

6. Мирошніченко, И. С. Закалка из жидкого состояния [Текст] : монография / И. С. Мирошніченко. – М. : Металлургия, 1982. – 168 с.
7. Herlach, D. M. Metastable Solids from Undercooled Melts [Text] / D. M. Herlach, P. K. Galenko, D. Holland-Moritz. – Oxford : Elsevier, 2007. – 432 p.
8. Новиков, И. И. Дефекты кристаллического строения металлов [Текст] : учебное пособие / И. И. Новиков. – М. : Металлургия, 1975. – 208 с.
9. Избранные методы исследования в металловедении [Текст] / под ред. Г.-Й. Хунгера ; пер. с нем. А. К. Белявского. – М. : Металлургия, 1985. – 490 с.
10. Girin, O. V. Nonconventional X-ray Diffraction Techniques for Coating Characterization [Text] / O. V. Girin // Solidification 1998. – Warrendale : The Minerals, Metals & Materials Society, 1998. – P.161-169.
11. Ковенский, И. М. Металловедение покрытий [Текст] : учебник для вузов / И. М. Ковенский, В. В. Поветкин. – М. : СП Интермет Инжиниринг, 1999. – 296 с.
12. Поветкин, В. В. Структура электролитических покрытий [Текст] : монография / В. В. Поветкин, И. М. Ковенский. – М. : Металлургия, 1989. – 136 с.

Змішування полімерів є одним із ефективних способів створення матеріалів з заданим комплексом властивостей. Пропонуються результати дослідження взаємодії розплавів термопластів з різною концентрацією в змішувальній зоні

Ключові слова: коаксіальний зазор, змішування, полімер

Смешивание полимеров является одним из эффективных способов создания материалов с заданным комплексом свойств. Предлагаются результаты исследования взаимодействия расплавов термопластов с различной концентрацией в зоне смешения

Ключевые слова: коаксиальный зазор, смешивание, полимер

The mixing of polymers is one of the most effective ways to create materials with given set of properties. The results of studying the interaction of thermoplastic fusions with different concentrations in the mixing zone are offered

Keywords: coaxial gap, mixing, polymer

Область досліджень. Актуальність проблеми

Процеси змішування мають важливе значення при переробці полімерних матеріалів, тому що якість змішування безпосередньо визначає якість виробу. В багатьох випадках якість змішування оцінюється

за такими параметрами, як накопичена деформація, час перебування, напруження зсуву та ін. Як правило, ці показники є інтегральними і не завжди дають можливість отримати повне уявлення про процес змішування.

УДК 678.057

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ В КОАКСІАЛЬНОМУ ЗАЗОРІ

О.С. Сахаров

Доктор технічних наук, професор*
Контактний тел.: 097- 214-82-66

В.І. Сівецький

Кандидат технічних наук, професор*
Контактний тел.: (044) 454-92-77, 050-440-98-95

О.Л. Сокольський

Кандидат технічних наук, доцент*
Контактний тел.: (044) 454-92-77, 066-218-64-76
E-mail: sokolkiev@ukr.net

М.С. Кушнір

Аспірант*
Контактний тел.: 096-549-00-98

С.В. Бех

Студент
*Кафедра хімічного, полімерного та силікатного
машинобудування
Національний технічний університет України „Київський
політехнічний інститут”
пр. Перемоги, 37, корпус 19, м. Київ, 03056
Контактний тел.: 063-949-08-27

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження процесу змішування полімерних матеріалів розглядається в працях В.С. Кіма, Д.М. Мак-Келві, Е. Бернхардта, Р.В. Торнера, Е. Тадмора, В.Д. Мора та в працях вітчизняних вчених Л.Б. Радченко, Д.Д. Рябініна, Ю.А. Жданова та ін. Існує описання інженерного підходу щодо дослідження процесу змішування. Вивчається безпосередньо сама суміш і пропонуються методи її кількісного описання. Не дослідженим повністю залишається вплив параметрів течії полімерного матеріалу на змішування розплавів термопластів з різними фізичними властивостями.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою статті є описання динамічного процесу змішування двох полімерів в коаксіальному зазорі між двома циліндрами під впливом параметрів течії матеріалу. Щоб отримати ефективний результат для дослідження динаміки змішування полімерних рідин вздовж коаксіального зазору, значення концентрації полімеру задавалися циклічно. Це дає змогу отримати уявлення про змішування двох полімерів в різних радіальних напрямках.

Виклад основного матеріалу дослідження

Рух суміші та її складових розглядається в даній роботі в рамках механіки суцільних середовищ з наступними припущеннями:

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

2. Для кожної компоненти середовища задовольняються 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.

Для розв'язання задач змішування спочатку розв'язується термомеханічна задача розподілу швидкостей та стану рідини, а потім на її основі – задача масообміну шляхами дифузії та конвекції.

Кінематика руху багатофазного середовища досліджується з позиції Ейлера, тобто всі подальші висновки базуються на розгляді не окремих елементів середовища, а того що відбувається в даній точці простору з координатами x^1, x^2, x^3 . Швидкість руху окремої фази визначається по витраті її за одиницю часу через одиницю площі перерізу каналів, де рухається фаза.

Представимо основні співвідношення МСС у вигляді системи диференціальних рівнянь в ейлеревих координатах для стаціонарних процесів:

- рівняння руху:

$$\nabla \cdot \hat{\sigma} + \vec{f} = \rho \vec{v} \cdot \vec{\nabla} \vec{v} ,$$

- рівняння збереження енергії:

$$c_T \vec{v} \cdot \vec{\nabla} T = \vec{\nabla} \cdot (\lambda_T \vec{\nabla} T) + \hat{\sigma} : \hat{\xi} + Q_{(v)} ,$$

- рівняння дифузії:

$$\phi \nabla^2 C = \vec{v} \cdot \vec{\nabla} C ,$$

- рівняння збереження маси:

$$\vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{v}) = 0 ,$$

де ρ – маса одиниці об'єму (густина) матеріалу; \vec{v} – вектор швидкості точки тіла; \vec{f} – вектор зовнішньої

сили, що діє на одиницю об'єму тіла; $\hat{\sigma}$ – тензор напружень; $\vec{\nabla} \vec{v}$ – градієнт вектора швидкості; $Q_{(v)}$ – віднесена

до одиниці маси швидкість зовнішнього об'ємного потоку тепла разом з іншою немеханічною енергією; E – питома внутрішня енергія (внутрішня енергія одиниці маси тіла), C – концентрація обраного компонента; ϕ – коефіцієнт дифузії.

До даної системи рівнянь необхідно також додати геометричні рівняння Коші:

$$\hat{\epsilon} = \frac{1}{2} \left(\vec{\nabla} \vec{u} + (\vec{\nabla} \vec{u})^T \right) , \quad \hat{\xi} = \frac{1}{2} \left(\vec{\nabla} \vec{v} + (\vec{\nabla} \vec{v})^T \right) ,$$

які зв'язують тензор деформацій $\hat{\epsilon}$ з вектором переміщень \vec{u} та тензор швидкостей деформацій $\hat{\xi}$ з

вектором швидкостей \vec{v} .

Для замикання системи рівнянь до неї треба приєднати рівняння стану:

$$\hat{\phi}(\hat{\sigma}, \hat{\epsilon}, \hat{\xi}, T) = 0 ,$$

які дозволяють описати основні властивості матеріалів реальних тіл.

Рівняння МСЕ для масопередачі будуються на основі матриць 8-кутних скінченних елементів (СЕ) [1, 2]. Для моделювання процесів змішування розплавів одних полімерів з іншими, або полімерів з дисперсними компонентами, дифузія відіграє незначну ролі і їй можна знехтувати.

Термофізичні реологічні властивості задані за формулою [3]:

$$\lg \mu_c = \alpha \lg \mu_1 + (100 - \alpha) \lg \mu_2$$

Розглядається процес змішування двох полімерів в коаксіальному зазорі між обертовим та нерухомим циліндрами за різних витрат та значень концентрацій полімерних рідин при їх течії вздовж коаксіального зазору та значеннях концентрації полімерів при діапазоні відношення в'язкостей диспергованого матеріалу до дисперсного середовища від 1:0.1 до 1:10 відповідно. Це дає змогу отримати уявлення про змішування двох полімерів в різних перерізах по довжині коаксіального зазору та радіальних площинах.

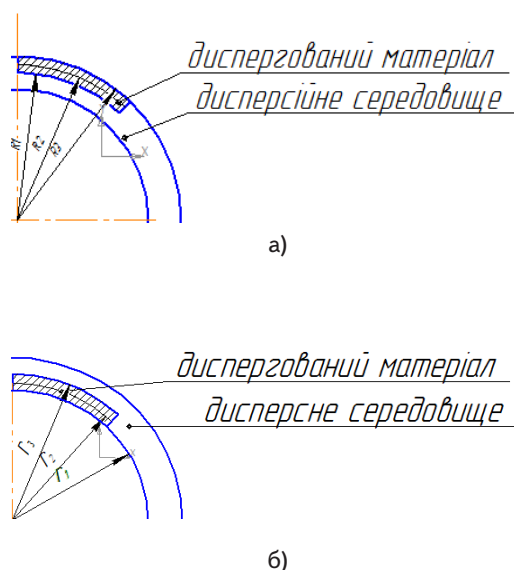


Рис. 1. Схема коаксіального зазору

Чисельні експерименти проведені для різних варіантів введення полімерів в коаксіальний зазор. На рис. 1 представлено два варіанти взаємного розташування полімерів на вході в коаксіальний зазор. В представлених варіантах диспергований матеріал вводиться біля нерухомого циліндру для дослідження змішування в несприятливих умовах. Приймаємо також той факт, що змішування – це взаємодія диспергованого матеріалу з диспергуючим, тобто при відсутності дисперсійного середовища диспергований матеріал буде рухатися поступально і змішування не буде відбуватися. Властивості рідин вважаємо лінійними. Діаметр внутрішнього циліндру – 72мм і зовнішнього циліндру – 90мм. Довжина робочого коаксіального зазору між циліндрами складає 300мм. Швидкість обертання внутрішнього циліндру – 16рад/с. Швидкість осьової подачі рідин в коаксіальний зазор складає 0.1м/с. Представлення досліджень проходить в вигляді графічних зображень взаємодії двох полімерів в різних перерізах коаксіального зазору. Концентрація диспергованого матеріалу в виділеному сегменті (рис.1) приймаємо рівною 100 одиниць, тоді як концентрація диспергованого матеріалу в дисперсному середовищі в решті кільцевого перерізу каналу приймаємо рівною 0.

Результати чисельних досліджень показали, що внаслідок обертового руху одного із циліндрів спостерігається рух рідин по спіралі. Водночас межі сегментів, диспергованого матеріалу поступово розширюються по мірі їх руху вздовж коаксіального зазору, а концентрація диспергованого матеріалу в диспергуючому зменшується, тобто спостерігається змішування двох полімерів.

Оскільки аналітично межі сегменту не змінюють своє початкове положення при обертанні, процес взаємодії ми представляємо у вигляді розподілу концентрації суміші, що дає змогу реально оцінити однорідність вихідної суміші.

Для кількісного сприйняття динаміки зміни розподілу концентрації диспергованого матеріалу в диспер-

сійному середовищі представлено графіки її зміни по довжині каналу в площинах, що знаходиться на радіусі R2 (див. рис.1 а)) та r2 (див. рис.1 б)).

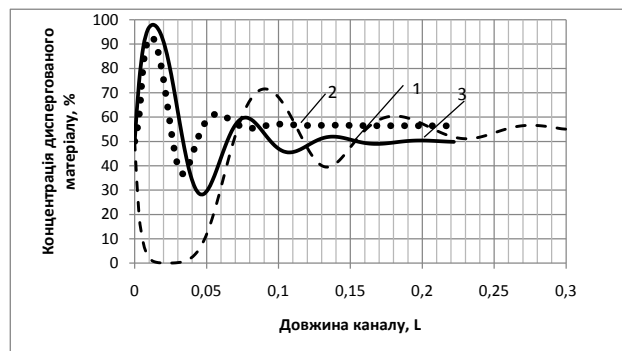


Рис.2. Графік зміни залежності процентного співвідношення концентрації від довжини каналу при різних співвідношеннях в'язкостей в радіальній площині R2 для співвідношень в'язкостей диспергованого матеріалу до дисперсного середовища 1:1; 1:10; 1:0,1 відповідно

При русі двох полімерів в коаксіальному зазорі на початковій ділянці довжини від 0,05м здійснюється їх інтенсивний процес змішування, про що свідчить зміна концентрації дисперсної фази в дисперсійному середовищі з наближенням до типу ідеальної суміші. Крива приймає горизонтальне положення при усередненні значення концентрації. З графіку видно, що при співвідношенні диспергованого до диспергуючого матеріалу 1:10 (крива 2), відбувається найефективніше змішування. При співвідношенні 1:1 (крива 1), цей ефект досягається на довшому проміжку каналу, тобто при 0,015м, а при 10:1 вирівнювання концентрації суміші в коаксіальному зазорі відбувається найбільш повільно (крива 3).

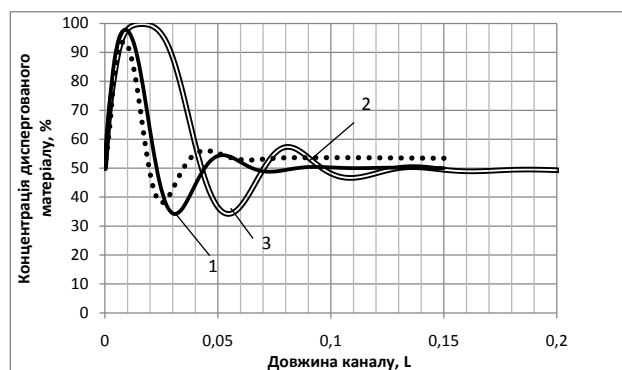


Рис. 3. Графік зміни залежності процентного співвідношення концентрації від довжини каналу при різних співвідношеннях в'язкостей в радіальній площині r2 для співвідношень в'язкостей диспергованого матеріалу до дисперсного середовища 1:1; 1:10; 1:0,1 відповідно

Взаємодія двох полімерів в коаксіальному зазорі на довжині каналу від 0,02м відбувається процес змішування, про що свідчить усереднення значення концентрації. З графіку видно, що при співвідношенні диспергованого до диспергуючого матеріалу 1:10 (кри-

ва 2), відбувається найефективніше змішування що ми спостерігали і при обертанні внутрішнього циліндру (див. рис. 2). Змішування відбувається швидше і досягає свого ефекту на меншій відстані при обертанні зовнішнього циліндру та введення диспергованого матеріалу біля внутрішнього.

Як висновок за виконаними експериментами представлено графік залежності змішування від співвідношення в'язкостей диспергуючого матеріалу до диспергованого.

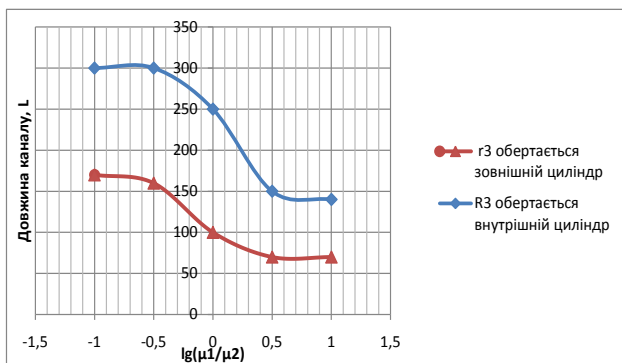


Рис.4. Графік залежності довжини змішування від співвідношень в'язкостей при обертанні внутрішнього і зовнішнього циліндру, де μ_1 – в'язкість диспергуючого матеріалу ; μ_2 – в'язкість диспергованого матеріалу

З графіка, зображеного на рис.4, видно, що чим більше співвідношенні в'язкості диспергуючого матеріалу до диспергованого, тим менша відстань змішування. Також спостерігаємо вирівнювання кривої

при співвідношеннях 1:5, 1:10 та 5:1, 10:1 що свідчить про те, що подальше зростання співвідношення не впливає на відстань змішування.

Висновки

Приведені результати підкріплюють твердження про найбільш ефективне змішування у випадку, коли диспергований матеріал більш в'язкий за диспергуючий. Тому графічно продемонстровано та описано змішування в різних радіальних напрямках, що дає більш точне уявлення про сам процес змішування та якість суміші на виході. Дані дослідження можуть стати фундаментом для подальшого моделювання процесу змішування з врахуванням більш складних фізико-хімічних процесів, що виникають у процесі переробки полімерних матеріалів.

Література

1. Киричевский В.В. Нелинейные задачи термомеханики конструкций из слабосжимаемых эластомеров. [Текст] / В. В.Киричевский, А. С.Сахаров – К.: Будівельник, 1992. – 216 с.
2. Сахаров А.С. Метод конечных элементов в механике твердых тел [Текст] / Под общ. ред. А.С. Сахарова и И.Альтенбаха – К.: Вища школа, 1982. – 480 с.
3. Власов С.В. Основы технологии переработки пластмасс [Текст] / С.В.Власов, Э.Л.Калинчев, Л.Б. Кандырин и др.: учебник для вузов / под ред. В.Н. Кулезнёва и В. К. Гусева. – М.: Химия, 2004. – 596 с.