

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
НУ «Запорізька політехніка»,
д. т. н., проф.



Вадим ШАЛОМЄЄВ

« » червня 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 13

розширеного засідання кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій інженерно-фізичного факультету Національного університету «Запорізька політехніка» (НУ «Запорізька політехніка») від «18» червня 2025 р.

ПРИСУТНІ:

Головуючий на засіданні - Капустян О. Є. – в.о. завідувача кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій, к.т.н., доцент;

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

8 співробітників кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій: Міщенко В.Г. д-р техн. наук, професор; Бриков М.М. д-р техн. наук, професор; Осіпов М.Ю. канд. техн. наук, доцент; Лаптева Г.М. канд. техн. наук, доцент; Білоник І.М. канд. техн. наук, доцент; Корнієнко О.Б. стар. викл.; Скоробогата М.В. стар. викл.; Бовкун С. А. стар. викл.;

7 запрошених співробітників кафедри технології машинобудування: Дядя С. І., канд. техн. наук, доцент, Гончар Н.В. канд. техн. наук, доцент, Козлова О. Б. канд. техн. наук, доцент, Степанов Д.М. канд. техн. наук, доцент, Тришин П.Р. канд. техн. наук, Вишнепольський Є.В. канд. техн. наук, Тумарченко Л.О. старш. викл.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ

1. Розгляд дисертації аспіранта кафедри інтегрованих технологій зварювання та моделювання конструкцій Завгороднього Олександра Васильовича на тему: «Вдосконалення обладнання та технології плазмового ротаційного розпилення для виготовлення металевих порошків адитивного призначення» (науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент О. Є. Капустян).

СЛУХАЛИ: Доповідь аспіранта О.В. Завгороднього по завершенню дисертаційної роботи.

ПИТАННЯ: Під час обговорення учасники засідання поставили доповідачу 15 запитань.

Вишнепольський Є.В.: Яку фракцію порошоків Ви використовували в дослідженнях.

Завгородній О.В.: Фракційний склад гранул із досліджених сплавів визначений методом розсіву на ситах з розміром комірок, мкм: 40, 100, 125, 160, 200 та 250.

Вишнепольський Є.В.: Яким чином регулювали розмір фракцій?

Завгородній О.В.: різна швидкість обертання витратного електроду та певне співвідношення аргону та гелію в плазмоутворюючій суміші дозволяли отримати порошки із різним розміром частинок.

Вишнепольський Є.В.: Чому для різних матеріалів при однакових режимах розпилювання отримували різні фракції порошку?

Завгородній О.В.: різні сплави мають різні фізико-механічні властивості, в тому числі, різні властивості розплавленого металу (текучість, густина, вага крапель розплаву, поверхневий натяг краплі тощо), що в комплексі впливало на розмір частинок порошоків досліджених сплавів, виготовлених на однакових режимах. Особливо такий вплив відчутний при порівнянні порошоків із титанового сплаву та нікелевих сплавів: титан більш легкий метал, схильний до акумулювання тепла і для його розпилення необхідні вища швидкість обертання витратного електроду.

Вишнепольський Є.В.: Що Ви розумієте під терміном насипна щільність?

Завгородній О.В.: Насипна щільність – це маса порошку, що припадає на одиницю об'єму, включаючи порожнечі між частинками. Вона визначалася за ISO 3923-1:2008 із застосуванням лійки.

Козлова О. Б.: Чи розглядалось питання впливу якості порошку на якість отриманих з нього деталей?

Завгородній О.В.: Якість порошку звичайно впливає на якість отриманих з нього деталей: пористість в частинках порошку викликає наявність несущільностей у виробі. Наявність інорідних неметалевих включень в порошках, окисленої поверхні унаслідуються матеріалом, консолідованим із цього порошку. Підвищений вміст домішок кисню, азоту, вуглецю у витратному електроді також буде успадковано матеріалом деталі. Всі перелічені показники ретельно контролювались та для 3D-друку застосовували тільки високоякісні порошки. Тому вплив якості порошку на якість отриманих з нього деталей не було предметом досліджень, а приймалось за «сталу величину» – тобто, порошки використовували високоякісні. В 5-му розділі досліджували вплив параметрів 3D-друку, реалізовані різними технологіями, на якість отриманих деталей.

Козлова О. Б.: Чи розглядався суміжний вплив факторів при плануванні експерименту?

Завгородній О.В.: швидкість обертання витратного електроду та вміст гелію в плазмоутворюючій газовій суміші з аргоном мають сукупний вплив на розмір частинок розпиленого порошку, що підсилюється зі збільшенням обох параметрів, створюючи лінійну залежність.

Тришин П.Р.: Ви проводили порівняння сучасних технологій атомізації порошку?

Завгородній О.В.: так в літературному огляді ми проводили порівняння наступних технологій отримання порошків для адитивних технологій – газова атомізація, розпилення в результаті індукційного нагріву, вакуумне розпилення та ротаційне плазмове розпилення.

Гончар Н.В.: Чим обумовлено вибір граничних параметрів при плануванні експерименту?

Завгородній О.В.: вибір граничних параметрів здійснювався на підставі літературних даних, а також враховували технічні можливості обладнання до та після його модернізації. Окрім цього, враховано власний досвід розпилення порошків із різних сплавів.

Гончар Н.В. Як впливають параметри розпилювання на хімічний склад та параметри порошку?

Завгородній О.В.: введення гелію до плазмоутворюючої газової суміші з аргоном позитивно впливало на зменшення розміру фракції порошку. Швидкість обертання витратного електроду та вміст гелію в плазмоутворюючій газовій суміші з аргоном мають сукупний вплив на розмір частинок розпиленого порошку, що підсилюється зі збільшенням обох параметрів, створюючи лінійну залежність. Для розпилення використовували тільки високочисті гази (аргон та гелій), тому хімічний склад після розпилення не змінювався порівняно із хімічним складом матеріалу витратного електроду, що було підтверджено при оцінці якості отриманих порошків в розділі 4.

Дядя С.І. Як визначається сферичність порошку?

Завгородній О.В.: Сферичність порошку при дослідженні визначалася шляхом мікроскопічного огляду із застосуванням стереоскопічного біноклярного мікроскопа. Отримані у мікроскопі зображення частинок оброблялися із застосуванням програмного забезпечення «Image Scope ColorM». До того ж, непрямым свідченням сферичності порошків є високі показники текучості порошку та насипної щільності, які було визначено для виготовлених порошків із досліджених сплавів.

Дядя С.І. Які крім сферичних форми порошків можна використовувати для адитивних технологій?

Завгородній О.В.: головною вимогою адитивних технологій є сферична форма металевих порошків. Неправильна, загострена форма порошків сприяє низьким показникам текучості та насипної щільності, що неприйнятне для адитивних способів виробництва.

Дядя С.І. Як вони впливають на процес вирощування деталі?

Завгородній О.В.: Текучість порошку безпосередньо впливає на рівномірність розтікання порошку в процесі 3D-друку та на стабільність процесу подачі порошку.

Білоник І.М.: Яким способом отримували заготовки для розпилювання порошку?

Завгородній О.В.: витратний електрод із титанового сплаву отримано зі зливку, виплавленого потрійним вакуумно-дуговим переплавленням, який підлягав обточенню на діаметр 50 мм. Витратні електроди із нікелевих сплавів також обточувались на цей діаметр, але вихідною заготовкою були стандартні

прутки, виготовлені зі зливків вакуумно-індукційної виплавки та багатоетапної деформаційної обробки.

Лаптева Г.М.: Чим обумовлено вибір матеріалів дослідження?

Завгородній О.В.: обрані сплави застосовуються для великої кількості деталей авіаційного газотурбінного двигуна, зокрема, для деталей, що виготовляються адитивними технологіями. Порошки із цих сплавів замовлені підприємством для 3D-друку певних деталей.

Осіпов М.Ю.. Чи була зміна хімічного складу деталей отриманих з Ваших порошків?

Завгородній О.В.: Розпилення порошків за PREP технологією відбувається в атмосфері високоочищених інертних газів, тому збільшення відсотку газових домішок в порошках не відбувалося.

ВИСТУПИЛИ: Науковий керівник, кандидат технічних наук, доцент Капустян О. Є., який відзначив, що дисертаційна робота Завгороднього Олександра Васильовича виконана з високим рівнем науково-технічної обґрунтованості, характеризується системним підходом та глибоким аналітичним дослідженням, що забезпечує цілісне та комплексне вирішення поставлених задач на всіх етапах дослідницького процесу — від формулювання наукової проблеми до впровадження отриманих результатів у промислове виробництво. Робота побудована на логічній та системній структурі, що відображає високий рівень підготовки автора як у теоретичній, так і в прикладній сферах дослідження. Основу дослідження становить інтеграція експериментальних методів, планування експерименту та виробничої апробації запропонованих технологічних рішень.

Змістовна частина роботи охоплює повний цикл вивчення процесів отримання об'ємних заготовок із жароміцних нікелевих та титанових сплавів за допомогою адитивних технологій — від модернізації обладнання для виробництва високоякісних порошків для 3D-друку до оптимізації параметрів технологічного процесу розпилення та впровадження отриманих результатів у промислове виробництво. Це дозволяє підвищити ефективність та надійність процесів виробництва складних компонентів для авіаційної техніки.

Капустян О. Є. відзначив, що обрана тема є надзвичайно актуальною і відповідає сучасним тенденціям розвитку технологій виробництва високотехнологічних деталей для авіаційної промисловості, має очевидну науково-практичну значущість і перспективи подальшого розвитку. У роботі підкреслюється високий рівень наукової обґрунтованості, коректність і обґрунтованість висновків, логічна структура викладу матеріалу, відповідність використовуваної термінології, правильність побудови дослідницьких моделей, а також наявність практичних виробничих впроваджень - усі ці характеристики повною мірою відповідають вимогам, що висуваються до дисертаційних досліджень, поданих на здобуття ступеня доктора філософії.

Дисертаційна робота Завгороднього Олександра Васильовича відповідає тематиці та науково-кваліфікаційним вимогам спеціальності 131 – Прикладна механіка, є завершеним самостійним дослідженням, а її автор заслуговує на

присудження наукового ступеня доктора філософії. Роботу рекомендовано допустити до публічного захисту в разовій вченій раді.

Дядя С. І. – відзначив важливість обраної проблеми, високий рівень виконання дослідження та глибоке теоретичне опрацювання досліджуваних питань. Особливу увагу приділено практичній цінності отриманих результатів. Також відзначено ефективність впровадження результатів дисертаційної роботи. дану дисертаційну роботу можна подавати до разової спеціалізованої вченої ради після корегування формулювання мети роботи.

УХВАЛИЛИ: Прийняти такий висновок щодо дисертаційної роботи О.В. Завгороднього.

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 «Вдосконалення обладнання та технології плазмового ротаційного розпилення для виготовлення металевих порошків адитивного призначення» (науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент Капустян О. Є.) здобувача ступеня доктора філософії Олександра ЗАВГОРОДНЬОГО за спеціальністю 131 «Прикладна механіка» (галузь знань 13 Механічна інженерія).

Актуальність роботи. Для підвищення обороноздатності країни важливим напрямком промислового розвитку є авіадвигунобудування. З метою збільшення експлуатаційних показників авіадвигунів конструктори пропонують змінювати конфігурацію окремих деталей. Вузли із декількох складальних одиниць замінювати на монолітну деталь. Технологія 3D-друку деталей надскладної форми згідно побудованої тривимірної моделі можуть забезпечити мінімізацію витрат часу на впровадження в серійне виробництво. Період від стадії проєктування до постановки деталі на літальний апарат може тривати декілька тижнів замість відліку в місяцях та навіть роках, як це відбувалось при класичних технологіях виробництва. Зменшення витрат відбувається в даному випадку за рахунок суттєвого збільшення коефіцієнту використання матеріалу, виключення стадій виготовлення оснасток, прес-форм, скорочення чисельності персоналу та мінімальної механічної обробки. При цьому, оскільки резерв механічних властивостей авіаційних матеріалів та сплавів часто є майже вичерпаним, ведеться пошук нових сплавів або шляхи кардинального підвищення властивостей вже існуючих матеріалів. Рішенням, що поєднує зазначені напрямки, є впровадження інноваційних технологій виготовлення деталей шляхом адитивного вирощування із застосуванням металевих порошків. Адитивні технології упродовж десятиліть широко застосовують в провідних країнах світу, в тому числі, і в авіаційному двигунобудуванні. При цьому закордонні підприємства є розробниками обладнання та технології виготовлення металевих порошків певних сплавів, що мають надвисоку вартість і не завжди відповідають вимогам вітчизняного виробництва, де застосовуються інші марки матеріалів. Технологічні режими

виготовлення порошків та виробів з них, зазвичай, є закритою інформацією і не розголошуються виробником. Тому для налагодження адитивного виробництва в Україні необхідні власні розробки обладнання з виготовлення металевих порошків, визначення технологічних режимів для тих сплавів, що використовуються у вітчизняній техніці, потрібна їх апробація з використанням різних технологій адитивного вирощування, доступних в нашій країні (лазерний 3D-друк, електронно-променеве та плазмове вирощування). Зазначені методи вже застосовуються в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, на АТ «Мотор Січ», ГП «Івченко-Прогрес», ТОВ «Адитивні лазерні технології». Ці підприємства потребують дисперсних порошків із жароміцних нікелевих і титанових сплавів. Головними вимогами до порошків адитивного призначення є сферична їх форма та розмір частинок, що не повинен перевищувати 100 мкм. Вирішенню цих науково-практичних задач присвячена дана дисертаційна робота.

Тому актуальним є розробка технології отримання сферичних порошків з нікелевих та титанових сплавів, які застосовуються для адитивного вирощування деталей відповідального призначення.

Мета роботи полягає в розробці технології отримання сферичних порошків з нікелевих та титанових сплавів, які застосовуються для адитивного вирощування деталей відповідального призначення, для підвищення їх якості та забезпечення необхідного рівня механічних властивостей..

Об'єкт дослідження – процес плазмового ротаційного розпилення для виробництва сферичних порошків із титанових та нікелевих сплавів, процеси консолідації порошків із застосуванням адитивних технологій.

Предмет дослідження – технологічні режими та обладнання плазмового ротаційного розпилення для виробництва сферичних порошків з титанових та нікелевих сплавів та параметри адитивних технологій виготовлення різних деталей з них.

Для досягнення вказаної мети в роботі поставлено такі завдання:

- модернізація технологічного обладнання для розпилення заготовок (витратних електродів);
- встановлення закономірностей впливу технологічних режимів обладнання для реалізації технології PREP на характеристики порошків;
- отримання оптимальних характеристик порошкових матеріалів для різних процесів адитивного вирощування деталей (лазерне сплавлення на 3D-принтері та мікроплазмове наплавлення);
- розробка технологій адитивного виготовлення різних деталей авіадвигунів та впровадження нових технологій у серійне виробництво.

Методи дослідження. Визначення хімічних складів сплавів виконували рентгеноспектральним, хімічним та енергодисперсійним методами.

Дослідження структур матеріалів проводили з використанням оптичного, растрового та електронного мікроскопів.

Механічні властивості визначали за стандартними методиками.

Обробка статистичних даних виконувалась кореляційно-регресійним методом.

Наукова новизна отриманих результатів.

Основні висновки та положення, що характеризують наукову новизну роботи, полягають у наступному:

1. Отримали подальший розвиток залежності впливу технологічного параметру ротаційного плазмового розпилення (швидкість обертання витратного електроду) на розмір порошків із жароміцних нікелевих сплавів Inconel 718, ВЖ98 та титанового сплаву Ti-6Al-4V. Удосконалено кінематичну схему системи обертання витратного електроду в обладнанні для ротаційного плазмового розпилення (PREP). Отримано максимальну кількість (d_{50}) дрібнодисперсного (30...100 мкм) металевих порошків для виготовлення деталей ГТД адитивними технологіями.

2. Вперше встановлені регресійні залежності впливу складу плазмоутворюючих газів (аргон, гелій) в умовах надвисоких швидкостей обертання розпилюваної заготовки (20-30 тис. хв⁻¹) на фракційний склад виготовлених металевих порошків зі сплавів Inconel 718, ВЖ98 та Ti-6Al-4V за технологією PREP. Відповідно отриманим рівнянням встановлено, що для виготовлення порошків розмірами 30...50 мкм із нікелевих жароміцних сплавів Inconel 718 і ВЖ98 швидкість обертання має становити 25 тис. хв⁻¹, а співвідношення аргон / гелій – 30 / 70 %. При максимальній швидкості обертання (30 тис. хв⁻¹) достатньо вводити в плазмоутворюючу газову суміш 40 % гелію. Для одержання порошків із титанового сплаву Ti-6Al-4V розміром 30...60 мкм необхідно забезпечити швидкість обертання до 30 тис хв⁻¹ при вмісті гелію не менше 70 %, що пов'язано із низькою питомою вагою титану і більш складним відривом крапель у процесі розпилення.

3. Розвинуте наукове обґрунтування впливу фракційних складів розроблених порошків на технологічні характеристики адитивних методів виробництва (лазерний 3D-друк, мікроплазмове та електронно-променеве пошарове наплавлення). Встановлено оптимальні режими розпилення для одержання в дослідних і виробничих умовах металевих порошків різного призначення:

- для лазерного 3D-друку – 20...50 мкм;
- для мікроплазмового пошарового наплавлення – 100...120 мкм;
- для електронно-променевого вирощування виробів – 45...105 мкм.

Практичне значення одержаних результатів:

- удосконалено обладнання типу УЦР-4 для виробництва сферичних порошків із титанових та нікелевих сплавів, що забезпечило виробництво сферичних металевих порошків високої дисперсності (20...100 мкм), які відповідали вимогам якості порошків для адитивних технологій;

- розроблені технологічні режими виготовлення сферичних порошків жароміцних нікелевих сплавів Inconel 718, ВЖ98, а також титанового сплаву Ti-6Al-4V ротаційним плазмовим розпиленням на модернізованому обладнанні, що забезпечило максимальний відсоток порошку заданої фракції у виготовленій партії;

- на основі результатів конструктивного удосконалення обладнання ротаційного плазмового розпилення та розроблених технологічних режимів для виготовлення металевих порошків високої дисперсності розроблені та

впроваджені на підприємстві АТ «Мотор Січ» спеціальні технічні умови («Порошки зі сплавів на основі нікелю та на залізонікелевій основі» та «Порошки титанових сплавів сферичної форми для адитивних процесів вирощування»), що регламентують вимоги до хімічного складу та технологічних властивостей порошків.

- у результаті досліджень впливу діаметру металевих порошків на якість матеріалу зразків, вирощених за різними адитивними технологіями, визначені найбільш ефективні для цих процесів розміри порошків: 20...50 мкм – для лазерного 3D-друку, 45...105 мкм і 100...120 мкм – відповідно для електронно-променевого і мікроплазмового пошарового вирощування. Порошки вказаних фракцій застосовуються для лазерного друку складнопрофільних деталей паливної системи ГТД – завихрювача та мікроплазмового вирощування кільцевих деталей в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона.

- окремі результати досліджень дисертаційної роботи Завгороднього О.В. використані в навчальному процесі кафедри «Інтегровані технології зварювання та моделювання конструкцій» НУ «Запорізька політехніка».

Особистий внесок здобувача. Результати теоретичних і експериментальних досліджень, що представлені до захисту, отримані автором самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача такий: визначено вплив лазерної обробки поверхні зразків із жароміцного титанового сплаву на їх властивості; визначено взаємозв'язок технологічних параметрів електронно-променевого наплавлення з характеристиками вихідного порошку; відпрацьована методика оптимізації досліджених параметрів із отриманням регресійних рівнянь; виконав аналіз результатів механічних випробувань зразків із титанових сплавів; брав участь в обговоренні результатів та висновків робіт.

Апробація результатів дисертації. Результати наукових досліджень апробовані на XIV Міжнародній науково-технічній конференції «Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів» (Запоріжжя, 2019); Науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку адитивних технологій» (Київ, 2023); XXIX Міжнародному конгресі двигунобудівників у Національному аерокосмічному університеті (Харків, 2024); Міжнародній науковій конференції «Механіка: сучасність і перспективи» (Київ, 2024); VI Міжнародній науково-практичній конференції «Scientific research modern challenges and future prospects» (м. Мюнхен, Німеччина, 2025); XV Всеукраїнській конференції «Молоді вчені 2025 – від теорії до практики» (Дніпро, 2025); XXV Міжнародній науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених "Політ. Сучасні проблеми науки" (Київ, 2025); XVII Міжнародній науково-технічній конференції «ABIA-2025» (Київ, 2025).

Публікації. Основні результати роботи знайшли відображення у 13-ти публікаціях, з яких 3 статті з індексом цитування в наукометричній базі даних Scopus, 1 стаття – в науковому фаховому виданні та 9 матеріалів тез конференцій.

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

Дисертація Олександра ЗАВГОРОДНЬОГО «Вдосконалення обладнання та технології плазмового ротаційного розпилення для виготовлення металевих порошків адитивного призначення» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну важливу проблему, пов'язану із отриманням сферичних порошків з нікелевих та титанових сплавів, які застосовуються для адитивного вирощування деталей відповідального призначення. Це дослідження має безпосередній зв'язок із потребами сучасного авіаційного двигунобудування, особливо у сфері серійного виробництва та ремонту деталей двигунів.

У 4 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України; з яких 3 статті з індексом цитування в наукометричній базі даних Scopus.

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 Олександра ЗАВГОРОДНЬОГО дисертація «Вдосконалення обладнання та технології плазмового ротаційного розпилення для виготовлення металевих порошків адитивного призначення» 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 Олександра ЗАВГОРОДНЬОГО у такому складі:

Голова ради: ПАВЛЕНКО Дмитро Вікторович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технологій авіаційних двигунів Національного університету «Запорізька політехніка»;

Опоненти:

СТРЕЛЬНИКОВА Олена Олександрівна, д-р техн. наук, професор, провідний науковий співробітник Інституту електричних машин ім. А.М. Підгорного НАН України (м. Харків);

ШВАБ Сергій Леонідович, канд. техн. наук, старший науковий співробітник інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (м. Київ);

Рецензенти:

НАУМИК Валерій Владиленович д-р техн. наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи та міжнародної діяльності Національного університету «Запорізька політехніка»;

ВОДЕННИКОВ Сергій Анатолійович, д-р техн. наук, професор кафедри машин і технологій ливарного виробництва Національного університету «Запорізька політехніка».

Результати голосування: за рекомендацію голосування дисертації Завгороднього Олександра Васильовича на тему: «Вдосконалення обладнання та технології плазмового ротаційного розпилення для виготовлення металевих порошків адитивного призначення» до захисту – 15, проти – 0, утримались – 0.

Головуючий на засіданні,
в.о. завідувача кафедри
інтегрованих технологій зварювання та
моделювання конструкцій
кандидат технічних наук, доцент

Олексій КАПУСТЯН

Секретар,
доцент кафедри
інтегрованих технологій зварювання та
моделювання конструкцій

Михайло ОСІПОВ