

ЧЕРВ'ЯЧНО-ШЕСТЕРЕННИЙ ЕКСТРУДЕР ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Швед М.П., канд. техн. наук, доц. Швед Д.М., інж., Степанюк Д.А., магістрант
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, м. Київ

Проведено аналіз черв'ячного і черв'ячно шестеренного екструдерів, наведена їх порівняльна характеристика: точності дозування розплаву, зміни тиску та температури.

The analysis of the worm and worm gear extruder, given their comparative characteristics: precision dispensing melt, changes in pressure and temperature.

Ключові слова: екструзія, шестеренний насос, тиск, температура.

Постановка проблеми

На сьогоднішній день розширюється асортимент полімерних матеріалів. Суттєве збільшення їхнього виробництва потребує створення високопродуктивного та ресурсоенергоощадного обладнання для їх переробки у найрізноманітніші вироби. Найбільш ефективним є екструзійне обладнання, серед якого найчастіше використовуються одночерв'ячні екструдери [1].

Для отримання виробів високої якості необхідно, щоб робота екструдера і процеси, які проходять в ньому, були стабільними і протікали в оптимальному режимі. Однак, практично це важко реалізується через ряд факторів від яких залежать продуктивність екструдера і якість екструдата [2].

Основна задача при створенні нових та модернізації існуючих установок полягає у підвищенні продуктивності обладнання при високій якості виробів та при низьких питомих енергозатратах.

Важливою проблемою при екструзії полімерів є пульсація тиску, яка призводить до перевитрати сировини. Для усунення нестабільності в роботі екструдера змінюють геометрію та конструкцію шнека, модернізують систему керування приводом, але ці засоби вимагають значних капіталовкладень та лише частково вирішують вищезгадану проблему [3].

Цілі статті

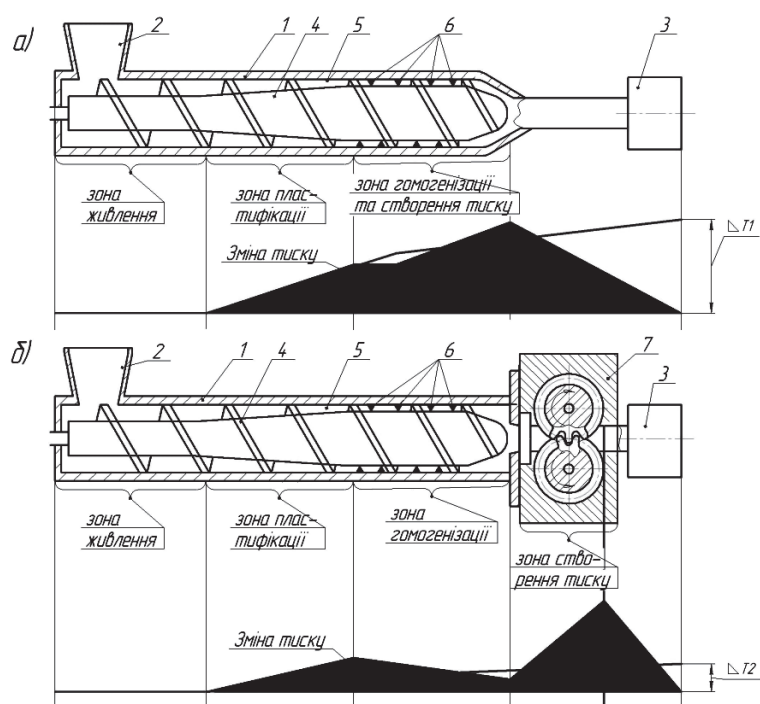
Метою статті є аналіз та шляхи вирішення проблеми перевитрат сировини та енергії при екструзії полімерів.

Виклад основного матеріалу

Вирішенням проблем пульсації тиску та перевитрат сировини й енергії може бути встановлення між екструдером і формуючим інструментом дозуючого шестеренного насосу який має жорстку напірну характеристику, і використання якого дозволяє заощаджувати полімер [4].

Завдяки тому, що шестеренний насос не просто перекачує розплав полімеру, а й створює та стабілізує необхідний тиск для проходження розплаву через головку екструдера, то робота самого екструдера тепер спрямована тільки на розплавлення та гомогенізацію полімеру, що є перевагою в використанні черв'ячного екструдера з шестеренним насосом.

При використанні шестеренного насосу черв'як екструдера потребує удосконалень для роботи в нових умовах. В першу чергу необхідні зміни геометрії черв'яка, такі як глибина та крок нарізки, щоб на виході створювався тиск 3–5 МПа та відбувалася достатня гомогенізація розплаву. На рисунку 1 наведені зміни тиску та температури по зонах екструдера у вигляді порівняльних характеристик [5, 6] з яких видно, що використання шестеренного насоса між черв'ячним екструдером і формуючим інструментом дозволяє збільшити довжину зони гомогенізації, та знизити температурне навантаження на розплав, підвищуючи його якість. Попередні дослідження показали, що після встановлення шестеренного насосу, коливання тиску та продуктивності в системі практично повністю згладжуються і стабілізуються, зростає продуктивність, вирівнюється температурна однорідність розплаву, значно знижується можливість місцевого перегрівання розплаву, а його середня температура зменшується на $\Delta T = 8 \dots 15^\circ\text{C}$. При цьому економиться вихідна сировина, так як передозування не перевищує 1...2%, проти 5-8% в екструдерах без шестеренного насосу.



a – схема черв'ячного екструдера; *б* – схема черв'ячно-шестеренного екструдера
 1 – корпус; 2 – завантажувальний отвір; 3 – формуючий інструмент; 4 – черв'як;
 5 – робочий канал; 6 – змішуючий елемент; 7 – шестеренний насос.

Рис.1 – Зміна тиску та температури по зонах в екструдері

Продуктивність зони дозування черв'ячного екструдера де відбувається створення тиску та гомогенізації визначається за формулою [7] :

$$Q = \frac{U_z \cdot \omega \cdot h}{2} F_a - \frac{\omega \cdot h^3}{12 \cdot \eta} \frac{dP}{dz} F_p \tag{1}$$

де ω – ширина каналу;

h – висота зазору;

η – не ньютонівська в'язкість, що залежить від швидкості зсуву та температури;

$\frac{dP}{dz}$ – зміна тиску на вході і на виході;

F_a – коефіцієнт форми вимушеного потоку;

F_p – коефіцієнт форми під дією градієнту тиску;

U_z – швидкість рухомої поверхні відносно нерухомої.

Перший член наведеного рівняння характеризує течію розплаву, яка спричинена різницею швидкостей рухомої та нерухомої пластин, при плоско паралельній моделі. Друга складова – відображає рух полімеру за рахунок різниці тисків, коли обидві складові рівні між собою об'ємний видаток дорівнює 0, а розплав циркулює в зоні дозування. За рахунок зміни співвідношення різниці тисків між входом в зону гомогенізації і формуючим інструментом, швидкістю та глибиною каналу досягають необхідної гомогенізації розплаву в цій зоні. З іншого боку зміна швидкості призводить до значної зміни об'ємної продуктивності, тому як правило необхідна гомогенізація досягається за рахунок зміни глибини каналу при проектуванні черв'яків і зміни опору перед формуючим інструментом при експлуатації екструдерів.

Продуктивність черв'ячного екструдера з шестеренним насосом обмежується продуктивністю шестеренного насоса, так як він створює тиск для формуючої головки. Розрахунок його продуктивності зводиться по суті до визначення параметрів шестеренного насоса, який в кожному конкретному випадку має

визбиратися в узгодженні з параметрами черв'ячного екструдера. Продуктивність шестеренного насосу може бути розрахована за формулою [8]:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot v \cdot n \cdot (R_s^2 - R^2 - \frac{t_0^2}{12}) - \frac{\Delta P}{12 \cdot \eta \cdot L} \cdot b \cdot h^3 \pm \frac{U \cdot b \cdot h}{2} \quad (2)$$

де v – ширина шестерні;

R_s – радіус кола виступів шестерні;

R – радіус основного кола;

t_0 – крок зачеплення зубів по основному колу;

n – число обертів шестерні.

U – середня швидкість рухомої поверхні відносно нерухомої;

b – ширина каналу;

h – радіальний чи торцевий зазор;

ΔP – різниця тисків на вході і виході в шестеренному насосі;

L – довжина каналу;

η – не ньютонівська в'язкість, що залежить від швидкості зсуву та температури.

В наведеному виразі перша складова відображає теоретичну продуктивність шестеренного насосу, яка розраховується на основі теорії евольвентного зачеплення, друга і третя складові відображають втрати цієї продуктивності через зазори між рухомими та нерухомими поверхнями шестеренного насосу. Наведені втрати необхідні так як розплав змащує поверхні тертя, а третя складова, з метою уникнення заклинювання, ніколи не може бути більшою за другу.

Втрати продуктивності за рахунок протитечії в рівнянні (1) і втрати продуктивності через зазори шестеренного насоса в рівнянні (2) залежать від опору формуючого інструмента та геометричних розмірів каналів. Приймаючи до уваги, що висота каналу в зоні дозування черв'ячного екструдера складає 3-6 мм, а в шестеренному насосі висота зазорів складає $(30-60) \cdot 10^{-3}$ мм, то втрати продуктивності в шестеренному насосі будуть в сто разів менші чим в черв'ячному екструдері без шестеренного насосу.

Аналіз рівнянь (1, 2) показує, що черв'ячний екструдер більш чутливий до зміни опору формуючої головки, що негативно впливає на геометричні розміри виробів. Для забезпечення номінальних розмірів допуски на полімерну продукцію йдуть в сторону збільшення, що призводять до перевитрати сировини, а також енергії яка витрачається на її перероблення.

В свою чергу при встановленні шестеренного насосу в черв'ячному екструдері при зміні опору формуючої головки пульсація продуктивності черв'ячно-шестеренного екструдера значно менша чим в черв'ячному екструдері без шестеренного насосу, тому що дозування та створення тиску залежить від шестеренного насосу. Завдяки цьому допуски на геометричні розміри виробів прямують в бік зменшення, що призводить до економії сировини, та енергії на її переробку.

Висновки

Використання шестеренного насосу в лініях для екструзії полімерів зменшує пульсацію тиску, знижує середню температуру розплаву, суттєво підвищує точність дозування та якість продукції, дозволяє економити сировину і енергію, яка витрачається на перероблення полімерних матеріалів.

Література

1. Сайт Bronto [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://bronto.ua/ru/products/category/1Extruders.html>
2. Раувендааль К. Экструзия полимеров / К. Раувендааль, М. д. ПиларНорьегга Е., Х. Харрис; Пер. с англ, под ред. В. П. Володина–СПб.: Профессия, 2008. – 850 стр.
3. Раувендааль К. Выявление и устранение проблем в экструзии / К. Раувендааль, М. д. ПиларНорьегга Е., Х. Харрис; Пер. с англ, под ред. В. П. Володина–СПб.: Профессия, 2008. – 328 стр.
4. Сайт Oerlikon [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.oerlikon.com>.
5. Швед М. П., Швед Д. М., Петренко О. В. Використання каскадних схем і дозуючих шестеренних насосів в екструзії полімерів. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження/ Випуск №1 — 2012р
6. М. П. Швед, М. П. Швед, І.В. Луценко, А.С. Богатир Переваги використання каскадних схем та дозуючих шестеренних насосів при екструзії полімерів. Резерви ппризводства технологический аудит и резервы производства — No1/2(9), 2013 с.21.
7. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1976. - 608 с.
8. В. О. Кузьміна, Я. М. Корнієнко, М. П. Швед, Д.М. Швед Дослідження продуктивності шестеренного насоса в лінії для виробництва рукавної плівки. Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження випуск №1 – 2012р