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.

Матеріали триботехнічного призначення є основою будь-яких установок, машин як промислового так і господарського значення. Відомо що під час експлуатації в парах тертя, втрата працездатності асоціюється в першу чергу з проходженнями процесів зношування, а не за рахунок руйнування. Особливо гострою ця проблема стоїть для електротехнічних матеріалів ковзання. За рахунок значних вимог до таких матеріалів, досить складно оптимізувати параметри процесу отримання. Для прикладу стандартним матеріалом для даних умов є сплави на основі міді та графіту. Проте чистий графіт має високу крихкість, що призводить до швидкого руйнування пластин під час ударних навантажень. А сплави на основі міді вичерпали свій ресурс оскільки під час роботи можливе виділення оксиду міді, який має значний вплив на навколишнє середовище. Створення нового класу матеріалів для даної області може бути вирішено шляхом використання сплаву алюмінію легованого залізом. Дані сплави за рахунок дисперсного зміцнення мають підвищені параметри міцності, зносостійкості, та можуть мати необхідну електропровідність. Важливим недоліком даних сплавів є висока імовірність кристалізації крупних інтерметалідів, які суттєво знижують міцність сплаву. Одним з варіантів вирішення даної проблеми може стати використання порошків сплавів як вихідних компонентів, в яких спадкуватиметься дисперсний стан фаз

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 α–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 ºС, 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. Добавки дисульфіду молібдену дозволяють отримати вищу якість поверхі тертя, ніж добавки графіту, що пов’язано зі складною

кристалічною структурою MoS_2. Дисульфід молібдену складається з оксидно-сульфідних шарів зі слабкими зв'язками, які сприяють підвищенню антифрикційних властивостей та зниженню адгезійного зношування.

Наукова новизна отриманих результатів не викликає сумнівів, кожне і зазначених положенням має відповідне наукове та експериментальне підтвердження. Так в розділі 3 наведено детальний теоретичний та практичний аналіз процесів отримання порошків розпилюванням. Експериментальні дані закріплені комплексом досліджень та модельними оцінками отриманих порошків. Важливо зазначити, що дисертантом застосовуються різні підходи та методики для підтвердження об'єктивності отриманих даних. Особливий інтерес мають результати отримані в розділі 5, де автором пропонується синтезувати чистий інтерметалід $Al_{13}Fe_4$ та досліджувати його властивості з метою моделювання властивостей сплаву. Даний підхід є фундаментальним з точки зору сучасного матеріалознавства та дозволяє суттєво розширити теоретичні дані по даній предметній області. Оскільки дисертантом було використано різні засоби та методи аналізу достовірність отриманих даних не викликає сумніву. Варто так відмітити комплекс досліджень які були проведені для визначення триботехнічних властивостей. Характеристика матеріалу з використанням різних мастил, різних контр тіл та різного методу отримання дозволяє максимально об'єктивно оцінити потенціал розробленого матеріалу та запропонувати сфери його використання.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі високотемпературних матеріалів та порошкової металургії КПІ 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 розробки технологічних засад отримання порошків Al-15Fe методами порошкової металургі 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 співпадіння, 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.

Робота має структурно-логічну послідовність викладення думок з використанням сучасних підходів та термінології наукових досліджень в області матеріалознавства. Дисертаційна робота складається з вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 172 сторінок.

У вступі показані актуальність та методологію дослідження, поставлені завдання та мету роботи. Зазначені ключові пункти наукової новизни та апробації даних дослідження. Наведено особистий внесок автора та структура дисертації.

У першому розділі автором проведено глибокий аналіз літературних джерел за напрямком дослідження. Виділені ключові технологічні особливості процесу отримання триботехнічних матеріалів на основі порошків металів. Показано сучасний стан теорії та технології виробництва матеріалів триботехнічного призначення. Виділено ключові недоліки та напрямки щодо створення матеріалів на основі алюмінію.

У другому розділі проведено аналіз методик які використані в межах дисертації, показані основні технологічні операції та режими.

У третьому розділі дисертаційної роботи проведено аналіз теплофізичних умов отримання порошків методом розпилювання розплаву. Враховано ряд факторів на процес формоутворення, швидкості охолодження. Показано, що для отримання сплавів з дисперсним вмістом інтерметалевих фаз необхідно прикладати максимально можливу швидкість охолодження під час розпилювання. Під час експериментальних досліджень показано, що відбувається формування метастабільного стану за рахунок підвищення розчинності заліза в алюмінії. Встановлено, що порошки мають частинки інтерметалідів на рівні 1-5 мкм.

У четвертому розділі здійснено аналітичний опис процесів ущільнення та встановлено механізм пресування відповідно до рівняння Бальшина. Показано, що фактор пресування не лишається константою, а змінюється з тиском пресування. Що може бути пов’язано з крихким руйнуванням інтерметалідів під час прикладання високих тисків. В умов вільного спікання автором показано, що

метастабільна фаза перетворюється в стабільну зі збільшенням об'єму. Під час отримання виробів методом гарячого штампування навпаки вдається зберегти фазовий склад та геометричні розміри заготовок.

У п'ятому розділі дисертантом було проведено отримання $Al_{13}Fe_4$ та встановлено, що властивості інтерметаліду наступні: модуль пружності 180 ± 10 ГПа, мікротвердість1000 ± 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. За отриманими даними було побудовано імітаційні моделі та пораховано теоретичні значення міцності сплавів Al-15Fe.

У шостому розділі описано загальні зади отримання та властивостей сплавів Al-15Fe-C (MoS_2) триботехнічного призначення. Показано, що під час отримання сплавів вдається отримати рівномірний розподіл частинок твердих мастил, та зберегти дисперсну структуру фаз. Під час тертя спостерігається формування лунок зношування які є мінімальними для сплавів з добавками дисульфіду молібдену.

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 квартилів (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 та якість вказаних публікацій не викликає сумніву. Робота пройшла всі необхідні етапи висвітлення в наукових джерелах та апробацію. Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Дисертантом запропоновано отримання порошків сплаву Al-15Fe методом механічного диспергування розплаву, але чіткого обґрунтування вибору даного методу отримання сплаву не наведено. Чим даний метод кращий від технології механічного легування чи розмелювання?

2. В роботі немає чітко обґрунтованих відмінностей, переваг та недоліки які мають сплави Al-15Fe порівняно з відомими дисперсно-зміцненими сплавами типу САС чи САП.
3. В розділі 3 дисертаційної роботи проводились дослідження процесів формування сплаву Al-15Fe в закритих прес формах за тисків 400-800 МПа, але відсутня аргументація вибору тисків пресування в даному діапазоні. До того ж пресування пластичних металів за високих тисків зазвичай призводить до виходу з ладу прес форм.
4. Під час аналізу процесів пресування та аналітичного опису за Бальшиним показано, що збільшення вмісту твердого мастила в складі шихти має екстремальний характер. А саме на першому етапі відбувається збільшення щільності брикетів зі збільшенням вмісту мастила, проте подальше збільшення концентрації мастила призводить до зниження щільності. Варто було б надати більш ґрунтовні пояснення даного механізму.
5. В розділі 5 дисертаційної роботи представлені результати дослідження окисної стійкості сплаву Al-15Fe, проте не зрозуміла аргументація з точки зору вибору температур дослідження в 900 °С адже за цієї температури матриця алюмінію буде знаходить в перегрітому розплавленому стані.
6. В розділі 6 під час отримання матеріалів триботехнічного призначення варто було б більш детально аргументувати вибір вихідних матеріалів твердих мастил та їх хімічного складу, оскільки номенклатура графіту та дисульфіду молібдену має різні марки, що може суттєво впливати на властивості пари тертя.

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 якого 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:

Професор, кафедри високотемпературних
матеріалів та порошкової металургії
Навчально-наукового інституту
матеріалознавства та зварювання
імені Є. О. Патона
Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, професор /_____/ Анатолій МІНІЦЬКИЙ

М.П. «____» _____ 20___ року

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» * Відділ кадрів та архівної справи № 6

З оригіналом звірено
Відділ кадрів та діловодства
Прончакова