

УДК 678.057

СІВЕЦЬКИЙ В. І., к.т.н., проф.; СОКОЛЬСЬКИЙ О. Л., к.т.н., доц.;
ІВЦЬКИЙ І. І., аспірант; КУРИЛЕНКО В. М., магістрант
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТІННИХ ЕФЕКТІВ У ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛАХ

Досліджено пристінні ефекти для трьох типів полімерних матеріалів, а також вторинно перероблюваного матеріалу. Визначено вплив змащувального агента на пристінні ефекти та залежності швидкості полімерного матеріалу на стінці каналу від напруження зсуву.

Ключові слова: полімер, пристінні ефекти, ковзання стінкою, швидкість на стінці.

© Сівецький В. І., Сокольський О. Л., Івцький І. І., Куриленко В. М., 2015.

Постановка проблеми. Під час числового моделювання течії розплаву полімерного матеріалу однією з важливих межових умов є швидкість матеріалу на стінці каналу, що суттєво впливає на процес у цілому. Проте швидкість на стінці залежить від напруження зсуву, тому для адекватного моделювання слід визначити відповідні співвідношення.

Аналіз попередніх досліджень. Автори праці [1] під час визначення величини пристінних ефектів базувалися на припущенні, що проковзування виникає внаслідок виникнення на межі поділу розплав – тверда стінка низькомолекулярного шару та визначали його в'язкість для подальшого моделювання з його врахуванням. Автори праці [2] запропонували ітераційний метод визначення залежності швидкості на стінці від об'ємної витрати рідини на вході в канал, на базі цієї методики у праці [3] демонструється визначення пристінних ефектів для поліетилену високої густини.

В експериментальних дослідженнях потоку розплаву полімеру часто застосовують, як у дослідженні потоку газу чи малов'язкої рідини, спостереження за переміщенням міток, якими можуть бути підфарбовані шари, нитки або окремі частинки [4]. Кількісне визначення швидкостей зазвичай пов'язане з використанням прозорих корпусів каналів, що обмежує діапазон досліджуваних температур і тисків. Невирішеною частиною наукової проблеми є відсутність експериментальних даних, що можуть бути використані для завдання межових умов проковзування на стінці під час числового моделювання течії розплаву полімерних матеріалів.

Метою досліджень є визначення наявності, природи й величини пристінних ефектів у полімерних матеріалах для подальшого використання цих даних під час числового моделювання течії розплаву.

Виклад основного матеріалу. Реологічні властивості розплавів полімерів досліджували на експериментальній установці на базі капілярного віскозиметра типу ПРТ-3 у діапазоні швидкостей зсуву $10 \dots 100 \text{ с}^{-1}$. Температуру підтримували одноканальним ПД-регулятором температури МікРа 600. Для зворотного зв'язку використовували хромель-алюмелеву термопару. Час, протягом якого матеріал видавлювався крізь сопло, виміряли секундоміром «Інтеграл С-01». Використовували 8 капілярів різних конфігурацій (табл. 1).

Таблиця 1 – Конфігурація капілярів

Номер	Внутрішній діаметр, мм	Довжина, мм
1	$1 \pm 0,005$	$8 \pm 0,025$
2	$1,18 \pm 0,005$	$8 \pm 0,025$
3	$1,5 \pm 0,005$	$12 \pm 0,025$
4	$2 \pm 0,005$	$16 \pm 0,025$
5	$2,095 \pm 0,005$	$8 \pm 0,025$
6	$2,095 \pm 0,005$	$16 \pm 0,025$
7	$2,5 \pm 0,005$	$20 \pm 0,025$
8	$3 \pm 0,005$	$24 \pm 0,025$

Навантаження задавали комплектом вантажів масою 0,45; 0,96; 1,2; 1,64; 4,095; 4,995 і 4,995 кг, а також поршнем із тримачем масою 1,2 кг. Швидкості зсуву визначали за методикою [5]. Похибку непрямих вимірювань визначали за методикою [6].

Досліджували полістирол ПС-С-1-3; поліетилен високої густини 15802-020; севілен 11104-030. Для дослідження впливу змащувальних речовин, застосовували змащувальний агент Zell Chemia CWN-105 (масова частка 5 %).

Виявлено, що характер утворення пристінних ефектів у досліджених матеріалах є різним. Зокрема, пристінні ефекти в полістиролі ПС-С-1-3 і поліетилені високої густини 15802-020 виникають завдяки ковзанню розплаву твердою стінкою, тоді як у севілені 11104-030, вторинному полістиролі ПС-С-1-3 і всіх трьох полімерах матеріалах із додаванням змащувального агента – завдяки утворенню низькомолекулярного пристінного шару на межі зі стінкою.

На основі одержаних даних визначено залежності швидкості на стінці каналу від напруження зсуву (рис. 1, табл. 2 і 3). При цьому сумарна відносна похибка швидкості зсуву становила 0,495 %.

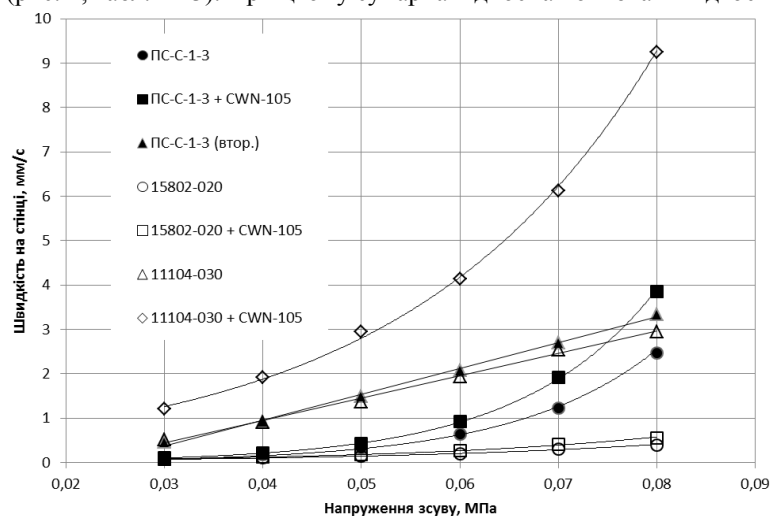


Рис. 1 – Залежності швидкості на стінці каналу від напруження зсуву

Для більшості матеріалів характер залежностей має експоненціальний характер. Із додаванням змащувального агента швидкості на стінці збільшуються, причому зі збільшенням напруження зсуву ці відмінності є суттєвішими.

Вторинний полістирол і севілен демонструють лінійний характер залежностей. Це свідчить про ньютонівський характер змащувального шару, утвореного на стінці.

Висновок. Доведено наявність пристінних ефектів у досліджуваних матеріалах. Продемонстровано, що їхній характер залежить від матеріалу. Одержано залежності швидкості на стінці від напруження зсуву, що можуть стати вихідними даними для числового моделювання.

Таблиця 2 – Коефіцієнти експоненційної залежності

Полімер	Марка	Змащувальний агент	Коефіцієнти рівняння $v_{\text{ковз}} = a \exp(bt)$	
			$a, 10^{-5}$	$b, 10^{-5}$
Полістирол	ПС-С-1-3	–	0,93	7,01
Полістирол	ПС-С-1-3	Zell Chemia CWN-105	1,14	7,29
ПЕВГ	15802-020	–	2,48	3,5
ПЕВГ	15802-020	Zell Chemia CWN-105	2,57	3,89
Севілен	11104-030	Zell Chemia CWN-105	38	3,99

Таблиця 3 – Коефіцієнти лінійної залежності

Полімер	Марка	Змащувальний агент	Коефіцієнти рівняння $v_{\text{ковз}} = at - b$	
			$a, 10^{-8}$	$b, 10^{-3}$
Полістирол	ПС-С-1-3 вторинний	–	5,05	1,07
Севілен	11104-030	–	5,83	1,37

Перспективи подальших досліджень. Доповнення класичних математичних моделей течії ньютонівської рідини врахуванням пристінних ефектів і перевірка їхнього впливу під час числового моделювання.

Список використаної літератури

1. Визначення в'язкості пристінного шару у формуючих каналах обладнання для переробки полімерів / О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, І. О. Мікульонок, І. І. Івіцький // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2014. – № 2. – С. 66–69.
2. Sokolskyi A. L. Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment / A. L. Sokolskyi, I. I. Ivitskyi // Modern Scientific Research and their Practical application. – 2014. – № 10. – P. 136–140.
3. Ivitskyi I. I. Polymer Wall Slip Modelling / I. I. Ivitskyi // Technology Audit and Production Reserves. – 2014. – № 3. – P. 8–11.
4. Жданов Ю. А. Исследование профиля скоростей при течении расплава полимера в цилиндрических каналах / Ю. А. Жданов, В. Ф. Дубовицкий. // Химическое машиностроение. – 1968. – № 8. – С. 42–47.

5. Пластмассы. Метод определения показателя текучести расплава термопластов : ГОСТ 11645-73. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 12 с.
6. Босый В. В. Инженерные методы расчета погрешностей при выполнении лабораторных работ по курсам «Тепломассообмен» и «Техническая термодинамика» / В. В. Босый, Г. Н. Васильченко, Е. Н. Панов. – К., 1985. – 72 с.

Надійшла до редакції 09.03.2015

Sivetskyi V. I., Sokolskyi O. L., Ivitskyi I. I., Kurilenko V. M.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF WALL EFFECTS IN POLYMER MATERIALS

Important boundary conditions in numerical simulation process flow of the polymer material is the velocity of the material on the wall of the channel, which greatly affects the options of the whole process. However, the velocity on the wall is dependent on the shear stress. So, it is necessary to determine the dependence on the wall of the shear stress to the simulated material for adequate numerical modeling of the process flow of the polymer material considering the effects of wall effect.

For the experiment it was used experimental equipment based on capillary viscometer type IIRT-3. The temperature is maintained via the single-channel PID temperature controller MicRA 600. For feedback it was used chromel-alumel thermocouple. The time for which the material was extruded through a nozzle measured by the stopwatch “Integral C-01”. Total relative error of indirect measurements shear rate was 0.495 %.

The researched of the effects of wall for three types of polymers (polystyrene PS-S-1-3, high-density polyethylene 15802–020, sevilen 11104–030), the recycled material (polystyrene PS-S-1-3) and also for the research of lubricants effect was used lubricating agent Zell Chemia CWN-105 when mass fraction lubricants 5 %. For each of the material it was study influence of lubricants on the value of near-wall effects. The research found depending on the speed of the polymer material from the channel wall shear stress.

The research which was study is show effects in the presence of wall materials and shows that depending on the nature of wall material different effects. The research results have provided depending of the velocity on wall shear stress, which can become boundary conditions for numerical simulations.

The task of further research is to supply classical mathematical models of flow of non-Newtonian fluids by taking into account the effects of wall and verification consideration the impact of wall effects in numerical modeling.

Keywords: polymer, wall effects, wall slip, velocity on the wall.

References

1. Sokolskyi, O.L., Sivetskyi, V.I., Mikulionok, I.O. and Ivitskyi, I.I. (2014), “Determination of the viscosity of the wall layer forming channels in polymer processing equipment”, *Naukovi visti NTUU KPI*, vol. 2, pp. 66–69.
2. Sokolskyi, O.L. and Ivitskyi, I.I. (2014), “Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment”, *Modern Scientific Research and their Practical application*. vol. 10. pp. 136–140.
3. Ivitskyi I. I. (2014), “Polymer Wall Slip Modelling”, *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 3, pp. 8–11.
4. Zhdanov, Y.A. and Dubovickyi, V.F. (1968), “Research of the velocity profile in the flow of the polymer melt in the cylindrical channels”, *Himicheskoe mashinostroenie*, vol. 8, pp. 42–47.
5. *Plastmassy. Metod opredeleniya pokazatelya tekuchesti rasplava termoplastov: GOST 11645-73* [Plastics. Method for determination of the melt flow index of thermoplastics: GOST 11645-73], Moscow, 1973.
6. Bosyi, V.V., Vasilchenko, G.N. and Panov, E.N (1985), *Inzhenernyye metody rascheta pogreshnostey pri vypolnenii laboratornykh rabot po kursam “Teploassoobmen” i “Tekhnicheskaya termodinamika”* [Engineering methods of calculation errors when per-forming laboratory work on the course “Heat and Mass Transfer” and “Engineering Thermodynamics”], Kiev, Ukraine.