

Проволоцкий А.Е., Лапшин П.С. (НМетАУ, г. Днепропетровск, Украина)

E-mail: [texmash@ua.fm](mailto:texmash@ua.fm)

**Аннотация:.** В статье исследуется обработка поверхности свободными абразивами. Были исследованы параметры движения частиц при вылете из сопла при сочетании различных начальных условий. Приведены математические выражения для определения параметров струи, скорости движения абразивных частиц, диаметра частиц и их взаимосвязи

**Ключевые слова:** абразив, диаметр, скорость, сопло

### Введение

В первом приближении допустимо двухкомпонентную (воздух, абразив) струю рассматривать упрощенно в виде однокомпонентного потока

взаимодействующих абразивных частиц. Известно [1, 2], что хотя реальные частицы абразивного материала имеют неправильную и весьма сложную форму, их представляют обычно в виде правильных тел, чаще всего эллипсоидов или сфер. Поэтому абразивные частицы потока моделируются сферами, размеры которых, являясь случайными величинами, воспроизводятся в соответствии с законом распределения вероятностей, согласующимся с процентным содержанием крупной основной и мелкой фракций абразивного материала.

### 1. Основное содержание и результаты работы

Стандартный типоразмер абразивных материалов содержит обычно [1] 65 % - основной, 30 % - мелкой и 5 % - крупной фракции. Например, единица объема микропорошка М 10 включает 65 % частиц с размером зерен в диапазоне 7-10 мкм, 30 % частиц размером 3-6 мкм и 5 % - с размером 11-14 мкм [1, 2]. Таким образом, величины процентного содержания фракций в абразивном материале эквивалентны величинам вероятностей появления частиц, соответствующих данной фракции.

Реализации размеров частиц потока воспроизводятся приемами статического моделирования [3] в два этапа. На первом – по величине случайного (точнее псевдослучайного) числа с равномерным законом распределения вероятностей, которое воспроизводится с помощью стандартного генератора псевдослучайных чисел математического обеспечения компьютера, определяется тип фракции. На втором этапе устанавливается значение размера диаметра сферы частицы внутри диапазона, соответствующего выбранной на первом этапе фракции:

$$d_{rj} = d_{k-1} + \frac{d_k - d_{k-1}}{P_k - P_{k-1}} \cdot (\alpha - P_{k-1}) \quad (1)$$

где  $d_{k-1}$  и  $d_k$  - предельные значения радиусов, соответствующие данной фракции частиц;  $P_{k-1}$  и  $P_k$  - вероятности появления  $k-1$ -ой и  $k$ -той фракции частиц, соответственно;  $\alpha$  - псевдослучайное число с равномерным (на интервале /0,1/) законом распределения вероятностей.

Показатели физико-механических свойств материала абразивных частиц (твердость, плотность, коэффициент Пуассона, модуль упругости, прочность на срез) являются случайными величинами с нормальным законом распределения вероятностей, которые воспроизводятся с помощью датчиков случайных чисел на компьютере.

Параметры закона распределения (математическое ожидание и дисперсия) устанавливаются по известным методикам и справочным данным [1, 2, 3].

По установленным таким же образом диаметру частицы [2] и плотности ( $\rho_n$ ) материала рассчитывается масса движущейся частицы:

$$m_i = \frac{\pi \cdot d_T^2 \cdot \rho_T}{6} \quad (2)$$

Дальнейшее исследование предполагается выполнять для абразивных частиц, движущихся с постоянными скоростью и углом атаки (по отношению к обрабатываемой поверхности).

В результате анализа научно-технической литературы [4, 5] установлено, что, при использовании сопла Лавалья, скорость частиц на срезе сопла можно принять равной скорости истечения сжатого воздуха через это сопло:

$$v_T = \sqrt{\left(2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot R \cdot T_0 \cdot \left(1 - \frac{p}{p_0} \frac{k-1}{k}\right)\right)} \quad (3)$$

где  $k$  - показатель адиабаты, для воздуха  $k=1,4055$ ;

$R = 287$  Дж/(кг\*К) - удельная газовая постоянная;

$p_0$  и  $T_0$  - давление и температура сжатого воздуха до попадания в сопло Лавалья;

$p=0,1$  МПа - давление воздуха на срезе сопла равное атмосферному давлению.

При подстановке значений  $R$ ,  $k$ ,  $p$  и считая, что  $T_0=293$  К, выражение [3] упрощается и принимает вид:

$$v_T = 763,5 \cdot \sqrt{1 - \frac{0,1}{p_0} \frac{0,2}{k}} \quad (4)$$

Величина угла атаки частицы зависит от технологических особенностей моделируемого процесса обработки. Например, в случае исследования обработки потоком частиц, сформированным сопловым аппаратом, принимаем, что все частицы потока имеют одинаковый угол атаки. При этом величина угла может изменяться в широких пределах (практически от 0 до 180 град).

Длина струи устанавливается во взаимосвязи с углом атаки  $\alpha$  и расстоянием  $L'$  от торца сопла до обрабатываемой поверхности:

$$L = \frac{L'}{\sin \alpha} \quad (5)$$

Таким образом, длина струи, в данной модели, непосредственно не задается, а рассчитывается по выражению [5]. В частном случае, при  $\alpha=90$ , расстояние от торца сопла до обрабатываемой поверхности равно длине струи (рис. 1).

Количество воспроизводимых при моделировании абразивных частиц, т.е. количество актов единичного контактного взаимодействия обусловлено концентрацией абразивного материала в потоке, величиной расхода в единицу времени через срез сопла, а также временем и маршрутом, перемещения сопла по обрабатываемой поверхности.

Считая, что абразивные частицы равномерно распределены в потоке, моделируем их концентрацию как количество частиц, находящихся в единице объема. Поток выбрасываемых сопловым аппаратом абразивных частиц представляет собой усеченный конус (рис. 1), объем которого равен:

$$V = \frac{\pi \cdot L}{12} \cdot (d^2 + D^2 + d \cdot D) \quad (6)$$

В свою очередь диаметр пятна контакта  $D$  струи абразивных частиц в зависимости от диаметра на срезе соплового аппарата  $d$  и длины струи  $L$  находим согласно рис.1 как:

$$D = d + 2L \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (7)$$

где  $\beta$ - центральный угол раскрытия сопла, который обычно выбирают в пределах 6-8 градусов.

После подстановки и преобразований выражение [6] приобретает вид:

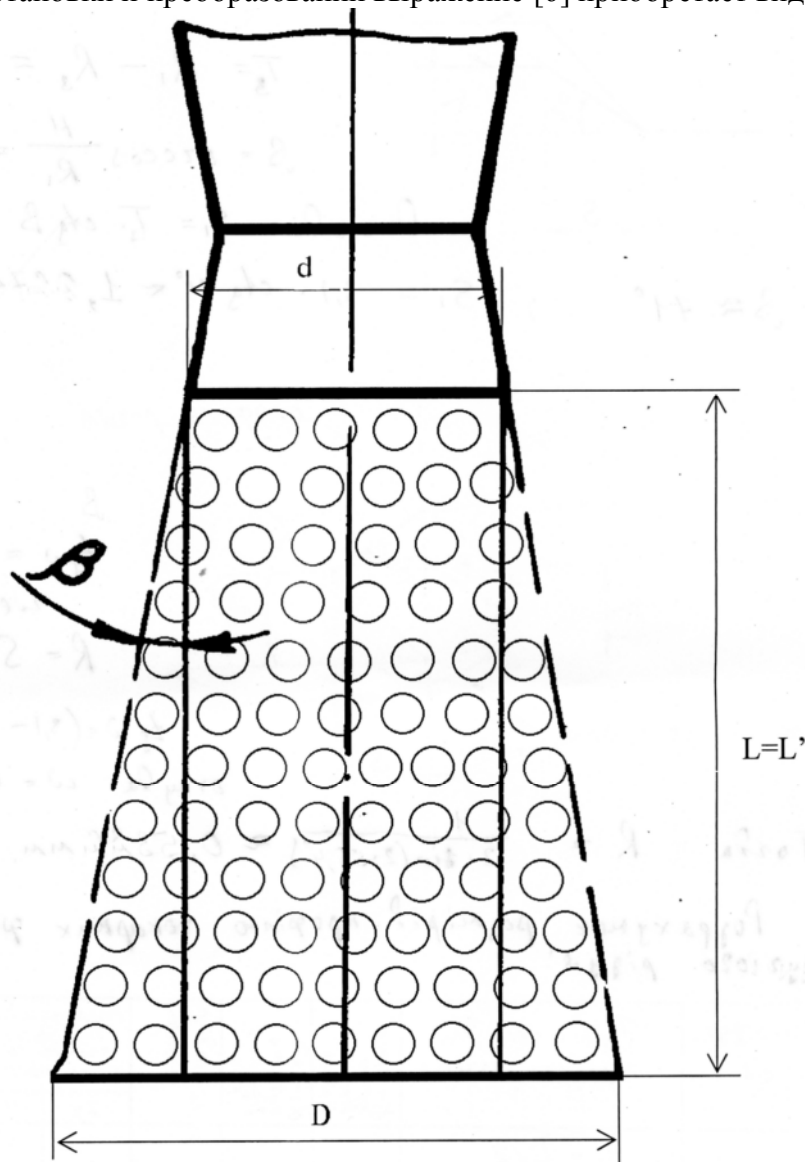


Рис.1. Схема для определения концентрации абразивных частиц в потоке

$$V = \frac{\pi \cdot L}{12} \cdot (d^2 + 6d \cdot L \cdot \operatorname{tg} \beta + 4L^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \beta) \quad (8)$$

Зная скорость, с которой частицы выходят из соплового аппарата  $v_r$  [4] и, считая эту скорость постоянной, находим время в течение которого горизонтальный слой частиц переместится от среза соплового аппарата до обрабатываемой поверхности:

$$\Delta t = \frac{L}{v_r} \quad (9)$$

А зная количество частиц, выбрасываемых сопловым аппаратом в единицу времени можно найти количество частиц находящихся в объеме рассмотренного выше конуса:

$$N_e = N_c \cdot \Delta t = N_c \cdot \frac{L}{v_r} \quad (10)$$

Тогда количество частиц находящихся в единице объема:

$$k = \frac{N_e}{V} = \frac{12 \cdot N_c \cdot \frac{L}{v_r}}{\pi \cdot L \cdot \frac{1}{3} d^2 + \frac{1}{2} d \cdot L \cdot \tan \beta + \frac{1}{3} L^2 \cdot \tan^2 \beta} \quad (11)$$

После преобразований получаем:

$$k = \frac{72 \cdot U}{\pi^2 \cdot d_r^2 \cdot \rho_r \cdot v_r \cdot \frac{1}{3} d^2 + \frac{1}{2} d \cdot L \cdot \tan \beta + \frac{1}{3} L^2 \cdot \tan^2 \beta} \quad (12)$$

где скорость  $v_r$  находим в соответствии с [4]

## 2. Заключение

Таким образом, выполненные исследования позволили определить параметры струи, скорость движения абразивных частиц, диаметр частиц и их взаимосвязь.

**Список литературы:** 1. Резников А.Н. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под.ред.-М.: Машиностроение, 1977, 391 с. 2. Абразивные материалы и инструменты. Справочник. НИИМаш, 1981, 327 с. 3. Бусленко Н.П. Метод статического моделирования. – М.: Статистика, 1970. -111 с. 4. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика.- М.: Стройиздат, 1975, 328 с. 5. Аверин С.И., Механика жидкости и газа: Учебник для вузов.-М.: Металлургия, 1987, 304 с.

### DESIGN OF STREAM OF ABRASIVE PARTICLES

*Provolotski A.E., Lapshin P.S. (NMetAU, Dnipropetrovsk, Ukraine)*

*E-mail: texmash@ua.fm*

**Abstract:** In the article treatment of surface is investigated free abrasives. The parameters of motion of particles were investigational at flight from a nozzle at combination of different initial conditions

**Keywords:** abrasive, diameter, speed, nozzle

### МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ АБРАЗИВНИХ ЧАСТОК

*Проволоцький О.Є., Лапшин П.С. (НМетАУ, м. Дніпропетровськ, Україна)*

*E-mail: texmash@ua.fm*

**Анотація:** У статті досліджується обробка поверхні вільними абразивами. Були досліджені параметри руху часток при вильоті з сопла при поєднанні різних початкових умов

**Ключові слова:** абразив, діаметр, швидкість, сопло

Надійшла до редколегії 21.04.2011 р.