



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор ФТІМС НАН України

Член-кореспондент НАН України

Анатолій НАРІВСЬКИЙ

“18” травня 2026 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 2 від 5 травня 2026 р.

науково - технічного семінару Фізико-технологічного інституту металів та сплавів Національної академії наук України

БУЛИ ПРИСУТНІ: д.т.н., доц., заст. директора Шалевська І.А., д.т.н., ст.н.с., зав. відд. Пригунова А.Г., д.т.н., проф., зав. відд. Верховлюк А.М., д.ф.-м.н., проф., зав. каф., Карпець М.В., д.т.н., проф., пров.н.с. Афтандіянц Є.Г., д.т.н., пров.н.с. Нурадінов А.С., д.т.н., проф., ст.н.с. Михаленков К.В., д.т.н., ст. докл., заст. зав. від. Ворон М.М., д.т.н., ст. докл., ст.н.с. Щерецький В.О., к.т.н., ст. докл., зав. відд. Гнилоскуренко С.В., к.т.н., ст. н.с. Баранов І.Р., доктор філософії, ст.н.с. Вейс В.І., к.т.н., ст.н.с. Твердохвалов В.О., к.т.н., ст. докл., ст.н.с. Сергієнко Р.А., к.т.н., ст.н.с., вчений секретар Лахненко В.Л., к.т.н., ст. докл., заст. зав. відд. Тимошенко А.М., доктор філософії, н.с. Ліхачький Р.Ф., доктор філософії, н.с. Нурадінов І.А., н.с. Нейма О.В., м.н.с. Перехода В.В., аспірант Дьяченко М.М.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта відділу процесів плавки та рафінування сплавів Ліхачького Івана Федоровича за матеріалами дисертаційної роботи **«Розроблення ливарних високоентропійних сплавів з підвищеним вмістом алюмінію і технологій їх одержання»**, що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 136 – Металургія. Освітньо-наукова програма підготовки докторів філософії «Металургія».

Тему дисертаційної роботи «Розробка ливарних середньоентропійних алюмінієвих сплавів і технологій їх одержання.» затверджено на засіданні вченої ради ФТІМС НАН України (протокол № 8 від “08” грудня 2022 року) та скориговано на засіданні вченої ради ФТІМС НАН України (протокол № 4 від “16” березня 2026 року) у редакції «Розроблення ливарних високоентропійних сплавів з підвищеним вмістом алюмінію і технологій їх одержання».

Науковим керівником затверджено заступника завідуючого відділом, д.т.н., ст.досл. Ворона М.М. (протокол № 8 від “08” грудня 2022 року).

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

д.т.н., проф. Верховлюк А.М., д.т.н., ст.н.с., Пригунова А.Г., д.ф.-м.н., проф. Карпець М.В., к.т.н., ст. досл. Сергієнко Р.А., д.т.н., доц. Шалевська І.А.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

д.т.н., проф. Верховлюк А.М., д.т.н., ст.н.с. Пригунова А.Г., д.т.н., проф., Михаленков К.В., д.т.н., доц. Шалевська І.А.

УХВАЛИЛИ:

І. ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження аспіранта Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України Ліхацького Івана Федоровича на тему «Розроблення ливарних високоентропійних сплавів з підвищеним вмістом алюмінію і технологій їх одержання», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 136 – Металургія.

1. Актуальність теми дослідження:

Сучасний розвиток матеріалознавства значною мірою визначається потребою у створенні конструкційних металевих матеріалів, здатних поєднувати підвищену питому міцність, корозійну стійкість, термічну стабільність, технологічність одержання та економічну доцільність виробництва. Традиційні підходи до легування, що ґрунтуються на використанні одного базового елемента з відносно невеликими добавками легувальних компонентів, у багатьох випадках уже не забезпечують необхідного резерву для радикального підвищення комплексу властивостей.

У зв'язку з цим особливого значення набувають багатоконцентні системи, до яких належать високоентропійні, середньоентропійні та складноконцентровані сплави.

Високоентропійні сплави є одним із найбільш інтенсивно досліджуваних напрямів сучасного матеріалознавства. Їхня концепція полягає у використанні кількох основних елементів у близьких або порівняно високих концентраціях, що формує широкий композиційний простір і створює умови для одержання твердих розчинів, упорядкованих фаз, евтектичних структур, багатофазних композиційних станів та інших структурних станів із нетиповим поєднанням властивостей. Поряд із високоентропійними сплавами дедалі більшого значення набувають середньоентропійні та складноконцентровані сплави, для яких вирішальним є не лише формальне значення конфігураційної ентропії, а передусім багатоконцентність, висока концентрація легувальних елементів і пов'язана з цим специфіка фазоутворення, кристалізації та формування властивостей.

Одним із перспективних напрямів розвитку таких матеріалів є створення алюмінійвмісних багатоконцентних сплавів. Алюміній у таких системах виконує кілька функцій одночасно: знижує густину сплаву, змінює електронну концентрацію та фазову стабільність, впливає на співвідношення між ГЦК-, ОЦК- та впорядкованими фазами, а також може сприяти підвищенню твердості, зносостійкості та жароміцності. Разом з тим підвищений вміст Al часто супроводжується зростанням хімічної неоднорідності, схильністю до утворення крихких фаз, ускладненням контролю структури литого стану та можливим зниженням пластичності. Тому проблема раціонального використання алюмінію в багатоконцентних сплавах є не лише композиційною, а й технологічною.

В представленій роботі для виготовлення сплавів обрано ливарні технології. Такий підхід обрано тому, що лиття є одним із найбільш доступних і практично придатних способів виготовлення металевих матеріалів. На відміну від складних лабораторних методів, порошкової металургії або адитивних технологій, ливарні способи дають змогу одержувати об'ємні зразки та заготовки без надмірного ускладнення технологічного процесу. Це особливо важливо для оцінювання реальної перспективності високоентропійних і середньоентропійних сплавів, оскільки матеріал має бути не лише цікавим за складом і властивостями, а й технологічно придатним до виготовлення. Разом з тим саме під час лиття багатоконцентних сплавів виникають характерні труднощі, пов'язані з різними температурами плавлення компонентів, їх неоднаковим засвоєнням у розплаві, можливою ліквідацією, дендритною неоднорідністю та формуванням

нерівноважних фаз. Тому дослідження ливарних способів одержання таких сплавів є необхідним етапом для переходу від теоретичного проектування складів до практичного виготовлення матеріалів.

Отже, актуальною науково-практичною задачею є розроблення складів і технологічних підходів до одержання ливарних високоентропійних та середньоентропійних сплавів із підвищеним вмістом алюмінію, а також установлення закономірностей формування їх фазового складу, структури, технологічних, механічних і корозійних властивостей. Розв'язання цієї задачі дає змогу поглибити наукові уявлення про фазоутворення в Al-вмісних багатокомпонентних системах і створити основу для практичного одержання нових ливарних матеріалів зі зниженою густиною та комплексом експлуатаційно значущих характеристик.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами:

Робота проводилася у Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України відповідно до планів науково-дослідних робіт в рамках наступних тем, в яких дисертант виконував роль виконавця:

Відомча тема III-43-23-722 «Фундаментальні основи і створення новітніх процесів одержання з алюмінієвих сплавів литих та композиційних матеріалів, з використанням концентрованих джерел нагріву і термодинамічних дій на рідкий метал та при його твердінні» №ДР 0123U101341 (2022-2025);

Грант НАН України дослідницьким лабораторіям/групам молодих вчених НАН України для проведення досліджень за пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки II-31-24-729 «Створення науково-технологічних засад одержання якісних виливків з AHSS TWIP-сталей системи Fe-Mn-Al-C» № ДР 0124U002075 (2024-2025).

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Набули подальшого розвитку підходи і принципи розроблення та одержання високоентропійних сплавів зі зменшеною густиною та вмістом алюмінію 5-50% ат. з температурою плавлення нижче 1000 °С. Зокрема, методом плавлення в печі опору було одержано еквіатомний високоентропійний сплав системи Al-Si-Cu-Ni-Zn з температурою плавлення порядку 925 °С, що свідчить про технологічну простоту і високу економічну привабливість процесу.

2. Вперше показано, що при вмісті алюмінію 20% ат. можливе формування фазового складу сплавів системи Al-Cr-Mn-Fe-Co-Ni-Cu без інтерметалідної складової та міжзеренних сегрегацій і показано, що на це

значною мірою впливає зниження вмісту міді до ~5% ат. і додавання до ~10% ат. кобальту, які за рахунок збільшення концентрації валентних електронів сприяють стабілізації твердих розчинів.

3. Вперше проведено дослідження корозійної стійкості високо- та середньоентропійних сплавів систем Al–Si–Cu–Ni–Zn та Al–Cr–Mn–Fe–Co–Ni–Cu в різних корозійних середовищах і показано, на прикладі сплавів $Al_5Cr_{20}Mn_{17}Fe_{17}Co_{14}Ni_{17}Cu_{10}$ та $Al_{20}Cr_{15}Mn_{20}Fe_{20}Co_{10}Ni_{10}Cu_5$, що підвищення вмісту алюмінію навіть при зниженні вмісту хрому здатне зменшити мінімум на 20-30% показники втрати маси зразків.

4. Вперше проведено оцінку можливостей одержання з'єднань між високо- та середньоентропійними сплавами і алюмінієм за умов, коли ВЕС/СЕС знаходиться у твердому стані і взаємодіє з рідким алюмінієм. Показано, що ключову роль у формуванні з'єднань відіграє хімічний склад сплаву і час контакту між твердою вставкою та алюмінієвим розплавом за умов початкової температури останнього не нижче 720 °С, що призводить до формування щільного рівномірного шару з інтерметалідів на основі Al_3Fe , щільність формування якого падає зі збільшенням концентрації алюмінію у ВЕС/СЕС.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження:

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у розробленні технологічно доступних підходів до одержання ливарних високоентропійних і середньоентропійних сплавів із підвищеним вмістом алюмінію, які можуть бути використані як основа для створення нових конструкційних матеріалів зі зниженою густиною, підвищеною твердістю, корозійною стійкістю та наперед заданим структурно-фазовим станом. Вони також можуть використовуватись для одержання на поверхні виливків з алюмінію та його сплавах шарів з підвищеною твердістю, жаростійкістю та корозійною стійкістю шляхом дифузійної взаємодії між ВЕС у твердому стані та алюмінієвим розплавом.

Результати роботи мають значення для розвитку принципів дизайну та технологій одержання високоентропійних та складноконцентрованих ливарних сплавів, у тому числі – з підвищеним вмістом алюмінію для зменшення густини таких матеріалів. Одержані дані є цінними для подальших досліджень у галузі високоентропійних і середньоентропійних сплавів, а запропоновані аналітичні підходи можуть бути використані у науково-дослідній практиці під час проектування нових сплавів багатокомпонентних систем, оцінювання їх технологічності та попереднього прогнозування властивостей.

Також одержано нові дані щодо формування однорідних та рівномірно утворених інтерметалідних шарів у зонах контакту між ВЕС та розплавом алюмінію, що відкриває можливості для створення нових технологічних рішень з одержання жаростійких, зносостійких та корозійностійких покриттів на алюмінієвих сплавах.

5. Апробація результатів дисертації

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях та симпозіумах: XV Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» (2023), XXI Ювілейна Міжнародна науково-практична конференція «Металеві матеріали, процеси виготовлення та перспективи їх застосування в промисловості України» (2025), IX Міжнародна науково-практична конференція «The future of science: the latest research and innovations» (2026), XVI Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та молодих вчених «Наукова весна» (2026).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Ліхацького І.Ф. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Коефіцієнт цитування становить 0,51%. Коефіцієнт подібності (фрази, які містять до 5 слів або більше) становить 1,6 % і складається виключно зі стандартних фраз, термінів та назв. Дані перевірки вказують на виключно високий рівень оригінальності дисертаційної роботи.

7. Перелік публікацій за темою дисертації опубліковано 5 робіт у фахових журналах профільних видань, одна з яких індексується в міжнародних наукометричних базах Scopus та WoS Core collection, та 4 матеріали доповідей наукових міжнародних конференцій.

1. Veis V., Semenko A., Voron, M. Tymoshenko, A. Likhatskyi R., **Likhatskyi I.**, Parkhomchuk Z. Lightweight Fe–Mn–Al–C Steels: Current State, Manufacturing, and Implementation Prospects // Steel research international. – 2025. – 97(2). – pp. 595–611. <https://doi.org/10.1002/srin.202400904> (**Scopus Q2**) (Особистий внесок здобувача полягає у відборі та опрацюванні літературних джерел, аналізі окремих даних щодо технологій одержання легких та участі в підготовці матеріалів статті до публікації);

2. Ворон М. М., **Ліхацький І. Ф.** Сучасні підходи у створенні високоентропійних та середньоентропійних ливарних алюмінієвих сплавів //

Метал та лиття України. – 2022. – №3. – С. 102–107. <https://doi.org/10.15407/steelcast2022.03.102> (Особистий внесок здобувача полягає у відборі та аналізі літературних джерел, узагальненні сучасних підходів до створення високоентропійних і середньоентропійних ливарних алюмінієвих сплавів, формулюванні основних положень роботи та підготовці статті до публікації);

3. **Ліхацький І. Ф.** Виплавка високоентропійного сплаву системи AlCuNiFeCr тигельними дуговим та електронно-променевим способами // Процеси лиття. – 2024. – №3(157). – С. 53–58. <https://doi.org/10.15407/plit2024.03.053> (Особистий внесок здобувача полягає у плануванні експериментальних досліджень, виборі складу сплаву та технологічних параметрів виплавки, проведенні дослідних плавок тигельним дуговим та електронно-променевим способами, обробці й аналізі отриманих результатів, а також підготовці статті до публікації);

4. **Likhatskyi I. F.** Structural and phase formation in a medium-entropy, highalloyed composition of the Al-Mg-Si-V-Cr-Mn-Fe-Ni-Cu system // New materials and technologies in metallurgy and mechanical engineering. – 2025. – №3. – pp. 6-11. <https://doi.org/10.15588/1607-6885-2025-3-1> (Особистий внесок здобувача полягає у плануванні та проведенні експериментальних досліджень, аналізі структуро- та фазоутворення, інтерпретації отриманих результатів і підготовці статті до публікації)

5. **Ліхацький І. Ф.** Експериментальні багатоконпонентні високолеговані сплави системи Al–Si–Cu–Ni–Zn // Процеси лиття. – 2026. – №1(163). – С. 51-60. <https://doi.org/10.15407/plit2026.01.051> (Особистий внесок здобувача полягає у розробленні складів експериментальних систем, плануванні та проведенні дослідних плавок, виборі технологічних режимів їх одержання, дослідженні структури сплавів, обробці й аналізі отриманих результатів та підготовці статті до публікації).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Ліхацький І. Ф., Ворон М. М. Розробка ливарних алюмінієвих високоентропійних та середньоентропійних сплавів. XV міжнародна науково-технічної конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні». Київ: «КПІ ім. І. Сікорського». 2023. С. 221–225.

7. Ліхацький І. Ф. Проектування ливарних алюмінієвих сплавів з високою та середньою ентропією. XXI Ювілейна Міжнародної науково-практичної конференція «Металеві матеріали, процеси виготовлення та перспективи їх застосування в промисловості України». Київ: ФТІМС НАН України. 2025. С. 26–29.

8. Likhatskyi I. Problems and prospects of obtaining lightweight high- and medium-entropy alloys. IX International Scientific and Practical Conference «The future of science: the latest research and innovations». Stockholm, Sweden. 2026. P. 135–139.

9. Ліхацький І. Ф. Обмеженість інтегральних термодинамічних критеріїв при прогнозуванні фазового стану Al-вмісних багатокомпонентних сплавів. XVI Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів та молодих вчених «Наукова весна». Дніпро: НТУ «ДП». 2026. С. 511–513.

Якість та кількість публікацій відповідають “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”.

II. ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Ліхацького Івана Федоровича «Розроблення ливарних високоентропійних сплавів з підвищеним вмістом алюмінію і технологій їх одержання», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 – Механічна інженерія за спеціальністю 136 – Металургія за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми ФТІМС НАН України «Металургія» зі спеціальності 136 – Металургія.

III. РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Розроблення ливарних високоентропійних сплавів з підвищеним вмістом алюмінію і технологій їх одержання», подану Ліхацьким Іваном Федоровичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді ФТІМС НАН України утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

Член-кореспондент НАН України, д.т.н., завідувач відділом спеціальних сталей та сплавів ФТІМС НАН України

Квасницька Юлія Георгіївна

Члени:

Рецензенти:

Кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник ФТІМС НАН України

Сергієнко Руслан Арсенійович

Доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник ФТІМС НАН України

Афтанділянц Євгеній Григорович

Офіційні опоненти:

Доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізичного матеріалознавства та термічної обробки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Карпець Мирослав Васильович

Кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу фізики фазових перетворень Інституту металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України

Філатова Віра Сергіївна

Головуючий на семінарі
д.т.н., доц., заст. директора
ФТІМС НАН України

Інна ШАЛЕВСЬКА

Науковий секретар семінару
к.т.н., ст.досл.,
зав. відділу
ФТІМС НАН України

Святослав ГНИЛОСКУРЕНКО