

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕЧІЇ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ З УРАХУВАННЯМ ПРИСТІННИХ ЕФЕКТІВ

ІВЦЬКИЙ І.І., аспірант; СОКОЛЬСЬКИЙ О.Л., доц., к.т.н.; МІКУЛЬОНОК І.О., проф., д.т.н.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ

Проведено аналітичне порівняння математичних моделей течії полімерних матеріалів, що враховують наявність на поверхні розподілу матеріал-стінка переробного обладнання ефектів, що впливають на розподіл параметрів по об'єму матеріалу.

Вироби з полімерних матеріалів натеper використовуються майже у всіх сферах людського життя та галузях виробництва. З початку 1950-х років спостерігається стійка тенденція стабільного зростання світового ринку пластмас: з 1 млн.т. у 1950 р. до 170 млн.т. у 2000 р. Тому завдання математичного моделювання процесу перероблення полімерних матеріалів стає актуальнішим з року в рік.

Традиційно прийнято вважати, що відносна швидкість потоку розплаву полімерного матеріалу на стінці переробного обладнання відсутня, що нерідко призводить до протиріччя між результатами моделювання та практикою та впливає як на якість виробів, так і на труднощі налагодження обладнання. Для приведення у відповідність теорії та практики застосовують математичні моделі течії полімерних матеріалів з урахуванням пристінних ефектів.

У праці [1] розглядається тертя між течією та стінкою, що створює дотичний вектор напруження, який може бути достатнім, щоб зумовити прослизання рідини, яке, у свою чергу, призводить до появи ненульової швидкості вздовж стінки. Дотичний вектор напружень залежить від градієнта швидкості рідини біля стінки таким чином, що дотична швидкість і дотичний вектор напруження спрямовані в протилежні напрямки (рис. 1).

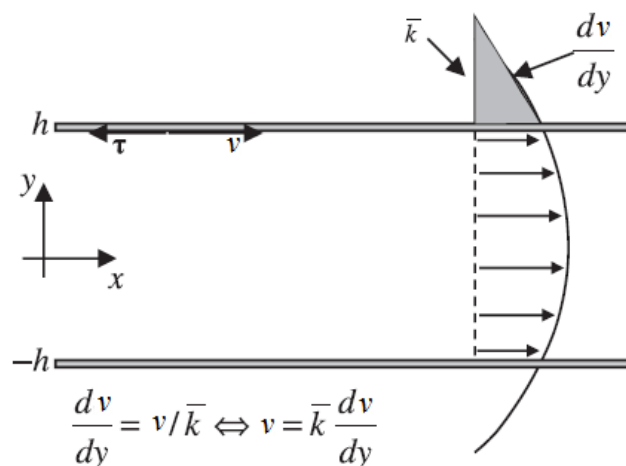


Рис. 1. Профіль швидкості потоку при умові ковзання на стінці

Лінійну залежність між швидкістю ковзання на стінці і напруженням зсуву на стінці називають лінійним законом ковзання Нав'є [2], або просто законом ковзання Нав'є. Він широко використовується для представлення експериментальних даних для течій Куетта і Пуазейля:

$$v_w = \text{sign} \left(\frac{dv}{dy} \right) k \tau_{xy}.$$

Для усунення невідповідності між теорією та експериментальними даними були розроблені різноманітні моделі ковзання, основані на залежності коефіцієнта тертя від швидкості або напруження зсуву на стінці та моделі, отримані з молекулярно-кінетичної теорії.

Нелінійний закон ковзання Нав'є [3] припускає, що коефіцієнт тертя залежить від напруження зсуву, що описується нелінійною степеневою функцією:

$$v_w = \text{sign}\left(\frac{dv}{dy}\right) k |\tau_{xy}|^{m-1} \tau_{xy}.$$

Модель забезпечує прийнятне наближення до практики, але не описує швидкість ковзання в діапазонах критичного напруження зсуву, за якого починається ковзання [4]. Для усунення цієї невідповідності, Хатзікіріакос (Hatzikiriakos) запропонував альтернативний закон ковзання на основі теорії в'язкої рідини Ейрінга, щоб забезпечити плавний перехід від відсутності ковзання до ковзання в потоці за критичних напружень зсуву:

$$v_w = \begin{cases} k_1 \sinh \left[k_2 \left(\text{sign}\left(\frac{dv}{dy}\right) \tau_{xy} \right) - \tau_c \right] & , \text{ при } \tau_{xy} \geq \tau_c \\ 0 & , \text{ при } \tau_{xy} < \tau_c \end{cases}.$$

Асимптотичний закон ковзання [5]:

$$\tau = -\frac{1}{k_2} \left[1 - \exp\left(\frac{v}{k_1}\right) \right].$$

У праці [6] пропонується модель ковзання, отримана з кінетичної теорії для полімеру, та пружної моделі, що описує швидкість на стінці каналу як:

$$v_s = \frac{1}{\zeta_0 n} \left[\frac{(1 + \rho \tau_{xx})(1 + \rho \tau_{yy}) - \rho^2 \tau_{yx}^2}{(1 + \rho \tau_{yy})} \right] \tau_{yx}.$$

Розглянуті моделі дають змогу досить точно описати пристінні ефекти при течії полімерного матеріалу по каналу, проте вони не враховують природу та характер виникнення пристінних ефектів у різних матеріалах, а застосовують загальний підхід.

Література

1. Ferrás L. L. Analytical solutions for Newtonian and inelastic non-Newtonian flows with wall slip / L. L. Ferrás, J. M. Nóbrega, F. T. Pinho // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. — 2012. — N 175. — P. 76—88.
2. Navier C. L. Memoire sur les lois du mouvement des fluids / C. L. Navier. // Mem. Acad. Roy. Sci. Inst. Fr.. — 1827. — N 6. — P. 389—440.
3. Schowalter W. R. The behavior of complex fluids at solid boundaries / W. R. Schowalter. // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics. — 1988. — N 29. — P. 25—36.
4. Hatzikiriakos S. G. A slip model for linear polymers based on adhesive failure / S. G. Hatzikiriakos. // International Polymer Processing. — 1993. — N 8. — P. 135—142.
5. ANSYS Polyflow User's Guide — Canonsburg: ANSYS, Inc., 2013. — 790 p.
6. Black W. B. Wall slip and boundary effects in polymer shear flows / W. B. Black. — Wisconsin: University of Wisconsin — Madison, 2000. — 125 p.