

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Національного університету

«Запорізька політехніка», д.т.н., проф.

Вадим ШАЛОМЄЄВ

«21» серпня 2024 р.



**ВИТЯГ**

з протоколу № 10

розширеного засідання кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій інженерно-фізичного факультету Національного університету «Запорізька політехніка» (НУ «Запорізька політехніка»)

від «20» серпня 2024 р.

**ПРИСУТНІ:**

**Головуючий на засіданні – Капустян О. Є.** – завідувач кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, к.т.н., доцент;

**Секретар – Хохлова Л. О.**, старший лаборант кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій.

**12 співробітників кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій:**

**Бриков М. М.** – професор кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, д-р. техн. наук, професор;

**Міщенко В. Г.** – професор кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, д-р. техн. наук, професор;

**Нетребко В. В.** – професор кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, д-р. техн. наук, професор;

**Бажміна Е. А.** – доцент кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, д-р філософії, доцент;

**Куликовський Р. А.** – доцент кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, канд. техн. наук, доцент;

**Лаптева Г. М.** – доцент кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, канд. техн. наук, доцент;

**Лютова О. В.** – доцент кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, канд. техн. наук, доцент;

**Осіпов М. Ю.** – доцент кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, канд. техн. наук, доцент;

**Савонов Ю. М.** – доцент кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, канд. техн. наук, доцент;

**Бовкун С. А.** – старший викладач кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій;

**Корнієнко О. Б.** – старший викладач кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій;

**Скоробогата М. В.** – старший викладач кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій;

#### **4 запрошених:**

**Дядя С. І.** – завідувач кафедри технології машинобудування, канд. техн. наук, доцент;

**Гончар Н. В.** – доцент кафедри технології машинобудування, канд. техн. наук, доцент;

**Тришин П. Р.** – доцент кафедри технології машинобудування, канд. техн. наук, доцент;

**Тумарченко Л. О.** – старший викладач кафедри технології машинобудування.

## **ПОРЯДОК ДЕННИЙ**

1. Про попередній розгляд дисертації аспіранта кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій Молочкова Дениса Євгенійовича на тему «Покращення керованості процесу формоутворення шарів металу при 3D-друці на основі електродугового зварювання» (науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент Р. А. Куликовський).

**СЛУХАЛИ:** Доповідь аспіранта Д. Є. Молочкова по завершенню дисертаційної роботи.

**ПИТАННЯ:** Під час обговорення учасники засідання поставили доповідачу 12 запитань.

**Тришин П. Р.:** Поясніть, будь ласка, яким чином оцінювались розроблені математичні, отримані в результаті факторних аналізів?

**Молочков Д. Є.:** Перед створенням регресійних моделей було перевірено основні припущення, які забезпечують достовірність отриманих результатів. Лінійний зв'язок між незалежними та залежними змінними перевірявся за діаграмою розсіювання імовірності. Залишки (різниця між спостережуваними і прогнозованими значеннями) повинні бути незалежними один від одного. На діаграмах не повинно бути помітної кореляції між послідовними залишками. Залишки повинні мати постійну дисперсію на кожному рівні незалежної змінної. В такому випадку розсіювання залишків повинно бути приблизно однаковим на всіх рівнях незалежних змінних. Одним із ключових припущень є нормальний розподіл залишків, що перевірялося за допомогою графіка нормального розподілу імовірностей.

Серед основних статистичних показників дисперсійного аналізу для оцінки моделей було використано критерій Фішера, що показує загальну значущість моделі. Також було використано критерій Стьюдента, який показує, чи існує значущий зв'язок між незалежною змінною і залежною змінною. Також одним із показових є коефіцієнт кореляції Пірсона, який дозволяє попередньо оцінити силу і напрямок зв'язку змінних, а також правильність вибору параметрів моделі.

**Тришин П. Р.:** На продемонстрованій моделі залежності величини відхилення присадного дроту від радіусу його кривизни і складеного параметру  $W'$  один із незалежних параметрів моделі має вкрай низький коефіцієнт. Як було визначено значущість цього коефіцієнту і відповідного параметру?

**Молочков Д. Є.:** Розраховані коефіцієнти функціональної залежності величини відхилення присадного дроту від радіусу його кривизни і складеного параметру  $W'$  забезпечують максимальну точність і відповідність передбачуваних і виміряних даних. В той же час значущість параметрів визначалась шляхом порівняння відповідних  $T$ -критеріїв з рівнем значущості при  $\alpha = 0,05$ .

**Тришин П. Р.:** Чи було враховано вплив деформацій деталі на точність вимірювання відхилення форми?

**Молочков Д. Є.:** Деформацію зразків, утворену залишковими напруженнями і складним температурним циклом процесу вирощування було враховано при вимірюванні відхилення форми шляхом визначення відхилення зразків від перпендикулярності відносно підкладки при їх вирощуванні.

**Гончар Н. В.:** Наведений приклад підбраної математичної моделі має вигляд квадратичної функції. Чому не обрано складніший вид функції, яка могла би забезпечити більшу точність?

**Молочков Д. Є.:** Лінійна регресійна модель у вигляді квадратичного поліному, має найбільшу інтерпретабельність серед багатьох функцій, які можуть описувати нелінійну залежність визначених параметрів. Інтерпретабельність є дуже важливою характеристикою статистичних моделей, яка дозволяє більшою кількістю методів та параметрів оцінити їх адекватність, точність, а також визначити ступінь впливу кожного предиктора на вихідне значення моделі.

**Дядя С. І.:** В наведеному Вами прикладі практичного застосування отриманих результатів вагу вирощуваної заготовки було знижено з 17,5 до 12,3 кг. Поясніть детальніше, за рахунок чого покращилась ефективність використання матеріалу?

**Молочков Д. Є.:** При попередньому вирощуванні заготовки вказаної деталі було враховано можливості технології WAAM та подальшу обробку різанням. До кінцевих розмірів деталі було додано припуск на обробку, головними складовими якого були максимальна величина нерівномірності поверхонь та припуск на отримання необхідної якості поверхонь. В той же час, відхилення форми заготовки через знос наконечника і супутнє відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту не було враховане, оскільки на той час це явище ще не було досліджене. Таким чином, вирощена заготовка з наявним відхиленням форми не змогла забезпечити достатньо матеріалу для подальшої механічної обробки. Для подальшого уникнення такої проблеми були виміряні максимальні відхилення форми, утворені на попередній вирощеній заготовці, які потім було додано до припуску на обробку різанням. В результаті маса вирощуваної заготовки збільшилась до 17,5 кг.

Впровадження розробленого методу компенсації відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту і, відповідно, відхилення форми дозволило наблизити форму заготовки до форми готової деталі, прибрати необхідність у надлишковій величині припуску. Таким чином масу заготовки було знижено до 12,3 кг.

**Дядя С. І.:** Будь ласка, поясніть детальніше, як відбувається компенсація визначених похибок?

**Молочков Д. Є.:** Компенсація відбувається динамічною зміною координат інструменту в системі координат самого обладнання в процесі вирощування. Зміни відбуваються в координатах положення центральної точки інструменту відносно фланця робота. Іншими словами відбувається періодичне перекалібрування робочого інструменту (зварювального пальника) робота. Величина компенсації розраховується згідно розроблених моделей і додається до відповідних координат інструменту.

**Капустян О. Є.:** В процесі пошуку оптимальних комбінацій технологічних параметрів процесу вирощування Ви демонструєте залежність ширини валика від швидкості подачі дроту, швидкості переміщення пальника і погонної енергії. Оскільки досліджувана технологія заснована на електродуговому зварюванні, то можна припустити, що подібна інформація вже давно відома. Поясніть, в чому виділяється унікальність отриманих даних?

**Молочков Д. Є.:** Головною унікальністю отриманих даних є використання жароміцних матеріалів в контексті багатошарового вирощування однопрохідних стінок на основі електродугового зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів.

**Капустян О. Є.:** Чим обґрунтовується вибір використаних Вами матеріалів?

**Молочков Д. Є.:** Жароміцні та інші високовартісні сплави є актуальними матеріалами в контексті адитивного виробництва, оскільки одним з головних цілей використання адитивного виробництва є економна витрата матеріалу. Адитивні технології значно покращують ефективність використання матеріалів, особливо при виготовленні складних просторових форм. Таким чином, поєднання жароміцних сплавів та адитивних технологій набуває широкого розповсюдження в авіа- та ракетобудівній промисловості, виготовленні силових установок енергетичного обладнання та ін.

**Капустян О. Є.:** Поясніть, яким чином вимірювалися геометричні параметри досліджуваних поверхонь?

**Молочков Д. Є.:** Геометричні параметри досліджуваних поверхонь вимірювалися шляхом виготовлення шліфів поперечних перерізів вирощених зразків з їх подальшим оптично-цифровим скануванням. Отримані зображення було оброблено в спеціалізованому програмному забезпеченні для виокремлення профілю поверхонь.

**Капустян О. Є.:** Поясніть, яким чином вимірювалась величина зносу контактного наконечника?

**Молочков Д. Є.:** Безпосередньо величина зносу контактного наконечника визначалася шляхом математичних розрахунків на основі експериментально вимірянних даних величини відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту і розроблених регресійних моделей. Для цього було проведено натурний експеримент з визначення величини відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту в залежності від довжини використаного дроту, на основі чого розроблено регресійну модель. На основі цих даних і моделювання методом скінчених елементів було отримано другу модель залежності величини відхилення присадного дроту від радіусу його кривизни і величини зносу наконечника. Використовуючи регресійні моделі на основі теоретичних і експериментальних даних було розраховано величину зносу наконечника відповідно до величини відхилення присадного дроту і його напружено-деформованого стану.

**Міщенко В. Г.:** Поясніть вплив напружено-деформованого стану присадного дроту на його відхилення і швидкість зношування контактного наконечника?

**Молочков Д. Є.:** При перебуванні у контактному наконечнику для присадного дроту є характерним плоский напружений стан, який утворюється при плоскому вигині дроту шляхом його розгинання. Пружна деформація присадного дроту забезпечує силу притискання. В процесі ковзної взаємодії дроту з наконечником відбувається адгезійне зношування останнього. При цьому напружений стан дроту дещо наближається до стану рівноваги. Відповідно, зі зменшенням напружень зменшується і сила притискання дроту до контактної наконечника, що призводить до зменшення інтенсивності його зношування.

**Лаптева Г. М.:** При дослідженні впливу нерівномірності поверхонь на експлуатаційні властивості зразків Ви стверджуєте, що утворені дефекти і особливості поверхонь є

концентраторами напружень. Але ця інформація є очевидною. В чому особливість отриманих вами результатів стосовно цього експерименту?

**Молочков Д. Є.:** Особливістю цієї частини дослідження є використання отриманих даних внаслідок моделювання статичних і циклічних випробувань на розтягування і стискання є не як самостійну інформацію, а саме для визначення впливу геометричних особливостей зразків на визначені властивості без врахування структури матеріалу. Це дослідження дозволило встановити залежність товщини оброблених і необроблених стінок при еквівалентних внутрішніх напруженнях при однаковому навантаженні.

**ВИСТУПИЛИ:** Науковий керівник, кандидат технічних наук, доцент Р. А. Куликовський, який відзначив актуальність проведеного наукового дослідження, практичне і теоретичне значення одержаних результатів, виступив із позитивною оцінкою щодо впровадження розроблених методів покращення керованості процесу формоутворення шарів металу при 3D-друці на основі електродугового зварювання. Науковий керівник надав позитивну характеристику особі здобувача та його науковій діяльності, відзначив широту набутих компетентностей та сформованих навичок дослідника. Було підкреслено, що дисертаційна робота відповідає вимогам щодо дисертацій доктора філософії за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка» і може бути рекомендована до подання у разову спеціалізовану вчену раду на розгляд.

С. І. Дядя (рецензент) – відзначив актуальність поставленої проблеми, високий рівень роботи та глибоке теоретичне опрацювання питань, що досліджено в дисертації. Окремо було відзначено практичну значущість отриманих результатів. Позитивно охарактеризовано повноту публікацій та впровадження результатів дисертаційного дослідження.

**УХВАЛИЛИ:** Прийняти такий висновок щодо дисертаційної роботи Д. Є. Молочкова.

## **ВИСНОВОК**

**наукового семінару кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій інженерно-фізичного факультету НУ «Запорізька політехніка» про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Покращення керованості процесу формоутворення шарів металу при 3D-друці на основі електродугового зварювання» здобувача ступеня доктора філософії Дениса МОЛОЧКОВА за спеціальністю 131 Прикладна механіка (галузь знань 13 Механічна інженерія)**

**Актуальність теми.** Використання адитивної технології на основі електродугового зварювання плавким електродом, більш відомої як Wire and Arc Additive Manufacturing або WAAM, у сучасному виробництві зумовлене необхідністю прискорити та оптимізувати виготовлення унікальних металевих компонентів, а також підвищити екологічність виробництва за рахунок зменшення кількості відходів. WAAM забезпечує високу ефективність 3D-друку, але має такий недолік, як низька точність та якість поверхні вирощених деталей. Вирощені деталі зазвичай потребують додаткової механічної обробки, тому мінімізація постобробки має вирішальне значення для скорочення часу виробництва та спрощення виробничого ланцюга. Відмовляючись від постобробки, важливо враховувати низьку якість поверхні та геометричну точність надрукованих компонентів. Друковані деталі схильні до анізотропії механічних властивостей через нерівності на поверхні, що призводить до зниження механічних властивостей при навантаженні впоперек поздовжніх шарів. Крім того, хвилястість і пов'язані з нею дефекти спричиняють концентрацію напружень, що може мати вирішальне значення для деталей, які функціонують під впливом циклічних навантажень і є вразливими до втомного руйнування.

Низька точність WAAM викликана природою дугового процесу нанесення матеріалу, а також механізмами перенесення матеріалу і формоутворення валиків. Невідповідність фактичних геометричних параметрів системи і її кінематичної моделі через знос інструменту і неточність позиціонування присадного дроту призводять до утворення непередбачуваних дефектів форми та геометрії вирощуваних деталей. Відхилення від бажаної форми, розмірів та орієнтації деталей впливають на їх функціональність, надійність та здатність взаємодіяти з іншими елементами конструкції.

Підвищення стабільності та керованості положення присадного дроту відносно центральної точки інструменту робота є запорукою точного позиціонування місця нанесення матеріалу відносно траєкторії вирощування. Вирішення цієї неоптимізованої частини існуючої технології є актуальною задачею, а підвищення точності WAAM деталей має основне значення для функціональних характеристик вирощених деталей, екологічності, об'єму постобробки, можливості вирощування складної геометрії, а також для привабливості впровадження цієї технології в різних галузях промисловості.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Окремі розділи роботи виконані автором дисертації в рамках грантової угоди «Розвиток нових технологій цифрового виробництва» (грантова угода No ІКА-2019-001, 2020 р.), укладеної з компанією Тріада за програмою USAID «Конкурентоспроможна економіка України» (КЕУ). Метою роботи було дослідження і подальше впровадження адитивних технологій на промислових підприємствах України.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у встановленні залежності нерівномірності поверхонь вирощуваних об'єктів від напружено-деформованого стану присадного дроту, зносу контактного наконечника і від динамічних процесів у ванні розплавленого металу, що комплексно впливають на процес формоутворення валиків із жароміцних сплавів при адитивному виробництві на основі електродугового зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів. При цьому:

1. Вперше встановлено і доведено зв'язок зносу контактної наконечника і відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту з утворенням нерівномірностей поверхонь деталей, виготовлених методом WAAM.
2. Вперше експериментально-розрахунковим шляхом встановлено залежність нелінійної зміни інтенсивності зношування контактної наконечника в процесі адитивного виробництва методом WAAM від напружено-деформованого стану присадного дроту, динамічна зміна якого визначає умови контактної взаємодії наконечника з дротом. Виявлено закономірність зниження інтенсивності зношування контактної наконечника зі збільшенням кривизни присадного дроту, що пояснюється зменшенням контактної сили при зменшенні пружної деформації.
3. Вперше розроблено адекватні математичні моделі залежності величини відхилення присадного дроту від основних параметрів контактної взаємодії дроту з наконечником, які описують комплексний вплив напружено-деформованого стану дроту на його відхилення.
4. Вперше вирішені теоретичні та прикладні задачі покращення контрольованості формоутворення валиків, які забезпечують зменшення відхилень форми бокових поверхонь при адитивному виробництві на основі електродугового зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів шляхом обмеження часу існування постійної ванни розплавленого металу, що дозволило встановити раціональні режими вирощування та забезпечити зменшення відхилення форми бокових поверхонь вирощених деталей на величину до 60% і покращити стабільність вирощуваної геометрії в три рази за рахунок зменшення стандартного відхилення до 0,08 мм.
5. Вперше впроваджено і розраховано параметр еквівалентна ширина стінки, який обґрунтовує необхідність компенсації падіння міцності вирощеної стінки внаслідок впливу дефекту, утвореного зносом контактної наконечника, і встановлює залежність між міцністю необробленої і обробленої стінок без урахування впливу мікроструктури.
6. Вперше розроблено і обґрунтовано методику компенсації відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту для WAAM на основі GMAW програмним шляхом, згідно якої координати центральної точки інструменту в кінематичній моделі робота набувають змінного характеру, який керується нейронними моделями на основі експериментальних і статистичних даних. Таким чином забезпечується постійна позиційна точність положення присадного дроту з відхиленням до  $\pm 0,2$  мм за координатою X і  $\pm 0,12$  мм за координатою Y.

**Методи дослідження.** Оптимізація технологічних параметрів процесу WAAM виконувалась шляхом проведення факторних експериментів з вирощуванням дослідних зразків. Геометрія отриманих зразків оцінювалась методами регресійного і дисперсійного аналізів. Для вимірювання геометрії використано метод оптичного сканування і геометричної морфометрії.

Дослідження напружено-деформованого стану присадного дроту і умов його контактної взаємодії з контактним наконечником проводилися на розробленому лабораторному стенді, який дозволяє визначити пружні характеристики дроту і моделювати зміну нормальній сили контактної взаємодії при зносі зварювального наконечника. Для визначення модулю пружності використано метод триточкового згинання. Дослідження супроводжувалися комп'ютерним моделюванням в середовищі Ansys Mechanical.



Визначення швидкості зношування контактного наконечника і величини відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту проводилося натурним експериментом в промислових умовах з використанням трьох присадних матеріалів. На основі експериментальних даних і комп'ютерного моделювання розроблено розрахунково-експериментальні моделі відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту. Ефективність та надійність розроблених моделей підтверджена промисловими випробуваннями.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у значному покращенні точності та повторюваності вирощуваної геометрії, що дозволяє значно підвищити ефективність використання матеріалу, скоротити час виробництва і зменшити необхідність в постобробці. Розроблені розрахунково-експериментальні моделі дозволяють прогнозувати робочий цикл контактних наконечників зварювальних пальників. Алгоритм компенсації відхилення присадного дроту від центральної точки інструменту розроблено з урахуванням можливості впровадження не тільки в адитивному виробництві, а і роботизованій чи автоматизованій відновлювальній наплавці.

**Впровадження результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи апробовано та впроваджено у практичну діяльність Товариства з обмеженою відповідальністю «ТРІАДА ЛТД КО» (м. Запоріжжя) при адитивному виробництві компонентів авіаційних і ракетних силових установок.

**Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.** Основні положення та результати дисертації опубліковано у 4 публікаціях, які розкривають основний зміст дисертації, зокрема опубліковано 4 статті у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (1 статтю включено до міжнародної наукометричної бази Scopus). Опубліковано 3 тези доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій.

**Список публікацій Молочкова Д. Є., в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Молочков Д. Є., Куликовський Р. А., Фурманова Н. І. Визначення оптимальних параметрів процесу WAAM на основі технології СМТ з використанням низьковуглецевої нелегованої сталі. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. 2020. №1. С. 62–68. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2021-1-9>

2. Анікін П. С., Шило Г. М., Куликовський Р. А., Молочков Д. Є. Система автоматизованого керування робототехнічною платформою 3D-друку з використанням технології електродугового зварювання. Електротехніка та електроенергетика. 2020. №4. С 35-48. <http://dx.doi.org/10.15588/1607-6761-2020-4-4>

3. Molochkov D., Kulykovskiy R., Brykov M., Hesse O. The Influence of Surface Irregularities on the Mechanical Properties of Thin-Walled Wire and Arc Additively Manufactured Parts. Journal of Engineering Sciences. 2023. Вип. 10, № 2. С. A10–A17. [http://dx.doi.org/10.21272/jes.2023.10\(2\).a2](http://dx.doi.org/10.21272/jes.2023.10(2).a2)

4. Molochkov D., Kulykovskiy R. Pulse deposition method for wire and arc additive manufacturing. New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering. 2024. №2. С. 21-29. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2024-2-3>

**Оцінка мови та стилю дисертації.** Дисертаційна робота є завершеним і цілісним дослідженням, її матеріал є досить добре структурованим і логічно викладеним. Роботу написано з використанням сучасної науково-технічної термінології. Оформлення дисертації відповідає встановленим вимогам до докторських дисертацій згідно «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а також вимогам МОН України до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Застосована в роботі наукова термінологія є загально визнаною, стиль викладення наукових положень, результатів роботи та висновків логічний, обґрунтований та забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на міжнародних конференціях і семінарах: XIV-й міжнародній науково-практичній конференції магістрантів та аспірантів «Теоретичні та практичні дослідження молодих науковців» у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (Харків, 2020); XIV-й міжнародній науково-технічній конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2022» у КПІ ім. Ігоря Сікорського (Київ, 2022); XIII-й міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» у НУ «Чернігівська політехніка» (Чернігів, 2023).

**УХВАЛИЛИ:** з урахуванням зазначеного, на розширеному засіданні кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій НУ «Запорізька політехніка».

Дисертація Дениса МОЛОЧКОВА «Покращення керованості процесу формоутворення шарів металу при 3D-друці на основі електродугового зварювання» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну науково-прикладну задачу покращення керованості процесу формоутворення наплавлених шарів металу при 3D-друці на основі електродугового зварювання плавким електродом в середовищі захисних газів.

У 4 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у виданні України, яке входить до міжнародної наукометричної бази.

Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44).

З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Дениса МОЛОЧКОВА дисертація «Покращення керованості процесу формоутворення шарів металу при 3D-друці на основі

електродугового зварювання» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

Присутні на розширеному засіданні кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій Національного університету «Запорізька політехніка» подають вченій раді закладу пропозицію щодо кандидатур до складу разової ради для розгляду та захисту дисертаційної роботи Дениса МОЛОЧКОВА у такому складі:

1. ПАВЛЕНКО Дмитро Вікторович, д.т.н., професор, завідувач кафедри технології авіаційних двигунів Національного університету «Запорізька політехніка» – голова ради;
2. КВАСНИЦЬКИЙ Віктор Вячеславович, д.т.н., професор, завідувач кафедри зварювального виробництва Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського" – опонент;
3. НОСОВ Денис Геннадійович, к.т.н., доцент кафедри машинобудівних технологій та інженерії Дніпровського державного технічного університету – опонент;
4. ДЯДЯ Сергій Іванович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри технології машинобудування Національного університету «Запорізька політехніка» – рецензент;
5. ГНАТЕНКО Михайло Олегович, д-р філософії, старший викладач, старший викладач кафедри машин і технологій ливарного виробництва Національного університету «Запорізька політехніка» – рецензент.

**Результати голосування: за рекомендацію голосування дисертації Дениса Євгенійовича Молочкова «Покращення керованості процесу формоутворення шарів металу при 3D-друці на основі електродугового зварювання» до захисту – 18, проти – 0, утримались – 0.**

Головуючий на засіданні,  
завідувач кафедри інтегрованих технологій  
зварювання та моделювання конструкцій  
кандидат технічних наук, доцент

  
Олексій КАПУСТЯН

Секретар,  
старший лаборант кафедри інтегрованих  
технологій зварювання та моделювання конструкцій

  
Лариса ХОХЛОВА