

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи НУ

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

Вадим ШАЛОМЕСВ



2025 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 11

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

від «12» 06 2025 р.

ПРИСУТНІ:

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

Секретар – Сидоренко Н.Б.

8 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;

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

Парахневич Є.М. – доцент кафедри Машини та технологія ливарного виробництва, канд. техн. наук, в.о декана;

Івахненко Є.І. – доцент кафедри Машини та технологія ливарного виробництва, канд. техн. наук, доцент;

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

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

Матвейшин М.В. – аспірант кафедри Машини та технологія ливарного виробництва.

4 запрошених:

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

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

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

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

ПОРЯДОК ДЕННИЙ

Про попередній розгляд дисертації аспіранта кафедри Машини та технологія ливарного виробництва Тьомкіна Дмитра Олександровича на тему «Удосконалення технологічного процесу виготовлення литих робочих лопаток з жароміцних нікелевих сплавів для забезпечення експлуатаційних властивостей турбіни низького тиску» (науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.В. Наумик).

СЛУХАЛИ: доповідь аспіранта Тьомкіна Д.О. по завершенню дисертаційної роботи.

ПИТАННЯ: Під час обговорення учасники засідання поставили доповідачу 12 питань.

Мітяєв О.О.: На скільки подорожчала технологія з використанням модернізації ?

Тьомкін Д.О.: Розрахунки вартості технології не проводили. Головною умовою було використання для технології модернізації лігатур, матеріалів і технологій, що серійно застосовуються в ливарному цеху.

Мітяєв О.О.: У чому полягає актуальність роботи?

Тьомкін Д.О.: Підвищити механічні властивості робочих лопаток і експлуатаційні характеристики ТНТ.

Мітяєв О.О.: У чому полягає предмет і об'єкт дослідження?

Тьомкін Д.О.: Об'єктом дослідження є технологічні процеси впливу на структуроутворення ЖНС для забезпечення формування сприятливої структури і забезпечення поліпшених показників механічних властивостей та експлуатаційних характеристик, відповідно до вимог галузевої нормативної документації.

Предмет дослідження є структурні характеристики та показники механічних і експлуатаційних властивостей ЖНС після комплексного технологічного впливу на процеси виплавки ливарних сплавів і отримання виливків.

Мітяєв О.О.: У 2 пункті наукової новизни необхідно вказати, що карбідутворення відбувалося за участю ітрію при гафнії.

Тьомкін Д.О.: Пункт буде уточнено.

Глотка О.А.: У 2 пункті наукової новизни ви пишете про первинні карбіди ітрію. Карбіди ітрію в ЖНС можуть утворюватися тільки за ідеальних умов. Необхідно уточнити пункт.

Тьомкін Д.О.: Інформація про здатність ітрію утворювати первинні високотемпературні карбіди отримана з літературних джерел. Пункт буде уточнено.

Глотка О.А.: У 1 пункті наукової новизни вказана гранична межа впливу суми $Ti+Al$ на виділення γ' - по межах зерен не є унікальною, багато вчених займалися цією задачею. Необхідно уточнити пункт.

Тьомкін Д.О.: Результати впливу суми $Ti+Al$ на відокремлення γ' - по межах зерен отримані при металографічних дослідженнях при $(Ti+Al) \geq 8,2\%$. Пункт буде уточнено, як про отриманий подальший розвиток знань про це явище.

Ткач Д.В.: На стовпчастій діаграмі показано приріст часу до руйнування зразків при тривалих випробуваннях, всі зразки в кожному варіанті мали однаковий час до руйнування?

Тьомкін Д.О.: Ні, всі зразки мали різний час до руйнування. На діаграмі представлений середній результат випробувань по кожному варіанту.

Ткач Д.В.: Яка похибка випробувань зразків, зазначених на діаграмі випробувань тривалої міцності.

Тьомкін Д.О.: Похибка не перевищувала 10 %

Іванов В.Г.: Модернізація ливарного сплаву є загальноприйнятим поняттям, і в чому воно полягає?

Тьомкін Д.О.: Так, це загальноприйняте поняття. Відомий сплав ЖСЗЛС-М, на який є ТУ України.

У модернізацію ЖНС входять комплекс сучасних технологічних прийомів (легування, модифікування, оптимізація режимів плавки), спрямованих на підвищення експлуатаційних характеристик та механічних властивостей, жароміцності, за рахунок вдосконалення структури та якості лиття.

Іванов В.Г.: Навіщо проводять ВТОР

Тьомкін Д.О.: Технологічна операція ВТОР (високотемпературна обробка розплаву) дозволяє: значно знизити спадковість у сплаві за рахунок дисоціації тугоплавких включень і руйнування кластерного порядку; провести видалення газів з розплаву; зменшити міждендритні відстані у сплаві.

Іванов В.Г.: На стовпчастій діаграмі тривалих випробувань вказані порядкові номери випробувань дослідних варіантів. У таблиці вмісту вуглецю відсутній зв'язок дослідних варіантів з послідовністю випробувань. Таблицю необхідно уточнити.

Тьомкін Д.О.: Таблиця буде уточнена.

Іванов В.Г.: Чи є агрегат ТНД (турбіна низького тиску) лімітуючим для ресурсу двигуна?

Тьомкін Д.О.: Так. Руйнування будь-якої лопатки призводить до повного виходу із ладу всього агрегату. Для забезпечення загального ресурсу, лопатки ТНД повинні мати експлуатаційні

властивості, порівнянні з дорогими лопатками ВСНК, що застосовуються в турбінах ТВД і ТСД двигуна.

ВИСТУПИЛИ:

Канд. техн. наук, доцент. Глотка О.А. зазначив, що робота виконана на високому рівні, але потребує певних доробок, у доповіді необхідно зробити акцент на металургійну технологію, а також враховувати, що отримання карбіду ітрію необхідно розглядати як можливий варіант за ідеальних умов.

Д-р техн. наук, доцент Іванов В.Г. відмітив, що робота виглядає закінченою більш структурованою, об'ємною і насиченою й сформованою для захисту за спеціальністю 136 Металургія. Робота скерована на модернізацію ЖНС. В роботі присутні аспекти і вакуумного плавлення, лиття за витоплюваними моделями, присутня оптична мікроскопія і випробування специфічних властивостей. Рівень виконання достатній для робіт, що подаються на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Дану роботу можна подавати до захисту в разовій спеціалізованій раді після деяких уточнень, що згадувались в процесі обговорення доповіді. У доповіді необхідно більше уваги приділити технології покращення ливарних та механічних властивостей сплавів.

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 модернізації 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.

Д-р техн. наук, професор. Бєліков С.Б. зазначив, що робота виглядає закінченою. Тема модернізації ливарних ЖНС викликає зацікавленість і розглядається як комплекс технологій легування, модифікування та температурного впливу на рідкий метал для поліпшення властивостей матеріалу. Роботу рекомендувати до захисту.

Д-р техн. наук, професор Воденніков С.А. зазначив, що в роботі необхідно приділити більше уваги технології модернізації сплаву як комплексному впливу на поліпшення характеристик ЖНС.

УХВАЛИЛИ: Прийняти наступний висновок щодо дисертаційної роботи Д.О. Тьомкіна.

ВИСНОВОК

наукового семінару кафедри Машини та технологія ливарного виробництва інженерно-фізичного факультету НУ «Запорізька політехніка» про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Удосконалення технологічного процесу виготовлення литих робочих лопаток з жароміцних нікелевих сплавів для забезпечення експлуатаційних властивостей турбіни низького тиску» здобувача ступеня доктора філософії Дмитра ТЬОМКІНА за спеціальністю 136 Металургія (галузь знань 13 Механічна інженерія)

Актуальність теми. Дисертаційна робота є актуальною, оскільки результати роботи дають змогу підвищити властивості деталей силової турбіни низького тиску. Підвищення властивостей досягнуто завдяки застосуванню комплексної модернізації яка включає в себе технологічні процеси легування, модифікування та температурного впливу на рідкий метал, що забезпечує

підвищення механічних властивостей, жароміцності, тріщиностійкості та експлуатаційної довговічності робочих лопаток авіаційних двигунів та установок наземного базування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні етапи та висновки дисертаційної роботи виконано відповідно до Закону України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки та інноваційної діяльності в Україні" від 13.01.2024 № 3534-IX.

Наукова новизна отриманих дисертантом результатів полягає у наступному:

1. Вперше систематизовано та узагальнено відомості щодо впливу сумарного вмісту (Ti+Al) на зміцнювальну γ -фазу в ЖНС з різними типами зміцнення. Уточнено граничну межу легування сумою елементів (Ti+Al). Металографічними дослідженнями встановлено, що за суми $Ti+Al \geq 8,2\%$ у структурі сплаву формуються грубі границі зерен, по яких виділяються евтектичні фази, в результаті відбувається зменшення часу до руйнування при випробуванні на тривалу міцність.

Введення в розплав $0,136\%$ нікель-ітрієвої лігатури забезпечує формування тонких меж зерен практично без виділень знеміцнюючих фаз.

2. Вперше розрахунками встановлено, що для проведення реакції карбідоутворення ітрію $0,015$ мас.% при гафнії $0,25$ мас.% достатньо $0,02$ мас.% вуглецю. Додавання $0,15 \dots 0,25$ мас.% гафнії до ЖСЗДК-ВІ формує глобулярні карбіди по межах зерен. Вірогідно первинні карбіди ітрію формуються з розплаву і сприяють зростанню глобулярних карбідів типу MeC. Отриманої за розрахунками кількості ітрію і гафнії, є достатнім для утворення тільки глобулярних карбідів у сплаві ЖСЗДК-ВІ за умови зменшення кількості вуглецю.

3. Отримано подальший розвиток уявлення про процес утворення високотемпературних карбідів ніобію, гафнії і титану. Показано, що при вмісті вуглецю $0,06$ мас.% і нижче, буде визначатися дефіцит вуглецю, а отже, легуючі елементи витрачалися на зміцнення структури сплаву, а саме:

– гафній перешкоджає руйнуванню меж зерен за рахунок пригнічення виділення вторинних карбідів, і входить в γ -фазу;

– ніобій додатково легує γ -фазу;

– титан додатково утворює γ -фазу.

Методи дослідження. У дослідженнях широко використані сучасні методи плавлення та інші технологічні процеси обробки сучасних жароміцних нікелевих сплавів, оптичної металографії, спектрального аналізу, визначення механічних властивостей, жароміцності.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропоновано та випробувано в умовах ВП «ЗМЗ» удосконалений технологічний процес модернізації сплаву ЖСЗДК-ВІ комплексом $[Nb+Hf+Y+V+Ti]$. Застосування вказаного комплексу модернізації дозволило збільшити час до руйнування зразків при $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ під навантаженням 350 МПа приблизно у 4 рази, та підвищити ударну в'язкість у 2 рази, в порівнянні з вихідною плавкою сплаву ЖСЗДК-ВІ.

Виплавку ЖНС слід здійснювати на установці, яка оснащена модулем відбору проб для визначення хімічного складу у процесі плавки, проводити розрахунковий аналіз оцінки структурної стабільності та збалансованості хімічного складу, і за необхідності корегувати хімічний склад розплаву

Впровадження результатів дисертації.

За результатами промислових випробувань в умовах ВП "ЗМЗ" рекомендовано застосування дослідної технології на АТ "МОТОР СІЧ", нарівні із серійною технологією виготовлення лопаток турбіни, з використанням комплексно модернізованого сплаву ЖСЗДК-ВІ

Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора.

Основні положення та результати дисертації опубліковано у 7 публікаціях, які розкривають основний зміст дисертації, зокрема опубліковано 6 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук (1 статтю включено до міжнародної наукометричної бази Scopus). Також опубліковано 3 тези 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: "Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2024" 26-27 квітня 2024 р. Дніпро: НТУ "ДП"; 6 th Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes (InterPartner-2024), September 10–13, 2024 (Odessa, Ukraine. 2024.); XVII Міжнародний науково-технічний конференції. Неметалеві накраплення і гази в ливарних сплавах (Запоріжжя, 26-27 листопада 2024 року) Запоріжжя: НУ "ЗП", 2025.

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

Дисертація Дмитра ТЬОМКІНА на тему «Удосконалення технологічного процесу виготовлення литих робочих лопаток з жароміцних нікелевих сплавів для забезпечення експлуатаційних властивостей турбіни низького тиску» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано актуальну науково-прикладну задачу покращення властивостей сплаву ЖСЗДК-VI.

У 7 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України; 1 стаття у виданні України, яке входить до міжнародної наукометричної бази Scopus.

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

З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Дмитра ТЬОМКІНА дисертація «Удосконалення технологічного процесу виготовлення литих робочих лопаток з жароміцних нікелевих сплавів для забезпечення експлуатаційних властивостей турбіни низького тиску» 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 Дмитра ТЬОМКІНА у такому складі:

1. БЕЛІКОВ Сергій Борисович, д.т.н., професор, професор кафедри транспортних технологій Національного університету «Запорізька політехніка» – голова ради;
2. КВАСНИЦЬКА Юлія Георгіївна, д.т.н., старший науковий 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, декан факультету електромеханіки та електрометалургії 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, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри Фізичного матеріалознавства, Національного університету «Запорізька політехніка» – рецензент.

Результати голосування: за рекомендацію голосування дисертації Дмитра Олександровича Тьомкіна «Удосконалення технологічного процесу модернізації ливарних жароміцних нікелевих сплавів для забезпечення експлуатаційних властивостей робочих лопаток турбіни низького тиску» до захисту – 13, проти – 0, утримались – 0.

Головуючий на засіданні,
завідувач кафедри Машини та
технологія ливарного виробництва,
доктор технічних наук, доцент

Валерій ІВАНОВ

Секретар

Наталья СИДОРЕНКО