

УДК 678.027.3

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНО-ПЛАСТИКУВАЛЬНОЇ ЗОНИ ДИСКОВОГО ЕКСТРУДЕРА ПРИ КАСКАДНІЙ ЕКСТРУЗІЇ

Швед М.П., Швед Д.М., Кеба О.В.

Національний технічний Університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У даній статті приведений аналіз завантажувально-пластикувальної зони каскадної дисково-шестеренної схеми екструзії для переробки полімерних матеріалів. Зроблений аналіз експериментальних досліджень залежності зростання тиску та температури по довжині завантажувально-пластикувальної зони.

Ключові слова: екструзія, полімер, гомогенізація, дисковий екструдер, шестеренний насос.

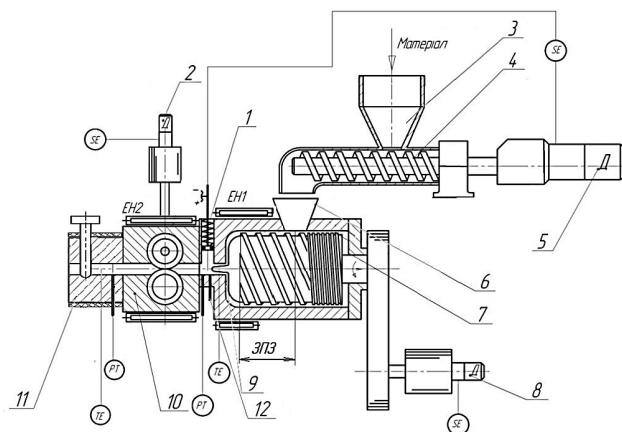
Постановка проблеми. Традиційні способи екструзії полімерів із застосуванням одночерв'ячного екструдера, завдяки своїй простоті і надійності, широко застосовуються в великотонажних виробництвах, але через те, що процеси живлення, плавлення, гомогенізації та створення тиску виконуються в них одним робочим органом – черв'яком, то такі екструдери недостатньо гнучкі в керуванні та мають значну інерційність.

Однак в сучасних умовах постає необхідність у створенні нових полімерних, композиційних матеріалів з наповнювачами, барвниками, легуючими добавками, які суттєво змінюють реологічні характеристики сировини і режими переробки, що потребує створення універсальних, гнучких в керуванні каскадних схем екструзії, в яких весь процес розділений на окремі стадії (каскади) з можливістю автономного керування ними. Це дозволяє оперативніше встановлювати раціональні режими роботи окремих операцій при якісному веденні всього технологічного процесу. До недавнього часу в процесах одночерв'ячної та каскадної екструзії на фінальній стадії для створення тиску та дозування використовувалися, в основному, одночерв'ячний дозуючий екструдер, енергоефективність якого для вищезазначених процесів є низькою [1]. До того ж коливання тиску та продуктивності на виході з черв'ячного екструдера ведуть до вимушеного збільшення допусків на геометричні розміри виробів, часто на 10-15% і, відповідно, до перевитрат сировини і енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Каскадні дисково-шестеренні екструдери, де в якості розплавлювача-гомогенізатора використовується дисковий екструдер вирізняються високим змішувальним ефектом і відносно низькою енергоемністю. Вони також характеризуються незначним часом перебування матеріалу в зоні переробки, суттєвими регульованими швидкостями зсуву, легкістю забезпечення економічного, адіабатичного режиму процесу екструзії та енергоефективною переробкою вихідної сировини. Схема такого екструдера приведена на рис. 1.

Вихідна сировина з дозатора 4 поступає в дисковий екструдер 7, де захоплюється багато-західною гвинтовою нарізкою, транспортується, нагрівається, плавиться і в вигляді розплаву подається для гомогенізації в регульований робочий дисковий зазор 9. Під тиском, що створений гвинтовою нарізкою та ефектом Вайсенберга розплав поступає в шестеренний насос 10, який дозволяє

завдяки значному внутрішньому гідравлічному опору стабілізувати коливання тиску та продуктивності на виході з екструдера, а також знімає частину навантаження з дискового екструдера, дозволяючи йому працювати при нижчому тиску і з меншими виділеннями теплоти тертя.



1 – компенсатор; 2,5,8 – приводи обертових органів екструдера дисковий екструдер; 3 – бункер; 4 – шнековий дозатор; 6 – завантажувальна горловина; 7 – дисковий екструдер; 8 – бункер; 9 – торцевий робочий зазор дискового екструдера; 10 – шестеренний насос; 11 – формувальний інструмент; 12 – датчик тиску.

Рис. 1. Схема каскадного дисково-шестеренного екструдера

Шестеренний насос в складі каскадного дисково-шестеренного екструдера виконує роль пристрою для створення тиску і дозування. Підготовлений в дисковому екструдері розплав під тиском P_1 ($3 \div 7$ МПа) заповнює міжзубні впадини і переноситься ними в зону високого тиску P_2 ($15 \div 40$ МПа), де ділиться на два потоки: основний потік поступає в формувальну головку, а другий за рахунок перепаду тисків $\Delta P = P_2 - P_1$ через зазори в шестеренному насосі повертається в зону низького тиску, змащуючи поверхні тертя.

Однією з умов стабільної продуктивності в каскадних дисково-шестеренних екструдерах є створення і підтримування сталого тиску на вході в шестеренний насос з метою повного заповнення міжзубних впадин шестерень, а також забезпечення надійних процесів плавлення та гомогенізації в розплавлювачі гомогенізаторі. Це значить, що завантажувально-пластикувальна зона (ЗПЗ) дискового екструдера повинна створювати достатній надлишковий тиск. В практичних умовах, це досягається шляхом регулювання частоти

обертання ЗПЗ дискового екструдера. Гранули які надходять із дозатора рівномірно розподіляються між багатозахідною гвинтовою нарізкою в кінці якої змішуються з часткою розплаву, доплавляються і поступають в зону гомогенізації рис. 2.

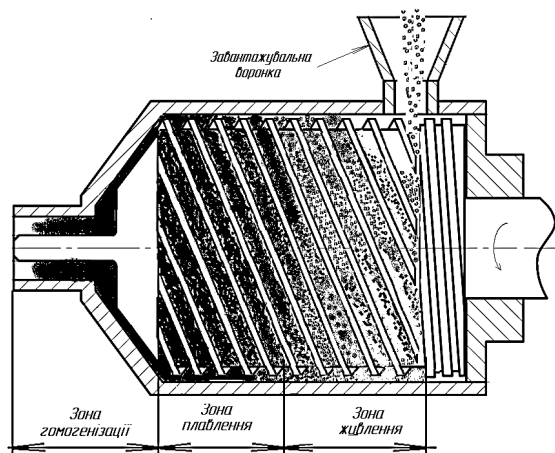


Рис. 2. Обмежене завантаження екструдера

Дослідженнями процесів які відбуваються в ЗПЗ приводилися різними авторами [1, 2, 3, 4].

При обмеженому «голодному» живленні матеріал дозується в екструдер живильником. В результаті не виникає накопичення матеріалу в завантажувальному отворі, а продуктивність визначається живильником, а не частотою обертання диска. Перші декілька витків диска частково заповнюються матеріалом без надлишкового тиску в цій частині екструдера. Канал диска залишається частково заповненим до деякої довжини від завантажувального отвору, а далі тиск починає спочатку поступово а потім раптово зростати. В дійсності «голодне» живлення зменшує ефективну довжину зони живлення.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. З огляду літературних джерел, для того, щоб заповнити міжзубні впадини шестеренного насоса розплавом полімеру тиск на виході із екструдера повинен сягати 3 ÷ 7 МПа в залежності від в'язкості розплаву.

Мета роботи: дослідження процесів створення тиску в ЗПЗ дискового екструдера

Виклад основного матеріалу дослідження. Основним параметром від яких залежать процеси, що відбуваються в ЗПЗ екструзійного обладнання є тиск, довжина та місце ділянки на якій створюється заданий тиск. Для того щоб знайти величину тиску розглянемо фізичну та математичну моделі процесу живлення в ЗПЗ каскадно-гвинтового екструдера.

Зона подачі забезпечує рівномірну подачу гранульованого або порошкоподібного полімеру в зону плавлення та гомогенізації. В переважній більшості випадків при каскадній екструзії подача полімеру здійснюється при повністю заповненому каналі гвинтової нарізки за рахунок «сухого» тертя об стінки каналу диска і циліндра

Тиск який буде утворюватись на виході із ЗПЗ дискового екструдера може бути розрахований за рівнянням [2, 5, 6]:

$$P_2 = P_1 \exp \left\{ \frac{\pi D f_c \Delta L}{b H} \left[\cos(\omega + \varphi) - f \sin(\omega + \varphi) - \frac{f}{f_c} \frac{D - 2H}{D} \right] \right\} \quad (1)$$

де P_1 – тиск на початку зони завантаження, D – діаметр гвинтової нарізки, ΔL – довжина зони ЗПЗ, H – глибина каналу (нарізки), f – коефіцієнт тертя полімеру по гвинтовій нарізці, f_c – коефіцієнт тертя полімеру об стінку корпуса, b – ширина каналу диска, φ – кут нахилу гвинтової нарізки який можна вирахувати за формулою:

$$\varphi = \arctg \frac{t}{(\pi D)} \quad (2)$$

де t – крок гвинтової нарізки.

Для визначення кута ω скористаємось формулою:

$$\omega = \arctg \left(\frac{tg \varphi \frac{G}{n}}{B \rho_n (P_c) - \frac{G}{n}} \right) \quad (3)$$

де $P_c = \frac{P_2 - P_1}{\ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)}$ – середньологарифмічне значення тиску, G – продуктивність зони подачі, а комплекс B дорівнює:

$$B = \left\{ \frac{\pi}{4} [D^2 - (D - 2H)^2] - \frac{EH}{tg \varphi} \right\} \pi D tg \varphi \quad (4)$$

Для того щоб знайти довжину ЗПЗ розв'яжемо рівняння (1) відносно ΔL , це дає формулу для визначення довжини і місця де створюється необхідний тиск:

$$\Delta L = \frac{\ln(\Delta P)}{\ln e} \frac{\pi D f_c}{b H} \left[\cos(\omega + \varphi) - f \sin(\omega + \varphi) - \frac{f}{f_c} \frac{D - 2H}{D} \right] \quad (5)$$

Із рівняння (5) видно, що довжина ЗПЗ залежить від тиску на виході із дискового екструдера.

Досліди проводились на установці рис. 1 де на вході і виході із шестеренного насоса встановлювалися датчики тиску 12 типу РТ124В-111 [7], а також датчики температури по довжині ЗПЗ.

За отриманими даними були побудовані графічні залежності зростання тиску та температури по довжині ЗПЗ дискового екструдера, рис. 3.

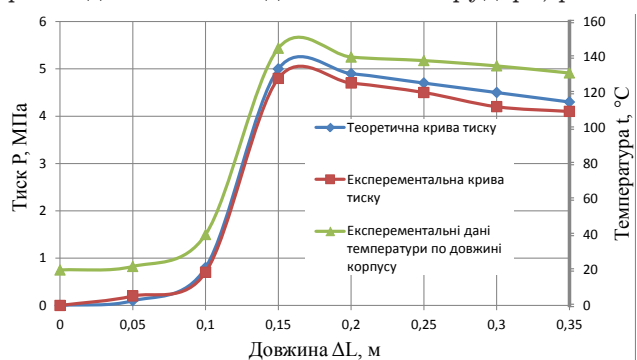


Рис. 3. Залежність тиску та температури по довжині ЗПЗ

Із яких видно, що на початку ЗПЗ біля завантажувальної воронки тиск та температура майже не змінюються тобто дорівнюють параметрам зовнішнього середовища. Далі тиск та температура по довжині гвинтової нарізки поступово зростають і приблизно на середині ЗПЗ починають стрімко зростати створюючи необхідний тиск на вході в шестеренний насос.

Із аналізу рівняння випливає, що характер кривої зміни тиску по довжині ЗПЗ значною мірою буде визначатись впливом зон плавлення, гомогенізації та тиском перед шестеренним насосом.

Зміна тиску в цих зонах спричиняє зміну тиску на виході зони подачі, що забезпечується в певних межах за рахунок довжини ділянки низького тиску і зміщення експоненти тиску паралельно самій собі по координаті L в сторону отвору для подачі гранул, якщо опір зростає, або в сторону зони плавлення, якщо опір зменшується. Таке саморегулювання можливе тому, що основне зростання тиску відбувається на невеликій ділянці по довжині зони подачі і стиснута полімерна пробка має можливість переміщуватись вздовж циліндра, забезпечуючи тим самим необхідне значення тиску на виході зони. Тому на поверхні тертя виділяється значна кількість теплоти і температура на цих поверхнях дуже швидко досягає температури плавлення полімеру і ефективність подачі різко зменшується. Таким чином, ефективність роботи зони живлення обмежується одним із факторів: довжиною зони та умовами теплообміну на поверхнях тертя або міцністю гранул.

Якщо зважати на те, що ЗПЗ повинна генерувати достатній тиск, для проходження зони плавлення і гомогенізації і мати надлишковий тиск на вході в шестеренний насос то до цієї зони можна поставити вимогу, щоб ЗПЗ забезпечувала близький до нульового значення градієнту тиску в зонах плавлення і гомогенізації. Іншими словами, максимум тиску має бути на виході зони подачі. При виконанні цієї вимоги по довжині дискового екструдера встановлюється найбільш низький рівень тиску. Таким чином зміною частота обертання можливо регулювати місце де градієнт тиску має максимальне значення.

Аналіз кривих температурного профілю корпусу показує, що при досягненні на границі «циліндр-полімер» температури рівній температурі

плавлення полімеру спостерігається різке збільшення градієнту температур, а після досягнення максимуму температура починає падати. Такий хід кривих пояснюється тим що утворена на стінці циліндра плівка розплаву, товщина якої незначна а в'язкість висока, виникають значні швидкості зсуву, які ведуть до інтенсивної дисипації енергії в цьому місці. При подальшому русі пробки по каналу товщина і температура плівки збільшується, в'язкість падає і відповідно дисипація енергії та температура на границі «циліндр-полімер» зменшується. Цим пояснюється в подальшому падіння температури в корпусі. Таким чином при встановленні режиму переробки полімеру необхідно так підбирати частоту обертання диска та величину зазорів, щоб максимальний градієнт температур відбувався приблизно по середині ЗПЗ. При цьому є можливість змінювати термо-механічне навантаження на розплав за рахунок регулювання обертів ЗПЗ в межах $\pm 10\%$ від номінально встановлених, при цьому ділянка з максимальним градієнтом тиску та температури теж зміститься по довжині ЗПЗ. При зростанні обертів вона зміщується до виходу при зменшенні обертів вона зміщується до авантажувальної воронки.

Висновок. Отже, регулюванням частоти обертання ЗПЗ при дозованому живленні дискового екструдера можна регулювати, при сталій продуктивності, місце максимального зростання градієнту тиску та температури і впливати на вхідний тиск в шестеренному насосі.

Таким чином приведені залежності підтверджуються експериментальними даними і можуть бути використані при проектуванні каскадних дисково-шестеренних екструдерів.

Список літератури:

1. Раувендааль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ, под ред. А. Я. Малкина – СПб.: Профессия, 2006. – 768 стр., ил.
2. Радченко Л. Б. Моделирование процес сов переработки термопластів на базе комбинированных экструдеров: Дисс. ... д-ра тех. наук. – К., 1992. – 316 с.
3. Резнік Р. Ю. Визначення потужності в авантажувально-пластикуючій зоні дискового екструдера / Р. Ю. Резнік, М. П. Швед, Д. М. Швед // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – 2/7(62). – С. 26–29. – ISSN 1729–3774. (Входить до наукометричних баз: Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, WorldCat, РІНЦ).
4. Луценко І. В. Дослідження процесу плавлення полімеру при черв'ячній екструзії / І. В. Луценко, М. П. Швед, Д. М. Швед, Л. Г. Воронін. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 2/7(62). – С. 37–39. – ISSN 1729–3774. (Входить до наукометричних баз: Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, WorldCat, РІНЦ).
5. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров. – М.: Химия, Колос С, 2005. – 568 с. : ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
6. Кеба О. В., Швед М. П., Швед Д. М. Экструзія еластомерів // Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв: Зб. тез доп. XVI міжнародної наукової конференції. – Одеса. – 2016. – Ст. 218-220.
7. Сайт Обладнання для переробки полімерів [електронний ресурс] режим доступу – http://www.pp30.ru/menu_left/DD/DD_111/

Швед Н.П., Швед Д.Н., Кеба О.В.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЗАГРУЗОЧНО-ПЛАСТИЦИРУЮЩАЯ ЗОНЫ ДИСКОВЫХ ЭКСТРУДЕРОВ ПРИ КАСКАДНОЙ ЭКСТРУЗИИ

Аннотация

В данной статье приведен анализ загрузочно-пластикувальной зоны каскадной дисково-шестерённой схемы экструзии для переработки полимерных материалов. Сделан анализ экспериментальных исследований зависимости роста давления и температуры по длине загрузочно-пластикувальной зоны.

Ключевые слова: экструзия, полимер, гомогенизация, дисковый экструдер, шестеренный насос.

Shved M.P., Shved D.M., Keba O.V.

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

DETERMINATION OF LENGTH OF FEEDING AND PLASTIFYING ZONE OF A DISK EXTRUDER IN THE PROCESS OF CASCADE EXTRUSION

Summary

In this article the analysis of boot-plasticville zone cascade disc-resteranno schematic of extrusion for processing of polymeric materials. The analysis of experimental researches of dependence of growth of pressure and temperature along the length of the loading plasticware zone.

Keywords: extrusion, polymer, homogenization, disk extruder, a gear pump.