

КОВАЛЕНКО К. Г., аспірант; СІВЕЦЬКИЙ В. І., к.т.н., проф.; СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

ОСОБЛИВОСТІ ТЕЧІЇ В'ЯЗКОПРУЖНОЇ РІДИНИ В ДИСКОВОМУ ЗАЗОРІ ЕКСТРУДЕРА

Досліджено течію в'язкоеластичної рідини у вісесиметричному каналі дискового екструдера. Розраховано технологічні параметри екструзії в'язкопружних рідин із високим числом Вайсенберга.

Ключові слова: в'язкоеластична рідина, ефект Вайсенберга, екструдер, дисковий зазор

© Коваленко К. Г., Сівецький В. І., Сокольський О. Л., 2013.

Постановка задачі та аналіз попередніх досліджень. В умовах експлуатації структурні характеристики симетричних полімерів часто можуть змінюватися. Як приклад можна навести їх взаємодію з вологою атмосфери та ультрафіолетовим випромінюванням.

Пластифікація, спричинена поглинанням води, є досить розповсюдженим явищем, але цей ефект все ж залежить від хімічної природи та морфології полімеру. Природа взаємодії полімеру з водою може бути різною. Обговорюючи питання стану сорбованої води в різних полімерних системах, слід урахувувати цю специфічну взаємодію [1].

Дослідження особливостей течії вязкопружної рідини в дисковому зазорі здійснено з використанням програмного комплексу ANSYS Academic Teaching POLYFLOW [3]. Він пропонує широкий спектр моделей для в'язких в'язкоеластичних і в'язкопружних рідин. Проблемою моделювання є добір функції нелінійної в'язкості, яка достовірно апроксимує віскозиметричні дані.

Для в'язкопружної течії, загальний тензор екстра-напружень T розкладається на в'язкопружну і чисто в'язку компоненти: $T = T_1 + T_2$, де T_1 обчислюють для кожного типу в'язкопружної моделі, а $T_2 = 2\eta_2 D$, де D – швидкість зміни тензора деформації, η_2 – коефіцієнт в'язкості для узагальненої ньютонівської (тобто, чисто в'язкої) компоненти тензора екстра-напруження. При цьому $\eta_1 = (1 - \eta_r)\eta$, $\eta_2 = \eta_r\eta$.

Чисто в'язка компонента T_2 (якщо вона присутня), зазвичай, інтерпретується як складова в напруженні полімерних розчинів, або як реакція напружень, пов'язана з дуже швидким режимом релаксації. Коли використовують багаторежимну в'язкопружну модель, чисто в'язку компоненту тензора екстра-напружень визначають тільки через перший порядок; відповідна в'язкість буде визначатися з добутку $\eta_1\eta_r$.

Для чисельного дослідження особливостей течії вязкопружної рідини в дисковому зазорі вибрано модель Фан-Тьен-Таннера (ФТТ). Вона є однією із найбільш реалістичних диференціальних в'язкопружних моделей [3]. У ній представлені псевдопластичні властивості матеріалу і неквадратичні рівняння нормального напруження на різних високих швидкостях зсуву.

Модель ФТТ дозволяє обчислювати в'язкопружну компоненту T_1 за залежністю:

$$\exp\left[\frac{\varepsilon\lambda}{\eta_1}(T_1)\right]T_1 + \lambda\left[\left(1 - \frac{\xi}{2}\right)T_1^{\nabla} + \frac{\xi}{2}T_1^{\Delta}\right] = 2\eta_1 D,$$

де λ – тривалість релаксації, визначається як час, необхідний для скорочення напруження зсуву приблизно до третини його початкового значення, коли швидкість деформації дорівнює нулю; ξ і ε – матеріальні константи, що контролюють зсувну в'язкість і поведінку подовження (ненульове значення ε призводить до обмеження стійкості об'ємної в'язкості); $T_1^{\nabla} = \frac{DT_1}{Dt} - T_1\nabla v - \nabla v^T T_1$ – верхня конвективна похідна за часом в'язкопружного

екстра-напруження; $T_1^{\Delta} = \frac{DT_1}{Dt} + T_1\nabla v^T + \nabla v T_1$ – нижня конвективна похідна по часу в'язкопружного екстра-напруження; v – швидкість потоку полімеру. Властивості досліджуваної рідини: $\eta_1 + \eta_2 = 1$; $\eta_2/(\eta_1 + \eta_2) = 1/9$; $\lambda = 5$; $\xi = 0,2$; $\varepsilon = 0,015$.

Для вибраної розрахункової схеми (рис. 1) враховують такі межові умови: задано поверхні притоку і відтоку; об'ємна витрата рідини $Q = 3000$ мм³/с; швидкість обертання диска $\omega = 2\pi$ рад/с; обмежувальні стінки є абсолютно жорсткими; в'язкопружна рідина налипає до обертового і нерухомого дисків; задача – ізотермічна; розрахункова схема – вісесиметрична.

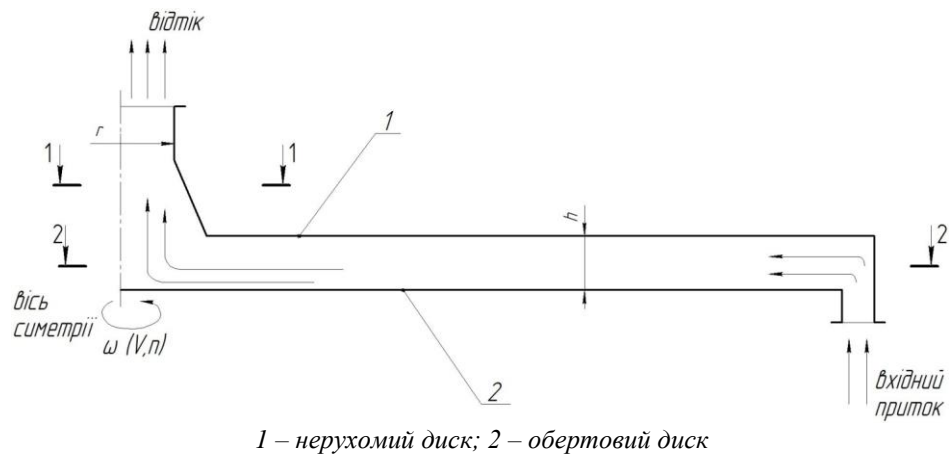


Рис. 1 – Розрахункова схема дискового зазора екструдера

Метою досліджень є розрахунок розподілу швидкостей і тиску в дисковому зазорі й каналі модельного дискового екструдера (рис. 2).

Виклад основного матеріалу. Поставлену задачу вирішують ітераційним шляхом з покроковим збільшенням (еволюцією) тривалості релаксації λ від 0 до заданого значення із досягненням збіжності розв'язку при кожному попередньому значенні.

Тривалість релаксації зростає лінійно з функцією еволюції $S: \lambda = 5$, коли $S = 1$ [4].

При обертальному русі рідини полімерні молекули орієнтуються вздовж напрямку течії, але вони прагнуть повернутися до вихідної статичної конфігурації, що призводить до виникнення кругових напружень, що зрушують шар рідини у напрямку до центру дискового зазору (ефект Вайсенберга). Результати моделювання демонструють наявність цього ефекту, внаслідок чого спостерігаються відмінні один від одного розподіли швидкості витікання полімеру за різної тривалості релаксації (рис. 3). Зі зростанням тривалості релаксації, що визначає пружні властивості полімеру, потік все більше стягується до осі.

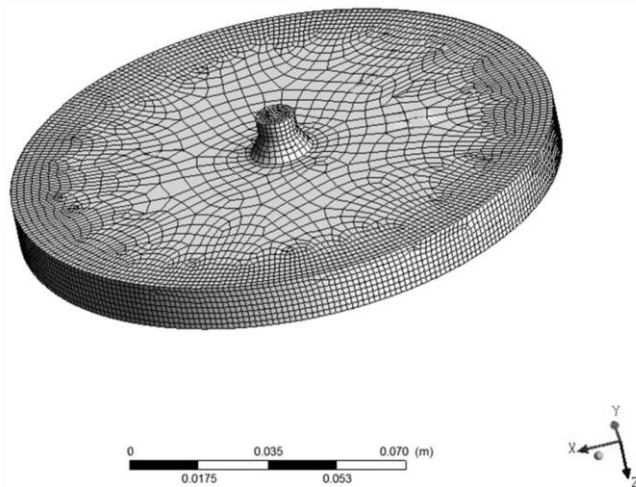


Рис. 2 – Скінченноелементна 3D-модель каналу дискового зазора з центральним формувальним отвором

За нульової тривалості релаксації, що відповідає чисто в'язкій моделі, тиск у дисковому зазорі є більшим, ніж коли $\lambda > 0$ (рис. 4). Це пояснюється тим, що для продавлювання матеріалу через дисковий зазор і центральний канал слід створити надлишок тиску на вході. Зі збільшенням тривалості релаксації зростає в'язкопружність полімеру, і сили, спричинені ефектом Вайсенберга, зумовлюють його нагнітання до центру диска. Завдяки цим силам, у полімері виникає градієнт тиску, спрямований протилежно градієнту тиску гідравлічного опору ділянки. Тому тиски в дисковому зазорі для в'язкопружного полімеру є меншими, ніж у разі чисто в'язкої течії полімеру (див. рис. 4). За певних умов сили, спричинені ефектом Вайсенберга, перевищать тиск від гідравлічного опору, і градієнт тиску виявиться спрямованим в інший бік. Тоді його величина виявиться достатньою для подолання гідравлічного опору формувального отвору, навіть без створення надлишкового тиску на вході. Тиску на перерізі дискового зазора може бути навіть від'ємним, тобто полімер "засмоктується" в дисковий зазор лише за рахунок розвитку нормальних напружень.

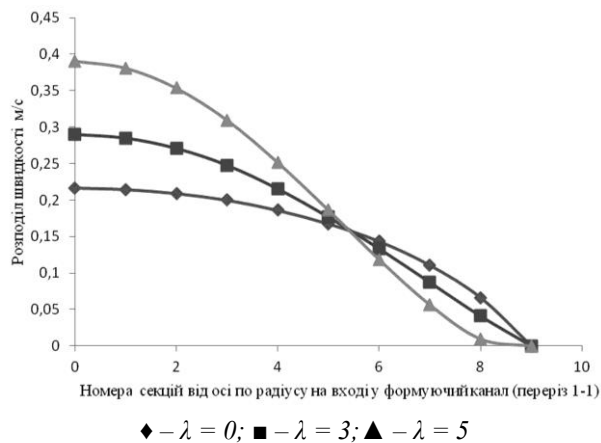


Рис. 3 – Розподіл швидкості витікання полімеру з центрального отвору

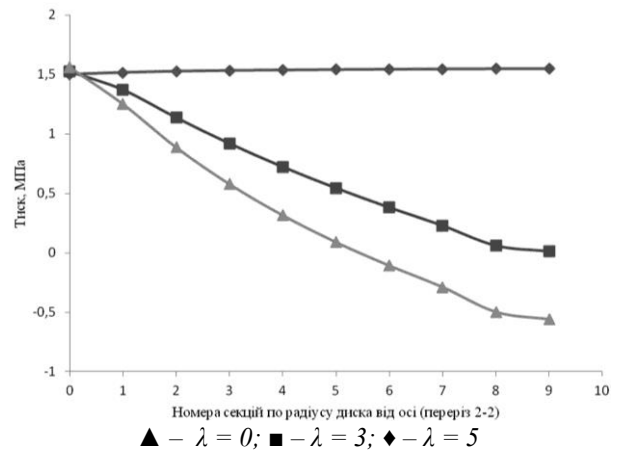


Рис. 4 – Тиск у дисковому зазорі

Висновки. Числові експерименти дозволяють якісно і кількісно оцінити ефект Вайсенберга, що виникає при в'язкопружній течії розплавів полімеру. Це дозволяє врахувати деформацію конфігурації екструдованих профілів, отримувати погонажні профільні вироби з більшою розмірною точністю.

Список використаної літератури

1. Торнер Р. В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р. В. Торнер. – М. : Химия, 1977. – 462 с.
2. Хан Ч. Д. Реология в процессах переработки полимеров / пер. с англ. ; под ред. Г. В. Виноградова и М. Л. Фридмана – М. : Химия, 1979. – 368 с.
3. ANSYS POLYFLOW 12.1 User's Guide / ANSYS, Inc., 2009. – 859 p.
4. Микаэли В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты / пер. с англ. ; под ред. В. П. Володина – СПб. : Профессия, 2007. – 470 с.

Надійшла до редакції 01.02.3013.