

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОГЕННОГО ПОТОКА В ПРОЦЕССЕ ДЕТОНАЦИОННО–ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ СВС МАТЕРИАЛАМИ

А.В.Еськов, В.И.Яковлев

Нанесение покрытий на поверхности газотермическими способами имеет широкое применение в различных отраслях машиностроения. Получение наиболее качественных покрытий из всех методов газотермического напыления обеспечивают высокоскоростные потоки частиц детонационно-газового напыления (ДГН). Особый интерес при исследовании процесса ДГН представляет применение в качестве напыляемого порошка СВС материала с невысокой удельной массой, полученных в результате СВС реакции с титаном. Одной из проблем в указанной области является оптимизация режима нанесения покрытий, которая определяется набором взаимосвязанных аэродинамических, теплофизических и химических параметров, что обуславливает необходимость применения комплексного подхода к процессам контроля и диагностики в нестационарных высокотемпературных газодисперсных потоках частиц [1].

Для выхода на оптимальный режим ДГН используется метод многократных пробных напылений [2]. Однако некоторое количество входных параметров в технологии могут быть неконтролируемыми, что приводит к неполной воспроизводимости результата напыления и отражается на качестве покрытия. Подобный метод является весьма трудоемким, продолжительным и дорогостоящим, что влечет создание экспериментально – диагностического комплекса, позволяющего определять выходные температурно – скоростные параметры.

Настоящая работа посвящена созданию экспериментального стенда диагностики и контроля температурных и скоростных параметров гетерогенных потоков, генерируемых установкой ДГН.

В Алтайском научно-инновационном центре порошковых технологий (АНЦПТ) АлтГТУ для детонационно-газового напыления используется установка «Катунь М». Каждый цикл напыления начинается подачей горючей смеси пропан-кислород-воздух в определенных пропорциях в течение заданного времени в детонационную камеру 1 (рис.1).

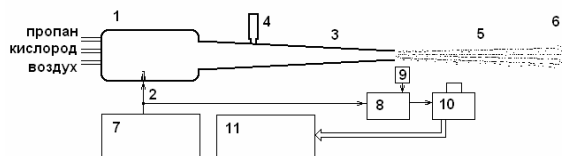


Рис. 1. Схема экспериментального стенда контроля температурных характеристик на базе установки детонационно-газового напыления «Катунь М»

Зажигание горючей смеси производится свечой 2, возникающие при этом тепловые волны порождают ударные, а затем и детонационную волну. В канале ствола 3 детонационная волна распадается с образованием продуктов сгорания газовой смеси. Одновременно с заполнением канала 3 взрывной смесью вводят напыляемый порошок из дозатора 4. На выходе из ствола 3 образуется пламя и поток напыляемых частиц 5 (рис. 2а), попадающий на обрабатываемую деталь (подложку) 6. Управление работой установки ДГН «Катунь М» осуществляется от блока управления 7, который посылает импульсы зажигания на свечу 2 и управляет клапанами подачи газов в детонационную камеру 1. При появлении пламени на выходе из ствола 3, регистрируемого фотодатчиком 8 блок синхронизации 9 вырабатывает импульс, по которому изображение потока напыляемых частиц 5 из цифровой видеокамеры 10 передается в ЭВМ 11 для дальнейшей обработки. В блоке синхронизации 9 предусмотрена возможность осуществлять задержку импульса видеокамеры 10 относительно момента появления пламени на выходе из ствола 3. Задержка осуществляется дискретно по 10 мкс от 0 до 1 мс.

Регулировка режимов работы установки «Катунь М» осуществляется блоком управления (рис. 2б). Блок управления обеспечивает контроль возникновения следующих процессов:

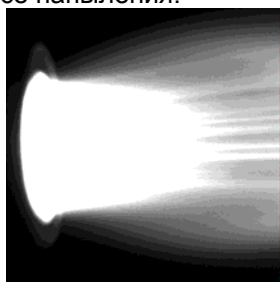
1. обратного удара (в случае возникновения обратного удара перекрываются газовые магистрали и выключается вся установка);
2. подачи воздуха, кислорода, охлаждающей жидкости и циклограммы.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОГЕННОГО ПОТОКА В ПРОЦЕССЕ ДЕТОНАЦИОННО–ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ СВС МАТЕРИАЛАМИ

Функций управления циклограммой:

1. Задание и контроль подачи горючих газов.
2. Управление клапанами, обеспечивающих подачу в напылительный блок горючего газа и окислителя.
3. На блоке управления, имеется возможность выбора соотношения между количеством горючего газа и окислителя.
4. Установка начала и продолжительности момента поднятия иглы порошкового питателя
5. Установка времени задержки между заполнением форкамеры газами и зажиганием
6. Контроль работы вибратора, обеспечивающий перевод смеси порошков во взвешенное состояние

Блок управления позволяет задавать количество циклов в данной серии напыления. Через систему дистанционного управления с блока управления осуществляется контроль работы манипуляторов, предназначенных для изменения положения обрабатываемой детали в процессе напыления.



а)



б)

Рис. 2. а) - изображение пристольного пламени и потока напыляемых частиц; б) - блок управления установки ДГН «Катунь М»

Рабочие характеристики установки: расход рабочих газов, при средней частоте выстрелов в 4 Гц, не более: пропан – бутановая смесь 2 – 3,5 м³/ч, кислород 10 - 12 м³/ч, сжатый воздух 10 – 15 м³/ч, расход воды – 0,25 м³/ч, потребляемая мощность – 3 кВт, производительность – 0,2 – 1,0 м²/ч, скорость потока газов 50 – 2000 м/с, температура газового

потока 1000 – 2650⁰С, частота циклов напыления 1 – 10 Гц, размер частиц напыляемых порошков 10 –250 мкм [2,3,4].

На кафедре Экспериментальной физики совместно с АНИЦПТ АлтГТУ для контроля температурных характеристик импульсных скоростных потоков применяется цифровая система ввода изображения VS-СТТ-285/Х/Е-2001/М, предназначенная для ввода высококачественных изображений в ЭВМ. Система состоит из цифровой камеры, контроллера ввода изображений на шине PCI, вставляемого в PC, и соединительного кабеля длиной 5 метров. Аналого-цифровой преобразователь установлен в камере, что позволяет получать высококачественное изображение [7].

По команде от компьютера камера производит накопление изображения на ПЗС матрице. Сигнал с ПЗС матрицы попадает на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП). АЦП имеет разрешение 10 бит. Перед АЦП стоит программно-управляемый усилитель, который позволяет управлять значением амплитуды сигнала, поступающего на АЦП (0 - 35 db). После этого видеоданные оцифровываются в 10-ти битный код и через вентиляционную матрицу, программируемую пользователем (ППВМ), попадают на приемопередатчики, работающие на кабель «витая пара». Для передачи данных используется 6 витых пар проводников. По этим же приемопередатчикам производится прием команд от контроллера VS2001. Соединительный кабель представляет собой кабель с 8-ю витыми парами. Питание камеры производится также по этому кабелю. Система может производить ввод изображений с различными экспозициями, усилением и режимами синхронизации (таблица 1).

Таблица 1

Технические параметры системы ввода изображения VS-СТТ-285/Х/Е-2001/М

Тип ПЗС матрицы	ICX285AL
Формат изображения	1360*1024
Размер пиксела (мкм)	6.45*6.45
Размер CCD матрицы (мм)	8.8*6.6
Кадровая частота (Гц)	7.7
Тип затвора	Электронный затвор
Время накопления (экспозиция)	35,5мкс-132 с
Пределы регулировки усиления	0 – 30 дБ (до 35 дБ при нелинейной характеристике)
Разрядность оцифровки (бит)	10
Режимы синхронизации	Внутренняя, программная и внешняя

Контроллер V2001 работает последовательно. Сначала он считывает изображение из камеры в свою память, после завершения передачи целого кадра, становится возможным доступ к данным изображения со стороны РС.

Для фотографирования импульсных потоков можно использовать различные виды синхронизации, предусмотренные в системе:

- Внутренняя синхронизация. Камера осуществляет непрерывный ввод изображений в ПЗС матрицу и передачу ее в контроллер. При этом достигается максимально возможная кадровая частота ввода.

- Программный запуск ввода изображения. Камера осуществляет ввод изображения (одного) по команде от компьютера. После этого камера переходит в режим ожидания следующей команды.

- Ввод изображения по внешнему синхроимпульсу. В этом режиме осуществляется ввод одного изображения по внешнему синхроимпульсу, который подается на дополнительный разъем, расположенный на кабеле «контроллер-камера». После этого камера переходит в режим ожидания следующего синхроимпульса.

ПЗС матрица камеры имеет электронный затвор, который позволяет устанавливать экспозиции в диапазоне 35,5 мкс-132 с. При программировании камеры единицами измерения длительности накопления являются длительность кадра и строки. Управление длительностью экспозиции происходит программно с помощью соответствующих функций. Общая экспозиция может быть найдена по формуле:

$$T_{\text{эксп}} = 129000 \cdot TVSS + 121,4 \cdot THSS + 35,5 \text{ (мкс)},$$

где: TVSS - количество кадров накопления от 0 до 1023; THSS - количество строк накопления от 0 до 1067.

Возможность автоматического управления скоростью и температурой потока, точное воздействие на дозировку и состав исходных порошковых материалов, регистрация основных теплофизических параметров дисперсного потока обеспечивают не только стабилизацию и воспроизводимость технологического процесса детонационного напыления, но и определяют высокое качество получаемого продукта (жаропрочность, износостойкость, эрозийную стойкость и др.).

На установке ДГН «Катунь М» проведены эксперименты по регистрации изображе-

ний треков частиц напыляемого порошка (рис. 3). Эксперименты проводились на пропан-бутановой смеси с кислородом (кислород: 70%, пропан: 30%), порошок: электрокорунд (Al_2O_3), композиционные СВС порошки на основе систем TiB_2+Fe , TiB_2+Ni , количество порошка 10 мг.

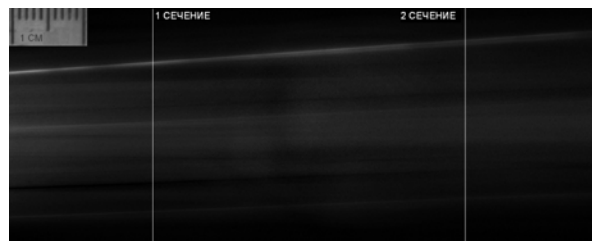


Рис. 3. Изображение треков частиц напыляемого порошка и исследуемые сечения

На рис. 3 сверху виден трек от крупной частицы. Регистрация проводилась при времени экспозиции 160 мкс, с использованием светофильтров на объективе видеокамеры. В центре потока яркость частиц наибольшая, что наблюдается и на графиках яркостей пикселей по сечениям потока (рис. 4). 1 сечение отстоит от среза ствола установки ДГН на 50 мм, между сечениями 44 мм. Наблюдая за изменением яркости крупной частицы, трек от которой расположен вверху изображения (рис. 3), можно сделать вывод, что частица либо разрушается, либо поворачивается в процессе движения. Это приводит к изменению формы и максимального значения самого яркого пика на графиках (рис.4). Также видно изменение яркости частиц потока в центре, где для 1-го сечения максимум, не учитывая резкий пик, составляет 42 градации яркости, а для второго сечения - максимум составляет 37 градаций. Известно, что на измеряемом участке скорость частиц порошка уменьшается [1], что должно приводить к некоторому увеличению яркости пикселей, регистрирующих треки частиц, так как увеличивается время регистрации яркости свечения каждым пикселем ПЗС приемника. Однако уменьшение температуры частиц уменьшает яркость свечения по закону Стефана-Больцмана. Уменьшение скорости и температуры частиц приводит к уменьшению яркости частиц во втором сечении и увеличивает погрешность измерения скорости частиц времяпролетным методом [4, 5]. Одновременное использование времяпролетного метода и регистрации треков частиц составляет систему контроля температурных и скоростных па-

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЕТЕРОГЕННОГО ПОТОКА В ПРОЦЕССЕ ДЕТОНАЦИОННО–ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ СВС МАТЕРИАЛАМИ

раметров гетерогенного потока в процессе детонационно–газового напыления.

Система интегрального оптического контроля дисперснофазных потоков в технологиях детонационно–газового напыления позволяет обеспечить регулировку и управление технологическими параметрами быстропротекающими процессами детонационно–газового напыления в режиме реального времени. Применение приведенной методики значительно расширяет возможности исследования процессов детонационно–газового напыления, позволяет оптимизировать параметры струи для получения покрытий требуемых свойств.

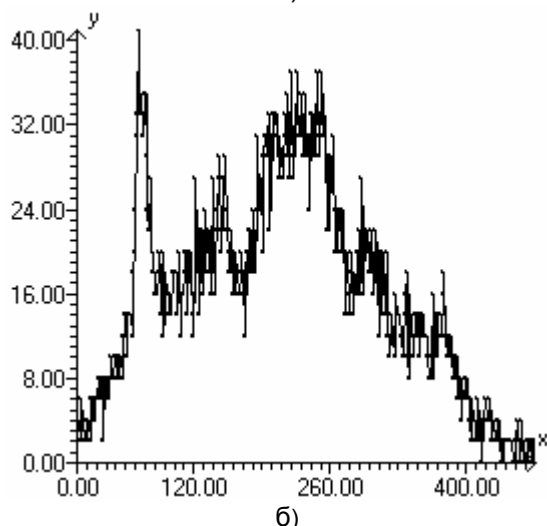
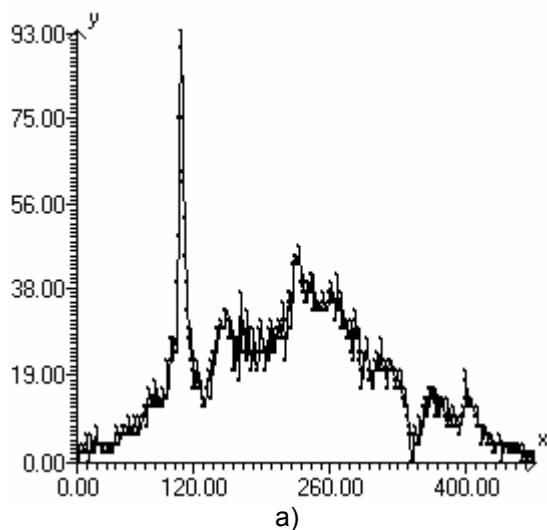


Рис. 4. Яркость пикселей на изображении а) - в первом; б) - втором сечениях

Система контроля температурных и скоростных параметров гетерогенного потока в процессе детонационно–газового напыления дает возможность регистрировать треки частиц, пространственное изменение структуры потока, перераспределение частиц в потоке по его длине, определять распределение яркости частиц в профиле струи на известном расстоянии от среза ствола установка ДГН, и как следствие, произвести контроль распределения частиц по температуре для разных режимов напыления и порошков. Используя калиброванный порошок, возможно выделить в струе частицы с температурой, регламентируемой технологическим процессом, что дает возможность формировать покрытия с прогнозируемыми характеристиками прочности, теплостойкости и другими свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферов В.Н. Порошковая металлургия и напыленные покрытия. Анциферов В.Н., Бобров Г.В., Дружинин Л.К. и др. М.: Металлургия, 1987. 792 с.
2. Харламов Ю.А, Писклов Д.И., Рябошапка Б.Л. Оптимизация детонационно–газовой установки для нанесения покрытий. Защитные покрытия на металлах: 1982. Вып. 16. – С. 62–64.
3. Гуляев П.Ю., Яковлев В.И., Тищенко А.И. и др. Оптимизация режимов двухфазного потока при детонационном восстановлении и упрочнении деталей. // В.сб. материалов научн.–техн. конференции «Современные технологии в машиностроении». – Пенза, 1998. – С. 72–78.
4. Евстигнеев В.В., Гуляев П.Ю., Яковлев В.И. и др. Многоканальная оптическая схема измерения энергетических характеристик частиц в сверхзвуковом газо– детонационном потоке // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Материалы и технологии. – Сб. научн. трудов. – Новосибирск: Наука, 2001. – С.136–139.
5. Евстигнеев В.В., Гуляев П.Ю., Яковлев В.И. и др. Интегральная экспресс – диагностика параметров теплообмена твердой фазы в детонации // Там же. С.172 – 178.
6. Евстигнеев В.В., Гуляев П.Ю., Полторыхин М.В. Шарлаев Е.В. Исследование зависимости параметров дисперсного потока от временных интервалов загрузки порошка в технологический канал при ДГН. I Всерос. научн.-техн. конференция «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях». – г.Бийск. – 2000. – С. 206–207.
7. [Http://www.videoscan.ru](http://www.videoscan.ru)