

Т. А. Анасова, А. А. Панов, Р. Я. Дебердеев,
Г. Е. Заиков, А. К. Панов

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЙНО-СЕКТОРНОЙ СОЭКСТРУЗИИ РАСПЛАВОВ ПОЛИМЕРОВ В ФОРМУЮЩИХ КАНАЛАХ

Ключевые слова: полимер; расплав; соэкструзия; стержень; формующий канал.

Предложена технология получения полимерных комбинированных изделий при слойно-секторной соэкструзии в разных формующих каналах. Рассмотрены закономерности процессов соэкструзии комбинированных полимеров в формующих каналах при слойно-секторном совмещении. Предложены зависимости, позволяющие определить гидродинамические характеристики потоков расплавов полимеров при слойно-секторной соэкструзии в формующих каналах. Проведено сравнение рассчитанных расходных характеристик по предложенным зависимостям с экспериментальными данными при истечении слойно-секторных комбинированных полимеров в формующих каналах.

Keywords: polymer; melt; co-extrusion; stem; molding channel.

A technology of obtaining combined polymeric products at layer-sector co-extrusion in various molding channels was suggested. Patterns of combined polymer co-extrusion processes in molding channels at layer-sector combination were examined. Dependences to allow definition of polymer melts flows hydrodynamic characteristics at layer-sector co-extrusion in molding channels were suggested. Calculated flow rate characteristics according to the suggested dependences and the experimental data during layer-sector polymers flow in molding channels were compared.

Методика расчета расходных характеристик при слойно-секторной соэкструзии расплавов полимеров в формующих каналах

Наибольшее распространение в нашей стране и за рубежом получили комбинированные изделия, компонентами которых являются полиолефины. Так, комбинированные изделия на основе полиэтилена в сочетании с лавсаном и материалами типа целлофана широко используются промышленностью.

Преимущество такого процесса соэкструзии нескольких компонентов с различными физико-механическими свойствами, поперечные сечения которых имеют форму соединенных секторов, состоит в том, что такая технология позволяет получать нити и волокна, свойства которых аналогичны свойствам натуральной шерсти.

Рассмотрим слойно-секторную соэкструзию расплавов полимеров в канале круглого сечения (рис.1), в компонентах напряжения в цилиндрической системе координат, при этом считаем, что вторичные потоки невелики по сравнению с основным продольным сечением [1], продольные скорости всех компонентов на выходе канала одинаковы.

Уравнение движения в этом случае имеет вид [1]:

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{q}{qr} \cdot r \tau_{rz} + \frac{1}{r} \cdot \frac{q}{r} \tau_{z\theta} = -\Delta P \quad (1)$$

где τ_{rz} , $\tau_{z\theta}$ - компоненты напряжений сдвига; ΔP - перепад давления на единицу длины канала; r , θ , z - цилиндрические координаты.

Запишем соотношение для общего расхода жидкостей в цилиндрическом канале

$$Q = \int_S V_z dS = \int_S V_z r dr d\theta, \quad (2)$$

где Q - объемный расход жидкостей.

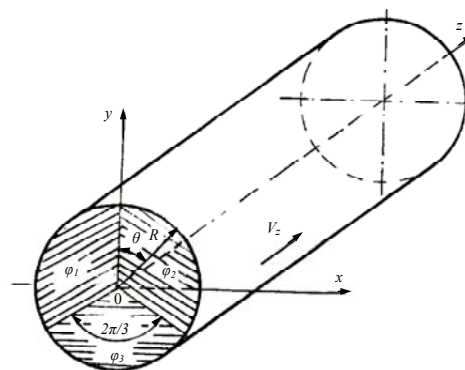


Рис. 1 - Схема слойно-секторной соэкструзии расплавов полимеров в цилиндрическом канале

С учетом выражения (2) уравнение (1) можно представить в следующем виде

$$-\Delta P Q = \int_S V_z dS \left[\frac{1}{r} \cdot \frac{q}{qr} r \tau_{rz} + \frac{1}{r} \cdot \frac{q}{r} \tau_{z\theta} \right] \quad (3)$$

Интегрируя уравнение (3) по частям, получим

$$Q = -\frac{1}{\Delta P} \left\{ \int_0^{2\pi} d\theta \left[V_z r \tau_{rz} \right]_0^R - \int_0^R dr \left[V_z \tau_{z\theta} \right]_0^{2\pi} \right\} \quad (4)$$

Учитывая, что $V_z|_{r=R} = 0$ и

$V_z \tau_{z\theta}|_{\theta=0} = V_z \tau_{z\theta}|_{\theta=2\pi}$ тогда уравнение (4) будет иметь вид

$$Q = \frac{1}{\Delta P} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^R r dr \left[\tau_{rz} \frac{q V_r}{qr} + \tau_{z\theta} \frac{1}{r} \frac{q V_z}{q\theta} \right] \quad (5)$$

Принимая во внимание, что

$$\frac{qV_z}{qr} = \varphi(\tau)\tau_{zr}; \quad \frac{1}{r} \frac{qV_z}{q\theta} = \varphi(\tau)\tau_{z\theta}, \quad (6)$$

где φ - текучесть жидкости.

С учетом соотношения (6) уравнение (5) будет иметь вид

$$Q = \frac{1}{\Delta P} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^R r dr \varphi(\tau) \tau^2 \quad (7)$$

где $\tau^2 = \tau_{zr}^2 + \tau_{z\theta}^2$ - полное напряжение сдвига.

Если по каналу текут разные жидкости, каждая из которых занимает свой сектор, то формулу (7) можно представить в следующем виде (8):

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{1}{\Delta P} \int_0^{\theta_i} d\theta \int_0^R r dr \varphi_i(\tau) \tau^2 + \frac{1}{\Delta P} \int_{\theta_i}^{\theta_{i+1}} d\theta \int_0^R r dr \varphi_{i+1}(\tau) \tau^2 + \dots + \frac{1}{\Delta P} \int_{\theta_n}^{2\pi} d\theta \int_0^R r dr \varphi_n(\tau) \tau^2 \quad (8)$$

Принимая во внимание, что на выходе из канала продольная скорость истечения V_z слабо зависит от угла θ [2] так, что выполняется неравенство

$$\frac{qV_z}{qr} \gg \frac{1}{r} \frac{qV_z}{q\theta} \quad (9)$$

тогда из соотношений (6) следует

$$\tau_{z\theta} \ll \tau_{zr} \approx \tau \quad (10)$$

Из уравнения (1) в этом приближении получим

$$\tau = -\Delta P \frac{r}{2} \quad \text{или} \quad dr = -\Delta P \frac{dr}{2} \quad (11)$$

Переходя в уравнении (8) от переменной r к переменной τ и учитывая в пределах каждого сектора слабую зависимость от угла Q , получим

$$Q = \sum_{i=1}^n \theta_i \cdot \frac{1}{4\Delta P^3} \int_0^{\tau_{cm}} \varphi_i(\tau) \tau^3 d\tau \quad (12)$$

Где θ_i - угловой размер сектора в радианах, в пределах которого течет одна из исследуемых жидкостей многокомпонентной системы $\theta_i = \frac{2\pi}{n}$.

В частном случае для $n=3$ из формулы (12) следует (13):

$$Q = \frac{\dot{I}}{6\Delta P^3} \left[\int_0^{\tau_{cm}} \varphi_1(\tau) \tau^3 d\tau + \int_0^{\tau_{cm}} \varphi_2(\tau) \tau^3 d\tau + \int_0^{\tau_{cm}} \varphi_3(\tau) \tau^3 d\tau \right] \quad (13)$$

При условии, когда текучести исследуемых жидкостей близки друг другу, то формула (12) переходит в ранее полученное соотношение (9).

Полученная формула (12) позволяет определить расход anomalно-вязких жидкостей при напорном слойно-секторном течении в цилиндрическом канале в зависимости от реологических свойств и размеров канала.

Для расчета пропускной способности призматического канала произвольной формы сечения при многослойном или слойно-секторном течении anomalно-вязких жидкостей для многокомпонентной системы можно предложить следующую обобщенную зависимость

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{gSiRn\gamma_i d}{\tau_0^b} \int_0^{\tau_{cm}} \varphi_i(\tau) \tau^b d\tau \quad (14)$$

где S_i - площадь сектора, занимаемая i -тым компонентом; $\sum S_i = S$; R_i - гидравлический радиус i -

го компонента; γ_i - удельная масса i -го компонента; φ_i - текучесть i -го компонента; a и b - коэффициент формы i -го сектора (определялись по методу мембранной аналогии).

Для случая, когда вязкости исследуемых жидкостей многокомпонентной системы близки друг другу, то формула (14) переходит в ранее полученную зависимость (9).

Предложенная обобщенная зависимость (14) позволяет рассчитать расход anomalно-вязких жидкостей при напорном пленочно-слойном или слойно-секторном течении в канале произвольного сечения в зависимости от реологических свойств и размеров канала.

Экспериментальные данные слойно-секторного течения комбинированных расплавов полимеров в формующих каналах

Экспериментальное исследование процесса слойно-секторного течения трех сочлененных расплавов полимеров в цилиндрических и призматических каналах проводилось на установке (см. рис.2). Установка состояла из формующей головки, конструкция которой показана на рис.3, трех цилиндров высокого давления, которые устанавливались в гнезде головки. Гнезда для присоединения цилиндров высокого давления были выполнены с резьбой и расположены на верхнем торце формующей головки через 120° по периметру окружности.

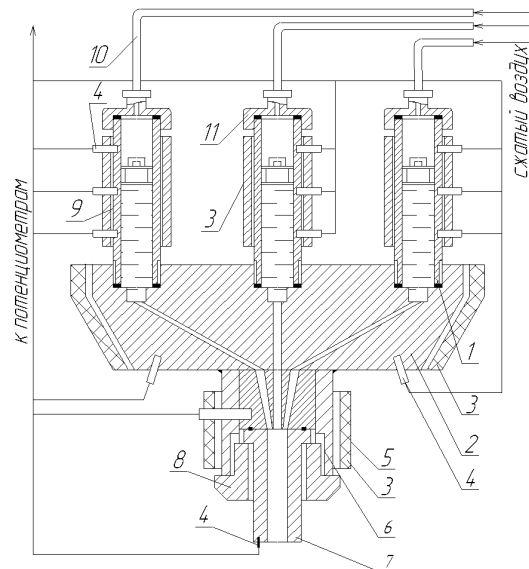


Рис. 2 - Схема экспериментальной установки для изучения соэкструзии комбинированных расплавов полимеров: 1 - цилиндр высокого давления; 2 - соединительный блок; 3 - нагревательные элементы; 4 - термopара; 5, 6 - блок питания; 7 - канал; 8 - прижимная гайка; 9 - поршень; 10 - патрубок; 11 - крышка цилиндра

Исследуемый канал 5 с помощью прижимной гайки 7 закреплялся в формующей головке. Нагрев и регулирование температуры бонб

высокого давления формующей головки осуществлялся с помощью нагревательных элементов 3.

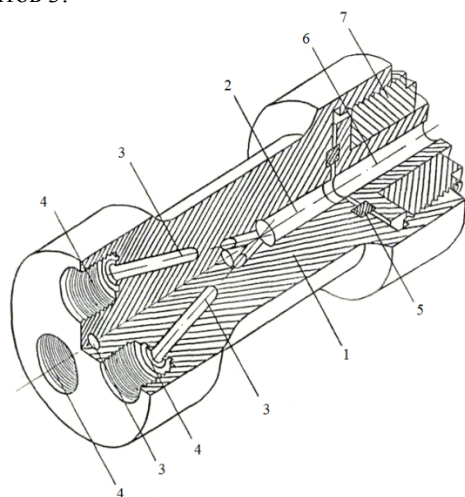


Рис. 3 - Конструкция формующей головки для изготовления слойно-секторных полимерных изделий: 1 - корпус формующей головки; 2 - соединительный канал; 3 - подводный канал; 4 - гнезда для подсоединения цилиндра высокого давления; 5 - уплотнительное кольцо; 6 - формующий канал; 7 - прижимная гайка

При исследовании процесса слойно-секторного течения расплавов полимеров в цилиндрических каналах расход каждого сектора регулировался соответствующим давлением в каждый цилиндр и температурой. В призматических каналах дополнительно в соединительный канал 2 формующей головки устанавливалась распределительная втулка с продольными перегородками, заканчиваясь наконечником. Профили сечения наконечника и секторов соответствовали конкретному исследуемому каналу.

Методика проведения опытов и обработки экспериментальных данных аналогична методике, описанной в работах [3÷7]. Объектами исследования служили расплавы полиэтилена высокого давления марок П2020Т, П2035Т и 15802-020 при температуре 423 и 443 К.

На рис.4 приведены схемы различных сочетаний полимеров при слойно-секторной соэкструзии расплавов в различных каналах. Опыты по слойно-секторному течению расплавов полимеров проводились на пяти длинах каналов 60, 90, 120, 150, 180 мм. Входные потери давления исключались по методу В.Е.Бэгли [2]. Опыты сводились к изменению давления в бомбе и расхода комбинированных сочлененных каркарированных экструдатов через каналы.

На рис. 5 и рис. 6 представлены зависимости массового расхода от перепада давления на единицу длины исследуемых каналов: точками показаны экспериментальные величины расходов, а сплошными линиями – теоретическая зависимость.

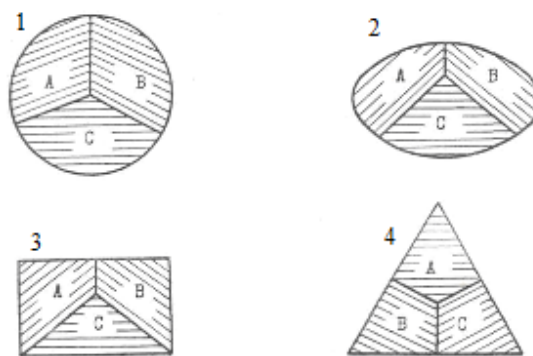
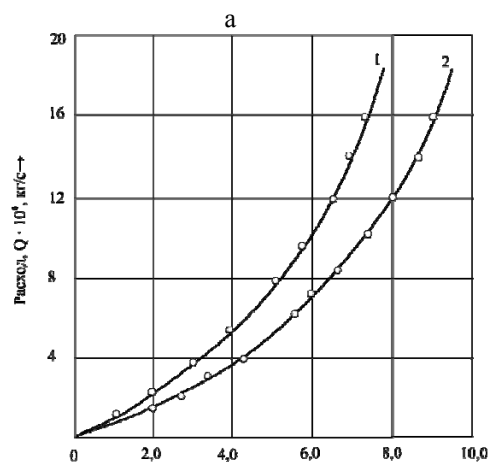
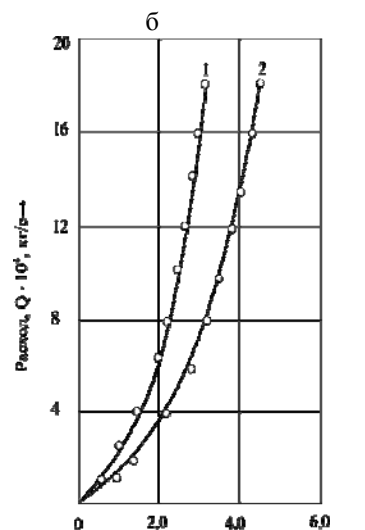


Рис. 4 - Схемы слойно-секторного течения расплавов полимеров при соэкструзии: А,В,С – условное обозначение различных полимеров при соэкструзии: 1-4 – вид сечения канала и различные сочетания полимеров при соэкструзии.



Градиент давления, $\Delta P \cdot 10^{-7}$. Па/м



Градиент давления, $\Delta P \cdot 10^{-7}$. Па/м

Рис. 5 - Зависимости расхода расплавов полиэтилена при слойно-секторной соэкструзии от перепада давления на единицу длины каналов при $T = 443\text{K}$ (1) и $T = 423\text{K}$ (2): а - соэкструзия в канале 1; б - соэкструзия в канале 2

Сравнение величин Q_T и Q_3 , представленное на рисунке 5 и 6, указывает на хорошую корреляцию между величинами Q_T и Q_3 ; расхождение расходных показателей в среднем составляет $\pm 10\%$ и не превышает $\pm 15\%$. Вычисление интеграла в уравнениях (12) и (14) производилось по методике, описанной в работе [4].

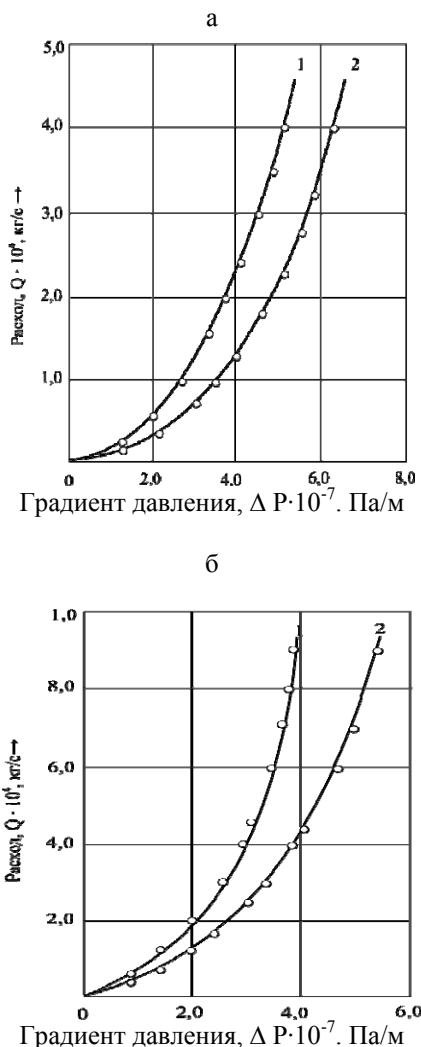


Рис. 6 - Зависимости расхода расплавов полиэтилена при слойно-секторной соэкструзии от перепада давления на единицу длины каналов при $T = 443K$ (1) и $T = 423K$ (2): а - соэкструзия в канале 3; б - соэкструзия в канале 4

Таким образом, разработанные нами зависимости (12) и (14) можно рекомендовать для определения пропускной способности комбинированных расплавов полимеров при многослойном и слойно-секторном течении в призматических каналах.

Выводы

1. Разработана обобщенная математическая модель, которая позволяет рассчитывать расходные характеристики при слойно-секторной соэкструзии расплавов полимеров в профильных формующих каналах.
2. Проведена экспериментальная проверка предложенной математической зависимости по расчету гидродинамических характеристик комбинированных расплавов полимеров при слойно-секторном течении в цилиндрических и призматических каналах.

Литература

1. Тарг С.М. Основные задачи теории ламинарных течений. – М.; Л.: ГИТТЛ. 1951. – 420 с.
2. Хан Ч.Д. Реология в процессах переработки полимеров. – М.: Химия, 1979. – 366 с.
3. Анасова Т.А. Соэкструзия расплавов полимеров. – Уфа: Гилем, 2010. – 107 с.
4. Панов А.К., Анасов А.Р. Гидродинамика потоков аномально-вязких полимерных систем в формующих каналах. – Уфа: УГНТУ, 1994. – 260 с.
5. Панов А.К. Основы расчета гидродинамических характеристик потоков неньютоновских сред при течении в каналах машины аппаратов химической технологии. – Уфа: УНИ, 1984. – 95 с.
6. Панов А.К., Дорохов И.Н. Слойно-секторное течение аномально-вязких жидкостей в формующих каналах. // Изв. вузов Химия и химическая технология. – 1988. – №11 С.115-118.
7. Анасова Т.А., Панов А.К. Технология процесса соэкструзии комбинированных расплавов полимеров в условиях воздействия силовых полей // Башкирский химический журнал. – 2010. Том 17 №5. С.112-115.
8. White J.A., Ufford R.G., Dharod K.R., Price R.D. Experimental and Theoretical Study of the Extrusion of Two – Phase Molten Polymer Systems. – Journal of Applied Polymer Science, 1972, Vol.16, №6, P.1313-1329.

© Т. А. Анасова – канд. техн. наук, доц. каф. математики БГАУ; А. А. Панов – канд. техн. наук, вед. науч. сотр. Стерлитамакского филиала АН РБ; Р. Я. Дебердеев – д-р техн. наук, проф., зав. каф. технологии переработки полимеров и композиционных материалов КНИТУ, deberdeev@kstu.ru; Г. Е. Зайков – д-р хим. наук, проф., Институт биохимической физики им. Н.М.Эмануэля РАН; А. К. Панов - д-р техн. наук, проф., член-корр. АН РБ, зав. отделом ГАНУ ИПИ.