

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСТРУЗІЙНОГО КОМПАУНДУВАННЯ РЕАКТОПЛАСТИЧНОЇ МАТРИЦІ ТА ФОРМУВАННЯ ВОЛОКНИСТО НАПОВНЕНИХ ВИРОБІВ НА ЇЇ ОСНОВІ (СТАН ПРОБЛЕМИ)

СІВЕЦЬКИЙ В.І., к.т.н., проф., КОЛОСОВ О.Є., д.т.н., с.н.с.,
СІДОРОВ Д.Є., к.т.н., доц., КРИВОШЕЄВ В.С., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

При формуванні реактопластичних виробів стадії компаундування (дозування, змішування та просочення) набувають важливого значення [1]. Адже при цьому часто необхідно використовувати безперервний метод підготовки полімерної матриці, у т.ч. введення твердників, наповнювачів, флексибілізаторів, прискорювачів твердіння, розріджувачів тощо безпосередньо в процесі формування цих виробів [2].

Вже доведена (як теоретично, так і експериментально) ефективність застосування низькочастотного ультразвуку (УЗ) для приготування реактопластичної полімерної матриці, а також для просочування і дозованого нанесення при одержанні «традиційних» полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) [3-7] та наномодифікованих ПКМ [8].

Екструзійне формування виробів з композиційних матеріалів на основі полімерів набуває все більш широкого використання [9-10]. Проблемі дослідження процесу та обладнання для екструзії термопластів (у т.ч. на базі натурних і чисельних експериментів) у шнекових (черв'ячних) машинах присвячено багато робіт. У той же час вкрай недостатньо робіт, що висвітлюють особливості процесів змішування реактопластичних композиційних матеріалів та просочування ними волокнистих (тканих) наповнювачів екструзійним методом.

Розвиток теорії і моделювання неізотермічних процесів екструзії тверднучих середовищ із змінними теплофізичними та реологічними властивостями є актуальним напрямком, що має важливе практичне значення. Зокрема, стадії компаундування та змішування при екструзійному просочуванні високов'язких реактопластичних композицій мають домінуючий вплив на кінцеві властивості одержуваних на їх основі композитів – як ненаповнених, так і наповнених армуючими волокнистими наповнювачами, у т.ч. і наномодифікованих, а також виробів з них.

Серед небагатьох робіт у цьому напрямку слід перш за все відзначити роботу [11], метою якої було створення наукових основ для теоретичного аналізу і розрахунку режимів екструзійної переробки наповнених реактопластів у виробі із заданими властивостями. При цьому екструдер розглядався як замкнута підсистема, яка обмінюється з навколишнім середовищем тільки енергією у формі теплоти.

Видалення розчинника з реактопласту здійснюється за його межами в конвективній сушарці. Сукупність цих апаратів (підсистем) утворює єдину систему. Всі елементарні стадії (живлення, стиснення, змішування, дозування, формування, теплової обробки) розділені в просторі і часі та розташовані послідовно.

Реактопластична композиція розглядається як складна трифазна система, що складається з частинок наповнювача, розчину полімеру і газу в порах. При цьому використовується припущення, згідно з яким температурні зміни теплофізичних і механічних властивостей компонентів наповнювача є оборотними, а для полімерної матриці аналогічні властивості змінюються необоротно в результаті конверсії.

Відомо [1-2, 10], що залежно від величини зовнішнього навантаження і рецептури, наповнені реактопласти знаходяться в різних станах. Так, при об'ємній частці реактопластичної смоли, меншій пористості скелета, що складається з частинок наповнювача, суміш здатна деформуватися під дією стискаючих зусиль, і за своїми властивостями є *сипким матеріалом*.

У разі, коли розчин смоли повністю заповнює порожнини між частинками наповнювача, суміш є *нестискаємою* та її пористість теоретично дорівнює нулю. У такому стані суміш розглядається як високонаповнена суспензія з реологічними властивостями *бінгамовської рідини*. А перехід наповненого реактопласту із сипкого стану в стан нестисливої рідини черв'ячної машини виконується на кордоні між зонами стиснення і дозування.

Умови зв'язку між макрокінетичними параметрами екструзійного формування (поля температури, тиску, конверсії – *мономера в полімер*) і властивостями реактопластів визначаються залежністю між складом, властивостями компонентів і динамікою їх зміни в процесі переробки. Дане положення є основою концепції прогнозування властивостей реактопластичних композитів, виходячи з початкових властивостей компонентів, рецептури композиції та умов її переробки у кінцевий виріб.

На прикладі реактопластичної композиції з деревним наповнювачем було проведено чисельний експеримент і експериментальну перевірку розроблених математичних моделей та досліджено макрокінетичні закономірності їх екструзії у шнекових машинах. Експериментальні дослідження були виконані з використанням неруйнівних акустичних методів вимірювання фізичних величин.

Чисельний експеримент проводився при варіюванні незалежних змінних у таких межах: частота обертання шнека – від $0,1 \text{ с}^{-1}$ до $2,0 \text{ с}^{-1}$; кут гвинтової нарізки шнека – від 10° до 25° ; коефіцієнт тепловіддачі – від $0 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ до $200 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ [11]. Порівнювалися розрахункові та експериментальні значення температури в різних перетинах каналу, тиску, теплофізичних і механічних властивостей композиту. Перевірка показала, що експериментальні дані задовільно узгоджуються з розрахунком.

В результаті досліджень було встановлено, що зміна реологічних властивостей суміші по довжині каналу за рахунок неізотермічності і конверсії є причиною появи нелінійного профілю тиску. При цьому на початковій ділянці каналу найбільш сильно змінюється температура, а конверсія невелика через малий час перебування. Тому тут характерним є сильне падіння градієнта тиску і нелінійний ріст тиску.

У міру просування суміші до виходу з каналу її температура нагрівання в адіабатичних умовах сповільнюється, а конверсія зростає. За певних витрат може наступити момент, коли градієнт тиску на виході каналу почне збільшуватися. У результаті відбувається лавиноподібне наростання тиску в каналі. На практиці це відповідає умовам закупорки формуючого каналу, коли суміш втрачає властивість текучості.

Констатується, що одержувані профільні вироби з наповнених реактопластів за своїми механічними властивостями є повноцінними заміниками профілів з дорогих термопластів, а за вогне- та теплостійкістю мають незаперечні переваги перед ними [11].

Література

1. Кулезнев В.Н. Основы технологии переработки пластмасс / Под ред. В.Н. Кулезнева и В.К. Гусева. — М.: Химия, 1995. — 528 с.
2. Власов С.В. Основы технологии переработки пластмасс [текст]: [учебник для вузов] / С.В.Власов, Э.Л.Калинчев, Л.Б. Кандырин и др. / под ред. В.Н. Кулезнёва и В. К. Гусева. — М.: Химия, 2004. — 596 с.
3. Колосов О.Є. Формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізико-хімічної модифікації (у двох частинах). Частина 1. Дослідження передумов направленої здійснення фізико-хімічної модифікації : монографія / Колосов О.Є. — К: НТУУ КПІ. — 2005. — 251 с.
4. Колосов О.Є. Формування полімерних композиційних матеріалів із застосуванням фізико-хімічної модифікації (у двох частинах). Частина 2. Ефективні режими та обладнання для здійснення фізико-хімічної модифікації : монографія / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький. — К.: НТУУ "КПІ", 2006. — 196 с.
5. Колосов О.Є. Технологія одержання багатокомпонентних епоксиполімерів із застосуванням направленої фізико-хімічної модифікації : монографія / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов. — К: НТУУ КПІ, 2010. — 220 с.
6. Колосов О.Є. Математичне моделювання базових процесів виготовлення полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвукової модифікації : монографія / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, Є.М. Панов та ін. — К.: ВД «Едельвейс», 2012. — 268 с.

7. Колосов О.Є. Одержання волокнистонаповнених реактопластичних полімерних композиційних матеріалів із застосуванням ультразвуку : монографія / О.Є. Колосов, В.І. Сівецький, О.П. Колосова. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2015. – 295 с.

8. Колосов О.Є. Одержання високоякісних традиційних та наномодифікованих реактопластичних полімерних композиційних матеріалів / Колосов О. Є. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2015. – 227 с.

9. Ким В.С. Теория и практика экструзии полимеров / Ким В.С. – М.: Химия, 2005. – 568 с.

10. Крыжановский В.К. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.

11. 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.