

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ОТРИМАННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВАХ

Розглянуто особливості отримання інтерметалідних титанових сплавів на базі дослідження процесів структуроутворення алюмінідів титану в режимі теплового самозапалювання. Проаналізовані температурні умови процесу фазоутворення в бінарній системі Ti-Al. Теоретичні викладки підтверджено експериментально за допомогою металографічних досліджень.

Ключові слова: інтерметаліди, система Ti-Al, структуроутворення, СВС.

Вступ

Розробка новітніх матеріалів з покращеними фізико-хімічними характеристиками для роботи при екстремальних умовах є актуальною темою в авіаційній галузі [1].

Відомо, що велика увага серед розробників та науковців надається сплавам на інтерметалідній основі системи Ti-Al [2]. Це обумовлено цілою ланкою високих показників властивостей цих сполук [3]. Попри це, деякі недоліки цих сплавів пов'язані зі складнощами і особливостями їхньої технології отримання [4]. Так, процес спікання порошків металів, що мають діаграму стану з інтерметалідними з'єднаннями, протікає при нестационарних температурних умовах, що ускладнює умови дослідження фазоутворення під час реакційного синтезу легкоплавкого та тугоплавкого компонентів.

Однією з перспективних технологій отримання цих сплавів є саморозповсюджувальний високотемпературний синтез, що при режимі теплового самозапалювання надає можливість дослідження кінетики реакцій, які обумовлюють процес горіння та факторів, що впливають на зміни об'ємів у реакційних брикетах.

При тепловому самозапаленні дослідний матеріал являє собою екзотермічну суміш порошкових компонентів у насипному або спресованому стані [5]. Ця технологія зазвичай протікає при неізотермічних умовах та супроводжується об'ємним змінням заготовок, що пов'язано з дифузією атомів легкоплавкого компонента до часток тугоплавкого [6]. При цьому практично не встановлені умови, при яких можливий направлений потік з рідкої фази до твердих часток і вплив інтерметалідних фаз на процес синтезу.

Метою цієї роботи є встановлення закономірностей об'ємних та структурних змін при тепловому самозапаленні інтерметалідних титанових сплавів.

Матеріали та методика досліджень

Об'єктом дослідження обрані інтерметалідні сплави системи Ti-Al, діаграма стану якої наведена на ри-

сунку 1. Ця система належить до групи інтерметалідних систем, у яких адиабатична температура синтезу нижча за температуру плавлення отриманого з'єднання ($T_m < T_{ad}$) (таблиця 1).

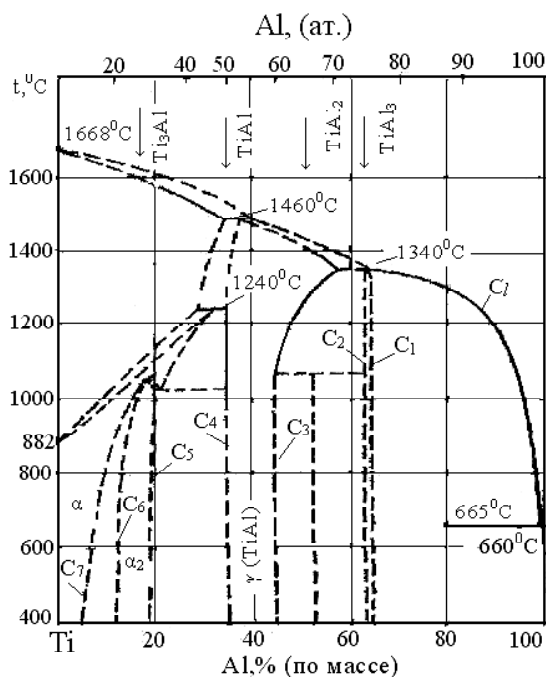


Рис. 1. Діаграма стану системи Ti-Al

Таблиця 1 – Параметри дослідної системи

Реакція $R_1 + R_2 \rightarrow P$	$T_{пл}(R_1),$ К	$T_{пл}(R_2),$ К	$T_{пл}(P),$ К	$T_{ад},$ К
Ti + Al \rightarrow TiAl	1941	933	1733	1654

Під час дослідження використовували порошки алюмінію (АСД -1) та титану (губка титанова подрібнена (середній розмір фракції – 100±50 мкм). Для рівномірності розподілу часток у суміші порошки піддавали змішуванню у «п'яній діжці» протягом 2 годин. Суміш

порошків піддавали пресуванню з виготовленням циліндричних брикетів розмірами 20x36 мм. Процес синтезу проводили у спеціально виготовленому СВС-реакторі з інертним середовищем при постійному тиску 1 атм.

Зразки синтезованого продукту піддавали дослідженням на кінетику реакційного спікання, на початкову та кінцеву щільність. Структуру та фазовий склад отриманих зразків досліджували за допомогою рентгеноструктурного, мікрорентгеноспектрального та металографічного аналізів.

Теорія та аналіз отриманих результатів

У роботі розглянуто закономірності зміни об'ємних і структурних параметрів пористих тіл у процесі синтезу при таких співвідношеннях температурних умов:

- температура синтезу перевищує точку плавлення кінцевого продукту;
- температура синтезу нижча від точки плавлення кінцевого продукту, проте вища за точку плавлення проміжних фаз;
- температура синтезу нижча від точки плавлення кінцевого продукту та проміжних фаз.

Експериментальні дослідження показують, що екзотермічний ефект та приріст зразків визначаються процесами змішування компонентів у рідкій фазі й появою фаз на границі тверді частки – розплав. Установлено, що під час синтезу в системі Ti-Al розвиваються такі процеси: утворення рідкої фази завдяки контактному плавленню та плавленню рідкого компонента; змочування часток твердого компонента й розтікання рідкої фази в об'ємі брикета; розчин часток твердого компонента в рідкій фазі; виникнення нових фаз шляхом реакційної дифузії й кристалізації сплаву (рисунк 2).

Металографічний аналіз показав, що на поверхні часток титану утворюється шар інтерметаліду, який розтріскується і робить частки пористими. У деяких шарах утворення тріщин спостерігається усередині часток, у зонах чистого титану, віддалених від зони формування інтерметаліду, причому, судячи з деяких ознак, рідкий алюміній дифундує в межах цих тріщин. Розтріскування інтерметаліду на поверхні часток може бути обумовлено тим, що його зростання відбувається на кордоні з титаном, куди дифундує алюміній з розплаву через сформований шар. Оскільки утворення інтерметаліду на основі решітки титану пов'язано зі збільшенням об'єму (внаслідок зародження в ньому нових вузлів для розміщення атомів алюмінію), внутрішній шар інтерметаліду, що межує з чистим металом, відчуває напруження стискування, тоді як зовнішній – розтягування. У зв'язку з низькою пластичністю інтерметалід руйнується після досягнення показників напруження розтягування границі його міцності. Одночасно, внаслідок арочного ефекту, обумовленого замкнутою формою часток і напруженнями стискування в зростаючому шарі інтерметаліду, в центральній його частині також виникають напруження розтягування, які можуть викликати зародження і зростання пор і тріщин всередині часток.

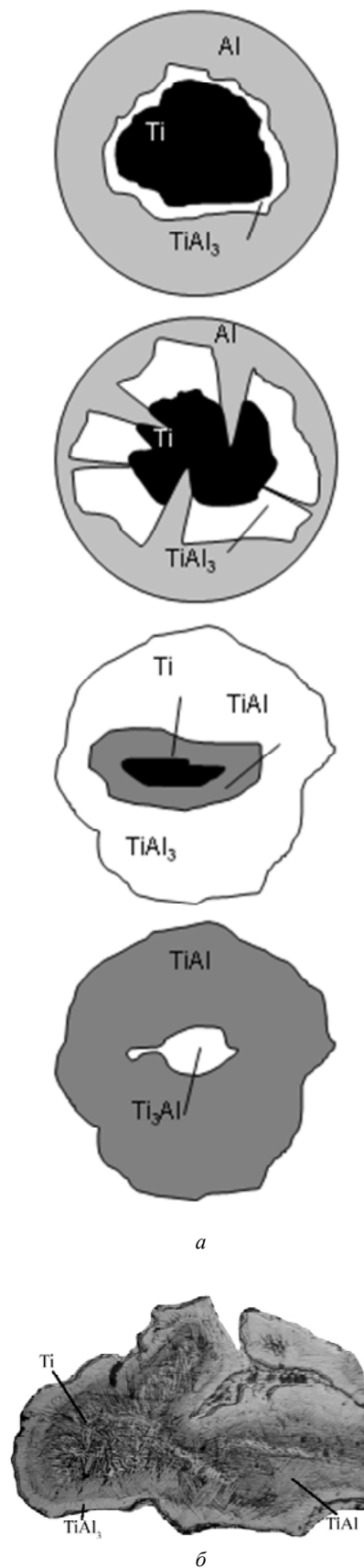


Рис. 2. Основні стадії структуроутворення інтерметалідних фаз (а) та мікроструктура інтерметалідного зразка на перехідній стадії (б)

Установлено, що температура синтезу TiAl сплавів нижча від точки плавлення кінцевого продукту і тугоплавкого компоненту, однак вища точки плавлення проміжних фаз (у цьому випадку $TiAl_3$ – 1613 K, та $TiAl_2$ – 1273 K). Взаємодія часток титану та рідкого алюмінію в зоні синтезу носить гетерогенний характер і призводить до утворення шару тугоплавкого продукту $TiAl_3$, який розділяє реагенти. Лімітувальною стадією процесу є дифузія атомів через шар цього з'єднання, який підкорюється параболічному закону (слабке кінетичне гальмування) і визначається парціальними коефіцієнтами дифузії і структурою осередку. У результаті реакційної дифузії процес протікає у вузькій зоні та без зміни об'єму, тому що другий компонент, у якому повинна йти переважна дифузія, знаходиться у рідкому стані.

Проведені розрахунки зміни вільної енергії Гіббсу ΔG при утворенні різних алюмінідів титану підтвердили, що у всьому температурному діапазоні найменшою енергією зі стабільних інтерметалідів володіє фаза $TiAl_3$ (рис. 3). Дещо нижча ΔG є у метастабільних фазах $TiAl_2$ і Ti_2Al_3 , але вони можуть формуватися тільки кризь декілька проміжних реакцій трансформування $TiAl$, що термодинамічно малоймовірно.

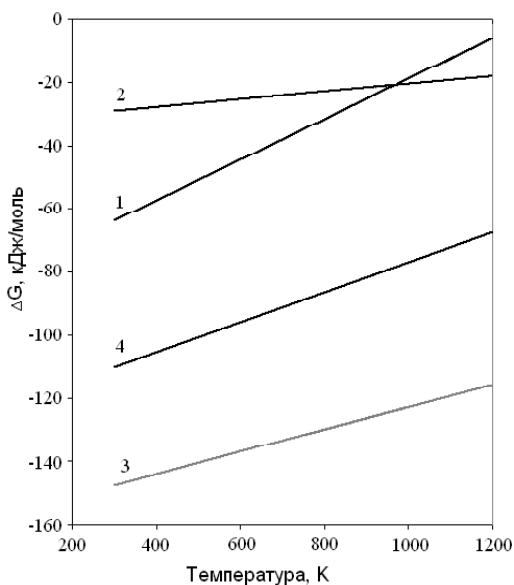


Рис. 3. Результати розрахунків термодинамічних властивостей інтерметалідної системи Ti-Al: 1 – TiAl; 2 – $TiAl_2$; 3 – $TiAl_3$; 4 – Ti_2Al_3

Проведені мікрорентгеноспектральні (рисунок 4) дослідження наочно підтвердили описані вище процеси структуроутворення. У результаті кількісного аналізу встановлено, що матриця (сіра область) γ -TiAl сплаву має такий склад (у відсотках масових): 36,17 % Al і 63,83 % Ti, що відповідає інтерметалідній фазі TiAl (рис. 4, спектр 2). Білі за кольором витягнуті області, згідно з результатами мікрорентгеноспектрального аналізу (рис. 4, спектр 1), являють собою інтерметаліди складу α_2 - Ti_3Al , зі вмістом елементів: 22,83 % Al і 77,17 % Ti.

Поблизу цих включень, а у деяких випадках і в їхньому центрі, виявлені дисперсні зміцнюючі фази. Показники точечного хімічного аналізу (рис. 4, спектр 3) дозволили ідентифікувати їх як інтерметаліди α_2 - Ti_3Al , що містять 11,42 % Al і 88,58 % Ti. Це збігається з результатами, що отримані в попередніх роботах з моделювання процесів структуроутворення алюмінідів титану в умовах СВС [7, 8].

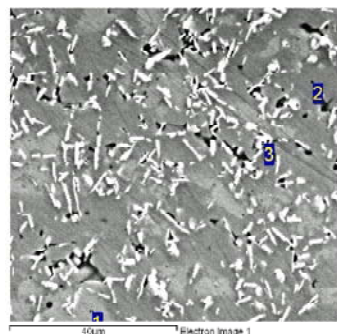


Рис. 4. Мікрорентгеноспектральний аналіз синтезованого продукту: 1 – α_2 - Ti_3Al ; 2 – γ -TiAl; 3 – Ti_3Al

Загальний вигляд синтезованого в режимі теплового самоzapалювання зразка зі сплаву на основі алюмініду титану TiAl наведено на рис. 5.



Рис. 5. Зразки синтезованого алюмініду титану в режимі теплового самоzapалювання

Дослідження пористості методом гідростатичного зважування показали, що зразок, який не піддавався подальшому пресуванню після проходження синтезу, мав загальну пористість $30 \pm 1,5$ %. У нашому випадку при відсутності зовнішніх сил існує внутрішній осередок деформації: утворення на поверхні часток фази, яка має інший, ніж у матриці, питомий об'єм і забезпечує переважну дифузію легкоплавкого компонента в тугоплавкий. У результаті об'єм окремих часток або конгломератів збільшується, що викликає макроскопічне розширення брикета на всі боки за умови, що свобода переміщення часток порошку в брикеті обмежена.

Висновки

Таким чином розглянуто особливості отримання інтерметалідних титанових сплавів на базі дослідження процесів структуроутворення алюмінідів титану у режимі теплового самоzapалення. Установлено, що взаємодія часток титану та рідкого алюмінію в зоні синтезу носить гетерогенний характер і призводить до утворення шару тугоплавкого продукту $TiAl_3$, який розділяє реагенти.

Усадка після синтезу інтерметалідів складу TiAl не відбувається, об'єм і форма зразків у цьому випадку залишаються практично незмінними, через те що рідка фаза утворюється й існує у вузькій реакційній зоні контакту.

Список літератури

1. Суперсплавы II: Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок / Под ред. Симса Ч. Т., Столофа И. О., Хагеля У. К. ; пер. с англ. В 2-х кн. Кн. 1 / Под ред. Р. Е. Шалина. – М. : Металлургия, 1995.
2. Цудзимото Т. Легкие жаропрочные сплавы на основе интерметаллида Ti-Al / Цудзимото Т. – НИИ Металлов, Токио, ВЦП №11-41192.
3. Huang S.C., Chesnutt J.C. Gamma TiAl and its alloys // Intermetallic compounds. – 1994. – Vol. 2. – P. 73–88.
4. Имаев В. И. Влияние скорости деформации и размера зерен на пластичность интерметаллида TiAl при комнатной температуре / Имаев В. И., Имаев Р. М., Салищев М. Р. // Металлы. – № 5. – 1996. – С. 135–145.
5. Мержанов А. Г. Твердопламенное горение // А. Г. Мержанов – Черноголовка : ИСМАН, 2000. – 224 с.
6. Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах: монографія / Б. П. Серета, І. В. Кругляк, О. А. Жеребцов, Ю. А. Белоконь. – Запоріжжя : Видавництво ЗДІА, 2009 – 252 с.
7. Sereda B. The Modeling and Processes Research of Titan Aluminides Structurization Received by SHS Technology / B. Sereda, A. Zherebtsov, Y. Belokon' // TMS 2010. – Seattle. Washington, USA. – 2010. – P. 99–108.
8. The Processes Research of Structurization of Titan Aluminides Received by SHS / B. Sereda, I. Kruglyak, A. Zherebtsov, Y. Belokon' // Material Science & Technology. – Pittsburg, USA. – 2009. – P. 2069–2073.

Одержано 15.05.2017

Белоконь Ю.А., Жеребцов А.А., Белоконь К.В. Исследование особенностей процессов получения интерметаллических титановых сплавов при нестационарных температурных условиях

Рассмотрены особенности получения интерметаллических титановых сплавов на базе исследования процессов структурообразования алюминидов титана в режиме теплового самовоспламенения. Проанализированы температурные условия процесса фазообразования в бинарной системе Ti-Al. Теоретические выкладки экспериментально подтверждены при помощи металлографических исследований.

Ключевые слова: интерметаллиды, система Ti-Al, структурообразование, СВС.

Belokon Yu., Zherebtsov A., Belokon K. The features research of intermetallic titan alloys process obtaining at non stationary heat conditions

The features of intermetallic titan alloys process obtaining are shown on the base of titan aluminides structurization researching at combustion synthesis. The heat conditions at phase structure formation processes in Ti-Al binary system are analyzed. The theoretical approachings are confirmed experimentally owing to metallographic researches.

Key words: intermetallic compounds, Ti-Al system, structurization, combustion synthesis.