

УДК 691.793.7

М.Г. МАСЛЮКОВ, С.В. СЕРГЕЕВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ОБ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЯХ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ДЕТОНАЦИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ МЕТОДОМ

Рассматривается механизм магнитогазодинамического ускорения порошка в коаксиальном стволе. На основе математического моделирования были получены распределения параметров за волной детонации и значения скорости, температуры для исследуемой частицы. На основе данных математического моделирования были получены энергетические характеристики предложенного метода, которые на порядок выше, чем показатели для детонационного. Несмотря на такие высокие показатели, метод обладает массой минусов, по энергетическим затратам. Рассмотрев проблему энергозатрат, была предложена модифицированная схема, позволяющая более эффективно использовать затрачиваемую энергию.

Ключевые слова: покрытия, нанесение покрытий, ускорение частиц порошка, Т-слой, плазменный ускоритель.

Введение

По сравнению с существующими методами нанесения покрытий, газотермические методы, имеют ряд преимуществ, которые способствуют более широкому внедрению их в производство. Методу присуще: нанесения порошков различных составов (титана, керамики, пластмассы, композиционных порошков) получая покрытия с заданными физико-механическими свойствами; ограниченное тепловое воздействие; возможность нанесение слоев толщиной от 5 мкм до нескольких миллиметров, как на отдельных участках, так и по всей поверхности. Поэтому стоит не останавливаться на полученных результатах и идти дальше по направлению усовершенствования методов нанесения покрытий.

Детонационно-плазменное напыление

Рассмотрев существующие способы нанесения, покрытий, было принято решение о разработке нового метода. Основой стал детонационный метод, с увеличенными энергетическими характеристиками за счет подвода электрической энергии в зону детонации. Как известно от показателей энергии частиц напрямую зависит прочность и долговечность нанесенного покрытия. Для увеличения энергии частицы необходимо увеличить ее кинетическую энергию или же внутреннюю тепловую энергию. Но, как показывает практика, чрезмерное увеличение внутренней тепловой энергии приводит к образованию на подложке пористостей и быстрому ее окислению, что ухудшает адгезию следующего слоя наносимого

порошка. Потому целесообразней разгонять поток в ускорителе. Ускорение потока рабочего газа в канале ствола пушки, реализуется с помощью электродинамической силы Ампера, возникающей при взаимодействии магнитного поля, электрического тока протекающего через направляющие электроды коаксиального типа и собственным магнитным полем электрического тока, протекающего через плазму [1]. В этой схеме электроэнергия внешнего источника преобразуется в кинетическую энергию и, в принципе, здесь нет ограничений на скорость. За фронтом детонационной волны, проходящей через ускоритель, в зоне химической реакции, возникают благоприятные условия для ионизации и последующего образования плазмы. По плазменным слоям течет ток от внешнего источника напряжения и его взаимодействие с магнитным полем создает в плазме эффект плазменного поршня, толкающего газовый поток. Сильное гидромагнитное взаимодействие плазменного поршня с магнитным полем и газовым потоком приводит к известному магнитогазодинамическому эффекту, называемому Т-слоем. Т-слой является стабильной фазой развития перегретой неустойчивости и представляет собой сильный дуговой разряд, в котором джоулева диссипация уравновешена радиационными потерями энергии. Кроме этого, на Т-слое устанавливается равновесие сил Ампера и перепада газодинамического давления. Таким образом, поток будет не только разогнан, но и подогрет до значительных температур, что непосредственно увеличит запас энергии частиц. Конструктивная схема представлена на рис. 1.

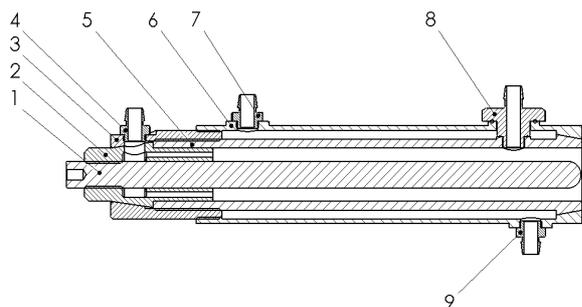


Рис. 1. Схематическая конструкция плазменного ускорителя:

- 1 – центральный электрод (катод); 2 – изолятор;
- 3 – заглушка; 4 – штуцер подачи рабочего газа;
- 5 – электрод-ствол(анод); 6 – кожух охлаждения;
- 7 – штуцер входа системы охлаждения;
- 8 – штуцер подачи порошка; 9 – штуцер выхода системы охлаждения

В качестве исходной горючей смеси была использована кислородно-водородная смесь. После моделирования магнитогазодинамических процессов [2] в ускорителе, были получены распределения термодинамических параметров по всему стволу. Используя которые, покажем ускорение и нагрев частицы в процессе детонации и вылета ее из ствола [3]. Рис. 2 иллюстрирует процесс захвата и ускорения частицы порошка потоком газа. L – длина ствола, S – место загрузки порошка, x_n – перемещение частицы, V_n – скорость частицы, U_n – скорость потока продуктов детонации в точке взаимодействия с частицей, U_3 – скорость продуктов детонации за волной химической реакции.

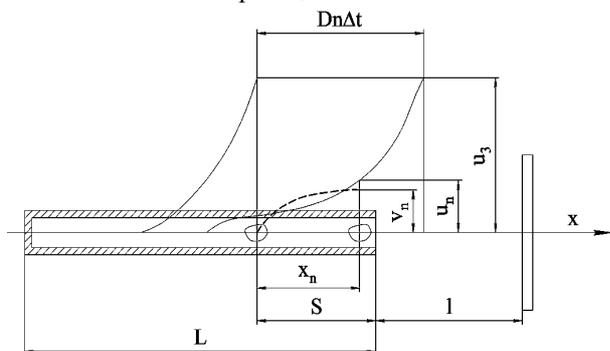


Рис. 2. Схема ускорения частицы порошка к моменту $n\Delta t$

По результатам математического моделирования, частица из стали 45, диаметром 30 мкм, на момент вылета из ствола, достигла скорости в 2500 м/с и средней температуры, в 1385°K. По полученным данным найдем энергию частицы из уравнения

$$E = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho \left(cdT + \frac{v^2}{2} \right). \quad (1)$$

Полученные значения энергии составляют $E = 4,6E-10^{-4}$ Дж. Для сравнения приведём значения

энергии частицы для детонационного метода $E = 5,2E-10^{-5}$ Дж. Как видно, показатели энергии магнитогазодинамического и детонационного методов, отличаются почти на порядок. Для получения таких показателей энергии, необходимы большие значения импульсного тока, для этого будем использовать конденсаторные батареи [4]. Энергию, необходимую затратить на ускорения частиц порошка, определяется из выражения $E = CU^2/2$. Согласно расчетным значениям емкости конденсатора (4000 мкф) и напряжения на его обкладках (5000 В), затрачиваемая энергия на ускорение составит 50 кДж. Найдем массу загружаемого порошка, исходя из допущения на детонацию в двухфазной среде, гласящее, что принятое расстояние между соседними частицами должно быть не менее 10 диаметров. Известно, что подача порошка осуществляется на расстоянии 10% общей длины, от среза ствола, т.е. 10% объем ствола. Через соотношение объема газа и частиц, определим количество последних:

$$E = \frac{0,1l\pi(R_a^2 - R_k^2)}{\frac{4}{3}\pi(r + 20r)^3}, \quad (2)$$

где l – длина ствола; R_a, R_k – радиусы анода и катода соответственно, r – радиус частицы порошка. Масса загружаемого и наносимого на поверхность детали порошка, будет равно произведению массы частицы на их количество $m_{pwd} = (4/3)N_q\pi r^3\rho$ и составит 0,234 грамм.

У представленной схемы ускорителя есть существенный недостаток. Для получения нужных ускорений, необходимо применять ток разряда в 100кА, т.к. ускоряющая сила Ампера пропорциональна квадрату тока и при $I < 1000$ А роль силы Ампера становится меньше, чем газокINETическое давление, потому ускоритель превратится в обычный плазматрон. Чтобы увеличить эффективность ускорителя при малых мощностях, в рабочем канале создают внешнее магнитное поле с помощью катушки индуктивности (рис. 3).

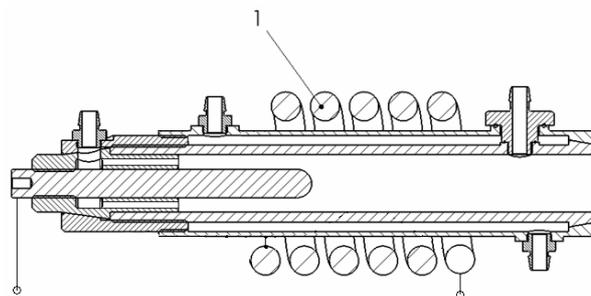


Рис. 3. Ускоритель с дополнительной катушкой(1) индуктивности в осевом разрезе

Импульс разрядного тока порождает осевой магнитное поле, которое индуцирует радиусные токи, и те в свою очередь порождают свое магнитное поле, взаимодействующее с полем катушки, стремясь втянуть токовую область в центр соленоида. Пройдя центральное положение соленоида, магнитное поле начнет наоборот тормозить поток, стремясь втянуть поток обратно в центр. Для предотвращения такого эффекта, необходимо использовать емкость конденсаторов, чтоб хватало разряда только до этого момента прохождения середины соленоида, или же укоротить катод до нужной длины (рис. 3). Тем самым получим дополнительное ускорение за счет полей самоиндукции

Заключение

Теоритическое изучение нового предложенного метода нанесения покрытий, показало интересные результаты для дальнейшего исследования в этом

направлении. Также были показаны недостатки, связанные с представленной схемой и предложены пути их решения. В дальнейшем планируется дальнейшей изучить явления, происходящие в Т-слое, для получения достоверных результатов.

Литература

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм. – М.: Наука, 1957. – 620 с.
2. Самарский А.А. Разностные методы в решении задач газовой динамики / А.А. Самарский, У.П. Попов. – М.: Наука, 1992. – 424 с.
3. Шоршоров М.Х. Физико-химические основы детонационно-газового напыления покрытий / М.Х. Шоршоров, Ю.А. Харламов. – М.: Наука, 1978. – 227 с.
4. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / Л.А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1978. – 528 с.

Поступила в редакцию 1.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зам. директора по научной работе А.Я. Мовшович, НПП “Оснастка”, Харьков, Украина.

ПРО ЕНЕРГЕТИЧНІ МОЖЛИВОСТІ НАНЕСЕННЯ ПОКРИТТІВ ДЕТОНАЦІЙНО-ПЛАЗМОВИМ МЕТОДОМ

М.Г. Маслюков, С.В. Сергеев

Розглядається механізм магнітогазодинамічні прискорення порошку в коаксіальному стовбурі. На основі математичного моделювання були отримані розподілу параметрів за хвилею детонації і значення швидкості, температури для досліджуваної частинки. На основі даних математичного моделювання були отримані енергетичні характеристики запропонованого методу, які на порядок вище, ніж показники для детонаційного. Незважаючи на такі високі показники, метод має масу мінусів, з енергетичних витрат. Розглянувши проблему енерговитрат, була запропонована модифікована схема, що дозволяє більш ефективно використовувати затрачену енергію.

Ключові слова: покриття, нанесення покриттів, прискорення частинок порошку, Т-шар, плазмовий прискорювач.

THE ENERGY THE POSSIBILITY OF COATINGS DETONATION PLASMA METHOD

M. G. Maslyukov, S. V. Sergeev

The mechanism of acceleration magnetogasdynamic powder in coaxial barrel. Based on mathematical modeling of the distribution parameters were obtained for the detonation wave and the values of velocity, temperature of the investigated particles. On the basis of mathematical modeling energy characteristics were obtained by the proposed method, which is much higher than the rates for detonation. Despite these high rates, the method has a mass of cons on energy costs. Consider the problem of energy, was proposed a modified scheme, allowing more efficient use of energy expended.

Key words: coating, coating, accelerating the powder particles, the T-layer, plasma accelerator.

Маслюков Михаил Геннадиевич – инженер 3 категории кафедры технологии производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: maslyukov@inbox.ru.

Сергеев Сергей Валерьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры технологии производства авиационных двигателей Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: sergeyev72@gmail.com.