

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ В ПРОЦЕССАХ ДЕТОНАЦИОННО- ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ СВС-МАТЕРИАЛОВ

В.И.Яковлев

На базе установки для детонационного напыления «Катунь М», разработана оптоэлектронная система измерения параметров высокоскоростной гетерогенной струи, позволяющая с высокой точностью определять распределение скоростей частиц по продольному сечению потока, а также их массовый расход и импульс. Приведенная система диагностики значительно расширяет возможности экспериментального исследования детонационных гетерогенных потоков, а также дает возможность для установления корреляции между входными и выходными параметрами напыления, с целью оптимизации режимов струи.

Введение

Методы упрочнения поверхностей газотермическими способами имеют широкое применение в различных отраслях машиностроения. Одной из наиболее важных проблем является оптимизация режима нанесения покрытий, которая определяется набором взаимосвязанных гидродинамических, теплофизических и физико – химических параметров, следовательно, необходим комплексный подход к процессу измерений в нестационарных высокотемпературных газодисперсных потоках.

Для определения оптимального режима детонационно-газового напыления (ДГН) используется метод многократных пробных напылений [1]. Однако большое количество входных параметров в технологии, часть из которых могут быть неконтролируемыми, приводит к неполной воспроизводимости результата напыления, что отражается на качестве покрытия. Подобный способ является весьма трудоемким, продолжительным и дорогостоящим, часто дающим не полную информацию. Таким образом, создание экспериментально – диагностического комплекса, позволяющего определять выходные температурно – скоростные параметры, является актуальной задачей.

Настоящая работа посвящена разработке методики измерения и созданию устройств для диагностики интегральных скоростных параметров гетерогенных потоков, определению требований к программно – аппаратной части приборов.

Экспериментальное оборудование для исследования процессов массопереноса конденсированной фазы в детонационных потоках

Для детонационно-газового напыления использовалась установка «Катунь-М», состоящая из следующих частей (рис.1). Установка работает в импульсном режиме, согласно сигналам, вырабатываемым блоком управления 1. Каждый цикл начинается подачей горючей смеси пропан-кислород-воздух в определенных пропорциях в течение заданного времени в детонационную камеру 2. Напыляемый материал попадает из дозатора 3, закрепленного на одном из отверстий 4, в ствол 5. После загрузки порошка происходит зажигание горючей смеси свечей 6, при этом происходит синхронизация с цифровой фотокамерой 7, которая получает сигнал, поступающий с многоканальной оптической насадки-8. Сигнал с насадки посредством оптоволоконных кабелей 9 подается на компьютер-10 для дальнейшей обработки характеристик потока. На подложке 11 закреплены магистрали-12 для циркуляции воды, с внутренней стороны расположен нагреватель-13.

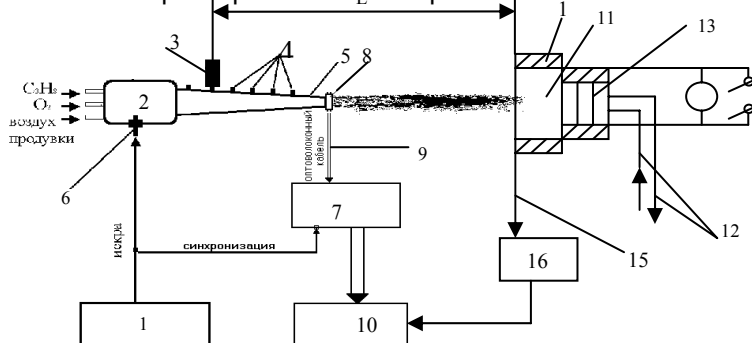


Рис.1. Установка для детонационно-газового напыления «Катунь-М»

Производили теплоизоляцию подложки асбестом, варьируемой толщины 14. В подложку для напыления зачеканена микротермомпара 15, связанная с компьютером через блок АЦП-16 для контроля динамики изменения температуры на поверхности при напылении.



Рис.2. Блок управления установки ДГН «Катунь М»

Блок управления обеспечивает функции:
-контроль обратного удара (в случае возникновения обратного удара перекрываются газовые магистрали и выключается вся установка),

-контроль циклограммы,
-контроль подачи воздуха, кислорода, охлаждающей жидкости,
-задание и контроль подачи горючих газов,

-управление клапанами, обеспечивающих подачу в напылительный блок горючего газа и окислителя,

-на блоке управления, имеется возможность выбора соотношения между количеством горючего газа и окислителя,

-установка начала и продолжительности момента поднятия иглы порошкового питателя,

-установка времени задержки между заполнением форкамеры газами и зажиганием,
-контроль работы вибратора.

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 детали в процессе напыления.

Технические характеристики установки: расход рабочих газов, при средней частоте выстрелов в 4 -5 Гц: 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, произ-

водительность – 0,2 – 1,0 м²/ч. скорость потока газов 50 – 2000м/с, температура газового потока 1000 – 2650⁰С, размер частиц напыляемых порошков 10 –250 мкм.

Таким образом, экспериментальный комплекс, с системами контроля и регулирования процесса детонации, обеспечивает высокое качество нанесения покрытий [2,3,4].

Разработка оптической системы на основе ствольной насадки для интегрального контроля температуры и скорости частиц в импульсном потоке

Изготовлен измеритель скорости и температуры, который использовался в составе экспериментально – диагностического комплекса.

Основой прибора является ствольная насадка, с удаленным блоком первичных оптоэлектронных преобразователей за границы исследовательского бокса, связь с которым осуществлялась посредством светопроводящих волокон. На рис.3 представлена схема проведения исследований с использованием ствольной насадки.

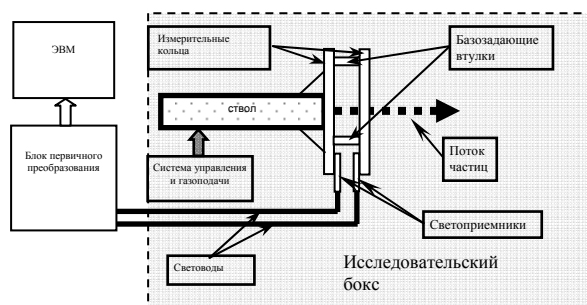


Рис.3. Схема исследований процессов массопереноса дисперсных СВС – материалов в установке детонационного напыления с использованием ствольной насадки

Насадка крепится непосредственно на срез ствола. На ней располагаются два светоприемника, разнесенные на базовое расстояние, рис.4.

Излучение от частиц попадает сначала в поле зрения первого фотоприемника а затем второго (фотоприемники располагаются на одной оси, параллельной оси ствола) и при помощи оптоволокон достигает фотодиодов в блоке первичного преобразования. Базовое расстояние можно изменять с помощью базозадающих втулок Измерительная система имеет схему синхронизации, а также реализована возможность задания времени задержки между импульсом зажигания и моментом начала регистрации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ В ПРОЦЕССАХ ДЕТОНАЦИОННО-ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ СВС-МАТЕРИАЛОВ

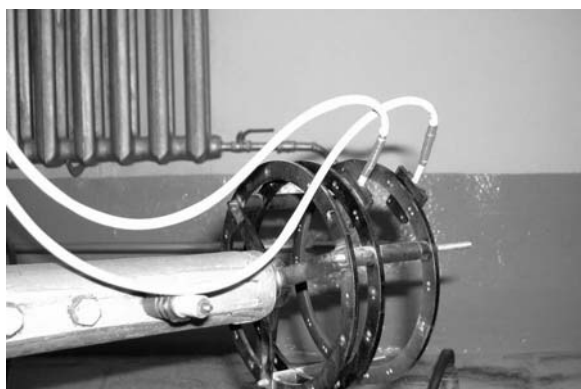


Рис.4 Внешний вид ствольной насадки, установленной на срезе ствола установки «Катунь М» (видны измерительные кольца, с установленными на них светоприемниками и оптоволоконными кабелями)

Для анализа интегральных параметров гетерогенных потоков использовалась плата сбора и обработки данных ЛА – n10M6PCI, включенная в структуру электронного тракта как показано на схеме (рис.5)

Плата имеет следующие характеристики:

1. частота дискретизации до 100 МГц в одноканальном, и до 50 МГц в двухканальном режиме.
2. два однополюсных синхронных аналоговых канала АЦП
3. Входные разъемы BNC
4. Входное сопротивление – 1 МОм, емкость 30 пФ
5. Полоса пропускания (ЗДБ) – 50 МГц
6. Максимальное входное напряжение – 5кВ
7. Объем буфера памяти – 256 Кбайт (128Кбайт на канал)
8. Разрешение 8 бит
9. Шина интерфейса ПК – PCI

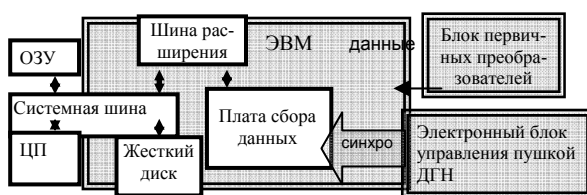


Рис.5. Блок – схема электронного канала компьютерной обработки данных

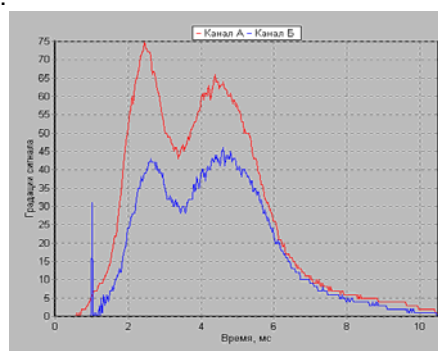
Экспериментальное исследование скоростных характеристик порошковых материалов при детонационном напылении

Возможность автоматического управления скоростью и температурой потока, точное воздействие на дозировку и состав исходных

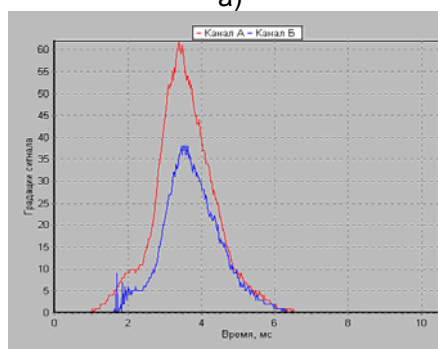
ПОЛУНОВСКИЙ ВЕСТНИК №4-1 2005

порошковых материалов, регистрация основных теплофизических параметров дисперсного потока обеспечивают не только стабилизацию и воспроизводимость технологического процесса детонационного напыления, но и определяет высокое качество получаемого продукта (жаропрочность, износостойкость, эрозийную стойкость и др.).

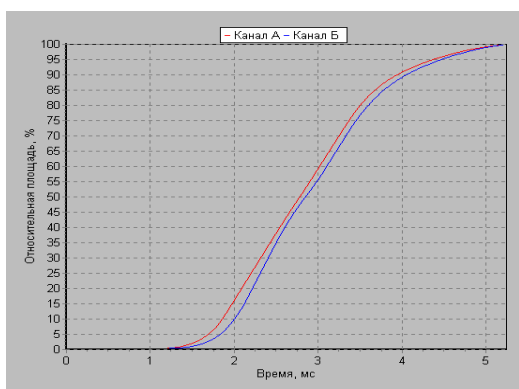
В лаборатории ПНИЛ СВС АлтГТУ на установке ДГН «Катунь М» проведены эксперименты по поиску режимов детонационного напыления, при которых осуществляется максимальный разгон конденсированной фазы потока. Для этого в стволе УДГН было изготовлено девять технологических отверстий, с шагом 50 мм. В отверстиях закреплялся порошковый питатель. Эксперименты по измерению скорости потока 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. Измерение скорости проводилось при помощи ствольной насадки, прибора ИСТ 2.4, и платы сбора и обработки данных. На выходе блока первичного преобразования прибора ИСТ 2.4 имеем два аналоговых сигнала, преобразуемые в цифровой вид платой сбора данных. Представленные на рис. 6 графики относительной интенсивности свечения конденсированной фазы потока могут быть как одно, так и двухмодального вида.



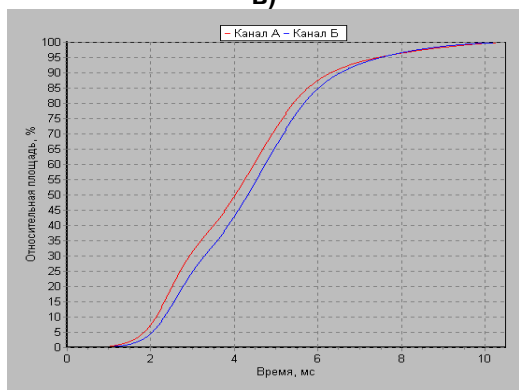
а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Различные виды сигналов, регистрируемые оптоэлектронной системой ИСТ: а, б – двухмодальное (стратификация порошка), в, г – компактная загрузка

Форма сигнала зависит от множества параметров и заранее предсказать ее невозможно, однако в установившемся режиме напыления наблюдается устойчивое повторение вида и амплитуды сигнала, что указывает на идентичность законов формирования и стабилизации детонационного потока в одной серии от выстрела к выстрелу. Методика оценки интегральных скоростных характеристик конденсированной фазы основывается на нахождении скорости через отношение интенсивности потока (числа частиц, прошедших через измерительное сечение за единицу времени) к плотности потока (2) (отношение разности числа входящих и выходящих частиц к расстоянию между сечениями регистрации) [5].

$$v = \mu / \rho_{\text{пор}} \quad (2)$$

С другой стороны скорость определяется как интеграл от фототока (3)

$$v_1 = \frac{\Delta l}{\Delta t_{\text{КВ}}} \frac{\int_0^t \Delta J_{1-2}(\tau) d\tau}{J_1(t)}; v_2 = \frac{\Delta l}{\Delta t_{\text{КВ}}} \frac{\int_0^t \Delta J_{1-2}(\tau) d\tau}{J_2(t)} \quad (3)$$

где v_1, v_2 – скорости при прохождении потоком первого и второго сечения соответ-

венно, Δl – ширина сечения регистрации, $\Delta t_{\text{КВ}}$ – длительность импульса, ΔJ_{12} – разность интенсивностей сигналов, прошедших через сечения. Поэтому, проинтегрировав графически по рис.6 сигналы самосвечения в первом и во втором сечениях (рис. 7), получим расходные характеристики потока: $\Delta S/S = \frac{\int_0^t \Delta J_{1-2}(\tau) d\tau}{J_1(t)}$ (для сечения 1).

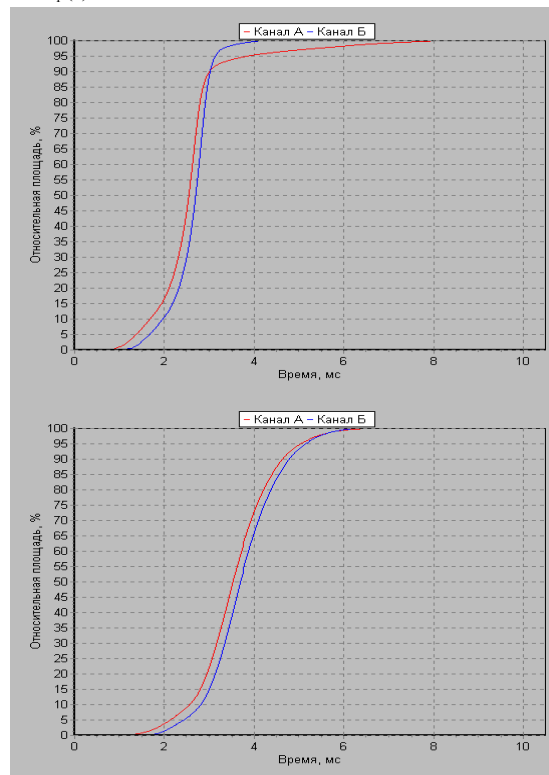


Рис. 7. Расходные характеристики (соответствующие сигналам рис. 6.), как интеграл от относительной интенсивности

По этим характеристикам можно судить о количестве порошка прошедшего через первое и второе сечение оптоэлектронного тракта, а также отсекая горизонтальной прямой на различных уровнях, получаем возможность определить время прохода через базовое расстояние определенной доли частиц.

На рис. 8 представлены, полученные в ходе одного выстрела, графики зависимостей скорости, импульса и относительной массы частиц детонационного потока.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ В ПРОЦЕССАХ ДЕ-ТОНАЦИОННО-ГАЗОВОГО НАПЫЛЕНИЯ СВС-МАТЕРИАЛОВ

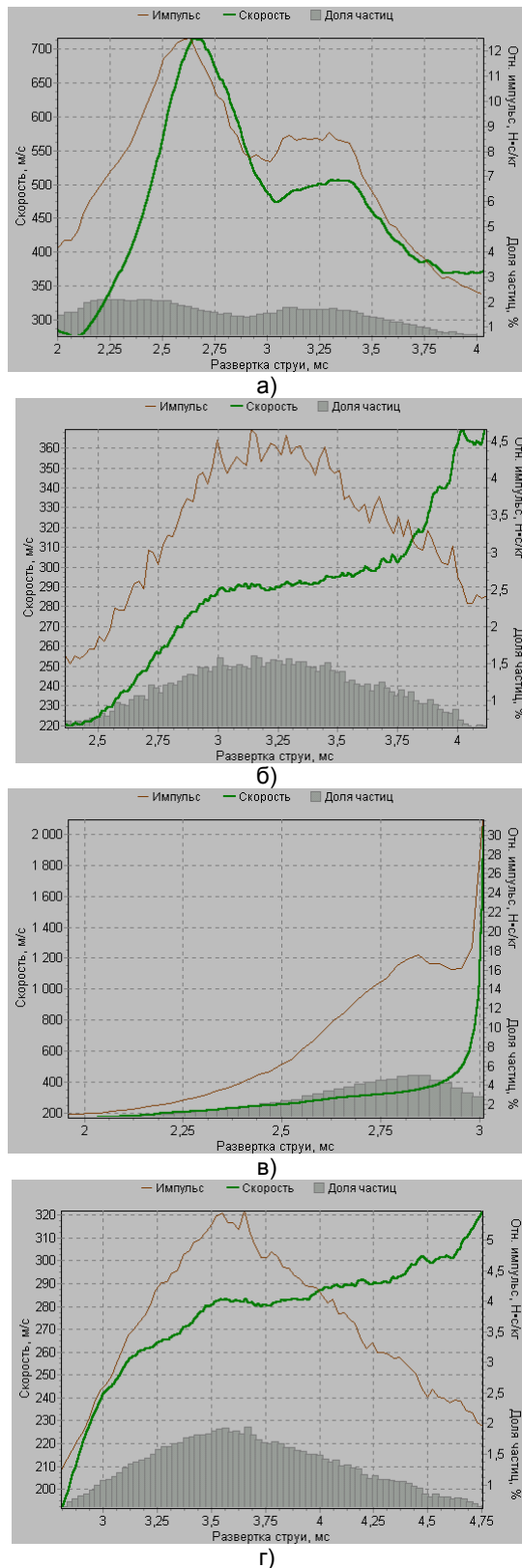
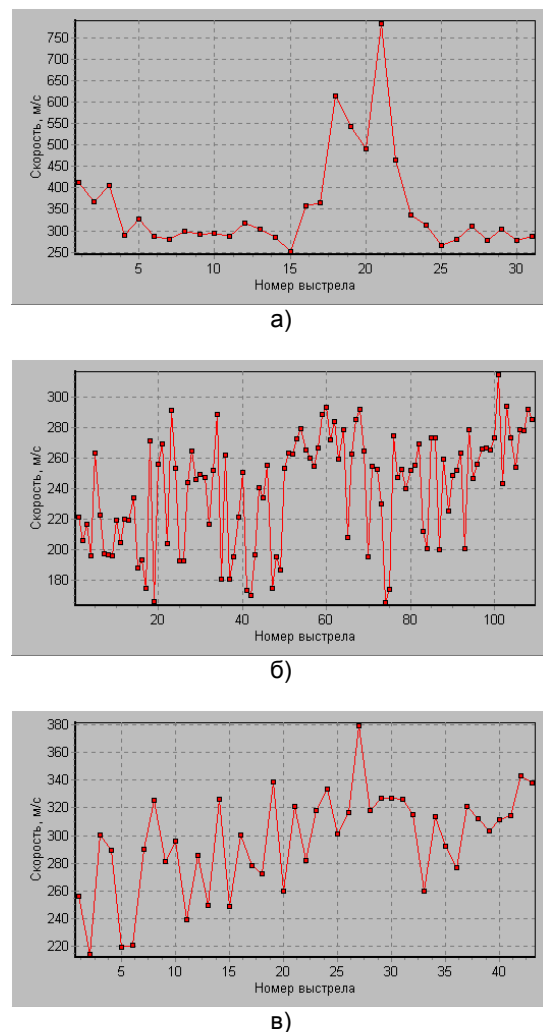
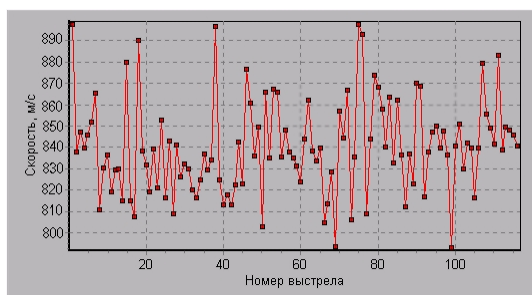


Рис. 8. Графики скорости, импульса и относительной массы потока для разных режимов напыления

Скорость потока в каждый момент времени рассчитывалась путем деления базового расстояния на время транспортной задержки, определяемое по расходным характеристикам, после прохождения фиксированной доли порошка. Видно, что как и в случае (рис.6) двухмодального распределения относительной интенсивности потока, скорость на графике имеет также два максимума. Появление точки пересечения на графике расходной характеристики (рис.7.) привело к физически нереализуемым результатам, отраженным на рис. 4.3 в виде неограниченного роста графика скорости в конечной области зависимости. Выход из создавшейся ситуации нашли в накоплении большого объема данных. По зарегистрированному в каждом выстреле распределению скоростей находили среднюю скорость потока, после чего с помощью программного комплекса, строили график средней скорости (рис. 9).





д)

Рис. 9. Скорость частиц конденсированной фазы для множества выстрелов

Таким образом, по статистическому набору значений средних скоростей выстрелов имеется возможность отслеживать среднюю скорость детонационного потока. Ясно, что при резком отклонении средней скорости от тренда в течении нескольких выстрелов следует изменить некоторые входные параметры и тем самым получаем обратную связь входных параметров газоподачи с выходными параметрами потока.

Произведя по описанной выше методике серию экспериментов, направленную на выявление зависимости средней скорости от координаты подачи порошка в ствол установки, был получен график, представленный на рис.10.

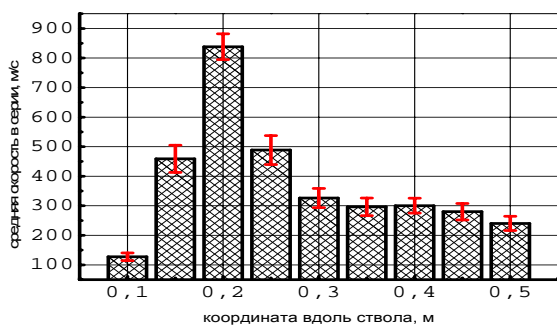


Рис. 10. Зависимость средней скорости частиц порошка от положения инжекционного дозатора, устанавливаемого на стволе УДГН

Анализируя приведенную экспериментальную зависимость, можно отметить, что график средней скорости конденсированной фазы детонационного потока имеет явно выраженный максимум, приходящийся на значение координаты, равной 0,2 м от среза ствола. При этом скорость частиц, метаемых установкой ДГН, лежит в пределах 800-900 м/с. Следует отметить, что измерения проводились после выхода струи в затопленное пространство, имеющее нормальные условия, а именно

давление 101 кПа. Таким образом, можно говорить о сверхзвуковых скоростях напыления.

Выводы

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. Быстродействующее оптоэлектронное обеспечение установки дает возможность измерения скорости вдоль сечения потока, а также определения концентрации порошка и его импульса, что дает полную информацию для проведения корреляционного анализа характеристик частиц по продольному сечению струи и параметров дозирующих устройств. Применение разработанного метода позволяет фиксировать изменение скорости вдоль потока в интервале 10 – 1000 м/с. Таким образом, применение приведенной методики значительно расширяет возможности исследования процессов детонационно-газового напыления, позволяет оптимизировать параметры струи для получения качественных покрытий.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Гуляев П.Ю., Яковлев В.И., Тищенко А.И. и др. Оптимизация режимов двухфазного потока при детонационном восстановлении и упрочнении деталей. // В.сб. материалов науч.-техн. конференции «Современные технологии в машиностроении». – Пенза, 1998. – С. 72 – 78.
3. 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.
4. 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.
5. 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.