

Середа Б.П., зав. кафедрою, д.т.н., професор
Жеребцов О.А., ст. викладач
Белоконь Ю.О., доцент, к.т.н.
Бабаченко Є.В., аспірант

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ СПОЛУК МОНОАЛЮМІНІДУ ТИТАНУ, ОДЕРЖАНИХ ЗА УМОВ СВС

Запорізька державна інженерна академія

Исследован процесс получения жаропрочных сплавов на основе моноалюминиды титана. Установлено, что сплав на основе интерметалида $TiAl$ имеет двухфазную структуру, которая подтверждается результатами металлографических исследований. Показано, что при температуре испытания $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ жаростойкость алюминиды титана в два раза больше чем для сплава ВТ-20 и в три раза больше чем для сплава ВТ-1-00.

Досліджено процес одержання жароміцних сплавів на основі моноалюмініду титану. Встановлено, що сплав на основі інтерметаліду $TiAl$ має двофазну структуру, яка підтверджується результатами металографічних досліджень. Показано, що за температури випробування $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ жаростійкість алюмініду титану більша вдвічі за сплав ВТ-20 та втричі - за сплав ВТ-1-00.

Вступ. Одним з найбільш перспективних напрямів в області одержання композиційних матеріалів з високим рівнем взаємодоповнюючих експлуатаційних характеристик є створення інтерметалідних сполук на основі системи $Ti-Al$. В найближчому майбутньому такі сполуки можуть скласти серйозну конкуренцію жаростійким та корозійностійким сплавам. Висока температура плавлення, низька щільність ($3,8\text{ г/см}^3$) порівняно із суперсплавами ($8,0\text{ г/см}^3$), висока жаростійкість і жароміцність алюмінідів титану створює сприятливі перспективи для застосування в авіакосмічній техніці й енергетиці, а саме при виготовленні газових турбін і компресорних станцій, а також як базових конструкційних матеріалів для створення авіадвигунів нового покоління. Заміна деталей із нікелевих сплавів, що працюють у температурному інтервалі $600\text{ }^{\circ}\text{C}$... $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, на деталі з алюмініду титана дозволить у $1,5\text{ }^{\dots}2,0$ разів знизити масу конструкції та на $20\text{ }^{\dots}35\text{ }%$ зменшити матеріальні витрати.

Область застосування сплавів системи $Ti-Al$ є значною та містить у собі компоненти двигунів, реактивні сопла, елементи обшивання космічних апаратів, стільникові конструкції надзвукових літальних апаратів й елементи їх теплозахисних систем.

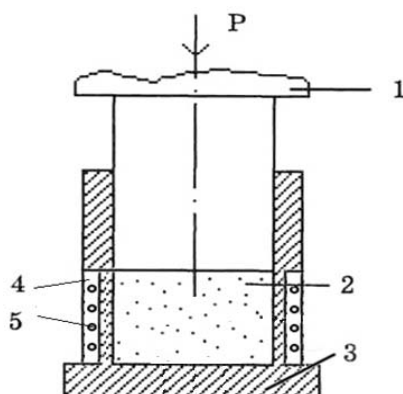
Не дивлячись на вищезазначені переваги [3], алюмініди титану на сьогоднішній день не вийшли на рівень масового промислового застосування. Це обумовлено низькою пластичністю зазначених матеріалів за нормальної температури та високо затратними існуючими технологіями їх виготовлення.

Тому розробка нових технологій для одержання інтерметалідних сполук з підвищеними фізичними властивостями, що працюють в агресивних умовах експлуатації, є актуальною темою досліджень.

Постановка задачі. Метою даних досліджень є розробка ресурсо- та енергоємної технології одержання інтерметалідних сполук на основі титану з підвищеними фізико-механічними показниками та, перш за все, жаростійкістю.

Матеріали та обладнання. Як реакційне середовище використовували суміші порошків дисперсністю 100...200 мкм алюмінію марки АСД1 (ТУ 48-5-226-82) і титану марки ПТХ5-1 (ТУ 113-12-132-83);

Схему обладнання для проведення процесу СВС-пресування подано на рис. 1.



1 - пуансон; 2 - шихта СВС; 3 - прес-форма;
4 - теплоізоляційний матеріал; 5 - нагрівальний пристрій

Рисунок 1 - Принципова схема обладнання для СВС-пресування

Мікроструктуру шліфів зразків досліджували на оптичному мікроскопі «Neophot-21» при збільшенні $\times 50 \dots 500$. Дослідження мікроструктури сплавів здійснювали за режимом первинних і вторинних електронів на електронному мікроскопі «JEOL JSM-6500». Для аналізу фазового складу легованих сплавів та дослідження ступеня їх однорідності, а також визначення розподілу легуючих доданків, використовували рентгенівський мікроаналізатор «JEOL JXA-8800».

Для проведення дослідження щодо жаростійкості підготовлено зразки різних титанових сплавів (ВТ-1-00 та ВТ-20) та інтерметаліду $TiAl$ розмірами $10 \times 10 \times 1$ мм. Перед окисленням зразки обробляли шляхом механічної зачистки, промивали дистильованою водою, піддавали ультразвуковому очищенню в етиловому спирті протягом 10 хвилин. Далі здійснювали ізотермічне та термоциклічне окиснення оброблених зразків за температури $700 \text{ }^\circ\text{C}$ у лабораторній печі СНОЛ 1,6.2,0.0,8/9. Під час ізотермічного окиснення зразки знаходились на важках з метою постійного вимірювання їх маси.

Термоциклічні вимірювання проводили у камерній печі з незахищеною атмосферою. Зразки поміщали до печі, нагрітої за температури $700 \text{ }^\circ\text{C}$, де перебували протягом 24 годин. Потім їх виймали, охолоджували до кімнатної температури, зважували та через годину знову поміщали до печі, тобто тривалість одного повного термоциклу складала 25 годин.

Початкова стадія утворення структури алюмінідів титану – плавлення алюмінію – спричинена тепловим імпульсом та його подальшим розтіканням каналами капілярно-пористого середовища. Подальше відбувається дифузія атомів алюмінію до решітки частинок титану призводить до зародження в дифузійній зоні інтерметалідної сполуки $TiAl_3$ (рис. 2,а). В системі, що містить 39,6 % алюмінію, шар $TiAl_3$ обмежує переміщення атомів алюмінію до титанового матеріалу, при цьому відбувається нарощування шару, що призводить до збіднення алюмінієвої маси та подальшого зародження моноалюмініду титану (рис. 2,б,в). Під час розповсюдження процесу вглиб титанової маси концентрація алюмінію зменшується, що стає причиною зародження

інтерметаліду $TiAl$ (рис. 2,в). Заключною стадією утворення структури є вирівнювання складу інтерметалідних шарів, у першу чергу, завдяки перекристалізації $TiAl_3$ на $TiAl$ та вторинному структуроутворенню Ti_3Al через розчинення внутрішнього титанового ядра (рис. 2,г).

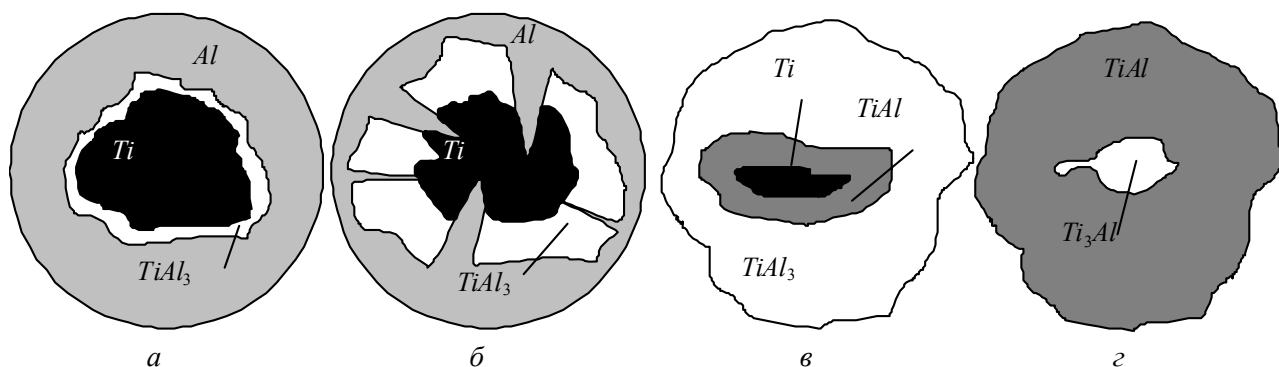
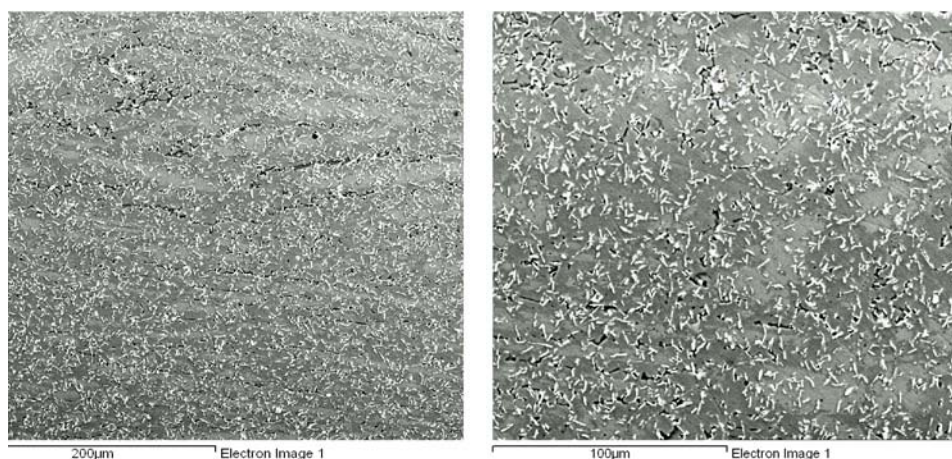


Рисунок 2 - Основні стадії утворення структури в системі Al-Ti

Мікроструктура одержаного інтерметаліду системи $TiAl$ згідно до зображення (рис. 3) має дві характерні фази: $TiAl$ сірого кольору та Ti_3Al білого кольору із неонаочною кількістю порових включень.



а) зі збільшенням $\times 100$;

б) зі збільшенням $\times 200$

Рисунок 3 - Мікроструктура сплаву системи $TiAl$

Таким чином, металознавчі дослідження виявили цільову двофазову структуру в інтерметаліді та визначили модель структуроутворення даного матеріалу.

З метою оцінки експлуатаційних характеристик одержаних інтерметалідів проводили дослідження жаростійкості зразків $TiAl$ порівняно з існуючими титановими сплавами ВТ-1-00 та ВТ-20 згідно до описаної методики.

Під час випробування на жаростійкість зразків титанових сплавів ВТ-1-00, ВТ-20 та $TiAl$ за температури $700\text{ }^\circ\text{C}$ одержали наступну інформацію (табл. 1).

З даних табл. 1 видно, що найбільший приріст маси спостерігали у сплаві ВТ-1-00. Під час апроксимації одержаних результатів встановлено, що подальша витримка за температури $700\text{ }^\circ\text{C}$ значно впливає на окислення матеріалу.

Таблиця 1 - Жаростійкість сплавів VT-1-00, VT-20 та TiAl за температури 700 °С

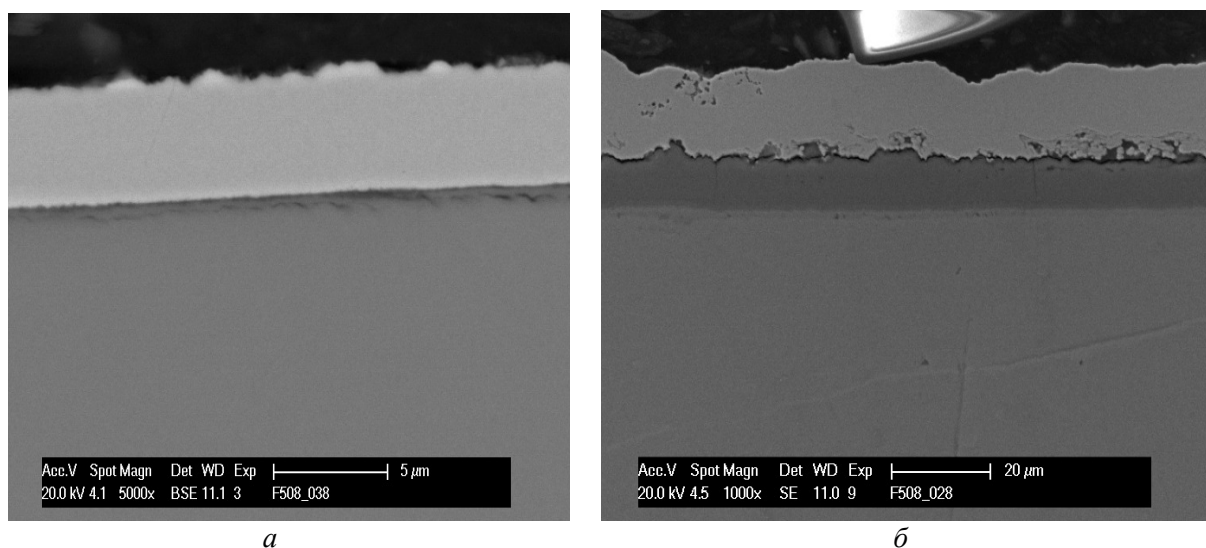
| Час, год. | Приріст маси, мг/см ² | | |
|--------------|----------------------------------|-------|------|
| | VT-1-00 | VT-20 | TiAl |
| 5 | 0,15 | 0,11 | 0,08 |
| 10 | 0,23 | 0,17 | 0,11 |
| 20 | 0,30 | 0,21 | 0,13 |
| 40 | 0,37 | 0,25 | 0,15 |
| 60 | 0,40 | 0,28 | 0,16 |
| 80 | 0,43 | 0,29 | 0,17 |

Зразок сплаву VT-20 також зростає за масою, проте, на відміну від VT-1-00, подальша дифузія кисню припиняється, та приріст маси на перевищує 0,35 мг/см². Алюмінід TiAl за цієї температури має найменші показники приросту маси, які не перевищують 0,20 мг/см². Для повного опису процесу окиснення зразків здійснювали більш ретельний аналіз вимірювання жаростійкості кожного з наведених зразків.

Після вимірювання зразка сплаву VT-1-00 на його поверхні зафіксовано пористий оксидний шар TiO₂ товщиною 30 мкм. Це спричинює окрихковування перехідного кисневого підшару. Мікротвердість оксидного поверхневого шару у чотири рази перевищує мікротвердість титанової підкладки. Зазначена поверхнева окисна плівка може призвести до передчасного руйнування деталі під час циклічних навантажень.

Зниження приросту маси та відповідно зменшенню дифузійного проникнення кисню вглиб титанового сплаву сприяє легування його алюмінієм. Додаткове легування алюмінієм призводить до утворення захисної плівки Al₂O₃, яка заважає дифузійній активності кисню. Як видно (рис. 4), сплав VT-20 має менший оксидний шар та характерну плівку Al₂O₃. Проте недостатня кількість алюмінію для повного утворення захисної плівки призводить до проникнення кисню та виникнення оксидного шару.

Твердість поверхневого оксидного шару як з легуванням алюмінієм, так і без нього, становить 750 НВ, а твердість внутрішніх шарів сплаву VT-20 складає 1,8 ГПа, що співпадає з літературними даними. Оксидний шар, одержаний на алюмініді титану є майже непомітним. Тонку оксидну плівку важко побачити на SEM-фотографії (рис. 4). Проте рентгеноспектральні дослідження показали незначну інтенсивність кисню на поверхні досліджуваного зразка без його дифузії вглиб матеріалу. Твердість сплаву TiAl становить близько 1,5 ГПа.



Рисуюнок 4 - Мікроструктура поверхневого шару сплаву TiAl (а) і VT-20 (б)

Висновки. Встановлено, що сплав на основі стехіометричного співвідношення $TiAl$, одержаний методом СВС, має двофазову структуру, яка підтверджується результатами металографічних досліджень. За температури дослідження 700 °С жаростійкість алюмініду титану вдвічі більша за сплав ВТ-20 та втричі – за сплав ВТ-1-00 через більший вміст алюмінію та виникнення захисної оксидної плівки, що перешкоджає потраплянню кисню вглиб матеріалу.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Середа, Б. П.* Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах [Текст] / Б. П. Середа, І. В. Кругляк, О. А. Жеребцов, Ю. О. Белокопць. – монографія. – Запоріжжя : Вид-во ЗДІА, 2008. – 250 с. – ISBN 978-966-8462-11-5.
2. *Середа, Б. П.* Нові матеріали в металургії [Текст] : навчальний посібник / Б. П. Середа. – Запоріжжя : Вид-во ЗДІА, 2009. – 396 с. – ISBN 978-966-8462-13-9.
3. *Банних, О. А.* Перспективы создания жаропрочных и жаростойких сплавов и интерметаллических соединений [Текст] / О. А. Банних, Л. Б. Поварова // Новые металлические материалы : сборник научн. статей. – Киев : ИЭС им. Е.О. Патона, 1998. – С. 29-33.
4. *Мержанов, А. Г.* Самораспространяющийся высокотемпературный синтез литых тугоплавких неорганических соединений [Текст] / А. Г. Мержанов, В. И. Юхвид, И. П. Боровинская. – Доклады АН СССР. – 1980. – Т. 255, № 1. – С. 120-124.
5. *Середа, Б. П.* Получение алюминидов титана методом СВС [Текст] / Б. П. Середа, А. А. Жеребцов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сборник научн. трудов ПГАСА. – Днепропетровск : ПГАСА, 2007. – Вып. 42, ч. 2. – С. 39-43.
6. *Мержанов, А. Г.* Процессы горения и синтеза материалов [Текст] / А. Г. Мержанов. – Черноголовка : ИСМАН, 1998. – 512 с. – Библиогр. : с. 504-511. – ISBN 5-9900829-01-4.

Стаття надійшла до редакції 31.10.2012 р.
Рецензент, проф. В.М. Михайлін