

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТЕЙ ЧАСТИЦ В ИМПУЛЬСНОМ ПОТОКЕ ДЕТОНАЦИОННОГО НАПЫЛЕНИЯ ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ НА ТИТАНОВУЮ ОСНОВУ

А. А. Попова, В. И. Яковлев, А. А. Ситников

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул, Россия

Получение наиболее качественных покрытий из всех методов газотермического напыления обеспечивают высокоскоростные потоки частиц детонационно-газового напыления (ДГН). 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 в импульсных высокотемпературных газодисперсных потоках частиц.

Для выхода на оптимальный режим ДГН используется метод многократных пробных напылений. 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 стенда, позволяющего определять выходные скоростные параметры.

Целью данной работы является определение экспериментальных значений скорости частиц гидроксиапатита кальция в потоке детонационно-газового напыления

В качестве материала использовался порошок гидроксиапатита кальция размером 50-100 мкм. Нанесение покрытий на титановые пластины (BT-1.0) размером 20x20x3 мм произведено на детонационно-газовой установке «Катунь-М»[1].

Разработанный в Алтайском государственном техническом университете им И.И. Ползунова экспериментальный стенд визуального исследования параметров потока частиц при детонационном напылении покрытий, позволяет в масштабе реального времени контролировать скорости частиц потока. Скорости частиц в импульсном потоке дето-

национного напыления измеряются PTV методом (PTV, Particle Tracking Velocimetry – измерение скорости по трассерам частиц) [2].

Программа расчета длины трассеров написана на языке Pascal в среде Delphi 6.0. На начальном этапе оператор устанавливает начальное сечение, в котором производится анализ яркости пикселей, соответствующее положению среза ствола детонационной установки. Здесь же задается порог уровня перепада яркости, соответствующего конечному значению координаты трассера.

Погрешность определения длины трека зависит от кратности увеличения оптической системы и погрешности расчета длины по пикселям. Для используемого объектива Индустар-61Л/3-МС и расстояния до импульсного дисперсного потока 1 м, масштаб изображения составлял 69 ± 4 пикселя на 0,01 м изображения или 8 % относительной погрешности.

Зная масштаб изображения, по длине треков частиц и времени экспозиции $T_{\text{нак}}=160$ мкс определялась скорость частиц в потоке, которая составила 400 м/с для времени $T=1-5$ мс, через каждые 500 мкс. На рисунке 1 приводится пример изображения треков частиц потока с рассчитанной скоростью.

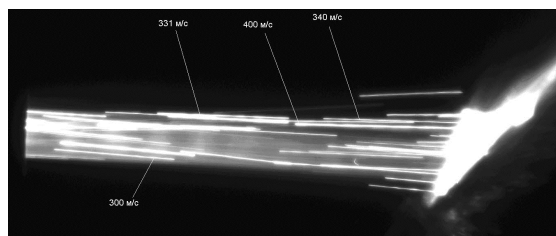


Рисунок 1 – Изображения треков частиц ($T_{\text{нак}}=160$ мкс, $T_k=4$ мс)

Рассчитывая длину трека, в данной работе предполагается, что трек остается от одной частицы. Толщина некоторых треков на изображении больше диаметра частиц ис-

пользуемого порошка, что может объясняться параллаксом оптической системы камеры. Некоторые треки имеют периодически повторяющиеся пульсации яркости, что объясняется вращением частиц вокруг своей оси, параллельной оси потока, обусловленное форм-фактором частиц. Приведенные выше утверждения носят гипотетический характер и подлежат дальнейшим исследованиям.

На рисунке 2 приведено значение средней скорости частиц в потоке ДГН по времени цикла напыления. Измерения проводились по длине треков частиц с учетом выше отмеченных допущений. Каждая точка рассчитывалась как среднее значение по трем – пяти трекам на изображении. Из графика видно, что в начале цикла напыления скорости возрастают до 400 м/с к $T_k=1$ мс, при T_k от 1 до 4,5 мс практически сохраняют свое значение около 400 м/с и после $T_k=4,5$ мс в конце цикла напыления – убывают.

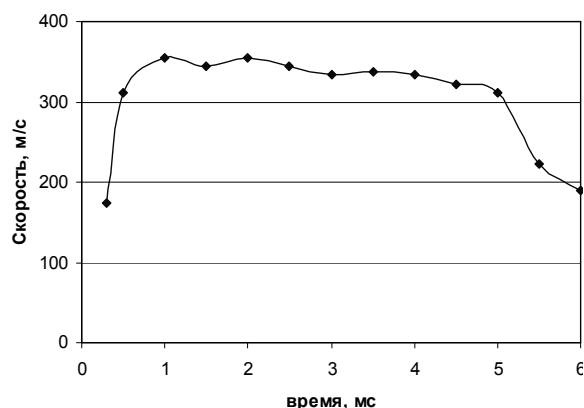


Рисунок 2 – Экспериментальные значения скорости частиц в потоке ДГН

На рисунке 3 приводится гистограмма распределения скоростей частиц на изображении импульсного детонационного потока (рис.1). На изображении удалось обнаружить 27 треков, по которым средняя скорость частиц составила 341,4 м/с.

Погрешность определения длины трека зависит от кратности увеличения оптической системы и погрешности расчета длины по пикселям. Для используемого объектива Индустар-61Л/3-МС и расстояния до импульсного дисперсного потока 1 м, масштаб изображения составлял 69 ± 4 пикселя на 0,01 м изображения с 8 % относительной погрешностью.

В тоже время разработка оптимальных технологических процессов напыления должна выполняться с учетом рационального со-

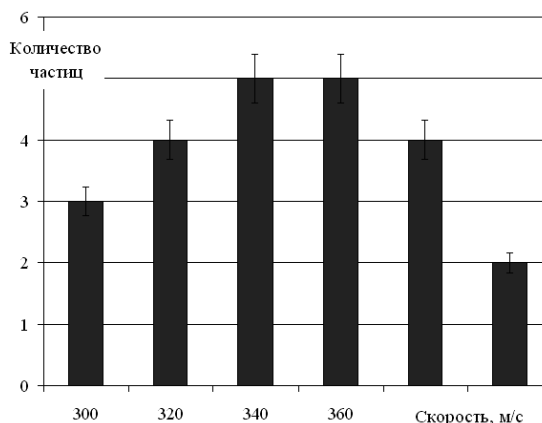


Рисунок 3 – Гистограмма скоростей частиц импульсного дисперсного потока напыления частиц установкой «Катунь М»

отношения между скоростью и температурой напыляемых частиц.[3] Известно, что свойства покрытий в ряде случаев улучшаются при разбавлении детонирующей смеси азотом и при увеличении дистанции напыления, хотя и то, и другое приводит к уменьшению скорости частиц. Таким образом, обычно нельзя оптимизировать процесс напыления по величине скорости частиц. Необходимо использовать комплексный критерий, учитывающий агрегатное состояние частиц, скоростные, тепловые и концентрационные характеристики процесса.

Выводы

1. Определены экспериментальные значения скорости частиц в потоке ДГН. В начале цикла напыления скорости возрастают до 400 м/с к $T_k=1$ мс, при T_k от 1 до 4,5 мс практически сохраняют свое значение около 400 м/с и после $T_k=4,5$ мс в конце цикла напыления – убывают.
2. Выявлена средняя скорость частиц гидроксиапатита кальция 341,4 м/с.

Список литературы:

1. Яковлев В. И. Экспериментально-диагностический комплекс для физических исследований порошковых СВС-материалов при детонационном напылении : Автореф. дис. канд. техн. наук. – Барнаул, АлтГТУ, 2003. – 19 с.
2. Способ определения скоростей частиц в продуктах детонации и взрыва / Гуляев П. Ю., Евстигнеев В. В., Яковлев В. И., Полторыхин М. В., Шарлаев Е. В // Патент РФ № 2193781, на изобретение по заявке № 2000125631/28, приоритет от 11.10.00.
3. Скорость порошка при детонационном напылении покрытий / А.Л. Борисова, В. С. Клименко, В. Г. Скадин, С. Ю. Шаривкер. // Порошковая металлургия. – 1979. – № 1. – С. 29–31.