

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Дніпровського національного  
університету імені Олеся Гончара

Олег МАРЕНКОВ



2025 р.

### ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Давидюк Анжели Вікторівни «Вплив модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів», представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 - «Матеріалознавство».

### Витяг

з протоколу № 5 від 20 березня 2025 року міжкафедрального семінару фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Голова міжкафедрального семінару фізико-технічного факультету д-р тех. наук, проф., Санін А. Ф.

Секретар міжкафедрального семінару фізико-технічного факультету канд. тех. наук, Лабуткіна Т.В.

**ПРИСУТНІ:** 20 з 25 членів міжкафедрального семінару: д-р. тех. наук, проф. А. Ф. Санін (05.02.01 – матеріалознавство), д-р. тех. наук, проф. М. М. Дронь (05.13.03 – системи і процеси управління); д-р. тех. наук, проф. С. О. Давидов (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); д-р. тех. наук, проф. Г. І. Сокол (05.11.06 – акустичні прилади і системи); д-р. тех. наук, проф. Т.А. Манько (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); канд. тех. наук, доц. А. В. Давидова (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування

літальних апаратів); канд. тех. наук, доц. Т. В. Лабуткіна (05.13.03 – системи та процеси керування); канд. тех. наук, доц. Ю. В. Ткачов (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); канд. тех. наук, доц. В. Ю. Шевцов (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); канд. тех. наук, доц. В. Л. Бучарський (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки); д-р. тех. наук, проф. Т. М. Кадильникова (05.02.02 – машинознавство); канд. тех. наук, доц. С. В. Клименко (05.13.06 – інформаційні технології); д-р. тех. наук, проф. Т. І. Русакова (05.26.01 – охорона праці); канд. тех. наук, доц. А. М. Кулабухов (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); д-р. тех. наук, проф. В. В. Авдеев (05.13.03 – системи і процеси управління); д-р. тех. наук, проф. В. О. Габрінець (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки); д-р. тех. наук, проф. О. В. Голубек (05.13.03 – системи і процеси управління); канд. тех. наук, доц. Н. С. Ащепкова (05.13.03 – системи і процеси управління); канд. тех. наук, доц. С. О. Полішко (05.02.01 – матеріалознавство); канд. тех. наук, доц. О. В. Бондаренко (05.02.08 – технологія машинобудування) та інші.

**Порядок денний:** розгляд і обговорення дисертаційної роботи Давидюк Анжели Вікторівни «Вплив модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів», представленій на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 - «Матеріалознавство».

Дисертацію виконано на кафедрі ракетно-космічних та інноваційних технологій фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Тема дисертації затверджена вченою радою Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, науковим керівником призначено кандидата технічних наук, доц. С.О. Полішко (протокол № 3 від 23.11.2023 р.), уточнення теми на засіданні вченої ради фізико-технічного факультету (протокол № 1 від 17.09.2024 р). Підготовка здобувача третього рівня вищої освіти здійснювалася за акредитованою освітньо-науковою програмою «Матеріалознавство» зі спеціальності 132 Матеріалознавство (Сертифікат про акредитацію освітньої програми № 8817, дійсний до 25.06.2025).

## **СЛУХАЛИ:**

Обговорення дисертації Давидюк Анжели Вікторівни «Вплив модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів», представленій на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 - «Матеріалознавство».

За результатами перевірки дисертаційної роботи Давидюк Анжели Вікторівни «Вплив модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів» на плагіат програмою «StrikePlagiarism» виявлено унікальність тексту, яка складає 89,51%. Таким чином, на підставі перевірки зроблено висновок: робота Давидюк А.В. має високий рівень оригінальності і може бути допущена до захисту.

Перевірку на плагіат здійснювала комісія у складі: д-р. тех. наук, проф. кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій А. Ф. Санін; канд. тех. наук, доц. кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій С. О. Полішко; канд. тех. наук, доц. кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій О. В. Бондаренко.

Робота виконана на 5,33 авторських аркушах. Робота структурована, є анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, перелік джерел і додатки.

**Доповідь А.В. Давидюк:**

Доброго дня, дозвольте представити дисертаційну роботу за вказаною темою.

*Мета роботи* – підвищення технологічних і механічних властивостей ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів систем Al–Si, Al–Mg–Sc для виготовлення виробів ракетно-космічної техніки, на основі встановлених закономірностей формування структури і властивостей сплавів при модифікуванні нанодисперсними комплексами.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені і вирішені такі **наукові та прикладні задачі**:

1. Провести аналіз сучасних способів підвищення якості та властивостей ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів.
2. Обґрунтувати вибір способу введення комплексного нанодисперсного модифікатора.
3. Визначити механізми зміцнення алюмінієвих сплавів АК9ч, АЛ4С і 1545, модифікованих нанодисперсними композиціями.
4. Встановити вплив комплексних модифікаторів на технологічні та механічні властивості досліджуваних сплавів.
5. Розробити технологічні параметри модифікування сплавів АК9ч, АЛ4С та 1545.
6. Провести дослідно-промислове опробування розробленої технології модифікування алюмінієвих сплавів.

*Об'єкт дослідження* – процеси формування структури та властивостей ливарних алюмінієвих сплавів системи Al–Si та деформованих алюмінієвих сплавів системи Al–Mg–Sc при модифікуванні.

*Предмет дослідження* – закономірності формування структури, підвищення технологічних, механічних властивостей алюмінієвих ливарних сплавів АК9ч, АЛ4С та деформованого сплаву марки 1545 при модифікуванні нанодисперсними композиціями.

**Наукова новизна** роботи полягає в наступному:

1. *Вперше встановлено*, що модифікування розплавів алюмінієвих сплавів систем Al–Si та Al–Mg–Sc нанодисперсними композиціями на основі силіциду магнію  $Mg_2Si$  та карбіду кремнію SiC забезпечує значне зменшення розміру зерна від 280 до 110 мкм, 200 до 100 мкм у 2 – 2,5 рази та підвищення міцнісних властивостей алюмінієвих ливарних сплавів марки АЛ4(АК9ч), АЛ4С та деформованого сплаву марки 1545.

2. *Вперше запропонований* механізм зміцнення алюмінієвих сплавів при модифікуванні комплексним модифікатором нанодисперсним карбідом кремнію модифікації  $\beta$ -SiC, що полягає у контролюючому зеренному зміцненні при значному вкладі дисперсійного зміцнення, обумовленого впливом нерозчинних тугоплавких частинок модифікатора.

3. *Доведено*, що при модифікуванні алюмінієвих сплавів систем Al-Si і Al-Mg-Sc усувається утворення евтектики границь зерен, досягається рівномірний розподіл зміцнюючих фаз, що сприяє підвищенню комплексу механічних властивостей.

4. *Вперше встановлено* механізми впливу нанодисперсного модифікатора  $Mg_2Si$  і SiC на механічні та технологічні властивості алюмінієвих ливарних сплавів АК9ч, АЛ4С та деформованого сплаву 1545, що полягає у контролюючому зеренному зміцненні при значному вкладі дисперсійного зміцнення.

**Практичне значення роботи** полягає у:

1. Розроблено спосіб обробки ливарних алюмінієвих сплавів комплексним модифікатором з розміром часток 50...100 нм, на основі нанодисперсних порошків. Розроблений спосіб захищено патентом України на корисну модель № 157286, С22С 1/06 (2006.01) «Спосіб одержання виливків з силумінів».

2. Розроблені технологічні параметри модифікування сплавів з введенням операції термочасової обробки розплаву при температурі 750 °С на протязі 10 хвилин.

3. Розроблені «Технологічна інструкція ТІ № 102.25210.00377 з приготування алюмінієвого сплаву АЛ4, модифікованого комплексним наномодифікатором на основі силіциду магнію та карбиду кремнію» (від 11.06.2024) та «Технологічна інструкція ТІ № 102.25210.00376 з приготування алюмінієвого сплаву 1545 системи Al-Mg-Sc, модифікованого комплексним наномодифікатором на основі силіциду магнію та карбиду кремнію» (від 11.06.2024), які впроваджені у ливарному виробництві Державного підприємства «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод імені О. М. Макарова». Отримано дослідно-промислові партії виливків модифікованих сплавів АК9ч, АЛ4С та 1545 з високим комплексом механічних та технологічних властивостей. Результати роботи впроваджені при отриманні ливарних алюмінієвих сплавів АК9ч, АЛ4С та деформованого сплаву 1545 у промислових умовах Державного підприємства «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод імені О. М. Макарова» (акт від 04.02.2025 р.).

4. Удосконалено режим термозміцнюючої обробки заготовок зі сплавів АК9ч, АЛ4С, модифікованих комплексним модифікатором  $Mg_2Si$  і SiC, який відрізняється від існуючого зменшенням часу витримки деталей при температурі загартування та скороченням часу старіння.

5. Матеріали дисертації впроваджено у навчальний процес Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (акт від 28.02.2025) при вивченні дисциплін «Технологія обробки спеціальних матеріалів», «Корозія сплавів авіаційно-космічної техніки», «Наноматеріали і нанотехнології», «Математичне моделювання та оптимізація технологічних процесів і матеріалів» при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Постійне зростання технічних вимог до виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки, прагнення до підвищення масових характеристик виробів призводять до необхідності створення нових та покращення властивостей вже існуючих матеріалів, їх впровадження у серійне виробництво.

Матеріалознавчі основи способів поліпшення якості, стабілізації структури і підвищення властивостей сплавів висвітлено в роботах таких вчених, як І.П. Волчок, О.А. Мітяєв, В.З. Куцова, Н.Є. Калініна, А.Г. Пригунова, U. Dahlborg, K. Young-Dong та інші. До основних способів впливу на структурну стабільність сплавів відноситься модифікування. Однак у роботах вітчизняних та зарубіжних учених недостатньо вивчено процеси модифікування дисперсними композиціями для отримання виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки. Тому ця дисертаційна робота присвячена впливу модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів.

Алюмінієві сплави є перспективним конструкційним матеріалом в авіаційній та РКТ. Завдяки малій питомій вазі, високій технологічності та корозійній стійкості в агресивних середовищах, тому дисертаційна робота, є актуальною. Робота спрямована на підвищення технологічних, механічних та експлуатаційних властивостей виробів ракетно-космічної техніки. Матеріалом дослідження є ливарні алюмінієві сплави системи Al-Si АК9ч (АЛ4), АЛ4С для виготовлення деталей турбонасосного агрегату, а також деформований сплав системи Al-Mg-Sc 1545 для виготовлення силових елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Проведено аналітичний огляд сучасних джерел вітчизняної та зарубіжної інформації. Вивчено класичні способи модифікування сплавів легкоплавкими солями, рідкоземельними металами та складними композиціями на основі Ti, Br, Zn, Sr та інших металів.

При проведенні досліджень використано комплекс сучасних методів для визначення хімічних, фізичних, технологічних і механічних властивостей, структурних і фазових перетворень. В роботі запропоновано новий тип комплексного модифікатора на основі тугоплавких композицій силіциду магнію  $Mg_2Si$  та карбіду кремнію SiC нанодисперсного діапазону 50...100 нм, отриманий плазмохімічним синтезом. Вивчено фізико-хімічні властивості тугоплавких композицій. Обґрунтовано склад та спосіб введення комплексного модифікатора в алюмінієві розплави. Спосіб одержання виливків з алюмінієвих сплавів захищено патентом України на корисну модель № 157286, С22С 1/06 (2006.01) «Спосіб одержання виливків з силумінів». Проведено дослідно-промислові плавки сплавів АК9ч, АЛ4С, 1545 при введенні раціональної кількості модифікатора 0,1% від маси розплаву. Розроблено технологічні параметри модифікування, проведено термочасову обробку розплаву при температурі 750°C протягом 10 хвилин.

Використані в роботі композиції модифікатора  $Mg_2Si$  і SiC відповідають основним критеріям модифікування: відповідність фізико-хімічній природі елементів, типу кристалічних решіток та нерозчинності у розплаві. Порошки  $Mg_2Si$  і  $\beta$ -SiC мають кристалічну будову, решітку гранецентрованого куба, подібну до ГЦК решітки алюмінію.

Модифікування частинками  $Mg_2Si$  і  $SiC$  дозволило зменшити розмір зерна у сплавах АК9ч, АЛ4С, 1545 від 2,0 до 2,5 разів, що є вирішальним фактором зміцнення сплавів. Розрахунок розміру зерна проводили за допомогою мов програмування C++. У модифікованому сплаві АК9ч методом рентгеноструктурного аналізу виявлені наступні фази:  $\alpha-Al$ ,  $\beta-Si$ , а також додаткові фази  $Al_5FeSi$ ,  $FeAl_3$ ,  $\beta-SiC$  та  $Mg_2Si$ , що утворилися в результаті модифікуючої обробки.

Основними структурними складовими алюмінієвого сплаву 1545 є твердий розчин  $\alpha-Al$ ,  $\beta$ -фаза та інтерметаліди  $Al_3(Sc, Zr)$ . У структурі немодифікованого сплаву 1545 присутні включення інтерметаліду  $Mg_2Al_3$ , зосереджені по границях зерен, великими неметалевими включеннями. У модифікованому сплаві 1545 не виявлено евтектичної складової та пор. Стабілізація структури досягається з допомогою додаткових центрів кристалізації, якими виступають нанодисперсні частинки модифікатора  $Mg_2Si$  і  $SiC$ .

Наявність дисперсних інтерметалідних фаз складного складу всередині зерен є особливістю мікроструктури модифікованих сплавів і є додатковим внеском підвищення міцносних властивостей. Запропоновано механізм модифікуючої обробки досліджених сплавів наноконпозиціями, що полягає у контролюючому зеренному зміцненні при значному вкладі дисперсійного зміцнення, обумовлено впливом нерозчинних тугоплавких частинок модифікатора.

Розроблено режими термозміцнюючої обробки для ливарних сплавів. Для сплавів АК9ч і АЛ4С розроблено режим загартовування за нормальної температури 530 °С і старіння 160 °С, при скороченні загального часу старіння в порівнянні з існуючим режимом.

Для ливарних силумінів АК9ч і АЛ4С вивчені технологічні властивості: рідкотекучість, схильність до утворення гарячих тріщин та газова пористість. Проведені експерименти на промисловому устаткуванні, показали підвищення технологічних властивостей модифікованих сплавів. Рідкотекучість сплаву АК9ч підвищена з 346 до 374 мм на 8 %, АЛ4С з 375 до 388 мм на 3,5 %, відсутність гарячих тріщин при кристалізації, газова пористість зменшена з 2 до 1 балу.

Досягнуто підвищення комплексів механічних властивостей модифікованих сплавів, основним показником механічних властивостей, що залежать від структури сплавів, є межа текучості  $\sigma_T$ . Представлені гістограми механічних властивостей  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ,  $\delta$ , КСУ, НВ до та після модифікування з розрахунковими значеннями коефіцієнтами варіації. Основні статистичні параметри, включають середнє значення, середньоквадратичне (стандартне) відхилення та коефіцієнт варіації. Проведено статистичну обробку експериментальних результатів в середовищі Microsoft Office з використанням програми Microsoft Excel.

У ливарному модифікованому сплаві АК9ч підвищено комплекс механічних властивостей сплаву у порівнянні з не модифікованим станом:

- границя міцності  $\sigma_B$  з 240 до 265 МПа (на 8...10%),
- границя текучості  $\sigma_T$  з 205 до 230 МПа (на 10...12%),
- відносне подовження  $\delta$  з 3,0 до 3,2 відсотків (на 3...6%),
- ударна в'язкість КСУ з 0,10 до 0,12 МДж/м<sup>2</sup> (на 10...20%),
- твердість НВ з 700 до 760 Мпа (на 8...9%).

У ливарному модифікованому сплаві АЛ4С підвищено комплекс механічних властивостей сплаву у порівнянні з не модифікованим станом:

- границя міцності  $\sigma_b$  з 230 до 250 МПа (на 7...9%),
- границя текучості  $\sigma_T$  з 200 до 222 МПа (на 9...11%),
- відносне подовження  $\delta$  з 2,9 до 3,1 відсотків (на 3...6%),
- ударна в'язкість КСУ з 0,10 до 0,12 МДж/м<sup>2</sup> (на 10...20%),
- твердість НВ з 695 до 750 Мпа (на 7...8%).

У деформованому модифікованому сплаві 1545 підвищено комплекс механічних властивостей сплавів у порівнянні з не модифікованим станом:

- границя міцності  $\sigma_b$  з 396 до 447 МПа (на 12...13%),
- границя текучості  $\sigma_T$  з 269 до 315 МПа (на 16...17%),
- відносне подовження  $\delta$  з 15,0 до 17,0 відсотків (на 12...13%).

Проведено випробування на корозійну стійкість ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів. Модифіковані алюмінієві сплави АК9ч та АЛ4С мають високу корозійну стійкість при випробуванні в умовах 100% відносної вологості і не виявляють схильності до міжкристалітної корозії. При випробуваннях на загальну корозію модифікування частками  $Mg_2Si$  і  $SiC$  призводить до зниження швидкості корозії: сплаву АК9ч – на 9,5...12,2 %, сплаву АЛ4С – на 5,7...6,5%; відповідно до шкали корозійної стійкості алюмінієві сплави АК9ч і АЛ4С після модифікування відносяться до групи «високої стійкості». Дослідження міжкристалітної, розшаровуючої корозії та корозійного розтріскування вихідного та модифікованого сплаву 1545 показали відсутність міжкристалітної корозії; зниження бала розшаровуючої корозії з 4 балів для вихідного сплаву 1545 до 2 балів в модифікованому сплаві 1545.

Експериментальними дослідженнями доведено правильність вибору комплексного модифікатора та ефективність його впливу на структуру та властивості у ливарних та деформованих алюмінієвих сплавах.

### **Висновки:**

У роботі вирішені важливі науково-технічні задачі підвищення механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів систем Al-Si та Al-Mg-Sc для виготовлення виробів ракетно-космічної техніки. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження з впливу комплексного модифікування на основі нанодисперсного силіциду магнію та карбіду кремнію на структуру та властивості сплавів системи Al-Si АК9ч, АЛ4С для виготовлення деталей турбонасосного агрегату, а також деформований сплав системи Al-Mg-Sc 1545 для силових елементів авіаційної та ракетно-космічної техніки, дозволяють зробити наступні висновки:

1. Для обробки ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів систем Al-Si та Al-Mg-Sc розроблено і обґрунтовано спосіб введення комплексного модифікатора на основі нанодисперсного силіциду магнію  $Mg_2Si$  та карбіду кремнію  $\beta-SiC$  з розміром частинок 50...100 нм. Комплексний модифікатор має наступний склад, % мас.:  $Mg_2Si$  – 15...20;  $SiC$  – 20 ... 30; алюмінієвий порошок розміром частинок до 1 мкм – решта. Розроблено термочасові параметри модифікування алюмінієвих сплавів АК9ч, АЛ4С і 1545. Для рівномірного розподілу модифікатора

в об'ємі розплаву, час обробки розплаву модифікатором 10 хвилин при температурі 750°C. Кількість модифікатора, що вводиться, становить 0,1% від маси розплаву.

2. Модифікування комплексним наномодифікатором дозволило зменшити середній розмір зерна литих заготовок сплавів АК9ч, АЛ4С у 2,5 рази від 280 до 110 мкм, у модифікованому сплаві 1545 зменшується розмір зерна з 200 до 100 мкм, тобто в 2,0 рази порівняно з немодифікованим станом.

3. Доведено можливість застосування термозміцнюючої обробки для ливарних алюмінієвих сплавів АК9ч, АЛ4С. На основі експериментальних даних запропонована термозміцнююча обробка, що складається із загартування від температури 530°C, охолодження у холодній воді; старіння при температурі 170...180°C протягом 2 годин, охолодження на повітрі.

4. Вперше запропоновано комплексний механізм зміцнення ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів при модифікуванні нанодисперсним силіцидом магнію і карбідом кремнію, що полягає в контролюючому зеренному зміцненні при значному вкладі дисперсійного зміцнення, що дозволяє активно впливати на механічні властивості. У ливарному модифікованому сплаві АК9ч підвищено комплекс механічних властивостей сплаву у порівнянні з не модифікованим станом:  $\sigma_b$  з 240 до 265 МПа (на 8...10%),  $\sigma_T$  з 205 до 230 МПа (на 10...12%),  $\delta$  з 3,0 до 3,2 відносних відсотків (на 3...6%), КСУ з 0,10 до 0,12 МДж/м<sup>2</sup> (на 10...20%), НВ з 700 до 760 Мпа (на 8...9%). У ливарному модифікованому сплаві АЛ4С підвищено комплекс механічних властивостей сплаву у порівнянні з не модифікованим станом:  $\sigma_b$  з 230 до 250 МПа (на 7...9%),  $\sigma_T$  з 200 до 222 МПа (на 9...11%),  $\delta$  з 2,9 до 3,1 відносних відсотків (на 3...6%), КСУ з 0,10 до 0,12 МДж/м<sup>2</sup> (на 10...20%), НВ з 695 до 750 Мпа (на 7...8%). У деформованому модифікованому сплаві 1545 підвищено комплекс механічних властивостей сплавів у порівнянні з не модифікованим станом:  $\sigma_b$  з 396 до 447 МПа (на 12...13%),  $\sigma_T$  з 269 до 315 МПа (на 16...17%),  $\delta$  з 15,0 до 17,0 відносних відсотків (на 12...13%).

5. При вивченні корозійних властивостей ливарних та деформованого алюмінієвих сплавів (міжкристалітної, розшаровуючої корозії та корозійного розтріскування) встановили, що модифіковані алюмінієві сплави АК9ч та АЛ4С мають високу корозійну стійкість при випробуванні в умовах 100% відносної вологості і не виявляють схильності до міжкристалітної корозії. При випробуваннях на загальну корозію модифікування частками Mg<sub>2</sub>Si і SiC призводить до зниження швидкості корозії: сплаву АК9ч – на 9,5...12,2 %, сплаву АЛ4С – на 5,7...6,5%; відповідно до шкали корозійної стійкості алюмінієві сплави АК9ч і АЛ4С після модифікування відносяться до групи «високої стійкості». При експлуатації модифікованого сплаву 1545 виявлено відсутність міжкристалітної корозії в модифікованому сплаві, зниження бала розшаровуючої корозії з 4 бала для вихідного сплаву 1545 до бала 2 в модифікованому сплаві 1545, зниження корозійного розтріскування зварних швів модифікованого сплаву.

6. Розроблені технологічні параметри модифікування алюмінієвих сплавів: «Технологічна інструкція ТІ № 102.25210.00377 з приготування алюмінієвого сплаву АЛ4, модифікованого комплексним наномодифікатором на основі силіциду магнію та карбиду кремнію» та «Технологічна інструкція ТІ № 102.25210.00376 з

приготування алюмінієвого сплаву 1545 системи Al-Mg-Sc, модифікованого комплексним наномодифікатором на основі силіциду магнію та карбїду кремнію», який підтверджений у ливарному виробництві Державного підприємства Виробниче об'єднання Південно машинобудівний завод імені О. М. Макарова. Результати роботи впроваджені при отриманні ливарних алюмінієвих сплавів АК9ч, АЛ4С та деформованого сплаву 1545 у промислових умовах Державного підприємства Виробниче об'єднання Південно машинобудівний завод імені О. М. Макарова та навчальний процес Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Отримано Патент України на корисну модель № 157286, С22С 1/06 (2006.01) «Спосіб одержання виливків з силумінів».

## **ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ:**

**Питання д-р. тех. наук, проф. Сокол Г.І.:**

**На які роботи класиків ви опиралися в своїй роботі?**

*Відповідь:* Найбільш важливі наукові результати у напрямі модифікування алюмінієвих сплавів отримані в роботах І.П. Волчка, О.А. Мітяєва, В.З. Куцовой, Н.Є. Калініної, А.Г. Пригунової, Мільман Ю, Dahlborg, K. Young-Dong та інших вчених. При використанні результатів видатних вчених в дисертаційній роботі, є всі відповідні посилання.

**Питання д-р. тех. наук, проф. Манько Т.А.:**

**В роботі Ви описуєте вплив модифікування на механічні та технологічні властивості ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів. Що саме мається на увазі під механічними та технологічними властивостями?**

Для ливарних силумінів АК9ч і АЛ4С вивчені технологічні властивості: рідкотекучість, схильність до утворення гарячих тріщин та газова пористість. Проведені експерименти на промисловому устаткуванні, показали підвищення технологічних властивостей модифікованих сплавів. Рідкотекучість сплаву АК9ч підвищена з 346 до 374 мм на 8 %, АЛ4С з 375 до 388 мм на 3,5 %, відсутність гарячих тріщин при кристалізації, газова пористість зменшена з 2 до 1 балу.

До механічних властивостей відноситься  $\sigma_T$ ,  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ,  $\delta$ , КСУ, НВ.

**При доповіді про механічні властивості надаються скорочення  $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ,  $\delta$ , КСУ, НВ, що вони означають?**

*Відповідь:*  $\sigma_B$  - границя міцності,  $\sigma_T$  - границя текучості,  $\delta$  - відносне подовження, КСУ - ударна в'язкість, НВ твердість.

**Як розраховувався коефіцієнт варіації, яка програма при цьому використовувалась?**

*Відповідь:* Обробку експериментальних результатів виконано за допомогою Microsoft Office. Основні статистичні параметри, що застосовуються в цій дисертаційній роботі, включають середнє значення, середньоквадратичне (стандартне) відхилення та коефіцієнт варіації. Коефіцієнт варіації характеризує стабільність системи: що він вище, то більше нестабільна система. За допомогою цієї функції визначали, наскільки стабільні механічні властивості.

**Питання канд. тех. наук, доц. Ткачов Ю.В.:**

**На слайді шість було наведено діаграми стану, що саме Ви хотіли ними показати?**

*Відповідь:* На слайді шість було наведено діаграму стану алюміній-кремній. Сплави системи Al-Si є найпоширенішими ливарними алюмінієвими сплавами, це пов'язано з хорошим комплексом ливарних технологічних властивостей. Кремній не утворює хімічні сполуки з алюмінієм. Розчинність алюмінію в кремнії дуже мала (0,01% при температурі 1327 °C), тому можна вважати, що у системі Al-Si присутній чистий кремній. Евтектика містить 11,7 % Si і складається з включень обох фаз, що чергуються:  $\alpha$ -Al і Si. Фаза Si має кубічну решітку алмазу. Сплави АК9ч і АЛ4С відносяться до доевтектичних. Розчинність кремнію в алюмінії при евтектичній температурі 577°C досягає 1,65%, при температурі 300°C становить 0,09%, а при кімнатній температурі менше 0,001%. Також було представлено діаграму стану алюміній-магній. Основним легуючим елементом у сплаві 1545 є магній. Вміст Mg у магнеліях досягає 6,8%.

**Наведені діаграми адаптовані і взяті з відомих джерел чи розроблені особисто автором цієї роботи?**

*Відповідь:* Це адаптовані діаграми взяті з класичних джерел.

**Питання д-р. тех. наук, проф. Габрінець В.О.:**

**Під час модифікування зменшується розмір зерна та підвищується міцність, за рахунок чого це відбувається, поясніть фізику процесу?**

*Відповідь:* Дія нерозчинних добавок, ізоморфних алюмінію, аналогічно дії розчинних добавок лише в тих випадках, коли кількість нерозчинної добавки більша за кількість кристалів, які утворилися довільно за тих же умов. Звідси слід відзначити, що зі збільшенням кількості нерозчинної добавки, комплексного модифікатора, розмір зерна зменшуватиметься. Механізм впливу нанодисперсних частинок на формування структури доевтектичних силумінів при кристалізації полягає в тому, що їх основна маса виштовхується фронтом кристалізації в рідку фазу та бере участь в подрібненні структурних складових сплавів. Частинки модифікатора сприяють дисперсійному зміцненню сплаву, так як дисперсні фази є додатковими бар'єрами для переміщення дислокацій, і таким чином підвищують міцнісні характеристики ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів. Нанодисперсні тугоплавкі частинки силіциду магнію і карбіду кремнію служать активними центрами кристалізації зародків розплаву, на них як на центрах, кількість їх величезна, починається кристалізація  $\alpha$ -Al твердого розчину, тому первинне зерно виходить дуже дрібним, відповідно до класичної теорії Холла-Петча, границя текучості  $\sigma_T$  знаходиться в прямій залежності від розміру зерна. Таким чином подрібнення зерна дає зеренне зміцнення, а утворення складних дисперсних інтерметалідів усередині зерен, є наступною причиною зміцнення.

**Прогрес розвитку ракетно - космічної техніки у застосуванні композиційних матеріалів, могли би ви окреслити коло застосувань алюмінієвих сплавів, котрі композиційні матеріал ніколи не замінять?**

*Відповідь:* Розвиток ракетно-космічної техніки тісно пов'язаний із використанням композиційних матеріалів, що забезпечують міцність, легкість і термостійкість конструкцій. Однак є низка випадків, коли алюмінієві сплави залишаються

незамінними через їхні унікальні властивості. Коло застосування алюмінієвих сплавів у ракетно-космічній техніці: конструктивні елементи корпусів – використання високоміцних алюмінієвих сплавів у паливних баках, обшивці, фюзеляжах; теплопровідні елементи – алюміній має високу теплопровідність, що важливо для радіаторів систем теплового контролю; захист від космічного сміття та радіації – алюміній ефективно екранує від радіації, тому використовується в герметичних відсіках; зварні конструкції – алюмінієві сплави добре піддаються зварюванню, що важливо для великих секцій ракет. Таким чином, хоч композити активно інтегруються в ракетно-космічну техніку, алюмінієві сплави залишаються ключовими в багатьох сферах, де важливі їхні фізико-механічні характеристики.

**Що вкладається в поняття деформовані алюмінієві сплави?**

*Відповідь:* Деформовані алюмінієві сплави – це група алюмінієвих сплавів, які призначені для подальшої механічної обробки шляхом пластичної деформації (прокатка, кування, штампування, пресування тощо). Вони відрізняються високою пластичністю та можливістю зміни форми без руйнування матеріалу. Основні характеристики деформованих алюмінієвих сплавів: висока пластичність, легкість, технологічність, корозійна стійкість, висока електро- та теплопровідність.

**Питання канд. тех. наук, доц. Лабуткіна Т.В.:**

**Плазмохімічний синтез в чому його особливість в порівнянні з іншими методами?**

*Відповідь:* Існують різні методи отримання тугоплавких композицій: газофазний синтез, найпоширеніший високотемпературний синтез, а також механічні методи розмелювання. Плазмохімічний синтез здійснюється у плазмотроні дугового розряду. Вихідні порошки завантажують в реактор підводять дуговий розряд в атмосфері аргонової плазми, відбувається синтез сполук металів з неметалами при температурі порядку 7500° С потім проводиться інтенсивне охолодження та збирання продуктів синтезу. Цей метод є найбільш екологічно чистим.

**Питання канд. тех. наук, доц. Бондаренко О.В.:**

**У чому особливість деформованих сплавів із добавками скандію?**

*Відповідь:* Деформовані сплави із скандієм знаходять широке застосування та є перспективними в ракетобудуванні, авіабудуванні для виготовлення деталей відповідального призначення. Оскільки скандієві сплави мають малу питому вагу, магній легше алюмінію, скандій перехідний метал, добавка скандія в кількості до 0,3% утворюють дисперсний інтерметалід  $Al_3Sc$  завдяки яким підвищується технологічні механічні та міцнісні властивості, підтверджується роботами Мільмана Ю. В. Скандій має мікролегуєче і модифікуюче значення для розплаву. Сплави системи Al-Mg-Sc типу 1545 розроблені на базі системи Al-Mg сплавів АМг, добавка скандія додається у вигляді лігатури, вона дозволяє різко подрібнити зерно сплавів підвищити технологічність і механічні властивості як в литому так і деформованому стані.

**Питання д-р. тех. наук, проф. Кадильникова Т.М.:**

**Чи проводилась вами оцінка достовірності експериментальних вимірювань. Якщо так, то які критерії ви застосовували?**

*Відповідь:* Так я проводила верифікацію результатів за критерієм Корхена. Похибка вимірювань складала близько 3 відсотків.

**Питання канд. тех. наук, доц. Мамчур С.І.:**

**Чому ви обрали сплави системи алюміній-кремній для одержання ливарних виробів?**

*Відповідь:* за діаграмою стану алюміній-кремній сплави АК9ч(АЛ4С) відносяться до доевтектичних і мають евтектичне перетворення, згідно класичній теорії кристалізації усі евтектичні сплави мають високу рідкотекучість.

**Питання канд. тех. наук, доц. Юшкевич О.П.:**

**Який спосіб введення модифікатора в алюмінієвий сплав використовували?**

*Відповідь:* Порошки комплексного модифікатора силіциду магнію і карбїду кремнію вводили у відсотковому співвідношенні: силіцид магнію 20%, карбїд кремнію 30 %, алюмінієвий порошок решта. Змішувала у змішувачі протягом 4-5 годин, потім готували навіску модифікатора і пресували на автоматичному прес-автоматі в таблетки діаметром 5 мм. Отримані таблетки у кількості 0,1% від маси розплаву модифікатора загортали в алюмінієву фольгу і вводили в розплав на дно тигля після розплавлення всієї шихти. Піч розрахована на 50 кг, модифікатор додавали 0,5 кг на весь об'єм. Проводили автоматичне перемішування модифікатора в розплаві, витримували при температурі 750 °С протягом 10 хвилин. Готовий розплав розливали у кокіль і в комплект клиноподібних форм для зразків.

**Питання канд. тех. наук, доц. Божко С.А.:**

**Який механізм впливу комплексних модифікаторів на властивості міцності?**

*Відповідь:* Нанодисперсні тугоплавкі частинки силіциду магнію і карбїду кремнію служать активними центрами кристалізації зародків розплаву, на них як на центрах, кількість їх величезна, починається кристалізація  $\alpha$ -Al твердого розчину, тому первинне зерно виходить дуже дрібним, відповідно до класичної теорії Холла-Петча, границя текучості  $\sigma_T$  знаходиться в прямій залежності від розміру зерна. Таким чином подрібнення зерна дає зеренне зміцнення, а утворення складних дисперсних інтерметалідів усередині зерен, є наступною причиною зміцнення. Для деформованих сплавів 1545 гаряча деформація також додають деформаційне зміцнення. Термозміцнююча обробка розроблена і для ливарних і деформованих сплавів, додає наступний послідовний внесок у зміцнення.

**Питання д-р. тех. наук, проф. Санін А.Ф.:**

**Чому Ви використовували саме цей модифікатор, модифікатор такого складу? Чому саме він розглядався у вашій роботі?**

*Відповідь:* визначали вибір модифікатора відповідно до чотирьох основних параметрів: відповідність фізико-хімічній природі алюмінію; відповідність кристалічній решітці, такій самій як у алюмінію гранецентрована кубічна; тугоплавкість; нерозчинність у розплаві, вони активно взаємодіють. Раніше іншими дослідниками вже розглядалися модифікатори такого складу, але в лабораторних умовах. В дисе-

персних інтерметалідів усередині зерен, є наступною причиною зміцнення. Для

ртаційній роботі описано дослідження введення комплексного модифікатора в великі об'єми розплаву, у тому числі дослідження проводилися безпосередньо на підприємстві.

### **ВИСТУП НАУКОВОГО КЕРІВНИКА:**

**С.О. Полішко, канд. тех. наук, доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій**

Давидюк Анжела Вікторівна закінчила Дніпродзержинський державний технічний університет за спеціальністю «Технологія та устаткування зварювання» та здобула кваліфікацію інженера-електромеханіка у 2010 р. Під час навчання в університеті Давидюк А. В. проявила себе як відповідальна та наполеглива студентка, брала активну участь у науково-дослідній роботі та технічних конференціях. З перших курсів бакалаврату Давидюк А. В. цікавилася питаннями покращення механічних і технологічних характеристик металевих сплавів, що використовуються в авіаційній та ракетно-космічній техніці. Протягом 2013–2022 рр. Давидюк А. В. працювала у відокремленому структурному підрозділу «Фаховий коледж ракетно-космічного машинобудування» Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара на посаді викладача спеціальних дисциплін. Під час роботи вона брала участь у технологічних процесах лиття і термічної обробки алюмінієвих сплавів, проводила експериментальні дослідження щодо підвищення їхньої міцності, корозійної стійкості та довговічності. З 2022 року працює на тій же посаді фаховому коледжі зварювання та електроніки ім. Є.О. Патона. З 23.09.2023 р. по теперішній час Давидюк А. В. навчається в аспірантурі Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара за спеціальністю 132 «Матеріалознавство». Вона успішно виконала освітньо-наукову програму та вчасно підготувала до захисту дисертаційну роботу на актуальну тему. З 2019 р. вона щорічно бере участь у роботі міжнародної науково-практичної конференції «Людина і космос». Під час навчання активно співпрацювала з кафедрою та промисловими підприємствами, що працюють у сфері металургії та машинобудування. У 2017 р. Давидюк А.В. приймала участь у Міжнародному форумі студентів, аспірантів і молодих вчених, отримала диплом за найкращу доповідь. Дисертаційна робота присвячена дослідженню впливу нанодисперсних композицій на структуру та властивості алюмінієвих сплавів, що є важливим для авіаційної та ракетно-космічної галузі. У процесі виконання дослідження здобувачка виявила високий рівень професійної підготовки, ґрунтовні знання у сфері матеріалознавства та володіння сучасними методами досліджень.

Дисертаційна робота виконувалася у рамках наукових досліджень Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара на кафедрі технології ракетно – космічних та інноваційних технологій по держбюджетній темі: №0120U102240 «Створення та удосконалення комплексу інноваційних технологічних методів та матеріалів для виробів ракетно-космічної авіаційної та оборонної техніки»; №0123U101855 «Створення і удосконалення технологій і матеріалів для ракетних засобів ураження на основі інноваційних конструкторсько – технологіч-

них рішень», «Системне проектування ракетно-космічних комплексів» (номер держреєстрації 0122U200073, ФТФ-2-22, 2022–2024). Автор є співвиконавцем вказаних держбюджетних тем, що підтверджує актуальність теми дисертації.

Метою дисертаційної роботи є підвищення механічних та технологічних властивостей ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів систем Al–Si, Al–Mg–Sc шляхом модифікування нанодисперсними композиціями. Для досягнення цієї мети успішно вирішена низка наукових завдань, а саме:

Запропоновано спосіб введення комплексного нанодисперсного модифікатора на основі силіциду магнію  $Mg_2Si$  та карбіду кремнію  $SiC$  у розплав, для покращення структурних характеристик алюмінієвих сплавів.

Досліджено вплив запропонованого модифікування на зеренну структуру, фазовий склад та механічні властивості сплавів.

Встановлено закономірності зміцнення сплавів під дією наноконпозиційних модифікаторів.

Розроблено технологічні рекомендації щодо впровадження запропонованих методів модифікування у виробництво.

Експериментально підтверджено підвищення міцності, корозійної стійкості та технологічних властивостей модифікованих сплавів.

Отримані результати мають високу наукову новизну, що підтверджується публікаціями у фахових журналах, у тому числі індексованих у Scopus. Дисертаційна робота виконана у межах держбюджетної тематики Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара, що підтверджує її актуальність, розповсюдження

**Анжелою Вікторівною отримано низку нових наукових результатів.**

Встановлено, що модифікування розплавів алюмінієвих сплавів систем Al–Si та Al–Mg–Sc нанодисперсними композиціями на основі силіциду магнію  $Mg_2Si$  та карбіду кремнію  $SiC$  забезпечує значне зменшення розміру зерна від 280 до 110 мкм, 200 до 100 мкм у 2 – 2,5 рази та підвищення міцнісних властивостей алюмінієвих ливарних сплавів марки АЛ4(АК9ч), АЛ4С та деформованого сплаву марки 1545.

Був запропонований механізм зміцнення алюмінієвих сплавів при модифікуванні комплексним модифікатором нанодисперсним карбідом кремнію модифікації  $\beta-SiC$ , що полягає у контролюючому зеренному зміцненні при значному вкладі дисперсійного зміцнення, обумовленого впливом нерозчинних тугоплавких частинок модифікатора.

Дисертантка довела, що при модифікуванні алюмінієвих сплавів систем Al–Si і Al–Mg–Sc усувається утворення евтектики границь зерен, досягається рівномірний розподіл зміцнюючих фаз, що сприяє підвищенню комплексу механічних властивостей.

Здобувач встановила механізми впливу нанодисперсного модифікатора  $Mg_2Si$  і  $SiC$  на механічні та технологічні властивості алюмінієвих ливарних сплавів АК9ч, АЛ4С та деформованого сплаву 1545, що полягає у контролюючому зеренному зміцненні при значному вкладі дисперсійного зміцнення.

Достовірність одержаних результатів забезпечена використанням сучасного обладнання, програмного забезпечення відповідно до міжнародних стандартів. Використання оптичного мікроскопа Neophot 2 у поляризованому та неполяризованому світлі при збільшеннях 100, 200, 500 разів дало можливість досліджувати структури, а застосування Microsoft Excel та C++ дозволило визначити середній розмір зерна методом січних та підвищення рівня і стабільності властивостей досліджуваних сплавів з високою точністю.

Розроблено спосіб обробки ливарних алюмінієвих сплавів комплексним модифікатором з розміром часток 50...100 нм, на основі нанодисперсних порошків. Розроблений спосіб захищено патентом України на корисну модель № 157286, С22С 1/06 (2006.01) «Спосіб одержання виливків з силумінів».

Розроблені технологічні параметри модифікування сплавів з введенням операції термочасової обробки розплаву при температурі 750 °С на протязі 10 хвилин.

Розроблені «Технологічна інструкція ТІ № 102.25210.00377 з приготування алюмінієвого сплаву АЛ4, модифікованого комплексним наномодифікатором на основі силіциду магнію та карбіду кремнію» (від 11.06.2024) та «Технологічна інструкція ТІ № 102.25210.00376 з приготування алюмінієвого сплаву 1545 системи Al-Mg-Sc, модифікованого комплексним наномодифікатором на основі силіциду магнію та карбіду кремнію» (від 11.06.2024), який підтверджений у ливарному виробництві Державного підприємства «Виробниче об'єднання Південно машинобудівний завод імені О. М. Макарова». Отримано дослідно-промислові партії виливків модифікованих сплавів АК9ч, АЛ4С та 1545 з високим комплексом механічних та технологічних властивостей. Результати роботи впроваджені при отриманні ливарних алюмінієвих сплавів АК9ч, АЛ4С та деформованого сплаву 1545 у промислових умовах Державного підприємства «Виробниче об'єднання Південно машинобудівний завод імені О. М. Макарова» (акт від 04.02.2025 р.).

Удосконалено режим термозміцнюючої обробки заготовок зі сплавів АК9ч, АЛ4С, модифікованих комплексним модифікатором  $Mg_2Si$  і  $SiC$ , який відрізняється від існуючого зменшенням часу витримки деталей при температурі загартування та скороченням часу старіння.

Матеріали дисертації впроваджено у навчальний процес Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (акт від 28.02.2025) при вивченні дисциплін «Технологія обробки спеціальних матеріалів», «Корозія сплавів авіаційно-космічної техніки», «Наноматеріали і нанотехнології», «Математичне моделювання та оптимізація технологічних процесів і матеріалів» при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

**Публікація основних результатів дисертації.** Основні матеріали дисертаційної роботи відображено у 11 наукових статтях: 1 стаття у журналі, який індексується у наукометричній базі Scopus та належить до четвертого квартилю (Q4) відповідно до класифікації SCImago Journal, 3 статті (не більше 2 авторів) у журналі, які є вітчизняним фаховим виданням категорії Б, 6 статей у журналі, які є вітчизняним фаховим виданням категорії Б. Отримано патент на корисну модель, (Публікація відомостей про державну реєстрацію корисної моделі від 25.09.2024, Бюл.№ 39 «Спосіб одержання виливків з силумінів»

[ua.com/inv/shjbgvca/](http://ua.com/inv/shjbgvca/) (винахідники Давидюк А.В., Полішко С.О., Калініна Н.С., Калінін О.В.). Це повністю відповідає вимогам до оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

**Висновок щодо дисертаційної роботи.** Усі результати, отримані здобувачкою та наведені в дисертаційній роботі, отримані нею особисто. Ідеї та наукові положення інших авторів супроводжуються відповідними посиланнями на джерела.

На підставі викладеного можна зробити висновок, що за актуальністю, обсягом досліджень, науковою новизною, достовірністю отриманих результатів та їх апробацією дисертація Давидюк А. В. «Вплив модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів» відповідає кваліфікаційним вимогам щодо дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, викладеним у «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (із змінами), а її автор, Давидюк Анжела Вікторівна, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 «Матеріалознавство».

### **В ОБГОВОРЕННІ ДИСЕРТАЦІЇ А.В. ДАВИДЮК ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:**

**Доктор. тех. наук, проф. Санін А.Ф.:** запропонував всім взяти участь у обговоренні представлених результатів.

**Канд. тех. наук, доц. Бондаренко О.В.:**

Хочу висловитися як людина, яка мала певне відношення до практичного впровадження результатів цієї дисертаційної роботи. Дослідження сплавів системи Al-Mg-Sc є актуальним питанням на сьогоднішній день, тому що вони мають унікальні властивості, здатні значно підвищити характеристики конструкції в ракетно-космічній, авіаційній техніці. Загалом пропоную підтримати представлену роботу до захисту.

**Канд. тех. наук, доц. Бучарський В.Л.:**

Дисертаційна робота побудована логічно та послідовно, чітко визначені об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження, а також наукова новизна. Усі ці компоненти взаємопов'язані, що відповідає вимогам до наукових досліджень. Я вважаю, що роботу можна рекомендувати до захисту.

**Секретар міжкафедрального семінару канд. тех. наук Лабуткіна Т.В.:**

Варто відзначити високий рівень підготовки здобувача, що підтверджується значною кількістю наукових публікацій. Окремо слід підкреслити практичне значення дослідження: його результати впроваджено у виробництво та освітній процес, що свідчить про його актуальність і прикладну цінність. Я підтримую висновок, що робота може бути рекомендована до захисту.

### **ВИСНОВОК**

**Актуальність теми дисертації.** Забезпечення високого комплексу механічних та технологічних властивостей конструкційних матеріалів – актуальна проблема сучасного виробництва як в авіаційній, так і у космічній галузях.

Постійне зростання технічних вимог до виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки, прагнення до підвищення масових характеристик виробів призводять до необхідності створення нових та покращення властивостей вже існуючих матеріалів, їх впровадження у серійне виробництво. В теперішній час створена велика номенклатура ливарних та деформованих алюмінієвих сплавів. На машинобудівних заводах України широко застосовують ливарні силуміни завдяки високим технологічним характеристикам, питомій міцності та корозійній стійкості.

Алюмінієві сплави є перспективним конструкційним матеріалом в авіаційній та ракетно-космічній техніці, але мають невисоку температуру плавлення і недостатню міцність.

Актуальність даної роботи полягає у вирішенні задачі отримання ливарних алюмінієвих сплавів системи Al-Si марки АЛ4 (АК9ч), АЛ4С та деформованого алюмінієвого сплаву системи Al-Mg-Sc марки 1545 з високими технологічними, механічними та корозійностійкими властивостями, а саме:

- підвищення ресурсу роботи турбонасосного агрегату з ливарних алюмінієвих сплавів системи Al-Si марки АЛ4 (АК9ч), АЛ4С за рахунок поліпшення технологічних і характеристик міцності;

- підвищення міцностних властивостей та поліпшення зварюваності деформованого алюмінієвого сплаву системи Al-Mg-Sc марки 1545, досягається мікролегуванням перехідними металами. Скандій – перехідний метал, який є модифікатором структури та зміцнювачем зварних з'єднань. Основною перевагою алюмінієвих сплавів, що містять скандій, є висока міцність, пластичність, корозійна стійкість у поєднанні з високою питомою міцністю;

- пошук раціональних способів впливу на рідкий алюмінієвий розплав з метою модифікування;

- підвищення щільності, однорідності та стабілізації властивостей виливків;
- удосконалення термічної обробки виливків.

Складнолеговані алюмінієві сплави систем Al-Si та Al-Mg-Sc мають особливості структуроутворення та фазоутворення в різних умовах термодформаційного впливу. Тому необхідний аналіз вкладу різних структурних складових у механізм зміцнення та підвищення механічних та технологічних властивостей.

Раціональним способом підвищення якості алюмінієвих сплавів є модифікування, що дозволяє підвищити комплекс механічних, технологічних та експлуатаційних властивостей готових деталей.

Для підвищення характеристик ливарних алюмінієвих сплавів системи Al-Si марки АЛ4 (АК9ч), АЛ4С та деформованих алюмінієвих сплавів системи Al-Mg-Sc марки 1545 у дисертаційній роботі пропонується модифікація комплексним модифікатором Mg<sub>2</sub>Si і SiC. Вагомий внесок у дослідження закономірностей взаємодії модифікаторів та металу – основи внесли І.П. Волчок, О.А. Мітяєв, В.З. Куцова, Н.Є. Калініна, А.Г. Пригунова, U. Dahlborg, K. Young-Dong та інші вчені.

**Затвердження теми та плану дисертації.** Тема дисертації «Вплив модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів» затверджена вченою радою Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, науковим керівником призначено кандидата технічних наук, доц. С.О. Полішко (протокол № 3 від 23.11.2023 р.), уточнення теми на засіданні вченої ради фізико-технічного факультету (протокол № 1 від 17.09.2024 р).

**Особистий внесок автора.** Основні результати експериментальної роботи були отримані здобувачем особисто та з його безпосередньої участі. Автором проведено аналіз літературних джерел, розроблено методики проведення експерименту, проведено обробку результатів та їх узагальнення, підготовлені наукові статті та доповіді для міжнародних конференцій. Автором проведено аналіз стану проблеми підвищення комплексу технологічних, механічних і експлуатаційних властивостей ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів. Основні наукові результати досліджень, експериментальних і промислових випробувань отримані при безпосередній участі автора роботи. Теоретичні узагальнення та висновки виконані автором самостійно.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертації.** Достовірність ґрунтується на значному обсязі фактичного матеріалу, використанні необхідних методів аналізу даних.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше встановлено, що модифікування розплавів алюмінієвих сплавів систем Al-Si та Al-Mg-Sc нанодисперсними композиціями на основі силіциду магнію  $Mg_2Si$  та карбіду кремнію SiC забезпечує значне зменшення розміру зерна від 280 до 110 мкм, 200 до 100 мкм у 2 – 2,5 рази та підвищення міцнісних властивостей алюмінієвих ливарних сплавів марки АЛ4(АК9ч), АЛ4С та деформованого сплаву марки 1545.

2. Вперше запропонований механізм зміцнення алюмінієвих сплавів при модифікуванні комплексним модифікатором нанодисперсним карбідом кремнію модифікації  $\beta$ -SiC, що полягає у контролюючому зеренному зміцненні при значному вкладі дисперсійного зміцнення, обумовленого впливом нерозчинних тугоплавких частинок модифікатора.

3. Доведено, що при модифікуванні алюмінієвих сплавів систем Al-Si і Al-Mg-Sc усувається утворення евтектики границь зерен, досягається рівномірний розподіл зміцнюючих фаз, що сприяє підвищенню комплексу механічних властивостей.

4. Вперше встановлено механізми впливу нанодисперсного модифікатора  $Mg_2Si$  і SiC на механічні та технологічні властивості алюмінієвих ливарних сплавів АК9ч, АЛ4С та деформованого сплаву 1545, що полягає у контролюючому зеренному зміцненні при значному вкладі дисперсійного зміцнення.

#### **Практичне значення результатів дослідження.**

1. Обґрунтовано склад нанодисперсного комплексного модифікатора на основі силіциду магнію  $Mg_2Si$  та карбіду кремнію SiC, використання якого забезпечує підвищення механічних, технологічних і експлуатаційних властивостей алюмінієвих сплавів.

2. Розроблено спосіб обробки ливарних алюмінієвих сплавів комплексним модифікатором з розміром часток 50...100 нм, на основі нанодисперсних порошків. Розроблений спосіб захищено патентом України на корисну модель № 157286, С22С 1/06 (2006.01) «Спосіб одержання виливків з силумінів».

3. Розроблені технологічні параметри модифікування сплавів з введенням операції термочасової обробки розплаву при температурі 750 °С на протязі 10 хвилин.

4. Розроблені «Технологічна інструкція ТІ № 102.25210.00377 з приготування алюмінієвого сплаву АЛ4, модифікованого комплексним наномодифікатором на основі силіциду магнію та карбіду кремнію» (від 11.06.2024) та «Технологічна інструкція ТІ № 102.25210.00376 з приготування алюмінієвого сплаву 1545 системи Al-Mg-Sc, модифікованого комплексним наномодифікатором на основі силіциду магнію та карбіду кремнію» (від 11.06.2024), який підтверджений у ливарному виробництві Державного підприємства «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод імені О. М. Макарова». Отримано дослідно-промислові партії виливків модифікованих сплавів АК9ч, АЛ4С та 1545 з високим комплексом механічних та технологічних властивостей. Результати роботи впроваджені при отриманні ливарних алюмінієвих сплавів АК9ч, АЛ4С та деформованого сплаву 1545 у промислових умовах Державного підприємства «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод імені О. М. Макарова» (акт від 04.02.2025 р.).

5. Удосконалено режим термозміцнюючої обробки заготовок зі сплавів АК9ч, АЛ4С, модифікованих комплексним модифікатором  $Mg_2Si$  і  $SiC$ , який відрізняється від існуючого зменшенням часу витримки деталей при температурі загартування та скороченням часу старіння.

6. Матеріали дисертації впроваджено у навчальний процес Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара акт від 28.02.2025 при вивченні дисциплін «Технологія обробки спеціальних матеріалів», «Корозія сплавів авіаційно-космічної техніки», «Наноматеріали і нанотехнології», «Математичне моделювання та оптимізація технологічних процесів і матеріалів» при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

**Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях та особистий внесок у них автора.** Основні матеріали дисертаційної роботи відображено у 20 наукових публікаціях: 1 стаття у журналі, який індексується у наукометричній базі Scopus, Q4 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank та належить до вітчизняних фахових видань категорії А, 10 статей у вітчизняних фахових виданнях категорії Б, 9 матеріалів міжнародних та вітчизняних конференцій.

Публікації Давидюк А.В. відповідають вимогам пп. 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (із змінами).

**Список робіт, опублікованих за темою дисертації, та конкретний внесок здобувача:**

1. Давидюк А.В. Зміна структури та властивостей алюмінієвих сплавів при модифікуванні порошковими композиціями. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2024. №1. С. 13 – 17. DOI:<https://doi.org/10.15588/1607-6885-2024-1-2> (Особистий внесок автора: Давидюк А.В. – постановка задач дослідження, обґрунтування складу модифікатора, оптимізація складу модифікатора, визначення механізму взаємодії модифікатора розплавом, випробування механічних властивостей сплавів, аналіз результатів).

2. A.V. Davydiuk, N.E. Kalinina, A.F. Sanin, D.B. Hlushkova, S.V. Demchenko, V.O. Sayenko. Improving the strength and corrosion properties of aluminium alloys when modification with nanodispersed compositions. *Questions of atomic science and technology*. 2023. №5 (147). С. 26–29. DOI:<https://doi.org/10.46813/2023-147-026> (Особистий внесок авторів: Давидюк А.В. – випробування механічних властивостей і корозійної стійкості, розробка способу введення модифікатора, дослідження мікроструктури, аналіз результатів, висновки; Калініна Н.Є., Санін А.Ф. – постановка задачі, обґрунтування вибору модифікатора; Глушкова Д.Б. – металографічні дослідження; Демченко С.В. – статистична обробка експериментів. Саєнко В.О. – статистична обробка експериментальних результатів).

3. Т.В. Носова, **Давидюк А.В.**, В.Т. Калінін, О.П. Юшкевич. Вплив мікролегування і модифікування на структурне зміцнення та властивості сплавів. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*. 2017. Т. 22. С. 62 – 67. (Особистий внесок авторів: Носова Т.В. – дослідження мікроструктури і механічних властивостей сплавів; Давидюк А.В. – дослідження механізму зміцнення, аналіз результатів; Калінін О.В. – розробка методології досліджень, формулювання задач; Юшкевич О.П. – статистичний аналіз експериментальних результатів, висновки).

4. Nosova T.V., Kalinina N.E., Kalinin V.T., **Davidyuk A.V.**, Vovk A.M. Processing aluminum alloys by dispersion modifiers. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*. 2018. Т.24. С.57 – 62. (Особистий внесок авторів: Носова Т.В. – дослідження властивостей сплавів 1570, 2219; Калініна Н.Є. – розробка і обґрунтування методології досліджень; Калінін В.Т. – аналіз результатів досліджень, висновки; Давидюк А.В. – розробка і дослідження методу введення наномодифікатора у розплав сплавів обґрунтування критерію вибору модифікатора для сплаву АЛ4; Вовк А.М. – металографічні дослідження сплавів).

5. Калініна Н. Є., **Давидюк А.В.**, Калінін В. Т. Носова Т. В., Носенко О. П., Савченко І. С. Підвищення технологічних властивостей зварюваних алюмінієвих сплавів модифікуванням дисперсними композиціями. *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. 2018. № 1. С. 81 – 85. (Особистий внесок авторів: Калініна Н.Є. – розробка методології досліджень; Давидюк А.В. – розробка і обґрунтування методу введення модифікатора у розплав, аналіз результатів, Калінін В.Т. – обґрунтування задач дослідження; Носова Т.В. – статистична обробка результатів; Носенко О.П., Савченко І.С. – розрахунок оптимальної кількості модифікатора, дослідження властивостей сплавів і з'єднань).

6. Калініна Н.Є., Давидюк А.В., Калінін В.Т., Носова Т.В., Мамчур С.І., Савченко І.С. Дослідження структури та властивостей алюмінієвих сплавів, модифікованих дисперсними композиціями. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*. 2019. Т.26. С. 80 – 84. . (Особистий внесок авторів: Калініна Н.Є. – формування задач і обґрунтування методології дослідження; Давидюк А.В. – дослідження механічних характеристик модифікованого сплаву АЛ4С, аналіз результатів; Калінін В.Т. – обґрунтування складу модифікатора сплавів 1570, 2219, висновки; Носова Т.В. – статистична обробка експериментальних результатів; Мамчур С.І. – дослідження властивостей сплаву АК9ч; Савченко І.С. – розрахунок раціональної кількості модифікатора для сплавів).

7. S. Polishko, A. Davidyuk, A. Sanin, N. Kalinina, E. Dzhur. Aluminum alloy modifiers. *Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки*. 2019. Т.26. С. 17 – 20. (Особистий внесок авторів: Полішко С.О. – постановка задачі дослідження, висновки, обробка результатів; Давидюк А.В. – обґрунтування способу введення модифікатора; Санін А.Ф. – промислове випробування практичних рекомендацій; Калініна Н.Є. – обґрунтування хімічного складу модифікаторів; Джур Є.О. – методологія досліджень).

8. Калініна Н.Є., Давидюк А.В., Калінін В.Т., Носенко О.П., Носова Т.В., Мамчур С.І., Носенко О.П. Зміна властивостей деформованих алюмінієвих сплавів під час модифікування. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2019. №1(84). С.44 – 49. DOI: <https://doi.org/10.30838/J.PMNTM.2413.260319.44.300> (Особистий внесок авторів: Калініна Н.Є. – обґрунтування методології, дослідження, висновки; Давидюк А.В. – дослідження мікроструктури і механічних властивостей сплавів; Калініна Н.Є. – аналіз експериментальних результатів, висновки; Носенко О.П. – аналіз механізму впливу нанодисперсних композицій на процес кристалізації; Носова Т.В. – статистична обробка експериментальних результатів; Мамчур С.І. – металографічні дослідження).

9. Калініна Н.Є., Давидюк А.В., Носова Т.В., Цокур Н.І. Розробка технології модифікації литих алюмінієвих сплавів наноконпозиціями. *Вісник Дніпровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка*. 2023. 31 (4). С.76 – 80. DOI:10.15421/452310 (Особистий внесок авторів: Калініна Н.Є. – загальна постановка задач досліджень; Давидюк А.В. – дослідження мікроструктури сплавів АЛ4 та АЛ4С, визначення технологічних параметрів введення модифікатора, висновки, аналіз результатів; Цокур Н.І. – дослідження сплавів АЛ9, АЛ4Д, висновки; Носова Т.В. – обґрунтування складу модифікатора).

10. А.В. Давидюк, С.О. Полішко. Зміна структури та механічних властивостей алюмінієвого сплаву системи Al-Mg-Sc унаслідок оброблення комплексним наномодифікатором. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2023. № 103. С. 211 – 215. DOI: <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2023.103.1.211> (Особистий внесок авторів: Давидюк А.В. – дослідження мікроструктури сплаву, обґрунтування параметрів виготовлення, механічні випробування, аналіз результатів, висновки; Полішко С.О. – постановка задачі досліджень, обґрунтування експериментального комплексу, статистична обробка експериментальних результатів).

11. **А.В. Давидюк, Н.Є. Калініна, С.О. Полішко.** Вплив модифікування дисперсними наноконпозиціями на структуру та властивості ливарних силумінів. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2023. № 103. С. 117 – 121. DOI: <https://doi.org/10.30977/bul.2219-5548.2023.103.1.117> (Особистий внесок авторів: Давидюк А.В. – дослідження мікроструктури та властивостей сплавів, визначенн параметрів технології, аналіз результатів, висновки; Калініна Н.Є. – обґрунтування задач дослідження; Полішко С.О. – статистична обробка експериментальних результаті).

#### **Список публікацій, які засвідчують апробації матеріалів дисертації**

1. Калініна Н.Є., **Давидюк А.В.**, Носова Т.В. Покращення якості та корозійної стійкості модифікованих алюмінієвих сплавів. Дніпровська орбіта, Д.: НЦАОМ, 2016. С.154 – 157. (Особистий внесок авторів: Калініна Н.Є. – обґрунтування задач дослідження; Давидюк А.В. – дослідження корозійної стійкості, аналіз результатів, аналіз впливу модифікатора на корозійну стійкість, висновки; Носова Т.В. – проведення випробувань на міжкристалітну корозію).

2. **Давидюк А.В.**, Н. Є. Калініна. Схильність до утворення гарячих тріщин при зварюванні алюмінієвих сплавів. IV Всеукраїнського форуму студентів, аспірантів і молодих учених, Д.: ДНУ, 2017. С. 221 – 223. (Особистий внесок авторів: Давидюк А.В. – дослідження утворення гарячих тріщин, впливу домішок на властивості сплавів, аналіз результатів, висновки; Калініна Н.Є. – обґрунтування задачі дослідження).

3. В.Т. Калінін, М.В. Грекова, **Давидюк А.В.**, О.П. Юшкевич. Підвищення корозійної стійкості конструкційних сплавів обробкою тугоплавкими модифікаторами. Міжнародна конференція «Інноваційні технології в науці та освіті. Європейський досвід», Том II., Дніпро-Відень, 2017. С. 271 – 275. (Особистий внесок авторів: Калінін О.В. – постановка задачі дослідження; Грекова М.В. – випробування сплаву 1570; Давидюк А.В. – випробування на корозійну стійкість).

4. **Давидюк А.В.** Зварювальні алюмінієві сплави модифіковані наночастками. XXI Міжнародна науково-практична конференція “Людина і космос”. Збірник тез. Дніпро, НЦАОМУ, 2019. С.279. (Особистий внесок автора: обґрунтування способу введення модифікатора, дослідження мікроструктури і механічних властивостей сплавів).

5. Калініна Н.Є., Калінін В.Т., Мамчур С.І., **Давидюк А.В.**, Серженко І.О. Зміна структури та властивостей алюмінієвих сплавів в результаті модифікування. Актуальні напрямки матеріалознавства: збільшення ресурсу конструкцій на основі конвергенції сучасних технологій обробки матеріалів. , Харків: ХНАДУ, 2020. С. 6 – 9. (Особистий внесок авторів: Калініна Н.Є. – обґрунтування задач дослідження; Калінін В. Т. – обґрунтування складу модифікатора; Носова Т.В., Мамчур С.І. – оптимізація складу модифікатора; Давидюк А.В. – визначення механізму взаємодії модифікатора расплавом; Серженко І.О. – виготовлення зразків для випробувань).

6. Пирлик Р.В., **Давидюк А.В.**, Калініна Н.Є. Технологія модифікування алюмінієвих сплавів порошковим модифікатором. XXIV Міжнародна науково-практична конференція “Людина і космос”. Збірник тез. Дніпро, НЦАОМУ, 2022.

С.165. (Особистий внесок авторів: Пирлик Р.В. – проектування прес-оснащення; Давидюк А.В. – розробка і дослідження способу виготовлення модифікатора, аналіз результатів; Калініна Н.Є. – обґрунтування комплексу досліджень).

7. **Давидюк А.В.** Модифікування алюмінієвих сплавів дисперсним порошком карбиду кремнію SiC. XXV Міжнародна науково-практична конференція “Людина і космос”. Збірник тез. Дніпро, НЦАОМУ, 2023. С.263. (Особистий внесок автора: Давидюк А.В. – обґрунтування складу модифікатора, дослідження мікроструктури і властивостей сплавів, аналіз результатів).

8. **Давидюк А.В.**, Калініна Н.Є., Глушкова Д.Б. Підвищення якості виливків з алюмінієвих сплавів системи Al-Si. XXVI Міжнародна науково-практична конференція “Людина і космос”. Збірник тез. Дніпро, НЦАОМУ, 2024. – С.344 – 345. [HTTP://DOI.ORG/10.62717/2221-4550-2024-1-164](https://doi.org/10.62717/2221-4550-2024-1-164) (Особистий внесок авторів: Давидюк А.В. – дослідження мікроструктури і властивостей сплавів, аналіз результатів; Калініна Н.Є. – обґрунтування складу модифікатора; Глушкова Д.Б. – проведення промислових випробувань).

9. **Давидюк А.В.** Вибір нанодисперсного модифікатора ливарних алюмінієвих сплавів. *Виклики та проблеми сучасної науки*. [Електронний ресурс]. 2023. – Т. 1. – С.242 – 246. DOI: <https://doi.org/10.15421/cims.1> (Особистий внесок автора: Давидюк А.В. – розробка і дослідження методу введення наномодифікатора у розплав сплавів обґрунтування критерію вибору модифікатора для сплаву АЛ4, аналіз результатів досліджень, висновки).

### **УХВАЛИЛИ:**

1. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів дисертація Давидюк Анжели Вікторівни «Вплив модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів» відповідає вимогам, викладеним у «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 12.01.2022 р. № 44).
2. Рекомендувати дисертацію Давидюк Анжели Вікторівни «Вплив модифікування нанодисперсними композиціями на структуру та властивості ливарних і деформованих алюмінієвих сплавів» до захисту в спеціалізованій вченій раді для разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство.
3. Клопотати перед вченою радою університету розглянути питання про створення спеціалізованої вченої ради для разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство Давидюк Анжели Вікторівни у такому складі:

№ з/п	Прізвище, ім'я по батькові	Місце основної роботи. Підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності за якою захищена дисертація. Рік присудження	Вчене звання	Наукові публікації
1	Манько Тамара Антонівна (голова)	Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, МОН України, професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій	Доктор технічних наук, спеціальність 05.07.04 – технології виробництва літальних апаратів, 1999 р., ВАК України	Професор за кафедрою технології виробництва, 2000 р., МОН України	<p>1. T. Man'ko. Influence of modification of cast and deformed alloys on mechanical properties of compositions. <i>Journal of Rocket-Space Technology</i>. 2024. 33 (4-28). 94-97. <a href="https://doi.org/10.15421/452430">https://doi.org/10.15421/452430</a> (Scopus).</p> <p>2. Манько Т. А. Вплив модифікації литих та деформованих сплавів на механічні властивості композицій. <i>Вісник Дніпровського університету. Ракетно-космічна техніка</i>. 2024. 33 (4-28). 94-97. <a href="https://doi.org/10.15421/452430">https://doi.org/10.15421/452430</a>. (Категорія Б).</p> <p>3. Манько, Т.А., Гусарова, І.О., Потапов, О.М., Солодкий, Є.В. Вплив наномодифікаторів на властивості вуглекомполімерів. <i>Космічна наука і технології</i>. 2020. 26(5). С. 15-21. <a href="http://dx.doi.org/10.15407/knit2020.05.015">http://dx.doi.org/10.15407/knit2020.05.015</a>. (Категорія Б).</p>
2	Баглиук Геннадій Анатолійович (опонент)	Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М.Францевича НАН України, директор	Доктор технічних наук, спеціальність 05.16.06 – Порошкова металургія та композиційні матеріали, 2005 рік	Член-кореспондент НАН України, Матеріалознавство, порошкова металургія, 2021 рік	<p>1. Kaverinsky V.V., Bagliuk G.A., Sukhenko Z.P. Numerical Simulation of <i>In Situ</i> Reaction Synthesis of TiC Reinforced Aluminum Matrix Composite from Elemental Al-Ti-C Powders. <i>J. of Materi Eng and Perform</i> (2023). <a href="https://doi.org/10.1007/s11665-023-08650-6">https://doi.org/10.1007/s11665-023-08650-6</a>. (Scopus)</p> <p>2. Bagliuk G. A., Monastyrskaya T. O., Kaverinsky V. V. et al. Sintered Al-Si-Ni Alloy:</p>

№ з/п	Прізвище, ім'я по батькові	Місце основної роботи. Підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності за якою захищена дисертація. Рік присудження	Вчене звання	Наукові публікації
				Професор, 132 - Матеріалознавство 2020 рік	Structure and Properties. I. Powder Obtaining // Metallophysics and Advanced Technologies. - 2023. - Vol. 45, No. 8. - P. 951–961. doi.org/10.15407/mfint.45.08.095 1. (Scopus)  3. Kaverinsky V. V., Sukhenko Z. P., Bagluk G. A., Verbylo D. G. About Al–Si Alloys Structure Features and Ductility and Strength Increasing After Deformation Heat Processing // Metallophysics and Advanced Technologies, 44, No. 6: 769–784 (2022). DOI:10.15407/mfint.44.06.0769. (Scopus)
3	Мітяєв Олександр Анатолійович (опонент)	Національний університет «Запорізька політехніка», МОН України  завідувач кафедри «Композиційні матеріали, хімія та технології»	Доктор технічних наук, 05.02.01 – матеріалознавство,  2009,  Україна	Професор, за кафедрою технології металів,  2011 р.	1. Мітяєв, О.А., Волчок, І.П., Фролов, Р.О., Повзло, В.М., Петрашов, О.С., Підвищення властивостей вторинного силуміну АК12М2МГН наномодифікуванням. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні : наук. журн. / Засновник Національний університет «Запорізька політехніка». – Запоріжжя: НУЗП. – Двоміс. – 2022, № 2. – С.88-92. <a href="https://doi.org/10.15588/1607-6885-2022-2-14">https://doi.org/10.15588/1607-6885-2022-2-14</a> (Категорія Б).  2. Петрашов, О.С., Капустян, О.С., Волчок, І.П., Мітяєв, О.А., Акімов І.В. Дослідження та підвищення механічних властивостей силуміну АК7ч. Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні :

№ з/п	Прізвище, ім'я по батькові	Місце основної роботи. Підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності за якою захищена дисертація. Рік присудження	Вчене звання	Наукові публікації
					<p>наук. журн. / Засновник Національний університет «Запорізька політехніка». – Запоріжжя: НУЗП. – Двоміс. – 2023, № 1. – С.36-42. <a href="https://doi.org/10.15588/1607-6885-2023-1-5">https://doi.org/10.15588/1607-6885-2023-1-5</a> (Категорія Б). <a href="https://doi.org/10.15588/1607-6885-2023-2-2">https://doi.org/10.15588/1607-6885-2023-2-2</a> (Категорія Б).</p> <p>3. Frolov, R.O. Modification of the return silumin AK7ch with a fine crystalline charge / R.O. Frolov, O.A. Mityayev, O.S. Petrashov, O.A. Glotka. Journal of science. Lyon, - 2024. №54. P. 35–40. <a href="https://doi.org/10.5281/zenodo.11550476">doi.org/10.5281/zenodo.11550476</a> (у періодичному виданні країни ЄС).</p>
4	Аюпова Тетяна Анатоліївна (опонент)	Український державний університет науки і технологій МОН України, доцент кафедри матеріалознавства та термічної обробки металів	Кандидат технічних наук, 05.16.01 – металознавство та термічна обробка металів, 18 листопада 2009р, Україна	Доцент кафедри матеріалознавства, 21 листопада 2013 р.	<p>1. Аюпова Т.А., Носко О.А., Аюпов О.А. Формування структури і властивостей ливарного алюмінієвого сплаву в гранично деформованому стані. Металургійна та гірничорудна промисловість. 2021. № 3 (328). С. 3–17. <a href="https://doi.org/10.34185/0543-5749.2021-3-3-17">10.34185/0543-5749.2021-3-3-17</a>. (Категорія Б).</p> <p>2. Structure and properties evolution of the Al – Cu – Mg alloy during the «twin-roll casting – hot deformation – heat treatment» technological process / Nohovitsyn O.V., Pryhunova A.G., Аюпова Т.А., Носко О.А., Volyntiuk D.A.// Вісник ХНАДУ, вип. 107, 2024. С. 54-61. <a href="https://doi.org/10.30977/BUL.2219-">10.30977/BUL.2219-</a></p>

№ з/п	Прізвище, ім'я по батькові	Місце основної роботи. Підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності за якою захищена дисертація. Рік присудження	Вчене звання	Наукові публікації
					<p>5548.2024.107.0.54. <b>(Категорія Б).</b></p> <p>3. Природа інтерметаліду <math>Al_8Si_6Mg_3Fe</math> в сплаві АК7ч, мікролегованому комплексом Ti-B-Sr / <u>Аюпова Т.А., Носко О.А., Єлагін А.С., Коваль Д.О.</u> // Теорія і практика металургії. №4, 2024. С. 43-49. <a href="https://nmetau.edu.ua/file/4_2024_popered.pdf">https://nmetau.edu.ua/file/4_2024_popered.pdf</a>. <b>(Категорія Б).</b></p>
5	Ткачов Юрій Валентинович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара МОН України,  доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій	*Кандидат технічних наук за спеціальністю 05.07.04 – технологія виробництва літальних апаратів, 12.12.2001 р.  Україна	Доцент кафедри технології виробництва, 22.02.2007 р.	<p>1. Носова Т.В., Мамчур С.І., Мороз Я.В., <u>Ткачов Ю.В.</u> Підвищення механічних властивостей конструкційної сталі 09Г2С. Вісник Дніпровського університету. Ракетно-космічна техніка. 2024, 33(4), с. 35–40. <a href="https://doi.org/10.15421/452405">https://doi.org/10.15421/452405</a> <b>(Категорія Б).</b></p> <p>2. <u>Y. V. Tkachov, T. V. Nosova, O. V. Kalinin.</u> Enhancing the corrosion resistance of al-zn-mg-cu aluminum alloys through modification with titanium carbide powder. Системні технології. 2025, №</p> <p>3. <u>Ткачов Ю.В.</u> Обробка сплавів різного призначення багатофункціональними модифікаторами на основі алюмінієвої стружки. Вісник Дніпровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка. 2025, Т. 34, вип. 30. С.– 39-44, <a href="https://doi.org/10.15421/452504">doi:10.15421/452504</a>. <b>(Категорія Б).</b></p>

Усі кандидатури членів ради відповідають вимогам пп. 14, 15 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (із змінами).

**Результати відкритого голосування:**

«За» – 20 осіб.

«Проти» – немає.

«Утрималися» – немає.

**Рішення прийнято одногolosно.**

Голова міжкафедрального семінару



Анатолій САНІН

Секретар



Тетяна ЛАБУТКІНА