

его начального положения и геометрических параметров зоны формирования.

Расчетная схема процесса представлена на рисунке.

Были введены следующие обозначения: l - длина волокна; Z_1 и Z_2 - внутренний и наружный радиусы шнека; Z_4 и Z_3 - внутренний и наружный радиусы готового изделия; L - длина конической части матрицы; α и γ - половины углов конусности матрицы и наконечника шнека; β - угол наклона линии тока порошка к направлению выдавливания; $Z_{св}$ и $Z_{сн}$ - радиусы центра волокна на входе и на выходе из конической части матрицы соответственно; Z_c - текущий радиус центра волокна; φ_0 - угол наклона волокна к линии тока порошка, проходящей через центр волокна на входе в коническую часть матрицы; φ - текущий угол наклона волокна; X - координата z гра волокна, отсчитываемая от входного сечения в коническую зону матрицы в направлении выдавливания.

При решении задачи были приняты следующие допущения.

1. Материал выдавливается шнеком в полость матрицы одновременно по всему кольцевому зазору (от Z_1 до Z_2).

2. Формуемая смесь является несжимаемой. Следовательно, через каждое поперечное сечение матрицы в направлении оси за единицу времени должны проходить одинаковые объемы материала.

3. Так как в используемых порошковых композициях межчастичное трение значительно больше внешней то для частиц, находящихся в данный момент времени в одном поперечном сечении матрицы, проекции скоростей на ось X равны.

4. Скорости частиц направлены по линиям тока порошка - прямым, делящим зазоры между Z_1 и Z_2 , а также между Z_3 и Z_4 в одинаковой пропорции.

5. Движение волокна плоскопараллельно. Поступательная часть движения полностью определяется движением центра масс волокна по соответствующей линии тока, а скорость его равна скорости частиц порошка, совпадающих с ним в данный момент. Скорости начала и конца волокна при его плоском движении равны проекциям скоростей частиц порошка, совпадающих с началом и концом волокна соответственно, на направление, перпендикулярное оси волокна.

6. Диаметр волокна много меньше его длины.

В соответствии с допущением 4 угол наклона линии тока порошка к направлению выдавливания определяется формулой

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{\operatorname{tg} \alpha (z_2 - z_{co}) + \operatorname{tg} \alpha (z_{co} - z_1)}{z_2 - z_1} \quad (1)$$

Тогда уравнение движения центра масс волокна запишется следующим образом:

$$z_2 = z_{co} - x \operatorname{tg} \eta \quad (2)$$

На основании допущения имеем

$$V_x S_x = V_{x0} S_0,$$

где V_{x0} и V_x — проекции на ось X скоростей частиц порошка, находящихся на входе в конус матрицы и в сечении с координатой X соответственно; S_0 и S_x — площади кольцевого зазора на входе в конус матрицы и в сечении с координатой X ;

$$V_x = V_{x0} \frac{S_0}{S_x} = V_{x0} \frac{z_2^2 - z_1^2}{(z_2 - x \operatorname{tg} \alpha)^2 - (z_1 - x \operatorname{tg} \alpha)^2} \quad (3)$$

Модуль проекции скорости частицы порошка на ось Z имеет вид

$$V_z = V_x \cdot \operatorname{tg} \eta \quad (4)$$

В соответствии с допущением 5 скорость частицы порошка можно представить как векторную сумму скоростей. Тогда скорости начала и конца волокна записываются так:

$$V_{NB} = V_{xNB} \cdot \sin(\varphi - \eta) + V_{zNB} \cdot \cos(\varphi - \eta);$$

$$V_{KB} = V_{xKB} \cdot \sin(\varphi - \eta) + V_{zKB} \cdot \cos(\varphi - \eta),$$

где V_{xNB} и V_{xKB} — скорости частиц порошка, совпадающих в данный момент с началом и концом волокна.

Угловая скорость волокна при плоском движении находится по формуле

$$\omega = \frac{V_{KB} - V_{NB}}{l}$$

Приходим к дифференциальному уравнению, которое решается только численно. Поэтому с целью получения аналитического решения выразим угловую скорость волокна, определив приращение составляющих скоростей δV_x и δV_y частиц порошка при переходе от частиц, совпадающих с центром масс волокна, к частицам, совпадающим с одним из его концов. Затем, проектируем эти приращения на направление, перпендикулярное оси волокна, найдем приращение скорости волокна на половине его длины. Полагая волокно достаточно малым по сравнению с конической частью матрицы, вычислим с учетом (1) - (3) приращения δV_x и δV_z как соответствующие дифференциалы:

$$\delta V_x = \frac{2V_{x0}S_0[\operatorname{tg}\alpha(z_2 - x\operatorname{tg}\alpha) - \operatorname{tg}\alpha(z_1 - x\operatorname{tg}\alpha)]}{\pi[(z_2 - x\operatorname{tg}\alpha)^2 - (z_1 - x\operatorname{tg}\alpha)^2]^{3/2}}; \quad (5)$$

$$\delta V_z = \operatorname{tg}\alpha \cdot \delta V_x + V_x \cdot A \frac{\delta z + \operatorname{tg}\alpha \cdot \delta x}{1 - A \cdot x}, \quad (6)$$

где $A = \frac{1}{L} \left(1 - \frac{z_3 - z_4}{z_2 - z_1} \right)$.

Тогда приращение скорости одного из концов волокна при его вращении вокруг центра масс имеет вид

$$\delta V_B = \delta V_x \cdot \sin(\varphi - \alpha_c) + \delta V_z \cdot \cos(\varphi - \alpha_c),$$

где α_c - угол между линией тока, проходящей через центр волокна, и направлением выдавливания.

Угловая скорость волокна при его плоском движении записывается следующим образом:

$$\omega = \frac{\delta V_B}{\rho'} = \frac{\delta V_x \cdot \sin(\varphi - \alpha_c) + \delta V_z \cdot \cos(\varphi - \alpha_c)}{\rho'}$$

или

$$\omega = V_x \frac{d\varphi}{dx} = \frac{1}{\rho'} [\delta V_x \cdot \sin(\varphi - \alpha_c) + \delta V_z \cdot \cos(\varphi - \alpha_c)], \quad (7)$$

где $\rho' = \frac{L}{2}$ - половина длины волокна.

После подстановки в (7) выражения (6) и разделен переменных получаем дифференциальное уравнение, связывающее кинематические характеристики движения волокна в конической части

матрицы:

$$\frac{d\varphi}{\sin^2(\varphi - \gamma_c) + \operatorname{tg} \gamma_c [\cos 2(\varphi - \gamma_c) + 1]} = \left(\frac{\delta V_x}{2V_x \delta x} + \frac{A}{2(1 - Ax)} \right) dx.$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$\varphi = \arctg \left[\frac{1}{D} (\operatorname{tg}(\varphi_0 - \gamma_c) + \operatorname{tg} \gamma_c) (x^2 - 2 \frac{B}{C} x + \frac{D}{C}) (Ax - 1) - |\operatorname{tg} \gamma_c| \cdot \gamma_c \right] \quad (8)$$

где $B = z_2 \operatorname{tg} \alpha - z_1 \operatorname{tg} \beta$; $C = \operatorname{tg}^2 \alpha - \operatorname{tg}^2 \beta$; $D = z_2^2 - z_1^2$.
 Таким образом, с помощью уравнения (8) можно определить зависимость угла φ ориентации волокна по отношению к направлению выдавливания от его начального положения и геометрических параметров конической части матрицы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федосеев Г.Н., Алексеев И.С., Петухов В.В. К вопросу об оптимизации геометрических параметров матрицы при формовании изделий из порошков, армированных короткими волокнами // Пути совершенствования технологических процессов в машиностроении. Мн.: Университетское, 1990.
2. Алексеев И.С., Федосеев Г.Н., Петухов В.В. К вопросу о выборе оптимальных геометрических параметров матрицы при экструзии порошков, содержащих короткие армирующие волокна // Тенденции развития в технологии машин. Зелена Гура: 1990.

УДК 62-503.52

О.М.Шур, канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В УСЛОВИЯХ ГИБКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Синтез гибких производственных систем (ГПС) предлагает изменение внутренних свойств управляемого объекта.

Однако на практике управления ГПС система управления ГПС не влияет на запроктированный ход технологического процесса. При таком подходе из-за жесткого технологического процесса и ограниченного (по сравнению с традиционным производством) вмешательства в него ГПС может оказаться менее эффективной, чем