

Тогда продолжительность полета t и дальность полета L находятся по формулам

$$t = \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sin \varphi}{g}, \quad (2)$$

$$L = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\varphi}{g} \quad (3)$$

Результаты расчета сводим в таблицу 1.

Результаты расчета показывают, что наибольшее удаление брызг от шва средних (диаметром 0,8-1,0 мм) и крупных (до 2,5 мм и более) составляют 100 мм.

Направление полета капли имеет случайный характер. Как теоретически, так и опытным путем определено, что капли разлетаются во всех направлениях.

При относительно равномерном разбрызгивании во все стороны и при движущемся источнике нагрева равномерное покрытие брызгами на полосе от шва шириной в 100 мм не наблюдается. Наибольшее количество брызг наблюдается на полосе в 60-70 мм от центра шва. Это соответствует сектору, наиболее густо перекрытому возможными траекториями полета, падение капель подчиняется нормальному закону и составляет 2/3 от общей ширины полосы. На расстоянии от центра шва 70-100 мм наблюдаются отдельные брызги.

Результаты данной работы позволяют разработать мероприятия по защите поверхностей от налипания электродного металла от брызг и тем самым существенно снизить трудозатраты на последующую обработку изделий.

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цырлин М. И. , Родченко Д. А.

Белорусский государственный университет транспорта

Процесс плазменного напыления является сложным и многофакторным. Высокие температуры и скорости протекания теплофизических и динамических процессов в плазменной струе создают сложность в оптимизации технологических режимов получения материалов и покрытий [1].

Одним из эффективных путей решения проблемы совершенствования существующих и разработки новых технологий плазменного напыления является применение методов компьютерного моделирования процесса, при котором возможно получение максимального объема информации об изучаемом процессе при минимуме экспериментальных исследований.

В основу разработки математической модели положена разбивка плазменного процесса на несколько основных стадий, сквозная передача данных с одной стадии на другую и их синтез. Входными параметрами 1-ой стадии процесса, включающей генерацию плазменной струи, являются: тип установки, энергетические параметры, конструкция плазмотрона, состав, температура и расход плазмообразующего газа на входе в плазмотрон. На выходе стадии генерации - распределение температур и скорости струи. Задача математического описания первой стадии процесса напыления по определению температуры вдоль струи для различных типов установок и плазмотронов на данном этапе решена с применением двухмерной аппроксимации экспериментальных данных. Аналитические зависимости температуры несущего потока (T_p) от осевой координаты струи получены из экспериментальных данных с помощью программы statgraf.

Скорость плазменной струи определялась из выражения [2]

$$w_f = w_g \frac{T_f}{T_a}$$

где w_g , T_g - скорость и температура плазмообразующего газа на входе в плазмотрон.

Данные о температуре, скорости плазменной струи вместе с информацией о природе осаждаемых частиц, дисперсности и их расходе, дистанции ввода и напыления являются входными для второй стадии процесса (ввода распыляемого порошка в плазменную струю, его нагреве и ускорении). На выходе этой стадии - массив данных о распределении во времени и пространстве температур и скорости частиц, полноте оплавления.

Аналитические выражения для расчета скорости частицы (w_p) и ее координаты как функции времени определены из закона Ньютона, описывающего взаимодействие высокоскоростной плазменной струи с вводными в нее частицами порошка

$$m_p \frac{dw_p}{dt} = \sum F,$$

где m_p - масса частицы; $\sum F$ - сумма сил, действующих на частицу в плаз-

менной струе, основной из которых является сила аэродинамического сопротивления.

Задача нагрева полимерных частиц решалась из условий лучистого и конвективного теплообмена при ламинарном режиме обтекания с учетом текущей координаты и полученной базы данных двухмерного распределения скорости и температуры плазменной струи. Решение теплофизической задачи для полимерных материалов составляет значительную сложность за счет градиента температур вдоль радиуса частицы вследствие низкого коэффициента теплопроводности полимера, агломерирования мелких частиц при осаждении плазменной струей, наличия, помимо температур плавления, характерных температур текучести и интенсивных потерь массы с узким интервалом между ними [3].

Исследование нагрева, плавления сферической частицы при ее движении в высокотемпературной газовой среде с известным полем скоростей и температур сводится к решению уравнения нестационарной теплопроводности [4]

$$\frac{dw_{сп}}{dt} = \frac{3}{8} C_D \frac{r_f}{r_p} |w_f - w_p|(w_f - w_{сп}),$$

где $C_D = \varphi(Re_p)$ - коэффициент аэродинамического сопротивления сферической частицы; $Re_p = 2r_f r_p |w_f - w_p|/h^*$ - число Рейнольдса, построенное по относительной скорости частицы; $h^* = [h(T_{p,гр}) h(T_f)]^{1/2}$ - приведенная динамическая вязкость газа; $T_{p,гр}$ - температура внешней поверхности частицы; T_f - температура несущего потока; r_f - плотность газа при средней температуре между температурой поверхности частицы и локальной температурой несущего потока; r_p - плотность материала частицы; r_p - ее радиус.

Температурное поле внутри частицы определялось из уравнения нестационарной теплопроводности

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho_p c_p T_p = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 \lambda_p \frac{\partial T_p}{\partial r}, \quad 0 < r < r_p,$$

где λ_p, c_p - теплопроводность и удельная теплоемкость частицы.

Найденная температура и скорость частиц в момент столкновения о подложку, вместе с данными о длительности осаждения, скорости или законе перемещения плазмотрона, типе подложки (материале, свойстве и шероховатости) служат входными для стадии взаимодействия плазменной струи и расплавленных частиц порошка с основанием.

В момент попадания частиц на поверхность происходит удар частицы о твердую поверхность и ее деформация, растекание частицы по поверхности, слияние, коалесценция частиц.

Результатами моделирования 3-й стадии процесса являются информация о характере деформирования расплавленных частиц порошка при встрече с основанием, форма, толщина напыляемого покрытия, пористость, прочность адгезионного соединения и др.

Таким образом, предложена концепция комплексного моделирования процесса плазменного напыления полимерных материалов, объединяющего математические модели всех стадий процесса, базу данных характеристик плазменных установок, свойств плазмообразующих газов, материалов покрытий.

Литература

1. Донской А.В., Клубникин В.С. Электроплазменные процессы и установки в машиностроении. Л. : Машиностроение. 1979. 221 с.
2. Иванов Е.М. Инженерный расчет теплофизических процессов при плазменном напылении. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та. 1983. 140 с.
3. Родченко Д.А., Ковальков А.Н. О нагреве полимерных частиц при распылении плазменной струей // Известия ВУЗов. Машиностроение. 1985. № 4. С. 108-113.
4. Нанесение покрытий плазмой / В.В.Кудинов, П.Ю.Пекшев, В.Е.Белощенко и др. М.: Наука. 1990. 408 с.

ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Цырлин М. И.

Белорусский государственный университет транспорта

Одним из перспективных методов получения покрытий из порошковых полимерных материалов является плазменное напыление. Напыление с помощью низкотемпературной плазмы позволяет значительно сократить длительность технологического процесса, уменьшить расход материала, наносить покрытия на крупногабаритные изделия сложной формы и из различных материалов.

Как показали исследования [1] для термореактивных полимеров кратковременность высоких температур, УФ-облучения и активных частиц