

*О.С. Кабат, І.І. Пікула***ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ФТОРПОЛІМЕРІВ**

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

У роботі охарактеризовані основні етапи технологічного процесу перероблення фторполімерів (кополімеру тетрафторетилену з етиленом і полівініліденфториду) у виробі та визначені їх основні параметри перероблення. За допомогою термомеханічного та термогравіметричного аналізу визначено, що максимальна та мінімальні температури перероблення досліджених фторполімерів дорівнюють відповідно 240°C і 430°C для кополімеру тетрафторетилену з етиленом та 150°C і 420°C для полівініліденфториду. Визначено оптимальну температуру перероблення досліджених фторполімерів за допомогою непрямого методу дослідження впливу цього фактору на фізико-механічні властивості полімерів. Встановлено, що оптимальною температурою перероблення для кополімеру тетрафторетилену з етиленом є 270°C, а для полівініліденфториду – 180°C. За допомогою рентгеноструктурних досліджень розглянутих фторполімерів підтверджено припущення, що збільшення температури їх перероблення у досліджених інтервалах температур, приводить до покращення їх фізико-механічних властивостей за рахунок зміни структури досліджених полімерів (збільшення ступеня кристалічності). Шляхом визначення основних фізико-механічних властивостей досліджених фторполімерів встановлено оптимальний тиск їх пресування, що дорівнює 40 МПа для фторполімерів на основі кополімеру тетрафторетилену з етиленом та полівініліденфториду.

**Ключові слова:** фторполімери, перероблення у виробі, густина, напруження при межі текучості при стисканні, полівініліденфторид, кополімер тетрафторетилену з етиленом.

DOI: 10.32434/0321-4095-2024-155-4-34-40

**Вступ**

Більшість сучасної техніки не здатна працювати без використання полімерів. Ці матеріали мають невелику вагу при досить високому рівні міцнісних властивостей, експлуатуються при значних знакоперемінних навантаженнях, мають високий рівень хімічної стійкості та можуть працювати у вузлах тертя без та при граничному змащуванні [1–4].

Одними з найбільш розповсюджених полімерів, які працюють у сучасній техніці, є фторполімери. Вони є найбільш хімічно-стійкими високомолекулярними сполуками, мають високий

рівень термостійкості (до 440°C), деталі з яких експлуатуються у широкому інтервалі температур [5–7].

Фторполімери також характеризуються високим рівнем трибологічних властивостей при фрикційній взаємодії зі сталлю. Деталі з них продемонстрували свою високу ефективність експлуатації у вузлах тертя з та без змащування при дії значних навантажень та температур в агресивних та абразивних середовищах [8,9].

Фторполімери переробляються у виробі наступними методами: спікання, компресійне пресування у формах із підігрівом, лиття під



тиском, екструзія тощо [10,11].

У більшості випадків для виготовлення виробів з фторполімерів на масовому і серійному виробництвах застосовують високопродуктивні методи лиття під тиском та екструзію, що є оптимальним з точки зору собівартості виробів. Проте вартість обладнання і необхідного устаткування (литтєві форми, екструзійні головки тощо) досить велика, що обмежує використання цих методів перероблення на одиничних виробництвах. Тому стає актуальним використання таких методів перероблення фторполімерів, як спікання та компресійне пресування у формах із підігрівом. Для одержання виробів із фторполімерів із найкращим комплексом властивостей необхідно визначити основні параметри їх перероблення, що і є основним завданням даної роботи.

#### *Методика експерименту*

##### *Об'єкти досліджень*

Як об'єкти дослідження були обрані наступні фторполімери: кополімер тетрафторетилену з етиленом (виробник DuPont, США) та полівініліденфторид (виробник Kureha, Японія). Їх структурні формули наведені у таблиці.

#### **Структурні формули досліджених фторполімерів**

Назва матеріалу	Структурна формула
кополімер тетрафторетилену з етиленом	$\begin{array}{c} \text{F} \quad \text{F} \quad \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \quad   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \quad   \quad   \\ \text{F} \quad \text{F} \quad \text{H} \quad \text{H} \end{array} \quad n$
полівініліденфторид	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{F} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{F} \end{array} \quad n$

У вихідному вигляді досліджені фторполімери являють собою дрібнодисперсні порошки білого кольору із насипною густиною від 0,35–0,50 г/см<sup>3</sup> і переважними розмірами частинок 10–20 мкм [12].

##### *Методи досліджень*

Термомеханічний аналіз досліджуваних полімерів проведено відповідно до ISO-11359 на приладі VEB Rauenstein FWV. Об'єктом досліджень були циліндричні зразки з наступними розмірами: діаметр 10±0,2 мм, висота 10±0,2 мм.

Стійкість до дії температури обраних об'єктів дослідження виміряна за допомогою методу термогравіметричного аналізу, відповідно до ISO-11358, методами сканування за температурою і часом на дериватографі TGA Q50.

Густину полімерів визначено за ISO 1183 за допомогою методу гідростатичного зважування на

аналітичних вагах ВЛР-200, з модулем для гідростатичного зважування.

Напруження при межі текучості ( $\sigma_y$ ) при стисканні досліджуваних полімерів визначали за ISO 604 на універсальній розривній машині 2167 P-50.

Рентгеноструктурний аналіз полімерів проведено на рентгенівському дифрактометрі ДРОН-2 у монохроматизованому  $\text{CuK}_\alpha$  випромінюванні. Об'єктом досліджень були циліндричні зразки з наступними розмірами: діаметр 15±0,2 мм, висота 10±0,2 мм.

#### *Результати та обговорення*

Технологічний процес виготовлення виробів із фторполімерів умовно можна поділити на три основні етапи: підготовчий, основний і завершальний [13].

На підготовчому етапі виконують операції подрібнення та брикетування фторполімерів. Під час подрібнення відбувається руйнування агломератів вихідних частинок полімерів і вибирається необхідна їх фракція. Брикетування дозволяє одержати компактні брикети з фторполімерів, сприяючи полегшенню подальших технологічних операцій з їх перероблення.

На основному етапі відбувається процес безпосереднього перероблення фторполімерів у виробу з високоеластичного чи в'язкотекучого стану (в залежності від марки полімеру).

На завершальному етапі виконуються дії, спрямовані на надання одержаним виробам необхідної геометричної форми, як це передбачено у технічній документації. Це може включати видалення ґрату, механічну обробку поверхні та інші операції.

Найбільший вплив на властивості виробів із фторполімерів чиниться на основному етапі перероблення. До основних параметрів перероблення відносяться температура перероблення полімерів, зусилля пресування, час витримання під тиском тощо [14,15].

Для визначення оптимальної температури перероблення фторполімерів необхідно, спочатку, обрати інтервал температурних досліджень. Мінімальна температура перероблення буде відповідати температурі плавлення (чи розм'якшення) цих матеріалів. Температуру плавлення визначали за термомеханічними кривими полімерів. На рис. 1 показані результати таких досліджень.

Відповідно до результатів досліджень можна стверджувати, що для кополімеру тетрафторетилену з етиленом ця температура знаходиться у межах 238–242°C, а для полівініліденфториду – у межах 148–152°C.

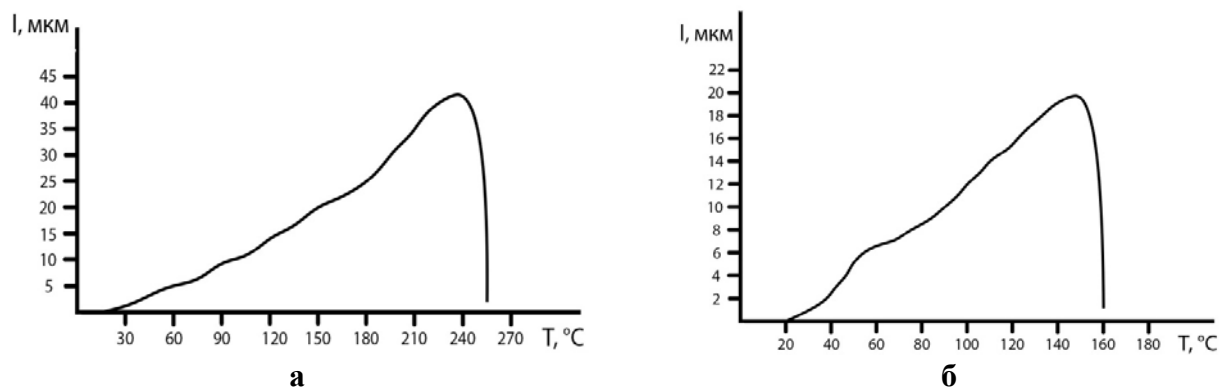


Рис. 1. Термомеханічні криві фторполімерів:  
1 – кополімер тетрафторетилену з етиленом; 2 – полівініліденфторид

Максимальна температура перероблення досліджених полімерів буде дорівнювати температурі їх початку активної деструкції, коли молекули полімеру під дією температури руйнуються. Цю температуру визначали за термогравіметричним аналізом полімерів. Їх результати наведені на рис. 2.

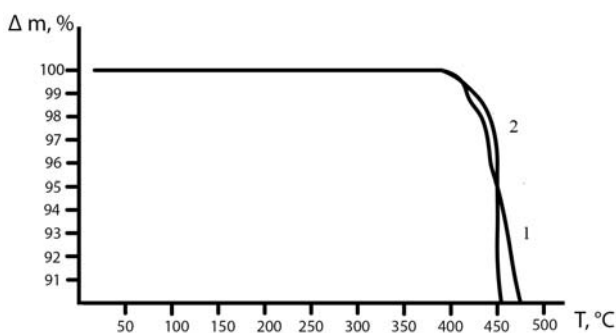


Рис. 2. Результати термогравіметричного аналізу фторполімерів: 1 – кополімер тетрафторетилену з етиленом; 2 – полівініліденфторид

Відповідно до результатів термогравіметричних досліджень температура початку активної деструкції для кополімеру тетрафторетилену з етиленом дорівнює 430°C, а для полівініліденфториду – 420°C. Отже, можна стверджувати, що ці температури є максимально можливими при переробленні досліджених полімерів у вироби.

Згідно з отриманими результатами можна стверджувати, що кополімер тетрафторетилену з етиленом можна переробляти у вироби в інтервалі температур від 240°C до 430°C, а полівініліденфториду від 150°C до 420°C. Таким чином, для подальших досліджень щодо визначення оптимальних температур перероблення фторполімерів будуть використовуватися саме ці температури.

Визначення оптимальної температури перероблення фторполімерів здійснювали непрямим методом за допомогою дослідження впливу температури перероблення на фізико-механічні властивості полімерів. При цьому мінімальну та максимальну температури перероблення обирали відповідно до вищенаведеного інтервалу (для кополімера тетрафторетилену з етиленом – 240–430°C, полівініліденфториду – 150–420°C). Слід відзначити, що максимальні температури перероблення не були більшими за вище наведені, однак коригувалися виходячи із значень отриманих фізико-механічних властивостей полімерів з точки зору технологічної та економічної доцільності їх використання.

На рис. 3 наведені результати досліджень впливу температури при переробленні кополімеру тетрафторетилену з етиленом на його густину та напруження при межі текучості при стисканні. Відповідно до результатів проведених досліджень можна стверджувати, що отримані залежності мають подібний характер. Так, із збільшенням температури переробки від 240 до 280°C густина та напруження при межі текучості при стисканні кополімеру тетрафторетилену з етиленом збільшується з 1802 до 1805 кг/м<sup>3</sup> та від 32 до 45 МПа, відповідно. Найбільш інтенсивне збільшення спостерігається при температурах від 240 до 270°C, а потім значення відповідних величин стабілізуються. Відповідно до цього можна стверджувати, що температуру, при якій значення густини та напруження при межі текучості при стисканні досягли максимальних значень, можна вважати оптимальною температурою перероблення досліджуваного полімеру. Тобто для кополімеру тетрафторетилену з етиленом це 270°C. Подальше збільшення температури перероблення недоцільне з технологічної та економічної точки зору.

На рис. 4 наведені результати досліджень впливу температури при переробленні полівініліденфториду на його густину та напруження при межі текучості при стисканні. Відповідно до результатів досліджень видно, що отримані залежності мають подібний характер. Збільшення температури пробки полімеру з 150 до 200°C приводить до збільшення його густини від 1842 до 1850 кг/м<sup>3</sup> та напруження при межі текучості при стисканні від 44 до 58 МПа. Також слід відмітити, що найбільша інтенсивність збільшення досліджуваних властивостей спостерігається при температурах від 150 до 180°C із подальшим її різким зниженням і стабілізацією досліджуваних властивостей.

Відповідно до результатів здійснених досліджень можна стверджувати, що оптимальною температурою перероблення полівініліденфториду слід вважати 180°C.

Можна припустити, що покращення фізико-механічних властивостей досліджених полімерів

зі збільшенням температур їх перероблення пояснюється зміною їх структури. Для доведення цього припущення був проведений рентгеноструктурний аналіз фторполімерів, одержаних при різних температурах перероблення. Результати досліджень зображені на рис. 5. Видно, що для всіх досліджених полімерів спостерігаються два яскраво виражених аморфних гало на ділянці кутів Вульфа-Брегга  $2\Theta=15-30^\circ$  та  $40-60^\circ$ , які є свідченням наявності аморфної фази у досліджених матеріалах. Також на рентгенограмах наявні два яскраво виражені піки в інтервалі кутів  $2\Theta=20-21^\circ$  та  $53-55^\circ$ , які характеризують їх кристалічну фазу. Отже, фторполімери на основі кополімеру тетрафторетилену з етиленом та полівініліденфториду є переважно аморфними матеріалами із різним ступенем кристалічності. Відповідно до розрахунків ступінь кристалічності кополімеру тетрафторетилену з етиленом, одержаного при температурі перероблення 250°C, складає 30%, а при температурі 270°C – 40%. Для

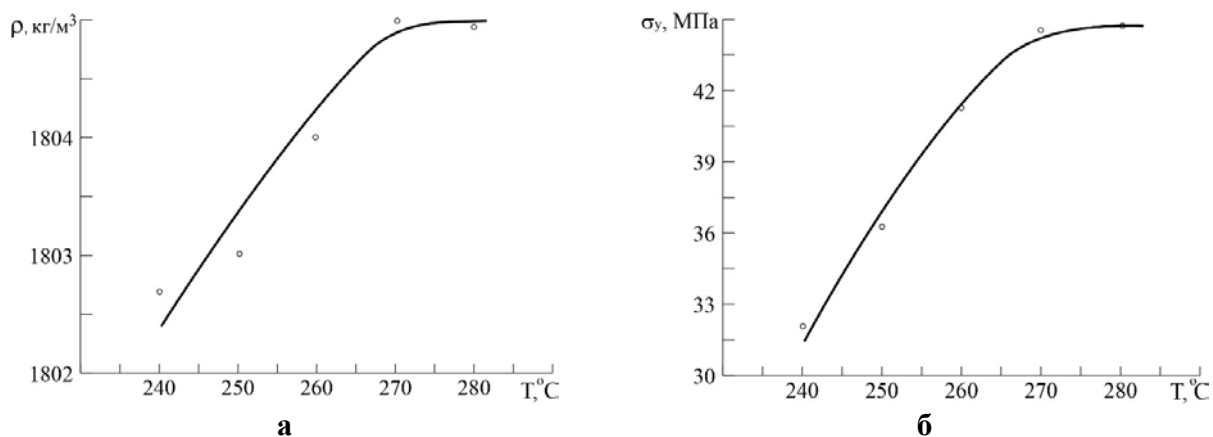


Рис. 3. Залежності (а) густини ( $\rho$ ) та (б) напруження при межі текучості при стисканні ( $\sigma_y$ ) від температури при переробленні кополімеру тетрафторетилену з етиленом. Тиск пресування 40 МПа

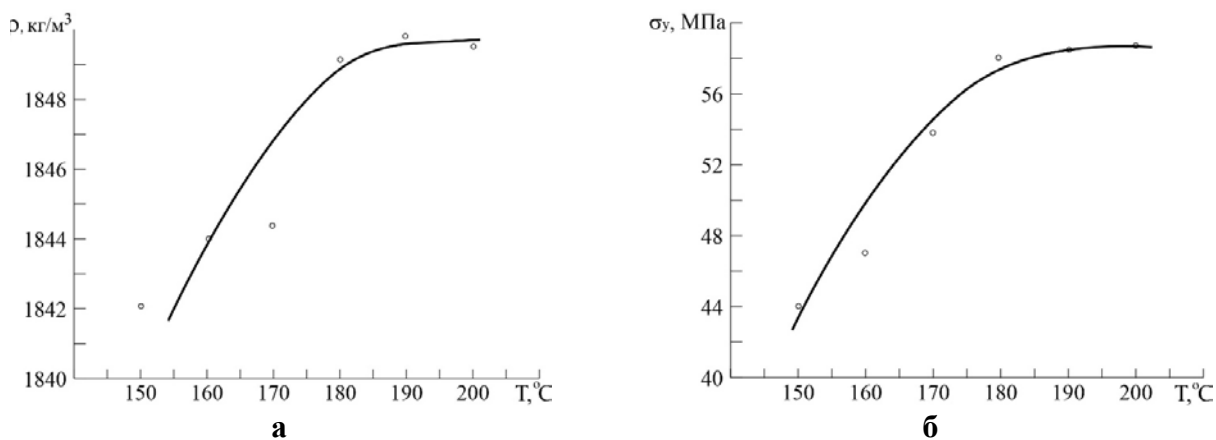


Рис. 4. Залежності (а) густини ( $\rho$ ) та (б) напруження при межі текучості при стисканні ( $\sigma_y$ ) від температури при переробленні полівініліденфториду. Тиск пресування 40 МПа

полівініліденфториду ступінь кристалічності зразків, одержаних при 160°C, дорівнює 50%, а при температурі 200°C – 60%. Це підтверджує припущення, що збільшення температури переробки досліджених фторполімерів приводить до покращення їх фізико-механічних властивостей за рахунок зміни структури досліджених полімерів (збільшення ступеня кристалічності). Такий висновок відповідає відомими фізичним законам, згідно з якими, у більшості випадків, матеріали, які мають вищу ступінь кристалічності, є більш міцними ніж ті, що мають меншу.

Досить суттєвий вплив на рівень властивостей має не тільки температура, а і тиск при якому здійснюють перероблення полімерів. Тому встановлення його оптимального значення є важливою задачею.

На рис. 6 і 7 показані залежності густини та межі текучості при стисканні досліджених фторполімерів від тиску пресування при їх переробленні у виробі. Експерименти проведені на зразках, які одержані при оптимальних темпера-

турах перероблення для досліджених полімерів (270°C для кополімеру тетрафторетилену з етиленом і 180°C для полівініліденфториду).

З даних рис. 6 випливає, що зі збільшенням тиску пресування при переробленні кополімеру тетрафторетилену з етиленом покращуються його фізико-механічні характеристики (густина, напруження при межі текучості при стисканні). Причому найбільш інтенсивне збільшення цих характеристик спостерігається при тисках від 30 до 40 МПа. Подальше збільшення тисків пресування до 50 МПа не призводить до значного зростання досліджених характеристик, що дозволяє стверджувати, що з технологічної та економічної точки зору оптимальним тиском при пресуванні кополімеру тетрафторетилену з етиленом є 40 МПа.

Дослідження впливу тиску пресування на густину та напруження при межі текучості при стисканні полівініліденфториду мають подібні, за характером, залежності експериментальних даних (рис. 7). Так, із збільшенням тиску фізико-механічні властивості досліджуваного полімеру інтен-

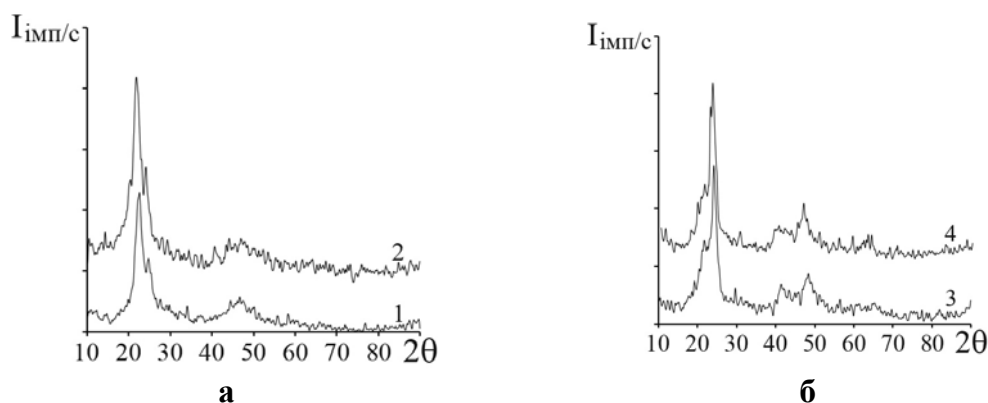


Рис. 5. Рентгенограми (а) кополімеру тетрафторетилену з етиленом та (б) полівініліденфториду, які перероблені при температурах (°C): 1 – 250; 2 – 270; 3 – 160; 4 – 200

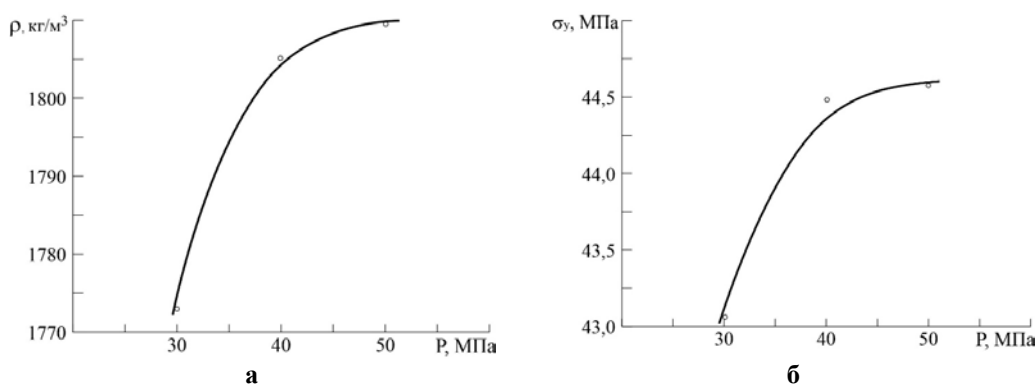


Рис. 6. Залежності (а) густини ( $\rho$ ) та (б) напруження при межі текучості при стисканні ( $\sigma_y$ ) від тиску пресування ( $P$ ) при переробленні кополімеру тетрафторетилену з етиленом. Температура пресування 270°C

сивно збільшуються при тисках від 20 до 40 МПа із подальшою стабілізацією. Це дозволяє визначити, що оптимальним тиском при переробці полівініліденфториду також є 40 МПа.

### Висновки

Встановлені інтервали температур перероблення фторполімерів на підставі результатів термомеханічних та термогравіметричних досліджень. Ці інтервали наступні: від 240 до 430°C для кополімеру тетрафторетилену з етиленом та від 150 до 420°C для полівініліденфториду.

Визначені оптимальні температури перероблення досліджених фторполімерів (270°C для кополімеру тетрафторетилену з етиленом та 180°C для полівініліденфториду) відповідно до значень їх фізико-механічних властивостей, технологічної та економічної доцільності.

За допомогою рентеноструктурного аналізу доведено, що покращення фізико-механічних властивостей досліджених фторполімерів із збільшенням температури перероблення пов'язано зі зміною їх структури, а саме, зі збільшенням ступеня кристалічності.

Визначено оптимальний тиск при пресуванні досліджених фторполімерів відповідно до значень їх фізико-механічних властивостей. Для кополімеру тетрафторетилену з етиленом та полівініліденфториду він дорівнює 40 МПа.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Applications of sustainable polymer composites in automobile and aerospace industry* / Muhammad A., Rahman M.R., Bains R., Bakri M.K.B. // *Advances in Sustainable Polymer Composites*. – Woodhead Publishing, 2020. – P.185-207.

2. *Полимерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці* / Джур Є.О., Кучма Л.Д., Манько Т.А., Ситало В.І. – Київ: Вища освіта, 2003. – 399 с.

3. Kabat O., Girin O., Heti K. Polymer composites based on aromatic polyamide and fillers of spherical and layered structure for friction units of high-performance equipment // *Proc. Inst. Mech. Eng. L.* – 2023. – Vol.237. – P.185-207.

4. *Polymeric composite materials of tribotechnical purpose with a high level of physical, mechanical and thermal properties* / Kabat O., Sytar V., Derkach O., Sukhyi K. // *Chem. Chem. Technol.* – 2021. – Vol.15. – No. 4. – P.543-550.

5. *Polymeric composites of tribotechnical purpose based on fluoropolymers* / Kabat O., Derkach O., Pavlushkina N., Pikula I. // *Probl. Tribol.* – 2019. – Vol.24. – No. 2/92. – P.75-81.

6. He Y., Walsh D., Shi C. Fluoropolymer composite coating for condensing heat exchangers: Characterization of the mechanical, tribological and thermal properties // *Appl. Therm. Eng.* – 2015. – Vol.91. – P.387-398.

7. *Modeling of contact temperatures and their influence on the tribological performance of PEEK and PTFE in a dual-pin-on-disk tribometer* / Lin Z., Qu T., Zhang K., Zhang Q., Wang S., Wang G., et al. // *Friction.* – 2023. – Vol.11. – P.546-566.

8. *Friction mechanism and application of PTFE coating in finger seals* / Yin M., Zhang Y., Zhou R., Zhai Z., Wang J., Cui Y., Li D. // *Tribol. Trans.* – 2022. – Vol.65. – No. 2. – P.260-269.

9. *Effect of contact stress on the tribology behaviors of PTFE/316L seal pairs under various abrasive-contained conditions* / Shen M., Li B., Ji D., He X.R., Lin X., Xiong G. // *Proc. Inst. Mech. Eng. J.: J. Eng. Tribol.* – 2021. – Vol.235. – No. 3. – P.639-652.

10. *Суберляк О.В., Бащанник П.І.* Технологія переробки полімерів та композиційних матеріалів. – Київ, 2006. – 270 с.

11. *Полимерные композиционные материалы на основе фторопласта и метод их получения* / Кабат О.С., Харченко Б.Г., Деркач А.Д., Артемчук В.В., Бабенко В.Г. // *Питання хімії та хім. технол.* – 2019. – № 3. – С.116-122.

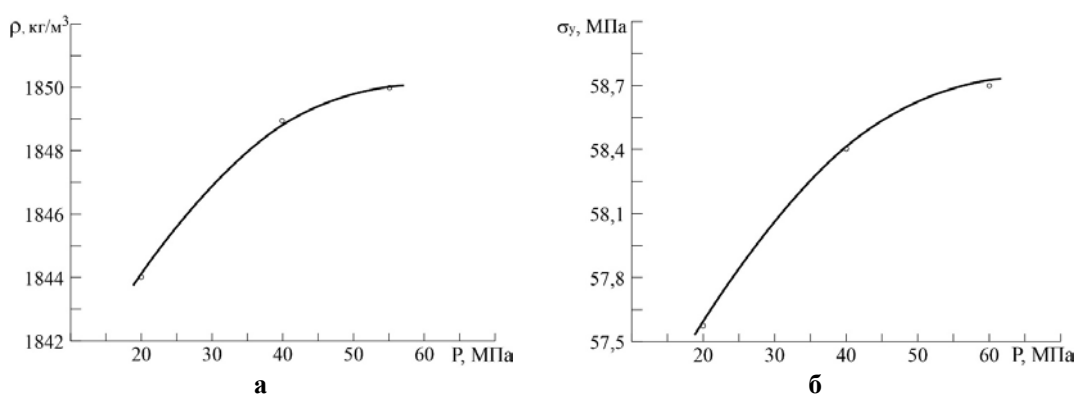


Рис. 7. Залежності (а) густини ( $\rho$ ) та (б) напруження при межі текучості при стисканні ( $\sigma_y$ ) від тиску пресування ( $P$ ) при переробленні полівініліденфториду. Температура пресування 180°C

12. Пікула І.І., Кабат О.С. Визначення оптимальних технологічних параметрів брикетування фторполімерів // Питання хімії та хім. технол. – 2024. – № 2. – С.70-74.

13. Drobniy J.G. Technology of fluoropolymers. – London: CRC Press LLC, 2001. – 172 p.

14. Панышин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласти – Л.: Химия, 1978. – 232 с.

15. Drobniy J.G. Fluorine-containing polymers // Brydson's Plastics Materials. – 2017. – P.389-425.

Надійшла до редакції 20.03.2014

## DETERMINATION OF OPTIMAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR PROCESSING FLUOROPOLYMERS

O.S. Kabat \*, I.I. Pikula

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

\* e-mail: Amber\_UDHTU@i.ua

This work presents the main stages of the technological process of processing fluoropolymers (a copolymer of tetrafluoroethylene with ethylene and polyvinylidene fluoride) into products and defines their key processing parameters. Using thermomechanical and thermogravimetric analysis, it was determined that the maximum and minimum processing temperatures of the investigated fluoropolymers are 240°C and 430°C for the copolymer of tetrafluoroethylene with ethylene, and 150°C and 420°C for polyvinylidene fluoride, respectively. The optimal processing temperature of the studied fluoropolymers was determined using an indirect method of examining the influence of this factor on the physical and mechanical properties of the polymers. It was established that the optimal processing temperature is 270°C for the copolymer of tetrafluoroethylene with ethylene, and 180°C for polyvinylidene fluoride. X-ray structural studies of the fluoropolymers confirmed the assumption that increasing their processing temperature within the studied intervals leads to improved physical and mechanical properties due to changes in the structure of the polymers (increased crystallinity). The optimal pressing pressure for the investigated fluoropolymers was determined through studies of their main physical and mechanical properties, and it was established to be 40 MPa for fluoropolymers based on the copolymer of tetrafluoroethylene with ethylene and polyvinylidene fluoride.

**Keywords:** fluoropolymers; processing into products; density; compressive yield stress; polyvinylidene fluoride; copolymer of tetrafluoroethylene with ethylene.

## REFERENCES

1. Muhammad A, Rahman MR, Bains R, Bakri MKB. Applications of sustainable polymer composites in automobile and aerospace industry. In: Rahman MR, editor. *Woodhead publishing series in composites science and engineering, Advances in sustainable polymer composites*. 2021. p. 185-207. doi: 10.1016/B978-0-12-820338-5.00008-4.

2. Dzhur YO, Kuchma LD, Manko TA, Sytalo VI. *Polimerni kompozitsiini materialy v raketno-kosmichnii tekhnitsi* [Polymer composite materials in space-rocket hardware]. Kyiv: Vyscha osvita; 2003. 399 p. (in Ukrainian).

3. Kabat O, Girin O, Heti K. Polymer composites based on aromatic polyamide and fillers of spherical and layered structure for friction units of high-performance equipment. *Proc Inst Mech Eng L*. 2023; 237(11): 185-207. doi: 10.1177/14644207231176796.

4. Kabat O, Sytar V, Derkach O, Sukhyy K. Polymeric composite materials of tribotechnical purpose with a high level of physical, mechanical and thermal properties. *Chem Chem Technol*. 2021; 15(4): 543-550. doi: 10.23939/cheht15.04.543.

5. Kabat O, Derkach O, Pavlushkina N, Pikula I. Polymeric composites of tribotechnical purpose based on fluoropolymers. *Probl Tribol*. 2019; 24(2/92): 75-81. doi: 10.31891/2079-1372-2019-92-2-75-81.

6. He Y, Walsh D, Shi C. Fluoropolymer composite coating for condensing heat exchangers: characterization of the mechanical, tribological and thermal properties. *Appl Therm Eng*. 2015; 91: 387-398. doi: 10.1016/j.applthermaleng.2015.08.035.

7. Lin Z, Qu T, Zhang K, Zhang Q, Wang S, Wang G, et al. Modeling of contact temperatures and their influence on the tribological performance of PEEK and PTFE in a dual-pin-on-disk tribometer. *Friction*. 2023; 11: 546-566. doi: 10.1007/s40544-022-0615-8.

8. Yin M, Zhang Y, Zhou R, Zhai Z, Wang J, Cui Y, et al. Friction mechanism and application of PTFE coating in finger seals. *Tribol Trans*. 2022; 65(2): 260-269. doi: 10.1080/10402004.2021.1949512.

9. Shen M, Li B, Ji D, He XR, Lin X, Xiong G. Effect of contact stress on the tribology behaviors of PTFE/316L seal pairs under various abrasive-contained conditions. *Proc Inst Mech Eng J J Eng Tribol*. 2021; 235(3): 639-652. doi: 10.1177/1350650120937517.

10. Suberljak O, Bashtannyk P. *Technolohiya pererobky polimeriv ta kompozitsiynykh materialiv* [Technologies of processing of polymers and composite materials]. Kyiv; 2006. 270 p. (in Ukrainian).

11. Kabat OS, Kharchenko BG, Derkach OD, Artemchuk VV, Babenko VG. Polimernye kompozitsionnye materialy na osnove ftoroplasta i metod ikh polucheniya [Polymer composites based on fluoroplastic and method for the production thereof]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2019; (3): 116-122. doi: 10.32434/0321-4095-2019-124-3-116-122.

12. Pikula II, Kabat OS. Vyznachennya optymalnykh tehnologichnykh parametriv bryketuvannya ftoropolimeriv [Determination of optimal technological parameters of fluoropolymer briquetting]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2024; (2): 70-74. doi: 10.32434/0321-4095-2024-153-2-70-74.

13. Drobniy JG. *Technology of fluoropolymers*. London: CRC Press LLC; 2001. 172 p.

14. Panshin YA, Malkevich SG, Dunayevskaya TS. *Ftoroplasty* [fluoroplastics]. Leningrad: Khimiya; 1978. 232 p. (in Russian).

15. Drobniy JG. Fluorine-containing polymers. In: Gilbert M, editor. *Brydson's plastics materials* (eighth edition). 2017. p. 389-425. doi: 10.1016/B978-0-323-35