

УДК 621.9.048

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРІЇ КУТІВ УТВОРЮЮЧИХ КОАКСІАЛЬНОГО СОПЛА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕННЯ ПОРОШКОВОЇ КОМПОЗИЦІЇ

Кондрашев П.В.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація: Технологія лазерного прототипування, яка базується на процесі лазерного сплавлення порошкової композиції, в сучасному світі отримала широке застосування в різноманітних галузях промисловості. Це пов'язано рядом переваг цієї технології в порівнянні з традиційними технологічними процесами. Перш за все використання в якості інструменту сфокусованого лазерного променя дає можливість створювати вироби не тільки з металевих, а й з керамічних матеріалів, також в значній мірі економиться витрата машинного часу на виготовлення виробу, відсутні механічні напруження які присутні при використанні різальних інструментів та інші фактори. Тому не зважаючи на разючі успіхи в області розвитку сучасних технологічних процесів швидкого виготовлення деталей, з застосуванням лазерної технології, перед розробниками стоять питання підвищення продуктивності та якості виробів, виготовлених за допомогою швидкого прототипування.

Ключові слова: лазерне прототипування, критерій Кохрена, функція відгуку, t -критерій Ст'юдента

Методика проведення дослідження продуктивності процесу лазерного сплавлення порошкової композиції. Аналіз апріорної інформації [1-5] показав наявність великої кількості технологічних факторів з різним ступенем статистичної значимості кожного з них на процес лазерного сплавлення порошкової композиції. Серед основних технологічних факторів найбільш суттєвий вплив на процес лазерного сплавлення порошкової композиції є: масова витрата порошку, геометрична конфігурація засобу доставки порошкової композиції в зону лазерної обробки, швидкість переміщення підкладки. Для дослідження продуктивності процесу лазерного сплавлення порошкової композиції ПГСР-3 був обраний симетричний квазі- D -оптимальний план Пісочинського для 3-х технологічних факторів, що має хороші статистичні характеристики та реалізується рівнянням регресії другого порядку [6].

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{i=k} b_i x_i + \sum_{i < j}^{i=k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{ii=1}^{i=k} b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

де k -кількість технологічних факторів; b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} -коефіцієнти рівняння регресії; i , j -індекси.

В якості функції відгуку була використана продуктивність процесу лазерного сплавлення порошкової композиції (T). В якості технологічних факторів впливу на продуктивність процесу лазерного сплавлення порошку (визначених раніше), за умов стабілізації факторів діаметра лазерного променя, щільності та потужності лазерного випромінювання були використані масова витрата порошку (x_1), швидкість переміщення підкладки (x_2), геометрія кутів утворюючих сопла (x_3). Коефіцієнти рівняння регресії b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} -моделі **Ошибка! Источник ссылки не найден.** розраховувалися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення з використанням математичного апарату лінійної алгебри [6], залежність (2). Формування матриці умов експерименту X для 3-х незалежних змінних (x_1 , x_2 , x_3), проводилося з використанням так званих множинностей повно факторного експерименту 22 [6]. Варіювання технологічних факторів проводилося на трьох рівнях (мінімум, центр, максимум). Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії, побудова математичної моделі продуктивності процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу та перевірка адекватності рівняння регресії проводилися за наступним алгоритмом.

Однорідність ряду строкових дисперсій було перевірено за критерієм Кохрена залежність (1) [6].

$$G^{розр.} = \frac{S_{y_{MAX}}^2}{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2} \quad (1)$$

де $G^{розр.}$ -розрахункове значення критерію Кохрена; $S_{y_{MAX}}^2$ -максимальне значення функції відгуку в строчці; S_y^2 -значення строкової дисперсії; N -кількість дослідів.

Дисперсію дослідів визначали за формулою (2) [6].

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2}{N} \quad (2)$$

Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії проводився за формулою (3) [6].

$$B = (X^T X)^{-1} (X^T Y) \quad (3)$$

де X -матриця умов експерименту; Y -функція відгуку.

Розрахунок дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії залежність (4).

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2} \quad (4)$$

Розрахунок інтервалів довіряння проводився за формулою (5).

$$\Delta_{b_i} = t S_{b_i} \quad (5)$$

де t -критерій Ст'юдента [6].

Перевірка гіпотези стосовно адекватності отриманої математичної моделі продуктивності процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу, проводилася з використанням критерію Фішера F [6]. Достовірність результатів експерименту за даним критерієм відповідає 5%-й похибці (6).

$$F^{розр.} \leq F^{табл.} \quad (6)$$

де $F^{розр.}$ -розрахункове значення критерію Фішера [6];

$F^{табл.}$ -табличне значення критерію Фішера [6].

Рівні варіювання технологічних факторів (x_i) були визначені експериментально (табл.).

Таблица

Рівні варіювання технологічних факторів

Рівні варіювання технологічних факторів	Незалежні змінні		
	x_1	x_2	x_3
Розмірність	г/с	мм/с	град.
Основний рівень	0,3	2,0	40
Інтервал варіювання	0,1	1,0	10
Верхній рівень	0,4	3,0	50
Нижній рівень	0,2	1,0	30

Проведена статистична обробка результатів експериментальних досліджень показала, що абсолютні значення коефіцієнтів $b_1, b_2, b_{12}, b_{13}, b_{23}$ менше їхніх інтервалів довіряння, отже ці коефіцієнти слід визнати статистично не значимими. Причому вилучення цих коефіцієнтів з математичної моделі не потребує перерахунку решти коефіцієнтів рівняння регресії, оскільки b_i, b_{ij} не мають кореляції з іншими коефіцієнтами рівняння. Перевірка адекватності моделі продуктивності процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу (T) показала, що статистична гіпотеза про адекватність підтвердилася, рівняння регресії адекватне т.я., виконується умова (7). Для детального аналізу ступеню статистичної значимості кожного з

технологічних факторів на продуктивність процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу ПГСП-3 була побудована рангова діаграма (рис. 1, а).

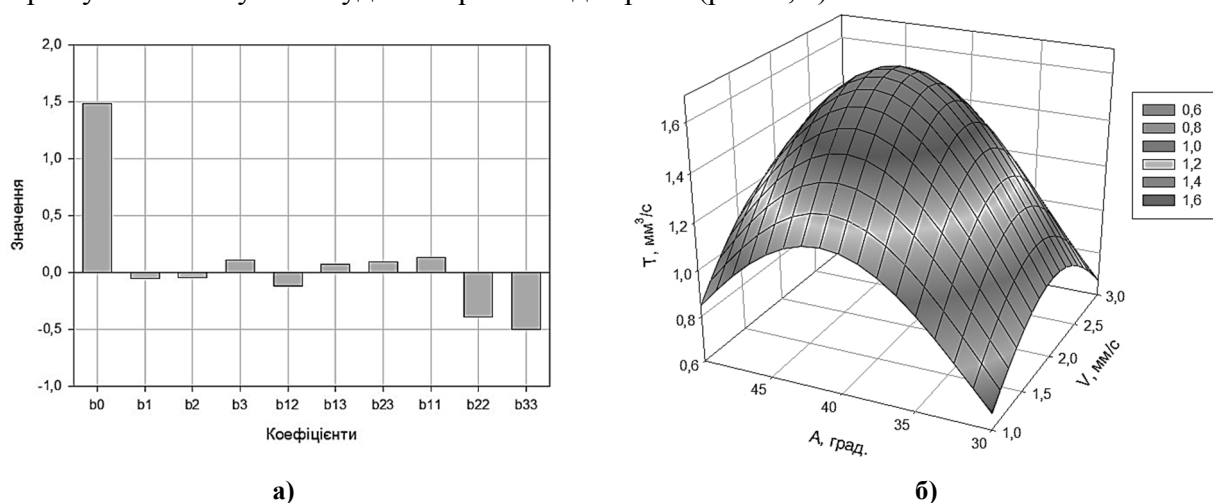


Рис. 1. Рангова діаграма статистичної значимості технологічних факторів на функцію відгуку (T) (а) та залежність продуктивності сплавленого компонента (T) від геометрії кутів утворюючих сопла (A) для різних значень швидкості переміщення підкладки (V) з масовою витратою порошку 0,2 г/с.

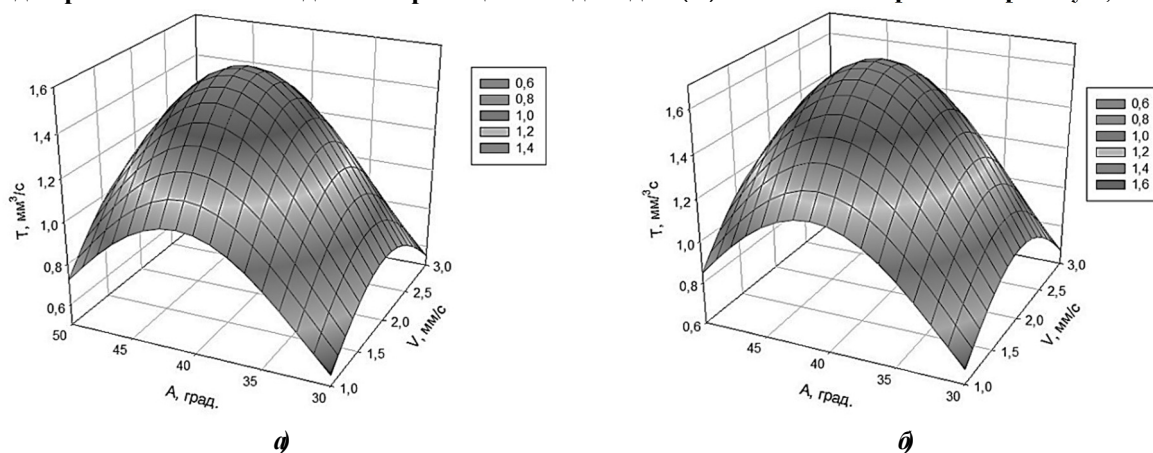


Рис. 2. Залежність продуктивності (T) від геометрії кутів утворюючих сопла (A) для різних значень швидкості переміщення підкладки (V): а)-масова витрата порошку 0,3 г/с, б)-масова витрата порошку 0,4 г/с.

Висновки

1. Отримано математичну модель продуктивності процесу лазерного сплавлення порошкової композиції ПГСП-3, яка в подальшому може використовуватися в якості розрахунку керованих впливів спрямованих на підвищення продуктивності процесу лазерного сплавлення порошку.

2. Підтверджено адекватність теоретичних розрахунків і можливість використання математичних моделей процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу при реалізації технології швидкого виготовлення виробів.

Список літератури:

1. Alimardani M. ON THE 3D MODELING OF GEOMETRICAL FORMATION IN LASER SOLID FREEFORM FABRICATION PROCESS [Електронний ресурс]: Proceedings of International Congress «ICALEO'2006», Scottsdale, USA, Oct. 2006, LIA.-1 електрон. опт. диск (CD-ROM).-Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP.-Назва з контейнера.
2. Pinkerton A.J. A Comparative Study of Multiple Layer Laser Deposition using Water and Gas Atomised 316L Stainless Steel Powders [Електронний ресурс]: Proceedings of International Congress "ICALEO'2002", Scottsdale, USA, Oct. 2002, LIA.-1 електрон. опт. диск (CD-ROM).-Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; Windows 95, 98, 2000, XP.-Назва з контейнера.

3. *Pinkerton A.J. A VERIFIED MODEL OF LASER DIRECT METAL DEPOSITION USING AN ANALYTICAL ENTHALPY BALANCE METHOD* [Електронний ресурс]: Proceedings of International Congress "ICALEO'2007", Orlando, USA, Oct. 2007, LIA.-1 електрон. опт. диск (CD-ROM).-Систем. вимоги: Pentium; 32 Мб RAM; Windows 95, 98, 2000, XP.-Назва з контейнера.
 4. *Кондрашев П.В. Моделирование газодинамики порошковой струи при реализации технологии «RAPID PROTOTYPING»* [Текст] / П.В. Кондрашев.-Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 5/7 (65), 2013р.-с. 4-10.
 5. *Кондрашев П.В. Дослідження продуктивності процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу методом математичної статистики* [Текст] / П.В. Кондрашев.-Збірник наукових праць «Технологія і техніка друкарства», №3 (41), 2013р.-с. 52-61.
 6. *Новик Ф.С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов* [Текст] / Ф.С. Новик, Я.Б. Арсов.-М.: Наука, 1980.-304с.
-