

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Толочиної Олександри Валеріївни

**«Технологічні засади створення порошкових матеріалів на основі
інтерметаліду системи Fe-Al»,**

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.16.06 – порошкова металургія та композиційні матеріали

Актуальність обраної теми. Алюмініди заліза завдяки комплексу фізико-механічних властивостей, а також відносно низькій вартості, можуть стати перспективними матеріалами для виготовлення конструкційних деталей з підвищеною зносо- та корозійною стійкістю, що працюють в умовах високих температур. Основним методом отримання алюмініду заліза до останнього часу були ливарні технології. Порошкові технології дають можливість значно розширити структурне різноманіття сплавів на основі алюмінідів заліза і, як наслідок, їх сферу промислового застосування, особливо в якості високотемпературних матеріалів. Особливо цікавою виглядає можливість отримання дисперснозміцнених матеріалів на їх основі. Проте ґрунтовний аналіз порошкових технологій виготовлення виробів на основі алюмініду заліза та науково обґрунтований підхід до оптимізації технологічних параметрів на кожному етапі отримання кінцевого продукту поки відсутній.

Тому дисертаційна робота Толочиної Олександри Валеріївни спрямована на розробку технологічних засад отримання порошкових матеріалів на основі інтерметаліду системи Fe-Al за результатами дослідження закономірностей формування їх структури та фізико-механічних властивостей є, безумовно, актуальною.

Актуальність роботи підтверджується також тим, що дана дисертація є узагальненням наукових результатів, отриманих за участю автора при виконанні цілого ряду науково-дослідних договорів в рамках відомчої і пошукової тематики.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність в цілому. Дисертаційна

робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи – 200 сторінок, у тому числі 79 рисунків, 18 таблиць та список використаних джерел з 156 найменувань. Структура роботи побудована логічно як за змістом, так і за послідовністю розділів.

У *вступі* належним чином обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовано мету та задачі дослідження, відображено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, наведено відомості щодо апробації роботи та публікації за темою дисертації.

В *першому розділі* наведено ґрунтовний аналіз літературних даних щодо інтерметалідів системи Fe–Al, їх кристалічної структури, фізико-механічних та функціональних властивостей, а також композиційних матеріалів на їх основі. Зазначено, що алюмінід заліза Fe_3Al є перспективним для застосування при підвищених температурах до 800–1000 °С. Висвітлене сучасне і потенційне застосування алюмінідів заліза. На основі літературного аналізу сформульовано мету та задачі досліджень.

В *другому розділі* описано матеріали, устаткування і експериментальні методи та методики отримання порошкових сумішей і синтезу матеріалів, дослідження їх структури, фазового та хімічного складу, фізико-механічних, в тому числі, високотемпературних та експлуатаційних властивостей.

У *третьому розділі* наведені результати дослідження впливу температурно-кінетичних умов спікання в досліджуваній порошковій системі Fe + Al (область Fe_3Al) на зміну фазового складу сплавів. Показано, що при швидкостях нагрівання суміші порошоків заліза і алюмінію 10 °С/хв відбувається дві екзотермічні реакції: перша реакція – твердофазного утворення інтерметалідних фаз, а друга реакція відбувається в області температур плавлення алюмінію, де утворюються більш високотемпературні фази (FeAl). Застосування тривалої ізотермічної витримки в області між першою і другою реакціями дозволяє синтезувати високотемпературну фазу FeAl .

Встановлено, що при високошвидкісному нагріванні (понад 200 °С/хв) спостерігається поєднання двох реакцій в одну, яка проходить не нижче

температури плавлення алюмінію. При цьому, ізотермічна витримка при температурі 750 °С сприяє утворенню високотемпературної фази В2 (FeAl). Встановлено, що в результаті розмелювання суміші елементарних порошків утворюється високотемпературна фаза FeAl.

Показано, що нагрівання спресованих зразків з порошкових сумішей Fe - Al до температури 950 °С, супроводжується зростанням об'єму внаслідок високої екзотермічності реакції взаємодії елементів суміші. Подальше підвищення температури сприяє збільшенню щільності. Інтенсивна усадка відбувається вище температур 1350–1400 °С.

В *четвертому розділі* викладено результати експериментальних досліджень впливу температурно-кінетичних умов консолідації порошкових матеріалів системи Fe-Al на структуроутворення і зміну фізико-механічних характеристик. Консолідацію пористих порошкових тіл здійснювали традиційним спіканням в вакуумі, а також з використанням технологій, заснованих на прикладанні до пористого тіла зовнішнього тиску – імпульсне гаряче пресування в вакуумі і гаряче штампування в звичайних умовах.

Встановлено, що міцність і тріщиностійкість алюмініду заліза ростуть з підвищенням температури спікання у вакуумі і при 1450 °С складають $\sigma_{\text{виг}} = 980$ МПа, $\epsilon_{\text{виг}} = 0,21\%$, $K_{Ic} = 24,5 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, $\sigma_{\text{ст}} = 820$ МПа, $\epsilon_{\text{ст}} = 10,8\%$). Встановлені оптимальні умови термомеханічної обробки: гаряче пресування при 1050 °С або 1150 °С і відпал при 1350 °С. При цьому механічні властивості $\sigma_{\text{виг}} = 1000$ МПа, $\epsilon_p = 0,3\%$ і $K_{Ic} = 30 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, $\sigma_{\text{ст}} = 915$ МПа, $\epsilon_{\text{ст}} = 14,8\%$ вищі, ніж у кращих спечених зразків. Застосування високошвидкісного нагрівання і гарячого штампування зразків із суміші порошків Fe - Al (Fe₃Al) при температурі консолідації 1220 °С дозволили досягнути $\sigma_{\text{виг}} = 900$ МПа і $K_{Ic} = 27 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Встановлено, що застосування термообробки (відпал 1300 °С) для штампованих зразків дозволяє підвищити механічні характеристики алюмініду заліза на 35%.

Показано, що застосування імпульсного гарячого пресування і гарячого штампування для консолідації механоактивованих сумішей порошків системи Fe-Al, сприяє значному підвищенню щільності сплавів, а наступний

високотемпературний відпал (при 1350–1450 °C) призводить до підвищення механічних властивостей: $\sigma_{\text{виг}} = 1300 \text{ МПа}$, $\varepsilon_p = 0,08\%$ і $K_{1c} = 28 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Встановлено, що введення у суміш порошків системи Fe-Al 2% дисперсних частинок дибориду титану сприяє підвищенню міцності зразків на вигин до 1300 МПа.

П'ятий розділ присвячений результатам дослідження високотемпературної механічної поведінки отриманих матеріалів. Встановлено, що алюмініди заліза, отримані за різними технологіями, демонструють аномальну температурну залежність межі текучості з максимумом при 500 °C. Значення границі плинності порошкового алюмініду заліза при стисканні при підвищених температурах становлять 500 – 600 МПа, що на 25 – 40% перевершує границю плинності литих матеріалів аналогічного складу. Експрес-тести на високотемпературну повзучість показали, що найбільший опір повзучості при обох температурах демонструють гарячештампований та спечений порошкові зразки.

Розроблені матеріали та технологічний процес їх виготовлення пройшли дослідно-промислову апробацію на підприємстві ТОВ «Інженерний центр «Композит-Сервіс» За результатами порівняльних випробувань встановлено, що після 1000 мотогодин експлуатації інтенсивність зносу контактної поверхні проставки, виготовленої із композиту на основі алюмініду заліза, в 1,6 разів нижче, ніж промислової проставки із сталі 18X2H4MA.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях. За матеріалами дисертації опубліковано 20 наукових праць, зокрема 13 статей у фахових вітчизняних та закордонних періодичних виданнях в галузі технічних наук, з яких 4 статті у виданні, що індексується в наукометричних базах даних «Scopus», 7 тез доповідей у збірниках наукових конференцій. Публікації достатньо повно відображують зміст роботи та відповідають встановленим вимогам.

Висновки належним чином відображають основні результати дисертаційної роботи.

В той же час необхідно відзначити деякі **недоліки** рецензованої роботи, а саме:

1. Доцільно було б проводити аналіз ущільнення також по зміні пористості з температурою спікання і часом ізотермічної витримки, а не тільки на основі зміни густини отриманих матеріалів, оскільки відомо, що густина – це характеристика, яка залежить від фазового складу, який змінюється з температурою в системі Fe-Al.
2. На ст. 101 сказано, що «при температурах вище 1390 °C відбувається різке збільшення усадки», проте на рис. 3.13 (а) (крива 1) об'ємна усадка при цих температурах навпаки зменшується і при 1450 °C навіть має від'ємне значення. Як можна пояснити цей ефект?
3. Не зовсім зрозуміло звідки береться вуглець у інтерметалідах системи Fe-Al спечених при 1500 °C (табл. 4.1), і чому його немає у зразках спечених при нижчих температурах?
4. При аналізі зразків отриманих гарячою штамповкою і імпульсним гарячим пресуванням доцільно було б розглянути анізотропію структури і фізико-механічних властивостей в залежності від напрямку проведення високотемпературної деформації.
5. Підписи рисунків 4.1 і 4.7 не містять розшифровки а, б, в, г, д.
6. На рис. 4.19 продубльовані ідентичні структури – б (права і ліва) і г (ліва), хоча вказані різні технологічні параметри отримання зразків.
7. На рис. 4.23 (в, е) і 4.24 (б) мабуть мається на увазі локальний розподіл титану, а не дибориду титану.

Приведені зауваження, втім, не впливають на загальну цілком позитивну оцінку наукових та практичних результатів дисертаційної роботи.

Загальний висновок по дисертації. На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота Толочиної О.В. є завершеною науковою працею, містить одержані автором нові наукові та прикладні результати в галузі порошкової металургії та композиційних матеріалів, які в сукупності розв'язують актуальну науково-технічну задачу розробки технологічних процесів виготовлення алюмініду заліза з використанням методів порошкової

Анотация повністю відповідає змісту та основним положенням дисертації, а робота загалом повністю відповідає вимогам пунктів 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567; її зміст відповідає паспорту спеціальності 05.16.06 – порошкова металургія та композиційні матеріали, а автор дисертації – Толочина Олександра Валеріївна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за відповідною спеціальністю.

Ю.И.Богомол

В.В. Холявко