

Міністерство освіти і науки України
ДВНЗ «ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

ПДТУ
ННІСТ
Навчально-науковий інститут сучасних технологій

III Міжнародна науково-практична конференція

«ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

III International scientific and practical conference

«PROBLEMS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF MODERN TECHNOLOGIES»

матеріали конференції /
proceedings of conference

18 листопада 2025 / November 18, 2025
м. Дніпро, Україна / Dnipro, Ukraine

95 РОКІВ ПДТУ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ВІЛЬНЮСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. ГЕДИМІНАСА (Литва)
ЛОДЗЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ (Польща)
ЛІБЕРЕЦЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ (Чехія)
ТОВАРИСТВО ЧИСТОГО СЕРЕДОВИЩА ЗЕЛЕНОЇ ІНДІЇ (Індія)
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА СПІЛЬНОТА ЛУКАШЕВИЧ – ІНСТИТУТ КЕРАМІКИ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (Польща)
ЛЬВІВСЬКА ТОРГОВО-ПРОМИСЛОВА ПАЛАТА
ПАТЕНТНО-ЮРИДИЧНА КОМПАНІЯ «АТІЛОГ»

МАТЕРІАЛИ

ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції

«ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»,

присвяченій *95* - річчю

ПРИАЗОВСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

18 листопада 2025 року

м. Дніпро, Україна
2025

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
SHEI `PRYAZOVSKYI STATE TECHNICAL UNIVERSITY
EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC INSTITUTE OF MODERN TECHNOLOGIES
VILNIUS GEDYMINAS TECHNICAL UNIVERSITY (Lithuania)
LODZ UNIVERSITY (Poland)
LIBEREC TECHNICAL UNIVERSITY (Czech Republic)
GREEN INDIA CLEAN ENVIRONMENT SOCIETY (India)
LUKASZEWICH SCIENTIFIC RESEARCH COMMUNITY – INSTITUTE OF CERAMICS AND BUILDING MATERIALS (Poland)
LVLIV CHAMBER OF COMMERCE AND INDUSTRY
PATENT AND LAW COMPANY "ATILOG"

PROCEEDINGS
of the III International Scientific and Practical Conference

«PROBLEMS AND PROSPECTS OF THE DEVELOPMENT OF MODERN TECHNOLOGIES»,
dedicated to the *95* th anniversary of
PRYAZOVSKYI STATE TECHNICAL UNIVERSITY

November 18, 2025

Dnipro, Ukraine
2025

УДК 52 : 62 ISBN 978-966-604-324-8

Рекомендовано Вченою радою ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (протокол № 4 від 27.11. 2025 р.).

Проблеми і перспективи розвитку сучасних технологій : матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 18 листопада 2025 р). – Дніпро : ДВНЗ «ПДТУ», 2025. - 199 с.

До збірника увійшли матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і перспективи розвитку сучасних технологій», яка відбулася 18 листопада 2025 року. Збірник розрахований на науковців, освітян, здобувачів вищої освіти, представників бізнесу та широку громадськість.

Робочі мови конференції: українська та англійська.

Матеріали збірника подаються в авторській редакції та публікуються мовою оригіналу. Автори опублікованих матеріалів несуть повну відповідальність за достовірність наведених фактів, власних імен, цитат, статистичних даних, галузевої термінології та іншої інформації.

Оргкомітет висловлює подяку учасникам конференції за надані доповіді.

«Problems and prospects of the development of modern technologies» : Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (Dnipro, November 18, 2025). – Dnipro : SHEI «PSTU», 2025. – 199 p.

The collection includes the proceedings of the International scientific and practical conference «Problems and prospects of the development of modern technologies», which took place on 18st November 2025. The collection is aimed at scientists, educators, students, business representatives and the wider public.

Working languages of the conference: Ukrainian and English.

The collection's proceedings are presented in the author's edition and published in the original language. The authors of published materials hold complete responsibility for the precision of facts, proper nouns, quotes, statistical data, industry terminology, and other information presented.

© ДВНЗ «ПДТУ», 2025

ЗМІСТ

Секція 1. МЕТАЛУРГІЯ ТА ОБРОБКА МЕТАЛІВ / METALLURGYANDMETALPROCESSING

В.М. Бакланський, Є.М. Нещадімов. **Роль графіту в складі шлакоутворювальних сумішей** 10

В.М. Бакланський, О.Є. Шпаков. **Досвід підвищення якості безперервно литої заготовкидля трубних марок сталі** 13

В.М. Бакланський, Я.С. Горохов. **Дослідження технологічних характеристик шлакоутворювальних сумішів в умовах металургійних комбінатів** 18

В.М. Бакланський, М.Г. Родін. **Застосування РЗМ у якості модифікаторів** 21

Л.І. Тарасюк. **Дослідження процесу десульфурації низькокремнистих марок сталі на установці «ківш-піч»** 24

Л.І. Тарасюк. **Дослідження впливу компонентного та зімічного складу на властивості ШУС для розливки сталі на МБЛЗ** 24

Л.І. Тарасюк. **Дослідження впливу умов продування сталі інертними газами у ковші на ступінь рафінування металу** 25

Л.І. Тарасюк. **Дослідження процесу десульфурації в кисневому конвертері при використанні технології «ІНВЕРС-ПРОЦЕС»** 25

Л.І. Тарасюк. **Дослідження процесу позапічної обробки з метою підвищення характеристик якості металопродукції** 26

Л.І .Тарасюк, В.О. Хоров. **Вдосконалення технології розливки сталі на МБЛЗ зметою підвищення стійкості занурювальних стаканів** 27

Л.І. Тарасюк, Д.О. Приходько. **Аналіз та дослідження структури оборотного брухту в умовах металургійного комбінату з метою підвищення ефективності його використання** 28

Л.І. Тарасюк, В.В. Потрас. **Вплив розкислення сталі алюмінієм на формування подвійних оксисульфідних включень** 31

В.У. Григоренко, О.М. Заболотній. **Стосовно підвищення експлуатаційних властивостей фасоних профілів** 33

В.У. Григоренко, В.В. Овсяников. **До питання вибору закордонних марок сталейпри виробництві зварних труб великих діаметрів для вітчизняних магістральних трубопроводів** 34

Є.А. Мкртчян. **Моделювання процесу штампування та підвищення довговічності штампів привиготовленні елементів стрілочного переводу** 35

Л.О. Дан. **Дуалізм використання ШІ в технічній творчості** 36

Л.О. Дан, М.О. Сідєльніков.. **Внесок вчених –металургів ДВНЗ «ПДТУ»в теоріюі практику отримання сталевих зливків** 37

Л.О. Дан, Д.О. Юдін. **Аналіз застосування рідкофазних методів виготовлення композиційних матеріалів** 38

Л.О. Дан, С.О. Котелевець. **Покращення властивостей водомістких композицій за рахунок магнітної обробки води**..... 38

Л.О. Дан, С.О. Зайченко. **Спадковість властивостей литого металу**..... 39

С.Б. Каргін, Д.В. Хвостов. **Визначення радіального розподілу шихти і газів у доменній печі за інформацією термозондів**..... 40

С.Б. Каргін, С.А. Сухомлин. **Недоліки та перспективи розвитку технології та устаткування широкосмугових станів гарячої прокатки**..... 40

С.Б. Каргін, І.А. Малий. **Методика та результати визначення показників напружено-деформованого стану валкових вузлів прихолодній листовій прокатці**..... 41

Maksimenko Oleg, Nikulin Alexander, Pryimak Anna, Tertychniy Oleksander. **Simulationof limit conditions for the longitudinal stability ofrolling when changing technological parameters**..... 42

Alexander Nikulin, Andriy Byakov, Konstantin Yarmolytsky. **Improvement of preparation of steel rod and wire during drawing**..... 43

М.М. Штода, А.С. Єрьоменко. **Вплив традиційної сталеплавильної технології на якість гарячого прокату на стані БТЛС-1680**..... 46

Alexander Nikulin, Oleksandr Perevertaylo, Danil Dzidzyura. **Graphical factorization of technical solutions for the production of sections**..... 48

А.В. Клімашов. **Використання металургійних шлаків для отримання геополімерного в'яжучого**..... 50

В.М. Самохвал, О.С. Васильєв, Р.В. Концедал. **Аналіз показників стійкості твердосплавних валків дротових блоків**..... 52

О.П. Максименко, О.В. Нікулін, В.В. Попік. **Інноваційні аспекти підготовки фахівців з ОМТ в ДДТУ**..... 54

Секція 2. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ / MATERIALS SCIENCE AND PROSPECTIVE TECHNOLOGIES

І.М. Олійник, В.Г. Єфременко. **Кафедра матеріалознавства та перспективних технологій - 90 років служіння науці та освіті**..... 57

D. Pytliovs'ka, V. Efremenko. **Comparative effect of austempering and Q&P on mechanical properties of TRIP – assisted steel**..... 60

Yu.G. Chabak, Barma Y.A., V.G. Efremenko, V. Puchy, T.M. Kovbasiuk. **Laser-enhanceg surface hardening of powder metallurgy «matrix-carbide (MC, M_7C_3, M_6C)» composite**..... 61

I. Petrišinets, N.P. Zaichuk, B.V. Efremenko, I.I. Sili. **Multicomponent matrix – ceramics composite by hybrid additive manufacturing**..... 63

I. Petrišinets, V. G. Efremenko, Yu.G. Chabak, I.M. Oleyinik. **The concert of cost –effective ultrahigh-strength lightweight steel with smart nano-sized microstructure**.. 64

О.Л. Садова, В.П. Кашицький, Є.Ю. Чернота, Л.В. Сьомак. **Механічні властивості глютинових біокомпозитів, наповнених лігніном**..... 66

В.П. Кашицький, А.В. Чернов, В.В. Ліщина. **Формування багатошарових склопластиків на основі епоксикомпозитів** 68

В.П. Кашицький, Н.А. Марчук, Д.В. Кашицький. **Вплив технологічних факторів на механічні властивості глютинових біокомпозитів**..... 70

Н.П. Зайчук, С.П. Шимчук, В.Г. Єфременко, Б.В. Єфременко. **Оптимізація термічної обробки та структурної стабільності жароміцних сталей для підвищення ресурсу деталей газотурбінних двигунів** 72

Olena Dan, Dorota Kalisz. **Study of mechanical properties of a composite material reinforced with abs particles derived from automotive wastes**..... 75

Д.В. Бурова. **Механічні властивості сталі 15Г2, після термообробки з нагріванням в міжкритичний інтервал температур (МКІТ)**..... 77

А.С. Арустамян, Л.О. Дан. **Дослідження динамічних показників металополімерного композиту ММ «STAHL1018» при різних температурах**..... 78

A.V. Davydiuk, D.O. Paltsun. **Modern alumsnum alloys for rocket and space technology: properties and application prospects**..... 79

В.В. Овсяников. **До питання вибору закордонних марок сталей при виробництві зварних труб великих діаметрів для вітчизняних магістральних трубопроводів**..... 81

Д.Г. Носов, В.В. Перемітько, В.С. Шевцов, М.В. Макаренко, Д.А. Куркалов. **Експериментально-модельне дослідження впливу динамічних характеристик процесів GMAW (CMT, PMC) на мікроструктуру та міцність зварних з'єднань високоміцних сталей (AHSS)**..... 83

Ю.С. Самотугіна, Я.О. Сапіга, Ю.О. Яковенко. **Вплив плазмового модифікування на тріщиностійкість твердих сплавів**..... 86

Ю.С. Самотугіна, Я.О. Сапіга. **Сучасні підходи в реновації хірургічного інструменту**..... 86

Ю.С. Самотугіна, Ю.О. Яковенко. **Вплив плазмового модифікування на стійкість сталевого грунтообробного інструменту**..... 87

І.М. Олійник, В. Жерліцин. **Вплив легування та термічної обробки на властивості зносостійких чавунів**..... 89

В.Є. Ставровська, С. Федай. **Оптимізація термічної обробки труб категорії Е355**..... 90

Секція 3. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА/ ELECTRIC POWER, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

Ю.Л. Саєнко, Ю. Любарцева. **Вплив інтеграції фотоелектричних станцій у мережі низької напруги (0,4 кВ) на показники якості електроенергії**..... 91

Ю.Л. Саєнко, Ю. Любарцева. **Порівняльний аналіз "зеленого тарифу" та ринкових механізмів продажу електроенергії для сонячних електростанцій**..... 93

В.О. Чорна, О. Алексєєв. **Привабливість альтернативних джерел енергії в умовах енергетичної кризи в Україні**..... 95

Ю.Л. Саєнко, В. Сприса. **Сукупний вплив несиметрії та несинусоїдальності напруг -на технічні характеристики асинхронного двигуна**..... 96

Т.К. Бараненко, О. Гроза. **Проблема коливань напруги в електричних мережах різного рівня напруги**..... 97

таких біокомпозитів потребує розробки технології формування виробів на основі глютинового в'яжучого та продуктів деревообробної промисловості або відходів агропромислового сектору.

Основним технологічним фактором, що визначає процес формування виробів є вміст вологи з композиції, яка виконує функцію розчинника глютинового в'яжучого, однак знижує механічні характеристики біокомпозитів. Видалення вологи в кількості 10 % забезпечує зростання міцності на стискання біокомпозитів до 73,2 МПа у випадку нагрівання композиції під час формування до температури 50 °С протягом 30 хв. Це пов'язано з додатковим часом впорядкування структури біокомпозитного матеріалу порівняно з тривалістю 20 хв. Формування виробів за температури 60 °С протягом 30 хв забезпечує підвищення міцності на стискання біокомпозитів, які містять подрібнені стебла зернових культур. Застосування зусилля навантаження пресування 40 кН сприяє формування щільної структури біокомпозитного матеріалу за рахунок наближення компонентів та утворенням максимальної кількості водневих зв'язків.

Застосування оптимального навантаження пресування 40 кН забезпечує підвищення ударної в'язкості (4,2 кДж/м^2) біокомпозитного матеріалу, який наповнений подрібненими стеблами зернових культур. Це пов'язано з формування структури з низьким рівнем напруженого стану за оптимальної температури 60 °С.

Список використаних джерел

1. Murariu M., Dubois P. PLA composites: from production to properties // *Advanced Drug Delivery Reviews*. – 2016. – Vol. 107. – P. 17-46.

2. Morales-Jimenez M., Gouveia L., Yánez-Fernandez J., Castro-Muñoz R., Barragan-Huerta B.E. Production, preparation and characterization of microalgae-based biopolymer as a potential bioactive film // *Coatings*. – 2020. – Vol. 10, No. 120. – P. 1-13.

3. Castro-Dominguez B., Gröls J.R., Alkandari S., Perge L., Sierra-Avila C., Ramirez H.Z., Fontes M.L., Yamada C., Lazarini S.C., Silva J.M., Lustri W.R., Barud H.S. Biopolymers and biocomposites: a comprehensive review of feedstocks, functionalities, and advanced manufacturing techniques for sustainable applications // Biotechnology for Sustainable Materials. – 2025. – Vol. 2. – Article 8. – P. 1-25.

4. Sanusi O.M., Benelfellah A., Aït Hocine N. Clays and carbon nanotubes as hybrid nanofillers in thermoplastic-based nanocomposites – a review // Applied Clay Science. – 2020. – Vol. 185. – Article 105408. – P. 1-17.

5. O'Loughlin J., Doherty D., Herward B., McGleenan C., Mahmud M., Bhagabati P., Boland A.N., Freeland B., Rochfort K.D., Kelleher S.M., Fahy S., Gaughran J. The potential of bio-based polylactic acid (PLA) as an alternative in reusable food containers: a review // Sustainability. – 2023. – Vol. 15. – Article 15312. – P. 1-18.

6. Romani A., Perusin L., Ciurnelli M., Levi M. Characterization of PLA feedstock after multiple recycling processes for large-format material extrusion additive manufacturing // Materials Today Sustainability. – 2024. – Vol. 25. – Article 100636. – P. 1–10.

7. Averous L. Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: a review // Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews. – 2004. – Vol. 44. – P. 231–274.

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА СТРУКТУРНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ ЖАРОМІЦНИХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

Н.П. Зайчук, доцент, канд. техн. наук, Луцький національний технічний університет,
С.П. Шимчук, доцент, канд. техн. наук, Луцький національний технічний університет,
Єфременко В.Г., професор, докт. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ», м. Дніпро,
Єфременко Б.В., доцент, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ», м. Дніпро

Жароміцні сталі та сплави є ключовими конструкційними матеріалами у вузлах газотурбінних двигунів, силових установок та агрегатів авіаційної техніки. Такі матеріали експлуатуються за умов високих контактних навантажень та тривалих температурних дій, що сягають 0,45…0,8 від температури їх плавлення. За таких умов відбуваються інтенсивні процеси коагуляції зміцнювальних фаз, дифузійної дестабілізації та зниження механічних властивостей [1]. Підвищення ресурсу деталей газотурбінних двигунів безпосередньо залежить від стабільності структури жароміцних сталей. Тривалість ресурсу деталей із цих матеріалів може становити від сотень до десятків тисяч годин, що визначає необхідність пошуку способів підвищення їх теплостійкості, зносостійкості та структурної стабільності.

Багатоступенева термічна обробка має значний вплив на структурну стабільність та теплостійкість жароміцної сталі X12CrNiMoV12-3, що використовується у деталях газотурбінних двигунів. Роль γ′-фази у формуванні високотемпературної міцності та механізми її стабілізації під час подвійного відпускання – це ключовий фактор, що забезпечує комплекс експлуатаційних властивостей [2, 3]. Формування мікротопографії поверхні здійснює вплив на трибологічну поведінку та знос у робочому середовищі, а саме, у середовищі авіаційного пального [4, 5]. Доведено, що оптимізація термообробки дозволяє підвищити ресурс деталей і запобігти структурній деградації при тривалому високотемпературному навантаженні [6, 7].

Вплив температури й тривалого навантаження на мартенситні та хромонікелеві сталі обумовлює появу структурних перетворень, зокрема утворення феритних і бейнітних колоній. Сучасні дослідження зазначають, що однією з ключових умов забезпечення високотемпературної довговічності є формування дрібнодисперсної γ′-фази та її стабільність під час експлуатації.

Крім того, значний вплив на працездатність деталей має топографія поверхні: навіть мінімальні зміни параметрів шорсткості здатні суттєво змінювати характер трибологічних процесів, що підтверджено експериментальними роботами Це визначає необхідність комплексного аналізу матеріалу та поверхневих явищ.

Актуальність дослідження визначається потребою оптимізації режимів термічної обробки та удосконалення мікрорельєфу робочих поверхонь деталей, оскільки саме мікротопографія визначає рівень термостійкості та втомної міцності під час експлуатації. Проведені дослідження були спрямовані на встановлення особливостей структурних перетворень у жароміцних сталях після різних режимів термообробки, їх впливу на формування зміцнювальних фаз, а також на оцінювання трибологічної поведінки за умов, наближених до реальної роботи газотурбінних двигунів.

У представленій роботі дослідження виконували на сталі X12CrNiMoV12-3, що характеризується стійкістю до карбідоутворення та наявністю легувальних елементів, здатних формувати зміцнювальні фази при відповідній термообробці. Термообробку проводили в діапазоні 900…1200 °С з охолодженням у маслі та на повітрі. Такий режим узгоджується з сучасними тенденціями мінімізації оксидоутворення та внутрішніх напружень [8]. Подвійний відпуск при 1050 °С та 1000 °С застосовувався з огляду на дані досліджень, які демонструють переваги багатоступеневої термообробки у стабілізації γ′-фази, та попередні дослідження. Мікроструктуру аналізували на REM-106I, а мікрорельєф – на профілометрі відповідно до рекомендацій сучасних матеріалознавчих досліджень.

Трибологічні дослідження проводили за умов лінійного контакту тертя в середовищі авіаційного пального при навантаженні 10 Н, що відповідає типовим моделям для вивчення трибології жароміцних сталей.

Вихідний стан сталі характеризувався хаотичним розподілом карбідних включень, сформованих унаслідок взаємодії вуглецю з легувальними елементами (Cr, Mn, V, W). Після термічної обробки зразки набули дрібнозернистої мартенситно-феритної структури зі зменшеною кількістю карбідів, що свідчить про часткове розчинення зміцнювальних фаз і перерозподіл легувальних елементів (рис. 1).

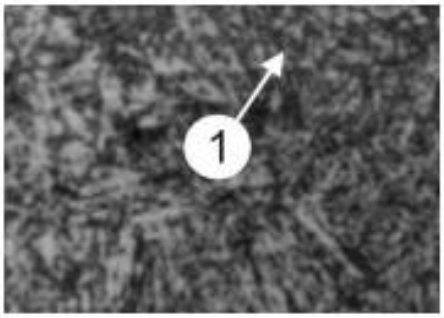


Рисунок 1 – Мікроструктура сталі X12CrNiMoV12-3 після термічної обробки:
1 – включення карбідів

Додаткове відпускання при 1050 °С у різних середовищах сприяло розчиненню карбідів і міжметалевих фаз, після чого проводилося старіння. Повторне відпускання при 1000 °С забезпечило інтенсивне виділення дрібнодисперсної зміцнювальної γ'-фази ($Ni_3(Al,Ti)$), яка значною мірою визначає теплостійкість і жароміцність нікельвмісних сплавів.

Завдяки такій подвійній термообробці вдалося сформувати рівномірну та стабільну γ'-фазу, що сповільнює її подальшу коагуляцію та підвищує робочу температуру матеріалу. Порівняння отриманих мікроструктур із сучасними літературними даними підтверджує, що багатоступенева термічна обробка інтенсифікує формування γ'-фази, що сприяє підвищенню теплостійкості та жароміцності матеріалу.

Виявлені під час тривалого нагрівання феритні та бейнітні перетворення повністю збігаються з моделями деградації мартенситних жароміцних сталей (рисунок 2).

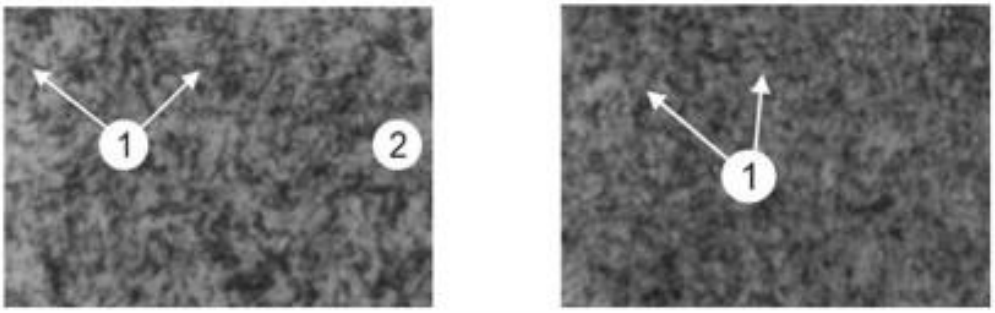


Рисунок 2 – Мікроструктура сталі X12CrNiMoV12-3 після тривалої експлуатації (більше 60 год.): 1 – включення карбідів; 2 – матриця

Під час випробувань при тривалих статичних навантаженнях (понад 60 год) спостерігали такі зміни:

- утворення колоній паралельних феритних кристалів;
- поява структур верхнього та нижнього бейніту;
- зростання неоднорідності евтектоїдної суміші;
- деградація структури через формування карбідних колоній.

Ці процеси свідчать про початок термоструктурної нестабільності, що потенційно може знижувати механічні властивості під час довготривалої експлуатації.

Мікрорельєф робочих поверхонь визначає опір тертю та схильність до втомного руйнування. За результатами вимірювань отримані поверхні мали високий клас чистоти

поверхонь, що забезпечило незначну різницю у лінійному зношуванні. Протягом випробувань тривалістю 4 години роботи лінійне зношування становило 22 мкм, а протягом 8 годин роботи – 26,1 мкм. Різниця становила близько 20 %, що свідчить про стабільну роботу поверхонь та достатню якість оброблення.

Критичний вплив мікротопографії на трибологічну поведінку підтверджує необхідність високої якості фінішної обробки поверхонь, оскільки навіть невеликі дефекти призводять до прискореного зношування та зниження втомної міцності.

Висновки:

1. Багатоступенева термічна обробка забезпечує формування та стабілізацію γ′-фази, що суттєво підвищує жароміцність сталі X12CrNiMoV12-3. Підвищення експлуатаційних властивостей жароміцних сталей можливе за рахунок коректного вибору режимів термічної обробки, які забезпечують стабільність структури та запобігають інтенсивному утворенню карбідних фаз під впливом робочого середовища. Подвійне відпускання у поєднанні зі старінням сприяє формуванню значної кількості дрібнодисперсної γ′-фази, рівномірно розподіленої в матриці, що суттєво підвищує жароміцність матеріалу.

2. Тривале високотемпературне навантаження призводить до структурної деградації, зокрема появи бейнітних і феритних колоній, узгоджених із сучасними моделями деградації матеріалів. Мікротопографія поверхні є визначальним чинником у трибологічній поведінці та опорі термічній втомі.

3. Оптимізація термообробки та контроль поверхневого стану дозволяють значно підвищити ресурс деталей газотурбінних двигунів. Якість мікрорельєфу робочих поверхонь відіграє важливу роль у забезпеченні зносостійкості та втомної міцності; некоректне полірування може знизити працездатність деталей.

Список використаних джерел

1. Patel, J., Sharma, A., & Gupta, R. Tribological behavior of Cr–Ni heat-resistant steels under lubricant starvation. Wear, 512–513, 204533 (2022). https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204533

2. Hosseini, S.M., Bahrami, A., Razavi, S. Effect of double aging on γ′ phase stability and mechanical properties of nickel-based superalloy IN738. Materials Characterization. 2020. Vol. 169. P. 110651. https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110651

3. Kobayashi, M., Yamamoto, K., & Harada, H. High-temperature performance of advanced nickel-based alloys: a review. Progress in Materials Science, 132, 101000 (2023). https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2023.101000

4. Kumar, V., Singh, R., Pathak, S. Influence of surface finishing on tribological performance of heat-resistant steels. Tribology International. 2020. Vol. 147. P. 106321. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2020.106321

5. Patel, J., Sharma, A., Gupta, R. Tribological behavior of Cr–Ni heat-resistant steels under lubricant starvation. Wear. 2022. Vol. 512–513. P. 204533. https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204533

6. Augustins, J., et al. High-temperature degradation mechanisms in martensitic stainless steels under prolonged thermal exposure. Materials Science and Engineering A, 803, 140–155 (2021). https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140414

7. Liu, H., et al. Structural degradation and mechanical behavior of martensitic heat-resistant steels at elevated temperatures. *Materials Science and Engineering A*, 845, 143267 (2022). https://doi.org/10.1016/j.msea.2022.143267

8. Kim, J., & Lee, B. Role of multi-step heat treatment on microstructure refinement in Ni-based superalloys. Metals, 10(12), 1678 (2020). https://doi.org/10.3390/met10121678

STUDY OF MECHANICAL PROPERTIES OF A COMPOSITE MATERIAL REINFORCED WITH ABS PARTICLES DERIVED FROM AUTOMOTIVE WASTES

Olena Dan, Dr., AGH University of Krakow,