

## РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ГОЛОВКИ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО НАПЛАВЛЕННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

**Бернацький Артемій Володимирович**

кандидат технічних наук, старший дослідник

Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-8050-5580

bernatskyi@paton.kiev.ua

**Курило Володимир Андрійович**

Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0003-0790-9404

vladkurilo@ukr.net

**Сучек Олександр Михайлович**

Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-8961-3887

suchek\_48@ukr.net

**Сіора Олександр Васильович**

Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0003-1927-790X

siora\_ov@ukr.net

**Соколовський Микола Володимирович**

Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0003-3243-5060

ksvmua@gmail.com

**Шамсутдінова Наталія Олександрівна**

Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-3525-0080

shamsutaliia@gmail.com

*Сільськогосподарське машинобудування традиційно займає важливе місце в структурі машинобудівного комплексу України. Закордоном набули популярності методи, спрямовані на розвиток технологічних підходів вирішення проблеми процесу зношування ріжучих кромки інструментів сільськогосподарської техніки, які полягають у лазерному наплавленні на робочі поверхні дисків виготовлених з вуглецевих конструкційних або низьколегованих сталей додаткових шарів з зносостійких матеріалів у вигляді порошку. Товщина таких додаткових шарів залежить від розмірів самих інструментів сільськогосподарської техніки та може становити від 100 мкм до 1000 мкм. Для продовження терміну служби інструментів сільськогосподарської техніки, наноситься наплавлення на тильний бік ріжучої кромки, що дозволяє зберегти лезо гострим на весь термін служби ножа, за рахунок ефекту самозаточування. Складна геометрія робочої частини інструментів сільськогосподарської техніки та їх мала товщина, обумовлюють необхідність використання автоматизованих сучасних технологій лазерного порошкового наплавлення. Метою даної роботи є розробка та виготовлення технологічного устаткування у вигляді технологічної головки для лазерного наплавлення інструментів сільськогосподарської техніки. Авторами досліджень проаналізовано існуючі сучасні розробки способів наплавлення на тонкостінні деталі сільськогосподарської техніки. Розроблено ескізний проєкт головки для лазерного наплавлення, як необхідного технологічного устаткування. Згідно розробленого ескізного проєкту, наплавочна головка являє собою сукупність модульних легко змінних вузлів, з'єднаних між собою в єдину конструкцію з використанням схеми коаксіальної газопорошкової подачі порошкового матеріалу у зону наплавлення. На відміну від аналогів, у розробленій головиці для лазерного наплавлення запропонована оригінальна конструкція соплової насадки, що повинна забезпечити не тільки стабільний процес наплавлення, а також захист ванни розплаву та металу, що охолоджується від взаємодії з оточуючим середовищем. Створена конкурентоспроможна високотехнологічна продукція (головка для лазерного наплавлення), що за своїми технічними показниками не поступається закордонним аналогам, а за вартісними показниками дешевша у декілька разів закордонним аналогів. Також очікується, що в результаті реалізації запланованих робіт будуть розроблені технологічні рекомендації та технологічні інструкції з лазерного наплавлення функціональних шарів на тонкостінні деталі, що працюють в умовах механічного*

зношування. Очікується збільшення на 30...50% ресурсу та довговічності тонкостінних інструментів для сільськогосподарської техніки.

**Ключові слова:** лазерне наплавлення, технологічна головка, розробка, тонкостінні деталі, сільськогосподарська техніка.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.3.3>

**Вступ.** Сільськогосподарське машинобудування традиційно займає важливе місце в структурі машинобудівного комплексу України (Didur, Gritsaienko, & Gritsaienko, 2017; Sahaidak, Tepliuk, Zhurylo, Rudenko, & Samko, 2021; Sozanskyu & Koval, 2021). В структурі парку сільськогосподарських машин України дискові борони займають близько 40% від загальної кількості ґрунтообробних знарядь. Причому, якість їх роботи в значній мірі залежить від конструктивних параметрів дискових робочих органів. Як відомо в процесі роботи номінальні розміри диска та фрези, в результаті спрацювання зазнають змін, що значно впливає на всі показники технологічного процесу обробки ґрунту (Benos, Tsaopoulos, & Bochtis, 2020; Kehayov, Popova, & Zahariev, 2021; Upadhyay, Raheman, & Dubey, 2022). У зв'язку з цим набуває актуальності розробка методів підвищення довговічності та працездатності вказаних ґрунтообробних знарядь.

Кукурудза – одна із цінних стратегічних у світі культур в сільському господарстві, яка за останні пару десятків років збільшила свої посівні площі та продуктивність (Egenstein, Chamberlin, & Sonder, 2021; Khodaei, Javanmardi, & Khaneghah, 2021; Waqas, Wang, Zafar, Noor, Hussain, Azher Nawaz, & Farooq, 2021). Нині на кукурудзу припадає до 50% виробництва зерна, тоді як 2000-х роках припадало лише 16%. Аналітики Мінагрополітики у звіті 2021 року вказували, що українські аграрії у сезоні 2021 року зібрали близько 40 млн. т. кукурудзи, з яких 31,5 млн. т. планувалося реалізувати на експорт на сумму близько 5,0 млрд. долларів США (Anonymous, 2021 (за даними сайту <https://latifundist.com>)). Відповідно актуально є потреба у якісній сільськогосподарській техніці для збирання врожаю. Кукурудзяні жатки поєднують в собі переваги дбайливого відривання качанів та ефективного подрібнення стебел. Два вальці затягують та переминають стебло кукурудзи, відриваючи при цьому качани, в той час як оснащений 15 дисковими ножами ріжучий ротор, який обертається в напрямку протилежному обертанню вальців, повністю подрібнює їх листя і стебла. У сучасних жатках загальна довжина площини зрізу становить близько 5,5 метра на ряд. У кукурудзяних жатках може бути від 4 до 12 рядів. Відповідно у одній жатці може бути від 60 до 180 ріжучих дисків, які працюють в умовах інтенсивного механічного зношування. У зв'язку з цим набуває актуальності розробка методів підвищення довговічності та працездатності дискових ножів кукурудзяних жаток.

В Україні найпоширенішими методами підвищення довговічності та працездатності вказаних сільськогосподарських знарядь є наступні: 1) використання для виготовлення інструментів матеріалів з високими характеристиками твердості та зносостійкості, наприклад сталі 65Г (Gulyarenko, & Vembenek, 2022; Tulaganova,

Yunushuzhaev, & Juraeva, 2022; Vasilenko, et al., 2021); 2) використання складної термічної (або термомеханічної) обробки; 3) зміна кутів заточування ріжучих кромки. Але ці методи не дозволяють у значній мірі збільшити ресурс та довговічність ґрунтообробних знарядь.

Закордоном набули популярності інші методи, спрямовані на розвиток технологічних підходів вирішення проблеми процесу зношування ріжучих кромки інструментів сільськогосподарської техніки, які полягають у лазерному наплавленні на робочі поверхні дисків виготовлених з вуглецевих конструкційних або низьколегованих сталей додаткових шарів з зносостійких матеріалів у вигляді порошку (сумішей на основі заліза чи кобальту з додаванням часток з високою твердістю, наприклад карбиду вольфраму) (Perrin, Achache, Meausoone, & Sanchette, 2021; Xu, Song, Li, M., Li, F., Guo, & Gao, 2021). Товщина таких додаткових шарів залежить від розмірів самих інструментів сільськогосподарської техніки та може становити від 100 мкм до 1000 мкм. Для продовження терміну служби інструментів сільськогосподарської техніки, наноситься наплавлення на тильний бік ріжучої кромки, що дозволяє зберегти лезо гострим на весь термін служби ножа, за рахунок ефекту самозаточування. Складна геометрія робочої частини інструментів сільськогосподарської техніки та їх мала товщина (зазвичай 3...6 мм), обумовлюють необхідність використання автоматизованих сучасних технологій лазерного порошкового наплавлення. Конкуруючі технології, такі як плазмове наплавлення, дугове наплавлення, вимагають попереднього підігріву деталей і тому не можуть застосовуватись при виробництві таких тонких деталей (для уникнення деформацій деталей, викликаних залишковими напруженнями).

Метою даної роботи є розробка та виготовлення технологічного устаткування у вигляді технологічної головки для лазерного наплавлення інструментів сільськогосподарської техніки.

**Матеріали і методи досліджень.** Авторами досліджень було використано наступні методи досліджень:

1. Проаналізовано існуючі сучасні розробки способів наплавлення на тонкостінні деталі сільськогосподарської техніки.

2. Розроблено ескізний проєкт головки для лазерного наплавлення, як необхідного технологічного устаткування.

3. Виготовлено необхідне технологічне устаткування для лазерного наплавлення.

**Результати досліджень.** При створенні композиційних покриттів дедалі більше застосовується процес коаксіального газопорошкового лазерного наплавлення. Розподіл частинок порошку в газопорошковому потоці є важливим параметром, що впливає як на продуктивність процесу, так і на його якість. Створення композицій-

ної структури покриття з порошкового матеріалу ускладнено у зв'язку з різною щільністю та формою частинок компонентів. При постійних витратах газів та порошку розподіл є стаціонарним і залежить від багатьох факторів: розміру частинок, їх форми, щільності їхнього матеріалу, з якого вони складаються. Наприклад, частинки сферичної форми приймають швидкість газу та переносяться у ламінарному потоці, частинки неправильної форми переміщуються більш розрізнено, потік порошку таких частинок нестаціонарний. Внаслідок наплавлення покриття такими матеріалами розподіл елементів у кінцевому валику може бути нерівномірним.

Коаксіальна подача – це метод обробки деталей більш акуратним способом, ніж при багатострумнинній подачі. Крім осі симетричності пучка, такий метод дозволяє отримати найбільш тонкий газопорошковий потік, дозволяє наносити валики шириною від 200...300 мкм.

Діаметр лазерного пучка у зоні обробки може становити 300...1000 мкм, а ефективність використання порошку може досягати 70%, чого не забезпечують методи з багатоструменевою подачею.

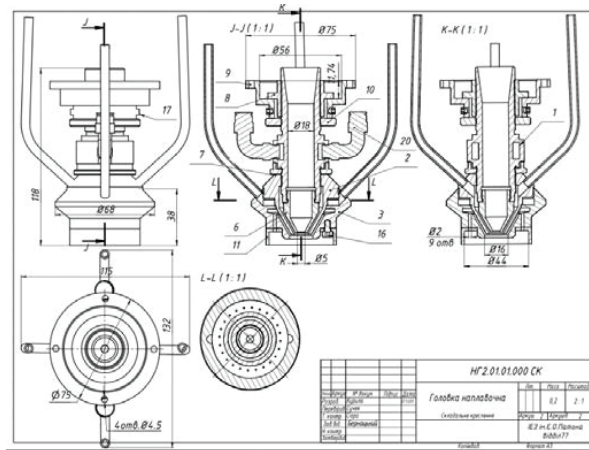
Згідно розробленого ескізного проекту, наплавочна головка являє собою сукупність модульних легко змінних вузлів, з'єднаних між собою в єдину конструкцію з вико-

ристанням схеми коаксіальної газопорошкової подачі порошкового матеріалу у зону наплавлення (рис. 1).

На відміну від аналогів, у розробленій головці для лазерного наплавлення запропонована оригінальна конструкція соплової насадки, що повинна забезпечити не тільки стабільний процес наплавлення, а також захист ванни розплаву та металу, що охолоджується від взаємодії з оточуючим середовищем (рис. 2).

Це реалізується за рахунок конструктивних особливостей соплової насадки, а саме, розділення газових потоків на три складові, кожна з яких виконує окрему функцію: перша – захист оптики; друга – транспортування порошку та захист ванни розплаву; третя – захист від впливу оточуючого середовища (рис. 2).

Розглянемо окремо складові створеної головки для лазерного наплавлення. Пристрій оснащений системою водяного охолодження (рис. 3). Має охолоджуючий контур для зняття надлишкового тепла з сопел в процесі наплавлення для підводу та відведення охолоджуючої рідини використано два швидкозатискні фітинги S6520 6-1/8 фірми Samozzi під поліетиленову трубку діаметром 6/4 мм. В нижній частині промінепровід має внутрішню різьбу M20×1,0 мм для встановлення внутрішнього сопла (рис. 4).



а б  
Рис. 1. Ескізне креслення (а) та виготовлена наплавочна головка (б)

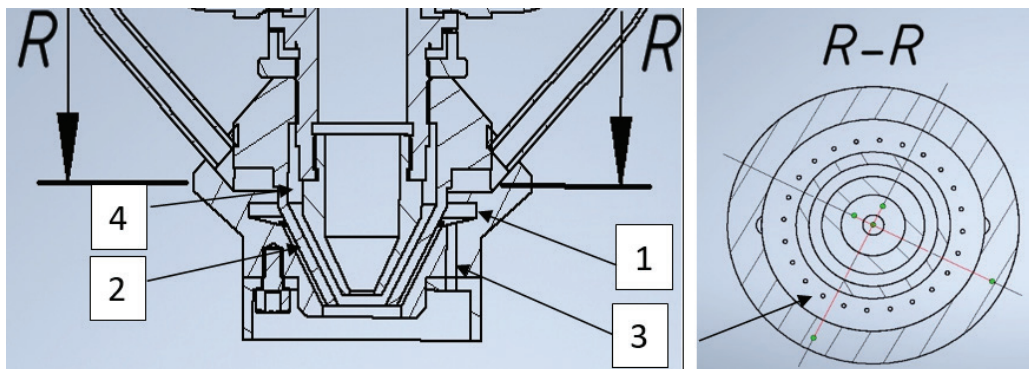


Рис. 2. Конструктивне утворення каналів в розробленій лазерній головці: 1 – камера захисного газу; 2 – канал між соплами; 3 – отвори між камерою та захисним ковпаком; 4 – канал подачі порошку

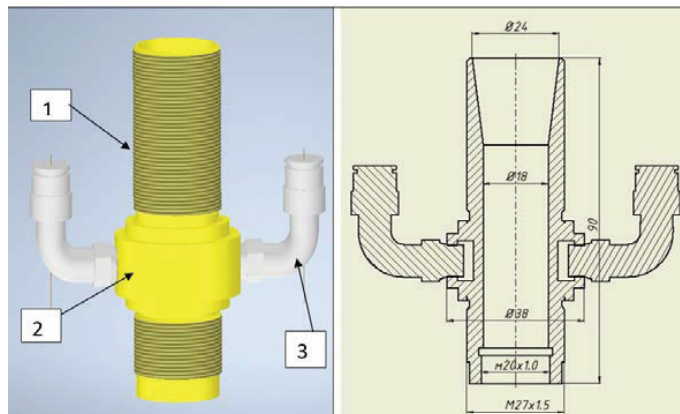


Рис. 3. Модель (а) та ескізне креслення частини головки для лазерного наплавлення з системою водяного охолодження (б), де 1 – корпус для проходження лазерного випромінювання; 2 – корпус водяного охолоджувача; 3 – штуцер подачі охолоджуючої рідини

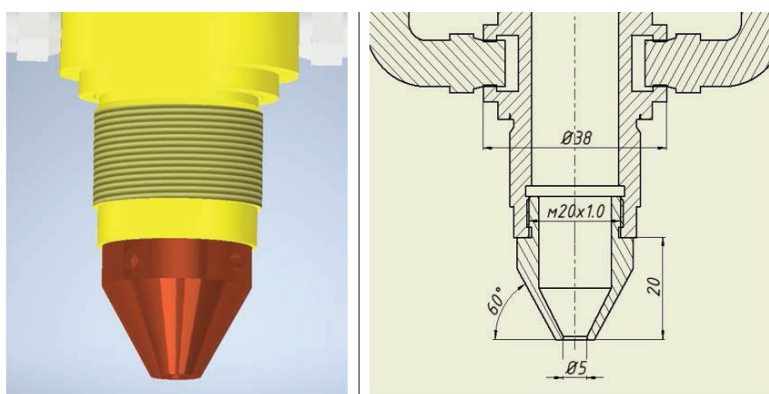


Рис. 4. Корпус зі встановленим внутрішнім соплом

Сопло показане на рис. 5 призначено для формування каналу подачі порошку вздовж внутрішнього сопла та його фокусування. Зміна зазору відбувається за рахунок переміщення сопла вздовж корпусу технологічної головки по різьбі. Подача порошку відбувається по двох мідних трубках впаяних в сопло. Корпус сопла виконано з міді. Фіксація зазору між внутрішнім соплом та соплом подачі порошку відбувається за допомогою контргайки (рис. 2).

Сопло захисного газу призначено для створення каналу подачі захисного газу вздовж сопла подачі порошку та його фокусування (рис. 6).

Зміна зазору відбувається за рахунок переміщення сопла захисного газу вздовж корпусу сопла подачі порошку по різьбі (рис. 6). Фіксація зазору між соплом подачі газу та соплом подачі порошку відбувається за допомогою фіксуючих гвинтів. Подача захисного газу відбувається по двох мідних трубках впаяних в сопло. Сопло виготовлено з міді. Для створення ламінарного потоку захисний газ спочатку потрапляє в камеру, яка утворюється при складанні між соплом подачі порошку та соплом подачі захисного газу, а потім через ряд отворів проникає в канал між цими соплами. Захисний ковпак (рис. 6) створює замкнений простір над розплавленою ванною в якому знаходиться захисний газ.

Газ в захисний ковпак проникає через ряд отворів між соплом подачі захисного газу та захисним ковпаком (рис. 2). Захисний ковпак фіксується до сопла подачі газу за допомогою 3-х гвинтів М4 (рис. 6).

**Обговорення.** Лазерне наплавлення як метод нанесення металевих шарів, бере свій початок від методу лазерного легування, що з'явився дещо раніше (Shelyagin, Bernatskyi, Siora, Nabok, Shamsutdinova, & Sokolovskyi, 2021). У разі наплавлення за рахунок подачі матеріалу, що наплавляється (в основному у вигляді порошку, рідше – у вигляді дроту) у зону дії сфокусованого в пляму діаметром 1,0...5,0 мм лазерного випромінювання на оброблюваній поверхні створюється шар певної висоти із заданими фізико-хімічними характеристиками. Можливі також варіанти лазерного наплавлення за попередньо нанесеними на підкладку шарами матеріалу, що наплавляється. Ці шари наносять газотермічним напиленням або обмазуванням, що складається з наплавного порошку з адгезуючим матеріалом, а потім переплавляють лазерним випромінюванням. Наплавлені шари металу пов'язані з матеріалом основи перехідною зоною порівняно малих (зазвичай від 5...10 мкм до 50...200 мкм) розмірів (Kritskiy, Pohudina, Kovalevskiy, Tsegelnyk, Kombarov, 2022).

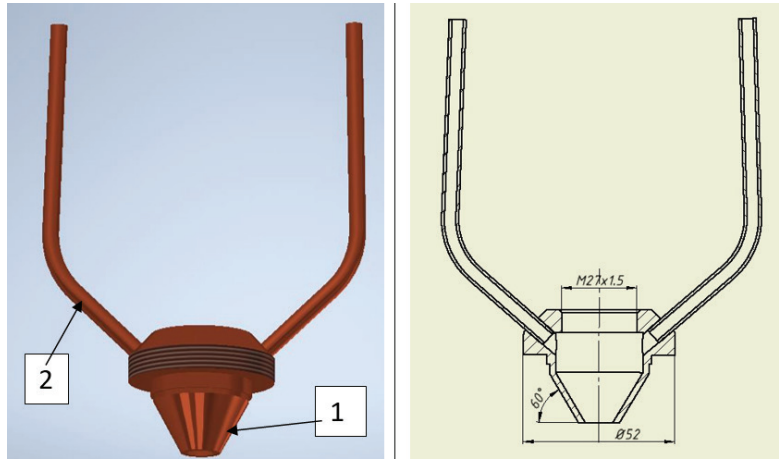


Рис. 5. Загальний вигляд та поперечний розріз сопла для подачі порошку для наплавлення: 1 – сопло наплавочного порошку; 2 – канали подачі порошку

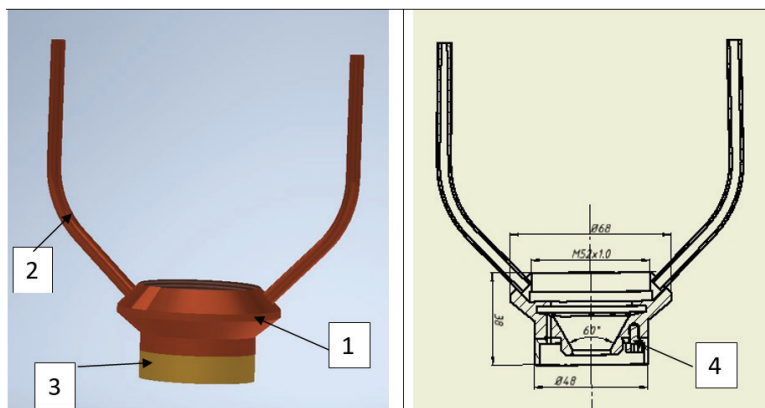


Рис. 6. Загальний вигляд та поперечний розріз сопла для подачі захисного газу: 1 – сопло захисного газу; 2 – трубки подачі порошку; 3 – ковпак захисний; 4 – гвинт фіксації захисного ковпака

Одним із найважливіших моментів у технології лазерного наплавлення є метод подачі матеріалу, що наплавляється до деталі, що обробляється. Вивчення процесів лазерного наплавлення показало, що в той час як у процесах з подачею дроту реалізується перевага проведення обробки практично в будь-якому просторовому положенні, перевага порошкових матеріалів полягає у більш ефективному поглинанні лазерного випромінювання. Наплавлення в нижньому положенні може здійснюватися шляхом попереднього розподілу порошку на поверхні, що обробляється. Застосування порошкових матеріалів в інших просторових положеннях зазвичай вимагає попереднього нанесення покриттів такими методами, як газополум'яне наплення, плазмове наплення або пічна сушка пасти обмазки. Якщо порошок не можна розподілити заздалегідь по поверхні, його подають спеціальними дозаторами. На сьогоднішній день найбільш широкое поширення набув метод лазерного наплавлення, при якому використовують присадні порошкові матеріали, що подаються безпосередньо в зону дії лазерного випромінювання за допомогою спеціальних порошкових дозаторів різних конструкцій (Kritskiy, Pohudina, Kovalevskiy, Tsegelnyk, Kombarov, 2022).

До переваг лазерного наплавлення відносяться: можливість нанесення шарів із заданими властивостями висотою 0,1...3,0 мм; значне послаблення ефекту перерозподілу компонентів з матеріалу основи в наплавлений шар, що сприяє підвищенню точності прогнозування результатів і максимальному наближенню властивостей наплавленого шару до вихідних властивостей матеріалу, що наплавляється; отримання рівноосних дрібнокристалічних структур наплавленого металу та малої (до 0,1...0,5 мм) зони термічного впливу; мінімізація припуску під фінішну механообробку до величин близько 0,3...0,5 мм на сторону, за рахунок малої шорсткості (до Ra 200...300 мкм) наплавлених поверхонь.

До недоліків лазерного наплавлення можна віднести: наявність поперечних холодних мікротріщин у шарах наплавлення та легування, виникнення яких є наслідком релаксації високих внутрішніх напружень розтягування; можливість утворення як внутрішніх, так і зовнішніх пор, пов'язана з неметалевими включеннями і залишковою вологістю порошку, що наплавляється, а також забрудненням поверхні, що наплавляється; порівняльну дорожнечу процесу, пов'язану з порівняно високою собівартістю лазерного обладнання (Khaskin, Korzhuk,

Tkachuk, Peleshenko, Voitenko, & Oleinychenko, 2016). Питання контролю, зниження та повного усунення тріщиноутворення при лазерному наплавленні досліджувалися у різний час багатьма авторами. Порівняно недавно авторами з ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України було запропоновано математичну модель цього явища, що дозволило зв'язати відстані між тріщинами з механічними властивостями наплавлених шарів та їх товщинами (Khaskin, Korzhyk, Tkachuk, Peleshenko, Voitenko, & Oleinychenko, 2016; Shelyagin, Bernatskiy, Siora, Nabok, Shamsutdinova, & Sokolovskiy, 2021). Зі сказаного випливає, що до перспективних напрямів усунення недовліків процесу можна віднести методи, що дозволяють знизити залишкові термічні напруження в шарах, що наплавляються в поєднанні з ретельною підготовкою наплавочних порошоків і поверхні на яку здійснюється наплавлення.

За допомогою лазерного наплавлення отримують зносо-і корозійностійкі наплавлені шари з досить широкої гами матеріалів. Однак, в Україні у першій половині 80-х років лазерне наплавлення знайшло широке застосування не при виготовленні нових деталей, а як процес відновлення зношених деталей техніки, що працюють в умовах тертя ковзання, ударних навантажень, абразивного зносу тощо (Khaskin, Korzhyk, Tkachuk, Peleshenko, Voitenko, & Oleinychenko, 2016; Kritskiy, Pohudina, Kovalevskiy, Tsegelnyk, Kombarov, 2022; Shelyagin, Bernatskiy, Siora, Nabok, Shamsutdinova, & Sokolovskiy, 2021).

Сьогодні у промислово розвинених країнах лазерне наплавлення, як технологія, що застосовується на стадії виготовлення деталей, не втратила своєї актуальності (Perrin, Achache, Meausoone, & Sanchette, 2021; Waqas, Wang, Zafar, Noor, Hussain, Azher Nawaz, & Farooq, 2021; Xu, Song, Li, M., Li, F., Guo, & Gao, 2021). Лазерне наплавлення закордоном застосовується, зокрема, при виготовленні ґрунтообробних знарядь (дисків, фрез, тощо) та інструментів для збирання врожаю (дисківих ножів кукурудзяних жаток). В Україні наразі відсутні підприємства, які застосовують технології лазерного наплавлення зносостійких матеріалів у вигляді порошку при виготовленні вказаних сільськогосподарських інструментів. Тому вказані інструменти для сільськогосподарських машин, які мають подовжений ресурс завдяки зносостійким наплавленим шарам металу, закуповуються закордоном.

Створена конкурентоспроможна високотехнологічна продукція (головка для лазерного наплавлення), що за своїми технічними показниками не поступається закордонним аналогам, а за вартісними показниками дешевша у декілька разів закордонним аналогів (вартість яких перевищує 30000 євро). Також очікується, що в результаті реалізації запланованих робіт будуть розроблені технологічні рекомендації та технологічні інструкції з лазерного наплавлення функціональних шарів на тонкостінні деталі, що працюють в умовах механічного

зношування. Очікується збільшення на 30...50% ресурсу та довговічності тонкостінних інструментів для сільськогосподарської техніки (ножів та дисків для жаток).

Розроблене технологічне устаткування у вигляді технологічної головки для лазерного наплавлення, технологічні рекомендації та технологічні інструкції з лазерного наплавлення функціональних шарів на тонкостінні деталі сільськогосподарської техніки, що працюють в умовах механічного зношування, планується до впровадження при виконанні послуг ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України з лазерного наплавлення для підприємств сільськогосподарського машинобудування України. Надалі таке технологічне устаткування зможе бути тиражоване для промислового впровадження на інших підприємствах які виготовляють деталі для сільськогосподарської техніки в Україні та світі. Одержані результати також будуть в подальшому використовуватись у ІЕЗ ім. Є.О. Патона для проведення наукових досліджень при відпрацюванні технологій лазерного наплавлення функціональних шарів на тонкостінні деталі, що працюють в умовах механічного зношування для різних галузей промисловості, на стадіях виготовлення та ремонту. Впровадження відпрацьованого комплексу технологічних заходів лазерного наплавлення, дозволить у подальшому вирішувати широкий комплекс завдань, які ставлять не тільки сільськогосподарське машинобудування, а й ракетобудівна, хімічна, медична, оборонна, та інші галузі промисловості при виготовленні широкого спектру деталей з необхідністю застосування лазерного наплавлення.

**Висновки.** Розроблено ескізний проєкт головки для лазерного наплавлення, як необхідного технологічного устаткування. Згідно розробленого ескізного проєкту, наплавочна головка являє собою сукупність модульних легкозмінних вузлів, з'єднаних між собою в єдину конструкцію з використанням схеми коаксіальної газопорошкової подачі порошкового матеріалу у зону наплавлення. На відміну від аналогів, у розробленій головці для лазерного наплавлення запропонована оригінальна конструкція соплової насадки, що повинна забезпечити не тільки стабільний процес наплавлення, а також захист ванни розплаву та металу, що охолоджується від взаємодії з оточуючим середовищем. Створена конкурентоспроможна високотехнологічна продукція (головка для лазерного наплавлення), що за своїми технічними показниками не поступається закордонним аналогам, а за вартісними показниками дешевша у декілька разів закордонним аналогів. Також очікується, що в результаті реалізації запланованих робіт будуть розроблені технологічні рекомендації та технологічні інструкції з лазерного наплавлення функціональних шарів на тонкостінні деталі, що працюють в умовах механічного зношування. Очікується збільшення на 30...50% ресурсу та довговічності тонкостінних інструментів для сільськогосподарської техніки.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Anonymous (2021, November 30). *World Corn Market 2021 and Ukrainian Realities: From Global to Local*. Retrieved from <https://latifundist.com/analytics/27-svtovij-rinok-kukurudzi-2021--ukransk-real-vd-globalnogo-dokladu>

2. Aramide, B., Pityana, S., Sadiku, R., Jamiru, T., & Popoola, P. (2021). Improving the durability of tillage tools through surface modification – a review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 116(1), 83–98. DOI: 10.1007/s00170-021-07487-4
3. Benos, L., Tsaopoulos, D., & Bochtis, D. (2020). A review on ergonomics in agriculture. part II: Mechanized operations. *Applied Sciences*, 10(10), 3484. DOI: 10.3390/app10103484
4. Didur, V., Gritsaienko, H., & Gritsaienko, I. (2017). Investment of agricultural machinery in agricultural production of Ukraine. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources*, 63(1), 11–14. Retrieved from <https://stumejournals.com/journals/am/2017/1/11>
5. Erenstein, O., Chamberlin, J., & Sonder, K. (2021). Estimating the global number and distribution of maize and wheat farms. *Global Food Security*, 30, 100558. DOI: 10.1016/j.gfs.2021.100558
6. Gulyarenko, A., & Bembenek, M. (2022). The method of calculating ploughshares durability in agricultural machines verified on plasma-hardened parts. *Agriculture*, 12(6), 841. DOI: 10.3390/agriculture12060841
7. Kehayov, D., Popova, R., & Zahariev, I. (2021). Determination of agro-technical indicators in soil treatment in orchards. *Scientific Papers. Series B, Horticulture, LXV(1)*, 758–761. Retrieved from [http://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2021/issue\\_1/Art103.pdf](http://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2021/issue_1/Art103.pdf)
8. Khaskin, V., Korzhyk, V., Tkachuk, V., Peleshenko, S., Voitenko, O., & Oleinychenko, T. (2016). The process of laser and laser-plasma cladding. *American Scientific Journal*, (2-2), 74–78.
9. Khodaei, D., Javanmardi, F., & Khaneghah, A. M. (2021). The global overview of the occurrence of mycotoxins in cereals: A three-year survey. *Current Opinion in Food Science*, 39, 36–42. DOI: 10.1016/j.cofs.2020.12.012
10. Kritskiy, D., Pohudina, O., Kovalevskiy, M., Tsegelnyk, Ye., Kombarov, V. (2022). Powder mixtures analysis for laser cladding using OpenCV Library. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – 2021. ICTM 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 367* (pp. 924–937). DOI: 10.1007/978-3-030-94259-5\_72
11. Perrin, T., Achache, S., Meausoone, P. J., & Sanchette, F. (2021). Characterization of WC-doped NiCrBSi coatings deposited by laser cladding; effects of particle size and content of WC powder. *Surface and Coatings Technology*, 425, 127703. DOI: 10.1016/j.surfcoat.2021.127703
12. Sahaidak, M., Tepluk, M., Zhurylo, V., Rudenko, N., & Samko, O. (2021). Integrative viewpoint for implementing sustainable management agricultural business excellence. *TEM Journal*, 10(1), 303–309. DOI: 10.18421/TEM101-38
13. Shelyagin, V., Bernatskyi, A., Siora, O., Nabok, T., Shamsutdinova, N., & Sokolovskyi, M. (2021). Historical review of technological CO<sub>2</sub> lasers development, manufacturing and operation stages at E.O. Paton electric welding institute of the NAS of Ukraine. In *2021 IEEE 3rd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)* (pp. 589–593). DOI: 10.1109/UKRCON53503.2021.9575940
14. Sozanskyi, L., & Koval, L. (2021). Key trends in the development of mechanical engineering in Ukraine. *Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej w Poznaniu [The WSB University in Poznan Graduate Research Journal]*, 94(3), 49–60. DOI: 10.5604/013001.0015.8441
15. Tulaganova, L., Yunushuzhaev, S., & Juraeva, G. (2022). Improving the wear resistance and durability of cultivator tools. *Journal of Physics: Conference Series*, 2373(2), 022026. DOI: 10.1088/1742-6596/2373/2/022026
16. Upadhyay, G., Raheman, H., & Dubey, R. (2022). Novel draught resistance sensing elements for measurement of drawbar power of agricultural machinery. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 20(4), e0208. DOI:10.5424/sjar/2022204-19171
17. Vasilenko, M. O., Rogovskii, I. L., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., Sokolova, V. A., Garbuzova, T. G., ... & Ariko, S. Yu. (2021). Research of weight and linear wear from resource indicators of cultivator paws hardened by combined method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 677(3), 032025. DOI: 10.1088/1755-1315/677/3/032025
18. Waqas, M. A., Wang, X., Zafar, S. A., Noor, M. A., Hussain, H. A., Azher Nawaz, M., & Farooq, M. (2021). Thermal stresses in maize: effects and management strategies. *Plants*, 10(2), 293. DOI: 10.3390/plants10020293
19. Xu, L., Song, Z., Li, M., Li, F., Guo, J., & Gao, M. (2021). Self-Grinding silage knife strengthened with Ni–WC alloy prepared by laser cladding. *Applied Sciences*, 11(21), 10236. DOI: 10.3390/app112110236

**Bernatskyi A. V.**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Kurilo V. A.**, Researcher, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Suchek O. M.**, Researcher, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Siora O. V.**, Researcher, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Sokolovskyi M. V.**, Researcher, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

**Shamsutdinova N. O.**, Engineer, E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

#### **Development of a technological head for laser cladding of agricultural machinery**

Agricultural engineering traditionally occupies an important place in the structure of the engineering complex of Ukraine. Abroad, methods aimed at the development of technological approaches to solving the problem of the process of wearing

*the cutting edges of agricultural machinery tools have gained popularity, which consist in the laser cladding of additional layers of wear-resistant materials in the form of powder onto the working surfaces of discs made of carbon structural or low-alloy steels. The thickness of such additional layers depends on the size of the agricultural machinery tools themselves and can range from 100 microns to 1000 microns. To extend the service life of agricultural machinery tools, cladding is applied to the back side of the cutting edge, which allows you to keep the blade sharp for the entire service life of the knife, due to the self-sharpening effect. The complex geometry of the working part of agricultural machinery tools and their small thickness make it necessary to use automated modern technologies of laser powder cladding. The purpose of this work is the development and manufacture of technological equipment in the form of a technological head for laser cladding of agricultural machinery tools. The authors of the research analyzed existing modern developments of methods of cladding on thin-walled parts of agricultural machinery. A sketch project of the head for laser cladding, as the necessary technological equipment, has been developed. According to the developed sketch project, the cladding head is a set of modular, easily replaceable nodes connected to each other in a single structure using the scheme of coaxial gas-powder supply of powder material to the cladding zone. Unlike analogues, the developed head for laser cladding offers an original design of the nozzle nozzle, which should ensure not only a stable cladding process, but also protection of the molten bath and the cooling metal from interaction with the surrounding environment. A competitive high-tech product (head for laser cladding) was created, which in terms of its technical indicators is not inferior to foreign analogues, and in terms of cost indicators is several times cheaper than foreign analogues. It is also expected that as a result of the implementation of the planned works, technological recommendations and technological instructions for laser cladding of functional layers on thin-walled parts operating under mechanical wear conditions will be developed. A 30...50% increase in resource and durability of thin-walled tools for agricultural machinery is expected.*

**Key words:** *laser cladding, technological head, development, thin-walled parts, agricultural machinery.*