

УДК 532.135

А. А. ПАНОВ, В. С. ЖЕРНАКОВ

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МНОГОРУЧЬЕВЫХ ФОРМУЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ КРУГЛОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

В работе рассматриваются конструкции многоручьевых формующих инструментов с различными выступами в центре мундштука. Представлены мундштуки с гиперболическими, коническими и ступенчатыми выступами, основная цель которых – выравнивание потоков экструдата на выходе из каналов. *Многоручьевая экструзионная головка ; многоручьевой формующий мундштук ; экструзии ; экструдат*

Настоящая статья посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию выравнивания потоков расплавов полимеров при экструзии через многоручьевые формующие мундштуки. Эта задача является важной не только для конструирования многоканального формующего инструмента, но и для прогнозирования геометрических и технологических параметров выпускаемых изделий круглого поперечного сечения.

Отличительной особенностью многоручьевых формующих мундштуков являются центральные выступы, которые выполнены с различными конфигурациями профилей: гиперболической, параболической, конической и ступенчатой форм, для выравнивания профиля скорости экструдата на выходе из многоручьевого формующего инструмента. Изучение профиля скоростей и их выравнивания имеет большое практическое значение с точки зрения автоматизации общего вытяжного устройства и одновременной отрезки экструдатов одинаковой длины.

Выравнивание потоков близкое к «идеальному» способствует не только повышению производительности установок, но и улучшению качества изделий (например, однородности по размерам и структуре полимерного материала).

Профиль скоростей при течении расплавов полимеров имеет характер близкий к параболическому, то есть в центре канала скорость истечения выше, чем у его стенок. Длина экструдата, выходящего в центре канала, соответственно больше, чем вблизи стенок. Особенно эта не-

равномерность по длине наблюдается при изготовлении листов больших размеров, при получении прутков или шлангов методом экструзии с помощью многоручьевых головок. На неравномерность выхода экструдата оказывают также влияние геометрические размеры раструба, к которому подсоединяется многоручьевая формующая головка.

Для достижения равномерности выхода экструдатов из многоручьевого формующего инструмента необходимо в центральной зоне увеличить, а на периферийном участке уменьшить гидравлическое сопротивление потоку. Простейший метод достижения этого состоит в системном изменении длины формующих каналов в указанных зонах, например, фильеры для грануляции. Этот прием реализовывался с помощью мундштуков специальной конфигурации.

Эксперименты проводились на установке, включавшей экструдер со шнеком диаметром 40 мм (при $l/d = 16$) и экструзионную головку со сменными многоручьевыми мундштуками (рис. 1). Многоручьевые мундштуки были изготовлены из стали 45 с параболическими и коническими выступами в центре сечения (рис. 2).

Мундштук устанавливался в гайке и герметично закреплялся в соединительной головке. Включались нагревательные элементы материального цилиндра и головки. Температура расплава перед входом и выходом из канала измерялась термометрами (хромель-копель), она регулировалась и регистрировалась потенциометром ЭПР-09МЗ. Скорость нагрева каждого нагревательного элемента регулировалась автотрансформаторами, а сила тока контролировалась амперметрами. Заданная температура под-

держивалась с точностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Регистрация давления перед входом в канал осуществлялась образцовым манометром, который подсоединялся через датчик поршневого типа, заполненный силиконовым маслом.

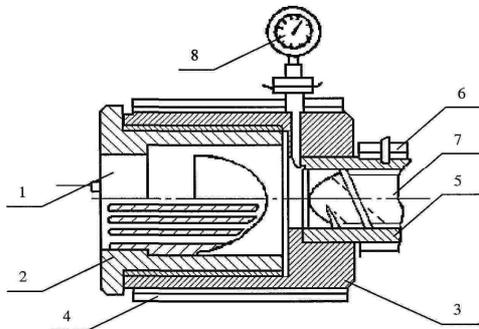


Рис. 1. Установка для исследования течения расплавов полимеров через многоручьевые мундштуки: 1 – многоручьевый мундштук; 2 – прижимная гайка; 3 – соединительная головка; 4 – нагревательные элементы; 5 – материалный цилиндр; 6 – термopара; 7 – шнек; 8 – манометр

Использовались многоручьевые мундштуки, центральные выступы которых выполнены с профилями, отвечающими следующим уравнениям парабол:

$$\begin{aligned} y &= 0,075 \cdot x^2 && \text{при } L = 90 \text{ мм;} \\ y &= 0,125 \cdot x^2 && \text{при } L = 120 \text{ мм;} \\ y &= 0,225 \cdot x^2 && \text{при } L = 150 \text{ мм;} \\ y &= 0,300 \cdot x^2 && \text{при } L = 180 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (1)$$

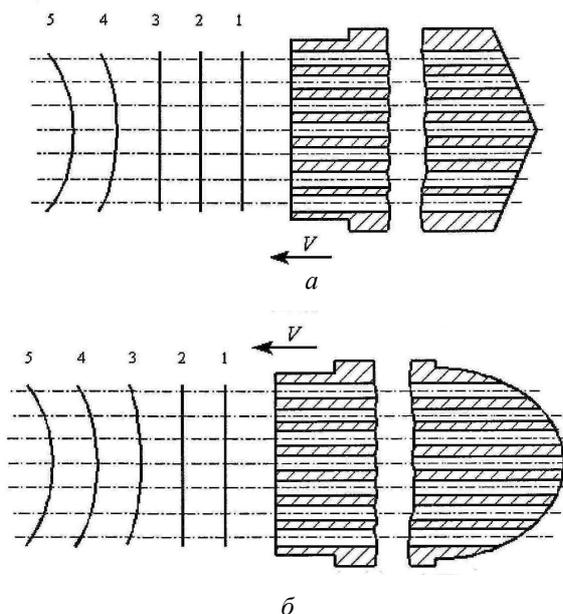


Рис. 2. Графики распределения скоростей по сечению на выходе из мундштука: а – мундштук с коническим (конусом) выступом; б – мундштук с параболическим выступом; 1; 2; 3; 4; 5 – давление в мундштуке в МПа

За счет параболических выступов увеличивалась длина каналов центральной зоны и соответственно их сопротивление, что позволило обеспечить выравнивание линейных скоростей экструдатов, выдавливавшихся экструдером через все отверстия фильеры (7 отв. диаметром 3 мм).

Исследовались течения расплавов двух важных промышленных термопластов: полиэтилена высокого давления (ПЭВД) марки 15802-020 при температуре 418 К и блочного полистирола (ПС) при температуре 463 К в диапазоне давлений экструзии 1-Н5 МПа.

На рис. 2 показан график распределения скоростей по отверстиям многоручьевого мундштука с параболическим выступом $y = 0,125x^2$ в зависимости от создаваемого давления при экструзии ПЭВД. Из графиков видно, что с помощью параболического выступа и регулирования давления можно достичь практически одинаковой скорости выхода струи из каждого отверстия. В таком случае многоручьевая головка будет иметь степень неравномерности выхода экструдата близкую к $U=1,0$.

На рис. 3 показана многоручьевая экструзионная головка с гиперболическим выступом для производства жгутов, шнуров, прутков и стержней из полимерных материалов.

Многоручьевая экструзионная головка, представленная на рис. 3, позволяет повысить производительность и качество полимерных изделий за счет обеспечения равномерного распределения потока полимера. Для этого головка снабжена обтекателем, выполненным в виде направляющей втулки с гиперболическим рабочим профилем и установленным в корпусе на выходе подводящего канала, выступ многоручьевого мундштука выполнен в виде однополюсного гиперболоида вращения.

Многоручьевая экструзионная головка содержит корпус 1, многоручьевый мундштук 2 с выступом 3 и каналами 4. Выступ 3 выполнен в виде однополюсного гиперболоида вращения. Многоручьевый мундштук 2 размещен в корпусе 1 и закреплен посредством соединительной втулки 5.

Экструзионная головка снабжена обтекателем б потока, выполненным в виде направляющей втулки с гиперболическим профилем 7, для обеспечения плавного входа в зону 8 перед входом в каналы 4 многоручьевого мундштука 2. Между обтекателем б потока и корпусом 1 расположено уплотнительное кольцо 9.

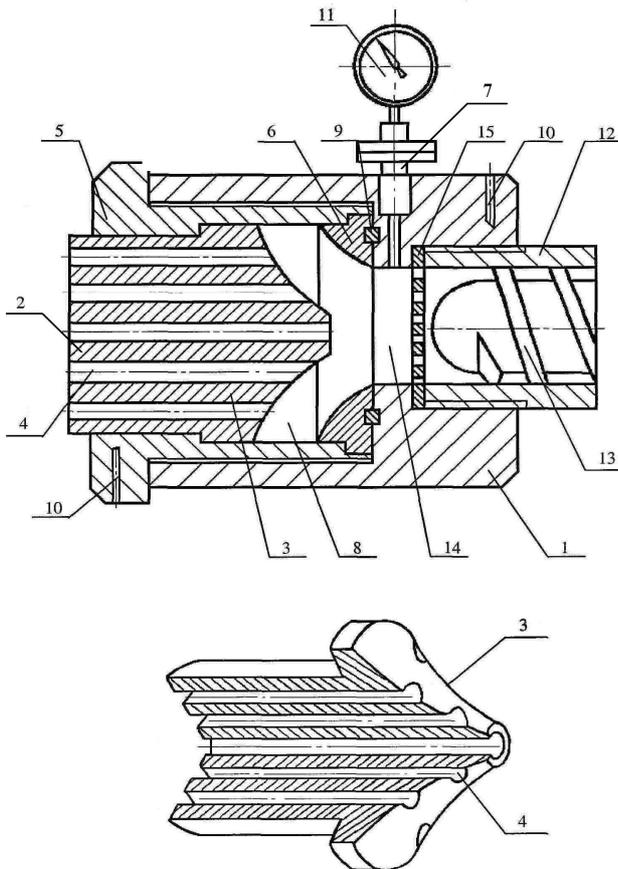


Рис. 3. Многоручьевая экструзионная головка с гиперболическим выступом для производства жгутов, шнуров, прутков и стержней из пластмасс: 1 – корпус; 2 – многоканальный мундштук; 3 – гиперболический выступ; 4 – каналы; 5 – соединительная втулка; 6 – обтекатель; 7 – втулка; 8 – зона перед входом в каналы; 9 – уплотнительное кольцо; 10 – отверстия; 11 – манометр; 12 – материальный цилиндр; 13 – шнек; 14 – подводящий канал; 15 – фильтрующая решетка

В экструзионной головке выполнены отверстия 10 под термопары для контроля температуры. Манометр 11 с разделительной диафрагмой предназначен для замера давления в экструзионной головке.

Корпус 1 соединен с материальным цилиндром 12 экструдера со шнеком 13. В подводящем канале 14, между материальным цилиндром 12 и корпусом 1 размещена фильтрующая решетка 15. Выступ 3 многоканального мундштука 2 обращен в сторону подводящего канала 14. Обтекатель 6 установлен в корпусе 1 на выходе подводящего канала 14.

На рис. 4 показан в разборном виде многоручьевой мундштук с различными ступенчатыми выступами для изготовления полимерных изделий: жгутов, шнуров, прутков, стержней и стренг.

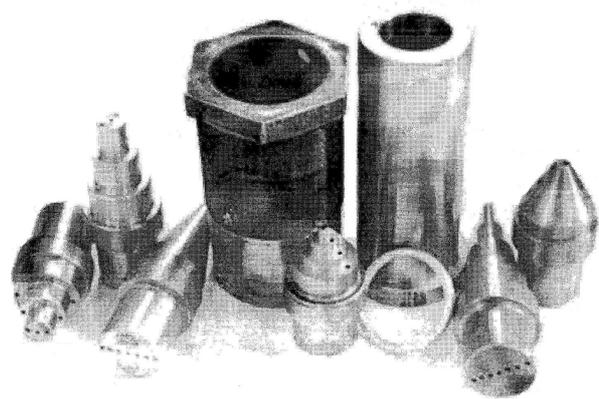


Рис. 4. Общий вид многоканальных мундштуков со ступенчатыми выступами

Далее представлены расчеты основных параметров по выравниванию профиля скоростей с помощью различных выступов многоручьевых мундштуков.

Так, степень неравномерности U может быть оценена как отношение

$$U = \frac{(dQ/dL)_{\min}}{(dQ/dL)_{\max}} = \frac{V_{\min}}{V_{\max}}, \quad (2)$$

где Q – расход расплава; L – длина канала.

При равномерном истечении расход anomalно-вязкой жидкости в цилиндрическом канале можно вычислить из уравнения [1]

$$\frac{Q}{SR_{rx}} = \frac{2}{\tau_0^3} \int_0^{\tau_0} \phi \tau d\tau, \quad (3)$$

где Q – объемный расход расплава через канал с поперечным сечением S и гидравлическим радиусом R_r ; ϕ – эффективная текучесть, определяемая из вискозиметрических данных в нашем случае на мундштуках с круглыми каналами диаметром 3 мм без выступов с длиной 50 и 75 мм, расположенных на окружностях фильеры с радиусами $r_0 = 5,5; 1,1; 16,5$ мм.

Перепад давления ΔP можно определить как:

$$\Delta P = \frac{\tau_w}{R_r}, \quad (4)$$

где τ_w – среднее напряжение сдвига на стенке канала.

Соотношение между напряжениями сдвига в произвольном сечении на стенке канала составит:

$$\frac{\tau_r}{\tau_w} = \frac{r}{R}, \quad (5)$$

где r – текущий радиус; τ – напряжение сдвига в произвольном сечении; R – радиус мундштука.

Среднюю скорость течения в каждом канале на расстоянии z от центра мундштука можно оценить по формулам:

$$V_1 = \frac{Pz_0^2\varphi}{8L_1}, \quad V_2 = \frac{Pz_0^2\varphi}{8L_2}, \quad (6)$$

где P – давление перед входом в канал; L_1, L_2 – длины каналов; φ – эффективная текучесть расплава полимера.

По формулам (5) и (6) можно определить длину любого отверстия, расположенного на расстоянии z от центра многоручьевого мундштука, если известны скорости давления.

После экспериментальных исследований профилей скоростей на семиручьевых мундштуках с параболическим выступом были получены различные профили скоростей в зависимости от перепада давлений (рис. 2, б). На основании этих значений для каналов различных радиусов получены значения длин каналов, которые могут служить исходными данными для конструирования многоручьевой формующей головки.

Длины каналов диаметром 3 мм при текущих значениях z , равных 0; 5,5; 11,0; 16,5 мм, при давлении 2,0 МПа соответствовали коническому выступу с углом при вершине $\alpha = 150^\circ$ при общей длине $L = 67$ мм. Профили скоростей для данного сечения при течении расплава полиэтилена в зависимости от перепада давлений показаны на рис. 2, а.

Проведенные исследования показали, что с помощью центральных выступов мундштука можно конструировать формующую головку,

обеспечивающую выход экструдата со степенью неравномерности по линейным скоростям к $U = 1,0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Панов, А. К.** Гидродинамика потоков anomalно-вязких полимерных систем в формующих каналах / А. К. Панов, А. Р. Анасов. Уфа : УГНТУ, 1994. 260 с.

ОБ АВТОРАХ



Панов Александр Александрович, нач. механич. бюро ПКО ОАО «Сода». Канд. техн. наук (УГНТУ, 2002). Иссл. в обл. расчетов и моделирования в аппаратостроении.



Жернаков Владимир Сергеевич, проф., зав. каф. сопротивления материалов. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1967). Д-р техн. наук по тепл. двигателям ЛА (УГАТУ, 1992). Иссл. в обл. механики деформируемого твердого тела.