

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ФОРМОВАНИЯ ПОРОШКОВ

Пятов В.В., Ковчур А.С.

Различие между способами непрерывного прессования заключается в процессах, предшествующих экструзии. Любое устройство для непрерывного формования содержит канал, соединяющий бункер с запасом материала и зону формования. Все непрерывные методы формования различаются лишь конструкцией этого канала, который выполняет две основные функции: уплотнение материала и его транспортировку к зоне формования. Для нормальной работы необходимо, чтобы поверхности, образующие канал, двигались с различными скоростями относительно материала. Обычно, для простоты, часть поверхности оставляют неподвижной (гильза шнека, башмак *conform*-устройства), другую же часть перемещают в каком-либо направлении. Таким образом, все непрерывные методы различаются двумя основными конструктивными особенностями канала: наличием тех или иных неподвижных участков его поверхности и направлением движения подвижных участков.

Любой способ непрерывного прессования, использующий экструзию, основан на комбинации двух методов: шнекового формования (канал направлен под углом к направлению выдавливания, неподвижна поверхность гильзы) и т.н. *conform*-метода (упомянутые направления совпадают, неподвижна поверхность башмака).

Уплотнение и транспортировка происходят под действием противоположно направленных сил трения, действующих на материал со стороны подвижной и неподвижной поверхностей канала. Для нормального функционирования необходимо определенное соотношение этих сил. Принципиальное отличие двух методов непрерывного формования заключается в том, что при использовании шнека сила трения материала о неподвижную поверхность должна быть больше, чем о подвижную, а в *conform*-методе - наоборот. Ниже будет показано, что в противном случае осуществление транспортной функции каналом невозможно.

Давление прессования (осевое напряжение на выходе в зону формова-

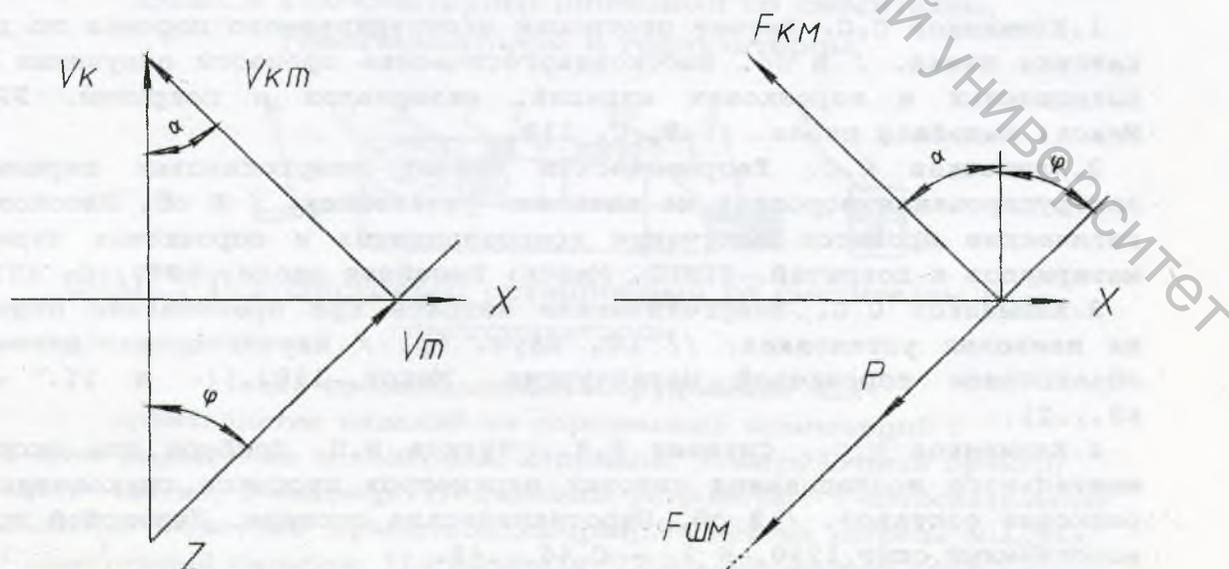


Рис.1. Расчетная схема для анализа шнекового формования.

ния) зависит от разности этих сил трения и от длины канала. Так как возможность управления триботехническими характеристиками трущихся поверхностей весьма ограничена, то на первое место выходит длина канала. Увеличение этой длины ведет к росту площади трущихся поверхностей, поэтому главным недостатком известных способов непрерывного формования являются большие потери энергии на внешнее трение. Энергоемкость этих процессов велика, к.п.д. низкий.

Расчетная схема изображена на рис.1.

Система координат связана со шнеком, поэтому скорость шнека  $V_{ш}=0$ .

На схеме обозначены:

$z$  – координата, направленная вдоль канала от его выхода ко входу (от зоны формования к бункеру);

$x$  – направление выдавливания (ось шнека);

$\phi$  – угол подъема винтовой нарезки шнека;

$V_m$  и  $V_k$  – скорости материала и корпуса в выбранной системе координат;

$V_{км}$  – скорость корпуса относительно материала;

$F_{км}$  и  $F_{шк}$  – силы трения, действующие на элемент материала длиной  $dz$  со стороны корпуса и шнека соответственно;

$P$  – усилие, связанное с перепадом давления на длине  $dz$ , направлено вдоль канала от выхода ко входу.

Так как инерционные силы малы по сравнению с силами трения, то здесь и далее рассматриваются плоские (развернутые) схемы.

Как видно из плана скоростей, материал движется вдоль канала, вообще говоря, с проскальзыванием. Мерой проскальзывания может служить угол  $\alpha$ :

$$0 < \alpha < \pi/2. \quad (1)$$

Случай  $\alpha=0$  соответствует полному окружному проскальзыванию. Материал и шнек при этом вращаются как одно целое, транспортировка отсутствует ( $V_m=0$ ). Такой режим имеет место, когда усилие, развиваемое шнековым прессом, меньше необходимого для выдавливания материала.

Другой крайний случай, когда  $\alpha=\pi/2$ , имеет место при полном отсутствии окружного проскальзывания. Материал перемещается только вперед, в направлении выдавливания, с максимально возможной скоростью:

$$V_{m\max} = \frac{V_k}{\cos \phi}. \quad (2)$$

Из треугольника скоростей видно, что

$$\operatorname{tga} = \frac{V_m \sin \phi}{V_k - V_m \cos \phi}. \quad (3)$$

Сила трения, действующая со стороны корпуса на материал  $F_{км}$ , направлена, как и  $V_{км}$ . Сила трения, действующая со стороны шнека на материал  $F_{шк}$ , направлена противоположно  $V_m$ .

Уравнение равновесия сил, действующих на элемент материала  $dz$ , имеет вид

$$F_{\text{шм}} + P = F_{\text{км}} \cos(\alpha + \phi), \quad (4)$$

где

$$F_{\text{шм}} = T_1 l_1 dz; \quad F_{\text{км}} = T_2 L_2 dz; \quad (5)$$

$$P = S dp; \quad (6)$$

$T_1$  и  $T_2$  - касательные напряжения на поверхностях шнека и корпуса соответственно;

$l_1$  и  $l_2$  - части периметра поперечного сечения канала, принадлежащие шнеку и корпусу;

$$l = l_1 + l_2 \quad (7)$$

$l$  - полный периметр поперечного сечения канала;

$S$  - площадь поперечного сечения канала;

$p$  - давление (нормальное осевое напряжение) в точке с координатой  $z$ ; обозначение используется для упрощения записей вместо  $b_{zz}$ .

Так как материал в канале уплотняется, то, в соответствии с выражением (2), можно записать:

$$T_1 = a_1 + b_{16} + c_{16}; \quad (8)$$

$$T_2 = a_2 + b_{26} + c_{26}$$

где  $a_1, b_1, c_1$  и  $a_2, b_2, c_2$  - триботехнические характеристики контакта материала со шнеком и корпусом соответственно;

$b$  - нормальное напряжение на поверхностях шнека и корпуса:

$$b = kp; \quad (9)$$

$k$  - коэффициент бокового давления.

Из выражения (4) видно, что для осуществления транспортной функции шнеком необходимо, чтобы выполнялось соотношение

$$a + \phi < \pi/2 \quad (10)$$

Это означает, что при гладкой внутренней поверхности корпуса (триботехнические характеристики изотропны, т.е. не зависят от направления) режим работы без окружного проскальзывания принципиально невозможен.