

ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОЕ НАПЫЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СВС-МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ Ti-Al

В.И.Яковлев, В.Ю.Филимонов, А.С.Семенчина, М.В.Логинова

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), как высокоэффективный метод получения широкого класса интерметаллидных соединений, твердых растворов, материалов, покрытий и др., был открыт в 1967 г. д.ф.-м.н. А.Г.Мержановым и его научной школой. Метод СВС характеризуется высокой производительностью, дешевизной получаемых материалов, обусловленной низким энергопотреблением, является практически безотходным, что обуславливает его экологичность. СВС-технология дает возможность получения различных материалов с требуемым составом и заданными свойствами, в том числе дисперсных СВС-материалов для нанесения защитных покрытий. Одним из существующих способов нанесения покрытий является метод детонационно-газового напыления (ДГН). Использование технологий ДГН дает возможность получения покрытий высокого качества, прежде всего, благодаря высоким температурам и скоростям дисперсного потока.

Одной из основных задач технологий СВС является поиск путей управления процессом с целью получения продукта требуемого состава и свойств. Существует два режима синтеза: послойное горение и тепловой взрыв. В режиме послойного горения имеется единственная возможность управления процессом посредством изменения внутренних параметров исходной шихты (размеров частиц, соотношение компонентов, степень разбавления инертном) [1,2]. В работе [3], теоретически показан способ управления динамикой синтеза и фазовым составом конечного продукта в режиме теплового взрыва в системе Ni – Al при изменении мощности внешнего источника и размеров частиц исходных компонентов. В работах [4-6] установлено, что изменяя скорость остывания, можно получить продукт различной глубины превращения фазового состава и физико-химических свойств.

Известно, что при синтезе в режиме теплового взрыва формируется так называемая зона вторичного структурообразования [6, 7], в которой происходит догорание вещества со

сравнительно медленной скоростью. Если в зоне первичного структурообразования (хим. реакции) процесс происходит с высокой скоростью и управлять им практически невозможно, то в зоне вторичного структурообразования имеется возможность влиять на процесс выравнивания составов образующихся фаз путем изменения внешних теплофизических условий [8]. Целью настоящих исследований является получения композиционных СВС-материалов бинарной системы Ti – Al и их использование для получения защитных покрытий методом ДГН.

Для получения композиционных СВС-материалов интерметаллидного класса был создан экспериментально – диагностический комплекс. Данный комплекс предназначен для проведения СВС в режиме теплового взрыва с возможностью внешнего воздействия на процесс вторичного структурообразования, получения химически чистого однофазного продукта требуемого состава и свойств [9]. На рис.1 представлена блок – схема экспериментально-диагностического комплекса для реализации и диагностики СВ –

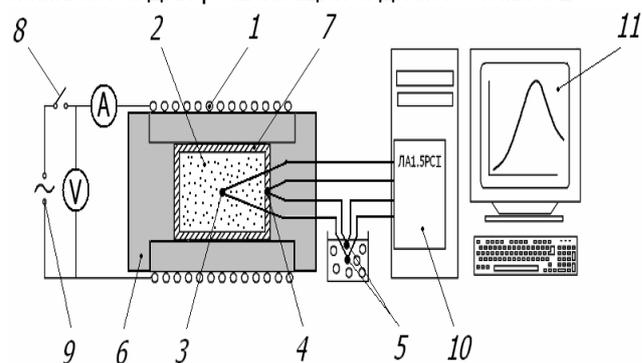


Рис.1. Блок – схема установки температурной диагностики СВ – синтеза в режиме теплового взрыва: 1 – нагревательный элемент, 2 – реагирующая смесь, 3 – термопара для контроля динамики разогрева смеси, 4 – термопара для контроля температуры стенки, 5 – компенсирующие термопары, 6 – стальной реактор, 7 – теплоизоляционный асбестовый слой, 8 – выключатель, 9 – источник напряжения, 10 – плата сбора и обработки данных ПА 1.5 РСІ 11 – монитор синтеза в режиме теплового взрыва.

Источником 9, подавалось напряжение на нихромовую спираль 1, посредством которой происходит прогрев стенки реактора. Контроль температуры стенки реактора осу-

ществлялся термопарой 4. Стенка прогревалась до определенной температуры, превосходящей температуру плавления алюминия (660°C), далее происходил разогрев шихты в полости реактора 2. Состав шихты: порошки титана ПТХ, алюминия АСД –1, средний размер 10 мкм, масса засыпки порошковой смеси 30 гр ($m_{Ti}=11$ гр, $m_{Al}=19$ гр), пористость исходной шихты 45%. Внутренняя поверхность полости изолировалась слоем асбеста, варьируемой толщины 7. Контроль температуры внутренней поверхности полости (температура шихты) осуществлялся при помощи термопары 3. Компенсационные спаи термопар 5 погружались в резервуар с тающим льдом. Сигналы с термопар регистрировали на встроенную в компьютер многоканальную плату ЛА1.5-РС1 и записывались в память компьютера для дальнейшей обработки.

Для измерения температуры была разработана специальная программа «Регистратор аналоговых сигналов» для измерения напряжения поступающего на аналоговый вход (не более 16 дифференциальных входов) платы сбора и обработки данных ЛА1.5-РС1, технические характеристики которого представлены в таблице 1.

Программа позволяет с высокой точностью отображать на экране изменение поступающего на вход напряжения (одновременно не более двух каналов), сохранять данные в файл в двоичном виде (отдельный файл для отдельного канала с расширением ch0, для первого канала - ch1 и т.д.), транспортировать полученные данные в программу Microsoft Office Excel для обработки измерений, построения графиков, а также гибко настраивать каждый измеряемый канал. Все это позволяет использовать данный программный продукт для проведения измерений температуры с помощью термопар. На рис.2 представлены термограммы синтеза.

Фотографии шлифов получены с помощью автоматического анализатора изображения «Видео - Тест» и представлены на рис.3.

При среднем размере частиц титана 120 мкм (термограмма 1, рис.2) получаем многофазный продукт рис.3а. Данный режим проводили с отключением источника напряжения 9 (рис.1) в точке максимума температур синтеза. При проведении эксперимента без отключения источника напряжения (термограмма 2, рис.2) получаем перенасыщенный раствор $TiAl_3$ с остаточным титановым ядром (средним размером $r_0 \approx 120$ мкм), являющийся

композиционным материалом рис.3б [10]. Его дифрактограмма представлена на рис. 4. Рентгенофазный анализ выполняли на дифрактометре ДРОН-6 с Си-излучением (длина волны $\lambda=1,5418$ нм), шаг съемки $0,05^\circ$, время экспозиции в точке 3 с.

Перенасыщенный раствор $TiAl_3$ с остаточным титановым ядром был использован в процессе ДГН. Напыление производилось на установке детонационно-газового напыления «Катунь-М». Установка снабжена компьютерной системой определения скорости потока частиц, массового расхода и импульса потока. На стальную подложку размером 40×40 мм и толщиной 4 мм, при теплоизоляции поверхности основы слоем асбокартона толщиной 3 мм производили напыление на расстоянии от среза ствола пушки 10 см. Соотношение объемных расходов пропан-кислорода (3,17: 1).

Таблица 1

Шина интерфейса с ПЭВМ	РС1
Потребляемая мощность	+5В, 950мАГ
Габариты	195 × 110 мм
АНАЛОГОВЫЙ ВХОД	
Количество аналоговых входов	32 однополюсных или 16 дифференциальных
Входное сопротивление (импеданс)	Не менее 100 МОм
Тип АЦП	Последовательного приближения
Количество бит в выходном регистре АЦП	12
Максимальная частота выборок	500 кГц
Время преобразования	2 мкс
Диапазоны входного сигнала	$\pm 10В - \pm 0,05В$
Память на плате FIFO	2048 слов
Защита по напряжению	$\pm 15В$
ЦИФРОВОЙ ПОРТ	
Количество линий	8 выв и 8 вв (с защелкой)
Уровни и пороговые значения	ТТЛ совм

ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОЕ НАПЫЛЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СВС-МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ Ti-Al

Было выполнено 930 выстрелов, при этом основа прогрелась до температуры 750⁰С. Эксперимент повторялся пять раз. В результате получено сплошное покрытие без пустот и пор, с хорошим сцеплением с подложкой. На рис.5 приведена дифрактограмма поверхности напыленного слоя.

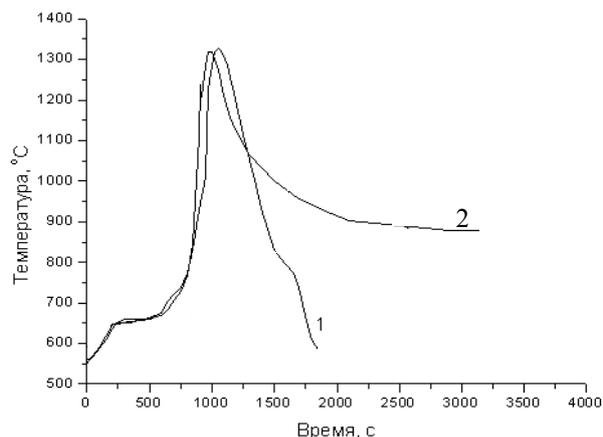


Рис.2. Термограммы синтеза проведенного в режиме теплового взрыва, температура стенки реактора $T_0 = 880^{\circ}\text{C}$

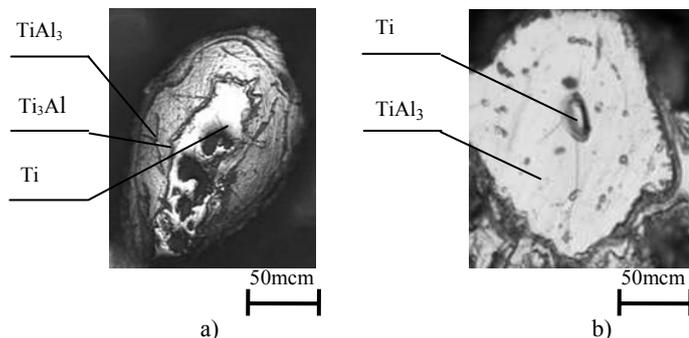


Рис.3. Снимки характерных элементов структуры продуктов синтеза в режимах: 1 (а), 2 (б)

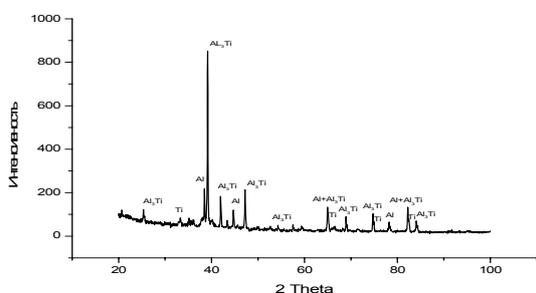


Рис.4. Дифрактограмма напыляемого порошка

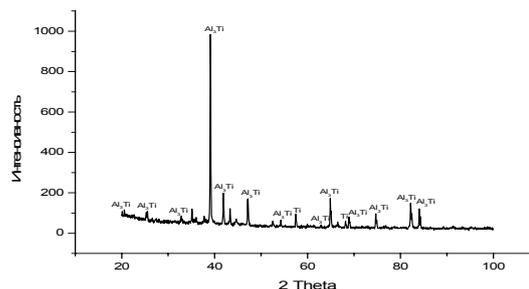


Рис.5. Дифрактограмма продукта напыления

Из сопоставления дифрактограмм исходного продукта и продукта напыления следует, что на подложке происходит дореагирование компонентов продукта синтеза (Al для остаточного Ti берется из перенасыщенной фазы TiAl_3). В процессе напыления при высоких температурах несущей струи и подложки, а также деформации частиц в момент соударения идет завершение диффузионных процессов. В результате синтезируется практически однофазный продукт исходной стехиометрии TiAl_3 .

На поверхности основы для напыления протекает экзотермическая реакция,

$$\text{Ti} + \text{TiAl}_3 \rightarrow \text{TiAl}_3 + \text{Q}$$
 тепловой эффект которой обеспечивает высокое качество сцепления с основой и хорошие механические характеристики (износостойкость, термостойкость, жаропрочность).

ЛИТЕРАТУРА

1. Итин В.И., Найбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. Томск: Изд – во томского ун – та. 1989. – 209 с.
2. Евстигнеев В.В., Вольпе Б.М. и др. Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. М.: Высш. школа. 1996. – 274 с.
3. Lapshin O.V., Ovcharenko V.E. Mathematical model of high temperature synthesis of nickel aluminide Ni_3Al during thermal explosion of powdered mixture of pure elements // The Physics of Combustion and Explosion. 1996. v.32. №3. – P.68 –76.
4. Филимонов В.Ю., Евстигнеев В.В., Василенко С.Н. Структура продукта синтеза порошковой смеси Ti – Al в режиме теплового взрыва при различных условиях теплоотвода // В сб. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Материалы и технологии. Новосибирск: Наука. 2001. – 278 с.

5. Мержанов А.Г., Руманов Э.Н. Образование твердых растворов в режиме горения. Изв. АН СССР, Мет., 1977, № 3. – С. 188-193.

6. Merzhanov A.G. Twenty years of search and findings. In. Combustion and plasma synthesis of high – temperature materials / Eds. Z.A. Munir, J.B. Holt., N.Y.:VCH Publ. Inc., 1990. – P. 1-53.

7. Мержанов А.Г. Процессы горения конденсированных систем. Новое направление исследований. Вестник АН СССР, 1979, №8. – С. 10 – 18.

8. Evstigneev V.V., Filimonov V.Y., Yakovlev V.I. The Peculiarities of a Structure Formation Process in a Ti – Al Heterogeneous System at Different Thermal Modes of Syntesis. International Journal of SHS, 2004, V.13, №3. – P. 209 – 219.

9. Евстигнеев В.В., Яковлев В.И., Филимонов В.Ю., Семенчина А.С., Логинова М.В. Экспериментально-диагностический комплекс для проведения процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в режиме теплового взрыва. Ползуновский альманах, 2005, № 3. – С. 165-168.

10. Евстигнеев В.В., Филимонов В.Ю., Жакупова А.Е., Яковлев В.И., Семенчина А.С. Влияние дисперсности титана и тепловых режимов синтеза на фазовый состав и микроструктуру конечного продукта в системе Ti – Al. Вестник Казахстанского национального университета, Алма-Аты №1 (19), серия физика 2005. – С. 62 – 66.