

УДК 678.027.3

А.Д.ПЕСТУХОВ, д-р техн. наук,
В.В.ЛУКАШОВА, О.Г.ЗУБРІЙ, кандидати техн. наук
Національний технічний університет України «КПІ», м.Київ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕКСТРУДОВАНИХ ПІНОПОЛІМЕРІВ

Наведено результати експериментальних досліджень реологічних властивостей сировини для виготовлення піненого поліетилену. Проаналізовано зміну густини залежно від відносної масової долі спіноувального агента та ступінь розширення піненого виробу для ряду промислових спіноувальних агентів.

Приведены результаты экспериментальных исследований реологических свойств сырья для изготовления вспененного полиэтилена. Проанализировано изменение плотности в зависимости от относительной массовой концентрации вспенивающего агента и степень расширения вспененного изделия для ряда промышленных вспенивающих агентов

In work the results of experimental researches of rheologys properties of material for making of the foam polyethylene are presented. A change a closeness depending on the relative mass concentration of foam agent and degree of expansion of the foam wares for industrial making foam agents is analysed.

Ключові слова: спінений полімер, екструзійний метод, спіноувальний агент, якість, в'язкість пінополімеру, реологічні властивості.

У будівництві та міському господарстві дедалі ширше застосовують пластмаси та композиційні матеріали на їх основі. Одним із сегментів ринку полімерів, який стрімко розвивається, є виробництво спіnenих полімерів, які використовуються у якості теплоізоляційного матеріалу, оздоблювальних виробів та елементів декору. Коефіцієнт теплопровідності спіnenих полімерів на порядок нижчий, ніж у чистих полімерів, завдяки чому цей матеріал широко використовується для теплоізоляції. Зокрема, застосування спіnenих полімерів у будівництві та реконструкції житлових будинків забезпечує заощадження теплоти до 50%, зменшує негативний тепловий вплив на навколишнє середовище.

Теплоізоляційні спінені полімери, одержані екструзійним методом фізичного спінування, мають кращі показники, на відміну від спіnenих полімерів аналогічного призначення, одержаних хімічним методом. Наприклад, коефіцієнт теплопровідності «блочного» пінополістиролу становить 0,04 Вт/(мК), а коефіцієнт водопоглинення за об'ємом протягом 24 годин – 0,5-2%, тоді як для екструдованого пінополістиролу ці показники дорівнюють 0,028-0,03 Вт/(мК) і 0,1-0,2% відповідно.

При виготовленні піноматеріалів екструзійним методом фізичного спінування спінувальний агент вводиться в циліндр екструдера. Типовими фізичними спінувальними агентами є низькокиплячі рідини (фторвуглеводні, ізобутан, пентан тощо). Після подальшого змішування у каналі черв'яка, за допомогою відповідної формуючої головки маса формується у виріб (профіль заданого перетину).

Якість екструдованого пінополімеру значною мірою залежить від якості змішування полімеру із спінувальним агентом. Витрати енергії на перемішування та дисипативні тепловиділення будуть тим менші, чим менша в'язкість матеріалу, проте для одержання міцних стабільних пін необхідна висока в'язкість матеріалу. З метою забезпечення відповідної якості піновиробу здійснюють направлену модифікацію в'язкості розплаву. Так, наприклад, для одержання легкого пінополіетилену до складу композиції додають лінійний поліетилен, тощо. Проте, надійної залежності, для визначення реологічних властивостей немає.

В роботі [1] в'язкість пінополімеру рекомендовано обчислювати за формулою Гута-Марка

$$\eta = \eta_n (1 - \varphi_n), \quad (1)$$

в основу якої також покладено формулу Ейнштейна для частинок сферичної форми.

У роботі [2] для спінених полімерів запропоновано залежність

$$\eta = \eta_n \frac{3(1 - \varphi_n)^2}{3 - \varphi_n}. \quad (2)$$

Аналізувати зміну ефективної в'язкості композиції за цими формулами можна, представивши ці рівняння у вигляді $\eta = \eta_n \cdot k$, де $k = 1 - \varphi_n$ для формули (1) і $k = 3(1 - \varphi_n)^2 / (3 - \varphi_n)$ для формули (2). Залежності (1), (2) передбачають зменшення в'язкості композиції порівняно з в'язкістю розплаву основного полімеру залежно від об'ємної частки наповнювача. Розрахована розбіжність у значеннях в'язкості за залежностями (1), (2) досягає 50%. Отже, можливість застосування цих формул потребує експериментальної перевірки.

З метою визначення характеру зміни в'язкості було проведено реологічні дослідження на спеціальному віскозиметрі на базі одночерв'ячного екструдера для чистого поліетилену низької густини та композиції з поліетилену та хладону R22 (20% мас.) у діапазоні температур переробки (90÷140 °С). Введення спінувального агенту у розплави полімеру приводить до зниження в'язкості (рис.1).

Слід відзначити більш суттєвий вплив температури на в'язкість для композиції "полімер-спінювач", ніж для чистого полімеру. Так, відстань між прямими 3 та 4, одержаними при $T=140\text{ }^{\circ}\text{C}$, більша, ніж відстань між прямими 1 та 2, одержаними при $T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це можна пояснити зміною об'ємної частки хладону через вплив температури: з підвищенням температури від 90 до $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ густина полімеру зменшується незначно (близько 2%), тоді як густина хладону зменшується на 17,6%.

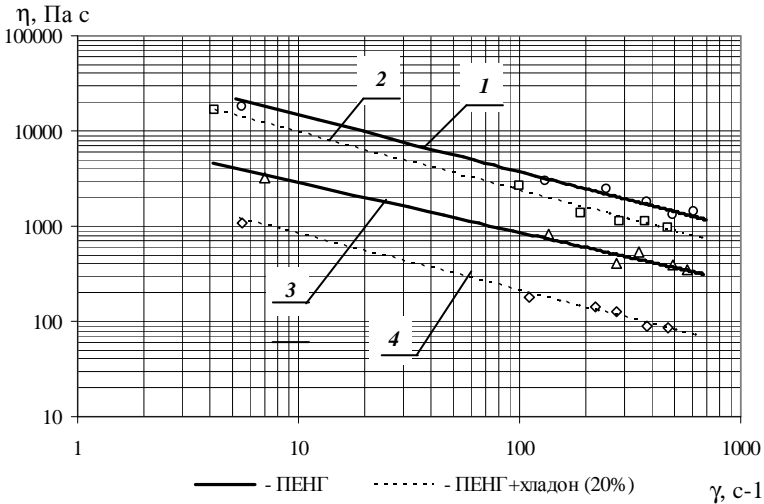


Рис.1 – Залежність ефективної в'язкості від швидкості зсуву:
 1 – ПЕНГ ($T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$); 2 – ПЕНГ з хладоном R22 ($T=90\text{ }^{\circ}\text{C}$);
 3 – ПЕНГ ($T=140\text{ }^{\circ}\text{C}$); 4 – ПЕНГ з хладоном R22 ($T=140\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Основним показником якості готової продукції, який визначає властивості матеріалу, є густина.

На рис.2 наведено результати теоретичного обчислення густини спіненого матеріалу від відносної масової долі спінювального агенту. Густина розрахована з урахуванням тиску спінювального агенту p_f у комірках спіненого виробу під час спінювання. Аналізуючи за графіком зміну густини при спінюванні хладоном R22 (крива 2), видно, що при відносній масовій долі спінювального агенту понад $0,35\text{ кг}_{\text{сп}}/\text{кг}_{\text{п}}$ зміна густини є незначною, але подача значної кількості агенту пов'язана з ускладненнями технологічного забезпечення і з можливим руйнуванням замкненокоміркового типу структури. Таке ж явище спостерігається для решти спінювальних агентів. Отже, з точки зору доці-

льності та економічності процесу, можна говорити про існування граничних значень відносної масової частки спінювальних агентів у полімері.

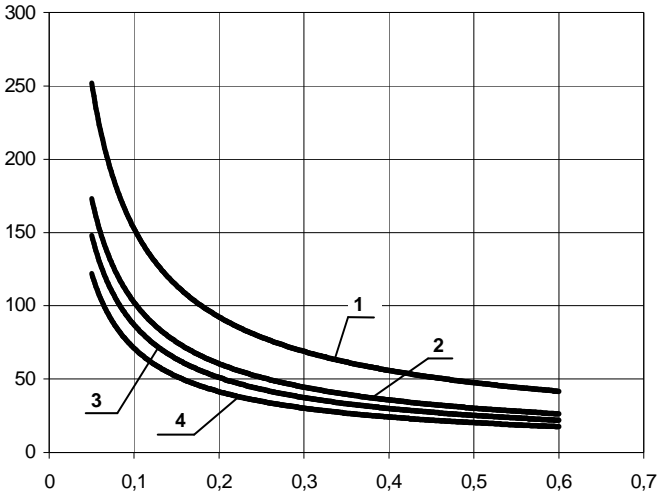


Рис.2 – Зміна густини залежно від відносної масової частки спінювального агента:
1 – хладон R11; 2 – хладон R22; 3 – пентан; 4 – бутан.

При проектуванні технологічного обладнання необхідно знати величину коефіцієнта лінійного розширення матеріалу. За цією величиною визначають форму каналу і розміри вихідної щілини формуючого пристрою. Можна оцінити коефіцієнт лінійного розширення з урахуванням тиску p_f у замкненій комірці спіненого виробу наступним чином:

$$\beta_l = \left(\frac{22,4\rho}{M} \cdot \frac{p}{p_f} \left[1 + \frac{t}{237} \right] \right)^{1/3},$$

де ρ – густина спінювального агента в рідкому стані кг/м^3 ; M – молекулярна маса спінювального агента; t – температура, при якій відбувається випаровування рідини, $^{\circ}\text{C}$; p – атмосферний тиск, МПа; p_f – тиск спінювального агента у замкненій комірці при формуванні.

На рис.3 наведено результати розрахунку залежності коефіцієнту лінійного розширення від температури оточуючого середовища.

Вказані промислові спінювальні агенти мають високу спінювальну здатність, та передбачають збільшення виробу в 4-5 разів. Найкра-

щим з обчислених є хладон R22, проте його використання обмежене через шкідливий вплив фторхлорвуглеводнів на навколишнє середовище. Застосування бутанових і пентанових агентів є небажаним у виробництві будівельних матеріалів через високу пожежонебезпечність як виробництва, так і виробів. Галогенизовані фторхлорвуглеводні є аналогами хладонів R11 та R22 і мають низький коефіцієнт руйнування озонового шару, але не виробляються у промислових об'ємах і є значно дорожчими. Наразі ведеться пошук альтернативного конкурентоспроможного спінювального агенту як закордонними, так і вітчизняними вченими і промисловцями.

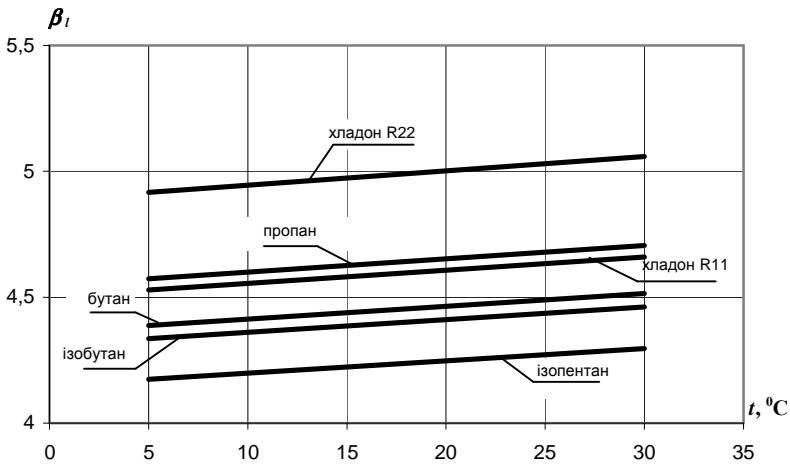


Рис.3 – Значення коефіцієнта лінійного розширення від температури оточуючого середовища.

1.Принципы создания композиционных полимерных материалов / А.А.Берлин, С.А.Вольфсон, В.Г.Ошмян, Н.С.Ениколопов. – М.: Химия, 1990. – 240 с.

2.Механика композитов: В 12 т. Т.3: Статическая механика и эффективные свойства материалов / Л.П.Хорошун, Б.П.Маслов, Е.Н.Шукула, Л.В.Назаренко; Под ред. А.Н.Гузя. – К.: Наук. думка, 1993. – 389 с.

Отримано 12.11.2009