

Синюк О.М.Хмельницький національний університет
м. Хмельницький, Україна
E-mail: synoleg@ukr.net**ВПЛИВ ТЕРТЯ НА ОБ'ЄМНУ
ПРОДУКТИВНІСТЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ
ВІДХОДІВ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ
В ШНЕКОВОМУ КОНВЕЄРІ**

УДК 678.023.5

Розглянуто закономірність переміщення полімерного матеріалу до зони подрібнення. Отримані залежності впливу кінематичних і динамічних параметрів шнекового конвеєра на об'ємну продуктивність транспортування полімерного матеріалу до зони переробки. Досліджено вплив співвідношення коефіцієнтів тертя між полімером і циліндром та між полімером і шнеком на об'ємну продуктивність переміщення матеріалу. Запропоновані рекомендації щодо збільшення об'ємної продуктивності транспортування полімеру.

Ключові слова: полімер, транспортування, шнек, матеріальний циліндр, переробка, продуктивність.

Вступ

Для переміщення полімерних відходів на всіх етапах переробки використовується різноманітне обладнання. Тип пристрою, що використовується, залежить від форми і розміру матеріалу, який необхідно перемістити. Транспортування можна розділити на дві технологічні операції: механічне переміщення та рух в потоці. При механічному переміщенні сировина знаходиться в прямому контакті з пристроєм, найчастіше за все, з конвеєром.

Механічні конвеєри відрізняються один від іншого силовою системою. Стрічкові і ковшові конвеєри відносяться до тягових систем. Терткова машина, барабан з комірковим диском, вібраційний та шнековий конвеєр працюють по іншому і не вимагають тяги.

Сьогодні найбільш розповсюдженим пристроєм для переміщення полімерного матеріалу є шнековий конвеєр (рис. 1). Даний пристрій, крім транспортування полімеру до зони подрібнення, може бути використаний для подачі матеріалу в зону плавлення при екструзії та лиття під тиском.

Величезна кількість вчених [1 - 4] спостерігала та аналізувала явища, що відбуваються в процесі екструзії та лиття під тиском полімерів, а саме досліджувала вплив геометричних розмірів шнека і матеріального циліндра, їхньої конструкції та форми, форми та розмірів полімерного матеріалу, який поступає через бункер в циліндр, технологічних параметрів процесу екструзії та лиття під тиском і т.д. на продуктивність роботи обладнання і якість отриманих виробів. В свою чергу, не достатньо глибоко досліджені процеси, що пов'язанні з рухом нерозплавленого полімерного матеріалу в матеріальному циліндрі. В більшості роботах, в яких досліджується процес лиття під тиском, або приводиться описи принципу дії литтєвого обладнання [1 - 2, 5], або наводять результати експериментальних досліджень [6], або досліджують окремо процеси плавлення матеріалу в циліндрі [7, 8] та процеси заповнення прес-форм і формування виробів [1, 2, 7, 8]. При цьому досить незначна увага приділяється переміщенню полімерного матеріалу до зони його переробки. В даній роботі спробуємо дослідити процес транспортування сипучих полімерних матеріалів вздовж гвинтового каналу шнека і, зокрема, вплив тертя на об'ємну продуктивність переміщення відходів полімерного матеріалу.

Основна частина

Транспортування добре сипучих полімерних матеріалів, що мають достатньо велику насипну вагу, не є досить серйозною проблемою. Але транспортування шматків полімеру різних за формою та розмірами (подрібнені відходи) або порошоків з поганою сипучістю та низькою насипною вагою в зоні живлення становить досить складну задачу.

Для подачі відходів полімерного матеріалу в зону переробки використовують шнекові конвеєри (рис. 1).

Після потрапляння частин полімерного матеріалу в канал шнека механізм переміщення матеріалу стає примусовим. Сили ваги все ще можуть відігравати не значну роль, але сили проштовхування переважають.

На матеріал, що транспортується діють такі сили (рис. 2): F_1 – сила тертя, що діє з боку корпусу на корку, і змушує її рухатися по гвинтовому каналу шнека; F_2 і F_6 – реакції відкинутих кусків корки, які діють на елемент, що розглядається; F_7 і F_8 – нормальні сили, що діють на корку збоку стінок шнека; F_9 – нормальна сила, що діє на корку з боку серцевини шнеку у випадку, якщо ця серцевина є конічною; F_3 і F_4 – сили тертя, відповідно, з боку штовхаючої та передньої стінки шнека; F_5 – сила тертя, що діє на корку збоку днища каналу.

Але рушійною силою є сила тертя між полімером і стінкою матеріального циліндру (рис. 2).

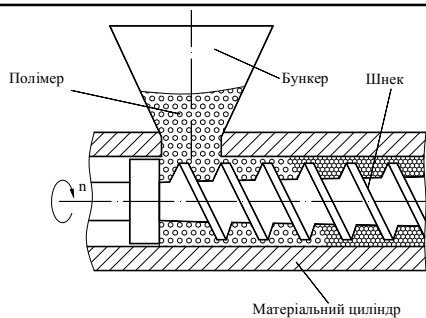


Рис. 1 – Шнековий конвєсєр для подачі полімерних відходів в зони їх переробки

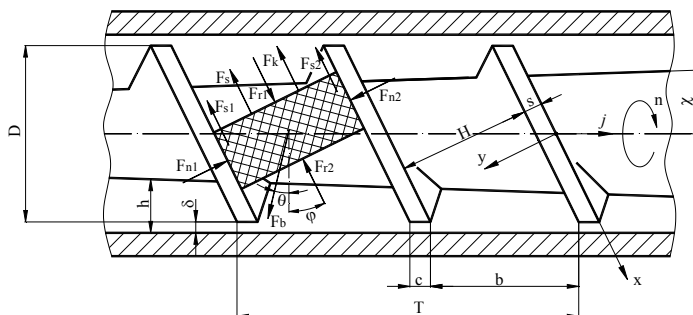


Рис. 2 – Розрахункова схема сил, діючих на елемент корки

Вперше повний аналіз переміщення твердих часток в традиційному одно шнековому екструдєрі був виконаний в роботі [9]. Аналіз, що представляється в даній роботі, є розширений з врахуванням усіх зазначених вище сил.

При моделюванні переміщення твердої корки в матеріальному циліндрі основне припущєння полягає в тому, що тверді частки, ущільнюючись, утворюють еластичну корку, в якій відсутні деформації зсуву. На корку діють сили тертя, які виникають між поверхнею корки та поверхнями черв'яка та матеріального циліндра [5]. До вказаного припущєння додаємо ще такі: тверда корка веде себе як неперервний потік; суцільний шар твердої корки контактує зі всією поверхнею каналу; можна знехтувати зазором над гребенєм, гравітаційними силами та кривизною каналу.

Розглянемо механізм руху твердої корки у гвинтовому каналі черв'яка (шнека), що обертається в середині матеріального циліндру (рис. 3).

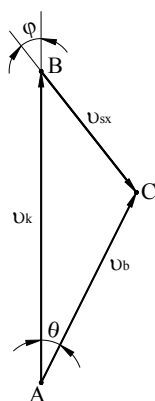


Рис. 3 – План швидкостей

Вибєрємо точку *A* (деяку точку твердої корки), яка в початковий момент часу співпадає з відповідною точкою гвинтового каналу. Приймемо, що шнек обертається за годинниковою стрілкою, якщо дивитися з кінця матеріального циліндру. Тоді точка каналу шнека буде рухатися знизу до гори зі швидкістю v_k і за час t_{ab} переміститься на відстань *AB*. Одночасно під дією сили тертя між коркою матеріалу і внутрішньою стінкою матеріального циліндру корка переміщається з точки *A* в точку *C* зі швидкістю v_b . Відповідно, вздовж каналу корка просунеться вниз по каналу на відстань *BC* зі швидкістю v_{sx} (*x* – вісь, що спрямована вздовж осі розгортки гвинтового каналу), яка визначається кутом нахилу гвинтової лінії гребеня ϕ . Таким чином, кут переміщення твердої корки θ є кутом між швидкістю руху шнека і швидкістю корки v_b відносно стінки матеріального циліндру.

Швидкість v_{sx} , з якою корка переміщається вздовж каналу, можна визначити з трикутника *ABC* (рис. 3):

З трикутника *ABC* видно, що швидкість, з якою корка переміщається по каналу, дорівнює:

$$v_{sx} = v_k \cdot \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + \phi)} = \pi D n \cdot \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + \phi)}, \tag{1}$$

де *D* – діаметр шнека; *n* – частота обертання шнека.

У випадку однозахідного шнека, тобто $i = 1$, об'ємна продуктивність переміщення матеріалу можна визначити з такого рівняння:

$$Q = v_{sx} H h$$

Підставивши в рівняння (3) формулу для визначення швидкості v_{sx} та вираз для визначення ширина каналу *H*, що був отриманий в роботі [10], отримаємо:

$$Q = \pi D n \cdot \frac{\sin \theta}{\sin(\theta + \varphi)} \pi D h \cdot \sin \varphi = \pi^2 D^2 h n \frac{\sin \theta \cdot \sin \varphi}{\sin(\theta + \varphi)}.$$

Кут переміщення твердої корки θ визначимо розглянувши усталений рух та припускаючи, що при цьому сили тертя, які діють на корку з боку гвинтового каналу (F_3, F_4, F_5) і сили тертя, які діють з боку внутрішньої поверхні матеріального циліндру (F_1) можуть бути зв'язані таким співвідношенням [1]:

$$F_{\Sigma} = F_1 \cos(\theta + \varphi), \quad (2)$$

де F_{Σ} – сума сил: F_3, F_4, F_5 .

Припустивши, що реакція стінок каналу шнека і матеріального циліндру однакова, для визначення кута переміщення θ можна скористатися таким рівнянням [9]:

$$\theta = \arcsin \left(\frac{\sqrt{1 + f_s^2 - k^2}}{1 + f_s^2} \right) - \varphi, \quad (3)$$

де

$$k = \frac{H}{i \cdot f_s} \ln \frac{P}{P_0} + \frac{f_s}{f_b} \left(1 + \frac{2h}{H} \right), \quad (4)$$

P – поле тиску вздовж гвинтового каналу шнека;

P_0 – тиск на початку гвинтового каналу;

H і h – відповідно, ширина та глибина каналу.

Вираз для визначення поля тиску вздовж гвинтового каналу шнека отримаємо на основі рівняння балансу сил в повздовжньому та поперечному напрямках каналу. Перед побудовою рівняння балансу сил визначимо усі сили, що діють на елемент корки під час його руху вздовж каналу шнека.

Силу тертя, що діє на елемент корки збоку стінки матеріального циліндру і змушує її пересуватися вздовж гвинтового каналу шнека, можна визначити з такого рівняння:

$$F_b = f_b P_b H dx = f_b K_s P H dx, \quad (5)$$

де P_b – тиск збоку корки на стінку матеріального циліндру;

P – питомий тиск корки;

$K_s = P_b / P$ – коефіцієнт, що характеризує анізотропію поля тиску.

Коефіцієнт K_s також можна визначити з такого рівняння [1]:

$$K_s = \frac{1 - \sin(\arctg f)}{1 + \sin(\arctg f)}, \quad (6)$$

де f – коефіцієнт тертя між кусками полімерного матеріалу.

Осьова і тангенціальна компоненти F_b відповідно можна визначити в такий спосіб:

$$\begin{aligned} F_{bj} &= f_b P_b H \cdot \sin \theta \cdot dx = f_b K_s P H \cdot \sin \theta \cdot dx, \\ F_{b\theta} &= f_b P_b H \cdot \cos \theta \cdot dx = f_b K_s P H \cdot \cos \theta \cdot dx. \end{aligned} \quad (7)$$

Реакції відкинутих кусків корки можна визначити помноживши питомий тиск на площу поперечного перерізу каналу, тобто:

$$\begin{aligned} F_{r1} &= H \cdot h \cdot P, \\ F_{r2} &= H \cdot (h - dx \cdot \operatorname{tg} \chi) \cdot (P + dP). \end{aligned} \quad (8)$$

Якщо серцевина шнека є конічною, то вздовж його довжини глибина гвинтового каналу плавно зменшується, тобто будемо мати результуючу силу F_r , що дорівнює різниці між реакціями відкинутих кусків:

$$F_r = F_{r2} - F_{r1} = H \cdot (h - dx \cdot \operatorname{tg}\chi) \cdot (P + dP) - H \cdot h \cdot P = dP \cdot H (h - dx \cdot \operatorname{tg}\chi) - P \cdot H \cdot dx \cdot \operatorname{tg}\chi. \quad (9)$$

Нормальні сили, що діють з боку стінок каналу шнеку на корку, можна визначити таким чином:

$$\begin{aligned} F_{n2} &= P_n h dx = PK_s h dx, \\ F_{n1} &= PK_s h dx + F^*. \end{aligned} \quad (10)$$

де F_{n1} – нормальна сила, що діє з боку передньої стінки каналу шнека;

F_{n2} – нормальна сила, що діє з боку штовхаючої стінки каналу шнека;

F^* – невідома сила, що виникає в результаті конусності серцевини шнека.

Крім того, в шнеках з конічною серцевинною збоку останньої діє додаткова нормальна сила F_s , яку визначимо з такого рівняння [1]:

$$F_s = PK_s H \chi dx. \quad (11)$$

Сили тертя, що діють на корку збоку штовхаючої і передньої стінки каналу шнека, відповідно, дорівнюють:

$$\begin{aligned} F_{s2} &= F_{n2} \cdot f_s = PK_s h f_s dx, \\ F_{s1} &= F_{n1} \cdot f_s = (PK_s h dx + F^*) f_s. \end{aligned} \quad (12)$$

Сила тертя, що діє на елемент корки збоку дна каналу, дорівнює:

$$F_k = PK_s H f_s dx. \quad (13)$$

При нормальній роботі шнекового конвеєра сума проекцій всіх сил на вісь шнека має дорівнювати нулю, тобто:

$$(F_b)_j + (F_r)_j + (F_s)_j + (F_{n1} - F_{n2})_j + (F_{s1} - F_{s2})_j + (F_k)_j = 0. \quad (14)$$

Осьові компоненти сил отримаємо, перемножуючи їх на $\sin \varphi$, $\sin \bar{\varphi}$, $\sin \varphi_s$ (рис. 4).

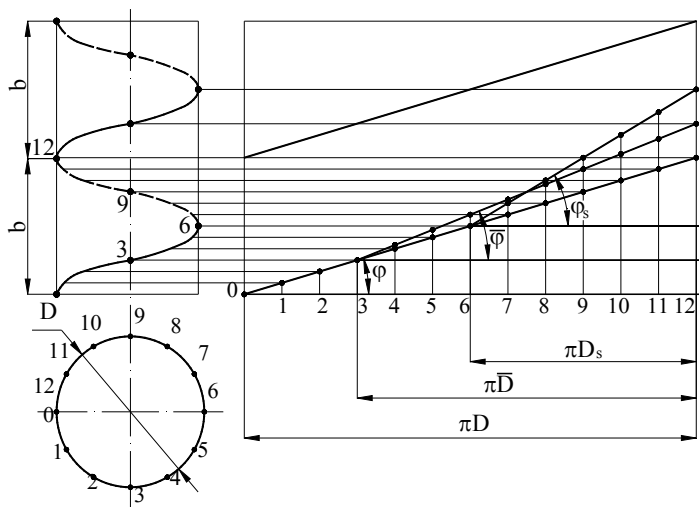


Рис. 4 – Розгортка гвинтової лінії шнека

Сили, що діють в площині дна каналу, перемножимо на $\sin \varphi_s$; сили, що діють в площинах бокових поверхонь каналу, перемножимо на $\sin \bar{\varphi}$; сили, що діють в площині дотику еластичної корки та стінки матеріального циліндру, перемножимо на $\sin \varphi$:

$$F_b \cdot \sin \varphi + F_r \cdot \sin \bar{\varphi} + F_s \cdot \sin \varphi_s + (F_{n1} - F_{n2}) \cdot \sin \bar{\varphi} + (F_{s1} - F_{s2}) \cdot \sin \bar{\varphi} + F_k \cdot \sin \varphi_s = 0. \quad (15)$$

Запишемо рівняння рівноваги в моментах відносно осі шнека. Для цього слід кожну силу перемножити на відповідне значення радіусу. Якщо сили прикладені в площині дна гвинтового каналу шнека, то радіус дорівнює $D_s = D - 2h$, якщо сили прикладені в площинах бокових поверхонь каналу, то радіус дорівнює $\bar{D} = D - h$. З урахуванням сказаного вище рівняння рівноваги в моментах відносно осі шнека запишеться в такий спосіб:

$$(F_b)_\theta \cdot \frac{D}{2} - (F_r)_\theta \cdot \frac{\bar{D}}{2} - (F_s)_\theta \cdot \frac{D_s}{2} - (F_{n1} - F_{n2})_\theta \cdot \frac{\bar{D}}{2} - (F_{s1} - F_{s2})_\theta \cdot \frac{\bar{D}}{2} - (F_k)_\theta \cdot \frac{D_s}{2} = 0. \quad (16)$$

Аналогічно, тангенціальні компоненти сил отримаємо множенням модуля відповідного вектору сили на $\cos \varphi$, $\cos \bar{\varphi}$, $\cos \varphi_s$ залежно від площини дії сили (рис. 4).

$$F_b \cdot \cos \varphi \cdot \frac{D}{2} - F_r \cdot \cos \bar{\varphi} \cdot \frac{\bar{D}}{2} - F_s \cdot \cos \varphi_s \cdot \frac{D_s}{2} - (F_{n1} - F_{n2}) \cdot \cos \bar{\varphi} \cdot \frac{\bar{D}}{2} - (F_{s1} - F_{s2}) \cdot \cos \bar{\varphi} \cdot \frac{\bar{D}}{2} - F_k \cdot \cos \varphi_s \cdot \frac{D_s}{2} = 0 \quad (17)$$

Перетворюючи рівняння (15) та (17), виключаючи невідому нормальну силу F^* , і виконуючи інтегрування в межах відстані транспортування полімерних відходів, отримаємо вираз для визначення тиску на виході:

$$P_2 = P_1 \cdot e^{\left(\int_{z_1}^{z_2} \frac{B_1 - A_1 K}{A_2 K + B_2} dz \right)}, \quad (18)$$

де P_1 – тиск на початку транспортування полімерних відходів, тобто на відстані $z_1 = 0$;

P_2 – тиск наприкінці транспортування, тобто на відстані z_2 ;

$$A_1 = Hf_b K_b \sin \theta - H\chi \sin \bar{\varphi} + 2hK_s f_s \sin \varphi + Hf_s K_s \frac{\sin \varphi \left(1 + \frac{\chi}{f_s} \right)}{\sqrt{1 + \chi^2}}; \quad (19)$$

$$B_1 = Hf_b K_b \cos \theta + H\chi \cos \bar{\varphi} \frac{\bar{D}}{D} - 2hK_s f_s \sin \varphi \cdot \text{ctg} \varphi \frac{\bar{D}}{D} - Hf_s K_s \left(1 + \frac{\chi}{f_s} \right) \frac{D_s \text{ctg} \varphi_s}{D \sqrt{1 + \chi^2}}; \quad (20)$$

$$B_2 = \frac{Hh\bar{D} \cos \bar{\varphi}}{D}; \quad (21)$$

$$K = \frac{\bar{D} \sin \bar{\varphi} + f_s \cos \bar{\varphi}}{D \cos \bar{\varphi} - f_s \sin \bar{\varphi}}; \quad (22)$$

$$\text{де } \bar{\varphi} = \arctg \left(\frac{b}{\pi \bar{D}} \right);$$

$$\phi_s = \arctg\left(\frac{b}{\pi D_s}\right).$$

Рівняння (18) - (22) розв'яжемо числовим методом. Для спрощення моделі замінимо конічну поверхню ступеневою циліндричною і покладемо в рівняннях (19) - (22) $\chi = 0$, а припускаючи, що корка є ізотропним середовищем, тобто $K_s = K_b = 1$, отримаємо такий вираз:

$$P_{i+1} = P_i \cdot e^{\frac{B_1 - A_1 K}{A_2 K + B_2} \Delta z}. \quad (23)$$

де

$$\begin{aligned} A_1 &= Hf_b \sin \theta + 2hf_s \sin \varphi + Hf_s \sin \varphi; \\ B_1 &= Hf_b \cos \theta - 2hf_s \sin \varphi \cdot \frac{\bar{D}}{D} \operatorname{ctg} \varphi - Hf_s \frac{D_s}{D} \operatorname{ctg} \varphi_s; \\ B_2 &= \frac{Hh\bar{D} \cos \varphi}{D}; \\ K &= \frac{\bar{D}}{D} \cdot \frac{\sin \varphi + f_s \cos \varphi}{\cos \varphi - f_s \sin \varphi}. \end{aligned} \quad (24)$$

В результаті проведених в роботі теоретичних досліджень, для яких використовувалися дані з робіт [1, 2, 4, 5], встановлено, що вплив співвідношення коефіцієнтів тертя між полімером і циліндром та між полімером і шнеком на об'ємну продуктивність переміщення матеріалу є суттєвим (рис. 5, 6). Отримані результати добре узгоджуються з результатами експериментальних досліджень, що наведені в [5].

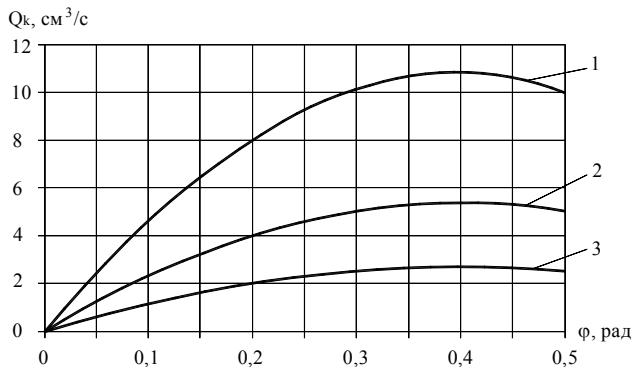


Рис. 5 – Графіки залежності продуктивності зони живлення від кута підйому гвинтового каналу:
1 – $n = 100$ об/хв; 2 – $n = 50$ об/хв; 3 – $n = 25$ об/хв

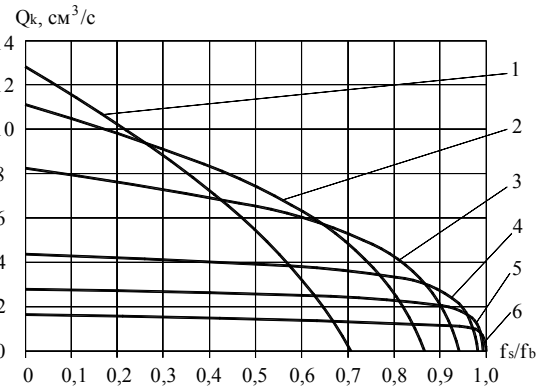


Рис. 6 – Графіки залежності продуктивності зони живлення від співвідношення коефіцієнтів тертя між коркою полімеру та поверхнями циліндра і шнека
1 – $\varphi = 45^\circ$; 2 – $\varphi = 30^\circ$; 3 – $\varphi = 20^\circ$; 4 – $\varphi = 10^\circ$;
5 – $\varphi = 6^\circ$; 6 – $\varphi = 3^\circ$

Так, для руху твердої корки полімеру при великому куті підйому гвинтового каналу вимагається більш сприятливе співвідношення коефіцієнтів тертя, ніж для малих кутів (рис. 5). Наприклад, якщо кут підйому близький до 90° , то стійкий процес транспортування полімеру з зони живлення у зону плавлення можна забезпечити тільки з таким шнеком, щоб коефіцієнт тертя між ним і полімерною коркою був близьким до нуля. Зрозуміло, що такі умови не реальні. З другого боку, по мірі зменшення кута підйому гвинтового каналу стають прийнятними більші значення співвідношення коефіцієнтів тертя (рис. 6). Наприклад, шнек з кутом підйому гвинтового каналу $\varphi = 10^\circ$ при співвідношенні коефіцієнтів тертя $f_s / f_b = 0,2$ буде забезпечувати вдвічі меншу продуктивність, ніж шнек з кутом нарізки $\varphi = 60^\circ$, а при співвідношенні коефіцієнтів тертя $f_s / f_b = 0,65$ буде забезпечувати навпаки вдвічі більшу продуктивність.

Проведений аналіз показав, що при малих кутах підйому гвинтового каналу створюються краші умови для транспортування твердої корки полімерного матеріалу і цей кут має лежати в діапазоні між 19° (0,33 рад) та 24° (0,42 рад). Отримані результати добре узгоджуються з [1].

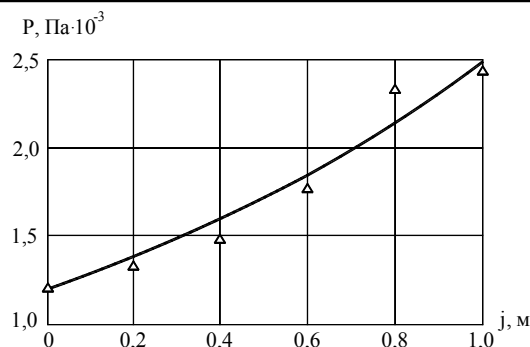


Рис. 7 – Зміна тиску в полімерній корці

По мірі просування твердої корки по каналу шнека тиск в ній збільшується (рис. 7), корка ущільнюється, а поверхня корки, що дотикається до внутрішньої стінки матеріального циліндра, нагрівається за рахунок роботи сил тертя і на ній утворюється тонкий шар розплаву, який постійно збільшується.

Таким чином, в результаті недостатнього тепловідводу виникає передчасне плавлення пристінного шару полімерної корки, при цьому сила тертя різко спадає і полімерна корка починає повністю проковзувати відносно стінки матеріального циліндра, а її рух по гвинтовому каналу шнека припиняється.

Висновки

Вплив співвідношення коефіцієнтів тертя між полімером і циліндром та між полімером і шнеком на об'ємну продуктивність переміщення матеріалу є суттєвим.

Для збільшення різниці між силами тертя з урахуванням досліджень та рекомендацій [1, 2, 4, 9] пропонується:

1. Збільшити тертя між полімером і внутрішньою поверхнею циліндра. Це можна забезпечити в такий спосіб: збільшити шорсткість цієї поверхні; збільшити площу тертя (добавити певні елементи або нарізати канавки); на початку зони живлення зменшити температуру матеріального циліндру.
2. Зменшення тертя між полімером і поверхнями гвинтового каналу. Це можна забезпечити в такий спосіб: зменшити шорсткість поверхонь каналу шнека (застосування антифрикційного покриття, використання каталітичної конверсії поверхонь – J-Тех або Дуна-blue); збільшити радіус торця по зовнішньому діаметру гребеня; виключити направляючий короткий гребень на початку зони живлення; збільшити температуру шнека.

Література

1. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р. В. Торнер. – М.: Химия, 1977. – 464 с.
2. Tadmor, Zehev, 1937. Principles of polymer processing / Zehev Tadmor, Costas G. Gogos. – Published by John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. – 2006. – 920 p.
3. Darnell W. H. Solids Conveying in Extruders / W. H. Darnell, E. A. Mol. // Soc. Plast. Eng. Journal. – 1956. – № 12. – P. 20-28.
4. Мак-Келви Д. М. Переработка полимеров / Д. М. Мак-Келви. – М.: Химия, 1965. – 444 с.
5. Лапшин В. В. Основы переработки термопластов литьем под давлением / В. В. Лапшин. – М.: Химия, 1974. – 270 с.
6. Donovan R. C. The plasticating process in injection molding / R. C. Donovan // Polymer Engineering & Science. – 1974. – V. 14. – Issue 2. – P. 101-111.
7. Злотенко Б. М. Научные основы проектирования технологического процесса литья изделий легкой промышленности с прогнозируемыми свойствами: дис. доктора техн. наук : 05.19.06 / Злотенко Борис Миколайович. – К., 2003. – 405 с.
8. Кулік Т. І. Вдосконалення технологічного процесу лиття комбінованих взуттєвих виробів із полімерних матеріалів : дис. канд. техн. наук : 05.19.06 / Кулік Тетяна Ігорівна. – К., 2006. – 190 с.
9. Освальд Т. А. Литье пластмасс под давлением / Т. А. Освальд, Л.-Ш. Тунг, П. Дж. Грэмманн; под ред. Э.Л. Калинчева. – СПб.: Профессия, 2006. – 712 с.
10. Синюк О.М. Математичне моделювання впливу геометрії шнека та кінематичних параметрів його руху на переміщення гранульованого полімеру в процесі лиття під тиском / О.М. Синюк, М.Є. Скиба, А.Ю. Михайловський // Вісник Хмельницького національного університету, 2015. – №5. – С. 125-133.

Поступила в редакцію 30.06.2016

Synyuk O.M. **Influence on the volumetric efficiency of friction displacement of polymeric material waste in a screw conveyor.**

The characteristics of the movement of the polymeric material in the grinding zone. The dependence of the effect of kinematic and dynamic parameters of the screw conveyor in the volumetric efficiency of transportation of the polymer material in the processing zone. The influence of the ratio of the friction coefficient between the polymer and the cylinder and between the polymer and the screw on the bulk material moving capacity. Recommendations to increase the volumetric efficiency of the polymer transport.

Keywords: polymer, transportation, screw, material cylinder, processing, performance.

References

1. Torner R. V. Teoreticheskie osnovyi pererabotki polimerov (mekhanika protsessov). M.: Himiya, 1977. 464 p.
2. Tadmor, Zehev, 1937. Principles of polymer processing / Zehev Tadmor, Costas G. Gogop. Published by John Wiley&Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2006. 920 p.
3. Darnell W. H. Solids Conveying in Extruders. W. H. Darnell, E. A. Mol. Soc. Plast. Eng. Journal.
4. Mak-Kelvi D. M. Pererabotka polimerov. D. M. Mak-Kelvi. M.: Himiya, 1965. 444 p.
5. Lapshin V. V. Osnovyi pererabotki termoplastov litem pod davleniem. V. V. Lapshin. M.: Himiya, 1974. 270 p.
6. Donovan R. C. The plasticating process in injection molding. R. C. Donovan. Polymer Engineering & Science. 1974. V. 14. Issue 2. P. 101-111.
7. Zlotenko B. M. Nauchnyie osnovyi proektirovaniya tehnologicheskogo protsessa litya izdeliy legkoy promyshlennosti s prognozirovannyimi svoystvami: dip. doktora tehn. nauk : 05.19.06. Zlotenko Boris Nikolayovich. K., 2003. 405 p.
8. Kulik T. I. Vdoskonalennya tekhnologichnoho protsesu lyttya kombinovanykh vzuttyevykh vyrobiv iz polimernykh materialiv : dyp. kand. tekhn. nauk : 05.19.06. Kulik Tetyana Ihorivna. K., 2006. 190 p.
9. Ossvald T. A. Lite plastmass pod davleniem. T. A. Ossvald, L.-SH. Tung, P. Dj. Gremann; pod red. E.L. Kalincheva. SPb.: Professiya, 2006. 712 p.
10. Synyuk O.M. Matematychno modelyuvannya vplyvu heometriyi shneka ta kinematychnykh parametrov yoho rukhu na peremishchennya hranul'ovanoho polimeru v protsesi lyttya pid tyskom. O.M. Synyuk, M.Ye. Skyba, A.Yu. Mykhaylovs'kyy. Visnyk Khmel'nyts'koho natsional'noho universytetu, 2015. No 5. P. 125-133.