

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛОВ ОБРАТНЫМ ЭКСТРУДИРОВАНИЕМ В КОЛЬЦЕВОМ КАНАЛЕ С ПОДВИЖНОЙ СТЕНКОЙ

Одной из проблем совершенствования одношнековых прессующих механизмов экструдеров, применяемых в пищевой промышленности, является оптимизация процессов, происходящих в полости утечек прессующего механизма, поскольку именно в полости утечек затрачивается основная мощность сил полезного сопротивления. Предложенная методика позволяет определять реологические параметры материала, экструдированного в тонком слое с большими скоростями сдвига при течении материала в кольцевой полости с подвижной стенкой

Одной из проблем совершенствования одношнековых прессующих механизмов экструдеров, применяемых в пищевой промышленности, является оптимизация процессов, происходящих в полости утечек прессующего механизма, поскольку именно в полости утечек затрачивается основная мощность сил полезного сопротивления. Имеются сведения [1], что вязкость материала в полости утечек отличается от вязкости материала в канале шнека, так как материал в полости утечек находится в других условиях разрушения структуры. Проведенный анализ показывает, что на существующих вискозиметрах [2] затруднительно достичь адекватных скоростей сдвига продуктов измельчения зерна, так как возникают большие механические нагрузки. Поэтому целесообразно рассмотреть новые способы вискозиметрии. Одним из возможных способов получения больших скоростей сдвига является течение материала в кольцевой полости с подвижной стенкой (рисунок 1).

Течение материала в кольцевых полостях описано ранее [1,3], однако решения получены для неподвижных стенок.

Применим показанную на рисунке схему для решения задачи вискозиметрии.

После интегрирования дифференциальное уравнение движения материала в кольцевом канале приобретает вид

$$\frac{d\sigma}{dz} \frac{r^2}{2} - \tau r + C = 0, \quad (1)$$

где σ — давление в экструдированном материале;

τ — напряжения сдвига в экструдированном материале.

Чтобы найти постоянную интегрирования примем условие: при $\tau = 0$ $r = r_0$, тогда

$$C = -\frac{d\sigma}{dz} \frac{r_0^2}{2} \quad (2)$$

и уравнение (1) примет вид

$$\tau = \frac{1}{2} \frac{d\sigma}{dz} \left(r - \frac{r_0^2}{r} \right). \quad (3)$$

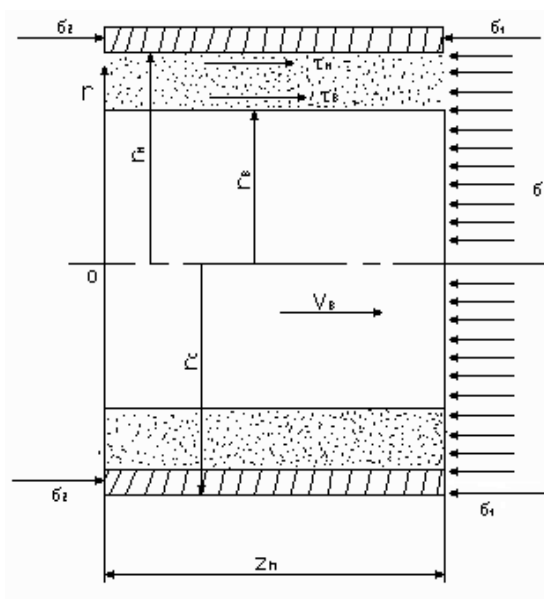


Рисунок 1 – Схема кольцевой полости, образованной плунжером, движущимся в цилиндре.

линдрическом канале, образованном тонкостенной оболочкой.

Предположим, что материал обладает свойствами ньютоновской жидкости, то есть справедливо условие

$$\tau = \mu \frac{dv}{dr}. \quad (4)$$

Тогда уравнение (3) можно преобразовать к виду

$$\frac{dv}{dr} = a \left(r - \frac{r_0^2}{r} \right) \quad (5)$$

где
$$a = \frac{1}{2\mu} \frac{d\sigma}{dz}. \quad (6)$$

Интегрируем уравнение (5)

$$v = a \left(\frac{r^2}{2} - r_0^2 \ln r \right) + C_1. \quad (7)$$

Постоянную интегрирования определим из условия при $r = r_H$ $v = 0$

$$C_1 = -a \left(\frac{r_H^2}{2} - r_0^2 \ln r_H \right). \quad (8)$$

Тогда распределение скоростей в кольцевом канале имеет вид

$$v = a \left(\frac{r^2 - r_H^2}{2} - r_0^2 \ln \frac{r}{r_H} \right) \quad (9)$$

Неизвестную величину r_0 определим подстановкой в (9) условия: при $r = r_0$ $v = v_0$, получим

$$r_0 = \frac{1}{\ln \frac{r_0}{r_H}} \left(\frac{v_0}{a} - \frac{r_0^2 - r_H^2}{2} \right). \quad (10)$$

Подставим значение r_0 в (9) и будем иметь

$$v = \frac{a}{2} (r^2 - r_H^2) - b \ln \frac{r}{r_H}, \quad (11)$$

где

$$b = \frac{1}{\ln \frac{r_0}{r_H}} \left(v_0 - a \frac{r_0^2 - r_H^2}{2} \right). \quad (12)$$

Объемный расход определим интегрированием скорости по площади кольцевого канала

$$Q = 2\pi \int_{r_0}^{r_H} r v dr. \quad (13)$$

Подставив (11) в (13), получим после интегрирования и преобразований

$$Q = \frac{\pi}{4} \left[a (r_H^2 - r_0^2) \left(3r_0^2 - r_H^2 + \frac{r_H^2 - r_0^2}{\ln \frac{r_0}{r_H}} \right) + 4v_0 \left(\frac{r_H^2 - r_0^2}{2 \ln \frac{r_0}{r_H}} + r_0^2 \right) \right] \quad (14)$$

Обозначим

$$A = \frac{\pi}{4} (r_H^2 - r_0^2) \left(3r_0^2 - r_H^2 + \frac{r_H^2 - r_0^2}{\ln \frac{r_0}{r_H}} \right)$$

$$B = \pi v_0 \left(\frac{r_H^2 - r_0^2}{2 \ln \frac{r_0}{r_H}} + r_0^2 \right)$$

Тогда уравнение (14) примет вид

$$Q = \frac{A}{2\mu} \frac{d\sigma}{dz} + B. \quad (15)$$

Из уравнения (3), с учетом уравнения (10), при $r = r_H$ можно получить касательные напряжения τ_H на контактной с прессуемым материалом цилиндрической поверхности кольцевого канала

$$\tau_H = \frac{1}{2} \frac{d\sigma}{dz} \left[r_H - \frac{1}{r_H \ln \frac{r_6}{r_H}} \left(\frac{v_6}{a} - \frac{r_6^2 - r_H^2}{2} \right) \right]. \quad (16)$$

Выразим из (16) градиент напряжения

$$\frac{d\sigma}{dz} = 2 \frac{\tau_H - \frac{\mu v_6}{r_H \ln \frac{r_6}{r_H}}}{r_H + \frac{r_6^2 - r_H^2}{2r_H}}. \quad (17)$$

Предполагая постоянство градиента напряжения, подставим его значение из выражения (17) в (15), получим

$$Q = \frac{A}{\mu} \frac{\tau_H - \frac{\mu v_6}{r_H \ln \frac{r_6}{r_H}}}{r_H + \frac{r_6^2 - r_H^2}{2r_H}} + B. \quad (18)$$

Отсюда можно выразить касательное напряжение

$$\tau_H = \mu \left[\frac{Q - B}{A} \left(r_H + \frac{r_6^2 - r_H^2}{2r_H} \right) + \frac{v_6}{r_H \ln \frac{r_6}{r_H}} \right]. \quad (19)$$

Зависимость (19) можно записать в виде

$$\tau_H = \mu \dot{\gamma}_H, \quad (20)$$

где $\dot{\gamma}_H$ – пристенная скорость сдвига:

$$\dot{\gamma}_H = \frac{Q - B}{A} \left(r_H + \frac{r_6^2 - r_H^2}{2r_H} \right) + \frac{v_6}{r_H \ln \frac{r_6}{r_H}}. \quad (21)$$

Если материал в цилиндрической фильере перед поршнем неподвижен, расход через кольцевой канал равен

$$Q = \pi r_6^2 v_6. \quad (22)$$

Тогда зависимость (21) с учетом (22) приводится к виду

$$\dot{\gamma}_H = \frac{v_6}{\ln \frac{r_6}{r_H}} \left[\frac{1}{r_H} - \frac{\pi (r_H^2 - r_6^2)}{A} \left(r_H + \frac{r_6^2 - r_H^2}{2r_H} \right) \right]. \quad (23)$$

Если считать в уравнении (20) вязкость эффективной, то есть

$$\mu = \mu_{\text{эф}} = \mu' \dot{\gamma}_H^{n-1}, \quad (24)$$

можно по известной методике [2,4] определить коэффициент консистенции μ' и индекс течения n – параметры уравнения Оствальда – де Вилля. При этом значение эффективной вязкости определено выражением

$$\mu_{\text{эф}} = \frac{\tau_H}{\dot{\gamma}_H}. \quad (25)$$

Касательное напряжение на контактной поверхности цилиндрической фильеры обеспечивает приращение нормального напряжения в цилиндрической оболочке фильеры (рисунок 1). Примем постоянство касательного напряжения τ_H в кольцевом канале. Выделим элемент оболочки цилиндрической фильеры, ограничивающей кольцевой зазор, и приложим к нему действующие нагрузки взамен отброшенных связей (рисунок 1). Из условия равновесия выделенного элемента

$$\tau_H = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1)(r_c^2 - r_H^2)}{2r_H z_H}, \quad (26)$$

где σ_1 и σ_2 – соответственно нормальные меридиональные напряжения в оболочке фильеры в сечениях входа материала в кольцевой канал и выхода из него;

r_c – внешний радиус цилиндрической оболочки;

z_H – осевая протяженность кольцевого канала.

Напряжения σ_1 и σ_2 могут быть вычислены на основе тензометрического измерения деформации цилиндрической оболочки [5].

Таким образом, получено решение задачи течения ньютоновской жидкости в кольцевом канале с подвижной стенкой (14), на основе которого разработана методика определения реологических параметров материала,

экструдированного в тонком слое при больших скоростях сдвига на основе зависимостей (21), (24), (25). Эта методика может быть использована для определения реологических свойств экструдированных пищевых продуктов и кормов

в компрессионных затворах, полостях насадок типа “торпедо” и полостях утечек одношнековых прессующих механизмов.

Список использованной литературы

1. Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс: Пер. с нем. /Под ред. А.Я. Шапиро. – Л.: ГНТИХП, 1962. – 467 с.
2. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник /Под ред. Ю.А. Мачихина. – М.: Агропромиздат. – 1990. – 271 с.
3. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
4. Сагитов Р.Ф., Абдрафиков Р.Н. Методика определения коэффициента эффективной вязкости и напряжения сдвига на стенке канала шнекового пресса с методом проверки правильности результата. Вестник Оренбургского государственного университета. 1999, № 2. – С. 92-95.
5. Полищук В.Ю. Экспериментальное исследование напряжений в пластическом материале при его прессовании в цилиндрическом канале фильеры /Порошковая металлургия материалов с особыми свойствами. Межвуз. сб. – Куйбышев: КуАИ. – 1981. – С. 29 – 35.