

ВІДГУК

офіційного опонента на 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 і композиційні матеріали» (13 Механічна інженерія)

Дисертація присвячена вирішенню науково-технічної задачі – розробленню новітніх порошкових магнітострикційних матеріалів на базі системи Fe-Ga з оптимальним комплексом магнітних і механічних характеристик та підвищеною корозійною стійкістю та вивчення закономірностей впливу технологічних режимів виготовлення на основні функціональні та фізико-механічні властивості отриманих матеріалів.

Актуальність теми дисертації.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю розробки нових матеріалів функціонального призначення, серед яких пріоритетне місце займають сплави Fe-Ga, які сформували відносно новий вид матеріалів – галфеноли, що мають чудові магнітострикційні властивості. Через унікальне поєднання механічних і магнітних властивостей галфеноли мають високий попит на використання у самих різних сферах людської діяльності – від морської навігації та засобів накопичення енергії до дистанційного керування. Незважаючи на молодий вік цих матеріалів, які були розроблені The Naval Ordnance Laboratory на початку 2000 р., наразі вони стрімко завойовують все більше областей застосування, які крім вже традиційних техногенних напрямків розширюються на біосумісні технології. Зокрема, останні дослідження показали, що магнітострикція може забезпечити ефективну стимуляцію деформації з метою збільшення та прискорення формування кісток, що продемонструвало великі дослідницькі та прикладні можливості галфенолів в біомедичних галузях. Тому дисертація Гончарука А.Д., що спрямована на створення нових порошкових магнітострикційних матеріалів системи Fe-Ga з оптимальним комплексом механічних та магнітострикційних характеристик, та на здешевлення технології їх виготовлення, безперечно є актуальною і своєчасною.

Оцінка змісту дисертації.

Дисертаційна записка має обсяг основної частини 9 авт. сторінок, і складається з анотації, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 163 найменувань, та 5 додатків. За змістом та об'ємом дисертація цілком відповідає всім вимогам Порядку присудження наукових ступенів,

затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 до кандидатських дисертацій. Дисертація має логічно побудовану структуру, що відображає комплексну роботу, яка включає результати досліджень процесів і закономірностей формування структури в матеріалах подвійних та потрійних систем Fe-Ga Al-Ga та Fe-Ga-Al в широкому інтервалі концентрацій та температур. В кінці записки приведені узагальнення результатів роботи та їх дослідно-виробнича апробація.

Основний зміст дисертації вірно і в повній мірі відображений в авторефераті.

У вступі належним чином розкрита актуальність проблеми, сформульована мета та основні етапи досліджень, обґрунтована наукова новизна досліджень, перераховані державні науково-дослідні програми, в рамках яких виконувалася ця робота, окреслена практична цінність результатів роботи та наведені відомості щодо апробації роботи та публікацій за темою дисертації.

У першому розділі дисертації проведений кваліфікований аналіз сучасного стану досліджень рівноважних та нерівноважних діаграм стану подвійних та потрійних систем Fe-Ga Al-Ga та Fe-Ga-Al, та технологій виготовлення сплавів на їх основі. Проаналізовано вплив легуючих компонентів на властивості матеріалів досліджуваних систем за даними літературних джерел. Визначена перспективність впровадження порошкових технологій для отримання галфенолів та використання ефекту їх зміцнення за рахунок введення високомодульних тугоплавких сполук карбідів, нитридів та боридів титану. Зроблені основні висновки по розділу та визначено науково-технічне завдання та основні етапи його виконання.

У другому розділі достатньо повно надані детальні та коректні відомості щодо використання вихідних матеріалів та приведені технологічні схеми отримання матеріалів досліджуваних складів. Представлені сучасні методи досліджень та методики випробувань зі статистичними об'ємами виборок, що були використані для дослідження отриманих матеріалів та для визначення їхніх характеристик.

У третьому розділі представлені науково обґрунтовані результати комплексних досліджень щодо закономірностей формування структури та властивостей матеріалів систем Fe-Ga Al-Ga та Fe-Ga-Al в широких інтервалах концентрацій та температур. У висновках за розділом перераховані умови отримання галійвмісних лігатур та основні закономірності їх сплавоутворення. Зроблено висновок щодо впливу легування алюмінієм матеріалів системи Fe-Ga на їхню структуру, фазовий склад та властивості.

У четвертому розділі містяться науково обґрунтовані принципи розроблення технології синтезу високомодульних сполук титану з вуглецем та бором в залізовмісній матриці, in-situ під час спікання сумішей, що складаються з елементарних порошків цих компонентів. Детально описано вплив компонентів Ni, як і Ga, які є класичними складовими магнітострікційних матеріалів, на процеси термічного синтезу сполук титану з вуглецем та бором та особливості структуроутворення в системі Fe-Ga(Ni)-

Ti-C(B). Проведена оцінка зміни періоду гратки карбіду залежно від складу синтезованих матеріалів на базі результатів рентгенофазового аналізу досліджуваних зразків. Визначені оптимальні технологічні умови пресування та спікання вихідних сумішей та кількісно описані залежності пористості спечених матеріалів від їхнього складу. Проведено диференційно термічний аналіз матеріалів систем Ti-Fe та Ti-Fe-Ga, що підтвердив позитивний впливу Ga на швидкість процесів фазо- та сплавоутворення при термічному синтезі карбідів і боридів титану в залізвмісній матриці.

В п'ятому розділі надані змістовні та методично коректні данні результатів випробувань матеріалів Fe-Ga, легованих високомодульними сполуками карбідів, боридів та нітридів титану, з метою визначення їхніх механічних та електрорезистивних характеристик, а також опору корозії. На базі необхідної для статистичної обробки виборок зразків, зроблені науково обґрунтовані висновки щодо механічних характеристик пружності і міцності матеріалів в умовах одновісного стиснення та триточкового згину, електроопору (при використанні еталону), та корозійної стійкості в умовах дії 3-% розчину NaCl у воді, що імітує морську воду. Зроблено достовірні та змістовні висновки щодо впливу технологічних умов отримання матеріалів на вищезазначені характеристики.

В шостому розділі детально та обґрунтовано вибір методу вимірювання магнітострикції досліджуваних зразків та викладено принципово методологічно коректний метод реєстрації та оцінки коефіцієнту магнітострикції за допомогою випробувального стенду, розробленого в рамках досліджень магнітних характеристик магнітом'яких матеріалів на основі заліза. На основі проведених випробувань оцінено рівень магнітострикційних характеристик досліджуваних матеріалів відносно еталонного зразка з порошкового заліза. Проведено порівняння досягнутого рівня характеристик магнітострикції з властивостями сучасних комерційних матеріалів Fe-Ga, що використовуються як магнітострикційні, та зроблено висновок щодо практичної реалізації метода оцінки для проведення експрес-аналізу магнітострикції матеріалів у виробничих умовах.

Наукова новизна результатів.

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень і безумовно мають наукову новизну, слід зазначити наступні:

- Вперше підтверджена ефективність використання термічно синтезованої лігатури системи Fe - Ga за концентрації галію до 50 % (мас.) для отримання спечених магнітострикційних матеріалів галфенолової групи з підвищеними фізико-механічними та функціональними властивостями.
- Подальший розвиток отримали наукові уявлення щодо фазо- та структуроутворення в системі Fe - Ga - Al в області концентрацій, збагачених алюмінієм та запропоновано основні механізми фазо- та сплавоутворення в цих умовах, що пов'язано з зустрічною дифузією атомів Fe та Al і Ga на межі розділу рідкої і твердої фаз.
- Вперше встановлено вплив Ga на процеси ущільнення при спіканні пресовок із матеріалів системи Fe - Ga - Al в області концентрацій, збагачених

залізом і показано, наявність Al в складі шихти призводить до підвищення рівня пористості зразків після спікання, а максимальний рівень відносної густини спеченого матеріалу (~97 % від теор.) досягається для матеріалу складу Fe - 21,5 % (мас.) Ga.

- Встановлено вплив Ni та Ga на термічний синтез карбідів і нітридів титану *in-situ* під час спікання компактованих сумішей з порошків Fe, Ti, C та V_4C_3 . Показано, що із збільшенням вмісту Ni (10...20 % (мас.)) в шихті стехіометрія карбиду титану знижується (до $TiC_{0,65...0,7}$), тоді як при введенні Ga (15...35 % (мас.)) у вихідну шихту - збільшується (до $TiC_{0,70...0,95}$).

- Вперше встановлено збільшення корозійної стійкості синтезованих матеріалів (у розчині 3 % NaCl) при їх одночасному легуванні бором та галієм. Максимальний ефект спостерігається для складу 30% (мас.) (Fe - Ga) - (Ti - V_4C_3), завдяки чому цей матеріал з групи малостійких (8 бал за 10-бальною шкалою) переходить до групи корозійностійких (5 бал), що є відмінним показником для групи магнітом'яких матеріалів на основі Fe, багато з яких (електротехнічні сталі, альсіфер, альфер, та ін.), мають низьку корозійну стійкість в аналогічних умовах (8-10 бал).

- 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 магнітострикції (вище 130...180 ppm), в поєднанні з високим рівнем механічних характеристик (границя пропорційності в умовах стиснення досягає 900 МПа), та стійких до корозії у розчині 3 % NaCl (4-6 бали по 10-ній шкалі корозії).

Новизна результатів вірно відображена у висновках дисертації.

Практична цінність результатів дисертації.

Результати дисертаційної роботи є важливими і в прикладному сенсі. Так, на основі результатів досліджень закономірностей явищ і процесів фазо- та структуроутворення в системах Fe-Ga, Al-Ga та Fe-Ga-Al розроблені лігатури для введення галію в метали і сплави та розроблені технологічні схеми отримання магнітострикційних порошкових матеріалів на базі порошкових сплавів Fe-Ga функціонального призначення з оптимальним комплексом механічних та магнітострикційних характеристик у поєднанні з високим опором корозії в нейтральному сольовому розчині. Група порошкових матеріалів на базі складу Fe - 21,5 % (мас.) Ga характеризується оптимальним комплексом магнітних, електропровідних та механічних характеристик, та високим опором до корозії, і відповідає вимогам до комерційних сплавів Fe - Ga, але процес їх виготовлення є дешевшим за традиційні способи отримання цих матеріалів, що використовують технологію литва з наступною прокаткою.

Достовірність та обґрунтованість результатів.

Використання комплексу сучасних та взаємодоповнюючих методів вивчення структури й властивостей матеріалів, та технологічних методів отримання досліджуваних матеріалів забезпечують високу достовірність отриманих результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації, надані в дисертації, є науково обґрунтованими, що базуються на комплексному аналізі явищ та процесів, що досліджуються, проведеному з використанням сучасних методик та засобів та достатньою статистичною обробкою результатів кількісних вимірювань. Висновки, сформульовані у роботі, не суперечать класичним уявленням щодо формування структури та властивостей полікомпонентних сплавів.

Зауваження до роботи.

Відзначаючи високий кваліфікаційний рівень роботи та чітке та актуальне практичне значення результатів, отриманих в роботі, все ж таки доцільно зробити певні зауваження:

1. У розділі 3 дисертації на стор. 109 надані результати рентгеноструктурних досліджень матеріалів системи Fe-Ga-Al і вказано на формування області сумісного існування A2 та B2-структур. Відомо, що поява B2-фази призводить до зниження магнітострикційного ефекту сплавів, тому було б доречним провести системні дослідження щодо впливу алюмінію на трансформацію структури залізогогалієвих сплавів, оскільки часткова заміна галію на алюміній в галфенолах без суттєвого зниження функціональних властивостей має бути з економічної та технологічної точки зору дуже перспективним та привабливим варіантом для впровадження у виробництво.

2. В розділі 4 досліджено процеси термічного синтезу матеріалів системи Fe-Ti-C(B₄C) з сумішею порошків Fe, Ti та C або B₄C. Встановлено, що легування елементами Ni і Ga сприяє формуванню більш дисперсних частинок карбідів та боридів титану. Не отримало розвитку подальші дослідження щодо встановлення впливу нікелю на корозійні та механічні властивості синтезованих матеріалів. Це могло б прояснити перспективність легування галфенолів нікелем з метою підвищення їхніх магнітних властивостей.

3. В науковій новизні шостим пунктом вказано на розробку вперше технологічної схеми отримання магнітострикційних матеріалів заданого складу. Вважаю це невдалим формулюванням, бо цей висновок відноситься до практичного значення наукової роботи, оскільки розроблення технології базується на результатах наукових досліджень певних явищ та процесів, і саме вони становлять наукову новизну.

Але зазначені зауваження не стосуються основних положень, висновків і практичних рекомендацій, наданих в дисертації, і не знижують наукової та практичної цінності виконаної роботи.

Повнота викладення результатів дисертації у публікаціях та апробація на наукових конференціях.

Основні положення дисертації опубліковані у 21 науковій праці з яких 4 статі у виданнях, що індексуються у міжнародних наукометричних базах даних «Scopus, та 6 статей у фахових виданнях України та інших іноземних наукових виданнях за напрямком дисертації, що індексується наукометричних баз даних Google scholar, WordCat, та ін., та 7 публікацій у збірниках

матеріалів наукових конференцій і 4 патенти України. На підставі аналізу опублікованих автором робіт, а також доповідей на наукових конференціях можна зі впевненістю стверджувати, що матеріали дисертації пройшли широку наукову апробацію та достатньо повно висвітлені у статтях українських та закордонних видань. Технічні рішення запатентовані.

Анотує дисертацію, відповідає змісту дисертації, у відповідності до існуючих норм.

Загальний висновок.

Проведений аналіз змісту та основних положень дисертації Гончарука Дмитра Андрійовича показує, що робота являє собою завершене наукове дослідження, в якій отримані нові результати, що ефективно вирішують наукову та прикладну задачу розробки нових матеріалів функціонального призначення з високими властивостями та економічно доцільних технологій їх виготовлення методами порошкової металургії на основі визначених закономірностей формування структури та фазового складу.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.16.06 – «Порошкова металургія та композиційні матеріали», оскільки досліджує способи одержання сплавів з кристалічних порошків, та їх консолідацію з метою отримання методами порошкової металургії магнітних спечених матеріалів із заданим складом, структурою та властивостями.

Враховуючи вище викладене, вважаю, що дисертація Гончарука А.Д. за своїм змістом і обсягом, науковою новизною та практичною значимістю, кількістю та якістю публікацій повністю відповідає вимогам Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого Кабінетом міністрів від 24.07.2013 р. № 567 (зі змінами) до кандидатських дисертацій, і має бути оцінена позитивно, а її автор, Гончарук Дмитро Андрійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.06 – «Порошкова металургія та композиційні матеріали».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри високотемпературних
матеріалів та порошкової металургії,
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Анатолій МІНЦЬКИЙ

