УДК 621.9.048

Кондрашев П.В., канд. техн. наук, доцент
kondrashev@ukr.net
Національний технічний університет України «КПІ ім. І.Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ DMLS

Сучасна кон'юнктура ринку інноваційних технологій спонукає до пошуку нових рішень та підходів спрямованих на покращення ефективності реалізації будь якої технології в будь якої галузі промисловості. Особливо зараз, коли постійно розширюється потреба у використанні нових матеріалів з унікальними фізико-механічними характеристиками, які важко оброблюються традиційними технологіями, це спричинює стрімкому розвитку альтернативних нетрадиційних методів та підходів для обробки матеріалів, які більш відомі як адитивні технології. Одним з розповсюджених технологічних процесів серед них є метод прямого лазерного сплавлення порошкової композиції, більш відомий як DMLS. Показники ефективності цього методу в порівнянні з іншими унікальні, але в той же час, залишається актуальною низка задач спрямованих для пошуку різноманітних рішень та методів для вдосконалення та покращення цієї технології.

Практична реалізація технології DMLS представляє собою складний динамічний процес, ефективність якого залежить від багатьох факторів. Причому одну з вирішальних ролей відіграє ККД витрати порошкового матеріалу. Враховуючі аналіз апріорної інформації в даній роботі було застосовано універсальний підхід, спрямований на підвищення ефективності реалізації технології DMLS [1-3]. Якій включає в себе пошук оптимальних граничних умов для подальшого використання їх в чисельному аналізі гідродинамічних процесів поведінки газопорошкового струменю в коаксіальному соплі та на виході з нього. Для моделювання газодинамічних процесів поведінки газопорошкового струменя було обрано програмний комплекс Ansys CFX, який добре зарекомендував себе для вирішення такого роду задач і включає в себе весь необхідний інструментарій.

Для моделювання руху дисперсної фази у потоці газу (теоретична складова програмного комплексу) CFX з урахуванням розміру фракції порошкової композиції ПГСР-3 60 мкм було використано метод Ейлера, який враховує різницю концентрацій дисперсної фази між 2-ма точками, які визначає дифузійний потік створений турбулентними пульсаціями суцільного середовища. Для розрахунку турбулентності двох фаз була застосована стандартна (k-ε) модель Лаундера-Соплдинга, яка застосовується для моделювання газопорошкових струменів з невеликими градієнтами турбулентних пульсацій. Модель розподілення дисперсної фази будується з урахуванням того, що кожний вихор має нестабільну складову швидкості V_f, період існування τ_e, та довжину L_e. Отже турбулентна швидкість, довжина та період існування кожного вихорю розраховуються на підставі заданих граничних умов турбулентного потоку та визначаються наступним рівнянням (1):

$$V_f' = \Gamma\sqrt{\frac{2k}{3}}, L_e = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k_2^3}{\varepsilon}, \tau_e = \frac{L_e}{\sqrt{\frac{2k}{3}}}, \quad (1)$$

де k-скалярний коефіцієнт енергії турбулентного потоку;

ε-скалярний коефіцієнт розсіювання потоку;

C_μ-постійна турбулентності;

$C_\mu^{\frac{3}{4}}$-фактор обраний для утворення зв'язку між шкалою довжини та довжиною вихорю.

З точки зору практичної складової чисельне моделювання процесу поведінки газопорошкового струменю на відміну від робіт [4, 5] проводилося для базової конфігурації

коаксіального сопла з геометрією твірних внутрішнього та зовнішнього сопел 40°. Граничні умови, які необхідні для побудови сітки кінцевих елементів 3-D моделі форми газопорошкового струменя формувалися з урахуванням керування величиною електромагнітного поля, яке власне дало можливість зформувати початкові параметри геометрії просторового розподілення газопорошкових потоків для CAD-системи. Тобто експериментальним шляхом було визначено оптимальний діапазон кутів (30°-70°) твірних внутрішнього та зовнішнього сопел з урахуванням величини електромагнітного поля (рис. 1).

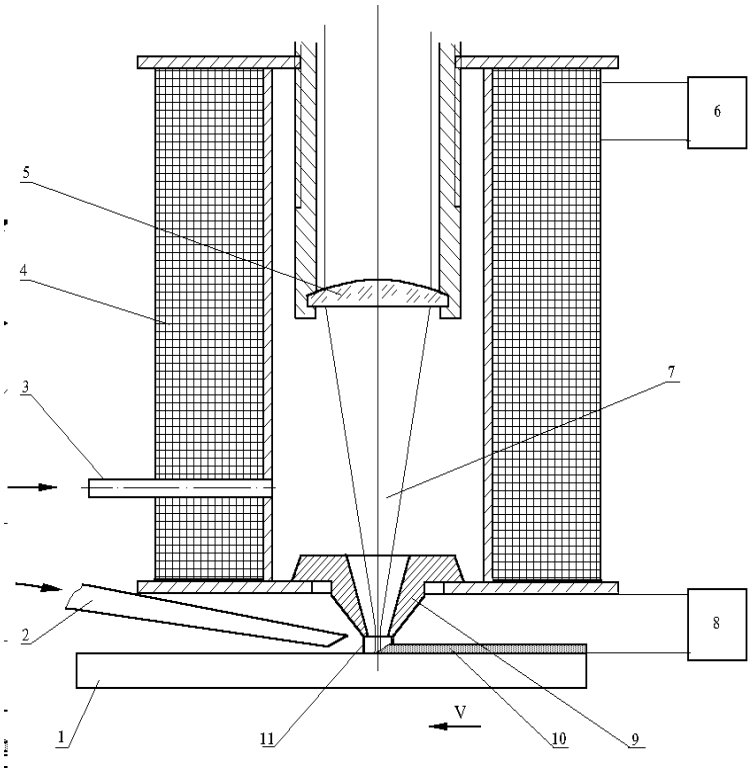

Рис. 1 – Схема експериментального устаткування для визначення оптимального діапазону кутів твірних внутрішнього та зовнішнього сопел з урахуванням величини електромагнітного поля:
1-деталь; 2-сопло для подачі порошку; 4-електромагніт; 5-фокусуючий об’єктив; 6-джерело живлення електромагніту; 7-сфокусований лазерний промінь; 8-джерело живлення дозатора порошкової композиції; 9-сопло для подачі газу; 10-сплавлений шар порошку; 11-електромагнітне поле на виході з сопла

Список посилань

1. Isabel M. Martins, Luis Esperto, Mário J.G. Santos. Sintering M3/2 High Speed Steel Powder by DMLS Process. Materials Science Forum. (2006). Mode of access: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.514-516.1506 Title from screen.

2. Romana Ewa Śliwa, Jacek Bernaczek, Grzegorz Budzik. The Application of Direct Metal Laser Sintering (DMLS) of Titanium Alloy Powder in Fabricating Components of Aircraft Structures. Key Engineering Materials. (2016). Mode of access: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.687.199 Title from screen.

3. Karel Dvorak, Lucie Zarybnicka, Jana Dvorakova. Quality Parameters of 3D Print Products by the DMLS Method. Manufacturing Technology. (2019). Mode of access: https://doi.org/10.21062/ujep/271.2019/a/1213-2489/mt/19/2/209 Title from screen.

4. Theodore Gabor, Huitaek Yun, Semih Akin, Kyung-Han Kim, Jong-Kwon Park, Martin Byung-Guk Jun. Continuous coaxial nozzle designs for improved powder focusing in direct laser metal deposition. Journal of Manufacturing Processes. (2022). Mode of access: https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.08.039 Title from screen.

5. Qipeng Liu, Wen Li, Kun Yang, Yuehua Gao, Lei Wang, Xihua Chu. Analytical investigation into the powder distribution and laser beam-powder flow interaction in laser direct energy deposition with a continuous coaxial nozzle. Advanced Powder Technology. (2023). Mode of access: https://doi.org/10.21275/sr21210142444 Title from screen.

УДК 669.295: 621.91

Пахненко Д.В., аспірантка
Говорун Т.П., канд. фіз.-мат. наук, доцент
Ханюков К.С., аспірант
Сумський державний університет, hovorun@pmtkm.sumdu.edu.ua

СИНТЕЗ ТА ВЛАСТИВОСТІ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПОКРИТТІВ

У технології термічного напилення розплавлені або напіврозплавлені порошки наносяться на підкладку для отримання двовимірного покриття або, в деяких випадках, тривимірного самостійного матеріалу. Мікроструктура та властивості матеріалу залежать від теплових та імпульсних характеристик частинок, що напилюються, які визначаються як методологією нанесення, так і типом використовуваних вихідних матеріалів [1-2]. Як вихідні матеріали можуть використовуватися порошки, стрижні та дроти. Різні покриття наносяться на поверхню підкладки для забезпечення або покращення характеристик матеріалів у промисловому застосуванні. Наноструктуровані чи/або нанокристалічні матеріали характеризуються шкалою мікроструктурної довжини в режимі 1–200 нм [1]. Більше 50 об.% атомів пов'язані з межами зерен або міжфазними межами, коли зерно достатньо мале. Таким чином, значна кількість міжфазного компонента між сусідніми атомами, пов'язаними з межами зерен, сприяє кращим фізичним властивостям наноструктурованих матеріалів [3]. Використання наноструктурованих порошків, як сировини під час термічного напилення дозволило дослідникам створювати покриття, що мають вищу твердість, міцність та корозійну стійкість, ніж традиційні аналоги [3-4].

Термохімічні методи використовувалися для виробництва великої кількості наноструктурованих матеріалів для можливого комерційного використання [3]. Для синтезу наноструктурованих порошків різного складу використовується механічне подрібнення [3]. Процес механічного подрібнення викликає значний інтерес, головним чином завдяки його потенціалу для створення нанокристалічних та інших нерівноважних структур у великих кількостях [3]. Для механічного подрібнення використовуються вібраційний, планетарний, кульовий та атриторний млини [3]. З чотирьох типів млинів лише атриторний млин має найбільшу ємність завантаження порошку. Відповідно, атриторне подрібнення використовується для синтезу порошку сировини, що використовується для виготовлення наноструктурованих покриттів, головним чином тому, що для синтезу покриття потрібна велика кількість порошку.

На рисунку 1 показано схематичне зображення атриторного млина, в якому порошок і кульки завантажуються у вертикальний циліндричний резервуар (бункер). Кілька горизонтальних робочих коліс (крильчаток), з'єднаних з обертовим вертикальним валом, що приводиться в рух двигуном, створюють рух кульок і порошків. Рухомі кульки, що приводяться в дію обертовими робочими колесами, призводять до подрібнення частинок порошку за розміром шляхом удару. Одночасно в резервуар вводиться контрольоване середовище для подрібнення з таких причин: 1) для зменшення забруднення порошку повітрям; 2) для контролю температури порошку, оскільки подрібнення призводить до підвищення температури порошків; 3) для введення реакційноздатного розчинника з метою утворення очікуваної фази; та 4) для контролю розміру та морфології частинок порошку. Для цих цілей використовувалося таке середовище для подрібнення: газоподібне середовище (тобто аргон, азот і водень); рідке середовище (наприклад, рідкий азот,