

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 531.46-036.5-026.772

Витвицький В.М.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Бардашевський С.В.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Мікульонок І.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Сокольський О.Л.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРАНУЛЬОВАНИХ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Розглянуто наявні конструкції установок різних типів для дослідження триботехнічних властивостей гранульованих полімерних матеріалів. Описано дві вдосконалені конструкції установок, розроблені авторами. Удосконалені конструкції установок розширюють їх функціональні можливості. Описані результати досліджень на одній із установок. Дослідження проведено для декількох типів полімерних матеріалів.

Ключові слова: полімер, гранула, екструдер, тертя, температура, тиск.

Постановка проблеми. Дослідження процесу екструзії полімерних матеріалів є актуальним завданням, оскільки на виробі з полімерних матеріалів і композицій на їх основі є стабільний попит: значна частина полімерів піддається процесу екструзії принаймні один раз під час їх одержання в реакторі полімеризації до кінцевого виробу чи напівфабрикату. Точність проектування обладнання для перероблення полімерної сировини значною мірою залежить від точності врахування коефіцієнта зовнішнього тертя та коефіцієнта бокового тиску сипкого матеріалу [1–4]. Для визначення цих величин проводять натурні експерименти, під час яких використовують певні спрощені моделі руху матеріалу в черв'ячному каналі екструдера, однак у наявних дослідженнях коефіцієнт зовнішнього тертя зазвичай визначається для монолітних зразків, при цьому нехтується взаємодія між окремими частинками полімеру, а дослідження коефіцієнта бокового тиску проведені для обмеженого класу матеріалів, тому цих

відомостей недостатньо для отримання загальної картини їх поведінки під час перероблення.

Із вищезазначеного випливає необхідність проведення додаткових досліджень триботехнічних властивостей для різних типів гранульованих полімерних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час аналізу наявних публікацій була виявлена відсутність єдиної методики для експериментального визначення зазначених коефіцієнтів зовнішнього тертя й бокового тиску, а також неможливість проведення на більшості установок досліджень саме для гранульованих полімерних матеріалів.

Б. Струтинський, А. Радіоненко, Є. Іщенко [5] пропонують визначати коефіцієнт тертя на установці, схема роботи якої зображена на рис. 1. Установа дозволяє контролювати момент тертя, сумарний лінійний знос зразка та контрзразка й температуру в зоні тертя. У корпусі установки 1 полімерний вкладиш 2 установлюється між зразком 3 та металевою стрічкою 4, якою контролюють зусилля притискання.

Недоліком цієї конструкції є неможливість використовувати для досліджень гранульований полімерний матеріал.

У методі [6] пропонується визначати коефіцієнт тертя полімеру за допомогою експериментальної установки (рис. 2), у якій полімерний диск 6 обертається разом зі столом за допомогою паса та шківів 8 від двигуна 9 і притискається контактним зразком 5 із заданим зусиллям, яке створюється важелем 2. Силу тертя вимірюють цифровим індикатором тензодатчика 7.

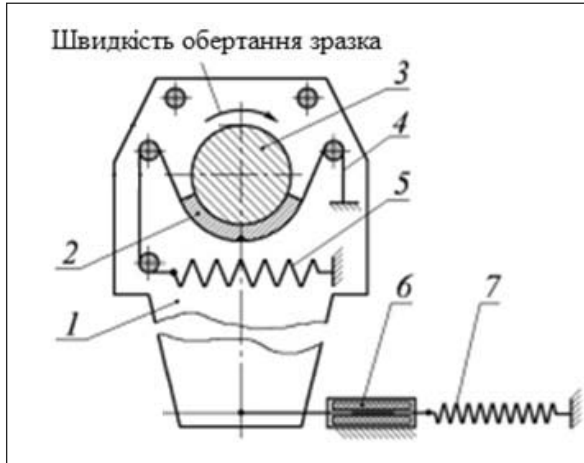


Рис. 1. Схема установки [5]: 1 – каретка трибометра; 2 – вкладиш; 3 – зразок; 4 – сталеві стрічки; 5 – пружини натягу стрічки; 6 – датчик кута повороту каретки; 7 – поворотні пружини каретки трибометра

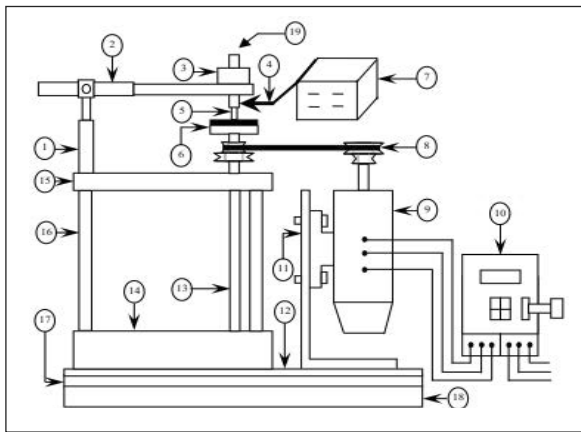


Рис. 2. Схема експериментальної установки [6]: 1 – тримач важеля; 2 – важіль; 3 – нормальне навантаження; 4 – горизонтальне навантаження (сила тертя); 5 – контактний зразок; 6 – тестовий зразок; 7 – індикатор тензодатчика; 8 – пас і шків; 9 – двигун; 10 – блок керування швидкістю; 11 – станина двигуна; 12 – гумова підкладка; 13 – головний вал; 14 – сталеві опорна плита; 15 – сталеві пластину; 16 – квадратний стрижень; 17 – основна опорна плита; 18 – гумовий блок; 19 – тримач

Коефіцієнт тертя визначається як відношення сили тертя ковзання до нормальної складової час-

тини сили, що притискає тіла одне до одного. Така конструкція дає можливість вимірювати коефіцієнт тертя залежно від часу, протягом якого відбувається тертя, а також залежно від нормальної складової частини сили, що притискає тіла одне до одного, проте не дає можливості знайти залежність коефіцієнта тертя від температури й не придатна для дослідження гранульованого полімерного матеріалу.

Автори [7] пропонують визначати коефіцієнт тертя за допомогою установки (рис. 3), установлюючи зразок 1 з одного матеріалу, виготовлений у вигляді паралелепіпеда, між зразками 2, виготовленими з іншого матеріалу, через пружний елемент 3, що оснащений тензOMETричним мостом.

Зразки 2 здійснюють одновісне стискування силою N до значення N_0 за допомогою гвинта 4, що жорстко закріплений в опорі 5 відносно зразка 2. Через пружний елемент 6 із тензOMETричним мостом діють на зразок 1 навантаженням F , яке перпендикулярне силі N і пропорційне деформації δ елемента 6. Реєструючий пристрій 7 приймає сигнали від тензOMETричних мостів елементів 3 і 6. При цьому результат реєстрації величин $F(t)$, $N(t)$ і $\delta(t)$, що змінюються в часі, відображається на моніторі комп'ютера в реальному часі у вигляді графіків.

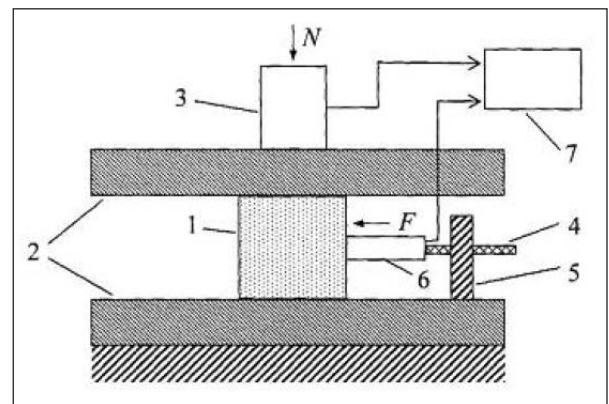


Рис. 3. Схема визначення динамічного коефіцієнта тертя [7]: 1 – зразок з одного матеріалу; 2 – зразки з іншого матеріалу; 3 – пружний елемент із тензOMETричним мостом; 4 – гвинт; 5 – опора; 6 – пружний елемент; 7 – реєструючий пристрій

Зсувне навантаження $F(t)$ змінюють обертанням гвинта 4 до значення $F_c(t_c)$, при якому зразок 1 зсувається відносно зразків 2. Після цього коефіцієнт тертя встановлюють за такою залежністю:

$$k = \frac{F_i(t_i)}{2N_i(t_i)} \quad (1)$$

Недоліком методу є неможливість визначення залежності коефіцієнта тертя від температури, а також відсутність можливості використовувати зразки у вигляді гранул.

У методі [8] пропонується вимірювати коефіцієнт тертя за допомогою установки (рис. 4), принцип роботи якої полягає в такому. У тримач зразка 6 установлюється полімерний зразок 8, до якого за допомогою приводу навантаження 9 притискається контрзразок 4 зі сталі, який установлений на тримачі контрзразка 3. Тертя між зразками створюється крутним моментом, що забезпечується приводом ротора 1. Під час роботи установки за допомогою датчика температури 7, датчика навантаження 5 і датчика крутного моменту 2 знімаються параметри, необхідні для визначення коефіцієнту тертя, та обробляються на комп'ютері (PC).

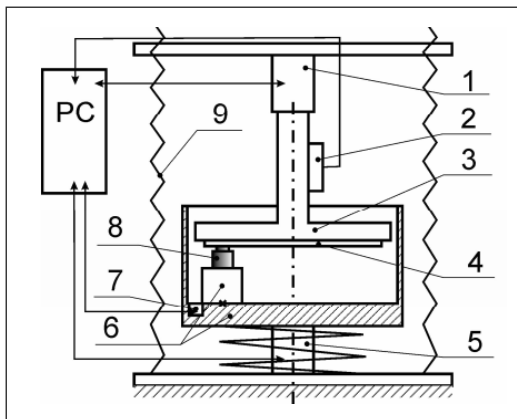


Рис. 4. Схема установки [8]: 1 – привод ротора; 2 – датчик крутного моменту; 3 – тримач контрзразка; 4 – контрзразок (диск); 5 – датчик навантаження; 6 – тримач зразка; 7 – датчик температури; 8 – зразок; 9 – привод навантаження

Недоліком такого методу є те, що він не дає змоги регулювати температуру під час проведення дослідів, а також не дає змоги використовувати гранульований матеріал.

Постановка завдання. Завданням роботи є проведення експериментальних досліджень триботехнічних властивостей для різних типів гранульованих полімерних матеріалів, а також розроблення конструкцій установок для проведення таких досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для виконання поставлених цілей нами було розроблено й захищено патентами України декілька конструкцій установок, що дозволяють проводити дослідження триботехнічних властивостей для гранульованих полімерних матеріалів.

Перший патент [9] отримано на установку для дослідження коефіцієнта тертя гранульованого матеріалу (рис. 5) і визначення його залежності від необхідних умов проведення досліджень (тиску, температури й кута нахилу поверхні).

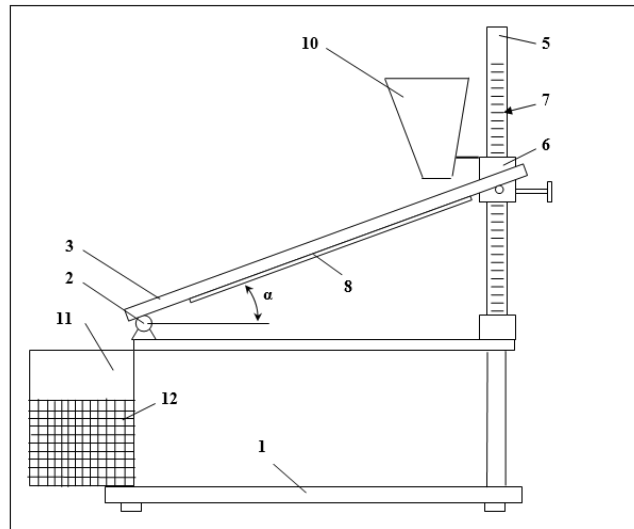


Рис. 5. Схема установки для визначення величини коефіцієнта зовнішнього тертя гранульованого матеріалу: 1 – опорна рама; 2 – шарнір; 3 – пластина; 5 – стояк; 6 – повзун; 7 – шкала; 8 – засіб термостабілізації; 10 – витратний бункер; 11 – приймальний бункер; 12 – координатна сітка

Установка складається з опорної рами 1, пластини 3, що закріплена в рамі з можливістю повертання у вертикальній площині завдяки шарніру 2, стояка 5 із повзуном 6, що слугують опорою для пластини 3, на якій розміщується досліджуваний зразок. Додатково встановлено шкалу 7 для визначення кута нахилу α й плоский нагрівник 8. Для отримання можливості виконувати досліди з гранульованими матеріалами в конструкції передбачено бункер подачі матеріалу 10 і приймальний бункер 11 із координатною сіткою 12.

За допомогою описаної установки нами було отримано залежність коефіцієнта тертя для чотирьох різних типів гранульованих полімерів від тиску та температури [10], проте така конструкція не дозволила змінювати навантаження на досліджуваний матеріал у широкому діапазоні, отримувати залежності коефіцієнта тертя від швидкості обертання поверхні, а також знімати показники бокового тиску.

Для усунення цих недоліків було запропоноване вдосконалення [11], що дозволяє досліджувати величини коефіцієнта зовнішнього тертя гранульованих матеріалів по різних поверхнях, і коефіцієнта бічного тиску, зокрема й залежно від температури, навантаження й швидкості обертання в широкому діапазоні значень. На рис. 6 зображено схему установки, що містить ротор 3 із нагрівниками 2, вертикальний корпус 4, що виконаний порожнистим і встановлений над ротором. У корпусі розміщено штовхач 5, що через регулятор вертикальної сили 6 отримує навантаження, а також датчики горизонтальних сил 11 і 13.

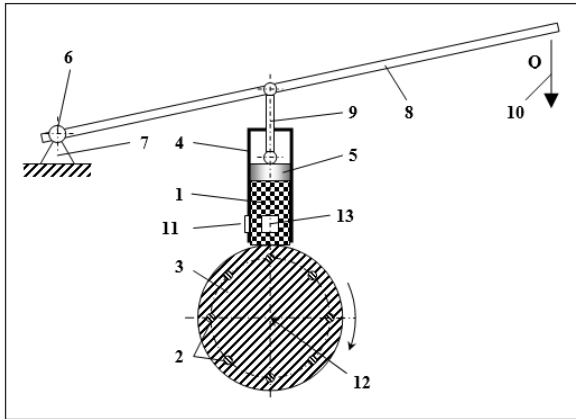


Рис. 6. Схема пристрою для визначення величини коефіцієнта зовнішнього тертя сипкого матеріалу:
 1 – установка; 2 – нагрівники; 3 – ротор;
 4 – корпус; 5 – штовхач; 6 – регулятор вертикальної сили; 7 – стояк; 8 – важіль; 9 – шток; 10 – протизвага; 11 – датчик горизонтальної сили; 12 – вісь ротора; 13 – датчик горизонтальної сили

Пристрій працює таким чином: гранули засипаються у вертикальний короб і притискаються штоком до ротора, якому надаються обертавання від електродвигуна. Датчик, що стоїть по ходу обертавання ротора, дозволяє отримати значення коефіцієнта тертя, датчик, що стоїть перпендикулярно першому, – значення коефіцієнта бічного тиску. Збільшуючи швидкість обертавання ротора, температуру нагрівників або навантаження на шток, можна отримати вищеписані залежності для шуканих коефіцієнтів.

Було проведено серію експериментів для гранул таких полімерів: а) поліетилен високої густини марки Marlex ННМ 5502ВN [12]; б) співполімер етилену з вінілацетатом (севілен) марки 11104 030 [13]; в) полістирол марки Denka Styrol MW-1-301 [14]; отримано залежність коефіцієнта тертя (рис. 7) та коефіцієнта бічного тиску (рис. 8) від швидкості обертавання ротора.

Бачимо, що отримані залежності дещо різняться для різних типів гранул: коефіцієнти тертя $K_{тер}$ і бічного тиску $K_{б.т.}$ для поліетилену не залежать від зміни швидкості обертавання ротора V ; для севілену $K_{тер}$ зростає під час збільшення V по степеневій залежності, а $K_{б.т.}$ – не змінюється; для полістиролу навпаки – $K_{тер}$ не змінюється, а $K_{б.т.}$ зменшується під час збільшення V по лінійній залежності.

Результати експериментів, а саме різний характер поведінки різних типів полімерних гранул, підтверджують доцільність створення такого типу установок і проведення подальших досліджень триботехнічних властивостей для широкого асортименту гранульованих полімерів у різних умовах.

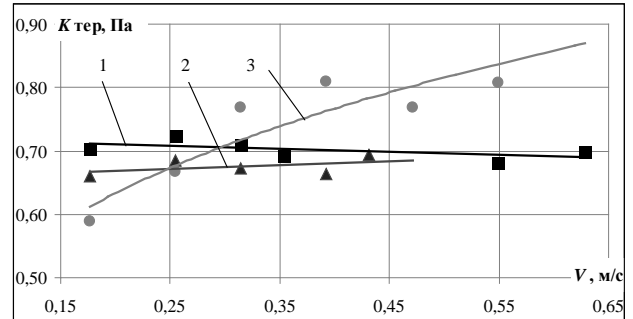


Рис. 7. Залежність коефіцієнта тертя $K_{тер}$ від швидкості обертавання ротора V для різних типів полімерних гранул: 1 – поліетилен; 2 – севілен; 3 – полістирол

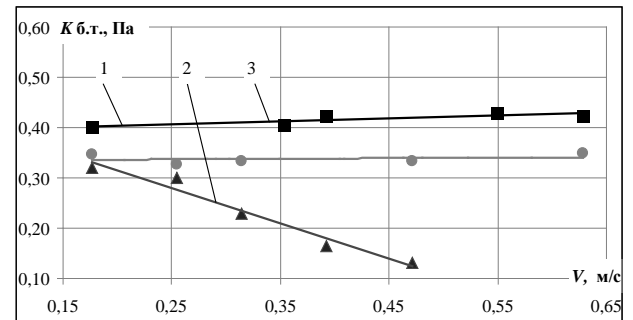


Рис. 8. Залежність коефіцієнта бічного тиску $K_{б.т.}$ від швидкості обертавання ротора V для різних типів полімерних гранул: 1 – поліетилен; 2 – севілен; 3 – полістирол

Висновки. Запропоновано дві конструкції установок для дослідження триботехнічних властивостей для різних типів гранульованих полімерних матеріалів, які було захищено патентами України на корисну модель. Отримано результати експериментальних досліджень для трьох типів полімерних гранул, які відрізняються за характером один від одного; така картина збігається з попередніми дослідженнями в цьому напрямі.

Надалі планується продовження досліджень із розширенням діапазону досліджуваних властивостей.

Список літератури:

1. Мікульонюк І. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів із використанням вторинної сировини. Київ: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2009. 265 с.
2. Mikulionok I., Radchenko L. Screw Extrusion of Thermoplastics: I. General Model of the Screw Extrusion. Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. Vol. 85, N 3. P. 489–504. DOI: 10.1134/S1070427211030305.

3. Mikulionok I., Radchenko L. Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2012. Vol. 85, № 3. P. 505–514. DOI: 10.1134/S1070427211030317.
4. Mikulionok I., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Modeling of melting process in a single screw extruder for polymer processing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Series «Applied physics»*. 2018. № 2/5 (92). С. 4–11. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.127583.
5. Струтинский Б., Радионенко А., Ищенко Е. Триботехнические исследования полимерных композитов, применяемых при восстановлении направляющих станков. *Проблемы тертя та зношування*. 2015. № 2. С. 4–8.
6. Chowdhury M., Nuruzzaman D., Roy B., Samad S., Sarker R., Rezwani A. Experimental Investigation of Friction Coefficient and Wear Rate of Composite Materials Sliding. *Tribology in Industry*. 2013. Vol. 35, № 4. P. 286–295.
7. Пат. № 59650 У Україна, МПК G01L 1/00 (2011.01). Спосіб визначення динамічного коефіцієнта тертя / Ю. Костандов; заявник і патентовласник Таврійський національний університет ім. В.І. Вернадського. – № u201013094; заявл. 04.11.2010; опубл. 25.05.2011 р., бюл. № 10, 2011.
8. Zunda A., Padgurskas J., Jankauskas V., Levinskas R., Kreivaitis R. Wear Resistance of Industrial Polymers Under Lubrication with Oils. *Scientific Journal of Riga Technical University*. 2010. Vol. 21. P. 21–25.
9. Сокольський О., Мікульонок І., Швачко Д., Витвицький В. Пат. № 107473 У Україна, МПК G01N 19/02. Установа для визначення величини коефіцієнта зовнішнього тертя кускового або сипучого матеріалу; заявник і патентовласник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». № u201511736; заявл. 27.11.2015; опубл. 10.06.2016 р., бюл. № 11, 2016.
10. Vytyvtskyi V., Mikulionok I., Sokolskyi O., Gavva O. Pressure and temperature influence on the friction coefficient of granular polymeric materials on the metal surfaces. *Ukrainian Food Journal*. 2017. Vol. 6 (3). P. 543–552. DOI: 10.24263/2304-974X-2017-6-3-14.
11. Мікульонок І., Сокольський О., Витвицький В., Швачко Д. Пат. № 124170 У Україна, МПК G01N 19/02. Пристрій для визначення величини коефіцієнта зовнішнього тертя сипкого матеріалу; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського». № u201710073; заявл. 18.10.2017 р.; опубл. 26.03.2018 р., бюл. № 6, 2018.
12. Marlex ННМ 5502BN Polyethylene – Chevron Phillips Chemical. URL: <http://www.cpchem.com/bl/polyethylene/en-us/tdslibrary/Marlex%20ННМ%205502BN%20Polyethylene.pdf> (дата звернення 15.09.2018).
13. Kazan EVA 11104-030 Kazanorgsintez. URL: <https://plastics.ulprospector.com/datasheet/e375382/kazan-eva-11104-030> (дата звернення 15.09.2018).
14. Material safety data sheet polystyrene – Southland Polymers. URL: <http://www.southlandpolymers.com/pdf/polysty/Denka%20MSDS%20MW1.pdf> (дата звернення 15.09.2018).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рассмотрены существующие конструкции установок для исследования триботехнических свойств различных типов гранулированных полимерных материалов. Описаны две усовершенствованные конструкции установок, разработанные авторами. Усовершенствованные конструкции установок расширяют их функциональные возможности. Описаны результаты исследований по одной из установок. Исследование проведено для нескольких типов полимерных материалов.

Ключевые слова: полимер, гранула, экструдер, трение, температура, давление.

RESEARCH OF THE TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF THE GRANULAR POLYMERIC MATERIALS

The existing designs of devices for researching the tribotechnical properties of various types of the friction granular polymeric materials are considered. The two improved designs of devices, which had developed by the authors are described. The improved designs of devices are expanding their functionality. The results of research from one of the devices are described. The research was carried out for several types of the polymer materials.

Key words: polymer, granule, extruder, friction, temperature, pressure.