

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з наукової роботи НУ

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

Вадим ШАЛОМЄЄВ

«12» березня 2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 8

розширеного засідання кафедри Машини та технологія ливарного виробництва інженерно-фізичного факультету Національного університету «Запорізька політехніка» (НУ «Запорізька політехніка»)

від «12» 03 2025 р.

ПРИСУТНІ:

Головуючий на засіданні – Іванов В.Г. – завідувач кафедри Машини та технологія ливарного виробництва, д.т.н., професор;

Секретар – Сергієнко О.С.

6 співробітників кафедри Машини та технологія ливарного виробництва:

Воденніков С.А. – професор кафедри Машини та технологія ливарного виробництва, д-р техн. наук, професор;

Наумик В.В. – професор кафедри Машини та технологія ливарного виробництва, д-р техн. наук, професор;

Сажнєв В.М. – доцент кафедри Машини та технологія ливарного виробництва, канд. техн. наук, доцент;

Голтвяниця В.С. – доцент кафедри Машини та технологія ливарного виробництва, канд. техн. наук, доцент;

Педаш О.О. – доцент кафедри Машини та технологія ливарного виробництва, канд. техн. наук;

Тьомкін Д.О. – аспірант кафедри Машини та технологія ливарного виробництва.

Гнатенко М.О. – доцент кафедри і Машини та технологія ливарного виробництва, д-р філософії, доцент.

8 запрошених:

Павленко Д.В. – завідувач кафедри технології авіаційних двигунів, д-р техн. наук, професор;

Мітяєв О.О. (он-лайн) – завідувач кафедри композиційних матеріалів, хімії та технології, д-р техн. наук, професор;

Беліков С.Б. (он-лайн) – професор кафедри транспортних технологій, д-р техн. наук, професор;

Савченко В.О. – в/о декана факультету будівництва, архітектури та дизайну, канд. техн. наук, доцент;

Ткач Д.В. – доцент кафедри Фізичного матеріалознавства, канд. техн. наук, доцент;

Глотка О.А. – доцент кафедри Фізичного матеріалознавства, канд. техн. наук, доцент;

Сотніков Є.Г. – член наглядової ради національного університету «Запорізька політехніка», канд. техн. наук;

ПОРЯДОК ДЕННИЙ

1. Про попередній розгляд дисертації аспіранта кафедри Машини та технологія ливарного виробництва Данилова Сергія Миколайовича на тему «Розробка технології комплексного модифікування жароміцного нікелевого сплаву для великогабаритних лопаток авіаційних газотурбінних двигунів» (науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.В. Наумик).

СЛУХАЛИ: доповідь аспіранта Данилова С.М. по завершенню дисертаційної роботи.

ПИТАННЯ: Під час обговорення учасники засідання поставили доповідачу 21 запитання.

Павленко Д. В.: За рахунок чого отримано економічний ефект?

Данилов С.М.: За рахунок зниження рівня браку, піднімали усі брак-акти за період коли ми відливали модифіковані лопатки й врахували в цій роботі.

Павленко Д. В.: Основна спрямованість цієї роботи це підвищення властивостей, а ефект отримано від зниження кількості браку.

Данилов С.М.: ефект отримано від підвищення властивостей, тому що, якщо не буде забезпечено заданий рівень властивостей, то буде отримано максимальний рівень браку.

Павленко Д. В.: ви казали про ударну в'язкість, чим ударна в'язкість важлива для лопаток турбін?

Данилов С.М.: наприклад, коли ззовні попадає декотра частка може відбудеться відривання частини лопатки й пошкодження потім елементів гарячого тракту газотурбінного двигуна. Задача полягала в тому, щоб відбувалося згинання лопаток без руйнування й двигун працював далі.

Павленко Д. В.: Ви розглядали різні системи модифікації й вони підвищували рівень механічних властивостей, а чи є якась границя, норма, до якої можна підвищувати властивості за цими схемами?

Данилов С.М.: цією роботою ми намагалися досягти 80 Дж/см² ударної в'язкості, досягли рівня ~ 70 Дж/см², й на нашу думку максимально наблизилися.

Павленко Д. В.: концентрація модифікаторів забезпечує рівномірність розподілу за перерізом лопатки елементів?

Данилов С.М.: в основному рівномірність розподілу модифікаторів забезпечується за рахунок індукційного перемішування.

Павленко Д. В.: у вас при модифікуванні зерно подрібнюється й тим самим ви підвищуєте границю витривалості, але при цьому жароміцність знижується. Чи в той бік ви очікуєте розвиток механічних властивостей?

Данилов С.М.: додаванням ітрію ми компенсуємо зниження жароміцності при подрібненні зерна.

Павленко Д. В.: чому обрані саме ці концентрації при раціоналізації технології?

Данилов С.М.: при введенні карбонітриду титану в розплав у концентрації вище 0,1%, утворюються скупчення тугоплавких сполук, котрі потім викликають поверхневі світіння при люмінесцентному контролі, а по ітрію – при вмісті вище 0,01% утворюються карбіди у небажаній морфології «китайських ієрогліфів».

Павленко Д. В.: треба скорегувати назву з металургійних аспектів.

Іванов В.Г.: для металургії підходить назва, в роботі звичайно багато металографічних досліджень, але модифікування це чиста металургія.

Данилов С.М.: назва буде скоректована.

Павленко Д. В.: чи можна скорегувати номенклатуру лопаток для котрих використовується ця схема модифікування?

Данилов С.М.: дана схема модифікування розроблена для крупногабаритних лопаток турбіни низького тиску двигуна великої потужності, але може бути застосована і для лопаток інших типорозмірів.

Сажнев В.М.: Сформулюйте будь-ласка які металургійні аспекти ви виявили.

Данилов С.М.: Існуючий сплав ЖСЗДК-ВІ модифікували за допомогою модифікаторів $Ti(C,N)$ – 0,05%, Y – 0,01%, і алюмінат кобальту в нас працював як поверхневий модифікатор, і за допомогою цього ми досягли того результату який вказаний в цій роботі.

Сажнев В.М.: на одному з плакатів зазначено – плавлення жароміцного литва, це не зовсім коректно.

Данилов С.М.: Буде виконано корекцію – плавлення жароміцних сплавів для отримання відповідального литва.

Голтвяниця В. С.: Чи визначали пористість матеріалу?

Данилов С.М.: Для зменшення пористості матеріалу ми проводили гаряче ізостатичне пресування й тим самим позбувалися внутрішньої пористості та ущільнювали матеріал.

Голтвяниця В.С.: Чи визначали елементний аналіз тугоплавких сполук на лопатці?

Данилов С.М.: Не визначали.

Голтвяниця В.С.: На якому обладнанні визначали рентгеноспектральний мікроаналіз карбідів?

Данилов С.М.: Електронний мікроскоп.

Голтвяниця В.С.: В роботі ви казали зміцнювальна γ -фаза. Так γ -фаза чи γ' -фаза?

Данилов С.М.: Було зроблено оговірку, правильно - зміцнювальна γ' -фаза.

Сотніков Є.Г.: Як ви взагалі вводили модифікатори в сплав?

Данилов С.М.: Модифікатори вводили через завантажувальний пристрій печі УППФ-3М, модифікатори завертали у нікелеву фольгу і подавали в зону плавлення. Надалі відбувався процес індукційного перемішування й зливання металу в форму.

Сотніков Є.Г.: Як модифікатори впливають на подальші властивості в експлуатації?

Данилов С.М.: Не проводили таких випробувань, для цього треба провести стендові випробування на двигуні.

Іванов В.Г.: Чому саме ці модифікатори були обрані? Вони доволі різні за механізмом дії, ітрію це поверхнево-активний елемент, $Ti(C,N)$ це туготопка сполука що має іншу фізичну природу, тобто зовсім різні по впливу. Й оцініть їх доступність в Україні.

Данилов С.М.: ці модифікатори доступні в Україні, спеціально виготовлені. Але ради результатів можна йти на витрати.

Іванов В.Г.: А з екологічної точки зору?

Данилов С.М.: Вміст ітрію та карбонітриду титану настільки мінімальний, що не чинить впливу на екологію. Крім того це закрите виплавлення в вакуумі.

Іванов В.Г.: Це монокристалні лопатки чи звичайна кристалізація?

Данилов С.М.: Лопатки рівновісної кристалізації.

Іванов В.Г.: В технології нічого не змінюється? Режими термічної обробки, наприклад, не змінюються?

Данилов С.М.: залишається така ж сама, за стандартним режимом.

Іванов В.Г.: а технологія виготовлення керамічних форм?

Данилов С.М.: технологія виготовлення керамічних форм змінюється, додається в перший робочий шар 5% алюмінату кобальту.

Іванов В.Г.: на одному з плакатів є назви російською мовою. Треба навести ДСТУ або зарубіжний стандарт на втомні випробування.

Данилов С.М.: виправимо, посилання на діючу нормативну документацію щодо втомних випробувань.

Іванов В.Г.: температура плавлення нікелю та ітрію?

Данилов С.М.: нікелю – 1455°C, ітрію – вище, але в лігатурі він у вигляді евтектики.

Тьомкін Д.О.: Ви зазначили що спочатку робили термічну обробку виливків, а потім ГП. Чи це коректно?

Данилов С.М.: Ні, спочатку виконували ГП, а потім стандартну термічну обробку.

ВИСТУПИЛИ: д. т. н., проф. Павленко Д. В. зазначив, що робота виконана на високому рівні, але потребує певних доробок, як правило, це огляд літератури, більш чітка постановка задачі, економічний ефект має бути розраховано за іншою методикою. Після окремих, невеличких доробок може бути подана до захисту на разовій вченій раді.

д. т. н., проф. Іванов В.Г. відмітив, що робота виглядає закінченою й сформованою для захисту за спеціальністю 136 Металургія. Робота скерована на модифікування і головний акцент зроблено на цьому. В роботі присутні аспекти і вакуумного плавлення, лиття за витоплюваними моделями, гарячого ізостатичного пресування, присутня й електронна мікроскопія і випробування специфічних властивостей і натурні випробування деталей. Рівень виконання достатній для робіт, що подаються на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Дану роботу можна подавати до разової спеціалізованої ради після декотрих уточнень, що мали місце на початку доповіді у постановці задачі.

Науковий керівник, доктор технічних наук, професор Наумик В.В. зазначив, що подання відбудеться після рішення вченої ради й відповідного призначення рецензентів й опонентів. Відзначив актуальність проведеного наукового дослідження, практичне і теоретичне значення одержаних результатів, виступив із позитивною оцінкою щодо впровадження розроблених технологій модифікування жароміцного литва. Науковий керівник надав позитивну характеристику особі здобувача та його науковій діяльності, відзначив широту набутих компетентностей та сформованих навичок дослідника. Було підкреслено, що дисертаційна робота відповідає вимогам щодо дисертацій доктора філософії за спеціальністю 136 – «Металургія» і може бути рекомендована до подання у разову спеціалізовану вчену раду на розгляд.

УХВАЛИЛИ: Прийняти такий висновок щодо дисертаційної роботи С.М. Данилова.

ВИСНОВОК

наукового семінару кафедри Машини та технологія ливарного виробництва інженерно-фізичного факультету НУ «Запорізька політехніка» про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Розробка технології комплексного модифікування жароміцного нікелевого сплаву для великогабаритних лопаток авіаційних газотурбінних двигунів» здобувача ступеня доктора філософії Сергія ДАНИЛОВА за спеціальністю 136 Металургія (галузь знань 13 Механічна інженерія)

Актуальність теми. Дисертаційна робота є актуальною, оскільки присвячена підвищенню властивостей деталей гарячого тракту газотурбінних двигунів. Це досягнуто завдяки застосуванню різних способів модифікування розплаву, що забезпечує підвищення механічних властивостей, тривалої міцності та експлуатаційної довговічності деталей гарячого тракту ГТД, й в цілому підвищення надійності і ресурсу роботи газотурбінних двигунів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні етапи роботи виконані відповідно згідно з порядком проведення дослідних конструктивних і технологічних робіт на виробництві у відповідності із затвердженою на АТ «МОТОР СІЧ» нормативно-технічною документацією. Метою роботи було дослідження і подальше впровадження прогресивних технологій покращення структури та властивостей жароміцного литва на промислових підприємствах України.

Наукова новизна отриманих дисертантом результатів полягає у наступному:

- Вперше встановлено закономірності формування раціональної структури, яка забезпечує підвищення властивостей виливків із жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, отриманих з використанням комплексного модифікування – $(0,05\%Ti(C,N)+0,01\%Y+5\%CoAl_2O_4)$, гарячого ізостатичного пресування та термічної обробки.

- Вперше отримано структури жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ, сформовані під одночасним впливом інокулювальної дії керамічної форми, виготовленої з використанням алюмінату кобальту та об'ємного модифікування карбонітридами титану й поверхнево активним елементом – ітрієм, котрі характеризувалися зміною морфології карбідної складової із шрифтової на глобулярну, дрібнодисперсністю карбонітридних включень, сприятливою морфологією інтерметалідної γ' -фази та їх рівномірним розподілом, що підтверджено методами оптичної й електронної мікроскопії.

- Вперше встановлено склад комплексного модифікатору для отримання крупногабаритних виливків із жароміцного сплаву та визначено раціональну кількість його складових – $(0,05\%Ti(C,N)+0,01\%Y+5\%CoAl_2O_4)$. Розроблено технологію введення його у нікелевий розплав, визначено характер зміни структурного стану жароміцного сплаву під дією модифікатору та механічних властивостей – підвищено показники пластичності й ударної в'язкості, тривалу міцність у порівнянні із сплавом, що отриманий за серійною технологією вакуумного рівноважного литва.

- Вперше отримано відомості щодо впливу комплексного застосування модифікаторів різного механізму дії на втомні характеристики зразків жароміцного нікелевого сплаву ЖСЗДК-ВІ та визначено границю витривалості σ_{-1} при багатоциклових втомних випробуваннях, що дозволило розширити уявлення про вплив комплексного модифікування на втомну витривалість виливків із відповідального жароміцного литва.

Методи дослідження. У дослідженнях широко використані сучасні методи плавлення жароміцних нікелевих сплавів, оптичної і електронної металографії, рентгеноспектрального та рентгено-структурного аналізів, визначення механічних властивостей.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у значному покращенні рівня ударної в'язкості та часу до високотемпературного руйнування жароміцного нікелевого сплаву, що дозволило провести промислове опробування та розробити рекомендації із виплавлення великогабаритних робочих лопаток 2 ст., 3 ст., 4 ст. турбіни вентилятору авіаційного двигуна Д18-Т зі сплаву ЖСЗДК-ВІ із застосуванням комплексного модифікатору на основі $(Ti(C,N)+Y+CoAl_2O_4)$ на АТ «Запорізький машинобудівний завод ім. Омельченко В.І.».

Впровадження результатів дисертації. Результати дисертаційної роботи апробовано та впроваджено у практичну діяльність Запорізького машинобудівного заводу ім. Омельченка В.І. в технології виготовлення великогабаритних лопаток гарячого тракту газотурбінних двигунів.

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора. Основні положення та результати дисертації опубліковано у 6 публікаціях, які розкривають основний зміст дисертації, зокрема опубліковано 5 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (1

статтю включено до міжнародної наукометричної бази Scopus). Оpubліковано 8 тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій

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

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на міжнародних конференціях і семінарах: XVIII міжнародна науково-практична конференція «Литво. Металургія. 2022» у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (Харків, 2022), XIX міжнародна науково-практична конференція «Литво. Металургія. 2023» у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (Харків, 2023), XX міжнародній науково-практичній конференції «Литво. Металургія. 2024» у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (Харків, 2024), XV Міжнародній науково-технічній конференції «Нові сталі та сплави і методи їх оброблення для підвищення надійності та довговічності виробів» у Національному університеті «Запорізька політехніка» (Запоріжжя, 2022), XVI-й Міжнародній науково-технічній конференції «Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2024» у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, 2024), XXVII Міжнародному конгресі двигунобудівників (Харків, 2022) та XXIX Міжнародному конгресі двигунобудівників у Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ» (Харків, 2024), Міжнародній науковій конференції «Advanced & Novel Technologies – Interdisciplinary Collaboration on Materials Science 2025 (ANTICM-2025)» (Запоріжжя, 2025 р.).

УХВАЛИЛИ: з урахуванням зазначеного, на розширеному засіданні кафедри «Машини і технологія ливарного виробництва» НУ «Запорізька політехніка».

Дисертація Сергія ДАНИЛОВА «Розробка технології комплексного модифікування жароміцного нікелевого сплаву для великогабаритних лопаток авіаційних газотурбінних двигунів» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну науково-прикладну задачу покращення структури та властивостей великогабаритних лопаток турбіни авіаційного газотурбінного двигуна великої потужності.

У 6 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 5 статей у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у виданні України, яке входить до міжнародної наукометричної бази.

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

З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Сергія ДАНИЛОВА дисертація «Розробка технології комплексного модифікування жароміцного нікелевого сплаву для великогабаритних лопаток авіаційних газотурбінних двигунів» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

Присутні на розширеному засіданні кафедри Машини та технологія ливарного виробництва Національного університету «Запорізька політехніка» подають вченій раді закладу пропозицію щодо кандидатур до складу разової ради для розгляду та захисту дисертаційної роботи Сергія ДАНИЛОВА у такому складі:

1. БЕСІКОВ Сергій Борисович, д.т.н., професор, професор кафедри транспортних технологій Національного університету «Запорізька політехніка» – голова ради;
2. КВАСНИЦЬКА Юлія Георгіївна, д.т.н., ст. наук. співробітник, член-кореспондент НАН України, завідувач відділом спеціальних сталей та сплавів Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України (м. Київ) – опонент;
3. СЕЛІВЬОРСТОВ Вадим Юрійович, д.т.н., професор, професор кафедри ливарного виробництва Українського державного університету науки і технологій (м. Дніпро) – опонент;
4. ВОДЕННИКОВ Сергій Анатолійович д.т.н., професор, професор кафедри Машини та технологія ливарного виробництва Національного університету «Запорізька політехніка» – рецензент;
5. ГЛОТКА Олександр Анатолійович – к.т.н., доцент кафедри Фізичного матеріалознавства Національного університету «Запорізька політехніка» – рецензент.

Результати голосування: за рекомендацію голосування дисертації Сергія Миколайовича Данилова «Розробка технології комплексного модифікування жароміцного нікелевого сплаву для великогабаритних лопаток авіаційних газотурбінних двигунів» до захисту – 15, проти – 0, утримались – 0.

Головуючий на засіданні,

завідувач кафедри Машини та

технологія ливарного виробництва,

доктор технічних наук, професор

Валерій ІВАНОВ

Секретар,

к.т.н., доцент

Ольга СЕРГІЄНКО