

УДК: 678.532.135

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ТЕРМОПЛАСТОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ

О.В. ПАХАРЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Статтю присвячено застосуванню різних методів вимірювання і регулювання в'язкості термопластів в процесі екструзії. Використання вбудованого віскозиметра постійної витрати в устаткування екструзії і комп'ютерних програм управління дає можливість регулювати в'язкість в процесі переробки термопластів. Приведений узагальнений алгоритм управління: температури, тиску, швидкості зрушення і дії, що управляє, на частоту обертання робочого органу

Использование машин для переработки полимеров большой единичной мощности и производительности требует значительного снижения материальных затрат, а любое ухудшение свойств полимеров в процессе переработки очень часто приводит к невосполнимым затратам.

Одним из путей повышения надежности и качества полимерной продукции, регулирования отдельных показателей экструзионного оборудования, который включает затраты сырья, энергии и трудоемкость процесса, является использование устройств, обеспечивающих контроль и регулирование процессом переработки термопластов [1, 2].

Так, с целью направленного регулирования технологическим процессом переработки термопластов необходимо контролировать [3] и регулировать вязкость, как величину, которая непосредственно связана со структурой расплава полимера и учитывает влияние температуры, молекулярных характеристик, напряжения сдвига и добавок. Такое регулирование вязкости расплава позволяет обеспечить равномерный объемный расход, что играет решающую роль в обеспечении стабильных физико-механических свойств изделий.

Использование вискозиметра, датчиков температуры и давления, а также микропроцессорной системы позволяет повысить точность измерения вязкости и обеспечить не только контроль, но и регулирование технологических параметров переработки. В каждом конкретном случае при выборе вискозиметра необходимо учитывать условия термодинамического воздействия на расплав полимера рабочих органов пластмассоперерабатывающего оборудования так, чтобы они были идентичны.

Объекты и методы исследования.

Для измерения вязкости расплавов термопластичных полимеров в процессе экструзии использовали метод измерения затрачиваемой мощности червячного пресса и встраиваемый в экструдер капиллярный вискозиметр постоянного расхода [3].

Целью данной работы было выбор методов измерения вязкости расплавов термопластов в процессе экструзии, позволяющих контролировать и регулировать вязкость в процессе переработки, для получения изделий высокого качества.

Одним из способов определения вязкости в процессе экструзии есть метод перевода затрачиваемой мощности в процессе экструзии термопластов.

Для этой цели используют ряд математических зависимостей, позволяющих произвести расчет вязкости из затрачиваемой мощности на процесс экструзии полимеров.

Мощность, которая подается от электродвигателя ($N_{\text{экстр}}$) постоянного тока, позволяющего регулировать частоту вращения рабочего органа в широком диапазоне, к рабочему органу (шнеку) на

процесс экструзии рассчитывается [4] из выражения 1:

$$N_{\text{экстр.}} = N_{\text{з.д.}} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \quad , \quad (1)$$

где: $N_{\text{з.д.}}$ – мощность, затрачиваемая электродвигателем в процессе переработки, кВт; η_1 –коэффициент полезного действия (кпд) электродвигателя, зависящий от нагрузки и частоты вращения двигателя, 0,4–0,7 ; η_2 – КПД теристорных преобразователей, 0,95 ; η_3 – КПД редуктора, 0,95–0,97 ; η_4 – КПД трущихся пар, 0,95–0,97.

Мощность, затрачиваемая нагревателями на процесс разогрева и поддержания необходимой температуры в процессе переработки [4] определяется из выражения 2

$$N_{\text{нагр.}} = 0,2 \cdot N_{\text{з.д.}} \quad (2)$$

Общее количество энергии ($N_{\text{общ}}$), подаваемого к термопласту, находящегося в рабочих органах, определяется из выражении 3

$$N_{\text{общ}} = N_{\text{экстр.}} + N_{\text{нагр.}} \quad (3)$$

Выражение 4 показывает связь между затрачиваемой мощностью в процессе экструзии термопласта и его вязкостью

$$N_{\text{общ}} \sim \tau \cdot \gamma \sim \eta \cdot \gamma^2, \quad (4)$$

где η – вязкость расплава в зоне компрессии, т.е там, где подготавливается расплав для формования изделия, МПа; γ – градиент скорости в зоне компрессии, с^{-1} .

Вязкость в процессе экструзии термопластов определяется из выражения 5

$$\eta \sim k \frac{N_{\text{общ}}}{\gamma^2}, \quad (5)$$

где k – эмпирический коэффициент. для каждого полимера, имеющий свое значение.

Подставляя данное выражение 5 в компьютерную программу, через затрачиваемую мощность, непрерывно в процессе экструзии определяют вязкость расплава полимера.

Регулирование вязкости расплава позволяет обеспечить равномерность объемного расхода, что играет решающую роль в получении необходимых физико-механических свойств изделий .

Использование вискозиметра, датчиков температуры и давления и микропроцессорной системы позволяет повысить точность измерения вязкости и обеспечить не только контроль, но и регулирование технологическими параметрами переработки. В каждом конкретном случае при выборе вискозиметра необходимо учитывать условия термодинамического воздействия на расплав полимера рабочих органов пластмассоперерабатывающего оборудования так, чтобы они были идентичны [5, 6].

Выбор места установки вискозиметра в экструдере играет важную роль для регулирования процесса экструзии при переработке полимеров за счет поддержания определенного значения вязкости расплава. Для этого необходима идентификация значений вязкости в вискозиметре и на участке перед формующим инструментом – головкой. В этом случае определяют условие подобности вязкости в вискозиметре и в месте выхода полимера в головку. Конфигурация рабочего органа влияет на качество расплава, который имеет определенные характеристики на выходе из червяка. Вискозиметр, например, капиллярный [7] устанавливается в месте последнего витка зоны дозирования червяка, то есть там, где расплав подготовлен к подаче его в формующий инструмент. Угол установки выходного канала патрубке вискозиметра оценивается с учетом минимального сопротивления его выхода с одной стороны, а с

другой, принимаются во внимание технологические и конструктивные решения подключения вискозиметра. В качестве примера представлен капиллярный вискозиметр постоянного расхода, который может контролировать и управлять вязкостью в процессе переработки (рис.2).

На рис.2 представлен продольный разрез капиллярного вискозиметра для определения реологических характеристик полимеров с одновременным учетом входного эффекта. Капиллярный вискозиметр содержит помпу 3, реометрическую головку 9, датчик температуры 6, насос 4, два датчика давления 5, капилляры разной длины 7 и 8, электронный блок. Помпа 3 и реометрическая головка 9 стянуты шпильками. Помпа 3 представляет собой термостатируемый металлический цилиндр, в теле которого закреплен насос 4, приводимый в движение шаговым электродвигателем.

Бесконтактность и возможность получения низких с широким диапазоном регулирования скоростей насоса без применения понижающих редукторов, позволяет применять его в жестких условиях эксплуатации, характеризующимися высокими температурами и агрессивностью среды.

Ступенчатость движения шагового двигателя осуществляется с помощью электрического дробления шага, обеспечиваемого контроллером шагового двигателя. Контроллер шагового двигателя входит в состав побудителя расхода, с помощью которого можно изменять число оборотов насоса от 5 до 50 мин⁻¹ с шагом 1 мин⁻¹, и соответственно, расхода расплава полимера. С помощью блока побудителя расхода на цифровом табло индуцируется скорость сдвига. Эта информация преобразуется в токовый сигнал 0–5 мА для передачи информации на ЭВМ.

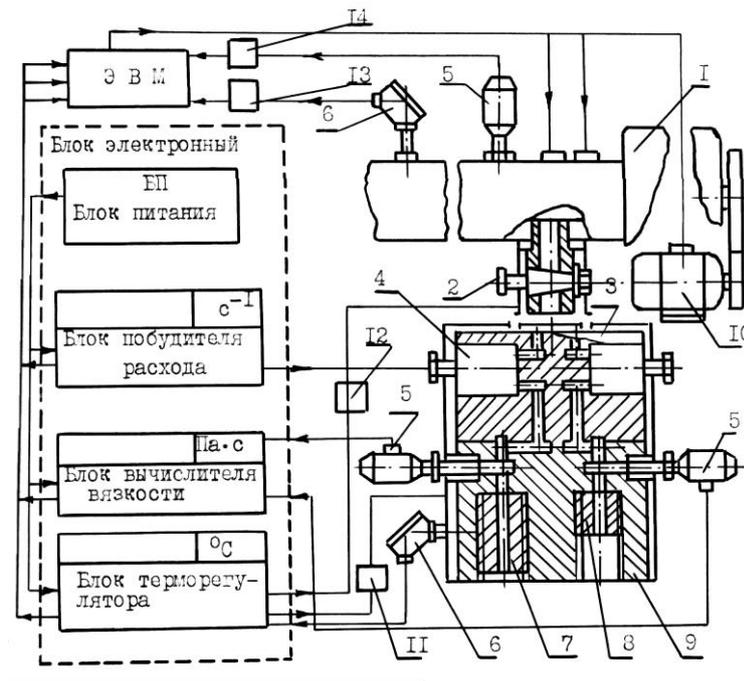


Рис.2. Схема встраиваемого капиллярного вискозиметра постоянного расхода:

1– экструдер; 2– вентиль; 3 – помпа; 4 – насос; 5– датчик давления; 6 – датчик температуры;
7– капилляр; 8– капилляр; 9 – реометрическая головка; 10 – электродвигатель экструдера;
11, 12, 13, 14 – устройства согласующие

Реометрическая головка 9 представляет собой термостатируемый металлический цилиндр, нижний торец которого позволяет установить параллельно сменные капилляры 7 и 8.

Расплав полимера из экструдера 1 под давлением через переходник 2 поступает в помпу 3 капиллярного вискозиметра. Затем насосом 4, выставленным на определенную скорость подачи, расплав подается в капилляры 7 и 8 реометрической головки 9. Параллельная установка капилляров 7 и 8 одного диаметра и разной длины, одновременно, позволяет повысить точность измерения вязкости (учесть входовой эффект) и сигналами датчиков 5, поступающими в блок вычислителя вязкости, индцировать на цифровом табло. Одновременно производится контроль температуры расплава датчиком температуры 6, сигналы от которого поступают в блок терморегулятора.

Электронный блок (рис.2) состоит из блока побудителя расхода, блока терморегулятора, блока вычислителя вязкости и блока питания.

Блок побудителя расхода управляет работой шагового электродвигателя, который приводит в действие дозирующий шестеренчатый насос. На лицевой панели блока находится кодовый переключатель, с помощью которого устанавливается необходимая частота вращения шестеренчатого насоса в пределах от 5 до 50 мин⁻¹. В блоке побудителя расхода имеется плата вычислителя скорости сдвига, которая по расходу исследуемой среды, пропорционально заданной частоте вращения дозирующего насоса и по диаметру используемого капилляра производит расчет скорости сдвига. Скорость сдвига индцируется на четырехразрядном цифровом табло.

Блок терморегулятора управляет электронагревателями, задает необходимую температуру с помощью кодового переключателя, осуществляет контроль за температурой термопласта при помощи термометра сопротивления, который подключается посредством экранированного кабеля к плате соединительной. Температура индцируется на цифровом табло.

Блок вычислителя вязкости представляет собой арифметический модуль, который по сигналу о давлении, приходящем от датчика давления по экранированному кабелю к плате соединительной и по сигналу о скорости сдвига, приходящей из блока побудителя расхода, позволяет вычислить вязкость исследуемой среды. Предварительно на лицевой панели блока вычислителя вязкости кодовым переключателем выставляют диаметр и длину выбранного капилляра.

Блок питания необходим для преобразования переменного напряжения в постоянное, фильтрации и стабилизации его, и предназначен для питания всех блоков, входящих в состав электронного блока.

В электронно-вычислительной машине управляющие сигналы вырабатываются и подаются на электродвигатель 10, систему подогрева и охлаждения экструдера 1 после преобразования сигналов (из блоков побудителя расхода, вычислителя вязкости, терморегулятора) от датчиков температуры 6 и давления 5, установленных на капиллярном вискозиметре и экструдере 1 через устройства согласующие 11, 12, 13, 14. При необходимости повышения производительности выше, чем это достигается при оптимальных параметрах переработки (автогенном режиме) с ростом температуры расплава из ЭВМ подается управляющий сигнал на включение системы охлаждения экструдера 1 для поддержания заданной температуры расплава в установленных пределах.

Построение обобщенного алгоритма базируется на 3-х блоках управления: температуры, давления, скорости сдвига и управляющего воздействия на частоту вращения рабочего органа (рис.3). Вначале на экране монитора компьютера выводится видеодиаграмма или меню для выбора соответствующего полимерного материала.

давления, температуры, частоты вращения, скорости сдвига. В зависимости от отклонения осуществляется ручная подстройка указанных параметров до их необходимого уровня. В случае аварийного режима предусматривается выдача дискретного сигнала для аварийной сигнализации. Производится сравнение текущего значения $T_{\text{экс}}$. С технологическим необходимым значением $T_{\text{экс}}$. и выдается соответствующее решение, исходя из значений $T_{\text{экс}} = T_3 + \Delta T_3$. Опрос блока побудителя расхода с целью определения вязкости (η), производится для включения блока побудителя расхода и открывается кран подачи расплава вискозиметра. Затем выдается на дисплей текущее значение вязкости и производится сравнение с заданным и принимается решение по коррекции вязкости. Одновременно производится контроль скорости сдвига с опросом датчика. Также выводится на дисплей текущее значение скорости сдвига, которое равно $\gamma_{\text{тек}} = \gamma_3 + \Delta \gamma_3$. Одновременно подается на дисплей и сообщение о необходимости подстройки скорости сдвига до заданного значения. После анализа значений скорости сдвига (γ) и вязкости (η) на экран выводится сообщение о необходимости закрытия крана побудителя.

Выводы

Рассмотренные методы измерения вязкости расплава термопластичных полимеров в процессе экструзии, прошедшие апробацию в производственных условиях. Приборы и системы управления позволяют не только измерить реологические характеристики расплава полимеров, но и регулировать вязкость за счет изменения параметров переработки в процессе экструзии с помощью компьютерной программы.

ЛІТЕРАТУРА

1. Bolder G., Langhorst H. Zahnrad-Schmelzepumpen iin der Extrusion // Kunststoffe. –1988. № 78. – S.27–33.
2. Пахаренко В.А., Зверлин В.Г., Кириенко Е.М. Наполненные термопласты. Техніка. –1986. –200 с.
3. Пахаренко А., Анохин В., Кириенко Е.М. Реологические характеристики некоторых полимеров, измеренных на различных вискозиметрах // Информатизация та нові технології. –1997. –№1. –С. 28–31.
4. Holton E.Harris. Extrusion Control. Hanser. 2004. – 153 s.
5. Пахаренко В.А., Кириенко Е.М., Пахаренко А.В. Определение энергозатрат пластмассоперерабатывающего оборудования. Киев. Энергетический Центр ЕС в Киеве. Программа TACIS. 1995. –45 с.
6. Пахаренко В.А., Яковлева Р.А., Пахаренко А.В. Переработка полимерных композиционных материалов. Киев. Воля. – 2006. –552 с.
7. Пахаренко О.В. Розробка методу регулювання реологічних властивостей термопластів у процесі екструзії. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд.технічних наук. Київ. 1997. –23с.
8. Пахаренко А., Анохин В., Кириенко Е.М. Реологические характеристики некоторых полимеров, измеренных на различных вискозиметрах // Информатизация та нові технології. 1997. –№1. –С.28–31.
9. Пахаренко В.А., Зверлин В.Г., Привалко В.П., Петрушенко Е.Ф., Демченко С.С., Гладченко А.Н. Теплофизические и реологические характеристики и коэффициенты трения наполненных термопластов. Киев. Наукова думка. –1983. –С.121.

Надійшла 19.01.2011