

МЕТОД КОНТРОЛЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТА НАПЫЛЯЕМЫЙ СЛОЙ – ОСНОВА В ПРОЦЕССАХ ДЕТОНАЦИОННО – ГАЗОВОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

В.В.Евстигнеев, А.В.Афанасьев, Е.В.Смирнов, В.Ю.Филимонов, В.И.Яковлев, М.В.Логинова.

В работе рассмотрено применение высокотемпературного низкоинерционного датчика для контроля температуры поверхности основы в процессах детонационно – газового напыления к определению теплоэнергетических характеристик газодисперсного потока. На примере оксида алюминия определен критерий Био для напыляемой основы и соответствующий ему эффективный коэффициент теплоотдачи. Рассчитана тепловая мощность потока. Установлено, что в процессе напыления интерметаллического соединения $TiAl_3$ в метастабильном состоянии происходит дореагирование указанного соединения до образования монофазного равновесного продукта, что позволяет рассматривать устройство для детонационного напыления как высокотемпературный активатор взаимодействия.

Введение

Применение технологий детонационно – газового напыления (ДГН) позволяет эффективно решить проблему получения защитных покрытий из композиционных материалов деталей и узлов машин ввиду того, что процесс ДГН характеризуется высокой скоростью дисперсного потока, до 1000 м/с, и температурами достигающими 3000 К [1]. Одной из основных проблем диагностики процессов детонационного напыления, является определение температуры поверхности основы напыления в процессе нанесения покрытий. При этом, очевидно, что получившие в последнее время широкое распространение бесконтактные методы определения температуры (оптическая пирометрия, цифровая видеосъемка [2]), в данном случае не способны дать какую – либо информацию о температуре контакта, поскольку при их использовании можно измерить лишь температуру внешней поверхности покрытия. В то же время возможность измерения температуры в динамических процессах разогрева поверхности контакта основа – напыляемый слой может являться определяющей в отношении формирования адгезионных связей между частицами дисперсной фазы и поверхностью основы [3], контроля фазовых превращений или экзотермических (эндотермических) процессов. В настоящей работе проводится исследование тепловых процессов на поверхности основы напыления, при использовании в качестве напыляемого материала соединения $TiAl_3$, синтезированное методом самораспространяющегося высокотемпературного

синтеза в различных условиях. Для диагностики температуры контакта основа – наносимое покрытие и определения эффективных параметров теплоотдачи основы использовался специально сконструированный термодатчик.

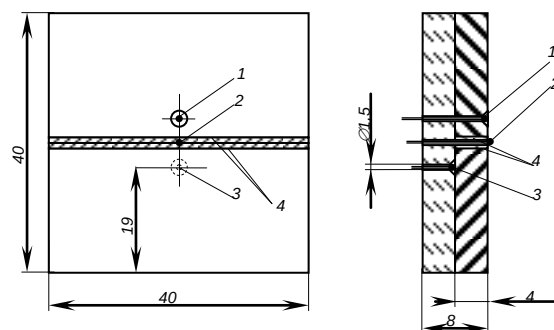


Рис.1. Датчик для контроля температуры поверхностей основы напыления и температуры потока. 1 – термопара для контроля температуры внешней поверхности, 2 – термопара для контроля температуры потока, 3 – термопара для контроля температуры внутренней поверхности, 4 – слюдяные прокладки

Экспериментальная методика

Для контроля динамики разогрева поверхности основы в процессе нанесения покрытий в настоящей работе предложена экспериментальная методика диагностики температуры поверхности основы, с использованием хромель-алюмелевых термопар. Для этого был сконструирован контактный низкоинерционный датчик измерения температуры

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1-2 2008

МЕТОД КОНТРОЛЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТА НАПЫЛЯЕМЫЙ СЛОЙ – ОСНОВА В ПРОЦЕССАХ ДЕТОНАЦИОННО – ГАЗОВОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

контакта поверхности основы – напыляемый слой, чертеж которого представлен на рис.1.

Во избежание электрического контакта термопар, основа разрезалась на две одинаковых части. Термопары основы крепились следующим образом. В первой половине разрезанной основы сверлилось сквозное отверстие диаметром 1,5 мм. В отверстие вставлялась термопара с диаметром спая 0,5 мм, далее, с использованием точечной сварки, спай термопары приваривался к основе, после чего производилась шлифовка поверхности в месте сварки. Таким образом, полученный спай, имел среднюю толщину (выступал над внешней поверхностью основы) порядка 20 – 30 мкм и представлял собой «пятно» на внешней поверхности, диаметром 3 – 4 мм. Такая технология создания микро-термопарного датчика температуры на внешней поверхности дает возможность анализировать быстропротекающие процессы изменения температуры. Во второй половине основы, с внутренней стороны, просверливалось отверстие диаметром 1,5 мм и глубиной 1 мм, далее спай термопары также приваривался к плоскости основы (3). Торцевые поверхности половин изолировались двумя слюдяными прокладками (4), толщиной 0,2 мм, между которыми зажималась третья термопара (2), предназначенная для контроля температуры потока. Спай термопары выступал над поверхностью основы на 1,5 мм. Сигнал с термопар поступал на многоканальный аналого – цифровой преобразователь ЛА 1,5 РС1 и сохранялся в памяти ПК IBM для дальнейшей обработки. Во втором варианте датчика отсутствовала термопара для контроля потока с целью более точного измерения теплофизических и теплоэнергетических характеристик потоков.

Результаты эксперимента

Для изучения тепловых режимов детонационного напыления, использовалась установка «Катунь-М» при следующих фиксированных параметрах режима напыления: Соотношение объемных расходов пропан – кислород соответствовало стехиометрическому для реагирующих газов (3,17:1). Дистанция напыления (расстояние от среза ствола до поверхности основы) составляла 10см. Глубина загрузки (расстояние от дозатора до поверхности основы) составляла 50см. Установленная скважность импульсов (временной промежуток между импульсами) – 0,25с. В дальнейшем эти параметры оставались неизменными.

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 1-2 2008

Для контроля стабильности работы установки проводилось три эксперимента по прогреву основы газовой струей (без дисперсной фазы) до установления равновесной температуры поверхности основы, рис.2. В результате проведенных экспериментов установлено, что максимальные различия в показаниях микротермопары не превышают 3% (термограммы практически накладываются).

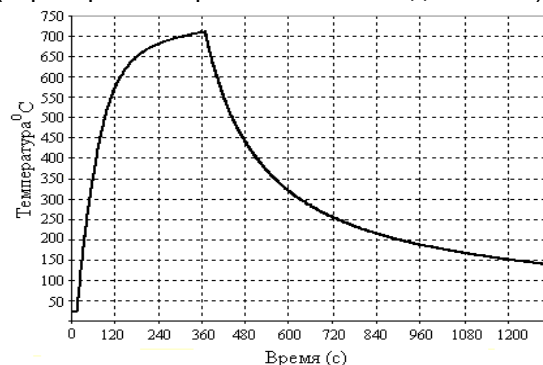


Рис.2. Термограмма разогрева поверхности основы под воздействием высокотемпературного газового потока до 710°С (1450 циклов)

Далее, в качестве примера определения теплоэнергетических параметров потока, проводилось нанесение покрытий из окиси алюминия на поверхность Сталь3. На рис.3 приведены показания термопар, расположенных на внешней и внутренней поверхности основы. Процесс напыления был остановлен к моменту выхода поверхностей основы на стационарную температуру. Из показаний датчиков можно найти значение критерия Био системы [4]:

$$Bi = \frac{T_n - T_0}{T_0 - T_\infty} \quad (1)$$

где T_n – установившаяся температура внешней поверхности основы, T_0 – установившаяся температура внутренней поверхности основы, T_∞ – температура окружающей среды. Имеем: $T_n = 960^\circ\text{C}$, $T_0 = 850^\circ\text{C}$, $T_\infty = 20^\circ\text{C}$, следовательно $Bi = 0,13$. Таким образом, можно считать распределение температуры по толщине основы слабо выраженным. По значению критерия Bi , определим коэффициент теплоотдачи пластины при значении коэффициента теплопроводности основы $\lambda = 59 \text{ Bm} / \text{MK}$:

$$\alpha = \frac{Bi \lambda}{r_0} = \frac{0,13 \cdot 59}{4 \cdot 10^{-3}} = 1,9 \cdot 10^3 \text{ Bm} / \text{m}^2 \text{K} \cdot \quad \text{Тогда,}$$

тепловая мощность потока на единицу площади (тепловой поток от внутренней поверхности основы): $p = \alpha(T_0 - T_\infty) = 1,58 \text{ мВт/м}^2$.

Полная мощность: $P = pS = 2,53 \text{ кВт}$, где S – площадь поверхности основы. Очевидно, такая же мощность соответствует газодисперсному потоку.

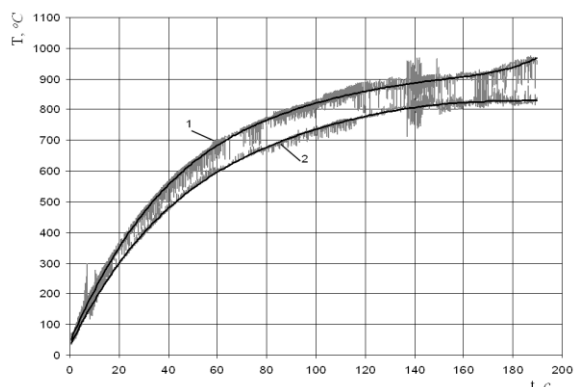


Рис.3. Термограммы процесса ДГН корунда с использованием термопарных датчиков. 1 – показания датчика контроля внешней поверхности основы, 2 – показания датчика внутренней поверхности основы. Сплошные линии – средние значения температуры

На следующем этапе эксперимента производилось напыление двух видов порошков состава $\text{Ti} + 3\text{Al}$. В первом случае высокотемпературный синтез проводился в неравновесных условиях. В этой ситуации продукт реакции состоял из двух метастабильных фаз TiAl_3 и TiAl [5]. Во втором случае синтез проводился в равновесных условиях, при этом получен монофазный продукт состава TiAl_3 . На рис.4 приведены термограммы напыления указанных порошковых материалов.

Из анализа термограмм можно сделать ряд важных выводов. Температура дисперсного потока выше температуры газовой струи без дисперсной фазы. Это легко объяснить тем, что в затопленном пространстве газовая составляющая потока остывает быстрее, чем дисперсная. Однако, температура потока, состоящего из частиц многофазного продукта, несколько выше (примерно на 50°C) температуры потока частиц монофазного продукта. Следовательно, можно предположить, что в последнем случае в процессе напыления идет экзотермическая реакция. Этим можно объяснить на первый взгляд неожиданный результат полной идентичности дифрактограмм нанесенных покрытий при различии в фазовом составе исходных порошков (рис.5).

В процессе пролета частиц происходит их отжиг до формирования стабильной фазы.

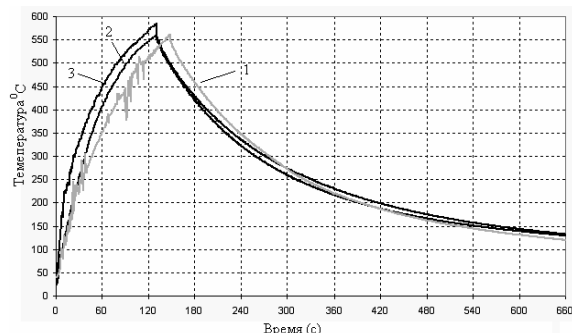
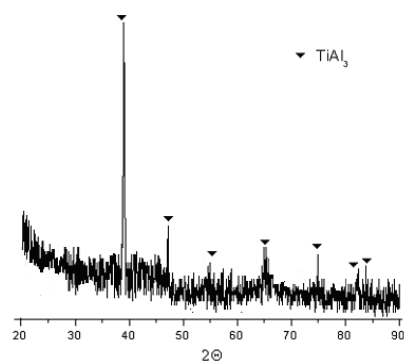


Рис.4. Термограммы разогрева поверхности основы при детонационно-газовом напылении. 1 – температура газа, 2 – температура дисперсного потока, состоящего из частиц монофазного продукта, 3 – температура дисперсного потока, состоящего из частиц многофазного продукта
а)



б)

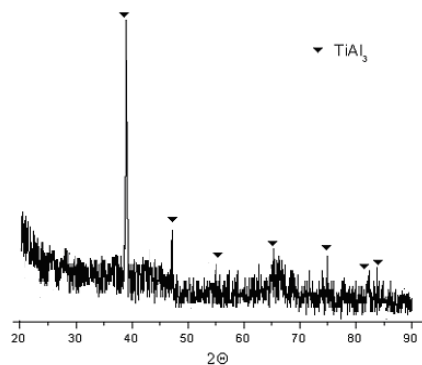


Рис.5. Дифрактограммы нанесенных покрытий. (а) монофазный исходный продукт, (б) многофазный исходный продукт.

Таким образом, высокотемпературный синтез осуществляется в процессе пролета и соударения частиц с поверхностью основы.

МЕТОД КОНТРОЛЯ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КОНТАКТА НАПЫЛЯЕМЫЙ СЛОЙ – ОСНОВА В ПРОЦЕССАХ ДЕТОНАЦИОННО – ГАЗОВОГО НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

На основании результатов работы сделаем ряд кратких выводов.

Выводы

С применением разработанного термпарного датчика, появляется возможность изучения динамики разогрева поверхности контакта напыляемый слой – поверхность основы в процессах детонационно – газового напыления. Это может оказаться полезным для определения наличия экзотермических (эндотермических) процессов на поверхности контакта, контроля процессов фазовых и химических превращений. Использование указанного датчика позволяет установить эффективные параметры теплоотдачи, теплоэнергетические характеристики газодисперсного потока. При анализе термограмм напыления интерметаллидных порошков стехиометрии $TiAl_3$, синтезированных в неравновесных условиях установлено, что в процессе нанесения покрытий происходит отжиг неравновесной структуры и переход неравновесной структуры в монофазный интерметаллид состава $TiAl_3$. Последнее подтверждается дифрактометрическим анализом. Таким образом, в процессах детонационно – газового напыления возможно протекание экзотермической реакции синтеза, благодаря высоким температурам, скоростям и давлениям, которые развиваются в газодисперсном потоке.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России», по государственному контракту 02.513.11.3365.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бартенев С.С., Федько Ю.П., Григоров А.И. Детонационные покрытия в машиностроении. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 215 с.
2. Рогачев А.С. Динамика структурных превращений в процессах безгазового горения: Дисс. д – ра физ.мат.наук. Черноголовка ИСМАН, 1994.
3. Гавриленко Т.П., Николаев Ю.А., Прохоров Е.С. и др. О механизмах образования покрытий при газотермическом напылении. // Физика горения и взрыва. 1990, т.26, №3, с. 110 – 122.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.. Теплопередача. М.: Энергия. 1975.
5. Евстигнеев В.В., Филимонов В.Ю., Яковлев В.И. Особенности процессов структурообразования в бинарной порошковой смеси $Ti - Al$ при различной продолжительности синтеза // Химия и физика обработки материалов. 2006, №3. С. 62 – 76.