

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

кандидата технічних наук, доцента Кагляка Олексія Дмитровича на дисертаційну роботу Середюка Станіслава Петровича на тему «Технологічне забезпечення максимальної продуктивності газолазерного різання низьковуглецевих сталей випромінюванням потужних оптоволоконних лазерів», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

### ***Ступінь актуальності обраної теми.***

Газолазерне різання металів динамічно інтегрується в індустріальні процеси підприємств України, де компанія «Араміс» посідає провідні позиції у сегменті відповідного обладнання. Сучасні виробничі стандарти зумовлюють підвищені вимоги до продуктивності та точності обробки. Конкурентоспроможність на даному ринку базується на науково обґрунтованих техніко-економічних рішеннях, що визначають вибір технологічних комплексів. Актуальність зазначеного підходу зростає з появою потужних волоконних лазерів, які розширюють можливості розкрою низьковуглецевих сталей, включаючи значні товщини ( $> 10$  мм).

Застосування стандартних емпіричних рекомендацій часто виявляється недостатньо ефективним через багатофакторність процесу, варіативність компонентної бази та специфіку характеристик вітчизняного обладнання. Це вимагає адаптивної корекції режимів безпосередньо в умовах виробничого циклу. З метою мінімізації таких ризиків необхідна розробка верифікованих технологічних баз параметрів, що гарантують стабільну продуктивність та якість продукції. Окреслена проблематика потребує проведення систематичних комплексних досліджень.

Враховуючи вищевикладене, актуальним є проведення досліджень, спрямованих на розробку технологічних баз режимів газолазерного різання низьковуглецевих сталей для вітчизняних установок із застосуванням оптоволоконних лазерів потужністю 12 кВт, що забезпечують високу продуктивність та відповідність показників якості виробів заданим вимогам. Комплексна систематизація технологічних параметрів у межах цільових баз

даних дозволить суттєво мінімізувати часові витрати на налаштування обладнання під час переходу на іншу товщину металу, забезпечуючи при цьому стабільність геометричних та фізико-хімічних характеристик зони термічного впливу.

***Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.***

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, наведених у дисертаційному дослідженні, забезпечується коректним застосуванням фундаментальних принципів обробки матеріалів концентрованими потоками енергії, використанням методів математичної статистики для планування експериментів, аналізу та інтерпретації даних, а також логічною послідовністю викладу матеріалу. Обґрунтованість отриманих результатів також підтверджується проведенням експериментів із використанням актуальних методик на спеціалізованому лазерному обладнанні компанії «Араміс» відповідно до метрологічних вимог.

***Новизна наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.***

Представлені в дисертаційній роботі наукові положення вирізняються обґрунтованою новизною:

Вперше встановлено фізичні закономірності впливу конфігурації сопла (внутрішньої структури та розмірів), робочого тиску газу, а також дистанції між соплом і деталлю на геометрію надзвукового струменя кисню та розподіл тиску в зоні гальмування на поверхні матеріалу.

Вперше науково обґрунтовано оптимальні діапазони параметрів випромінювання оптоволоконного лазера потужністю 12 кВт та технологічних режимів різання низьковуглецевих сталей різної товщини з використанням кисню, що забезпечують продуктивність та якість крою відповідно до вимог стандарту ISO 9013:2017.

Досліджено основні закономірності впливу комплексу факторів – типу асистуючого газу, геометрії сопла, оптичних налаштувань (фокусна відстань та положення фокуса), висоти різання та швидкості процесу – на техніко-економічні показники та якісні характеристики обробки низьковуглецевих сталей.

Розширено теоретичну базу щодо адекватності та точності прогнозування параметрів газолазерного різання з використанням різних регресійних моделей для систем із випромінюванням потужністю 12 кВт.

***Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації.***

За результатами дослідження опубліковано 5 наукових праць, з них: 4 наукових статті у фахових виданнях України, 1 теза доповіді на міжнародній науково-практичній конференції.

Для всіх наукових публікацій, які написані в співавторстві, у вступі дисертаційної роботи наведено особистий вклад автора дисертаційного дослідження.

***Відсутність порушення академічної доброчесності.***

Отримані опонентом результати перевірки роботи здобувача на наявність текстових запозичень, аналіз публікацій здобувача, аналіз тексту дисертаційного дослідження та використаних автором джерел свідчать про відсутність порушення академічної доброчесності автором дисертаційного дослідження.

***Структура та зміст дисертаційного дослідження.***

Дисертація включає вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та 3 додатки. Основний зміст викладено на 109 сторінках. Робота містить 38 рисунків, 8 таблиць, та посилання на 61 використаних джерел. Оформлення роботи відповідає чинним вимогам.

В анотації коректно подано узагальнений короткий основний зміст дисертації, спрямованої на нове вирішення актуальної науково-технічної задачі підвищення ефективності технологічного забезпечення процесів розкроювання листової низьковуглецевої сталі випромінюванням оптоволоконного лазера потужністю 12 кВт. Анотацію подано державною та англійською мовами.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, визначено її зв'язок із науковими планами, сформульовано мету, завдання, наукову новизну, практичну значущість, особистий внесок автора та відомості про апробацію результатів.

У першому розділі здійснено теоретичний аналіз фізико-технологічних основ газолазерного різання низьковуглецевих сталей волоконними лазерами. Розглянуто механізми взаємодії випромінювання з металом, де ключову роль відіграють оптичні властивості поверхні, оксидні шари та мікрогеометрія. Проаналізовано процес абляції, що поєднує плавлення, випаровування та витіснення розплаву газовим струменем. Визначено вплив типу асистуючого газу (екзотермічний ефект кисню проти інертного азоту) та багатофакторний характер впливу лазерних, газодинамічних і металургійних параметрів на якість і продуктивність різу.

Другий розділ присвячено методиці досліджень та експериментальній базі на основі комплексу AFX-PRO-12000-1530LD. Описано функціональні підсистеми установки та методи контролю точності, що забезпечують достовірність даних. Представлено характеристики сталі Ст3 та розроблений вимірювальний стенд для аналізу параметрів газового струменя, включаючи алгоритми калібрування та оцінки похибок.

У третьому розділі проведено теоретико-експериментальний аналіз газодинаміки струменів. За допомогою чисельного моделювання (рівняння Нав'є–Стокса, RANS-підхід та  $k-\epsilon$  модель турбулентності) досліджено структуру надзвукових потоків та їх вплив на ефективність видалення роз-

плаву. Встановлено закономірності зміни ріжучого тиску залежно від зазору та переваги двоканальних сопел у стабілізації процесу.

У четвертому розділі наведено результати повнофакторного експерименту з оптимізації режимів кисневого різання. Виявлено кореляцію між потужністю лазера, швидкістю процесу та товщиною металу. Запропоновано узагальнену технологічну модель і аналітичні залежності. Енергетичний аналіз підтвердив підвищення ефективності різання великих товщин завдяки інтенсифікації екзотермічних реакцій та локалізації теплових потоків.

### ***Практична цінність результатів роботи.***

Оптимізація режимів: Розроблено раціональні режими різання для стандартного діапазону товщин, що відповідають стандарту ISO 9013:2017, та виведено аналітичні залежності швидкості процесу від потужності лазера, що дозволяють здійснювати інженерне прогнозування.

Методологічне забезпечення: Створено комплекс методик та вимірювальних засобів для об'єктивної оцінки якості поверхні різу, що уможливило встановлення кореляції між технологічними параметрами та геометричними характеристиками виробів.

Фундамент для досліджень: Розроблені експериментальні інструменти формують методичну базу для вивчення фізики газодинамічних процесів, що критично важливо для подальшого вдосконалення ефективності видалення розплаву.

Впровадження: Розроблена технологічна карта для установок AFX-PRO-12000-1530-LD є практичним керівництвом для налаштування промислового обладнання при роботі зі сталлю ВСтЗсп.

### ***Зауваження до дисертаційної роботи.***

Оцінюючи позитивно дисертаційну роботу Середюка С. П., слід висловити наступні зауваження:

1. В дисертаційному дослідженні не було розглянуто аналіз глибини та структурних трансформацій металу в зоні термічного впливу, хоча ці показники суттєво визначають подальші експлуатаційні властивості виробів.

2. Поза межами дослідження залишилося питання виникнення термічних деформацій листа та їхнього впливу на технологічний процес (окрім окремих припущень щодо конструкції сопла, наведених у третьому розділі).

3. В тексті дисертації автор не уник стилістичних вад, неточних формулювань та низки технічних помилок.

В цілому, наведені зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертаційної роботи.

#### ***Загальні висновки за дисертаційним дослідженням.***

Розглянуте дисертаційне дослідження здобувача Середюка С.П., на тему «Технологічне забезпечення максимальної продуктивності газолазерного різання низьковуглецевих сталей випромінюванням потужних оптоволоконних лазерів» є завершеною науково-прикладною роботою, спрямованою на розв'язання актуальної задачі: встановлення закономірностей впливу технологічних факторів на процес газолазерного різання та розробку режимів обробки низьковуглецевих сталей випромінюванням волоконного лазера потужністю 12 кВт, що забезпечують високу продуктивність, стабільну відтворюваність та відповідність показників якості виробів заданим вимогам.

Робота в цілому відповідає вимогам до дисертаційного дослідження на здобуття ступеня доктора філософії, наведеним у Постанові Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.22 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Автор дисертації, Середюк С.П., заслуговує на

спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Автор дисертації, Середюк С.П., заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 Прикладна механіка, галузі знань 13 Механічна інженерія.

Офіційний опонент, завідувач  
кафедри лазерної техніки та  
фізико-технічних технологій  
Національного технічного  
університету України «Київський  
політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського», кандидат технічних  
наук, доцент

