

Павло Васильович Кондрашев¹¹кандидат технічних наук, доцент кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: kondrashev@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7428-710X>, ResearcherID: AAK-5011-2020**МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОРОШКОВОЇ КОМПОЗИЦІЇ ПІД ВПЛИВОМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЇ DMLS**

Стрімкий розвиток науково-технічного прогресу та інноваційних технологій спонукає швидко реагувати наукову спільноту на запити від промисловців та інженерів з усього світу. У будь-якій галузі промисловості широко використовуються 3D-технології, зокрема один із прогресивних методів візуалізації віртуальних комп'ютерних моделей DMLS (пряме лазерне сплавлення порошкової композиції). Тому безумовно залишається актуальним пошук шляхів вдосконалення цієї технології. Метою цієї роботи є підвищення ефективності реалізації технології DMLS шляхом вдосконалення засобу доставки порошкової композиції в зону дії лазерного випромінювання, а саме впровадження додаткового джерела енергії у вигляді електромагнітного поля. У цій роботі було проведено моделювання поведінки газопорошкового струменя під впливом електромагнітного поля. Зокрема досліджено його поперечне розподілення в горизонтальній площині, а також було виявлено фокусну відстань (локальну область із найбільшою концентрацією порошку) на виході з коаксіального сопла. Також була розроблена універсальна методика керування розподілом дисперсної фази газопорошкового струменя в зоні лазерної обробки за допомогою керованого електромагнітного поля, що дозволяє підвищити ККД використання порошкової композиції, спростити конструкцію коаксіального сопла, а також дозволяє знизити собівартість виготовлення засобу доставки порошку в зону лазерної обробки.

Ключові слова: електромагнітне поле; коаксіальне сопло; лазерне випромінювання; порошкова композиція.

Рис.: 8. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Сучасна кон'юнктура ринку інноваційних технологій спонукає до пошуку нових рішень та підходів, спрямованих на підвищення ефективності реалізації будь-якої технології, у будь-якої галузі промисловості. Особливо зараз, коли постійно розширюється потреба у використанні нових матеріалів з унікальними фізико-механічними характеристиками, які важко оброблюються традиційними технологіями, стрімко розвиваються альтернативні нетрадиційні методи та підходи обробки матеріалів, які більш відомі як адитивні технології. Одним із поширених технологічних процесів, серед них є метод прямого лазерного сплавлення порошкової композиції, більш відомий як DMLS. Показники ефективності цього методу в порівнянні з іншими унікальними, але водночас залишається актуальною низка задач, спрямованих для пошуку різноманітних рішень та методів для вдосконалення цієї технології.

Постановка проблеми. Як було зазначено вище, одну з провідних ролей у низці адитивних технологій відіграє саме технологія прямого лазерного спікання порошкового матеріалу, а саме DMLS [1-3]. Ефективність практичної реалізації даної технології напряму залежить від конструктивних особливостей засобу доставки порошкової композиції у зону дії лазерного променя. Попри значну кількість існуючих інженерних рішень, спрямованих на підвищення ефективності реалізації цієї технології, саме шляхом модифікації засобу доставки порошкового матеріалу в зону обробки, залишається великий потенціал для подальшого пошуку шляхів вдосконалення цього технологічного вузла. Слід зазначити той факт, що основні зусилля наукової спільноти спрямовані саме на підвищення ефективності використання порошкової композиції за рахунок зниження масової витрати, при цьому не зменшуючи якісні показники сплавлених виробів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На підставі аналізу апіорної інформації, слід відзначити наступне, а саме багато наукових досліджень спрямовані саме на зміну та вдосконалення конструкції засобу доставки порошкової композиції в зону лазерної обробки [4; 5], але цей шлях не завжди є раціональним з погляду економічної доцільності. Це пояснюється передусім з ускладненням конструкції коаксіальних сопел, які в деяких випадках мають досить складну геометричну конфігурацію. Для їх виготовлення необхідно залучення

коштовного обладнання і як результат – собівартість таких вузлів значно зростає. Окрему увагу слід приділити гібридним способам підвищення ефективності реалізації технології DMLS. Коли для керування поперечним розподілом порошкової композиції використовують додаткові джерела енергії, а саме статичне магнітне поле [6; 7]. Для цього по периметру засобу доставки порошкової композиції розташовують постійні магніти, які здатні створювати магнітне поле, яке впливає саме на формування фокальної площини газопорошкового струменя, тобто збільшення його поперечної концентрації. Цікавими саме в контексті технології DMLS є також роботи [8-10], де реалізована схема застосування електромагнітного поля для керування формою та розподілом дисперсної фази газопорошкового струменя в зоні дії лазерного променя. Підсумовуючи аналіз літературної інформації, слід відзначити, що гібридні технології в наш час набувають широкого застосування в технологічних процесах та значно розширюють потенціал для пошуку нових методів та підходів, спрямованих на підвищення ефективності реалізації технології DMLS.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На підставі аналізу літературних джерел, присвячених цій науковій темі, можна виділити такі недосліджені напрямки, а саме: у вищезазначених роботах провідних науковців не було враховано зменшення масової витрати порошкового матеріалу, що своєю чергою дає можливість підвищити ККД використання матеріалу при реалізації технології DMLS. У цій роботі було запропоновано універсальний підхід для використання додаткового джерела енергії у вигляді електромагнітного поля. А також розроблена оптимальна схема розташування магніту щодо засобу доставки порошкової композиції в зону лазерної обробки.

Метою статті є підвищення ефективності реалізації технології DMLS, за рахунок використання додаткового джерела енергії у вигляді керованого електромагнітного поля з оптимальним розташуванням усіх його компонентів щодо засобу доставки порошкової композиції в зону лазерної обробки.

Методика проведення досліджень. Практична реалізація технології DMLS являє собою складний динамічний процес, ефективність якого залежить від багатьох факторів. Причому одну з вирішальних ролей відіграє ККД витрати порошкового матеріалу. Враховуючи аналіз апріорної інформації, було застосовано універсальний підхід, спрямований на підвищення ефективності реалізації технології DMLS, який включає в себе пошук оптимальних граничних умов для подальшого використання їх у чисельному аналізі гідродинамічних процесів поведінки газопорошкового струменя 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 в потоці газу (теоретична складова програмного комплексу) CFX, з урахуванням розміру фракції порошкової композиції ПГСП-3 (60 мкм), було використано метод Ейлера, який враховує різницю концентрацій дисперсної фази між двома 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 із 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 вихору розраховуються на підставі заданих граничних умов турбулентного потоку та визначаються таким рівнянням (1):

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

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 погляду практичної складової чисельне моделювання процесу поведінки газопорошкового струменя 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 3D-моделі форми газопорошкового струменя задавалися з урахуванням керування величиною електромагнітного поля, що власне стало реперними точками для початкових параметрів геометрії газопорошкових потоків CAD-системи. Тобто експериментальним шляхом було визначено оптимальний діапазон кутів (30° - 70°) твірних внутрішнього та зовнішнього сопел з урахуванням величини електромагнітного поля (рис. 1).

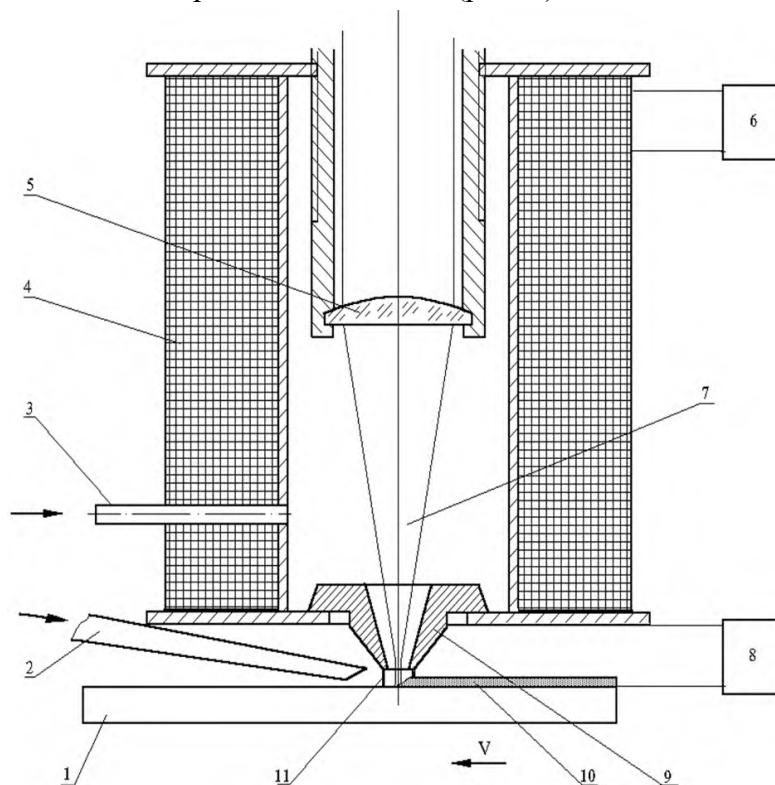


Рис. 1. Схема експериментального устаткування для визначення оптимального діапазону кутів твірних внутрішнього та зовнішнього сопел з урахуванням величини електромагнітного поля:

- 1 – деталь; 2 – сопло для подачі порошку; 3 – канал для подачі захисного газу;
- 4 – електромагніт; 5 – фокусуючий об'єктив; 6 – джерело живлення електромагніта;
- 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

Після отримання початкових геометричних параметрів за допомогою CAD-системи, були побудовані 3D-моделі газопорошкових струменів (рис. 2).

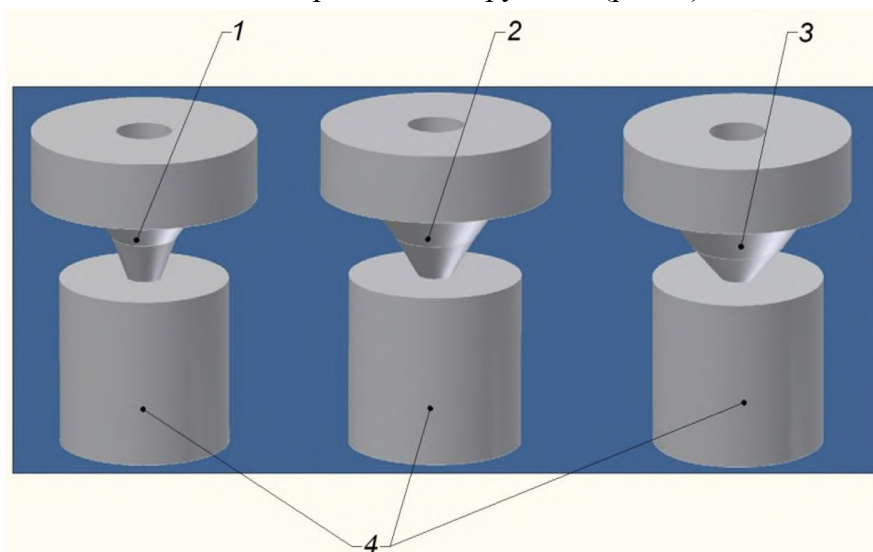


Рис. 2. Геометрії внутрішнього середовища системи фокусування порошку:
1, 2, 3 – кути твірних коаксіальних сопел для різних величин електромагнітного поля;
4 – потенційне середовище розподілення дисперсної фази газопорошкового струменя після виходу з коаксіального сопла

Наступним кроком, з урахуванням побудованих в CAD-системі 3-D геометрій газопорошкових струменів, були згенеровані сітки кінцевих елементів потенційних середовищ поведінки дисперсної фази газопорошкового струменя для внутрішньої частини та на виході з коаксіального сопла (рис. 3).

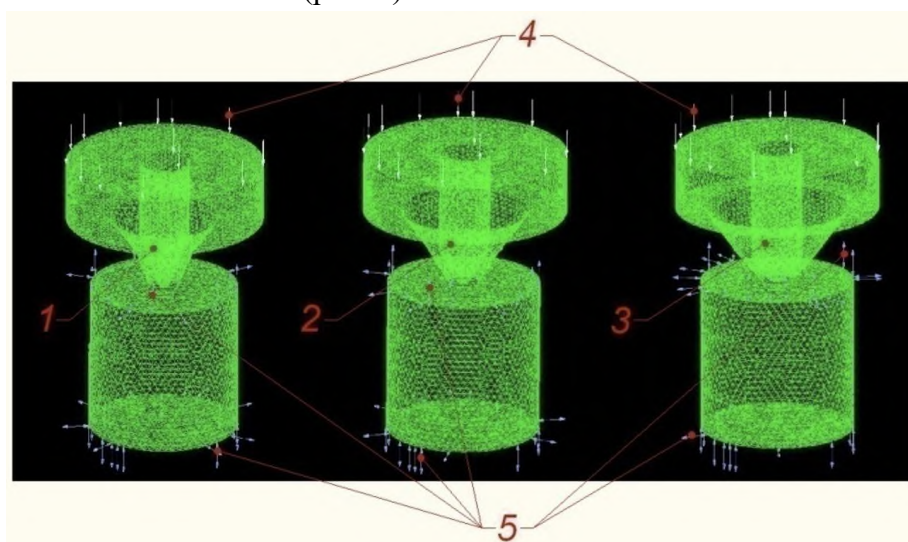


Рис. 3. Сітки кінцевих елементів 3D-геометрій газопорошкових струменів для різних величин електромагнітного поля:
1-4 – потенційне середовище розподілення дисперсної фази у внутрішній частині коаксіального сопла; 5 – потенційне середовище розподілення дисперсної фази після виходу з коаксіального сопла

Після проведених розрахунків програмним комплексом Ansys CFX, було отримано моделі розподілення поперечної концентрації дисперсної фази газопорошкового струменя для різних величин електромагнітного поля у вертикальній та горизонтальній площинах (рис. 4, 5).

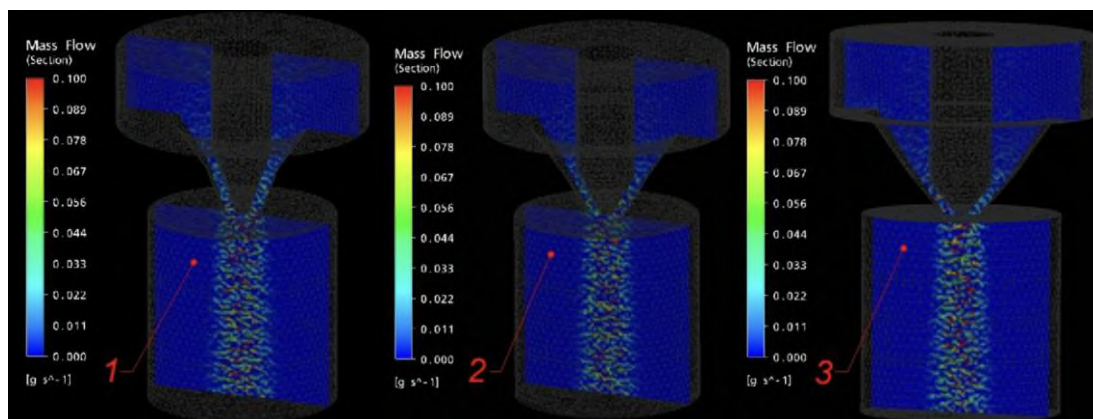


Рис. 4. Розподілення дисперсної фази газопорошкового струменя у вертикальній площині для різних величин електромагнітного поля

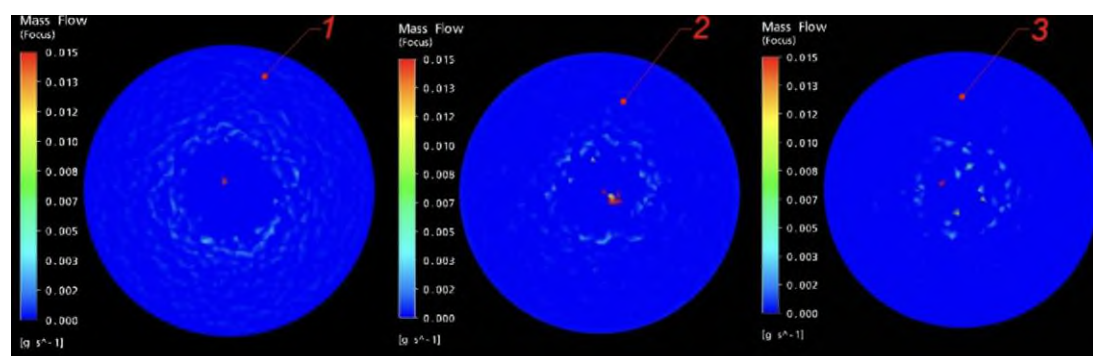


Рис. 5. Розподілення дисперсної фази газопорошкового струменя в горизонтальній площині для різних величин електромагнітного поля

Результати проведених досліджень. Результати проведеного чисельного моделювання показали ефективність цього підходу для пошуку оптимальних параметрів керування розподілом поперечної концентрації дисперсної фази газопорошкового струменя (рис. 4, 5). Ефективність застосування гібридних методів для керування формою газопорошкового струменя, зокрема застосування електромагнітного впливу на порошковий матеріал підтверджена проведеними розрахунками. Зокрема, виявлена фокальна область газопорошкового струменя в вертикальній площині (рис. 4, б) 0,1 г/с та горизонтальній площині (рис. 5, б) 0,015 г/с, при величині електромагнітного поля 0,12 Тл.

Для графічної інтерпретації результатів чисельного моделювання розподілу дисперсної фази газопорошкового струменя в зоні дії лазерного випромінювання, були побудовані графічні залежності масової витрати порошкової композиції від величини електромагнітного поля у вертикальній та горизонтальній площинах (рис. 6). Як видно з графічних залежностей (рис. 6, 1-2), максимальна концентрація дисперсної фази газопорошкового струменя у вертикальній площині спостерігається при величині електромагнітного поля 0,12 Тл, що відповідає максимальній витраті порошкового матеріалу 0,1 г/с. Що стосується горизонтальної площини, тут максимальна концентрація дисперсної фази спостерігається при величині електромагнітного поля також 0,12 Тл, але значення масової витрати порошкової композиції становить 0,015 г/с, що є значно меншим, це пояснюється відсутністю глибини фокуса газопорошкового струменя в горизонтальній площині.

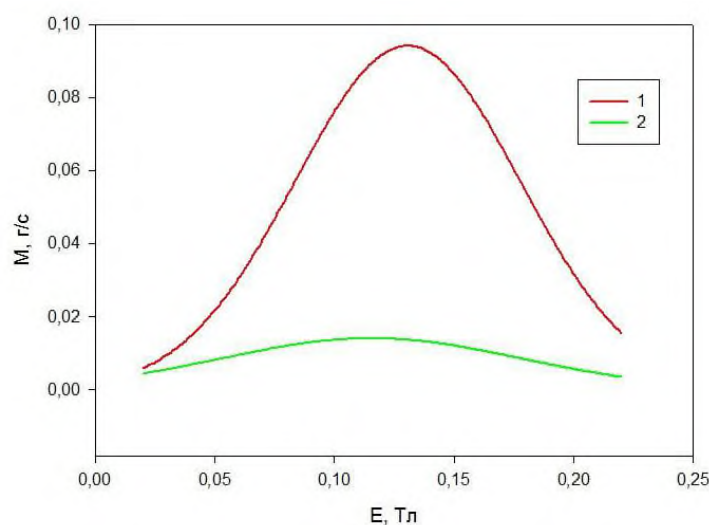


Рис. 6. Залежність масової витрати порошкової композиції (M) від величини електромагнітного поля (E):

1 – вертикальна площина; 2 – горизонтальна площина

Фактично максимальна концентрація дисперсної фази газопорошкового струменя в горизонтальній площині є фокусом потоку порошку. Для перевірки адекватності розрахунків чисельного моделювання поведінки газопорошкового струменя під впливом електромагнітного поля, було проведено експериментальне вимірювання положення фокуса потоку порошку (рис. 7).

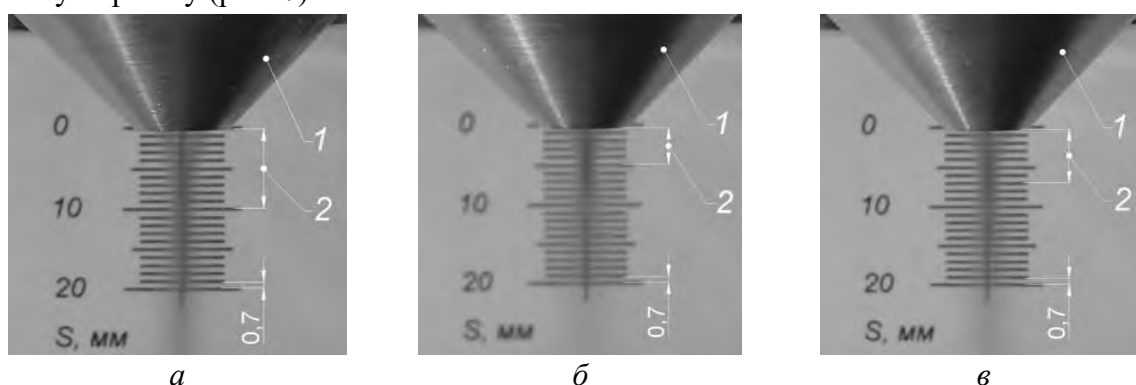


Рис. 7. Загальний вигляд газопорошкового струменя

для різних величин електромагнітного поля:

а – значення електромагнітного поля 0,05 Тл;

б – значення електромагнітного поля 0,12 Тл;

в – значення електромагнітного поля 0,20 Тл

Для вимірювання фокальної відстані газопорошкового струменя на виході з коаксіального сопла, на задньому фоні було використано білий екран з нанесеною за допомогою САД-системи шкалою в масштабі 1 поділка еквівалентна 0,7 мм. Опираючись на результати експериментальних досліджень, була встановлена можливість керування формою газопорошкового струменя за рахунок впливу керованого електромагнітного поля, а також підтверджена адекватність чисельного моделювання розподілу дисперсної фази газопорошкового струменя. Причому слід відзначити, що при значенні електромагнітного поля 0,12 Тл, була досягнута максимальна концентрація дисперсної фази газопорошкового струменя в горизонтальній площині (0,15 г/с) (рис. 7, б) відстань від сопла дорівнює 3,5 мм. Це

пояснюється оптимальними показниками величини електромагнітного поля, які здатні звукувати потік порошку не залежно від кутів твірних коаксіального сопла. Водночас для менших значень електромагнітного поля спостерігається зворотний процес, тобто розширення газопорошкового струменя в горизонтальній площині і збільшення фокальної відстані до 7 мм (рис. 7, а). Це пояснюється зменшенням впливу електромагнітного поля на порошкову композицію і відповідно розподіл дисперсної фази в горизонтальній площині формується більшою мірою за рахунок величини кутів твірних коаксіального сопла. Аналогічна ситуація спостерігається і при збільшенні значення електромагнітного поля, тобто відбувається збільшення фокальної області газопорошкового струменя, фокальна відстань складає 4,9 мм (рис. 7, в). Це пояснюється головним чином тим, що занадто велике значення електромагнітного поля змушує рухатися частинки дисперсної фази в перехресному напрямку, що своєю чергою призводить до збільшення фокальної області газопорошкового струменя, тобто можна спостерігати граничний рівень величини електромагнітного поля, після якого відбувається реверсивні регенеративні процеси відновлення форми газопорошкового струменя, тобто збільшення його фокальної області. Графічна інтерпретація залежності масової витрати порошкової композиції від фокальної області та величини електромагнітного поля наведена на рис. 8.

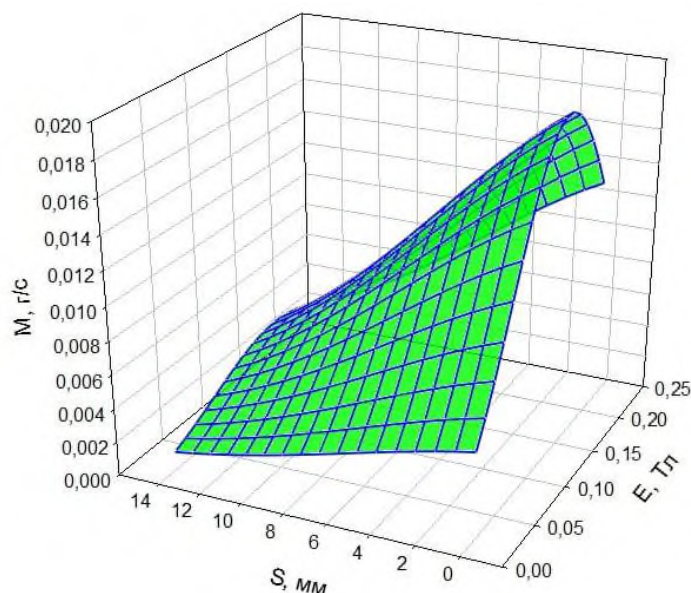


Рис. 8. Залежність масової витрати порошкової композиції (M) та фокальної відстані газопорошкового струменя (S) від величини електромагнітного поля (E)

Опираючись на вище наведений аналіз можна стверджувати, що даний підхід є універсальним і масштабованим, його можна застосовувати для будь-якого виду дрібнодисперсної, до 100 мкм фракції порошкової композиції, незалежно від хімічного складу, а також ця методика дозволяє уникнути та значно спростити конструкцію засобу доставки порошку в зону лазерної обробки і як наслідок, знизити собівартість виготовлення коаксіальних сопел при реалізації технології DMLS.

Висновки. На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень можна зробити наступні висновки:

- розроблена універсальна методика керування розподілом дисперсної фази газопорошкового струменя в зоні лазерної обробки за допомогою керованого електромагнітного поля, що дозволяє підвищити ККД використання порошкової композиції, спростити конструкцію коаксіального сопла, а також дозволяє знизити собівартість виготовлення засобу доставки порошку в зону лазерної обробки;

- встановлено оптимальні параметри керування формою та фокальною відстанню газопорошкового струменя (зокрема величина електромагнітного поля 0,12 Тл), при якій спостерігається максимальна концентрація дисперсної фази в фокальній області величиною 0,015 г/с;

- доведена можливість керування зміною відстані фокальної області газопорошкового струменя в потрібному напрямку на виході з коаксіального сопла, що дає можливість адаптації та оптимізації, а також потенційного суміщення фокальних областей лазерного випромінювання та газопорошкового струменя.

Список використаних джерел

1. Martins, I. M., Esperto, L., & Santos, M. J. G. (2006). Sintering M3/2 high speed steel powder by DMLS process. *Materials science forum*, 514-516, 1506–1510. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.514-516.1506>.
2. Śliwa, R. E., Bernaczek, J., & Budzik, G. (2016). The application of direct metal laser sintering (DMLS) of titanium alloy powder in fabricating components of aircraft structures. *Key Engineering Materials*, 687, 199–205. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.687.199>.
3. Dvorak, K., Zarybnicka, L., & Dvorakova, J. (2019). Quality parameters of 3D print products by the DMLS method. *Manufacturing Technology*, 19(2), 209–215. <https://doi.org/10.21062/ujep/271.2019/a/1213-2489/mt/19/2/209>.
4. Gabor, T., Yun, H., Akin, S., Kim, K.-H., Park, J.-K., & Jun, M. B.-G. (2022). Continuous coaxial nozzle designs for improved powder focusing in direct laser metal deposition. *Journal of Manufacturing Processes*, 83, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.08.039>.
5. Liu, Q., Li, W., Yang, K., Gao, Y., Wang, L., & Chu, X. (2023b). 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*, 34(7), 104058. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2023.104058>.
6. Кондрашев, П. (2023). Вплив магнітного поля на якість внутрішньої мікроструктури при лазерному сплавленні порошку. *Технічні науки та технології*, (1(31)), 29–35. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1\(31\)-29-35](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1(31)-29-35).
7. Kolesnyk, I. (2021). Sintering of powder ferromagnetic materials by visible radiation in a constant magnetic field. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 10(2), 1166–1168. <https://doi.org/10.21275/sr21210142444>.
8. Wróbel, T. (2013). Transformation of pure Al structure under the influence of electromagnetic field. *Advanced Materials Research*, 702, 159–164. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.702.159>.
9. Panourgias, K., & Ekaterinaris, J. A. (2013). Numerical solution of ionized gas compressible flows under the influence of electromagnetic fields. *Y 21st AIAA computational fluid dynamics conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2013-2449>.
10. Sun, H., Hua, Z., Jiang, H., Dong, D., Li, G., & Cui, J. (2024). Densification behavior in compaction for Cu/TiB₂ composite under electromagnetic impact. *Advanced Powder Technology*, 35(11), 104653. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2024.104653>.

References

1. Martins, I. M., Esperto, L., & Santos, M. J. G. (2006). Sintering M3/2 high speed steel powder by DMLS process. *Materials science forum*, 514-516, 1506–1510. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.514-516.1506>.
2. Śliwa, R. E., Bernaczek, J., & Budzik, G. (2016). The application of direct metal laser sintering (DMLS) of titanium alloy powder in fabricating components of aircraft structures. *Key Engineering Materials*, 687, 199–205. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.687.199>.
3. Dvorak, K., Zarybnicka, L., & Dvorakova, J. (2019). Quality parameters of 3D print products by the DMLS method. *Manufacturing Technology*, 19(2), 209–215. <https://doi.org/10.21062/ujep/271.2019/a/1213-2489/mt/19/2/209>.
4. Gabor, T., Yun, H., Akin, S., Kim, K.-H., Park, J.-K., & Jun, M. B.-G. (2022). Continuous coaxial nozzle designs for improved powder focusing in direct laser metal deposition. *Journal of Manufacturing Processes*, 83, 116–128. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.08.039>.

5. Liu, Q., Li, W., Yang, K., Gao, Y., Wang, L., & Chu, X. (2023b). 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*, 34(7), 104058. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2023.104058>.
6. Kondrashov, P. (2023). Vplyv mahnitnoho polia na yakist vnutrishnoi mikrostruktury pry lazernomu splavlenni poroshku.[Effect of magnetic field on the quality of internal microstructure during laser powder fusion]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (1(31)), 29–35. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1\(31\)-29-35](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2023-1(31)-29-35).
7. Kolesnyk, I. (2021). Sintering of powder ferromagnetic materials by visible radiation in a constant magnetic field. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 10(2), 1166–1168. <https://doi.org/10.21275/sr21210142444>.
8. Wróbel, T. (2013). Transformation of pure Al structure under the influence of electromagnetic field. *Advanced Materials Research*, 702, 159–164. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.702.159>.
9. Panourgias, K., & Ekaterinaris, J. A. (2013). Numerical solution of ionized gas compressible flows under the influence of electromagnetic fields. In *21st AIAA computational fluid dynamics conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. <https://doi.org/10.2514/6.2013-2449>.
10. Sun, H., Hua, Z., Jiang, H., Dong, D., Li, G., & Cui, J. (2024). Densification behavior in compaction for Cu/TiB₂ composite under electromagnetic impact. *Advanced Powder Technology*, 35(11), 104653. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2024.104653>.

Отримано 16.04.2025

UDC 621.9.048

Pavlo Kondrashev¹

¹PhD, Assistant Professor of the department Laser System and Advanced Technologies

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: kondrashev@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7428-710X>. ResearcherID: [AAK-5011-2020](https://orcid.org/AAK-5011-2020)

MODELING OF DISTRIBUTION OF THE POWDER COMPOSITION UNDER THE INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD WHEN IMPLEMENTING DMLS TECHNOLOGY

Rapid development of scientific and technological progress and innovative technologies prompts the scientific community to respond quickly to requests from industrialists and engineers from all over the world. In any industry, 3-D technology is widely used, in particular, one of the progressive methods of visualizing virtual computer models is DMLS (direct laser fusion of powder composition). Therefore, the search for ways to improve this technology certainly remains relevant.

The analysis of priori information allowed us to obtain comprehensive information on the state of scientific research aimed at finding ways to improve efficiency of the DMLS technology implementation. In particular, it was found that the main emphasis of research is on the use of hybrid methods and approaches aimed at finding additional energy sources, including electromagnetic fields for combined use with laser technology.

The aim of this work is to improve efficiency of implementing DMLS technology by improving the means of delivering the powder composition into the laser radiation zone, namely, by introducing additional energy source in the form of the electromagnetic field.

In this work, numerical modeling of the behavior of a gas-powder jet under the influence of the electromagnetic field was carried out. In particular, distribution of the dispersed phase of the gas-powder jet was investigated, namely its transverse concentration in the horizontal plane. Numerical modeling of the behavior of the gas-powder jet made it possible to determine the local region of the powder flow and also establish possibility of controlling the main technological parameters of the process, in particular, the optimal value of the electromagnetic field at which the maximum concentration of the dispersed phase in the gas-powder jet is observed was determined. The universal technique was also developed that makes it possible to simplify geometric configuration and reduce the cost of manufacturing means of delivering powder material to the laser processing zone.

Key words: electromagnetic field; coaxial nozzle; laser fusion; powder composition.

Fig.: 8. **References:** 10.