

УДК 533.6.011:51

В.В. Парманчук, V.V. Parmanchuk, e-mail: pavera@tut.by

В.И. Ольшанский, V.I. Olshanskiy, e-mail: olshanskiy.valeriy@mail.ru

Витебский государственный технологический университет, г. Витебск, Республика Беларусь
Vitebsk state technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО НАПЫЛЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ**

**MATHEMATICAL MODELING OF THE PROCESS OF AERODYNAMIC
FINE-DYSPERSATED PARTICLES SPRAYING**

Авторы провели моделирование процесса аэродинамического напыления мелкодисперсных частиц на подложку. Получены функции для определения оптимальных технических параметров, обеспечивающих максимальную поверхностную плотность многослойного текстильного материала.

The authors conducted a simulation model deposition of fine particles on a substrate. The resulting function to determine the optimal technical parameters, providing maximum surface density laminated textile material.

Ключевые слова: моделирование, аэродинамика, напыление, теплоизоляционные материалы, мелкодисперсные частицы, регрессионный анализ

Keywords: modeling, aerodynamics, coating, heat insulation materials, fine particles, regression analysis

Процесс аэродинамического напыления мелкодисперсных частиц заключается в том, что весь материал, подающийся из бункера, независимо от размеров частиц должен уноситься потоком воздуха в зону напыления и далее на подложку. Твердые частицы более высокой плотности под действием центробежной силы инерции смещаются к внешней стенке камеры, после чего происходит их осаждение в основание камеры. Средние и мелкие частицы уносятся в зону напыления камеры, где разделяются: легкие мелкодисперсные частицы потоком воздуха уносятся на подложку, а средние возвращаются в центр камеры в вихревой поток. Происходит замкнутый цикл аэродинамического напыления: бункер и камера напыления выступают как единое целое, т.е. движение потоков частиц в них должно быть взаимосвязано.

Если рассмотреть движение частиц в бункере в осевом потоке, то при такой подаче воздуха возникает сложность с его равномерным распределением, образуются зоны с пониженной скоростью газа, в которых материал не уносится вверх, а падает вниз, что нарушает режим напыления, поэтому в предложенной модели напыления распределение потока воздуха происходит под углом, т.е. тангенциальный подвод несущей среды.

Движение частиц в закрученном потоке широко изучалось в циклонных процессах, вихревых массообменных аппаратах, вихревых и центробежных мельницах [4, 3]. При рассмотрении движения твердых частиц в газозвесах для концентраций менее 0,02 влиянием стенок канала или соседних частиц на скорость витания можно пренебречь [2]. Поэтому при разработке модели было принято допущение об отсутствии взаимодействия между частицами. Таким образом, целью работы является установление основных технических параметров, обеспечивающих максимальную плотность при нанесении частиц аэродинамическим методом.

При попадании частицы материала в воздушный поток на нее воздействует комплекс внешних сил. Определяющими силами, влияющими на движение частиц в газовой среде, являются сила аэродинамического сопротивления воздуха F_c и сила тяжести G (рис. 1).

В общем виде уравнение движения частицы в воздушном потоке может быть представлено следующим образом:

$$m \frac{dv}{dt} = \sum_{i=1}^k F_i \cdot \mathbf{v} \quad (1)$$

где v – скорость движения частицы в закрученном потоке, м/с; t – время движения частицы, с; k – количество внешних сил, действующих на частицу материала при ее движении; F_i – активные силы, Н.

Подъемную силу, или силу сопротивления F_c можно определить по формуле [1]:

$$F_c = \frac{1}{2} c \cdot k_{\Phi} \cdot \rho \cdot S \cdot (\bar{w}_i - \bar{v})^2 \quad (2)$$

где c – коэффициент аэродинамического сопротивления (для цилиндра $c=1,15$); k_{Φ} – коэффициент формы частицы; ρ – плотность воздуха, кг/м³; S – площадь Миделера сечения части-

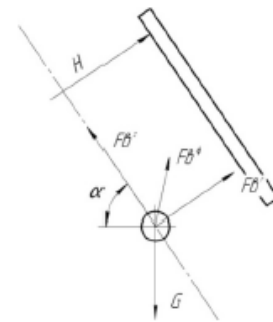


Рис. 1. Расчетная схема

пы, m^2 ; v — действительная скорость частицы, м/с; w_t — скорость воздушного потока, м/с; $(\frac{w_t}{v} - \bar{v})$ — относительная скорость частицы, м/с.

При движении потока частиц в камере режим движения воздуха является турбулентным и характеризуется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_t \cdot D_k}{\nu} \quad (3)$$

где w_t — тангенциальная скорость воздушного потока, D_k — диаметр канала; ν — кинематическая вязкость воздушной среды.

Для исследования процесса напыления с учетом аэродинамических параметров частиц был применен метод планирования эксперимента. В общем случае модель исследуемого процесса может иметь вид полинома второго порядка. Объектом исследования принята поверхностная плотность многослойного текстильного теплоизоляционного материала.

В качестве входных параметров были приняты:

– X_1 — давление, подаваемое в струйный аппарат, т.к. скорость воздушно-волоконистой струи, истекающей из щели диффузора, зависит от давления подаваемого в аэродинамическое устройство;

– X_2 — расстояние между полотном основы и диффузором.

Исследуемыми параметрами являлись свойства многослойного текстильного материала:

– Y_1 — поверхностная плотность;

– Y_2 — коэффициент вариации по поверхностной плотности, как показатель равномерности.

Уровни и интервалы варьирования факторов были установлены на основании предварительных опытов и теоретического анализа и приведены в таблице 1.

Таблица 1

Интервалы и уровни варьирования факторов

Наименование фактора	Обозначение	Уровни варьирования			Интервал варьирования
		-1	0	1	
Давление, подаваемое в струйный аппарат, Па	X_1	100000	150000	200000	50000
Расстояние между полотном основы и диффузором, м	X_2	0,100	0,300	0,500	0,2

Эксперимент проводился по плану-матрице Коно. По каждому варианту был проведен опыт и из 30 испытаний определены средние значения.

По результатам регрессионного анализа данных эксперимента была построена графическая зависимость (рис. 2).

Уравнение зависимости поверхностной плотности от давления, подаваемого в струйный аппарат, и от расстояния между полотном основы и диффузором имеет вид:

$$Y_1 = 145 + 10 \cdot X_1 - 38 \cdot X_1^2 \quad (4)$$

Исследование полученной математической модели (Y_1) показывает, что при увеличении давления (X_1) поверхностная плотность увеличивается. Однако поверхностная плотность снижается, когда скорость частиц достигает значительной величины.

Математическая модель зависимости поверхностной плотности от уровня расположения диффузора:

$$Y_2 = 139,85 + 5,53 \cdot X_1 - 0,92 X_1^2 \quad (5)$$

Анализ графической зависимости показывает, что при увеличении координаты по оси y идет значительное увеличение поверхностной плотности. Однако дальнейшее увеличение

координаты по оси y уменьшает оптимизируемый параметр и приводит к ухудшению процесса напыления.

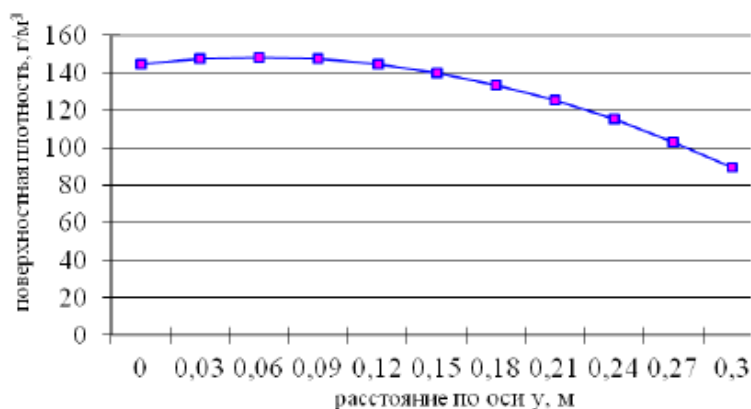


Рис. 2. Зависимость поверхностной плотности от уровня расположения диффузора

Для определения оптимального расстояния по оси y использован градиентный метод поиска. Дифференцированием уравнения (5) и приравниванием производной к нулю, получаем:

$$\frac{dY}{dX} = 5.53 - 0.92 \cdot X \quad (6)$$

откуда получим расстояние по оси y : $X=0,6$ м.

Подставляя значение расстояния по оси y в уравнение угла подъема диффузора от линии горизонта (7)

$$\beta = \arctg \frac{y}{X_{BC}} \quad (7)$$

$$\beta = 52,3^\circ.$$

Для получения максимального значения поверхностной плотности многослойного текстильного материала формируемого способом аэродинамического напыления, технологический процесс необходимо проводить при следующих технологических параметрах:

- давление, подаваемое в аэродинамическое устройство 0,16 – 0,25 МПа;
- расстояние от основы до диффузора 0,35 – 0,45 м.
- угол положения диффузора по отношению к горизонтальной оси 52° .

Полученная модель может быть использована при разработке конструкционного исполнения камеры аэродинамического напыления.

Библиографический список

1. Логачев, И. Н. Аэродинамические основы аспирации: монография / И. Н. Логачев, К. И. Логачев. – СПб.: Химиздат, 2005 – 659 с.
2. Бабуха, Г. Л. Взаимодействие частиц полидисперсного материала в двухфазных потоках / Г. Л. Бабуха, А. А. Шрайбер. – Киев: Навук. думка, 1972. – 176 с.
3. Вайтехович, П. Е. Разработка и исследование вихревых массообменных аппаратов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / П. Е. Вайтехович; Белорус. техн. ин-т. – Минск, 1982. – 18 с.

4. Иванов, О. Р. О движении мелких частиц в вертикальных циклонных реакторах / О. Р. Иванов, Л. Б. Зарудный, С. Н. Шорин // Теорет. основы хим. технологии. – 1968. – Т. 2, № 4. – С. 605–608.

