

ВИСНОВОК

комісії спеціалізованої Вченої ради Д26.207.03 про відповідність спеціальності і профілю ради дисертаційної роботи **Гончарука Дмитра Андрійовича «Закономірності впливу легування галієм на формування структури і властивостей спечених матеріалів функціонального призначення на основі Fe та Al»**, поданої на здобуття наукового ступеня **кандидата технічних наук** за спеціальністю 05.16.06 – «порошкова металургія та композиційні матеріали».

Комісія у складі членів спецради: чл.-кор. НАНУ, д.т.н. **М.Б. Штерна**, д.т.н. доц. **М.С. Стороженко** та д.т.н. проф. **О.П. Уманського**, розглянувши дисертаційну роботу **Гончарука Дмитра Андрійовича «Закономірності впливу легування галієм на формування структури і властивостей спечених матеріалів функціонального призначення на основі Fe та Al»**, поданої на здобуття наукового ступеня **кандидата технічних наук** за спеціальністю 05.16.06 – «порошкова металургія та композиційні матеріали», **прийшла до наступного висновку:**

Дисертацію присвячено встановленню зв'язку між складом та структурою порошкових матеріалів системи Fe-Ga та впливу легуючих домішок на їхні фізичні та хімічні властивості. Розроблено порошкові магнітострикційні матеріали з оптимальним комплексом магнітних та механічних характеристик, та стійкості до корозії.

Актуальність теми. Наразі сплави Fe–Ga активно використовуються в електронних приладах, таких як гідроакустичні локатори, датчики ехолокації, засоби підводного зв'язку, тощо. Вони стали альтернативою залізовмісним сплавам з високим вмістом рідкісноземельних елементів (напр. Terfenol-D, Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe₂), і які характеризуються низькими механічними властивостями. Дотепер фізичні причини формування функціональних властивостей галфенолів значною мірою нез'ясовані, що пояснюється браком інформації про структурні трансформації при отриманні та термообробці цих матеріалів. Тому, **тема** досліджень особливостей фазових та структурних перетворень в матеріалах Fe-Ga є **актуальною** і належить до першочергових металознавчих задач при створенні нових магнітострикційних матеріалів на основі заліза

Наукова новизна отриманих результатів.

1. **Вперше** підтверджено ефективність використання термічно синтезованої лігатури системи Fe-Ga за концентрації галію до 50 % для отримання спечених магнітострикційних матеріалів галфенолової групи з підвищеними фізико-механічними та функціональними властивостями.

2. **Дістало подальшого розвитку** уявлення про фазові трансформації при спіканні матеріалів системи Fe-Ga-Al в області концентрацій, збагачених алюмінієм (від 50 до 90 %), які відбуваються при взаємодії розплаву алюмінію з компонентами Fe-Ga лігатури. Основні механізми фазо- та сплавоутворення в цих умовах пов'язані з зустрічною дифузиею атомів Fe та Al на межі розділу рідкої і твердої фаз (Al розплав-тверда лігатура), що супроводжується насичення алюмінію галієм та формуванням інтерметалідів складу Al_3Fe та Fe_2Al_5 та $Al_{2,5...3,65}(Fe, Ga)$.

3. **Вперше** встановлено вплив Ga на процеси ущільнення при спіканні пресовок із матеріалів системи Fe-Ga-Al в області концентрацій, збагачених залізом (78-84 % Fe). Показано, що ступінь їх ущільнення після спікання при 1200 °C підвищується при зростанні вмісту Ga в складі матеріалу. Максимальний рівень відносної густини спеченого матеріалу (~97 % від теор.) досягається для матеріалу складу Fe-21,5Ga. Натомість, наявність Al в складі шихти призводить до підвищення рівня пористості зразків після спікання, що, вірогідно, обумовлено ефектом Френкеля.

4. **Удосконалено** технологічну схему термічного синтезу карбідів і нитридів титану *in-situ* під час спікання компактованих сумішей з порошків Fe, Ti, C та V_4C , та вплив Ni та Ga на цей процес. **Вперше** встановлено, що із збільшенням вмісту Ni в шихті ступінь стехіометрії карбиду титану знижуються до $TiC_{0,65...0,7}$, тоді як при введенні Ga у вихідну шихту стехіометрія карбиду титану збільшується до $TiC_{0,70...0,95}$. Виявлено підвищення дисперсності тугоплавких частинок у разі додавання у вихідну шихту V_4C замість C, а також при введенні порошку Ni, або Ga (у складі лігатури з залізом). **Вперше** встановлено, що корозійна стійкість синтезованих матеріалів (у розчині 3 % NaCl) підвищується при одночасному їх легуванні бором та галієм. Максимальний ефект спостерігається для складу 30(Fe-Ga)-(Ti- V_4C), завдяки чому цей матеріал з групи малостійких (8 бал за 10-бальною шкалою) переходять до групи корозійно стійких (5 бал). Це є відмінний показник для групи магніто-м'яких матеріалів на основі Fe, оскільки багато з них (електротехнічні сталі, ельсіфер, альфер, та ін.), мають низьку корозійну стійкість в аналогічних умовах (8-10 бал).

5. **Вперше** розроблена технологічна схема отримання порошкового матеріалу Fe-21,5Ga, який проявляє магніострикційний ефект (>210 ppm), що відповідає рівню, або навіть перевищує його для комерційних галфенолів, отриманих методами направленої кристалізації або литва з подальшою прокаткою. **Вперше** отримані матеріали на основі матеріалу Fe-21,5Ga, леговані Al, або зміцнені тугоплавкими сполуками TiC, TiB_2 або TiN (до 5 % об.), які володіють достатнім рівнем магніострикції (вище 130...180 ppm), в поєднанні з відносно високим рівнем пружності і міцності на стиснення (до 1000 МПа та

1500 МПа відповідно), та значним опором корозії у розчині 3 % NaCl (3-4 бал по 10-ній шкалі корозії).

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

У виробництві галфеноли отримують головним чином методом лиття. Умови кристалізації галфенолів такі, що зазвичай формуються метастабільні фазові стани, що потребує проведення додаткової термообробки. До того ж, литі матеріали повинні мати підвищений рівень міцності щоб мати можливість для подальшої деформаційної обробки з метою надання необхідних форми та товщини виробу. Результати досліджень порошкових матеріалів систем Fe-Ga та Fe-Al-Ga поглиблюють наукові уявлення щодо процесів фазо- та структуроутворення в цих системах і сприяють розширенню сфер застосування та асортименту магніострикційних матеріалів на основі заліза. Проведені науково-дослідні випробування показали, що за рівнем магніострикції у змінному магнітному полі розроблені порошкові матеріали перевищують властивості заліза з перехідними металами та відповідають рівню литих деформованих сплавів Fe-Ga (Акт дослідно-виробничої апробації результатів дисертаційної роботи). Запропоновано технологічну схему отримання порошкових магніострикційних матеріалів складу Fe-17,9% мас. Ga, зміцненого дисперсними високомодульними частинками TiC, TiN, TiB₂, у кількості до 5 % об., з оптимальним комплексом магнітних, електропровідних та механічних характеристик: коефіцієнт магніострикції $\lambda > (130 \dots 180)$ ppm; питомий електропір $\rho = 65$ мкОм-см; границі пропорційності та міцності до 1000 та до 1500 МПа відповідно. За електротехнічними показниками матеріали відповідають рівню литих деформованих сплавів Fe-Ga комерційного застосування. Розроблена схема отримання матеріалу має переваги перед технологіями литва сплавів Fe-Ga, оскільки вже на етапі компактування сумішей можна отримувати необхідну форму і товщину виробів. Розроблено дослідний стенд для вимірювання магнітних характеристик матеріалів, на якому реалізовано декілька варіантів непрямого методу оперативної оцінки магніострикції матеріалів, які пройшли дослідно-промислово апробацію і рекомендовані для експрес-контролю магніострикції матеріалів у виробництві.

Вірогідність і обґрунтованість результатів, положень та висновків забезпечена використанням сучасних аналітичних та експериментальних методів досліджень хімічного складу та властивостей дослідних зразків, скануючої електронної та оптичної мікроскопії, рентгенофазового, мікрорентгенофазового та диференціально-термічного аналізів за допомогою сертифікованих для відповідного типу аналізів програмних пакетів обробки даних. Науково-виробничим підприємством «МЕЛТА» підтверджено високі магніострикційні властивості розроблених матеріалів, та рекомендовано

використання методу експрес-оцінки магнітострикції матеріалів в умовах виробництва, про що свідчить Акт дослідно-промислової апробації результатів дисертаційної роботи, затверджений цим підприємством.

Особистий внесок здобувача. Основні результати, викладені в роботі, отримані особисто автором, або за його безпосередньої участі в Інституті проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України. Постановка задачі та планування експериментів, вибір об'єктів досліджень, обговорення результатів та підготовка публікацій до друку проводилась спільно з науковим керівником, чл.-кор. НАНУ, д.т.н., проф. Г.А. Баглюком. Згідно результатів проведених досліджень здобувачем було сформульовано основні висновки щодо роботи. Розроблення стенда для досліджень магнітних властивостей матеріалів проводилась сумісно з к.т.н. Хоменко О.І. Механічні випробування проведені спільно із к.т.н. Хоменко О.І. та к.т.н. Євич Я.І. Мікроструктурний аналіз та електронноскопічні дослідження виконані спільно з к.т.н. Гріпачевським О.М, к.т.н. Новиченко В.М. та Максимовою Г.О, рентгенофазовий аналіз - спільно з Молчановською Г. М. та к.т.н. Мамоновою А. А.

Апробація роботи. Основні результати роботи були представлені та обговорені на семінарах Інституту проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України і фахових конференціях: *IX Int. Sci. and Practical Conf. «Theoretical and Experimental Research in Materials Science and Mechanical Engineering»*, 16-18 травня Луцьк, 2023; *III Intern. Students and Post-graduates Conf. combined with «Kyiv School: Data Science on Materials «CODATA - 21»* 5-8 October, 2008; *VII Int. Sci. Conf. «Strategy of Quality in Industry and Education»*, June 3-10 Varna, Bulgaria, 2011; *Proc. of the Inter. Conf. «POWDER METALLURGY: ITS TODAY AND TOMORROW»*, October, 27-30, 2012; Науково-практична конференція молодих вчених «Метали: одержання, обробка, застосування», присвячена 50-річчю заснування ФТІМС НАН України, Київ, 28-29 травня 2008 р.; *High technologies on the Base of Advanced Physical Materials Science Research and Computer modeling, NTUU «KPI»*, Kyiv, 30 September – 5 October 2008; *II Міжнародна науково-практична конференція «Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування»*, Луцьк-Світязь, 1-6 червня 2009 р; «Нові матеріали та технології в машинобудуванні-2011». Київ, Україна, 13-14 квітня 2011 р.

Матеріали дисертації повною мірою викладено в 21 друкованих працях, з яких 5 статей в фахових наукових виданнях України та інших держав, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (Scopus, Google Scholar, WordsCat); 5 статей – в наукових виданнях України за напрямком дисертації ; 7 публікацій в збірках матеріалів наукових конференцій і 4-х патентів.

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ, ЯКІ ВІДОБРАЖАЮТЬ ОСНОВНІ
НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ:**

Статті у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз

1. Bagliuk, G.B., Maximova, G.O, **Goncharuk, D.A.** Molchanovska G.M., Shishkina Yu.O. The Structurization and Phase Formation of Fe–Ti–Ni–B₄C Alloys in Thermal Synthesis. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2022. Vol. 61, P. 169–179. <https://doi.org/10.1007/s11106-022-00304-x>. Індексуються міжнародною наукометричною базою даних SCOPUS. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, участь в обробці даних рентгенографічних та металографічних досліджень, участь у написанні статті).
2. Bagliuk, G., Maksimova, G., Mamonova, A. **Goncharuk D.** The Structure and Phase Composition Acquired by Fe–Ti–Ni–C Alloys in Thermal Synthesis. *Powder Metall Met Ceramics*, 2020. Vol. 59, P.171–178. <https://doi.org/10.1007/s11106-020-00149-2>. Індексуються міжнародною наукометричною базою даних SCOPUS (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні та обробці даних рентгенографічних та металографічних досліджень та їх обробці, участь в дослідженні механічних властивостей, участь у написанні статті)..
3. **Goncharuk, D.A.**, Baglyuk, G.A. Interaction between Fe–Ti–B₄C Powder Charge Components During Heating. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2013. Vol. 51. P.547–553. <https://doi.org/10.1007/s11106-013-9466-1/> Індексуються міжнародною наукометричною базою даних SCOPUS. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, участь в обробці даних рентгенографічних та металографічних досліджень, участь у написанні статті).
4. Бошицкая Н.В, Кушевская Н.Ф., Баглюк Г.А., Куровский В.Я., **Гончарук Д.А.** Сравнительная характеристика нанопорошков на основе железа, полученных синтезом из оксалатов и цитратов. *Доповіді Національної академії наук України*, 2014. № 2. С. 92-97. Індексуються міжнародною наукометричною базою даних SCOPUS (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, участь в обробці даних досліджень, участь у написанні статті).
5. Bagliuk G., Maximova G., Bezdorozhev A. , **Goncharuk A.** Effect of Ni addition on structure formation at in-situ synthesis of TiC hardened Fe-based powdered alloy. *Material Science. Non-Equilibrium Phase Transformations*, Year III, Iss. 5. 2017. P. 172-175. <https://stumejournals.com/journals/ms/2017/5/172>. (Особистий внесок здобувача полягає в участі при отриманні зразків для досліджень, в участі в обробці даних

рентгенографічних та металографічних досліджень). Індексується наукометричними базами даних [WorldCat](#) та [Google Scholar](#).

Статті у наукових фахових виданнях України

6. Гончарук, Д. А., Баглюк Г. А. Реакционный термический синтез композитной губки из брикетированных порошковых смесей систем Fe-Ti-B-C. Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування: збірник наукових праць, 2011. Вип. № 61, т.2. С.155-159. <https://ela.kpi.ua/items/cefd8b86-5d52-4797-b9b8-a28d050c7c71>. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні та обробці даних рентгенографічних, металографічних та дилатометричних досліджень та їх обробці, участь у написанні статті).

7. Гончарук Д.А., Гріпачевський О.М., Хоменко О.В., Молчановська Г.М., Максимова Г.О. Дослідження особливостей формування структури сплаву Fe-55% мас. Ga. Наукові нотатки, 2022. Вип. № 73. с. 171-176. <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2022.73>. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, участь в обробці рентгенографічних досліджень участь у проведенні механічних властивостей, написання статті).

8. Гончарук Д.А., Баглюк Г.А., Хоменко О.І., Новиченко В.М., Гріпачевський О. М. Структура і властивості матеріалів Fe-Al-Ga в області концентрацій, збагачених залізом. Успіхи матеріалознавства, 2024. Вип. № 8/9, Київ: ІПМ ім.І.М. Францевича НАН України, С. 97-111. <https://doi.org/10.15407/materials2024.08-09.010>. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, дослідження механічних властивостей, написання статті).

9. Гончарук Д.А., Хоменко О.І., Молчановська Г.М., Новиченко В.М. Особливості структуро- та фазоутворення в системі Fe-Ga-Al. Успіхи матеріалознавства, 2022. Вип. № 4/5, Київ: ІПМ ім.І.М. Францевича НАН України, С. 65-73. <https://doi.org/10.15407/materials2022.04-05.065>. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, дослідження механічних властивостей, написання статті).

10. Гончарук Д.А., Баглюк Г.А., Хоменко А.А. Новые конструкции высокоэнергетических устройств для тонкого измельчения порошковых материал. Вісник національного технічного університету «ХПІ», Харків, 2013. № 57 (1030) с. 154 – 159. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, дослідження механічних властивостей, написання статті).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

11. **Гончарук Д. А.**, Хоменко О. В., Баглюк Г.А., Грипачевський О. М.,Новиченко В. М. Дослідження особливостей формування структури сплавів в системі Fe-Ga-Al. *Proceedings of IX International scientific and practical conference «Theoretical and Experimental Research in Materials Science and Mechanical Engineering»*, Тези. Луцьк: Вежа-Друк. 2023. с. 142-145. <https://eu-conf.com/wp-content/uploads/2023/02/THEORETICAL-AND-PRACTICAL-METHODS-OF-SCIENCE-DEVELOPMENT.pdf> (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, дослідження механічних властивостей, написання статті).
12. **Goncharuk D.**, Keba B., Vlasenko A. Development Powder Soft Magnetic Materials on a Basic Cladded Powders of Iron. *Third International Students and Post-graduates Conference. Combined with «Kyiv School: Data Science on Materials»*. In the Framework of the 21st International Conference «CODATA - 21». To high technologies on the base of advanced physical materials science research and computer modeling. Development to 100th anniversary birthday of Academician V.N. Grydnev. NTUU «KPI», Kyiv, 30 september – 05 october 2008. P.P. 33-34. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, дослідження механічних властивостей, написання статті).
13. **Гончарук Д.А.**, Баглюк Г.А., Мамонова А.А. Phase composition of Fe-Ti-C system composites obtained by reaction synthesis. *Proceedings of the international conference «POWDER METALLURGY: ITS TODAY AND TOMORROW»* October, 27-30, 2012. ІПМ НАНУ, Київ. С.309. [http://www.materials.kiev.ua/conferences/PM_2012/Prelim%20Programme-60-years-IPMS\(2\).pdf](http://www.materials.kiev.ua/conferences/PM_2012/Prelim%20Programme-60-years-IPMS(2).pdf). (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, дослідження механічних властивостей, написання статті).
14. **Гончарук Д.А.**, Клименко Г.В., Дядун В.М. Особливості структуроутворення при реакційному спіканні порошкових сумішей системи Ti-Fe-C(B). Науково-практична конференція молодих вчених «Метали: одержання, обробка, застосування», присвячена 50-річчю заснування ФТІМС НАН України, Київ, 28-29 травня 2008 р., с.151-154; (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, дослідження механічних властивостей, написання статті).
15. Баглюк Г.А., Хоменко О.І., **Гончарук Д.А.** Апаратно-програмний комплекс для дослідження структурних змін деформованого матеріалу. *II Міжнародна науково-*

практична конференція «Теоретичні і експериментальні дослідження в технологіях сучасного матеріалознавства та машинобудування», Луцьк-Світязь, 1-6 червня 2009 р.; (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, участь в дослідженнях механічних властивостей).

16. Баглюк Г.А., **Гончарук Д.А.**, Реакційний термічний синтез композитної губки з порошкових сумішей системи Fe-Ti-B-C. Українсько-німецька конференція з машинобудування «Нові матеріали та технології в машинобудуванні-2011». Київ, Україна, 13-14 квітня 2011 р. Вісник НТУУ «КПІ» МАШИНОБУДУВАННЯ № 61, том 2. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, дослідження механічних властивостей, написання статті).

17. Баглюк Г.А., **Гончарук Д.А.** The mechanism of structure formation in the reaction of thermal synthesis from composite powders in Fe-Ti-H-C-B systems. VII Inter. Conf. «Strategy of Quality in Industry and Education», June, 3-10, Варна, Болгарія. Том 3, 2011.. (Особистий внесок здобувача полягає в отриманні зразків для досліджень, проведенні металографічних досліджень та їх обробці, написання статті).

Список публікацій здобувача, які додатково відображають наукові результати дисертації:

18. Патент UA 74791 Кущевська Н.Ф., Бошицька Н.В., Куровський В.Я., Перекос А.О., **Гончарук Д.А.** Спосіб отримання нанодисперсного магнітного порошку заліза з високою питомою поверхнею Опубл. Бюл. № 21, 12.11.2012 (Особистий внесок здобувача полягає в участі в розробці способу отримання порошку).

19. Патент UA 50786 B02/C1900. Баглюк Г. А., **Гончарук Д.А.** Вібраційний млин. Опубл. Бюл. № 12, 25.06.2010. (Особистий внесок здобувача полягає в участі в розробці конструкції млина, участь у написанні патенту).

20. Патент UA 78065 B22/F300. Баглюк Г. А., **Гончарук Д.А.** Спосіб виготовлення виробів із порошкових композиційних зносостійких матеріалів. Опубл. Бюл. № 5, 11.03.2013. (Особистий внесок здобувача полягає в участі в розробці технологічної схеми, участь у написанні патенту).

21. Патент UA 81533 G01/F1700. Хоменко О. І., Баглюк Г.А., **Гончарук Д. А.** Пристрій для вимірювання об'єму тіла довільної форми. Опубл. Бюл. № 13, 10.07.2013. (Особистий внесок здобувача полягає в участі в розробці конструкції пристрою, участь у написанні патенту).

Вважаємо, що дисертація Гончарука Дмитра Андрійовича «Закономірності впливу легування галієм на формування структури і властивостей спечених матеріалів функціонального призначення на основі Fe та Al», подана на здобуття наукового ступеня кандидата наук, вирішує важливе науково-технічне завдання розроблення порошкових магнітострикційних матеріалів на основі системи Fe-Ga з оптимальним комплексом магнітних та механічних характеристик. Робота відповідає спеціальності 05.16.06 – «Порошкова металургія та композиційні матеріали» та профілю вченої ради Д26.207.03.

Кількість та обсяг публікацій за матеріалами дисертації Гончарука Дмитра Андрійовича відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами). Матеріали дисертації достатньо повно викладено в основних опублікованих наукових працях.

В кваліфікаційній роботі не виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації або фальсифікації.

Робота може бути рекомендована до захисту на спеціалізованій вченій раді Д26.207.03 в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.

Рекомендуються офіційні опоненти:

– д.т.н. (05.16.06), проф. **Анатолій МІНЦЬКИЙ**, кафедра високотемпературних матеріалів та порошкової металургії, навчально-науковий інститут матеріалознавства і зварювання ім. Є.О. Патона, МОН України

– д.т.н. (05.16.06), проф. **Віктор РУДЬ**, кафедра матеріалознавства, Луцький національний технічний університет, МОН України.

Автореферат відповідає змісту дисертації і може бути надрукований у поданому вигляді. Рекомендований додатковий список розсилання автореферату додається.

Члени комісії:

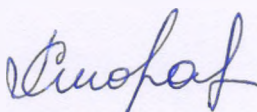
чл.-кор. НАН України,

д.т.н.



Михайло ШТЕРН

д.т.н., доц.



Марина СТОРОЖЕНКО

д.т.н., проф.



Олександр УМАНСЬКИЙ