УДК 678.057

ОСОБЛИВОСТІ І ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ У ЗАВАНТАЖУВАЛЬНО-ПЛАСТИКУЮЧІЙ ЗОНІ ДИСКОВОГО ЕКСТРУДЕРА

Швед М.П., канд. техн. наук, доц., Резнік Р.Ю., Швед Д.М., інженер
Національний Технічний Університет України «КПІ», м. Київ

В статті надані результати аналітичних та експериментальних досліджень процесів у завантажувально-пластикуючій зоні дискового екструдера, які дають змогу розробити методику розрахунку енергосилових параметрів дисковго екструдера для переробки полімерів.

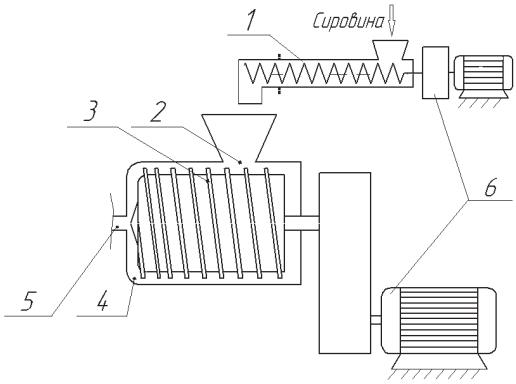
This article is about results of the theoretical analysis and experimental researches of the processes in loading and plastic zone of the disk extruder, which gave an opportunity to design a power calculation method for energy parameters of the disk extruder for the processing of polymers.

Ключові слова: екструзія, завантажувально-пластикуюча зона (ЗПЗ), дисковий екструдер.

Все зростаючі обсяги виробництва та переробки полімерних матеріалів вимагають від галузі полімерного машинобудування ширшого використання ресурсозберігаючих технологій. На сьогоднішній день у процесах екструзії найпоширенішим обладнанням є одночерв´ячний екструдер, на якому базується більшість технологічних ліній. В одночерв´ячному екструдері такі операції як живлення, стискання, розплавлення, гомогенізація, створення тиску та дозування полімеру виконуються одним робочим органом – черв´яком, і зміна якихось параметрів одного з процесів з метою оптимізації, призводить до зміни всіх інших процесів, які тісно пов'язані між собою [1]. Саме тому все ширшого поширення набувають каскадні схеми екструзії. Апаратурне оформлення каскадів залежить від конкретного призначення екструдера. Необхідно зазначити, що на першій стадії в якості розплавлювача-гомогенізатора доцільно використовувати дисковий екструдер, який має високу змішувальну здатність, короткий час переробки (10-12 с), просту конструкцію та низькі питомі показники. Особливістю такого екструдера є те, що дисковий розплавлювач-гомогенізатор забезпечує регульоване термомеханічне навантаження на полімер, за рахунок можливості зміни частоти обертання черв´ячно-дискової частини та робочого зазору дискового екструдера при незмінній продуктивності, яка забезпечується шнековим дозатором.

Але дискові екструдери не створюють достатнього тиску екструзії, і в чистому вигляді знаходять досить обмежене застосування. Дискові екструдери, як розплавлювачі-гомогенізатори, використовуються при виготовленні моноволокон, багатошарових матеріалів, орієнтованої плівки, труб, листів, композиційних матеріалів, профільно-погонажних виробів, резини і таке інше [2,3].

За своїм функціональним призначенням завантажувально-пластикуюча зона (ЗПЗ) дискового екструдера призначена для захвату полімеру, що подається шнековим дозатором, часткового або повного плавлення та подачі його в робочі зазори. Схема представлена на рис. 1.



1 – шнековий дозатор; 2 – завантажувальна горловина; 3 – диск з n-західною нарізкою;

4 – робочий зазор; 5 – вивантажувальний отвір; 6 – система приводів

Рис. 1 – Схема дискового екструдера

Розглянемо більш детально процеси в ЗПЗ дискового екструдера в порівнянні з аналогічними процесами, що протікають у звичайних черв'ячних екструдерах, які детально описані в роботах Мак-Келві [4], Торнера [5], Тадмора [6].

Черв'ячна нарізка цієї зони виконана на циліндричній частині диска і дорівнює його діаметру. Частота обертання диска і, відповідно, черв'яка вибирається з умови забезпечення стабільної роботи дискових зазорів і гомогенності розплаву і в 5 – 6 разів перевищує загальноприйняту частоту обертання черв'яків звичайних черв'ячних екструдерів з такими ж діаметрами черв'яка при значно меншій питомій продуктивності. Крім того, ЗПЗ має в 4 – 5 разів менші розміри завантажувальної горловини в порівнянні зі звичайними черв'ячними екструдерами, її черв'ячна нарізка багатозахідна, і має в 2 – 3 рази меншу глибину та довжину. Перелічені конструктивні особливості створюють значний вплив на процеси, що протікають в дисковому екструдері.

На рис. 2 приведена схема живлення n – західного червяка, на якій видно, що кожен з n – витків знаходиться в зоні завантажувальної горловини тільки $1/n$ частку оберта. Тому, завантажувальна горловина завжди працює в так званому «голодному» режимі. При цьому довжина ділянки з повністю заповненим каналом залежить від опору дискової зони, для подолання якого завантажувально-пластикуюча зона повинна створити певний тиск. Зі збільшенням цього опору полімерна пробка, що утворюється переміщується в сторону завантажувальної горловини. Таким чином,кожен виток n – західного черв'яка періодично заповнюється полімером, який по мірі його руху вздовж каналу черв'яка поступово ущільнюється. Степінь ущільнення та довжина каналу, повністю заповненого полімером, залежить від опору дискової головки.

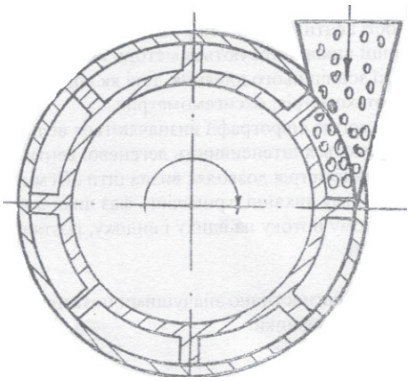


Рис. 2 – Схема живлення ЗПЗ дискового екструдера

Ще однією відмінною особливістю є підвищена кутова швидкість черв'яка, тому ефект зішкрібання плівки розплаву витком черв'яка в зоні плавлення вищий, ніж в звичайному екструдері, відповідно, менша середня товщина плівки розплаву. Цей ефект разом з підвищеною кутовою швидкістю викликає значно більш високе розігрівання розплаву полімеру біля стінки циліндра, що необхідно враховувати при переробці термічно-чутливих матеріалів. У режимі, що встановився, не потрібно підводити теплоту від зовнішніх нагрівачів і екструдер працює практично в адіабатичному режимі. Ці особливості потребують уточнення існуючих математичних моделей, що описують аналогічні процеси в звичайному черв'ячному екструдері.

По довжині багатозахідного черв'яка ЗПЗ дискового екструдера можна виділити наступні зони.

Зона «голодного» живлення, в якій канал черв'яка не повністю заповнений полімером, але на відміну від однозахідного шнекового дозатора полімер в залежності від положення витка поперемінно дотикається до поверхні черв'яка і циліндра і швидко переміщується в зону стиснення.

Зона з повністю заповненим каналом черв'яка. Довжина цієї зони залежить від опору дискової головки і збільшується зі збільшенням останнього. Очевидно, що опір наступних зон не буде впливати на продуктивність доти, поки зона, що збільшується з повністю заповненим каналом черв'яка, не досягне завантажувальної горловини, тобто поки не зникне зона «голодного» живлення. На першій ділянці зони, що розглядається, відбувається транспортування полімерної пробки, але без її плавлення за рахунок сил тертя полімеру зі стінкою циліндра і черв'яком. Теплота, що виділяється за рахунок «сухого» тертя, йде на часткове нагрівання полімеру, а частково виділяється в навколишнє середовище через стінку циліндра, якщо циліндр охолоджується. Плавлення полімеру розпочнеться тоді, коли температура на поверхні контакту зі стінкою або черв'яком досягне температури плавлення. Утворення плівки розплаву на поверхні циліндра розпочнеться набагато раніше, ніж на поверхні черв'яка, тому що швидкість руху

пробки відносно циліндра більша, ніж відносно черв'яка. Перехідну область між ділянкою «сухого» тертя та ділянкою плавлення, в якій відбувається заповнення розплавом простору між гранулами, в подальшому враховувати не будемо, так як описаний вище ефект зішкрібання плівки розплаву, незначна глибина каналу і більша кутова швидкість сприяють швидкому заповненню простору між гранулами. На другій ділянці зони з повністю заповненим каналом черв'яка відбувається процес плавлення полімеру. На цій ділянці процес плавлення протікає практично адіабатично.

Черв'ячна нарізка ЗПЗ закінчується коли у витках утворюється 60 – 80 % розплаву. Далі розташований торцевий робочий зазор, де відбувається доплавлення полімеру та його гомогенізація.

Вищеописана фізична модель перевірялась експериментально на однощільовому дисковому екструдері шляхом його миттєвої зупинки в робочому режимі і швидкому охолодженні робочих органів («заморожування»). Далі, після попереднього розігрівання корпусу дискового екструдера до 380 К, він знімався і візуально досліджувались зразки матеріалу, що залишився на ЗПЗ, рис. 3.

Рис. 3 – Схема ЗПЗ зі зразками полімеру

Дослідження зразків по товщині здійснювалось після розігрівання диска, що обертається, до 380 К, знімання зразків і розрізання їх на окремі ділянки. Попереднє фарбування гранул поліетилену та полістиролу, що переробляються, 0,5% голубим фталциапіновим пігментом полегшило візуальне дослідження зразків за зрізами, взятими в різних місцях черв'ячної нарізки. Аналіз досліджень зразків підтверджує описану фізичну модель процесів, що проходять в ЗПЗ дискового екструдера [4].

Висновки

Таким чином запропоновані дослідження можуть бути використані при розрахунку енергосилових параметрів у дисковому екструдері: потужності, продуктивності, крутного моменту.

Експериментальні дослідження підтвердили можливість використання дискових екструдерів у каскадних схемах екструзії у якості розплавлювачів-гомогенізаторів. Порівняння сумарних енергетичних затрат в каскадному дисково-шестеренному екструдері і черв'ячному при аналогічних умовах показали, що така комбінація дозволяє економити 10-15% електроенергії за рахунок забезпечення нижчої температури розплаву при достатній якості, що неможливо зробити в черв'ячній машині через надлишкову дисипацію енергії при високому опорі формуючого інструменту.

Література

1. Мурдід Н. В. Каскадний дисково-шестеренний екструдер для переробки полімерних матеріалів / Н. В. Мурдід, М. П. Швед, І. О. Мікульонок, Д. М. Швед, // Наукові вісті КПІ №2009/2 – 2008 – с. 74-77.
2. Радченко Л.Б. Переробка термопластів методом екструзії: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Радченко Л.Б. — К. : ІЗМН. - 1999. — 220 с.
3. Экструзия полимеров/Раувендааль К./Пер. с англ. под ред. А.Я.Малкина – СПб.: Профессия. - 2006. – 768 с.
4. Мак-Келви Д.М. Переработка полимеров / Д.М. Мак-Келви; пер. с англ. – М.: Химия - 1965. – 442 с.
5. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р.В. Торнер. – М.: Химия. - 1977. – 464 с.
6. Тадмор З. Теоретические основы переработки полимеров / З. Тадмор, К. Гогос; пер. с англ. под ред. Р.В. Торнера. – М.: Химия. - 1984. – 632 с.
7. Швед Н.П. Разработка процессов экструзии термопластов на каскадных экструдерах: дис. кандидата техн. наук: / Швед Николай Петрович – К.: КПИ. - 1983. – 167 с.