



ЗАТВЕРДЖУЮ  
Проректор з навчальної роботи  
Національного технічного  
університету України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”  
к. філос. н., проф.  
Анатолій МЕЛЬНИЧЕНКО

“13” лютого 2024 р.

## ВИТЯГ

з протоколу № 10 від 1 лютого 2024 р. розширеного засідання  
кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії

### БУЛИ ПРИСУТНІ:

- з кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії: зав. кафедри, д. т. н., професор, Богомол Ю. І.; ст. викладач, Руденький С. О.; ст. викладач, к. т. н., Соловійова Т. О.; професор, д. т. н., Лобода П. І.; професор, д. ф-м. н.; Зауличний Я. В.; професор, д. т. н., Юркова О. І.; зам. директора НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, д. т. н., професор Мініцький А. В.; доцент, к. т. н., Троснікова І. Ю.; к. т. н., професор, Степанчук А. М.; к. т. н., доцент, Бірюкович Л. О.; аспірант Шеремет В.; студ. Тесля М. А.; провідний інженер Пономарчук С. Г.
- з інших кафедр КПІ ім. Ігоря Сікорського:
  - кафедри фізики металів та термічної обробки: к. т. н., доцент, Іващенко Є. В.; д. ф-м. н., професор, Волошко С. М.; д. ф-м. н., зав. кафедри, професор, Карпець М. В.; к. т. н., ст. викладач, Орлов А. К.; доктор філософії, асистент Круглов І. О.; к. т. н., доцент, Бурмак А. П.; к. т. н., ст. викладач Шкарабань Р. А.; к. т. н., доцент, вчений секретар КПІ ім. Ігоря Сікорського, Халявко В. В.; д. ф-м. н., ст. дослідник, директор НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, Владимирський І. А.; аспірант Педань Р. В.; к. т. н., ст. викладач, Вербицька Т. І.; д. т. н., професор, Макогон Ю. М.
  - кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій: к. т. н., доцент, Кагляк О. Д.;
  - кафедри зварювального виробництва: аспірант, Лагодзінський І. М.

### СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії за матеріалами дисертаційної роботи “Закономірності отримання порошкових сплавів Al-Fe триботехнічного призначення”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань

13 Механічна інженерія, за спеціальністю 132 Матеріалознавство. Освітньо-наукова програма – Матеріалознавство.

Тему дисертаційної роботи “Закономірності отримання композиційних матеріалів із сплавів Al–Fe багатофункціонального призначення” затверджено на засіданні Вченої ради НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 4 від “9” грудня 2020 року) та перезатверджено на “Закономірності отримання порошкових сплавів Al–Fe триботехнічного призначення” на засіданні Вченої ради НН ІМЗ ім. Є. О. Патона (протокол № 17 від “30” листопада 2023 року).

Науковим керівником затверджений к. т. н., професор Степанчук А. М.

## 2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили:

- д. т. н., професор, Макогон Ю. М.;
- д. т. н., академік НАН України, професор Лобода П. І.;
- д. ф-м. н., ст. дослідник Владимирський І. А.;
- д. ф-м. н., професор Волошко С. М.;
- д. т. н., професор, Богомол Ю. І.

## 3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь:

- д. т. н., професор, Юркова О. І.;
- д. т. н., академік НАН України, професор Лобода П. І.;
- д. ф-м. н., ст. дослідник Владимирський І. А.;
- д. ф-м. н., професор Карпець М. В.;
- д. т. н., професор, Богомол Ю. І.;
- д. ф-м. н., професор, Зауличний Я. В.
- д. т. н., професор, Мініцький А. В.

## **УХВАЛИЛИ:**

**ПРИЙНЯТИ** такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

**Актуальність теми дослідження.** Матеріали триботехнічного призначення є однією з ключових груп матеріалів в сучасній промисловості. За рахунок зміни хімічного складу, мікроструктури, фазового складу та технології отримання можливо забезпечити, залежно від умов роботи, високі антифрикційні чи навпаки фрикційні властивості. В практиці інженерних конструкцій найбільшого поширення здобули матеріали на основі сплавів міді, заліза та графіту. Недоліком вказаних матеріалів є складність щодо отримання стабільних значень твердості, високої окисної стійкості та стабільного коефіцієнту тертя. Також важливо зазначити суттєві обмеження у використанні міді, яка має значну алергенну дію на організм людини та забруднює навколишнє середовище. Отримання високих триботехнічних

властивостей із забезпеченням вимог щодо твердості та окисної стійкості можливо досягнути під час використання сплавів алюмінію. Проте в чистому вигляді алюміній не придатний до використання в інженерних вузлах, тому досить часто його піддають легуванням з наступною термічною обробкою. Дисперсійне старіння, в наслідок якого утворюються когерентні частинки зміцнюючих фаз значно підвищують міцність, твердість та зносостійкість. Однак, даний вид зміцнення не дозволяє забезпечити стабільні властивості за підвищених температур роботи, за рахунок знеміцнення. Більше перспективним є зміцнення сплавів алюмінію не когерентними частинками, які дозволяють зберегти властивості сплавів до температури плавлення. З техніко-економічних, технологічних та фізико-механічних засад матеріалознавства особливо перспективним є створення триботехнічних вузлів на основі сплавів алюмінію легованих залізом. Легування алюмінію залізом в концентраціях до 15 – 20 мас. % сприяє утворення фази  $Al_{13}Fe_4$  в матриці Al яка дисперсно зміцнює її. Проте, отримання інтерметалідів в дисперсному стані можливо досягнути лише за високих швидкостей охолодження не менше  $10^5$  °C/с, які практично не досяжні для методів ливарного виробництва. Більш перспективним є використання методів порошкової металургії де в якості вихідного матеріалу виступають порошки гомогенізованого сплаву Al-Fe із заданою дисперсною мікроструктурою. Важливе місце під час отримання триботехнічних матеріалів з порошкових сплавів Al-Fe займають процеси компактування за яких вдається забезпечити спадковість структури порошків у кінцевих виробках. Вирішити дане завдання можливо шляхом застосування імпульсних методів ущільнення таких як гаряча штамповка та методами пресування з наступним спіканням.

**2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалась на кафедрі Високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, Навчально-наукового інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є. О. Патона, Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» і мала зв'язок з науководослідними роботами: «Біорозчинні порошкові матеріали для ортопедії та високоефективної реабілітації поранених» (номер державної реєстрації № 0123U100934); «Створення основ технології швидкісного спікання субмікррозернистих метало-керамічних матеріалів» (номер державної реєстрації № 0121U100503).

### **3. Наукова новизна отриманих результатів.**

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше вивчені процеси отримання порошків дисперсно-зміцненого сплаву алюмінію легованого 15 мас. % заліза методом механічного диспергування розплаву. Встановлено, що за рахунок високої швидкості охолодження відбувається утворення метастабільної фази  $Al_6Fe$ , яка може дисперсно-зміцнювати сплав Al-15Fe. Встановлено механізм формування гранулометричного складу порошків та їх структури. Відповідно до запропонованих теоретичних засад процесу отримання порошків розмір

частинок впливає на розмір інтерметалевої зміцнюючої фази та її морфологію, що зумовлено градієнтом температур по перетину частинок під час їх охолодження. Так, для порошків менших за 150 мкм розмір інтерметалідів складає менше 1 – 5 мкм, а для частинок більше 200 мкм – 7 – 15 мкм.

2. Досліджено закономірності формування мікроструктури порошків сплаву Al-15Fe. Показано, що в отриманих механічним диспергуванням порошках, мікроструктура складається з матриці із твердого розчину алюмінію та рівномірно розподілених фаз інтерметалідів. Встановлено механізм структуроутворення, згідно з яким метастабільна фаза  $Al_6Fe$  кристалізується у вигляді дисперсних частинок розміром 1 – 3 мкм та у вигляді стільникової евтектики яка складається з двох взаємо переплетених дендритів  $\alpha-Al$  та  $Al_6Fe$ . Зміна морфології частинок інтерметалідів зумовлено зміною швидкості евтектичної кристалізації, яка є функцією від швидкості охолодження.

3. В роботі вперше отримані фундаментальні дані щодо властивостей інтерметаліду  $Al_{13}Fe_4$ , які можуть бути використані під час моделювання матеріалів за його участю. Розроблено технологію його отримання яка заснована на синтезі виливків  $Al_{13}Fe_4$  з подальшим їх подрібненням з метою отримання порошку та консолідацією методом іскро-плазмового спікання за 1150 °C, протягом 10 хв, в середовищі аргону за тиску 16 кН. Модуль пружності інтерметаліду складає  $180 \pm 10$  ГПа, мікротвердість  $1000 \pm 15$  НV, межа міцності на згин –  $63 \pm 5$  МПа, коефіцієнт теплопровідності  $20 \pm 3$  Вт/м×К, питомий електроопір –  $2 \pm 0,7 \times 10^{-6}$  Ом×м.

4. Вперше встановлені закономірності отримання сплавів триботехнічного призначення Al-15Fe-C(MoS<sub>2</sub>) методами пресування з наступним спіканням і гарячою штамповкою. Вивчені їх властивості та встановлена їх природа.

5. Встановлено механізм тертя, згідно якому під час взаємодії поверхонь контр тіла та сплаву Al-15Fe-C(MoS<sub>2</sub>) відбувається диспергування зерен інтерметаліду та армування продуктами його руйнування матриці сплаву. У наслідок дії даного механізму збільшується зносостійкість і зменшується коефіцієнт тертя.

6. Встановлено, що більш високу зносостійкість і найменший коефіцієнт тертя мають матеріали з композиції Al-15Fe-1,5 % MoS<sub>2</sub> які отримано гарячим штампуванням. Добавки дисульфиду молібдену дозволяють отримати вищу якість поверхні тертя, ніж добавки графіту, що пов'язано зі складною кристалічною структурою MoS<sub>2</sub>. Дисульфід молібдену складається з оксидно-сульфідних шарів, зі слабкими зв'язками, які сприяють підвищенню антифрикційних властивостей та зниженню адгезійного зношування.

**4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи.** На основі проведених досліджень було запропоновано склад порошкового антифрикційного матеріалу на основі алюмінію легованого залізом. Були розширені уявлення щодо формування мікроструктури та фазового складу

порошків сплавів Al–15Fe під час їх отримання механічним диспергуванням розплаву з подальшим ущільненням пресуванням з наступним спіканням чи гарячим штампуванням. Розроблені сплави Al–15Fe, Al–15Fe–C, Al–15Fe–MoS<sub>2</sub> можуть бути використані для розробки та проектування елементів конструкційних вузлів, антифрикційних підшипників та рухомих контактів ковзання.

Отримані в роботі фундаментальні дані використані під час викладання дисциплін “Фізико-хімічні основи отримання порошків металів, сплавів і сполук у дисперсному стані” та “Основи теорії і технології компактування порошкових композиційних матеріалів” під час підготовки бакалаврів і магістрів з напрямку “Матеріалознавство”.

**5. Апробація/використання результатів дисертації.** Основні результати роботи були представлені на вітчизняних та міжнародних конференціях: «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9» (Київ, 10 – 11 грудня 2020); XII Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2020 (Київ, 2020); Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2021 (Київ, 2021); HighMatTech-2021 (5-7 October 2021); Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених (Луцьк, 21-22 жовтня 2022 р); HighMatTech-2023, (2-6 October 2023, Kyiv).

#### **6. Дотримання принципів академічної доброчесності**

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Теслі Сергія Юрійовича визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

**7. Перелік публікацій за темою дисертації** із зазначенням особистого внеску здобувача (*наводиться повний перелік публікацій за темою дисертації*)

За результатами досліджень опубліковано 12 наукових публікацій, у тому числі:

– 2 статей у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, 132 Матеріалознавство в т.ч. 2 статей у яких число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб;

– 2 статей у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science Core Collection із зазначенням квартилю видання (якщо такий є);

– 8 тез виступів на наукових конференціях;

1. **Serhii Teslia.** Microstructural evolution of Al–15Fe alloy produced by mechanical milling and centrifugal atomization / Serhii Teslia, Anatoliy Stepanchuk // *Intermetallics*, Volume 149, 2022, 107671, <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2022.107671>. (Стаття Scopus, квартиля Q1), (*Особистий внесок*: проводив виготовлення дослідних зразків, брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував статтю до друку).

2. **S. Teslia**. Investigation of microstructural evolution and mechanical properties Al<sub>13</sub>Fe<sub>4</sub> produced by casting and spark-plasma sintering / S. Teslia, M. Teslia, Qihao Sun, A. Stepanchuk // *Vacuum*, Volume 218, 2023, 112590, <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2023.112590>. (Стаття Scopus, квартиля Q1), (Особистий внесок: проводив виготовлення дослідних зразків, брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував статтю до друку).

3. Закономірності отримання порошків сплаву Al–15Fe з дисперсно-зміцненою структурою методом механічного диспергування розплаву / А. М. Степанчук, **С. Ю. Тесля**, Сунь Ціхао, Д. Є. Чижська // Наукові нотатки. – 2023. – №75. – с. 126 – 133, <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2023.75>. (Особистий внесок: проводив виготовлення дослідних зразків, брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував статтю до друку).

4. **Тесля С. Ю.** Вплив структури та складу порошкових матеріалів на основі Al-Fe–C на їх стійкість під час абразивного зношування / С. Ю. Тесля, А. М. Степанчук, О. С. Кучер // *Проблем тертя та зношування*. – 2022. – Вип. 1(94). – С. 36 – 45. DOI: 10.18372/0370-2197.1(94).16470. (Особистий внесок: проводив виготовлення дослідних зразків, вимірювання зносостійкості, брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував статтю до друку).

5. **Тесля С. Ю.** Формування структури порошків Al-Fe в умовах високошвидкісного охолодження / С.Ю. Тесля, А. М. Степанчук, І. О. Степашко // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9», – Київ, 10 – 11 грудня 2020. – К. : НТУУ «КПІ». – 2020. – С. 95–99. (Особистий внесок: брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував тези до друку).

6. Степанчук А. М. Отримання та деякі механічні властивості штампованих порошкових сплавів Al-Fe виміряних методом small punch test / А. М. Степанчук, **С. Ю. Тесля**, Б. А. Похилько // XII Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2020, Київ, К. : НТУУ «КПІ». – 2020. – 123 – 126 с. (Особистий внесок: брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував тези до друку).

7. Степанчук А. М. Закономірності отримання порошків з дисперсно-зміцнених сплавів Al-Fe механічним диспергуванням / А. М. Степанчук, **С. Ю. Тесля**, О. С. Богатов // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Матеріали для роботи в екстремальних умовах – 9», – Київ, 10 – 11 грудня 2020. – К. : НТУУ «КПІ». – 2020. – С. 92 – 94. (Особистий внесок: брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував тези до друку).

8. Отримання порошків сплавів Al-Fe подрібненням у кульових та планетарних млинах / А. М. Степанчук, **С. Ю. Тесля**, І. О. Степашко [та ін.] // XII Міжнародна науково-технічна конференція. Нові матеріали і технології в машинобудуванні-2021, Київ, К. : НТУУ «КПІ». – 2021. – 123 – 126 с. (Особистий внесок: брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував тези до друку).

9. **Teslia S.** Formation of the structure of Al–15Fe alloys during sintering of products from them / S. Teslia, A. Stepanchuk // HighMatTech-2021, 5–7 October 2021, Kyiv – 49 p. (*Особистий внесок*: брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував тези до друку).

10. Кружкова М. А. Стійкість порошкового сплаву Al–15Fe до окиснення на повітрі / М. А. Кружкова, А. М. Степанчук, **С. Ю. Тесля** // Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, 21 – 22 жовтня 2022 р., м. Луцьк. Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. – 23 – 24 с. (*Особистий внесок*: брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував тези до друку).

11. **Тесля С. Ю.** Закономірності компактування порошків сплавів Al–15Fe / С. Ю. Тесля, А. М. Степанчук, М. А. Кружкова // Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, 21-22 жовтня 2022 р., м. Луцьк. Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. – 49 – 50 с. (*Особистий внесок*: брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував тези до друку).

12. Microstructure and densification mechanism of Al–15Fe alloy prepared by metallurgy route / **Serhii Teslia**, Anatoliy Stepanchuk, Mariia Kruzhkova [et.al] // HighMatTech-2023, 2 – 6 October 2023, Kyiv – 153 p. (*Особистий внесок*: брав участь у обробленні й обговоренні результатів, підготував тези до друку).

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”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Теслі Сергія Юрійовича “Закономірності отримання порошкових сплавів Al-Fe триботехнічного призначення”, що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія, 132 Матеріалознавство 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 КПП ім. Ігоря Сікорського Матеріалознавство, зі спеціальності 132 Матеріалознавство.

#### РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу “Закономірності отримання порошкових сплавів Al–Fe триботехнічного призначення”, подану Теслею Сергієм Юрійовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПП ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

## РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу “Закономірності отримання порошкових сплавів Al-Fe триботехнічного призначення”, подану Теслею Сергієм Юрійовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

д. т. н., професор кафедри смарт технологій з'єднань та інженерії поверхні, НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Смирно Ігор Володимирович;

Члени:

Рецензенти:

д. т. н., професор, зав. кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів, НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Ямшинський Михайло Михайлович;

д. т. н., професор кафедри високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, НН ІМЗ ім. Є. О. Патона, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Мініцький Анатолій Вячеславович;

Офіційні опоненти:

к. т. н., старший науковий співробітник відділу фізики міцності та пластичності неізотропних металевих матеріалів №60, Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова Національної академії наук України, Стасюк Олександр Олександрович;

к. т. н., старший науковий співробітник відділу термомеханічної обробки тугоплавких матеріалів № 21, Інституту проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича Національної академії наук України, Толочин Олександр Іванович.

Головуючий на засіданні

д. т. н., професор, зав. кафедри ВТМ та ПМ,  
НН ІМЗ ім. Є. О. Патона,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського



Юрій БОГОМОЛ

Вчений секретар  
Кафедри ВТМ та ПМ,  
к. т. н., доцент



Ліна БІРЮКОВИЧ