

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Теслі Сергія Юрійовича

на тему «Закономірності отримання порошкових сплавів Al-Fe

триботехнічного призначення»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань

13 Механічна інженерія за спеціальністю

132 Матеріалознавство

Актуальність теми дисертації.

Основною сьогодишньої промисловості є розробка та впровадження нових класів матеріалів з підвищеними фізико-механічними, спеціальними та експлуатаційними властивостями. До однієї з таких областей науки та промисловості, яка гостро потребує введення в експлуатацію нових видів матеріалів є триботехніка. Ливарні сплави, чавуни, бабіти та бронзи значно обмежені як швидкостями ковзання так і навантаженнями, які можуть бути прикладені до вузла. Значною проблемою даних матеріалів є також низька окисна стійкість та складність в регулюванні властивостей. Одним зі шляхів підвищення властивостей триботехнічних матеріалів є створення сплавів та композитів з гетерофазною структурою на основі пластичної матриці та твердих включень. Серед відомих класів матеріалів перспективними в даному напрямку можуть стати сплави алюмінію легованих залізом. Під час кристалізації таких систем відбувається утворення інтерметалідів які зміцнюють матрицю алюмінію підвищуючи механічні властивості. Проте отримання таких сплавів ливарними методами чуттєво до швидкості охолодження та зазвичай супроводжується кристалізацію крупних зерен інтерметалідів, які виступають центрами руйнування.

Відповідно в роботі Теслі С. Ю поставлено завдання отримання сплавів Al-15Fe з дисперсно зміцненою структурою для створення нового класу матеріалів триботехнічного призначення. Підвищення дисперсності фаз передбачається отримувати шляхом синтезу порошків розпилюванням за підвищених швидкостей охолодження розплаву.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

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 дисперснозміцнювати 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 ± 10 ГПа, мікротвердість 1000 ± 15 HV, межа міцності на згин – 63 ± 5 МПа, коефіцієнт теплопровідності 20 ± 3 Вт/м×К, питомий електроопір – $2 \pm 0,7 \times 10^{-6}$ Ом×м.

4. Вперше встановлені закономірності отримання сплавів триботехнічного призначення $Al-15Fe-C(MoS_2)$ 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 $Al-15Fe-C(MoS_2)$ 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 $Al-15Fe-1,5\% MoS_2$ які отримано гарячим штампуванням. Додатки дисульфиду молібдену дозволяють отримати вищу

якість поверхні тертя, ніж добавки графіту, що пов'язано зі складною кристалічною структурою MoS_2 . Дисульфід молібдену складається з окисно-сульфідних шарів зі слабкими зв'язками, які сприяють підвищенню антифрикційних властивостей та зниженню адгезійного зношування.

Вказані пункти наукової новизни за своїми формулюваннями та змістом не викликають сумнівів. Наукову новизну та висновки сформовані в ході дослідження, дисертантом підтверджено відповідними експериментальними даними, моделями та теоретичним розрахунками.

Крім зазначених пунктів наукової новизни в роботі Теслі С. Ю., на мій погляд, є ряд дуже важливих висновків та наукових даних. Варто відмітити глибокий аналіз процесів пресування та спікання який було проведено дисертантом для встановлення механізмів ущільнення. Також були проведенні теоретичні та експериментальні дослідження окисної стійкості, яка є дуже важливою під час перегріву в зоні тертя. Варто відзначити і значний практичний інтерес даних дисертаційної роботи, оскільки вказані матеріали, можуть стати основою для побудови цілого класу антифрикційних та фрикційних матеріалів.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі високотемпературних матеріалів та порошкової металургії КПП ім. Ігоря Сікорського під керівництвом професора, кандидата технічних наук, професора кафедри ВТМ та ПМ Степанчука Анатолія Михайловича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання щодо встановлення закономірностей отримання сплавів Al-15Fe методами порошкової металургії виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Теслі Сергія Юрійовича повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 132 Матеріалознавство та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми Матеріалознавство.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Порошкові композиційні матеріали».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Теслі Сергія Юрійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату

та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Викладення результатів роботи послідовні та зрозумілі, дисертант оперує усталеними термінами та поняттями.

Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 172 сторінок.

У вступі розкрито актуальність вибраної теми дослідження, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, сформовано мету та завдання дослідження, зазначені ключові методи дослідження, вказані ключові пункти наукової новизни, дані про публікації та апробацію отриманих даних. Вказаний особистий внесок здобувача, обсяги та структура дисертації.

У першому розділі здійснено аналіз науково-технічних джерел про технологічні особливості отримання триботехнічних матеріалів, висвітлено сучасні матеріали в даній області та їх недоліки. Проведено ґрунтовний аналіз методів отримання сплавів алюмінію легованих залізом та факторів, які визначають їх структуру.

У другому розділі описано загальну характеристику методів дослідження, наведені технологічні режими процесів отримання порошку та подальшого компактування.

У третьому розділі дисертаційної роботи проведені аналітичні дослідження процесів отримання порошків методом розпилювання розплаву. Показано, що задані властивості, мікроструктуру сплавів можливо отримати лише за високих швидкостей охолодження. Було експериментально апробовано та підтверджено закладені теоретичні розрахунки. В ході дослідження показано, що розпилений порошок має вихід придатної фракції більше 85 % та складається з дисперсних фаз інтерметалідів Al_6Fe і $Al_{13}Fe_4$. Визначено, що в основі формування сплаву лежить евтектична кристалізація яка заснована на формуванні первинних кристалів стабільного чи метастабільного інтерметаліду, а також матриці на основі стільникової евтектики.

У четвертому розділі проведений аналіз процесів ущільнення шляхом пресування з наступним спікання та гарячим штампуванням. Разом з практичними даними було проведено дослідження механізмів ущільнення з використанням рівняння Бальшина. Цікавим результатом є те, що порошки різних фракцій на різних етапах формування демонструють різну залежність щільності від тиску пресування. Було також показано перехід метастабільної фази в стабільну під час спікання, що супроводжувалось від'ємною усадкою.

На відміну від зазначених методів, під час гарячого штампування метастабільна фаза зберігається, та кінцеві розміри є більш контрольованими.

У п'ятому розділі дисертації проведено розробку технології отримання чистого інтерметаліду $\text{Al}_{13}\text{Fe}_4$ з метою подальшого визначення його властивостей, та побудови імітаційної моделі для визначення властивостей сплаву Al-15Fe. Разом з механічними властивостями було проведено аналіз теплових та електричних властивостей. Було встановлено, що властивості інтерметаліду наступні: модуль пружності 180 ± 10 ГПа, мікротвердість 1000 ± 15 HV, межа міцності на згин – 63 ± 5 МПа, коефіцієнт теплопровідності 20 ± 3 Вт/м×К, питомий електроопір – $2 \pm 0,7 \times 10^{-6}$ Ом×м.

У шостому розділі дисертації проведено дослідження закономірностей отримання порошкових сплавів триботехнічного призначення. Запропоновано два склади сплаву з добавками твердого мастила графіту та дисульфиду молібдену. Було встановлено, що найбільш оптимальний склад сплаву з добавками 1,5 % дисульфиду молібдену. В основі механізму тертя та зношування лежать процеси крихкого руйнування, впровадження в матрицю частинок інтерметалідів та створення проміжного шару вторинних структур.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 12 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 2 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статей у виданнях, віднесених до першого — третього кuartилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports. Також результати дисертації були апробовані на 8 наукових фахових конференціях.

Науковий рівень публікацій дисертації високий. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. В роботі не в достатній мірі викладено обґрунтування вибору складу вихідного матеріалу.

2. В розділі 3 дисертаційної роботи проводились дослідження впливу швидкості охолодження на розмір фазових складових під час литва сплаву Al-15Fe, але з тексту роботи не зрозуміла методика визначення швидкості охолодження.
3. В розділі 4 дисертантом проводилися дослідження компактування порошків сплавів у закритих прес формах, з тексту роботи не мотивуються вибрані межі тиску пресування 400-800 МПа.
4. На сторінці 68 дисертантом зазначається що «розмір частинок порошків лежить у межах 50-250 мкм», що є занадто широким діапазоном розмірів частинок та може свідчити про не стабільність технологічного процесу. Також в тексті роботи зазначається, що для процесу розпилювання відбувалася підготовка розплаву, проте не зрозумілим є вибір температури процесу в 1250 °C.
5. На рисунку 4.1 (а) автор наводить зміну щільності від тиску пресування для суміші порошків, однак з тексту роботи не зрозуміло, що є сумішшю та у яких відношеннях взяті елементи шихти.
6. На рисунку 4.4 наводяться зміна відносної щільності сплаву Al-15Fe після спікання. Однак, для даного дослідження відсутні вихідні дані, а саме з якого порошку було проведено підготовку брикетів із суміші чи певної фракції?
7. В роботі проведені дослідження окисної стійкості за температури 900 °C, ймовірно за даної температури сплав буде перебувати і рідкому стані. З тексту дисертації не зрозумілою лишається аргументація вибору таких високих температур процесу окиснення.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Теслі Сергія Юрійовича на тему «Закономірності отримання порошкових сплавів Al-Fe триботехнічного призначення» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів

розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для 13 Механічна інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «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.

Здобувач Тесля Сергій Юрійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 132 Матеріалознавство.

Рецензент

Завідувач кафедри ливарного виробництва

Навчально-наукового інституту
матеріалознавства та зварювання

імені Є. О. Патона

Національного технічного

університету України

«Київський політехнічний

інститут ім. Ігоря Сікорського»

доктор технічних наук, професор



Михайло ЯМШИНСЬКИЙ



« ____ » _____ 20 ____ року