

ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ РЕАКТОПЛАСТИЧНИХ КОМПОЗИЦІЙ В ЧЕРВ'ЯЧНОМУ ЕКСТРУДЕРІ

СІВЕЦЬКИЙ В.І., к.т.н., проф., КОЛОСОВ О.Є., д.т.н., с.н.с.,

СІДОРОВ Д.Е., к.т.н., доц., КРИВОШЕЄВ В.С., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

На цей час не вирішеною частиною наукової проблеми прогнозування змішувальної ефективності полімерного устаткування є складність дослідження її кількісної оцінки, на відміну від якісної оцінки [1]. У багатьох випадках якість змішування оцінюється за такими інтегральними показниками, як накопичена деформація, час перебування, напруження зсуву та ін. [1 – 8]. Як правило, ці показники не завжди дають можливість отримати повне уявлення про досліджуваний процес змішування.

За прямий критерій оцінки якості змішування приймають *концентрацію диспергованого матеріалу* в дисперсійному середовищі [2]. У разі введення компонентів композиції з різними температурами таким критерієм може бути *рівномірність температурного поля*. А за базовий метод моделювання процесів змішування реактопластичних композицій в черв'ячному екструдері приймають чисельне моделювання обраної математичної моделі за певних припущень.

Ряд проведених досліджень був присвячений чисельному моделюванню процесу змішування методом скінченних елементів [6, 7]. Математична модель багатокомпонентної суміші, частковим випадком якої є матеріал у зоні змішування, і її дискретизація методом скінченних елементів (МСЕ) представлена в роботі [2].

Розглядається процес змішування в черв'ячному каналі шнека в зоні дозування і в динамічному змішувачі бар'єрного типу за трьох варіантів введення диспергованого матеріалу в дисперсійне середовище. В якості критерія ефективності змішування полімерів прийнято величину зміни концентрації диспергованого матеріалу в дисперсійному середовищі, а також зміни рівномірності температур суміші при проходженні зон гомогенізації в черв'ячному каналі та змішувачі на різних перерізах їх робочих каналів.

При цьому рух суміші та її складових досліджується в рамках механіки суцільних середовищ за наступних припущень:

1) суміш складається з окремих взаємно проникливих компонент, що заповнюють один і той же об'єм, а 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. При цьому 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 . Геометричні координати простору x^i і час t носять назву змінних Ейлера.

Рух в розумінні Ейлера вважається відомим, якщо всі невідомі величини (переміщення, швидкості, прискорення і т.д.) визначені як функції x^i і t . При фіксованих x^i і змінному t ці функції описують зміну з часом в даній точці простору основних параметрів, що належать різним частинкам середовища, які проходять через цю точку.

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:

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

- 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 притоку 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:

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

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

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

Для замикання системи рівнянь до неї треба приєднати рівняння стану:

$$\hat{\Phi}(\hat{\sigma}, \hat{\epsilon}, \hat{\zeta}, T) = 0,$$

які дозволяють описати основні властивості матеріалів реальних тіл.

Реологічні властивості суміші моделюють за формулою [1]:

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

де μ_c – в'язкість суміші;

μ_1 – в'язкість дисперсійного середовища;

μ_2 – в'язкість диспергованого матеріалу;

α – концентрація диспергованого матеріалу.

З метою аналізу ефективності змішування диспергованого матеріалу з реактопластичної полімерної матриці у гвинтовому каналі шнека доцільно проводити чисельні дослідження за допомогою пакету Ansys Fluent або Ansys Polyflow, що входять до складу програмного комплексу ANSYS Academic Teaching POLYFLOW [8].

Література

1. 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.
2. Сахаров А.С. Моделирование процесса смешения полимерных композиций в экструзионном смесителе барьерного типа / А.С. Сахаров, А.Е. Колосов, А.Л. Сокольский, В.И. Сивецкий // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2011. – №12. – С. 3-7.

3. Басов Н.И. Расчёт и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов: учебник для вузов / Н.И. Басов, В.А. Брагинский, Ю.В. Казаков. — М.: Химия, 1991. - 352 с.

4. Сокольський О.Л. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас : монографія / О.Л. Сокольський, В.І. Сівецький, І.О. Мікульонок. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – С. 103.

5. Прокофьев Н.С. Экструзионное формование реактопластов с древесными наполнителями: автореф. дис. на соискание учен. степ. докт. техн наук: спец. 05.21.05 «Технология и оборудование деревообрабатывающих производств; древесиноведение» / Прокофьев Николай Сергеевич. — М., 1995. — 46 с.

6. Сахаров А.С. Метод конечных элементов в механике твердых тел [текст] : монография / Под общ. ред. А.С. Сахарова и И.Альтенбаха. – К.: Вища школа, 1982. – 480 с.

7. Киричевский В.В. Нелинейные задачи термомеханики конструкций из слабосжимаемых эластомеров: [текст] : монография / В.В.Киричевский, А.С. Сахаров. – К.: Будівельник, 1992. – 216 с.

8. Сахаров О.С. Змішування розплавів термопластів в черв'ячному екструдері / О.С. Сахаров, В.І. Сівецький, О.Л. Сокольський, М.С. Кушнір, К.Г. Коваленко, О.В. Рослов // Вісник НТУУ «КПІ», Серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2013. – №1 (11). – С. 50-54.