

УДК 677.072.6

РЕЗАНОВА В.Г.

Київський національний університет технологій і дизайну

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗПЛАВІВ СУМІШЕЙ ПОЛІМЕРІВ

Мета. Дослідження реологічних властивостей розплавів сумішей полімерів експериментально, шляхом математичної обробки та за допомогою створення пакету програм.

Методика. Експериментальне знаходження в'язкості здійснюється методом капілярної віскозиметрії. Подальша обробка проводилась за методом узагальнення даних по в'язкості в приведених координатах Виноградова і Малкіна. Програмне забезпечення розроблялося мовою C++ у середовищі Builder.

Результати. Розроблено програмне забезпечення для дослідження реологічних властивостей розплавів сумішей полімерів. Воно дозволяє зберігати та виводити на екран експериментальні дані, а також будувати криві течії.

Наукова новизна. Створене програмне забезпечення дозволяє наочно представляти і узагальнювати експериментальні дані та дає можливість здійснювати теоретичні дослідження розплавів сумішей полімерів без проведення довготривалих експериментальних досліджень.

Практична значимість. За побудованою кривою течії дослідник може визначати реологічні властивості розплаву суміші полімерів без проведення додаткових експериментів. В кінцевому рахунку, можна зробити висновки щодо здатності суміші до переробки, можливості отримання з неї мікрОВОЛОКОН тощо.

Ключові слова: волокноутворення, приведені координати, крива течії, програмне забезпечення.

Вступ. В багатьох країнах світу прискореними темпами розвивається виробництво ультратонких синтетичних волокон (мікрОВОЛОКОН). Вони знаходять широке застосування при виготовленні товарів народного споживання (тканини, трикотаж, штучна шкіра), а також для технічних виробів (тепло- та звукоізоляційні матеріали, фільтри прецизійного очищення, синтетичний папір) тощо. Існують різні способи одержання ультратонких волокон, але серед них особливе місце займає формування мікрОВОЛОКОН шляхом переробки розплавів сумішей полімерів, тобто реалізація так званого явища специфічного волокноутворення [1].

Постановка завдання. Однією із важливих умов реалізації явища специфічного волокноутворення є оптимальний ступінь сумісності компонентів в розплаві. Це забезпечує утворення перехідного шару достатньої протяжності та можливість передачі напруг, які виникають в дисперсійному середовищі, краплям полімеру дисперсної фази.

Особливий інтерес представляє метод введення в бінарну суміш полімерів додаткового компоненту, що виступає як компатибілізатор. Раніше виконаними дослідженнями було показано, що в бінарних сумішах полімерів явище специфічного волокноутворення найбільш чітко реалізується при співвідношенні волокноутворюючого і матричного полімерів 20/80; 30/70 мас. %. Введення компатибілізаторів сприяє утворенню мікрОВОЛОКОН при більшому вмісті волокноутворюючого компоненту. Окрім впливу на процес волокноутворення, добавки компатибілізаторів впливають також на властивості

отриманих мікрОВОЛОКОН (зокрема, вони надають специфічні властивості – бактерицидну дію, хімічну стійкість). Такі мікрОВОЛОКНА використовують, зокрема, для виробництва різноманітних фільтрувальних матеріалів. Якість реалізації волокноутворення визначається значною мірою співвідношенням компонентів суміші та реологічними властивостями вхідних полімерів, тому дослідження цих процесів з використанням математичних методів аналізу є важливим і тема роботи актуальною.

В'язкість є однією з найважливіших характеристик неньютонівської рідини, якою є розплав суміші полімерів. Вона характеризує взаємозв'язок деформації і напруг, що викликали ці деформації. Без знання реологічних характеристик полімерів у в'язкотекучому стані, неможливо обґрунтовано підійти до розробки технологічного режиму переробки полімерів та їх сумішей у вироби, особливо – у волокна.

В дослідженні явища специфічного волокноутворення переважає експериментальний підхід. Метою даної роботи є створення пакету програм, пов'язаних з дослідженням явища специфічного волокноутворення, і, зокрема, – програмного забезпечення для дослідження реологічних властивостей розплаву суміші полімерів.

Результати дослідження. Експериментальне знаходження в'язкості здійснюється за відомою методикою - капілярною віскозиметрією. Подальша обробка здійснюється за запропонованим Виноградовим і Малкіним методом узагальнення даних по в'язкості в наступних приведених координатах [2]:

$$\eta_{пр} = \eta / \eta_n; \quad \dot{\gamma}_{пр} = \eta_n \cdot \dot{\gamma}$$

де η_n - найбільша ньютонівська в'язкість;

$\dot{\gamma}$ - швидкість зсуву;

$\eta_{пр}$ – приведена в'язкість;

$\dot{\gamma}_{пр}$ – приведений градієнт швидкості зсуву

Метод суперпозиції в'язкісних властивостей оснований на тому, що зміна ефективної в'язкості зумовлюється характеристиками системи в початковому стані, тобто найбільшою ньютонівською в'язкістю. Узагальнення в'язкісних характеристик можливе лише тоді, коли релаксаційні спектри полімерних систем подібні при різних температурах та концентраціях. Обробка результатів для бінарних сумішей показала, що для багатьох сумішей полімерів існують досить широкі області, де залежність в'язкості від швидкості зсуву в приведених координатах є інваріантною по відношенню до складу. Це свідчить про те, що в даній ділянці вплив складу суміші на ефективну в'язкість розплаву цілком проявляється через η_n . Встановлено також, що інваріантність від складу завжди спостерігається для того дисперсійного середовища, розплав якого характеризується найбільшою аномалією в'язкості і еластичністю. Таким чином було показано, що можливість концентраційної суперпозиції в розплавах визначається різницею в чутливості компонентів до інтенсивності зсуву. Суперпозиція має місце доти, доки полімер, який характеризується більшою аномалією в'язкості, є дисперсійним середовищем [3]. Виконана обробка експериментальних даних по в'язкісних властивостях подвійних сумішей поліпропілен / співполіамід (ПП/СПА), яка свідчить про відсутність інваріантності від вмісту ПП (рис.1).

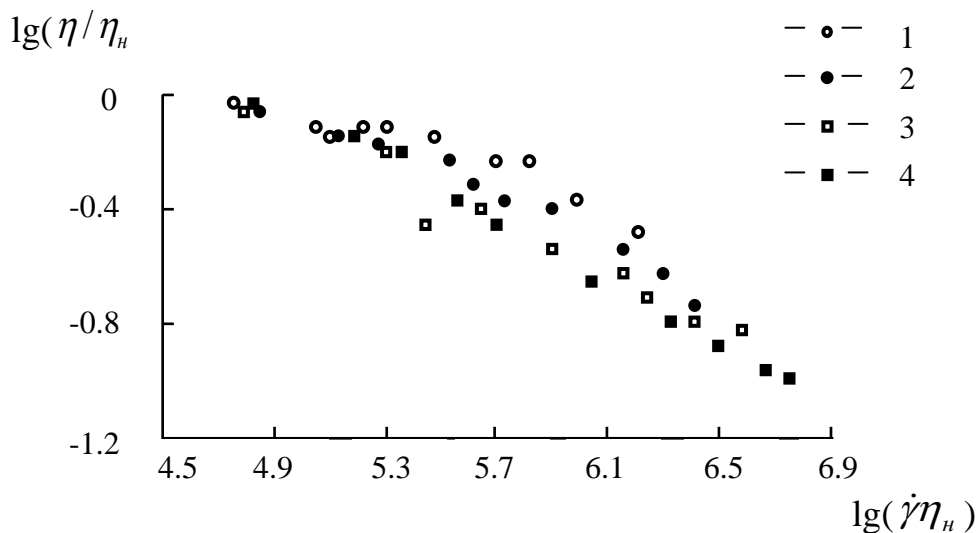


Рис. 1. Залежність в'язкості розплаву суміші ПП/СПА від швидкості зсуву в приведених координатах. Точки 1 ÷ 4 відповідають вмісту ПП, мас. %: 20; 30; 40; 50

В той же час, встановлена інваріантність для сумішей ПП / СПА, модифікованих добавками силіконових рідин марки ПЕС-5, в приведених координатах Виноградова-Малкіна від вмісту добавки (рис.2).

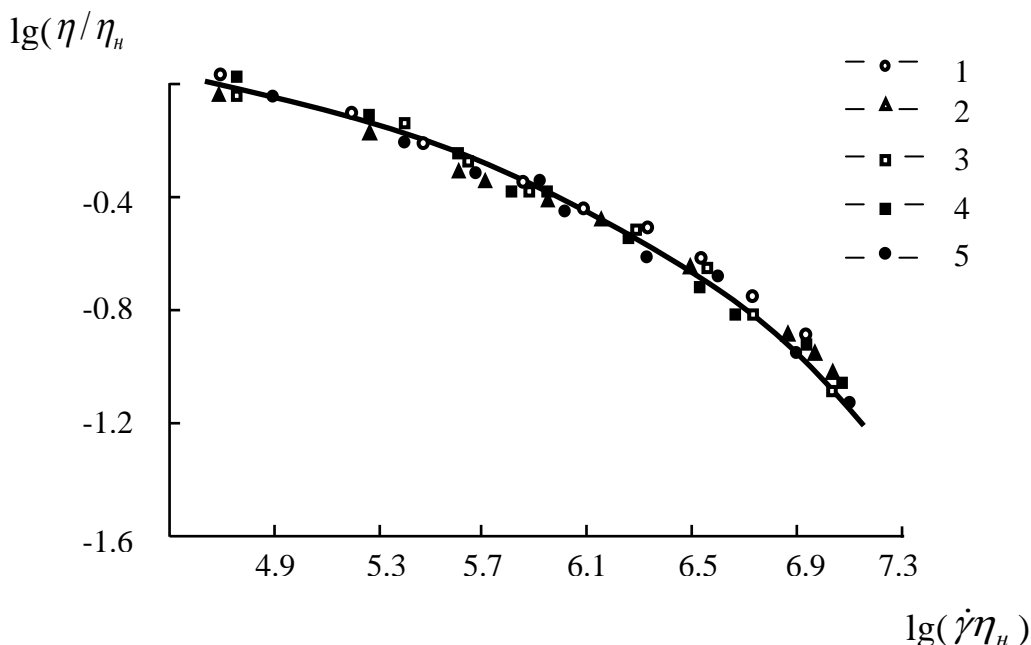


Рис. 2 Залежність в'язкості розплаву суміші ПП/СПА/ПЕС-5 від швидкості зсуву в приведених координатах. Точки 1 ÷ 5 відповідають вмісту ПЕС-5, мас. %: 0; 0,1; 0,3; 0,5; 1,0

Це дає можливість стверджувати, що релаксаційні спектри досліджених потрійних сумішей подібні.

Відомо, що залежність в'язкості розплавів і розчинів полімерів у вказаних приведених координатах інваріантна від температури. Для вихідних ПП і СПА має місце температурна суперпозиція в дослідженому інтервалі температур. Така ж закономірність спостерігається і для розплавів ПП і СПА, які містять 0,3 мас. % ПЕС-5. Останнє свідчить про те, що силосанова рідина не змінює характер релаксаційного спектру вихідних полімерів. Обробка даних по в'язкості розплавів суміші ПП/СПА складу 50/50 мас.% та з добавками ПЕС-5 показала, що для вихідної суміші та при всіх досліджених кількостях силосанової рідини температурна інваріантність виповнюється. Це означає, що релаксаційні спектри розплавів бінарної та потрійної сумішей подібні в діапазоні температур $180 \div 220$ °С.

Таким чином, дані літератури та одержані нами результати свідчать, що для розплавів сумішей полімерів проявляються такі ж самі закономірності їх реологічної поведінки, як і для розплавів вихідних полімерів.

Програмне забезпечення для дослідження реологічних характеристик розплавів сумішей полімерів розроблялось мовою С++ у середовище розробки С++ Builder [4, 5]. Середовище розробки складається з редактора форм, інспектора об'єктів, палітри компонент, адміністратора проекту та повністю інтегрованого редактора коду і налагоджувача.

Крива течії будувалась шляхом апроксимації експериментальних даних за методом найменших квадратів. Суть методу найменших квадратів (МНК). Нехай виконується n експериментів, в кожному з яких незалежним змінним $x = (x_1, \dots, x_p)$ надається певних значень, і при цьому одержуються деякі значення залежної змінної y . Позначимо $x^i = (x_1^i, \dots, x_p^i)$ набір значень незалежних змінних, що було надано їм в i -му експерименті, y_i – відповідні значення залежної змінної ($i = 1, 2, \dots, n$). Згідно з МНК, для оцінки вектора параметрів $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_m)$ береться такий вектор, при якому сума

$$S(\beta) = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x^i; \beta)]^2 \quad (1)$$

приймає мінімальне значення по β .

Якщо функція регресії f є диференційованою за параметрами $(\beta_1, \dots, \beta_m)$, то необхідною умовою мінімуму $S(\beta)$ є виконання рівностей

$$\frac{\partial S(\beta)}{\partial \beta_j} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

Система (2) складається з рівнянь, кількість яких дорівнює числу невідомих системи – коефіцієнтів. Вона розв'язувалась програмно за формулами Крамера.

Основні функції програми:

- функція *osi* виводить на компоненті Image осі координат x та y , здійснює розмітку, позначення та сітку;
- функція *tochki* призначена для відображення на екран експериментальних значень, зчитаних з файла, дані зберігаються в масиві.
- функція *Sum* - функція для знаходження коефіцієнтів системи рівнянь для

визначення невідомих коефіцієнтів апроксимаційної кривої за методом найменших квадратів.

- функція *pererahunok* виконує перерахунок координат зі звичайних у приведені.

- функція *Kramer* використовує знайдені вищезгаданою функцією (Sum) коефіцієнти для складання системи лінійних рівнянь. За методом Крамера розв'язується система лінійних рівнянь. Корені даної системи рівнянь являють собою коефіцієнти апроксимаційної кривої і в подальшому використовуються для побудови кривої течії.

- функція *graphic* малює графік знайденої функції.

Отже, за отриманими результатами розроблене програмне забезпечення дозволяє здійснити побудову кривої течії. Обробка результатів для бінарних сумішей показує, що для багатьох сумішей полімерів існують досить широкі області, де залежність в'язкості від швидкості зсуву в приведених координатах є інваріантною по відношенню до складу. Візуальну перевірку існування цієї подібності дослідник здійснює після виведення на екран відповідних даних.

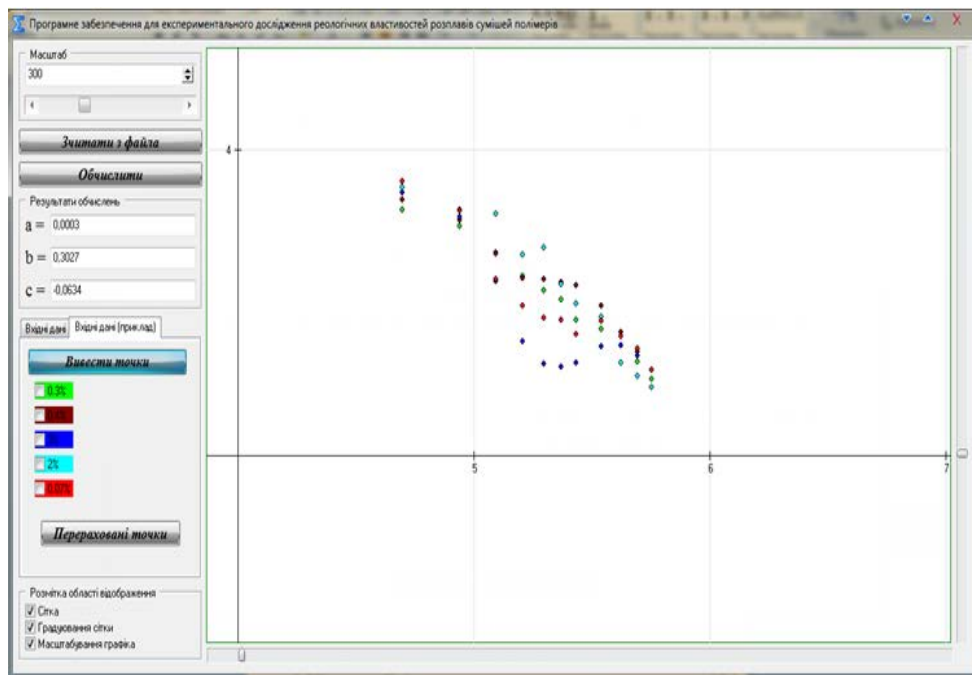


Рис. 3 Залежність в'язкості розплаву суміші ПП/СПА від швидкості зсуву в приведених координатах. Точки 1 ÷ 4 відповідають вмісту ПП, мас. %: 20; 30; 40; 50 (суперпозиція відсутня)

Для розплавів сумішей полімерів, для яких суперпозиція має місце (рис. 4), можна за допомогою програми побудувати криву течії та провести подальше теоретичне дослідження реологічних властивостей.

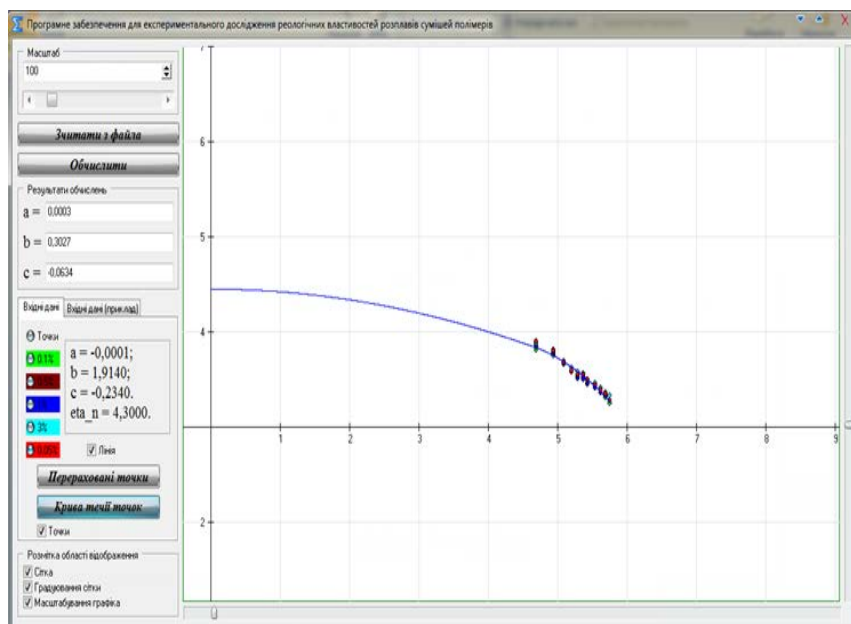


Рис. 4 Крива течії розплаву суміші ПП/СПА/ПЕС-5 (суперпозиція має місце)

Висновок. Створене програмне забезпечення дозволяє за побудованою кривою течії визначати в'язкість розплаву полімеру або суміші полімерів, аналізувати вплив різних добавок на в'язкість волокноутворюючого та матричного полімерів та їх суміші, визначати в'язкість при різних напругах зсуву, встановлювати вплив температури на реологічні властивості полімерів та характеризувати ступінь відхилення течії від ньютонівського режиму без проведення додаткових експериментів.

Розроблена програма дозволяє наочно представляти і узагальнювати експериментальні дані, та дає можливість здійснювати глибокі теоретичні дослідження розплавів сумішей полімерів без проведення довготривалих експериментів. В практичному плані вона дозволяє зробити висновки щодо здатності суміші до переробки та можливості отримання з неї мікрОВОЛОКОН.

Список використаних джерел

1. Цебрєнко М.В. Ультратонкие синтетические волокна. - М.: Химия, 1991. - 214с.
2. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. М.: Химия, 440 с.
3. Цебрєнко М.В. О температурно-композиционной суперпозиции вязкости расплавов смесей полимеров по скорости сдвига // Высокомолекул. соедин. – 1986. – Т. А 28, №6. – С.1145-1150.
4. Прата С. Язык программирования С++ (С++11). Лекции и упражнения, 6-е издание — М.: Вильямс, 2012. — 1248 с.
5. Страуструп Б. Язык программирования С++. Специальное издание М.: Бином, 2011. – 1136с.

**ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСПЛАВОВ СМЕСЕЙ ПОЛИМЕРОВ
РЕЗАНОВА В.Г.**

Киевский национальный университет технологий и дизайна

Цель. исследование реологических свойств расплавов смесей полимеров экспериментально, путём математической обработки и с помощью создания пакета программ.

Методика. Экспериментальное нахождение вязкости проводится методом капиллярной вискозиметрии. Дальнейшая обработка осуществляется по методу обобщения данных по вязкости в приведенных координатах Виноградова и Малкина. Программное обеспечение разрабатывалось на языке C ++ в среде Builder.

Результаты. Разработано программное обеспечение для исследования реологических свойств расплава смеси полимеров. Оно позволяет хранить и выводить на экран экспериментальные данные, а также строить кривые течения.

Научная новизна. Созданное программное обеспечение дает возможность наглядно представлять и обобщать экспериментальные данные и позволяет осуществлять глубокие теоретические исследования расплавов смесей полимеров без проведения длительных экспериментальных исследований.

Практическая значимость. По построенной кривой течения исследователь может определять реологические свойства расплава смеси полимеров без проведения дополнительных экспериментов. В конечном счете, можно сделать выводы о способности смеси к переработке, возможности получения из нее микроволокон и тому подобное.

Ключевые слова: *волоконобразование, приведенные координаты, кривая течения, программное обеспечение.*

**SOFTWARE FOR RESEARCH RHEOLOGICAL PROPERTIES OF POLYMER
BLENDS MELTS
REZANOVA V.G.**

Kyiv National University of Technology and Design

Purpose. To study the rheological properties of polymer mixture melts experimentally, with mathematical processing and by creating the software package.

Methods. Experimental determination of viscosity is carried out by a capillary viscometry. Further processing is performed by the method of summarizing data on the viscosity reduced coordinates Vinogradov and Malkin. The software was developed in C ++ language in Builder environment.

Results. The The software for the study the rheological properties of the polymer mixture melts was carried out. It allows you to store and display the experimental data, as well as to build the flow curves.

Scientific innovation. The developed software makes it possible to visualize and summarize the experimental data and allows for deep theoretical studies of polymer mixture melts without a long-term experimental studies.

Practical significance. With the obtained curve of flow researcher can determine the rheological properties of the polymers mixture melt without undue experimentation. Ultimately, it is possible to draw conclusions about the processability of the mixture, the possibility of obtaining fibers from it and so on.

Keywords: *fiber formation, reduced coordinates, flow curve, software.*