

УДК 679.7:678:544

doi:10.20998/2413-4295.2021.04.09

В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНОЇ КОМПОЗИЦІЇ, ЩО НЕ МІСТИТЬ ГАЛОГЕНІВ, ДЛЯ КАБЕЛЬНОЇ ПРОДУКЦІЇ

О. В. ЧУЛЄЄВА*, В. М. ЗОЛОТАРЬОВ, В. Л. ЧУЛЄЄВ, Т. А. КУЛЕШОВА, М. С. СУСЛІН

Приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», Харків, УКРАЇНА
*e-mail: echuleeva@ukr.net

АНОТАЦІЯ Досліджено в'язкопружні властивості полімерної композиції, що не містить галогенів, для кабельної продукції. Визначено вплив температурних параметрів, швидкості зсуву на коефіцієнт розбухання полімерної композиції, досліджено залежності густини розплаву від температури. Полімерна матриця є сумішшю поліолефінів (лінійний поліетилен низької густини; поліолефіновий еластомер та модифікований малеїновим ангідридом лінійний поліетилен низької густини), як наповнювач антипірен для полімерної композиції – тригідрат оксиду алюмінію. Вміст наповнювача-антипірену в полімерній композиції становить 60 %. Полімерну композицію виготовляли на лінії компаундування компанії X-Compound, Швейцарія. Дослідження густини розплаву та коефіцієнту розбухання полімерної композиції проводили на капілярному віскозиметрі типу ИИРТ-АМ. Для визначення густини розплаву використовували співвідношення довжини капіляру до діаметру $L/D=8/2$. Результати дослідження залежності густини розплаву полімерної матриці від температури 150–190°C за різного навантаження показали, що цей параметр знижується від 789 до 744 $\text{кг}/\text{м}^3$, а для полімерної композиції від 1309 до 1268 $\text{кг}/\text{м}^3$. Коефіцієнт розбухання у разі підвищення швидкості зсуву за температур 150–190°C для полімерної матриці збільшується від 1,102 до 1,520, а для полімерної композиції зменшується від 1,056 до 1,018. Дослідження залежності коефіцієнту розбухання полімерної матриці та полімерної композиції від співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру вказують на те, що коефіцієнт розбухання для полімерної матриці знижується від 1,296 до 1,152, а для полімерної композиції від 1,045 до 1,01. Встановлено, що на в'язкопружні властивості полімерної композиції, що не містить галогенів, суттєво впливають: температурні параметри переробки, швидкість зсуву, густина розплаву, співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру. Результати досліджень дають можливість обґрунтовано підходити до визначення технологічних параметрів виготовлення ізоляції, оболонок силових кабелів та оптичних кабелів мікромодульної конструкції. Це також дозволить швидко вносити коригування у геометричні параметри формуючого інструменту кабельних головок.

Ключові слова: коефіцієнт розбухання; швидкість зсуву; температура; густина розплаву; капілярний віскозиметр

THE VISCOELASTIC PROPERTIES OF A HALOGEN-FREE POLYMER COMPOSITION FOR CABLE PRODUCTS

O. CHULIEIEVA, V. ZOLOTARYOV, V. CHULIEIEV, T. KULESHOVA, M. SUSLIN

Private joint stock company "YUZHicable WORKS", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT The viscoelastic properties of a halogen-free polymer composition for cable products have been investigated. The influence of temperature parameters, shear rate on the die-swell ratio of the polymer composition has been determined; the dependence of the melt density on a temperature was investigated. The polymer matrix is a mixture of polyolefins (linear low density polyethylene; polyolefin elastomer and maleic anhydride modified linear low density polyethylene) as a flame retardant filler for the polymer composition is trihydrate alumina. The content of flame retardant filler in the polymer composition is 60 %. The polymer composition was manufactured on the compounding line of X-Compound, Switzerland. The investigation of both melt density and die-swell ratio of the polymer composition has been conducted with help of capillary viscometer type ИИРТ-АМ. To determine the density of the melt the ratio of capillary length to diameter $L/D=8/2$ was used. The results of the study of the dependence of the melt density of the polymer matrix from a temperature of 150–190 °C at different loads showed that this parameter decreases from 789 to 744 kg/m^3 and for polymer composition from 1309 to 1268 kg/m^3 . The die-swell ratio in the case of an increase of the shear rate at temperatures of 150–190°C for the polymer matrix increases from 1,102 to 1,520, and for the polymer composition decreases from 1,056 to 1,018. The investigation results of the dependence of both die-swell ratio of the polymer matrix and the polymer composition on the ratio of the length of the forming tool to the diameter indicates that the die-swell ratio for the polymer matrix was reduced from 1,296 to 1,152, and for the polymer composition from 1,045 to 1,01. It was established that the viscoelastic properties of the halogen-free polymer composition are significantly influenced by: processing temperature, shear rate, melt density, the ratio of the length of the forming tool to the diameter. The research results give a possibility for a reasonable approach for the determination of technological parameters of an insulation, sheathing of power cables and optical cables of microtube construction. It will also allow to quickly adjust the geometrical parameters of the forming tool of cable heads.

Keywords: die-swell ratio; shear rate; temperature; melt density; capillary viscometer

Вступ

Наразі розширення асортименту полімерних матеріалів відбувається не стільки за рахунок розробки нових полімерів, скільки у результаті

модифікації відомих, під час якої отримання полімерних матеріалів з певним комплексом властивостей може бути пов'язано зі змінами хімічної будови макромолекул полімеру, і відповідно, його надмолекулярної структури [1,2].

Більшу частину властивостей полімерів можна покращити, використовуючи різні підсилюючі волокна, целюлозу у формі часток, та наповнювачі антипірени для застосування матеріалів у широкому діапазоні [3]. Створення полімерних композиційних матеріалів, що не містять галогенів для кабельної продукції досягається за рахунок уведення в базовий полімер антипіренів – гідроксидів металів [4,5].

Додавання наповнювачів-антипіренів до полімеру може бути причиною змін умов переробки та реологічних властивостей полімеру. Реологічні властивості розплаву полімерів є важливими показниками технологічного режиму під час переробки та можуть впливати на всі етапи використання матеріалу, від створення полімерних композицій до виготовлення продукту. Реологічні вимірювання досить чутливі до змін молекулярної структури. Полімерні матеріали під навантаженням проявляють одночасно, як в'язкий так і пружні характеристики. Пружний компонент пов'язаний з властивостями матеріалу накопичувати та виділяти енергію, щоб повернутися в вихідну будову, коли знімають навантаження, під яким виникла деформація, в той час як в'язкий компонент пов'язаний з втратою енергії та перетворюється в тепло від прикладеного навантаження. Характеристики розплаву полімеру, такі як в'язкопружність та густина розплаву, є дуже важливими властивостями у галузі екструзії полімерів [6].

Пружність – це властивість полімеру стискатися та розширяться. Ефект розбухання у філь'єрі називають в літературі розбуханням екструдату, ефектом Баруса або розбуханням після екструзії, є одним з важливих проявів пружності розплаву. Коли розплавлені полімери продавлюються під впливом напруження зсуву через філь'єру, екструдат розбухає та стає більше за розмір філь'єри. Під час переробки полімерів це проявляється у вигляді «шкурки акули», пристінного проковзування, розриву розплаву. Багато дослідників намагалися показати, що причина нестабільності потоку пов'язана з в'язкопружними властивостями [7,8]. Наприклад, під час екструдування труби з поліолефіну поверхня труби починає втрачати свій глянцекий вигляд. Замість цього з'являється матова поверхня, та за вищих швидкостей зсуву на поверхні з'являються періодичні дефекти, як то «шкура акули» або розрив поверхні розплаву. Ймовірно, ці явища мають безпосереднє відношення до процесів переробки полімерів, так як вони обмежують продуктивність технологічного процесу, а також знижують якість виробів. У дослідженні [9] стверджують про лінійне збільшення розбухання екструдату зі збільшенням напруження зсуву для сумішей ПО, в той час як воно зменшується зі збільшенням відношення довжини філь'єри до діаметру та зі збільшенням температури.

На розбухання екструдату впливає багато факторів, такі як основні властивості полімеру: молекулярна маса, молекулярно-масовий розподіл, ступінь розгалуження, полідисперсність; умови технологічного процесу, такі як швидкість зсуву, напруження зсуву, розмір капіляру та температура розплаву. В публікаціях [7,10-13] також зазначають вплив наповнювачів на розбухання екструдату.

Густина розплаву є значним параметром який контролюється в процесі переробки полімерів, особливо під час екструзії. Об'єм полімеру суттєво змінюється через велику кількість фазових або структурних перетворень між твердою фазою, плавленням, склуванням, а також залежить від температури, тиску та багатьох інших факторів. В промисловості завжди був великий інтерес до моделювання умов процесу, кінцевої форми виробу та прогнозування розбухання полімеру. Густина розплаву в залежності від температури та тиску часто має важливе значення для різних процесів проектування, наприклад, конструкції шнеку екструдера та формуючого інструменту [14,15].

Наведені дослідження показують, що властивості полімерних композицій залежать не лише від їхнього складу, але в значній мірі від умов їхньої переробки. Однак, багато запитань, які пов'язані зі зміною коефіцієнтів розбухання та густини розплаву полімерних композицій, що не містять галогенів, у процесі переробки (виготовленні кабельної продукції) все ще недостатньо вивчені.

Мета роботи

Дослідження в'язкопружних властивостей полімерної матриці та полімерної композиції, що не містить галогенів, для кабельної продукції.

Визначення впливу швидкості зсуву, температурних параметрів на коефіцієнт розбухання полімерної композиції, визначення залежності густини розплаву від температури.

Матеріали

Досліджували пожегобезпечну полімерну композицію, що не містить галогенів. Як полімерну матрицю використано суміш поліолефінів (лінійний поліетилен низької густини; поліолефіновий еластомер та модифікований малеїновим ангідридом лінійний поліетилен низької густини). Тригідрат оксиду алюмінію як наповнювач-антипірену. Вміст наповнювача-антипірену в полімерній композиції становить 60 %.

Полімерну композицію виготовляли на лінії компаундування компанії X-Compound, Швейцарія. До складу лінії входить наступне обладнання: компаундер/змішувач 120-16 L/D, екструдер що подає GS 140-6 L/D з гранулюючою головкою, система дозування інгредієнтів, транспортні системи інгредієнтів і готової продукції, система охолодження гранул.

Обладнання та методика

Дослідження густини розплаву та коефіцієнту розбухання полімерної композиції проводили на капілярному віскозиметрі типу ИИРТ-АМ (рис. 1). Діаметр циліндру $9,550 \pm 0,007$, довжина 150 мм.

Для визначення густини розплаву використовували співвідношення довжини капіляру до діаметру $L/D=8/2$. Гранульовану композицію завантажували до циліндру та продавливали з навантаженням 98,07; 122,59; 211,82 Н за температур 150°C, 170°C, 190°C.

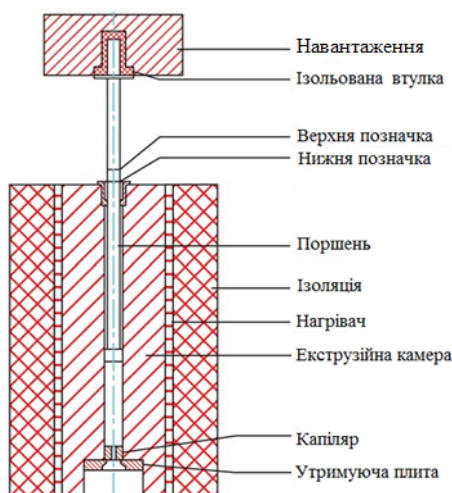


Рис. 1 – Схематичне зображення капілярного віскозиметру типу ИИРТ-АМ відповідно до ASTM D1238-13

Відрізки матеріалу витримували за температури навколишнього середовища 72 год. Масу визначали на аналітичних вагах Mettler Toledo з точністю до 0,01 мг та проводили розрахунок за формулою (1):

$$\rho_m = \frac{4m}{\pi \cdot h \cdot d_r^2} \quad (1)$$

де m – маса відрізка матеріалу; h – переміщення поршню під час продавлення одного відрізка матеріалу; d_r^2 – діаметр поршню $9,4742 \pm 0,0076$ мм.

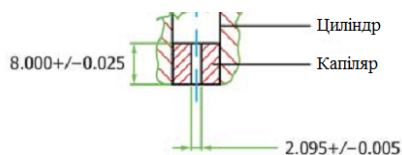


Рис. 2 – Схематичне зображення формуючого капіляру для ИИРТ-АМ відповідно до ASTM D1238-13

Під час дослідження коефіцієнту розбухання полімерної композиції використовували співвідношення довжини капіляру до діаметру (L/D) від 4 до 12. Композицію продавливали за

навантаженням від 37,24 до 211,82 Н за температур від 150°C до 190°C. Відрізки матеріалу витримували за температури навколишнього середовища 72 год. Діаметр відрізків вимірювали цифровим мікрометром з точністю до 0,01 мікрон. Розрахунок коефіцієнта розбухання проводився за наступною формулою (2):

$$B = \frac{d_j}{D} \quad (2)$$

де d_j – діаметр відрізка матеріалу; D – діаметр капіляра $2,095 \pm 0,005$ мм (рис 2).

Статистичний аналіз був виконаний методом дисперсного аналізу (ANOVA) з використанням загальної лінійної моделі, а також моделі асимптотичної регресії за інтегральним алгоритмом Левенберга–Марквардта із рівнем значущості α 0,05. Аналіз даних виконувався за допомогою OriginPro 2017 компанії Origin Lab.

Результати досліджень

Результати дослідження залежності густини розплаву полімерної матриці від зміни величини навантаження наведено на рис. 3.

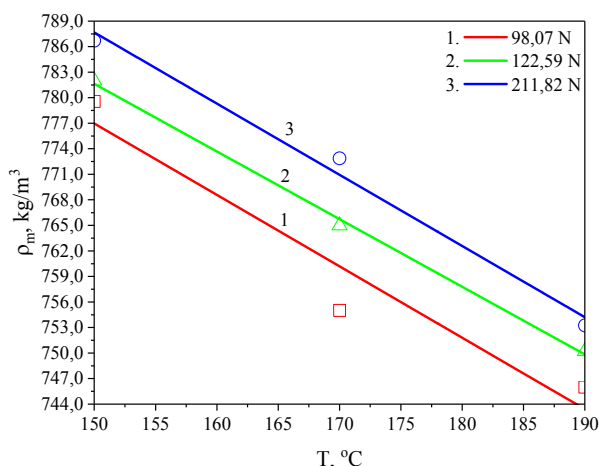


Рис. 3 – Залежність густини розплаву полімерної матриці від температури за різного навантаження

З отриманих даних видно, що густина полімерної матриці знижується під час підвищення температури від 150°C до 190°C з 789 кг/м³ до 744 кг/м³. Також густина розплаву полімерної матриці суттєво підвищується у разі збільшення навантаження. Для навантаження 98,07 Н вона змінюється від 777 кг/м³ до 744 кг/м³, а за навантаження 211,82 Н від 788 кг/м³ до 754 кг/м³.

Видно, що густина розплаву полімерної матриці мало залежить від зміни температури та навантаження. Криві на графіку мають лінійний характер та описуються рівняннями регресії:

для кривої 1 $y = 900,89 - 0,79x$;

для кривої 2 $y = 902,85 - 0,84x$;

для кривої 3 $y = 903,15 - 0,84x$.

Дослідження залежності густини розплаву полімерної композиції від зміни величини навантаження наведено на рис. 4. Густина полімерної композиції знижується під час підвищення температури від 150 °С до 190 °С з 1312 кг/м³ до 1260 кг/м³. Також густина розплаву полімерної композиції суттєво підвищується у разі збільшення навантаження. Для навантаження 98,07 Н вона змінюється від 1284 кг/м³ до 1268 кг/м³, а за навантаження 211,82 Н від 1309 кг/м³ до 1280 кг/м³.

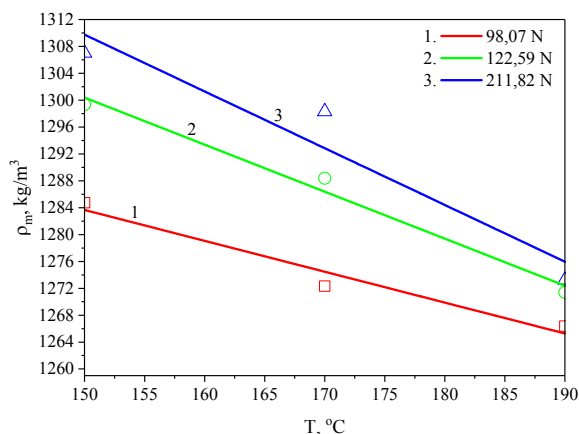


Рис. 4 – Залежність густини розплаву полімерної композиції від температури за різного навантаження

З аналізу даних видно, що полімерна композиція в порівнянні з полімерною матрицею має ширший інтервал зниження густини розплаву з підвищенням температури. Це пов'язано зі зміною надмолекулярної структури наповненої полімерної композиції, впливом дисперсності та складу наповнювача-антипірену. Криві на графіку мають лінійний характер та описуються рівняннями регресії:

для кривої 1 $y = 1352,58 - 0,46x$;

для кривої 2 $y = 1405,31 - 0,70x$;

для кривої 3 $y = 1436,46 - 0,85x$

Дослідження залежності коефіцієнту розбухання полімерної матриці та полімерної композиції від швидкості зсуву за різної температури та різного співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру наведено на рис. 5, 6.

З отриманих даних видно (див. рис. 5), що для полімерної матриці спостерігається стрімке збільшення коефіцієнту розбухання зі збільшенням швидкості зсуву, особливо за температури 150 та 170 °С (крива 1, 3). Для кривої 1 коефіцієнт розбухання збільшується від 1,24 до 1,520, а для кривої 3 від 1,178 до 1,44. За температури 190 °С (крива 5) збільшення коефіцієнту розбухання є не дуже значним (від 1,19 до 1,26), під час досягнення швидкості зсуву 95 с⁻¹ крива виходить на плато і коефіцієнт розбухання вже не залежить від зміни швидкості зсуву.

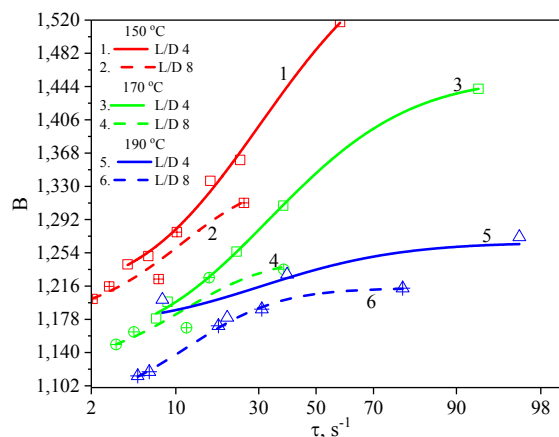


Рис. 5 – Залежність коефіцієнту розбухання полімерної матриці від швидкості зсуву за різної температури та різного співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру

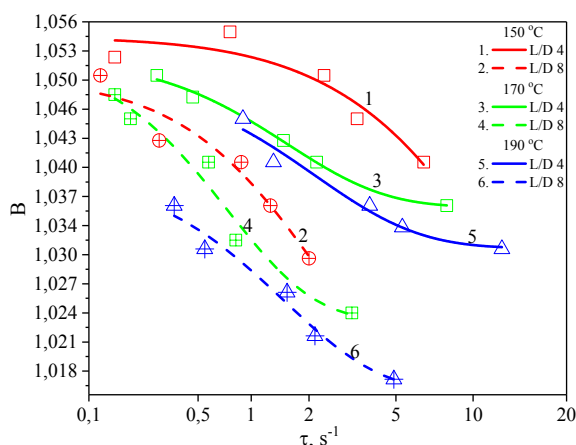


Рис. 6 – Залежність коефіцієнту розбухання полімерної композиції від швидкості зсуву за різної температури та співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру

У разі збільшення співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру (L/D) 8, коефіцієнт розбухання за температур 150 та 170 °С має не великий діапазон збільшення від 1,20 до 1,3 (крива 2) та від 1,148 до 1,235 (крива 4). За температури 190 °С (крива 6) спостерігається суттєве збільшення коефіцієнту розбухання від 1,11 до 1,178. Під час досягнення швидкості зсуву 60 с⁻¹ коефіцієнт розбухання стала величина, тобто не залежить від зміни швидкості зсуву.

Криві на рис. 5 описуються рівняннями регресії:

для кривої 1 $y = 1,74 - 0,53 \cdot 0,98^x$;

для кривої 2 $y = 1,34 - 0,16 \cdot 0,94^x$;

для кривої 3 $y = 1,58 - 0,44 \cdot 0,99^x$;

для кривої 4 $y = 1,25 - 0,13 \cdot 0,94^x$;

для кривої 5 $y = 1,29 - 0,12 \cdot 0,98^x$;

для кривої 6 $y = 1,21 - 0,13 \cdot 0,94^x$.

Для полімерної композиції криві на графіку (рис. 6) мають протилежний характер в порівнянні з кривими для полімерної матриці (рис. 5), коефіцієнти розбухання зменшуються від 1,055 до 1,018 зі збільшенням швидкості зсуву. Оскільки композиція має великий вміст наповнювача, то спостерігається значне зниження швидкості зсуву у порівнянні з полімерної матрицею.

За температури 150°C можна спостерігати значне зниження коефіцієнту розбухання в діапазоні усіх швидкостей зсуву від 1,055 до 1,04 (крива 1) та від 1,048 до 1,03 (крива 2). За температури 170°C (крива 3) спостерігається зниження коефіцієнту розбухання, під час досягнення швидкості зсуву 7 с⁻¹ крива виходить на плато і коефіцієнт вже не залежить від зміни швидкості зсуву. Коефіцієнти розбухання змінюються від 1,049 до 1,036 (крива 3), та від 1,048 до 1,024 (крива 4).

Для кривих 5 та 6 за температури 190°C спостерігається збільшення швидкості зсуву та зменшення діапазону коефіцієнту розбухання від 1,044 до 1,031 для L/D=8/2 та з 1,034 до 1,017 для L/D=16/2. Крива 5 під час досягнення швидкості зсуву 10 с⁻¹ виходить на плато і коефіцієнт вже не залежить від зміни швидкості зсуву. Можна зробити припущення, що за температури 190 °C за L/D=16/2 (крива 6) та швидкості зсуву більше 5 с⁻¹ коефіцієнт розбухання буде менше змінюватися. Криві на графіку описуються рівняннями регресії:

$$\text{для кривої 1 } y = -0,20 + 1,25 \cdot 0,99^x;$$

$$\text{для кривої 2 } y = 1,01 + 0,04 \cdot 0,70^x;$$

$$\text{для кривої 3 } y = 1,04 + 0,02 \cdot 0,57^x;$$

$$\text{для кривої 4 } y = 1,02 + 0,03 \cdot 0,30^x;$$

$$\text{для кривої 5 } y = 1,03 + 0,02 \cdot 0,67^x;$$

$$\text{для кривої 6 } y = 1,01 + 0,02 \cdot 0,56^x.$$

Для того, щоб визначити залежність коефіцієнту розбухання від температури були побудовані графіки (рис. 7, 8), де швидкість зсуву не змінна в залежності від співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру.

На рис. 7 спостерігається значне зниження коефіцієнту розбухання в температурному діапазоні 150 – 190 °C від 1,28 – 1,18 (крива 1) та 1,26 – 1,37 (крива 2).

Для полімерної композиції (рис. 8) також зберігається тенденція до зниження коефіцієнту розбухання як і для полімерної матриці, але він більш залежить від співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру. За температур 150 – 190 °C (крива 1) коефіцієнт розбухання зменшується від 1,051 до 1,041, на кривій 2 – від 1,033 до 1,025.

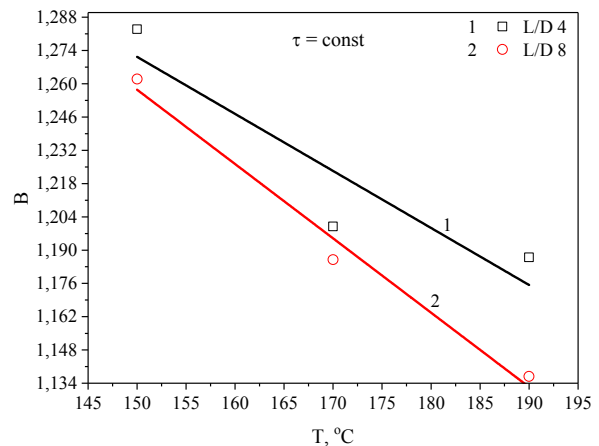


Рис. 7 – Залежність коефіцієнту розбухання полімерної матриці від температури за швидкості зсуву 10 с⁻¹ та різного співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру

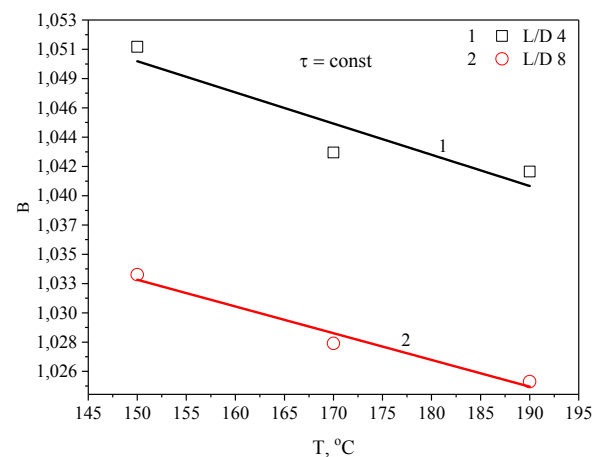


Рис. 8 – Залежність коефіцієнту розбухання полімерної композиції від температури за швидкості зсуву 1,5 с⁻¹ та різного співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру

Були побудовані залежності коефіцієнту розбухання полімерної матриці від співвідношення довжини формуючого інструменту за різного навантаження (рис. 9, 10).

Для кривої 1 (рис. 9) спостерігається зниження коефіцієнту розбухання від 1,2 до 1,14.

Для кривої 2 коефіцієнт розбухання становить сталу величину після L/D=16/2 за навантаження 49,03 Н, при цьому коефіцієнт розбухання зменшується від 1,23 до 1,18.

Для вищих навантажень 98,07 Н, 122,82 та 211,82 Н (криві 3, 4, 5) спостерігається зменшення діапазону значень коефіцієнту розбухання від 1,28 до 1,21 для всіх значень співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру.

На кривій 3 коефіцієнт розбухання становить сталу величину після L/D 9, на кривій 4 – L/D 11, на кривій 5 – L/D 11,5.

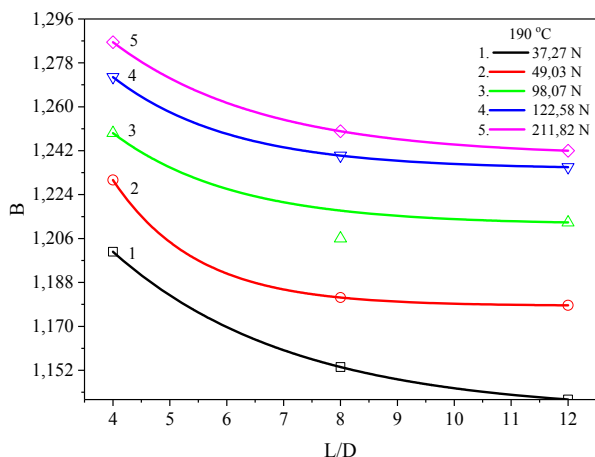


Рис. 9 – Залежність коефіцієнту розбухання полімерної матриці від співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру за різного навантаження

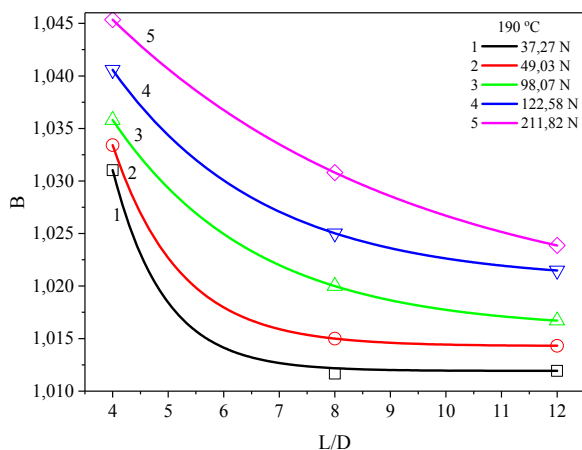


Рис. 10 – Залежність коефіцієнту розбухання полімерної композиції від співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру за різного навантаження

Криві на рис. 9 описуються рівняннями регресії:

$$\text{для кривої 1 } y = 1,14 + 0,23 \cdot 0,72^x;$$

$$\text{для кривої 2 } y = 1,18 + 0,78 \cdot 0,50^x;$$

$$\text{для кривої 3 } y = 1,21 + 0,25 \cdot 0,63^x;$$

$$\text{для кривої 4 } y = 1,23 + 0,26 \cdot 0,62^x;$$

$$\text{для кривої 5 } y = 1,24 + 0,21 \cdot 0,68^x.$$

Для полімерної композиції (рис. 10) також спостерігається зниження коефіцієнту розбухання від співвідношення довжини формуючого інструменту, але більш у вузькому діапазоні ніж з полімерна матриця. Так для кривої 1, 2 зменшення коефіцієнту розбухання спостерігається від 1,03 до 1,01. Водночас вихід на плато як для кривої 1 так і для 2 спостерігається після $L/D=16/2$. За вищих навантажень (криві 3, 4, 5) зменшення коефіцієнту розбухання спостерігається від 1,045 до 1,01.

Криві на рис. 10 описуються рівняннями регресії:

$$\text{для кривої 1 } y = 1,01 + 1,43 \cdot 0,34^x;$$

$$\text{для кривої 2 } y = 1,01 + 0,52 \cdot 0,44^x;$$

$$\text{для кривої 3 } y = 1,02 + 0,10 \cdot 0,68^x;$$

$$\text{для кривої 4 } y = 1,02 + 0,09 \cdot 0,69^x;$$

$$\text{для кривої 5 } y = 1,02 + 0,06 \cdot 0,83^x.$$

Висновки

Таким чином, на в'язкопружні властивості полімерної композиції, що не містить галогенів, суттєво впливають: температурні параметри переробки, швидкість зсуву, густина розплаву, співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру.

Отримані рівняння регресії на основі статистичної обробки експериментальних даних методом дисперсного аналізу (ANOVA), що описують залежності: густина розплаву від температури; коефіцієнту розбухання від швидкості зсуву; коефіцієнту розбухання від температури; коефіцієнту розбухання від співвідношення довжини формуючого інструменту до діаметру.

Результати досліджень дають можливість обґрунтовано підходити до визначення технологічних параметрів виготовлення ізоляції, оболонки силових кабелів та оптичних кабелів мікромодульної конструкції. Це також дозволить швидко вносити коригування в геометричні параметри формуючого інструменту кабельних головок.

Список літератури

- Mehrjerdi A. K., Adl-Zarrabi B., Cho S.-W. Mechanical and thermophysical properties of high-density polyethylene modified with talc // *Journal of Applied Polymer Science*. 2013. Iss. 129 (4). P. 2128–2138. doi:10.1002/app.38945.
- Yu F., Liu T., Zhao X. Effects of talc on the mechanical and thermal properties of polylactide. *Journal of Applied Polymer Science*. 2012. Iss. 125 (S2). P. 99–109. doi:10.1002/app.36260.
- Scholten P. B. V., Ozen M. B., Soyler Z. Rheological and mechanical properties of cellulose/LDPE composites using sustainable and fully renewable compatibilisers. *Journal of Applied Polymer Science*. 2020. 48744. P. 1–9. doi:10.1002/app.48744.
- Тирелли Д. Антипирени для композитов. *The Chemical Journal*. 2013. № 1–2. P. 42–45.
- Chulieva, O. Effect of flame retardant fillers on the rheological properties of composite materials of ethylene-vinyl acetate copolymer. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 4/1(88). P. 32–37. doi:10.15587/1729-4061.2017.108187.
- Spoerk M., Holzer C., Gonzalez-Gutierrez J. Material extrusion-based additive manufacturing of polypropylene: a review on how to improve dimensional inaccuracy and warpage. *Journal of Applied Polymer Science*. 2020. Iss. 137 (12). 48545. P. 1–16. doi:10.1002/app.48545.

7. Liang J. Z. Effects of extrusion conditions on die-swell behavior of polypropylene/diatomite composite melts. *Polymer Testing*. 2008. Vol. 27 (8). P. 936–940. doi:10.1016/j.polymertesting.2008.08.001.
8. Cyriac F., Covas J., Hilliou L. Predicting extrusion instabilities of commercial polyethylene from non-linear rheology measurements. *Rheologica Acta*. 2014. Vol. 53. Iss. 10–11. P. 817–829. doi:10.1007/s00397-014-0798-7.
9. Liang J.-Z. The elastic behavior during capillary extrusion of LDPE/LLDPE blend melts. *Polymer Testing*. 2002. Iss. 21 (1). P. 69–74. doi:10.1016/s0142-9418(01)00050-2.
10. Liang J.-Z., Yang J., Tang C.-Y. Die-swell behavior of PP/Al(OH)₃/Mg(OH)₂ flame retardant composite melts. *Polymer Testing*. 2010. Iss. 29 (5). P. 624–628. doi:10.1016/j.polymertesting.2010.03.014.
11. Kazatchkov I. B., Hatzikiriakos S. G., Bohnet N. Influence of molecular structure on the rheological and processing behavior of polyethylene resins. *Polymer Engineering & Science*. 1999. Iss. 39 (4). P. 804–815. doi:10.1002/pen.11468.
12. Liang J.-Z. Melt die-swell behavior of polyoxymethylene blended with ethylene-vinyl acetate copolymer and high-density polyethylene. *Polymer Testing*. 2018. Iss. 68. P. 213–218. doi:10.1016/j.polymertesting.2018.04.011.
13. Ansari M., Inn Y. W., Sukhadia A. M. Wall slip of HDPEs: molecular weight and molecular weight distribution effects. *Journal of Rheology*. 2013. Iss. 57 (3). P. 927–948. doi:10.1122/1.4801758.
14. Liang J.-Z., He L. Melt flow properties and melt density of POM/EVA/HDPE nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 2011. Iss. 50 (13). P. 1338–1343. doi:10.1080/03602559.2011.584235.
15. Liang J.-Z., Tang C.-Y., Zhou L. Melt density and flow property of PDLLA/nano-CaCO₃ bio-composites. *Composites Part B Engineering*. 2011. Iss. 42 (7). P. 1897–1900. doi:10.1016/j.compositesb.2011.06.011.
16. *Applied Polymer Science*, 2020, 48744, pp. 1–9, doi:10.1002/app.48744.
17. Tirelli Diyeogo Antipireny dlya kompozitov [Flame retardants for composites] *The Chemical Journal*, 2013, no. 1-2, pp. 42–45.
18. Chulieieva O. Effect of flame retardant fillers on the rheological properties of composite materials of ethylene-vinyl acetate copolymer. *Eastern-European journal of enterprise technologies*, 2017, Vol. 4/1(88), pp. 32–37, doi:10.15587/1729-4061.2017.108187.
19. Spoerk M., Holzer C., Gonzalez-Gutierrez J. Material extrusion-based additive manufacturing of polypropylene: a review on how to improve dimensional inaccuracy and warpage. *Journal of Applied Polymer Science*, 2020, Iss. 137 (12), 48545, pp. 1–16, doi:10.1002/app.48545.
20. Liang J. Z. Effects of extrusion conditions on die-swell behavior of polypropylene/diatomite composite melts. *Polymer Testing*, 2008, Vol. 27 (8), pp. 936–940, doi:10.1016/j.polymertesting.2008.08.001.
21. Cyriac F., Covas J., Hilliou L. Predicting extrusion instabilities of commercial polyethylene from non-linear rheology measurements. *Rheologica Acta*, 2014, Vol. 53 Iss. 10–11, pp. 817–829, doi:10.1007/s00397-014-0798-7.
22. Liang J.-Z. The elastic behaviour during capillary extrusion of LDPE/LLDPE blend melts. *Polymer Testing*, 2002, Iss.21 (1), pp. 69–74, doi:10.1016/s0142-9418(01)00050-2.
23. Liang J.-Z., Yang J., Tang C.-Y. Die-swell behavior of PP/Al(OH)₃/Mg(OH)₂ flame retardant composite melts. *Polymer Testing*, 2010, Iss. 29 (5), pp. 624–628, doi:10.1016/j.polymertesting.2010.03.014.
24. Kazatchkov I. B., Hatzikiriakos S. G., Bohnet N. Influence of molecular structure on the rheological and processing behavior of polyethylene resins. *Polymer Engineering & Science*, 1999, Iss. 39 (4), pp. 804–815, doi:10.1002/pen.11468.
25. Liang J.-Z. Melt die-swell behavior of polyoxymethylene blended with ethylene-vinyl acetate copolymer and high-density polyethylene. *Polymer Testing*, 2018, Iss. 68, pp. 213–218, doi:10.1016/j.polymertesting.2018.04.011.
26. Ansari M., Inn Y. W., Sukhadia A. M. Wall slip of HDPEs: molecular weight and molecular weight distribution effects. *Journal of Rheology*, 2013, Iss. 57 (3), pp. 927–948, doi:10.1122/1.4801758.
27. Liang J.-Z., He L. Melt flow properties and melt density of POM/EVA/HDPE nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2011, Iss. 50 (13), pp. 1338–1343, doi:10.1080/03602559.2011.584235.
28. Liang J.-Z., Tang C.-Y., Zhou L. Melt density and flow property of PDLLA/nano-CaCO₃ bio-composites. *Composites Part B Engineering*, 2011, Iss. 42 (7), pp. 1897–1900, doi:10.1016/j.compositesb.2011.06.011.

References (transliterated)

1. Mehrjerdi A. K., Adl-Zarrabi B., Cho S.-W. Mechanical and thermophysical properties of high-density polyethylene modified with talc. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, Iss. 129 (4), pp. 2128–2138, doi:10.1002/app.38945.
2. Yu F., Liu T., Zhao X. Effects of talc on the mechanical and thermal properties of polylactide. *Journal of Applied Polymer Science*, 2012, Iss. 125 (S2), pp. 99–109, doi:10.1002/app.36260.
3. Scholten P. B. V., Ozen M. B., Soyler Z. Rheological and mechanical properties of cellulose/LDPE composites using sustainable and fully renewable compatibilisers. *Journal of Applied Polymer Science*, 2012, Iss. 125 (S2), pp. 99–109, doi:10.1002/app.36260.
4. Mehrjerdi A. K., Adl-Zarrabi B., Cho S.-W. Mechanical and thermophysical properties of high-density polyethylene modified with talc. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, Iss. 129 (4), pp. 2128–2138, doi:10.1002/app.38945.
5. Yu F., Liu T., Zhao X. Effects of talc on the mechanical and thermal properties of polylactide. *Journal of Applied Polymer Science*, 2012, Iss. 125 (S2), pp. 99–109, doi:10.1002/app.36260.
6. Scholten P. B. V., Ozen M. B., Soyler Z. Rheological and mechanical properties of cellulose/LDPE composites using sustainable and fully renewable compatibilisers. *Journal of Applied Polymer Science*, 2012, Iss. 125 (S2), pp. 99–109, doi:10.1002/app.36260.
7. Liang J.-Z., He L. Melt flow properties and melt density of POM/EVA/HDPE nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2011, Iss. 50 (13), pp. 1338–1343, doi:10.1080/03602559.2011.584235.
8. Liang J.-Z., Tang C.-Y., Zhou L. Melt density and flow property of PDLLA/nano-CaCO₃ bio-composites. *Composites Part B Engineering*, 2011, Iss. 42 (7), pp. 1897–1900, doi:10.1016/j.compositesb.2011.06.011.
9. Ansari M., Inn Y. W., Sukhadia A. M. Wall slip of HDPEs: molecular weight and molecular weight distribution effects. *Journal of Rheology*, 2013, Iss. 57 (3), pp. 927–948, doi:10.1122/1.4801758.
10. Liang J.-Z., He L. Melt flow properties and melt density of POM/EVA/HDPE nanocomposites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 2011, Iss. 50 (13), pp. 1338–1343, doi:10.1080/03602559.2011.584235.
11. Liang J.-Z., Tang C.-Y., Zhou L. Melt density and flow property of PDLLA/nano-CaCO₃ bio-composites. *Composites Part B Engineering*, 2011, Iss. 42 (7), pp. 1897–1900, doi:10.1016/j.compositesb.2011.06.011.

Відомості про авторів (About the Authors)

Чулєєва Олена Володимирівна – доктор технічних наук, директор науково-технічного центру, приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7310-0788>; e-mail: echuleeva@ukr.net.

Chulieieva Olena – Doctor of Technical Sciences, Director of the Science and Technology Center, PJSC “Yuzhcable Works”, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7310-0788>; e-mail: echuleeva@ukr.net.

Золотарьов Володимир Михайлович – доктор технічних наук, Генеральний директор, приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3886-4993>; e-mail: zavod@yuzhcable.com.ua.

Zolotaryov Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director General, PJSC “Yuzhcable Works”, Kharkiv, Ukraine; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3886-4993>; e-mail: zavod@yuzhcable.com.ua.

Чулєєв Володимир Леонідович – кандидат технічних наук, завідувач групи з теплофізичних методів аналізу науково-технічного центру, приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків, Україна.

Chulieiev Volodymyr – PhD, Head of the Group on Thermophysical Methods Analysis Science and Technology Center, PJSC “Yuzhcable Works”, Kharkiv, Ukraine.

Кулєшова Тетяна Анатольєвна – провідний інженер науково-технічного центру, приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків, Україна.

Kuleshova Tetiana – Lead Engineer of the Science and Technology Center, PJSC “Yuzhcable Works”, Kharkiv, Ukraine.

Суслін Микола Сергійович – інженер науково-технічного центру, приватне акціонерне товариство «ЗАВОД ПІВДЕНКАБЕЛЬ», м. Харків, Україна.

Suslin Mykola – Engineer of the Science and Technology Center, PJSC “Yuzhcable Works”, Kharkiv, Ukraine.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Чулєєва О. В., Золотарьов В. М., Чулєєв В. Л., Кулєшова Т. А., Суслін М. С. В'язкопружні властивості полімерної композиції, що не містить галогенів, для кабельної продукції. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 4 (10). С. 67-74. doi:10.20998/2413-4295.2021.04.09.

Please cite this article as:

Chulieieva O., Zolotaryov V., Chulieiev V., Kuleshova T., Suslin M. The viscoelastic properties of a halogen-free polymer composition, for cable products. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 4(10), pp. 67-74, doi:10.20998/2413-4295.2021.04.09.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Чулєєва О. В., Золотаєв В. М., Чулєєв В. Л., Кулєшова Т. А., Суслін Н. С. Вязкоупругие свойства полимерной композиции, которая не содержит галогенов, для кабельной продукции. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 4 (10). С. 67-74. doi:10.20998/2413-4295.2021.04.09.

АННОТАЦІЯ *Исследованы вязкоупругие свойства полимерной композиции, не содержащей галогенов, для кабельной продукции. Определено влияние температурных параметров, скорости сдвига на коэффициент разбухания полимерной композиции, исследована зависимость плотности расплава от температуры. Полимерная матрица представляет собой смесь полиолефинов (линейный полиэтилен низкой плотности; полиолефиновый эластомер и модифицированный малеиновым ангидридом линейный полиэтилен низкой плотности), как наполнитель антипирен для полимерной композиции – тригидрат оксида алюминия. Содержание наполнителя-антипирена в полимерной композиции составляет 60 %. Полимерную композицию производили на линии компаундирования компании X-Cotround, Швейцария. Исследование плотности расплава и коэффициента разбухания полимерной композиции проводили на капиллярном вискозиметре типа ИИРТ-АМ. Для определения плотности расплава использовали соотношение длины капилляра к диаметру (L/D) 4. Результаты исследования зависимости плотности расплава полимерной матрицы от температуры 150–190°C при разной нагрузке показали, что этот параметр снижается от 789 до 744 кг/м³, а для полимерной композиции от 1309 до 1268 кг/м³. Коэффициент разбухания при повышении скорости сдвига при температуре 150–190°C для полимерной матрицы увеличивается от 1,102 до 1,520, а для полимерной композиции уменьшается от 1,056 до 1,018. Исследования зависимости коэффициента разбухания полимерной матрицы и полимерной композиции от соотношения длины формующего инструмента к диаметру показывают, что коэффициент разбухания для полимерной матрицы снижается от 1,296 до 1,152, а для полимерной композиции от 1,045 до 1,01. Установлено, что на вязкоупругие свойства полимерной композиции, не содержащей галогенов, существенно влияют: температурные параметры переработки, скорость сдвига, плотность расплава, соотношение длины формующего инструмента к диаметру. Результаты исследований позволяют обоснованно подходить к определению технологических параметров изготовления изоляции, оболочек силовых кабелей и оптических кабелей микромодульной конструкции. Это также позволит быстро вносить корректировку в геометрические параметры формурующего инструмента кабельных головок.*

Ключевые слова: коэффициент разбухания; скорость сдвига; температура; плотность расплава; капиллярный вискозиметр

Надійшла(received) 29.12.2021