

Наявність центрів ініціації приводить до зниження потенційного бар'єра  $W_T$  на величину  $W$ :

$$W^{-1} \int_0^W f(W) B \exp\left\{-\frac{W_T - W}{k \cdot T}\right\} dW = \exp\left\{K \frac{88,5 - W_T}{k \cdot T}\right\}. \quad (5)$$

Після диференціювання за формулою Лейбни-ця отримаємо:

$$(k \cdot T)^{-1} \int_0^W f(W) B \exp\left\{-\frac{W_T - W}{k \cdot T}\right\} dW + f(W_T) = (B \cdot V) \exp\left\{88,5 - \frac{W_T}{k \cdot T}\right\} \cdot \left[1 - \frac{KW_T}{k \cdot T}\right]. \quad (6)$$

### Обговорення результатів

Після перетворень рівняння для обчислення функції розподілу ініціюючих центрів набуде наступного вигляду [4]:

$$f(W) = (B \cdot V)^{-1} [1 + (1 - K)G] \exp(88,5 - G). \quad (7)$$

Коефіцієнт  $K$  визначався при зіставленні розрахункових і експериментальних значень  $J = f(T_{II})$  і їхній обробці методом найменших квадратів. Таким чином отримали середнє значення  $K = 0,86$ .

### Висновки

Зниження значення функції розподілу  $f(W)$  ініціюючих центрів паротворення при підвищенні температури ЕТС свідчить про термічне руйнування структури емульсії, тобто про злиття масляних глобул.

Таким чином, наявність локальних зон (у граничних прошарках) зі зниженим поверхневим натягом і дисперсними частками з більш високою температурою кипіння впливає на процес скипання.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Долинский А.А., Басок Б.И., Накорчевский А.И. Адиабатически вскипающие потоки.- Киев, Наукова думка, 2001.- 208 с.
2. Скрипов В.П. Теплофизические свойства жидкостей // В сб. Перегретые жидкости и фазовые переходы.- Свердловск: УНЦ АН СССР.- 1979.
3. Павленко А.М. Стійкість емульсій при технологічних впливах.- Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2000.- 140 с.
4. Павленко А.М., Крюковская О.А. Вскипание перегретых эмульгированных жидкостей // Пром. теплотехника.- 2003.- Т. 25.- Прилож. к журн. № 4.- С. 334-336.

Получено 11.10.2004 г.

УДК 678.057.968

ЛУКАШОВА В.В., РАДЧЕНКО Л.Б., ЗУБРІЙ О.Г.

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"

## ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЇ РОЗПЛАВУ ПОЛІМЕРУ З ПОРОУТВОРЮЮЧИМИ НАПОВНЮВАЧАМИ

На цей час усе більш широке застосування знаходять вироби з спінених термопластів. Чисельний розрахунок процесу переробки ускладнений через відсутність достовірних даних про теплофізичні і реологічні властивості розплаву полімеру наповненого пороутворюючим наповнювачем. Дана робота присвячена визначенню реологічних залежностей суміші розплаву полімеру зі спінюючим агентом для режимів переробки.

В настоящее время все более широкое применение находят изделия из вспененных термопластов. Численный расчет процесса переработки осложнен из-за отсутствия достоверных данных о теплофизических и реологических свойствах расплава полимера, наполненного порообразующим наполнителем. Данная работа посвящена определению реологических зависимостей смеси расплава полимера со вспенивающим агентом для режимов переработки.

The article from frothed polymers are widely used in many orbs of habitability. The numerical account of extrusion for physical foaming is complicated, because of lack of valid data's on thermal and flow characteristics of the melt of polymer filled by the blowing components. The screw characteristics depend on the extruder geometry, the operating conditions, and material properties of non-Newtonian fluids. This paper suggests the experimental study to determining the rheological behavior of polymer blends for conditions of extrusion. A single-screw extruder was used in this study for definition of rheological dependences for process of physical foaming.

$\kappa$  – коефіцієнт консистентності;  
 $n$  – показник неньютонівської поведінки;  
 $T, T_0$  – обчислювальна та довідникова температури, відповідно, °С;  
 $\beta$  – коефіцієнт температурної чутливості,  
 $\chi$  – приведений коефіцієнт;

$\gamma$  – ефективний градієнт швидкості,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $\phi$  – об'ємна концентрація спінюючого агента;  
 $\mu_p, \mu_c$  – динамічна в'язкість розплаву полімера і спінюючого агента при заданих, Па·с;  
 $\tau$  – напруження зсуву, Па.

### **Вступ**

На сьогоднішній день більша частина спіненних полімерних виробів виготовляється методом безперервної екструзії.

Розглянемо процес одностадійного спінювання, при якому збільшення об'єму розплаву, що містить пороутворювач, відбувається безпосередньо на виході з формуючого пристрою екструдера. При виготовленні піноматеріалів методом фізичного спінювання в одну стадію безпосередньо в циліндр преса в розплав полімера, що знаходиться у в'язко-текучому стані, вводиться спінюючий агент. Типовими фізичними спінювачами є рідини, що скипають при низьких температурах (фторвуглеводні, ізобутан, пентан тощо), які при домінуючих у екструдері температурі і тиску цілком розчиняються в розплаві полімеру. Для того, щоб виконати усі вимоги прямого спінювання в одночерв'ячному екструдері спінюючий агент у рідкому стані вводиться у розплав полімеру. Після подальшого змішування у каналі черв'яка за допомогою відповідної формуючої головки маса формується у виріб (лист, трубу, профіль заданого перетину).

### **Проблеми інженерних розрахунків**

Застосування обладнання згаданого вище типу обмежене через проблему проектування геометрії черв'яка, для якого зоні плавлення протистоїть зона потужного охолодження суміші “розплав полімеру-рідкий спінюючий агент”. Цей факт дуже ускладнює узгодження між необхідними параметрами для ефективного проведення процесів. Введення спінюючого агента потребує збільшення зони перемішування і відповідно довжини екструдера. Це необхідно для гомогенізації розплаву і вирівнювання температури після вприску рідкого спінюючого агента з метою отримання рівномірної структури виробу. Тому черв'яки цих установок повинні мати спеціальну конструкцію, що

може виконати всі задачі, пов'язані з спінюванням полімеру. Відносно велика довжина черв'яка ( $40 D \dots 50 D$ , де  $D$  – діаметр черв'яка) обумовлена наступними технологічними операціями:

- подачею і розплавленням твердої сировини;
- створенням зони стиснення;
- змішуванням розплаву з спінюючим агентом;
- охолодженням суміші “розплав + спінюючий агент” до умов придатних для подальшого спінювання.

Особливу складність впровадження такого процесу являє визначення необхідних параметрів переробки (тиску, температури, концентрації спінюючого агента) таких, щоб процес спінювання не відбувався безпосередньо в каналі черв'яка екструдера, а починався на виході із формуючого пристрою. Теорія екструзії розроблена переважно для випадку переробки синтетичних полімерів, які в усьому об'ємі мають відносно рівномірну молекулярну масу і характеризуються високим рівнем дисипації механічної енергії, завдяки чому в багатьох випадках регулюється температурний режим переробки. При цьому збільшення числа обертів черв'яка призводить до збільшення як продуктивності, так і інтенсивності дисипації, а тому у відносно широких межах питомі енергетичні витрати змінюються мало. Отже, при переробці полімерів екструдери можуть працювати при різних числах обертів і продуктивностях, зберігаючи практично ту саму якість переробки. На відміну від традиційних екструдерів за умов насичення розплаву полімеру спінюючим агентом поряд з енергією дисипації внаслідок в'язкісного тертя виникає можливість фазового переходу спінюючого агента. При цьому важливого значення набуває температурний режим, який у ряді випадків лімітує продуктивність екструдера. Ще однією суттєвою рисою такого екструдера є необхідність створення зони зниження тиску в розплаві полімеру перед подачею спінюючого агента.

Отже, для розрахунку такого типу екструдерів необхідно враховувати витрати енергії на подолання сил тертя в процесах транспортування твердого матеріалу в зону нагрівання, на його перехід із твердого стану у в'язкотекучий, на гомогенізацію і транспортування суміші розплаву з рідиною, яка закипає при низьких температурах (спінюючий агент). Технологічний режим переробки має забезпечувати сукупність максимальної продуктивності устаткування з оптимальною якістю готових виробів. Параметри процесу переробки спінених термопластів значною мірою визначаються властивостями компонентів і концентрацією спінюючого агента. Однак достовірних даних про властивості таких композицій недостатньо, найчастіше вони носять роз'єднаний характер, а відомості про властивості суміші розплавленого полімеру з спінюючим агентом при режимах переробки взагалі відсутні.

### Мета досліджень

Одним з найважливіших питань для розрахунків екструзійного обладнання такого типу є визначення реологічних та теплофізичних властивостей суміші розплаву термопласту з спінюючим агентом. Слід зауважити, що для чисельних розрахунків необхідно мати достовірні дослідні данні щодо типу матеріалу і спінюючого агента, та їх залежності від концентрацій. Метою досліджень було встановлення дослідним шляхом реологічних властивостей суміші розплаву полімеру із спінюючим агентом за умов переробки, для можливості подальшого використання таких даних у розрахунках обладнання виготовлення спінених термопластів. Розмаїття сучасних виробів із спінених полімерів щоденно збільшується, відпрацьовуються нові рецептури, композиції, з'являються нові типи спінюючих агентів і домішок, що покращують якість готового продукту. Це викликає необхідність побічної оцінки властивостей розплаву композиції через дослідження властивостей готового виробу.

### Обладнання для проведення дослідів

Проведення реологічних досліджень у традиційному капілярному віскозиметрі неможливе. Використання ротарійного віскозиметра також обмежено наявністю у розплаві низькокиплячого

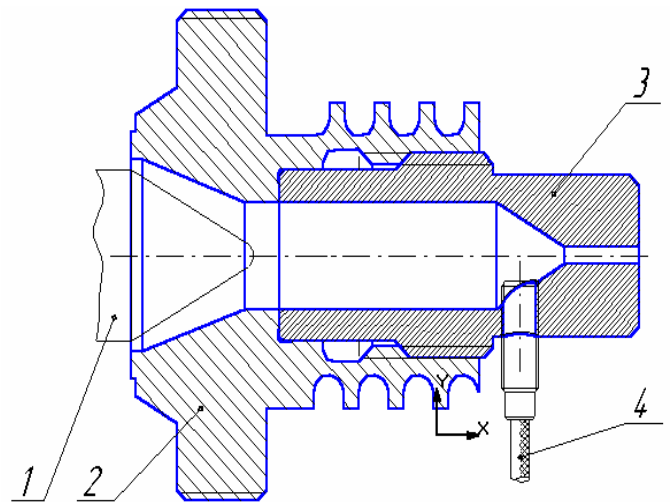
спінюючого агента. Для проведення досліджень реології вказаних композицій було запропоновано пристрій на базі промислового одночерв'ячного екструдера. Впровадження такого пристрою в промислових умовах дозволяє значно знизити похибку дослідів. Схематичне зображення установки представлено на рис. 1.

На виході екструдера кріпиться корпус матриці 2 з змінними насадками 3 (рис. 1). Вихідний діаметр насадки має діаметр 4 мм. Різна довжина вихідного отвору у насадках дозволяє виключити вплив вхідного ефекту. На корпусі матриці передбачено гвинтову нарізку під мідний змійовик для регулювання температури розплаву водяним охолодженням. Пристрій такого типу дозволяє визначити реологію композиції для певної рецептури, концентрації спінюючого агента при певних режимах переробки.

### Обробка результатів

Типові залежності напруги зсуву  $\tau$  від ефективного градієнта швидкості  $\dot{\gamma}$  у логарифмічних координатах наведено на рис. 2.

Наведені залежності отримано для чистого розплаву ПЕВТ марки 10802-020 та для суміші



**Рис. 1.** Схема пристрою для визначення реологічних властивостей розплаву композиції полімеру наповненого пороутворюючими наповнювачами. 1 - черв'як екструдера; 2 - корпус матриці; 3 - змінний насадковий елемент; 4 - датчик тиску з вторинним приладом; для вимірювання температури і тиску TDA463-14-3.5C-15/46.

розплаву поліетилену і спінюючого агенту (Хладон R11). Масова концентрація хладону становить 10%.

Для чисельних розрахунків залежність напруги зсуву  $\tau$  від ефективного градієнта швидкості  $\gamma$  для неньютонівської рідини зручно представити наступним чином:

$$\tau = k\gamma^n e^{-\chi(T-T_0)}, \quad (1)$$

де  $\chi = \beta / (T_0 + 273)$ .

Залежність для суміші розплаву з фреоном 11 (10 %) має наступний вигляд:

$$\tau = 3478,8 \cdot \gamma^{0,3928} \cdot e^{[-0,04189 \cdot (T-140)]} \quad (2)$$

Результати обробки даних зведено в таблицю.

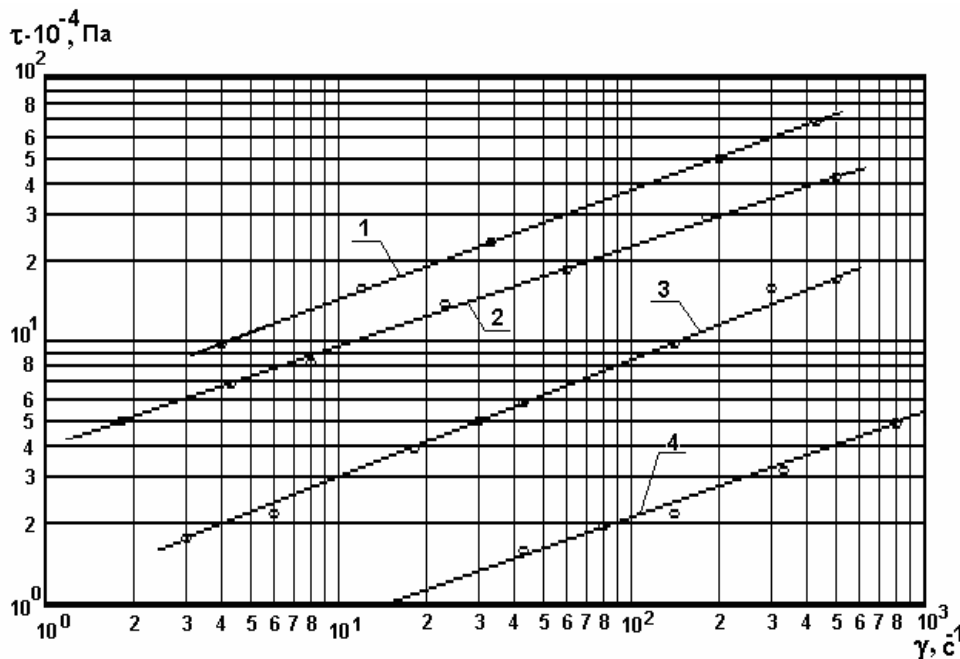


Рис. 2. Залежність напруги зсуву  $\tau$  від ефективного градієнта швидкості  $\gamma$ :

- 1 - для розплаву поліетилену високого тиску (ПЕВТ) марки 10802-020 при температурі  $T = 90$  °С;
- 2- для композиції ПЕВТ+Хладон R11 (10 %),  $T = 90$  °С; 3 - для розплаву ПЕВТ,  $T=140$  °С;
- 4 - для композиції ПЕВТ + Хладон R11 (10 %),  $T = 140$  °С.

Таблиця. Значення напруги зсуву  $\tau$ , Па від температури для суміші розплаву поліетилену високого тиску марки 10802-020 з хладоном R11 (10 об. %), при температурах переробки

Ефективний градієнт швидкості $\gamma$ , $s^{-1}$	90 °С	100 °С	110 °С	120 °С	130 °С	140 °С
14	79685	52412	34474	22675	14914	9810
20	91670	60296	39659	26085	17157	11285
30	107499	70707	46507	30589	20120	13234
40	120361	79166	52071	34249	22527	14817
60	141143	92836	61062	40163	26417	17376
80	158030	103943	68368	44969	29578	19454
100	172508	113466	74632	49089	32288	21237
200	226498	148978	97989	64452	42393	27883
300	265607	174702	114909	75581	49713	32698
400	297386	195604	128658	84624	55661	36610
500	324631	213525	140445	92377	60760	39964

Оскільки концентрація спінюючого агента не може перевищувати 40 % (обумовлено якістю виробу), то для визначення впливу концентрації спінюючого агента запропоновано рівняння Ейнштейна:

$$\mu = \mu_n \left[ 1 + 2,5\varphi \left( \frac{\mu_c + 0,4\mu_n}{\mu_n + \mu_c} \right) \right]$$

### Висновки

1. У результаті проведених дослідів встановлено реологічні залежності для деяких композицій в'язкотекучого розплаву термопластів, які містять рідини, які закипають при низьких температурах у якості пороутворювачів. Отримані залежності

придатні для інженерних розрахунків екструзійного устаткування та формуючих пристроїв обладнання для виготовлення спінених полімерів.

2. Досліди, що були проведені на готових виробках показали, що напруга зсуву на 7...15 % нижча, ніж у чистого полімеру. Одержано аналітичні залежності напруги зсуву від швидкості зсуву при різних температурах. Отримані дані можна екстраполювати для наближеного обчислення при інженерних розрахунках екструдерів для виготовлення спінених композицій. Дані придатні для проектного розрахунку обладнання повторної переробки спінених виробів.

Одержано 29.10.2004 г.

УДК 534.24\621.472\621.412\662.99\666.1.031.2

МАЛЕЦКАЯ О.Е.

Ин-т технической теплофизики НАН Украины

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ НАЧАЛА ВСКИПАНИЯ НАТРИЯ В ТЕПЛОВОЙ ТРУБЕ

Розглянуто умови підвищення надійності та розширення можливостей використання відомої конструкції сонячної високотемпературної енергоустановки на основі двигуна Стірлінга та натрієвого випарника для рішення задач енергозбереження та організації стаціонарного енергопостачання за рахунок теплоти спалювання природного газу. Вперше отримано численні експериментальні дані по перегрівам при скипанні натрію в випарнику високотемпературної теплової труби. Приведено співставлення отриманих нових результатів по початку скипання натрію з відомими даними по кипінню у великому об'ємі.

Рассмотрены условия повышения надежности и расширения возможностей использования известной конструкции солнечной высокотемпературной энергоустановки на основе двигателя Стирлинга и натриевого испарителя для решения задач энергосбережения и организации стационарного энергоснабжения за счет теплоты сгорания природного газа. Впервые получены обширные экспериментальные данные по перегревам при вскипании натрия в испарителе высокотемпературной тепловой трубы. Приведено сопоставление полученных новых результатов по началу вскипания натрия с известными данными по кипению в большом объеме.

The conditions of reliability increase and expansion of opportunities of a known design use of the solar high-temperature energy installation are considered on the basis of the Stirling engine and sodium evaporator for the solving the problems of energy saving and organization the stationary power supply at the expense of the natural gas combustion heat. Extensive experimental data on superheating are received for the first time at sodium incipient boiling in an evaporator of a high-temperature heat pipe. The comparison of the received new results on the sodium incipient boiling with the known data on boiling in large volume is given.