

## РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОТОКІВ ГАЗУ В ПОТРІЙНОМУ КООКСІАЛЬНОМУ СОПЛІ

*Олена Карнович*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0677-5822>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Євген Каракаш*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3833-2396>

Український державний університет науки і технологій, Дніпро

*Денис Жумар*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-0381-7114>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

*Олександр Таран*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3744-9155>

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро

### Вступ

Основною тенденцією сучасних машинобудівних підприємств є скорочення часу виробництва від створення комп'ютерної моделі до отримання тривимірного металевого функціонального виробу за рахунок підвищення продуктивності процесу виробування деталей. Методи виробування заготовок за допомогою лазерного випромінювання, порівняно з традиційними, мають такі переваги:

- мінімальне теплове вкладення в матеріал, що дозволяє отримати високі фізико-механічні властивості готового виробу;
- малі припуски на механічну обробку;
- виготовлення об'єктів з декількох матеріалів з пошаровою зміною складу;
- виготовлення об'єктів високої складності геометрії, включаючи піднутрення, приховані порожнини;
- висока автоматизація процесу, що знижує вплив людського фактору та дозволяє отримати високу відтворюваність траєкторії обробки при виробуванні об'єктів [1].

Метод коаксіальної лазерної обробки порошкових матеріалів є високопродуктивним та відбувається у захисній атмосфері. За допомогою захисного газу коаксіально з лазерним променем в зону обробки подається порошок матеріал. У зоні їхньої взаємодії виникає валик нанесеного металу. Таким чином, переміщуючи промінь

заданою траєкторією шару, вирощується заготовка майбутньої деталі.

На продуктивність процесу, окрім потужності лазерного випромінювання, впливає ще один параметр – ефективність подачі порошкового матеріалу. Коаксіальна подача присадного матеріалу (рис. 1) дозволяє отримати максимально «гострий» розподіл порошкових частинок, завдяки чому застосовується для обробки променями діаметром менше 1 мм з високим коефіцієнтом використання порошку [1].



Рисунок 1 – Коаксіальна подача порошку

Проведено багато теоретичних та експериментальних досліджень потоків газу з частинками в коаксіальному соплі при лазерному наплавленні. Результати досліджень показали, що потік частинок в дію променю має форму внутрішнього конуса (рис. 2), кут якого відповідає куту розташування каналів в коаксіальному соплі. Швидкість частинок складає 1,5...2 м/с [1].

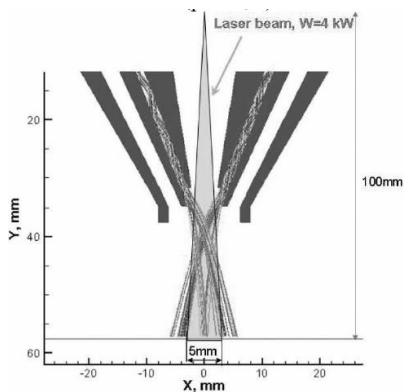


Рисунок 2 – Потік частинок в області дії променю

Потоки захисного газу формують форму і структуру конуса частинок таким чином, що зі збільшенням витрати осьового потоку захисного газу всередині потоку частинок утворюється циліндрична порожнина, крім того, газ динамічно впливає на ванну розплавленого металу, і наплавлений валик буде формуватися тільки по краях потоку, з западиною по середині, що призведе до виникнення несплавлення шарів у матеріалі. Зовнішній захисний потік газу стискатиме потік частинок і при перевищенні деякого критичного значення може перекрити його зі зміщенням фокусу від поверхні наплавлення.

У зв'язку з цим потоки транспортуючого та захисних газів повинні подаватися в зону обробки у певному співвідношенні для отримання наплавленого металу з мінімальною кількістю дефектів. При цьому необхідно забезпечити подачу захисного газу з величиною витрати, що забезпечує захист наплавленого металу до моменту його кристалізації.

## МЕТА ТА ЗАВДАННЯ

Метою даного дослідження є визначення параметрів потоків газів у потрібному коаксіальному соплі та геометричних параметрів захищеної зони на поверхні для заданих умов наплавлення.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Модель потрібного коаксіального сопла виконана у програмному комплексі SolidWorks (рис. 3). Геометричні параметри приймалися згідно з літературними даними для такого типу сопел.

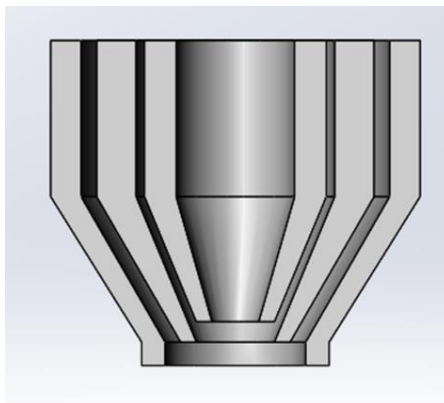
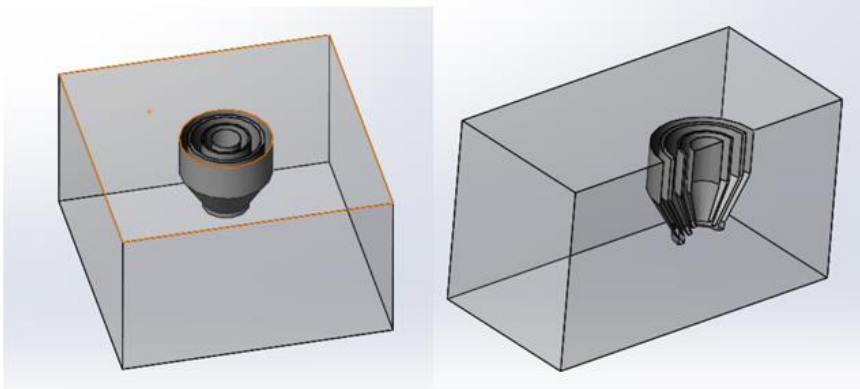


Рисунок 3 – Геометрична модель сопла

Як вихідні дані були прийняті такі масові витрати в каналах:

- осевий потік –  $Q_1 = 0,11 \cdot 10^{-3}$  кг/с;
- транспортувальний потік –  $Q_2 = 0,16 \cdot 10^{-3}$  кг/с;
- захисний зовнішній потік –  $Q_3 = 0,54 \cdot 10^{-3}$  кг/с.

Моделювання течії газу у каналах сопла виконувалося у програмному комплексі Ansys. На основі моделі сопла було визначено розрахункову зону та сформовано канали для визначення поверхонь входу та виходу газового потоку (рис. 4).



**Рисунок 4 – Геометрична модель сопла:  
а – канали и розрахункова зона; б – осьовий перетин**

Задача вирішувалася з такими припущеннями:

1. Вирішення задачі виконується у 3D постановці з обмеженням Symmetry.
2. Розглядається дозвуковий потік газів з урахуванням нестационарних процесів.
3. Модель турбулентності - Standard k- $\epsilon$ ; текуча середовище - газ аргон.

## РЕЗУЛЬТАТИ

В результаті розрахунку було визначено швидкість потоків у каналах, лінії струму, розподіл тисків та густин у розрахунковій області (рис. 5 – 8).

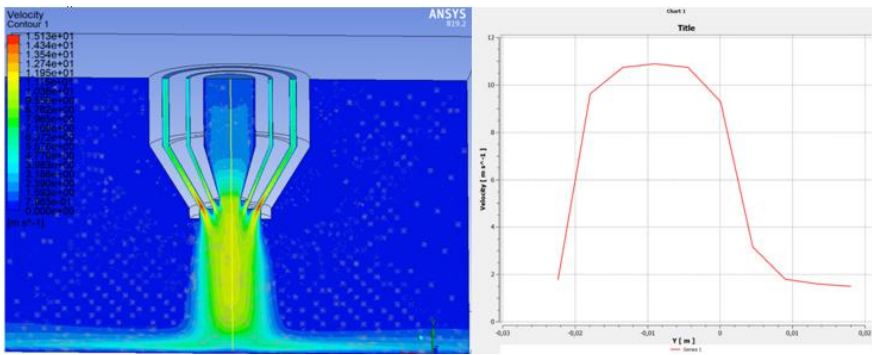


Рисунок 5 – Картина швидкостей: а – картина швидкостей у каналах; б – швидкість потоку по осі в центральному каналі

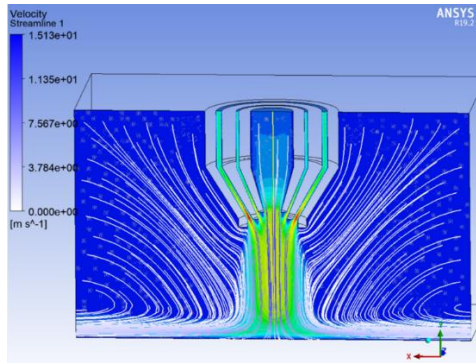


Рисунок 6 – Лінії потоку в розрахунковій області

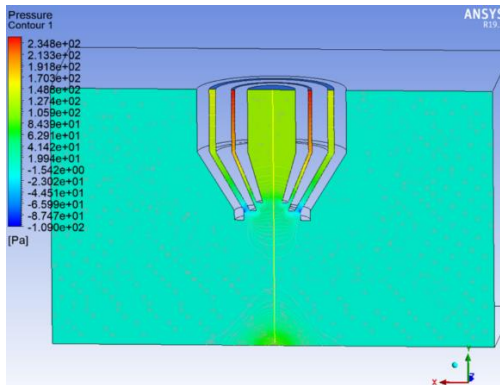


Рисунок 7 – Розподіл тиску в розрахунковій галузі

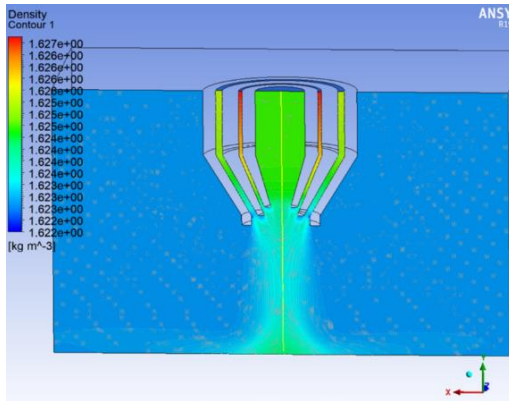


Рисунок 8 – Розподіл щільності у розрахунковій області

## ВИСНОВКИ

На основі проведених розрахунків можна зробити такі висновки:

1. Швидкості потоків у середній частині області течії вирівнюються. У центральній частині швидкість потоку досягає 12 м/с, до периферії швидкість знижується до 4 м/с.

2. Розміри захищеної області потоком газу на поверхні, становить не більше одного діаметра вихідного перерізу від осі сопла, тобто розмір захищеної області дорівнює  $2d_{\text{сопла}}$ .

## ПОСИЛАННЯ

1. Sebastian, J. S. G. N. J., Nuñez, G., Perilla, D. A. R., de los Rios, G. A. B., & Coelho, R. T. (2021). Numerical and Experimental Analysis of Gas Flow in a Coaxial Nozzle Applied to Directed Energy Deposition (DED). *International Journal of Engineering Materials and Manufacturing*, 6(3), 102-113. <https://doi.org/10.26776/ijemm.06.03.2021.0>