УДК 669.018.44-047.37

УТВОРЕННЯ ЖАРОМІЦНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ СПОЛУК, ОТРИМАНИХ В УМОВАХ СВС

Б.П. Середа д.т.н., професор, Є.В. Бабаченко аспірант, Д.Б. Середа магістр

Запорізька державна інженерна академія

Вступ. Одним з найбільш перспективних напрямків в області одержання нових композиційних матеріалів з високим рівнем взаємодоповнюючих експлуатаційних характеристик є створення інтерметалідних з'єднань на основі системи Ti-Al. Ці сполуки в найближчому майбутньому можуть скласти серйозну конкуренцію жаростійким та корозійностійким сплавам. [1,2] Висока температура плавлення низька щільність (3,8 г/см^3) у порівнянні із суперсплавами (8 г/см^3) висока жаростійкість і жароміцність алюмінідів титану - все це створює сприятливі перспективи для їхнього застосування в авіакосмічній техніці й енергетиці, а саме при виготовлені (газових турбін, компресорних станцій) розглядається використання сплавів системи Ti-Al як базові конструкційні матеріали для створення авіадвигунів нового покоління. Заміна нікелевих сплавів у деталях, що працюють у температурному інтервалі 600-900^{o}C на деталі з алюмінідів титана дозволить знизити вагу конструкції в 1,5-2 рази й зменшити матеріальні витрати на 20-35%.

Область застосування вищезазначених з'єднань велика і містить у собі: компоненти двигунів, реактивні сопла, елементи обшивки космічних апаратів, стільникові конструкції надзвукових літальних апаратів й елементи їхніх теплозахисних систем. Існує ще одна область використання алюмінідів титана, а саме при виготовленні клапанів для автомобільних двигунів.

Не дивлячись на ряд вище зазначених переваг [3], алюміниди титану на сьогоднішній день, ще не вийшли на рівень масового промислового застосування. Це обумовлено тим, що алюміниди титану мають низьку пластичність при нормальних температурах і існуючі технології їхнього одержання є високо затратними.

Тому розробка нових технологій для отримання інтерметалідних з'єднань з підвищеними фізичними властивостями, що працюють в агресивних умовах експлуатації, є актуальною темою досліджень.Такими технологіями є ті що базуються на явищі саморозповсюджувального високотемпературного синтезу(СВС) [4-6].

Метою даних наукових досліджень є розробка технології з метою отримання інтерметалідних з'єднань на основі титану з підвищеними фізико-механчними показниками. Основним фактором, що обумовлює роботу відповідних деталей гарячого тракту ГТД є їхня жаростійкість.

Постановка задачі. Розробити ресурсо- та енергоємну технологію отримання інтерметалідних з'єднань на основі титану. Отримати матеріал на основі алюмінідів титану. Дослідити жаростійкість отриманого матеріалу.

Матеріали та обладнання. У якості реакційного середовища, використовувалися суміші порошків дисперсністю 100-200 мкм наступних матеріалів:

1. Al – алюміній марки АСД1 (ТУ 48-5-226-82);
2. Ti – титан марки ПТХ5-1 (ТУ 113-12-132-83);

Металографічний аналіз (LM). Мікроструктуру шліфів досліджували на оптичному мікроскопі «Neophot-21» при збільшенні від 50 до 500.

Растрова електрона мікроскопія (SEM). Дослідження шліфів дослідних зразків проводили у режимі первиних та вторинних електронів за допомогою електронного мікроскопу JEOL JSM-6500.

Рентгеноспектральний аналіз (EPMA). Для аналізу фазового складу легованих сплавів та дослідження ступеня їхньої однорідності, визначення розподілу легуючих добавок у сплавах і їхній перерозподіл використовували рентгенівський мікроаналізатор JEOL JXA-8800 . Спеціальна електронно-оптична система формує тонкий електронний зонд, що бомбардує невелику, приблизно 1 –2 мк, область досліджуваного шліфа, поміщеного на аноді, і збуджує рентгенівські промені, спектральний склад яких далі аналізується за допомогою спектрографа з вигнутим кристалом.

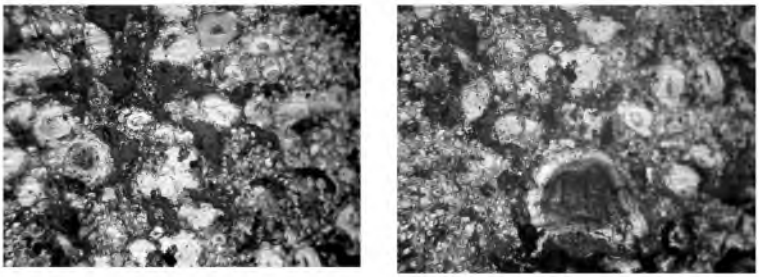
Дослідження на жаростійкість (TGA). Для проведення дослідження з жаростійкості були вирізані зразки різних титанових сплавів (ВТ-1-00 та ВТ20) та інтерметаліди TiAl розмірами 10 х 10 х 1 мм. Перед окисленням ці зразки обробляли механічною зачисткою наждачним папіром, промивали дистильованою водою, піддавали ультразвуковому очищенню в етиловому спирті протягом 10 хвилин. Потім оброблені зразки піддавали ізотермічному та термоциклічному окисненню при температурі 700 °С в лабораторній печі СНОЛ 1,6.2,0.0,8/9. При ізотермічному окисненні зразки знаходились на важелях з метою постійного вимірювання ваги.

Термоциклічні вимірювання проводили в камерній печі з незахищеною атмосферою. Зразки поміщали до розігрітої при температурі 700 °С печі. Таким чином розігрів зразків відбувався меньш ніж за 10 хвилин. Після перебування зразків в печі протягом 24 годин вони виймались, охолоджувались до кімнатної температури, взвішувались та поміщались назад до печі через годину. Тобто один повний термоцикл склав 25 годин.

Початкова стадія структуроутворення алюмінідів титана - плавлення алюмінію, викликане тепловим імпульсом, і його подальше розтікання по каналах капілярно - пористого середовища. Подальша дифузія атомів алюмінію в решітку частинок титана призводить до зародження в дифузійній зоні інтерметалідної сполуки $TiAl_3$. В системі, що містить 39,6 % мас. Al, шар, що раніше

утворився, обмежує переміщення атомів алюмінію в титановий матеріал. При цьому відбувається нарощування шара $TiAl_3$, що призводить до обіднення алюмінієвої маси і подальшого зародження моноалюмініду титана. При розповсюдженні процесу углиб титанової маси концентрація алюмінію зменшитися, що стане причиною зародження інтерметаліда TiAl. Заключною стадією структуроутворення стане вирівнювання складу інтерметалідних шарів, в першу чергу завдяки перекристалізації $TiAl_3$ в TiAl та вторинному структуроутворенню Ti_3Al внаслідок розчинення внутрішнього титанового ядра.

Мікроструктура отриманого інтерметаліду системи TiAl має характерну двофазну структуру (рис. 1) з невеликою кількістю порових включень. Структура отриманого інтерметаліду згідно до зображення має дві характерні фази: TiAl – що має сірий колір та Ti_3Al білого кольору.



а) Ti_3Al *x 100;* *б)* TiAl *x 200.*

Рис. 1. *Мікроструктура сплаву системи TiAl.*

Таким чином металознавчі дослідження виявили цільову двофазну структуру в інтерметаліді та підтвердили модель структуроутворення даного матеріалу.

З метою визначення експлуатаційних характеристик отриманих інтерметалідів були проведені дослідження жаростійкості зразків TiAl у порівнянні з існуючими титановими сплавами ВТ-1-00 та ВТ-20 згідно до описаної методики.

При ізотермічному випробуванні на жаростійкість при температурі 700°С зразків титанових сплавів ВТ-1-00, ВТ-20 та TiAl було отримано наступну інформацію (табл.1).

Таблиця 1

Жаростійкість сплавів ВТ-1-00, ВТ-20 та TiAl при 700 °С

Час, год	Приріст маси, мг/см²		
	ВТ-1-00	ВТ-20	TiAl
5	0.15	0.11	0.08
10	0.23	0.17	0.11
20	0.3	0.21	0.13
40	0.37	0.25	0.15
60	0.4	0.28	0.16
80	0.43	0.29	0.17

З даних таблиці видно, що найбільший приріст маси спостерігається у сплаві ВТ-1-00. При апроксимації отриманих результатів встановлено, що подальша витримка при 700°С значно впливає на окислення матеріалу. Сплав ВТ-20 також зростає за масою, однак, на відміну від ВТ-1-00, подальша дифузія кисню припиняється, і приріст маси на перевищує 0,35 мг/см^2. Алюмінід TiAl при цій температурі має найменші показники приросту маси й не перевищує 0,2 мг/см^2. Для того, щоб повністю описати процес окиснення зразків, необхідно проаналізувати більш ретельно вимірювання жаростійкості кожного з наведених зразків.

Після вимірювання зразка сплаву ВТ-1-00 на його поверхні утворюється пористий шар TiO_2. Через це кисень може швидко дифундувати крізь пористий оксидний шар вглиб титанового матеріалу. Через вимірювання зразку ВТ-1-00 на жаростійкість сформувався пористий оксидний шар під дією кисню товщиною 30 мкм. Це викликає окрихковування перехідного кисневого підшару. Мікротвердість окисного поверхневого шару в 4 рази перевищує мікротвердість титанової підкладки. Ця поверхнева окисна плівка може призвести до передчасного руйнування деталі у ході циклічних навантажень.

Зменшенню приросту маси та відповідно зменшенню дифузійного проникнення кисню вглиб титанового сплаву сприяє легування його алюмінієм. Додаткове легування алюмінієм призводить до утворення захисної плівки Al_2O_3, що заважає дифузійній активності кисню. Це видно на рисунку 8, де сплав ВТ-20 має менший окисний шар, та характерну плівку Al_2O_3. Однак недостатня кількість алюмінію для повного утворення захисної плівки призводить до проникнення кисню та виникнення окисного шару.

Твердість поверхневого шару склала як і у минулому разі 750 HB, а твердість внутрішніх шарів сплаву ВТ-20 склала 1,8 ГПа, що співпадає з літературними даними. Оксидний шар у отриманому алюміниді титану TiAl майже непомітний. Тонка окисна плівка важко видима на SEM-фотографії. Однак,

рентгеноспектральні дослідження показали незначну інтенсивність кисню на поверхні досліджуваного зразку, однак без його дифузії вглиб матеріалу. Твердість матеріалу незмінна за глибиною аналізу та становить близько 1,5 ГПа.

Висновки

СВС на даний час є перспективним методом отримання композитних матеріалів на основі інтерметалідних з'єднань завдяки незначної ресурсо- та енергоємності.

Встановлено, що сплав на основі стехіометричного співвідношення TiAl має двофазну структуру, яка підтверджується металографічними дослідженнями.

При температурі дослідження 700°С жаростійкість алюмініду титана вдвічі більша за сплав ВТ-20 та втричі ніж ВТ-1-00 завдяки більшому вмісту алюмінію та виникненню захисної окисною плівки, що перешкоджає потраплянню кисню вглиб матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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