних площин  $A_1, \dots, A_N$  (набору шарів) на послідовні групи за умови, коли сумарна глибина шарів групи менше максимально допустимої величини:

$$\sum_{i=1}^k h_i \leq h_{\max}.$$

4. Визначення зон побудови  $A_1, \dots, A_k$  для кожної групи окремо:

10 - для груп, що містять одну січну площину  $A_k$ , зона не змінюється:

$$A'_k = A_k, \text{ якщо } k = 1.$$

- для груп, що містять кілька січних площин  $A_1, \dots, A_k$ , (можливі варіанти зон обробки, на прикладі групи з двох шарів, представлено на Фіг. 1-3) визначають:

- зону обробки за параметрами лазерного проміння для формоутворення матеріалу

15 глибиною всієї групи шарів  $\sum_{i=1}^k h_i$ , в  $k$ -й січній площині (за допомогою операції перетину " $\cap$ " по розрахункових алгоритмах [8, 9]):

$$A'_{k(\sum_{i=1}^k h_i)} = A_1 \cap \dots \cap A_{k-1} \cap A_k;$$

- зона обробки за параметрами лазерного проміння для формоутворення матеріалу глибиною  $h_k$  поточної січної площини (операція різниці " $\setminus$ " [8, 9]):

$$20 \quad A'_1 = A_1 \setminus A'_{k(\sum_{i=1}^k h_i)}, \dots, A'_k = A_k \setminus A'_{k(\sum_{i=1}^k h_i)};$$

- для груп, що містять більше 2-х січних площин (шарів матеріалу), зона обробки для формоутворення матеріалу глибиною двох суміжних шарів (операції перетину " $\cap$ ", об'єднання " $\cup$ " і різниці " $\setminus$ " [8, 9]):

$$A'_{k(\sum_{i=1}^k h_i)} = A_k \setminus A'_{k(\sum_{i=1}^{k-1} h_i)} \cup (A_{k-1} \cap A_k);$$

25 5. Коректування набору параметрів керування лазерним промінням.

6. Пошарова побудова виробу.

Застосування запропонованого способу буде мати свої особливості залежно від використовуваної установки пошарової побудови. Наприклад, для системи лазерного вибіркового спікання на базі установки Vanguard Si2 SLS фірми 3D Systems (США). Визначено

30 мінімально допустиму величину кроку побудови -  $h_{\min} = 0.08$  мм та максимально допустиму -  $h_{\max} = 0.16$  мм. Січні площини задавались з постійним кроком побудови  $h_i = 0.08$  мм. Поділ набору шарів здійснювали на групи по два. В цьому випадку для зони  $A'_{2(\sum_{i=1}^2 h_i)}$  глибина спікання

буде рівною  $h_{\max}$ . Для зони  $A'_1 = A_1 \setminus A'_{2(\sum_{i=1}^2 h_i)}$  та  $A'_2 = A_2 \setminus A'_{2(\sum_{i=1}^2 h_i)}$  глибина спікання -  $h_{\min}$ .

35 В залежності від глибини спікання виконується корекція параметрів температурного режиму та управління лазерним промінням. Основний параметр - потужність лазерного джерела тепла  $W_{\text{laser}}$ . При використанні матеріалу DuraForm GF для зони  $A'_{2(\sum_{i=1}^2 h_i)}$  параметр  $W_{\text{laser}} = 58.5$  Вт;

для зон  $A'_1, A'_2$  -  $W_{\text{laser}} = 31$  Вт.

Для кожної групи шарів в результаті зменшується час обробки лазерним промінням за рахунок зменшення зони формоутворення першого шару у групі з урахуванням зони  $A'_{2(\sum_{i=1}^2 h_i)}$ . В

40 результаті запропонований спосіб дозволяє зменшити час на формоутворення шарів матеріалу та виготовлення виробу в цілому.

Використання запропонованого способу пошарової побудови забезпечує зменшення часу виготовлення без зниження якості поверхонь виробів тому, що їх поверхня формується при

мінімальному кроці побудови. Також спосіб дозволить зменшити припуск під механічну обробку для усунення ефекту "ступінчастості" на поверхні виробів.

Джерела інформації:

1. Патент № 4575330 США, Apparatus for production of three-dimensional objects by stereolithography, Charles W. Hull (California, USA). - №06/638905; Заявл. 08.08.1984; Опубл. 11.03.1986, <https://www.google.com/patents/US4575330>.
2. Патент № 4863538 США, МПК В27Н 3/00, В32В 31/00, В23К 9/00, В29С 67/00. Method and apparatus for producing parts by selective sintering /Carl R. Deckard; Board of Regents, The University of Texas System. - № 920580; Заявл. 17.10.1986; Опубл. 05.09.1989, <https://www.google.com/patents/US4863538>.
3. Вітязев Ю.Б. Розширення технологічних можливостей прискороного формоутворення способом стереолітографії: Автореф. дис... к-та техн. наук: 05.02.08 /НТУ "Харк. пол. ін-т.", 2004. - 20 с.
4. Патент № 46418 U УКРАЇНА, МПК В29С 35/08, В29С 41/02, G06F 17/50. Спосіб пошарової побудови виробів на базі вихідної триангуляційної 3D моделі / Доброскок В.Л., Чернишов С.І., Вітязев Ю.Б., Абдурайімов Л.Н.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т "Харківський політехн. ін-т". - № u200905500; заявл. 01.06.2009; опубл. 25.12.2009, Бюл. № 24.
5. Патент № 2262741 RU, МПК G06Т 17/20, 17/40. Спосіб лазерно-комп'ютерного макетирования /Сапрыкин А.А., Петрушин С.И., Вальтер А.В., Пономаренко С.В.; Томский политехнический университет (RU). - № 2004117265/09; заявл. 07.06.2004; опубл. 20.10.2005, Бюл. № 29.
6. Пат. 2268493 RU, МПК G06Т G06Т 17/20, 17/40. Спосіб лазерно-комп'ютерного макетирования /Сапрыкин А.А. (RU), Петрушин С.И. (RU), Сапрыкина Н.А. (RU); Томский политехнический университет (RU). - № 2004119122/09; заявл. 24.06.2004; опубл. 20.01.2006, Бюл. № 2.
7. Пат. 20070175875 США, МПК В23К 26/00, В22F 3/105, А61С 13/00 /Ingo Uckelmann, Frank Hagemeyer, Carsten Vagt. Method and device use to produce a set of control data for producing products by free-form sintering and/or melting, in addition to a device for the production thereof - № 10/590677; Заявл. 16.02.2005; Опубл. 02.08.2007, <https://www.google.com.ua/patents/US20070175875>.
8. Ченцов О.В., Скворцов А.В. Обзор алгоритмов построения оверлеев многоугольников. 2003, <http://www.ict.edu.ru/ft/004461/46.pdf>.
9. Тюкачев Н.А. Алгоритм построения оверлея многоугольников и многогранников //Вестник Воронежского государственного технического университета, Вып. 5, Т. 5. - Воронеж: ВГУ. - 2009. - С. 51-63.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

40

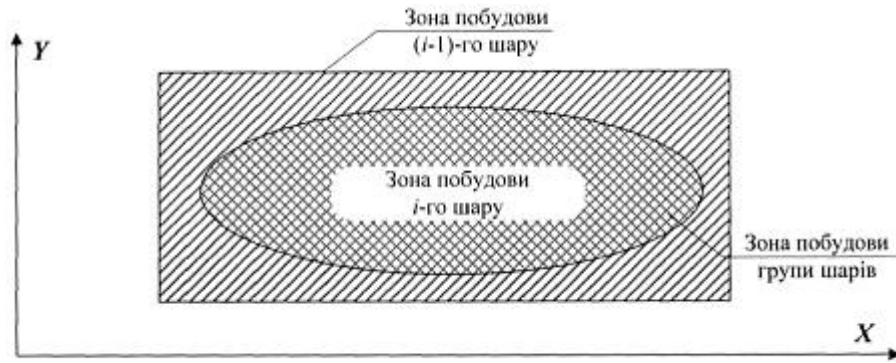
Спосіб пошарової побудови виробів з використанням лазерного джерела тепла на базі триангуляційної 3D моделі, що включає періодичне опускання платформи на величину кроку побудови і подальше формування шарів, який **відрізняється** тим, що виконують розподіл шарів матеріалу на послідовні групи, за умови:

$$45 \quad \sum_{i=1}^k h_i \leq h_{\max},$$

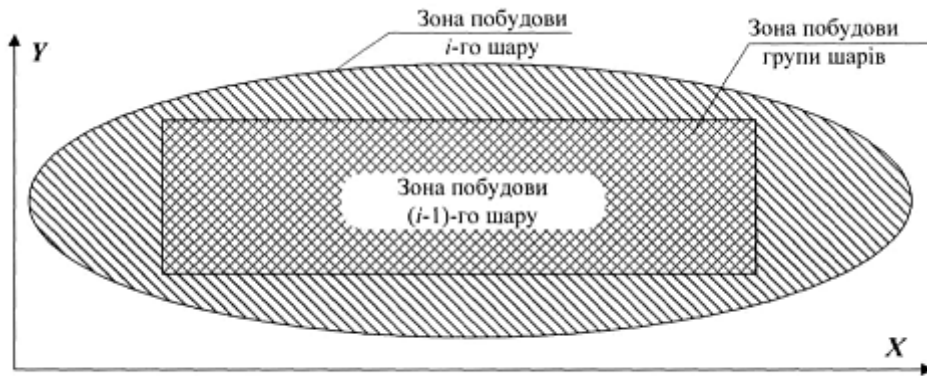
де  $h_i$  - крок побудови  $i$ -го шару;  $h_{\max}$  - максимально допустима величина кроку побудови, що визначається технологічними можливостями установки і властивостями первісного матеріалу;  $k$  - кількість шарів у групі,

50

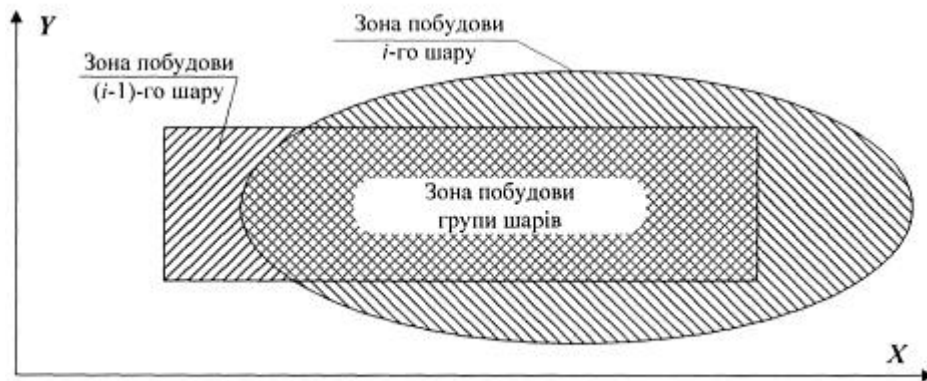
при формуванні шару матеріалу задають набір параметрів керування лазерним промінням для окремих обмежених зон: параметри лазерного проміння для спікання одного шару - зона, отримана в результаті операції різниці зони обробки поточного шару та зони формування матеріалу на глибину групи шарів; параметри для спікання групи шарів на останньому шарі групи - зона формування матеріалу на глибину групи; відсутня обробка на попередніх шарах групи - зона формування матеріалу на глибину групи.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

---

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

---

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