

5. *Issledovaniie* tieploelektrichieskoho i mekhanichieskoho sostoianiiia kritichieskikh uzlov pechi priamoho nahrieva [Investigation of thermoelectric and mechanical state of critical parts in a direct-fired furnace]: report of research works / Research center «RT»; director Panov Ye. Kyiv, 2013.
6. Sannikov A., Somov A., Kliuchnikov V. et al. Proizvodstvo eliektroodnoi produktsii [Manufacture of electrode products]. Moscow: Metalurhiia Publ., 1985.
7. Maslov D. Razrabotka alhoritmov i sistem upravlieniia duhovymi staleplavilnymi piechami, snizhaiushchikh polomki eliektroodov [The development of algorithms and control systems of electric arc steel furnaces, reducing the electrode failures]. PhD diss. Moscow, 2014.
8. Friedrich C., Jager H., Wimmer K. et al. Schafer The world's first 800 mm diameter graphite electrode for a DC electric arc furnace. *Metallurgical Plant and Technology*, MPT 2, 2002.
9. Borlée J., Wauters M., Mathy C. et al. Monitoring system for controlling and reducing the electrode consumption in DC EAF plants. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2009.

УДК 678.057

СІВЕЦЬКИЙ В. І., к.т.н., проф.; СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л., к.т.н., доц.;
КУШНІР М. С., асп.; КУРИЛЕНКО В. М., студ.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МОДЕЛЮВАННЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ РОЗПЛАВІВ ТЕРМОПЛАСТІВ У БАР'ЄРНОМУ ЗМІШУВАЧІ

Проведено чисельне моделювання гомогенізації розплаву полімеру в динамічному змішувачі бар'єрного типу. Наведено результати, що дозволяють досліджувати динаміку зміни температури під час течії полімерних матеріалів у змішувальних елементах та вибирати оптимальні конструктивні параметри змішувальних елементів, а також режими гомогенізації полімерних композицій.

Ключові слова: динамічний змішувач, моделювання, гомогенізація, полімер.

© Сівецький В. І., Сокольський О. Л., Кушнір М. С., Куриленко В. М., 2014.

Постановка проблеми. Процеси змішування й гомогенізації в черв'ячних машинах мають важливе значення при переробці полімерних матеріалів, оскільки якість змішування визначає якість виробу [1]. Для науково обґрунтованого конструктивного оформлення екструзійно-змішувального устаткування важливо знати основні закономірності змішування та гомогенізації, що відбуваються в його конструктивних зонах.

Аналіз попередніх досліджень. У багатьох випадках якість змішування оцінюється за накопиченою деформацією зсуву, напруженням зсуву тощо [1]. Ці показники не завжди надають повне уявлення про змішування. Невирішеною частиною наукової проблеми прогнозування змішувальної ефективності полімерного устаткування є складність кількісного оцінювання останньої [2]. Прямим критерієм оцінки якості змішування є концентрація диспергованого матеріалу в дисперсійному середовищі [3]. У разі введення компонентів композиції з різними температурами цим критерієм може бути рівномірність температурного поля, тобто рівень температурної гомогенізації суміші.

Метою досліджень є аналіз температурної гомогенізації полімерних композицій у черв'ячному екструдері з динамічним змішувачем бар'єрного типу.

Виклад основного матеріалу. Температурну гомогенізацію розплаву полімеру розглядатимемо в динамічному змішувачі бар'єрного типу. Як критерій ефективності візьмемо однорідність розподілу температур у суміші при проходженні каналів змішувача на різних перерізах за довжиною його робочого каналу.

Математичну модель багатокомпонентної суміші, частковим випадком якої є деформований стан полімерного матеріалу в каналі бар'єрного змішувача, та її дискретизацію методом скінченних елементів (МСЕ) наведено в праці [3].

Рух суміші та її складових розглядається в цій праці в рамках механіки суцільних середовищ із такими припущеннями:

1. Суміш складається з окремих взаємно проникних компонент, що заповнюють той самий об'єм. Кожна компонента є неперервним однорідним середовищем (континуумом), стан якого безпосередньо визначається власними параметрами стану.

2. Для кожної компоненти є справедливими закони збереження маси, імпульсу та енергії. Маса, імпульс та енергія суміші дорівнює сумі мас, імпульсів та енергій її компонент. Взаємодія між компонентами суміші не змінює загальну величину маси, імпульсу та енергії суміші.

Чисельне моделювання гомогенізації полімеру виконано у програмному комплексі ANSYS за допомогою програми Polyflow.

Для визначення впливу зазора між гребенем змішувача та внутрішньою поверхнею корпусу розглядали кільцевий канал зі змішувачем, який містить один гребінь різної висоти, що утворює зазори 1 і 2 мм (рис. 1).

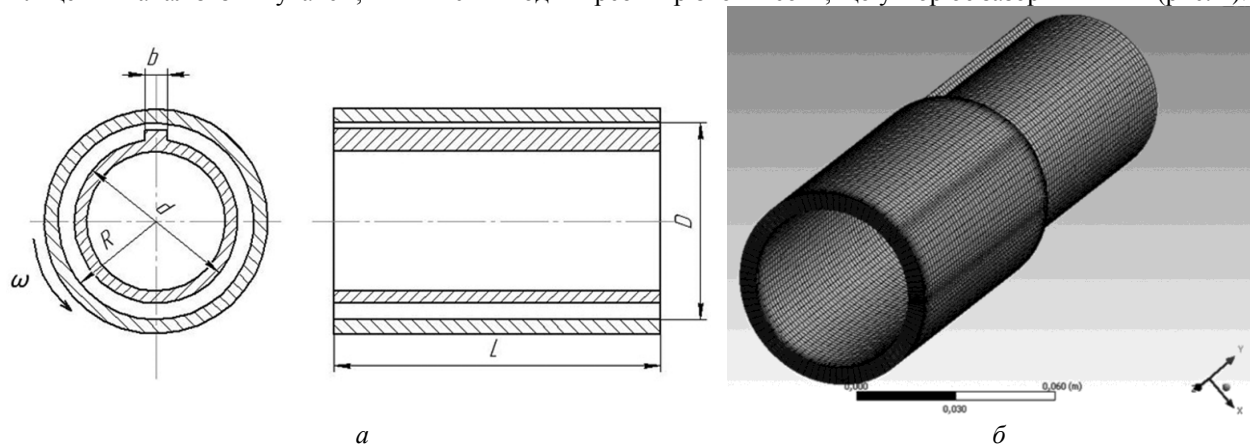


Рис. 1 – Схема змішувача з одним гребенем:
a – конструктивна схема; б – розрахункова схема робочого каналу

Чисельне моделювання вели для поліетилену високої густини ПЕВГ 15803–020. Реологічні й теплофізичні властивості матеріалу за температури 463 К: густина $\rho = 975 \text{ кг/м}^3$, питома масова теплоємність $c_p = 2,0 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda = 0,7 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. В'язкість задаємо степеневим законом Carreau-Yasuda:

$$\mu = \mu_{\infty} + (\mu_0 - \mu_{\infty}) \left[1 + (t\dot{\gamma})^a \right]^{\frac{n-1}{a}},$$

де μ_0 – в'язкість зсуву за нульової поперечної швидкості; μ_{∞} – в'язкість зсуву за високої поперечної швидкості; a – індекс, що контролює перехід від ньютонівської до степеневій поведінки; n – енергетичний показник; t – обернена швидкості зсуву, за якої відбувається перехід від ньютонівської до степеневій поведінки рідини; $\dot{\gamma}$ – швидкості зсуву.

Для вибраного матеріалу, якщо $\mu_{\infty} = 0$, $\mu = 0,1130877 \cdot 10^6 \cdot (1 + 1,34607\dot{\gamma}^{0,2620345})^{-2,4332}$.

Моделювання здійснюємо, надаючи обертання внутрішньому циліндру. Корпус вважаємо нерухомим. Дослідження ведемо як за умови прилипання, так і проковзування.

Межові умови: температура диспергованого матеріалу $t_1 = 363 \text{ К}$, дисперсійного середовища, змішувача і корпусу $t_2 = t_{\text{зм}} = t_{\text{к}} = 463 \text{ К}$. Швидкість руху полімеру на вході в канал змішувача – 60 мм/с. Геометричні параметри змішувача: довжина $L = 100 \text{ мм}$, внутрішній діаметр $D = 60 \text{ мм}$, діаметр внутрішнього циліндра $d = 50 \text{ мм}$, ширина гребеня $b = 7 \text{ мм}$, зовнішній радіус $R = 28 \text{ мм}$.

За умови прилипання в межових шарах швидкості дорівнюють нулю ($V_{\text{гр}} = 0$). Довжину вхідної кільцевої ділянки вибираємо такою, щоб на вході в зону бар'єрного змішувача виконувалася умова параболічного розподілу швидкостей. Ураховуємо коефіцієнт проковзування на стінці, визначений у праці [4] (рис. 2).

Щоб оцінити розподіл температури в робочих зазорах змішувача з одним бар'єром, чисельні дослідження ведемо в різних перерізах за висотою зазора між корпусом і гребенем, корпусом і ротором.

Результати свідчать, що з набіганням на гребінь в робочому каналі спостерігається інтенсивний перерозподіл температури (рис. 3). Це спричинено змінням режиму течії матеріалу перед гребенем і в зазорах.

Зміннення висоти кільцевого каналу збільшує гідравлічний опір, що зумовлює розтікання диспергованого матеріалу в дисперсійному середовищі. Із збільшенням частоти обертання внутрішнього циліндра інтенсивність деформування підвищується. Крок руху за спіраллю в каналі змішувача зменшується.

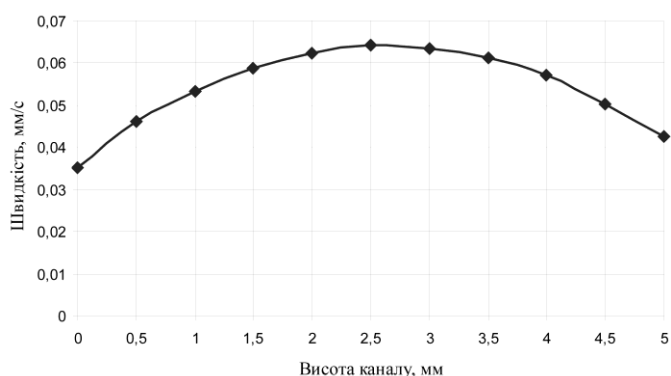


Рис. 2 – Епіюра швидкості в кільцевому зазорі за умови проковзування

60 хв^{-1} на відстані 0...0,04 м спостерігається середня температура швидко зростає до 459 К. Далі відбувається її зменшення на 3 К завдяки змішуванню з дисперсійним середовищем. Для 90 хв^{-1} спостерігаємо схожу картину.

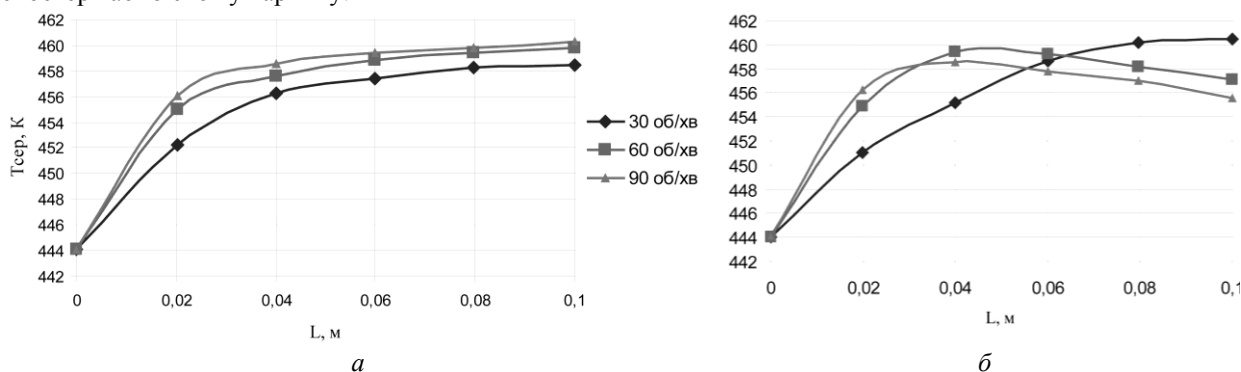


Рис. 3 – Розподіл середньої температури за довжиною змішувача із зазором: а – 2 мм; б – 1 мм

Різниця температур на виході є меншою, ніж різниця за умов прилипання (рис. 4). Це пов'язано не лише зі зміною інтенсивності гомогенізації, але й зі зменшенням дисипативних явищ, менших за умов проковзування. Вона становить 465 К, що на 7 К менше, ніж за умов прилипання.

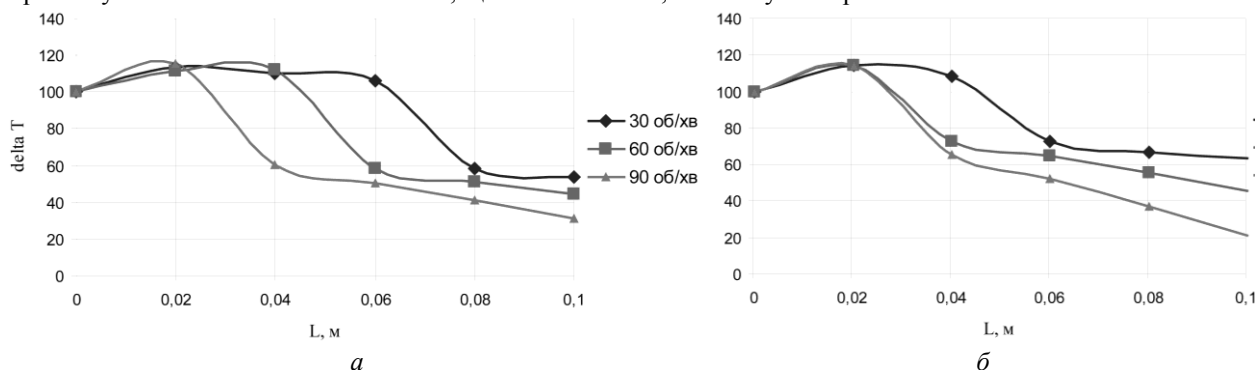


Рис. 4 – Розподіл різниці температур за довжиною змішувача із зазором: а – 2 мм; б – 1 мм

Зменшення різниці температур на виході з робочого каналу є швидшим за більших частот обертання. Для 30 хв^{-1} інтенсивність гомогенізації є недостатньою, для 60 і 90 хв^{-1} різниця температур швидко зменшується внаслідок зростання швидкості зсуву і перерозподілу швидкостей до бар'єра і за ним. Зі зменшенням зазора з 2 до 1 мм рівномірність температурного поля покращується, що свідчить про доцільність оптимізації саме цього конструктивного параметра в промислових змішувачах бар'єрного типу.

Висновок. Моделювання гомогенізації полімерних матеріалів у бар'єрному змішувачі засвідчило доцільність використання як критерія оцінки її ефективності розподілу або різниці температур у контрольних перерізах. Подальші дослідження передбачають вивчення впливу технологічних і конструктивних параметрів змішувачів бар'єрного типу на їхню ефективність.

Список використаної літератури

1. Ким В. С. Диспергирование и смешение в процессах производства и переработки пластмасс / В. С. Ким, В. В. Скачков. – М. : Химия, 1988. – 240с.
2. Сівецький В. І. Комп'ютерне моделювання та проектування екструзійного полімерного устаткування / В. І. Сівецький, Д. Е. Сідоров, О. Л. Сокольський. – К. : НТУУ «КПІ», 2007. – 188 с.
3. *Моделирование* процесса смешения полимерных композиций в экструзионном смесителе барьерного типа / А. С. Сахаров, А. Е. Колосов, А. Л. Сокольский, В. И. Сивецкий // Хим. и нефтегазовое машиностр. – 2011. – № 12. – С. 3-7.
4. *Дослідження* плавлення полімеру в каналі черв'ячного екструдера / О. С. Сахаров, В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський та ін. // Вісн. Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т» ; сер. «Хім. інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2012. – № 1 (9). – С. 63-66.

Надійшла до редакції 20.11.2014

Sivetskyi V. I., Sokolskyi O. L., Kushnir M. S., Kurylenko V. M.

MODELING OF HOMOGENIZATION MELTS IN THERMOPLASTIC BARRIER MIXER

Processes of mixing and homogenization in screw machines are very important when the processing polymeric materials because the quality of these processes determines the quality of the product. For the scientifically-based structural design of extrusion-mixing equipment it is important to know the basic laws of mixing and homogenization processes that occur in its different structural zones.

In many cases, the quality of mixing is estimated by the integral indicators such as accumulated strain shear, stress shear and others. Usually, these figures do not always give a complete picture of the mixing process. The difficulty of quantitative evaluation is the unsolved problem of the scientific prediction of the mixing efficiency of polymer research equipment. If the input components of the composition are at different temperatures these criteria may be stability of the temperature field, i.e. the level of temperature homogenization of the mixture. These studies are devoted to numerous modelling of homogenization processes.

The process of homogenization of polymer melt is studied in a dynamic barrier type mixer. The efficiency criteria of polymers homogenization is the temperature distribution in the mixing passage of the mixer channels at different sections along the length of its working channel. To determine the effect of the gap between the flange and the inner surface of the mixer we look at the circular channel of the mixer which contains only one flange of various heights, forming gaps of 1 and 2 mm. Research take into account the coefficient of sliding of the side and are determined experimentally.

The results of numerous studies show that when incidence on the flange we can find an intense redistribution of temperature polymeric material in the working channel. Due to sudden changes in the elevation of the annular channel substantially increases hydraulic resistance, which leads to the spreading of dispersed material in the dispersion environment. Intensity of deformation increases by increasing the speed. The temperature difference at the output in conditions of slipping material on the side decreases compared to the temperature difference in the conditions of adhesion.

With decreasing gap of 2 to 1 mm temperature field improves, indicating the feasibility of optimizing the design parameters of this industrial mixers barrier type.

The results of modelling showed that the most appropriate design parameter of the mixer is a gap between the body and flange of 1 mm.

Keywords: *dynamic mixer, modeling, homogenization polymer.*

References

1. Ким В. С. *Dysperhyrovanye y smeshenye v protsesakh proyzvodstva y pererabotky plastmass.* [Dispersion and mixing processes in the production and processing of plastics] / V. S. Kym, V. V. Skachkov. – М. : Khymyia, 1988. – 240 p.