

Определение сопротивления прессованию входной конической полости штампового пресса для грубых кормов

В.Ю. Полищук, д.т.н., профессор, Л.В. Межуева, д.т.н. профессор, Е.И. Панов, инженер, ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ

Формующие каналы штамповых прессов для прессования брикетов из грубых кормов в местах перехода от камеры предварительного сжатия к прессующему цилиндрическому каналу имеют, как правило, конические полости. Входные конические полости являются обязательным элементом в фильерах пресс-грануляторов, вырабатывающих древесные пеллеты. Поэтому для определения технико-экономических параметров оборудования необходимо оценивать сопротивление сужающихся конических полостей экструдированию полуфабриката. Полученная модель применима конструкции штампового пресса по патенту РФ № 2541020, разработанного авторским коллективом [1].

Напряжённое состояние полуфабриката при установившемся движении в канале фильеры отличается от его напряжённого состояния в момент начала движения [2, 3]. Будем полагать, что это различие сохраняется и для сужающейся конической полости.

Рассмотрим напряжённое состояние полуфабриката, пластически деформируемого в сужающейся входной полости с произвольным углом конусности относительно цилиндрической системы координат (r, φ, z) с началом в точке вершины конуса, образующей полость.

Будем полагать, что нормальные осевые напряжения σ_z зависят только от координаты z . Сечение конической полости плоскостью, содержащей ось Oz , показано на рисунке 1.

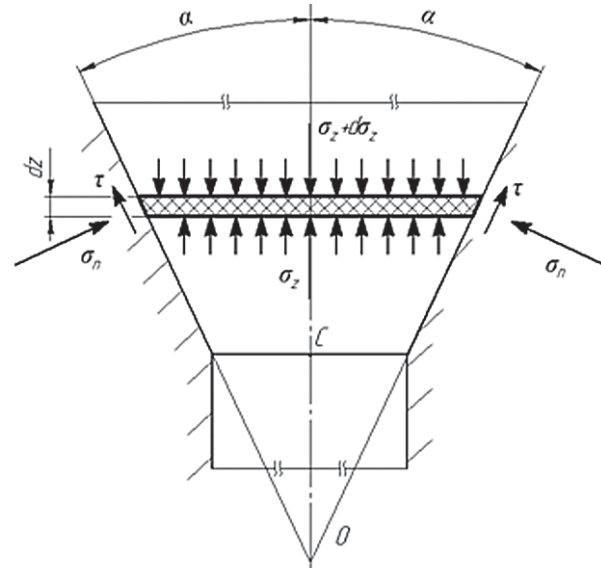


Рис. 1 – Схема напряжённого состояния системы конической сужающейся полости цилиндрического канала

Выделим элементарный объём пространства двумя плоскостями, перпендикулярными оси Oz на расстоянии dz друг от друга и приложим к нему действующие нагрузки. Объёмными силами в полуфабрикate будем пренебрегать по сравнению с поверхностными.

Как и ранее [3], будем полагать, что контактные напряжения сдвига τ определены законом Кулона, т. е. зависят от нормального напряжения на контактной поверхности σ_n и не могут превосходить предельного напряжения сдвига τ_T , а коэффициент трения f_i принят постоянным на выбранном промежутке изменения нормальных напряжений:

$$\tau = f_i \sigma_n, \text{ при } \sigma_{n(i-1)} \leq \sigma_n \leq \sigma_{ni}. \quad (1)$$

Выделим сектор элементарного объёма, заштрихованного на рисунке 1 двумя плоскостями, содержащими ось Oz , угол между которыми равен $d\varphi$, и рассмотрим его равновесие по оси Or . Это позволяет связать τ с нормальным радиальным напряжением σ_r :

$$\tau = \frac{f_i}{1 - f_i \operatorname{tg} \alpha} \sigma_r = f'_i \sigma_r, \quad (2)$$

при $\sigma_{r(i-1)} \leq \sigma_r \leq \sigma_{ri}$,

где α – угол конуса полости;

f'_i – приведённый коэффициент трения.

Это также позволяет связать граничные значения нормальных напряжений:

$$\sigma_{ri} = (1 - f_i \operatorname{tg} \alpha) \sigma_{ni}. \quad (3)$$

Применение условия равновесия выделенного элемента, на котором основаны зависимости (2) и (3), при больших значениях угла α ограничено, так как позволяет получать недопустимые значения напряжений.

Будем полагать, как и ранее [4], что на участке Кулонова трения справедливость соотношения между осевым нормальным напряжением σ_z , радиальным нормальным напряжением σ_r и пределом текучести полуфабриката σ_T имеет вид:

$$\sigma_z - \sigma_r = \sigma_T. \quad (4)$$

Предел текучести полуфабриката является переменным и зависит от всестороннего напряжения сжатия, которым в данном случае является напряжение σ_z . Полигональная аппроксимация предела текучести полуфабриката имеет вид:

$$\sigma_T = \sigma_{T(i-1)} + \delta_i \left[\sigma_r - \sigma_{r(i-1)} \right], \quad (5)$$

$$\delta_i = \frac{\sigma_{Ti} - \sigma_{T(i-1)}}{\sigma_{ri} - \sigma_{r(i-1)}}; \quad (6)$$

где $\sigma_{T(i-1)}$ и σ_{Ti} – величина предела текучести соответственно в начале и конце i -го участка аппроксимации;

$\sigma_{r(i-1)}$ и σ_{ri} – напряжения сжатия соответственно в начале и конце i -го участка аппроксимации.

С учётом зависимостей (4) и (5) связь между напряжениями σ_r и σ_z имеет вид:

$$\sigma_z = (1 + \delta_i) \sigma_r - \delta_i \sigma_{r(i-1)} + \sigma_{T(i-1)}. \quad (7)$$

Аналогичное представление коэффициента трения и предела текучести было использовано ранее для цилиндрического канала фильеры [3].

Связь граничных значений участков аппроксимации обозначаем выражением:

$$\sigma_{zi} = \sigma_{ri} + \sigma_{Ti}, \quad (8)$$

которая совместно с выражением (3) определяет значения всех нормальных напряжений и предела текучести на границах i -го участка аппроксимации. Номограмма, иллюстрирующая описанный алгоритм, представлена на рисунке 2.

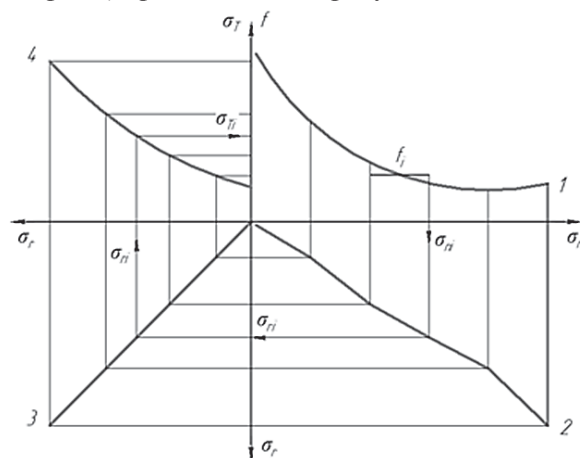


Рис. 2 – Номограмма для определения граничных значений нормальных напряжений с диаграммами зависимостей: 1 – $f = f(\sigma_n)$; 2 – $\sigma_r = f(\sigma_n)$; 3 – $\sigma_r = \sigma_r$; 4 – $\sigma_T = f(\sigma_r)$

Дифференциальное уравнение напряжённого состояния полуфабриката имеет вид [5]:

$$\frac{d\sigma_z}{dz} - \frac{4\tau}{z \sin 2\alpha} + \frac{2(\sigma_z - \sigma_r)}{z} = 0. \quad (9)$$

Использование приведённых выше зависимостей позволяет получить из уравнения (9) уравнение с разделёнными переменными:

$$\frac{d\sigma_z}{A_i \sigma_z + B_i} = \frac{2dz}{z \sin 2\alpha}, \quad (10)$$

где $A_i = \frac{2f'_i + \delta_i \sin 2\alpha}{1 + \delta_i}; \quad (11)$

$$B_i = 2(2f'_i + \delta_i \sin 2\alpha) \frac{\delta_i \sigma_{z(i-1)} - \sigma_{T(i-1)}}{1 + \delta_i} + \sigma_{T(i-1)} \sin 2\alpha. \quad (12)$$

Описание напряжённого состояния в конической сужающейся полости начинается в точке C с координаты z_c , в которой действует осевое нормальное напряжение σ_{zc} . Будем считать, что это напряжение соответствует j -му участку аппроксимации.

Интегрируя уравнение (10) при начальных условиях $z = z_c$ $\sigma_z = \sigma_{zc}$, получим распределение осевых нормальных напряжений на j -м участке аппроксимации:

$$\sigma_z = \frac{1}{A_j} \left\{ \left[A_j \sigma_{zc} + B_j \right] \left(\frac{z}{z_c} \right)^{\frac{2A_j}{\sin 2\alpha}} - B_j \right\}, \quad \sigma_{zc} \leq \sigma_z \leq \sigma_{zj}, \quad (13)$$

где

$$A_j = \frac{2f'_j + \delta_j \sin 2\alpha}{1 + \delta_j}; \quad (14)$$

$$B_j = 2(2f'_j + \delta_j \sin 2\alpha) \frac{\delta_i \sigma_{z(i-1)} - \sigma_{T(i-1)}}{1 + \delta_i} + \sigma_{T(i-1)} \sin 2\alpha \quad (15)$$

$$\delta_j = \frac{\sigma_{Tj} - \sigma_{Tc}}{\sigma_{rj} - \sigma_{rc}}; \quad (16)$$

σ_{Tc} – величина предела текучести в точке C ;

σ_{zc} – величина напряжения сжатия в точке C .

Координата конической полости z_j , на которой заканчивается действие j -го участка аппроксимации, определена выражением:

$$z_j = z_c \left[\frac{A_j \sigma_{zj} + B_j}{A_j \sigma_{zc} + B_j} \right]^{\frac{\sin 2\alpha}{2A_j}}. \quad (17)$$

Интегрируя уравнение (10) на участке $z > z_j$ при начальных условиях $z = z_{i-1}$ $\sigma_z = \sigma_{z(i-1)}$, получим распределение осевых нормальных напряжений на i -м участке аппроксимации:

$$\sigma_z = \frac{1}{A_i} \left\{ \left[A_i \sigma_{z(i-1)} + B_i \right] \left(\frac{z}{z_{i-1}} \right)^{\frac{2A_i}{\sin 2\alpha}} - B_i \right\}, \quad \sigma_{z(i-1)} \leq \sigma_z \leq \sigma_{zi}. \quad (18)$$

Координата конической полости z_i , на которой заканчивается действие i -го участка аппроксимации, определена выражением:

$$z_i = z_{i-1} \left[\frac{A_i \sigma_{zi} + B_i}{A_i \sigma_{z(i-1)} + B_i} \right]^{\frac{\sin 2\alpha}{2A_i}}. \quad (19)$$

На k -м участке аппроксимации в поперечном сечении полости с осевой координатой z_b касательное контактное напряжение может достигнуть предельного напряжения сдвига:

$$f'_k \sigma_{rb} = \tau_T. \quad (20)$$

Поскольку

$$\tau_T = \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}}, \quad (21)$$

из условий (4), (20) и (21) имеем:

$$\sigma_{zb} = \left(\frac{1 + \delta_k}{f'_k \sqrt{3} - \delta_k} + 1 \right) \left[\sigma_{T(k-1)} - \delta_k \sigma_{r(k-1)} \right] \quad \sigma_{z(k-1)} \leq \sigma_{zb} \leq \sigma_{zk}, \quad (22)$$

$$z_b = z_{k-1} \left[\frac{A_k \sigma_{zb} + B_k}{A_k \sigma_{z(k-1)} + B_k} \right]^{\frac{\sin 2\alpha}{2A_k}}. \quad (23)$$

При попадании полуфабриката в зону пластического контактного трения $\tau = \tau_T$ связь между нормальными напряжениями в полуфабрикate приобретает вид:

$$\sigma_z - \sigma_r = 0. \quad (24)$$

Расчёт напряжений для этого случая рассмотрен нами ранее [5].

Если точка отсутствует по всей протяжённости входной полости, расчёт напряжений в ней проводится по зависимостям (18) и (19).

Вывод. Разработан метод определения напряжений в полуфабрикate, экструдиреуемом через сужающуюся коническую полость, в начале движения полуфабриката, который позволяет не накладывать ограничений на форму представления физико-механических свойств экструдиреуемого полуфабриката.

Литература:

1. Пат. 2541020 Российская Федерация, МПК В 29С 47/00. Пресс-экструдер / Е. И. Панов, Ю. В. Медведева, В. Ю. Полищук, В. П. Ханин.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Оренбургский государственный университет. № 2013139724/05; заявл. 27.08.2013; опубл. 10.02.2015, Бюл. № 4. 7 с.
2. Полищук В. Ю. Напряжённое состояние древесных опилок в цилиндрическом канале при переходе из состояния покоя в движение / В. Ю. Полищук, В. П. Ханин, Е. И. Панов, Ю. В. Медведева // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. № 1. С. 223–227.
3. Панов Е. И., Полищук В. Ю., Ханин В. П. Предельное напряжение сдвига древесных опилок, прессуемых между матрицей и роликом гранулятора // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 1. С. 17–23.
4. Полищук В. Ю. Определение давления выпрессовывания в конических фильерах кольцевой матрицы прессы для гранулирования кормов // Известия вузов. Пищевая технология. 1976. № 3. С. 113–118.
5. Панов Е. И. Напряжённое состояние пластичного полуфабриката при экструзии через сужающуюся коническую полость / Е. И. Панов, В. Ю. Полищук, В. П. Ханин, Ю. В. Медведева // Вестник Самарского государственного университета путей сообщения. 2014. № 1. С. 107–111.