



## Мобільні і стаціонарні енергозасоби та їх елементи Mobile and stationary power units and their elements

УДК 691.175.3

<https://doi.org/10.5281/zenodo.6964492>

### Розширення температурного діапазону експлуатації фільтруючих матеріалів на основі політетрафторетилену шляхом армування полімерної матриці

М.В. Ісаєв<sup>1</sup>, О.Б. Калюжний<sup>2</sup>, В.Я. Платков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Фізико-технічний інститут низьких температур  
ім. Б.І. Веркіна НАН України, (м. Харків, Україна)

<sup>2</sup> Державний біотехнологічний університет, (м. Харків, Україна)

<sup>3</sup> Луганський національний аграрний університет,  
(м. Старобільськ, Луганська область, Україна)

email: <sup>1</sup> isaev@ilt.kharkov.ua; <sup>2</sup> albokal@ukr.net; <sup>3</sup> vplatkov@gmail.com;  
ORCID: <sup>2</sup> 0000-0003-1280-4463; <sup>3</sup> 0000-0003-2445-3736

З метою підвищення стійкості порового простору пористого політетрафторетилену (ПТФЕ) при підвищених температурах були приготовлені композити на основі комерційного ПТФЕ. В якості армуючих матеріалів використовувалися високоочищений графіт марки МГ-1 і порошок активованого вугілля. Одержані деформаційні криві і значення твердості HRB ПТФЕ і композитів на його основі. Розроблен технологічний процес отримання пористих композитів на основі ПТФЕ з полімерною матрицею армованою графітом МГ-1. При отриманні об'ємних пористих композитів з відкритою пористістю і контрольованою поровою структурою в якості пороутворювача використовувався хлористий натрій, який видалявся з заготовок за допомогою вилугування.

Одержано пористі матеріали на основі ПТФЕ з пористістю  $\varphi = 80\%$ , а так само пористі композити на основі ПТФЕ армовані графітом з тієї ж пористістю. Оптико-мікроскопічні дослідження пористого ПТФЕ і пористого композиту на основі ПТФЕ, армованого графітом, показали ідентичність їх порових структур. Запропоновано метод оцінки однорідності порових структур за допомогою багаторазових вимірювань мікротвердості в різних областях пористих полімерів. Встановлено, що розроблений технологічний процес отримання пористого ПТФЕ і пористого композиту на основі ПТФЕ, армованого графітом, забезпечує формування однорідних порових структур.

Отримано значення мікротвердості пористих ПТФЕ. Показано, що армування графітом полімерної матриці зменшує еластичність і збільшує міцність їх межпорових перегородок. Це дозволило отримати фільтруючі матеріали, здатні зберігати задані параметри порової структури і надійно працювати при підвищених температурах аж до 250 °С.

**Ключові слова:** пористі полімери, армований політетрафторетилен, твердість та мікротвердість ПТФЕ

**Вступ.** Розвиток сільського господарства в Україні передбачає широке використання матеріалів стійких до агресивного середовища, в тому числі пористих полімерних матеріалів [1]. Однією з важливих тенденцій в області полімерного матеріалознавства є розробка і вивчення пористих матеріалів на основі політетрафторетилену, внаслідок таких його унікальних фізико-хімічних властивостей, як:

– надзвичайно висока хімічна стійкість до всіх мінеральних і органічних кислот, лугів, органічних розчинників, окислювачів, газів і інших агресивних середовищ;

- біологічна і фізіологічна інертність;
- низький коефіцієнт тертя;
- гідрофобність;
- високі діелектричні показники.

При одержанні пористих полімерів в широкому діапазоні значень пористості використовують різні пороутворювачі, які додаються в полімер з подальшим випаровуванням, вигоранням або розчиненням [2]. При одержанні об'ємного пористого ПТФЕ з відкритою пористістю і контрольованою поровою структурою в якості пороутворювача використовують хлористий натрій (NaCl), який видаляють з полімеру розчиненням у воді [3].

Недоліком фільтруючих матеріалів на основі пористого ПТФЕ, що одержані цим методом, є неможливість використання їх при підвищених температурах аж до 250 °С. Цей недолік обумовлений тим, що в зазначеному інтервалі температур міжпорові перегородки каркаса ПТФЕ стають еластичними, внаслідок чого поровий простір здатен до пружної деформації [4]. Це знижує надійність роботи фільтруючих елементів і підвищує ймовірність проскакування частинок забруднення, розміри яких значно перевищують номінальну товщину фільтрації.

У даній роботі з метою підвищення стійкості порового простору пористого ПТФЕ при підвищених температурах були приготовлені композити на основі ПТФЕ і вивчені їх фізико-механічні властивості.

**Методика експерименту.** Як основа композиційного полімерного матеріалу використовувалася комерційний порошокподібний ПТФЕ марки Ф-4ПН (розмір частинок 80-120 мкм, щільність  $2,19 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>), виробництва ТОВ "Галла Полімер", м. Пермь.

Як армуючі матеріали використовувалися високоочищений графіт марки МГ-1 (ВГ) і порошок активованого вугілля (АВ). Щільність графіту, яка дорівнює  $2,09 - 2,23 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, близька щільності ПТФЕ, що дозволяє отримати якісне змішення компонентів [4]. До складу активованого вугілля входить: 93-94% вуглецю, 4,7-5,3% кисню, 0,7-1% водню, 0,3-0,6% азоту, а його щільність становить  $1,05 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

При отриманні об'ємних пористих композитів з відкритою пористістю і контрольованою поровою структурою в якості пороутворювача використовувався хлорид натрію марки "Екстра" виробництва ТОВ «Руссіль-Україна», Україна, м. Слов'янськ. Щільність NaCl дорівнює  $2,17 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

Маса компонентів суміші визначалася з точністю  $\pm 0,01$  г, а розміри зразків -  $\pm 0,01$  мм.

Існує ряд методів визначення пористості  $\varphi$  [5]. У даній роботі пористість матеріалів визначали розрахунковим методом [6]:

$$\varphi = \left( 1 - \frac{m}{V \cdot \rho_{\text{ПТФЕ}}} \right) \cdot 100, \% \quad (1)$$

де  $m$  - маса пористого матеріалу, кг;  $V$  - об'єм пористого матеріалу, м<sup>3</sup>;  $\rho_{\text{ПТФЕ}}$  - щільність ПТФЕ, кг/м<sup>3</sup>.

Твердість композиційних матеріалів визначалася твердоміром Роквелла ТК-2М, а мікротвердість пористих ПТФЕ методом Шора (HСа) згідно стандарту [7]. Для визначення мікротвердості використовувався цифровий твердомір Шора (дюрометр моделі 5610 зі шкалою А). Точність вимірювання HСа становила  $\pm 0,5$ .

Межу плинності  $\sigma_0$ , межу міцності  $\sigma_{\text{max}}$  і максимальну деформацію в момент руйнування  $\varepsilon_{\text{max}}$  матеріалів вивчали шляхом їх розтягування на

розривній машині при  $T = 22$  °С. Початкова довжина зразка між лопатками становила  $1,5 \cdot 10^{-2}$  м, а швидкість штока -  $1,67 \cdot 10^{-4}$  м/с.

В експериментах кожне вимірювання проводилося не менш ніж на трьох зразках, а за результат приймалося середнє арифметичне значення.

**Результати та їх обговорення.** Суміші з різними ваговими співвідношеннями ПТФЕ і армуючого матеріалу (графіту і вугілля) готувалися в міксері Braun FX 3030 при температурі змішання менш ніж 19 °С. При 19 °С в ПТФЕ має місце фазовий перехід першого роду, при якому кристалічна структура зазнає зміни від триклинної до гексагональної елементарної комірки [8]. В результаті, при температурі нижче 19 °С, частинки ПТФЕ стають жорсткими, що дозволяє здійснити якісне змішення компонентів. Загальна маса компонентів суміші становила 100 г, частота обертання ножів 600 об/хв, час змішування 300 с. При таких параметрах змішування відсутнє диспергування компонентів суміші.

З приготовлених сумішей шляхом пресування в прес-формі отримані напівфабрикати у вигляді дисків діаметром  $40 \pm 0,1$  мм і товщиною  $12 \pm 0,1$  мм. Тиск пресування становив  $155 \pm 5$  МПа з витримкою при цьому тиску протягом 30 с. Витримка необхідна для рівномірного розподілу тиску по всьому внутрішньому об'єму прес-форми, внаслідок чого суміш якісніше ущільнюється. Під час пресування ущільненої суміші частинки її компонентів деформуються як пружно, так і пластично. Пресування здійснювалося в інтервалі температур від 22 до 25 °С. При таких температурах частинки ПТФЕ набувають високу пластичність [9]. Пластична деформація ПТФЕ усуває внутрішні порожечки між частками суміші, що запобігає виникненню мікротріщин і розтріскуванню напівфабрикатів під час наступної термообробки [10].

Спінання ПТФЕ проводять в температурному інтервалі між температурою початку плавлення кристалічної фази 327 °С і температурою деструкції 415 °С, а оптимальним температурним інтервалом термообробки є область 365 - 380 °С [11]. Для композиційних матеріалів розроблен режим термообробки, який включає нагрів з піччю до температури  $t = 385 \pm 5$  °С (середня швидкість нагріву  $\sim 2$  °С/хв), витримки при даній температурі (час витримки визначається товщиною напівфабрикату і становить 5 хв на 1 мм товщини) і охолодження з піччю.

Цей режим термообробки забезпечує якісне спінання напівфабрикатів. Отримано деформаційні криві ПТФЕ і композитів на його основі  $\sigma$  ( $\varepsilon$ ). Результати наведені на рис. 1.

Видно, що додавання армуючого матеріалу в ПТФЕ призводить до зниження міцностних властивостей композиту. Межа плинності  $\sigma_0$ , межа міцності  $\sigma_{\text{max}}$  і максимальна деформація в

момент руйнування  $\varepsilon_{max}$  найменші у композиті ПТФЕ + 20% АВ, а найбільші у композиті ПТФЕ + 20% ВГ. Зменшення вмісту вуглецю в ПТФЕ до 10% супроводжувалося зростанням  $\sigma_0$ ,  $\sigma_{max}$  і  $\varepsilon_{max}$  (див. Табл. 1).

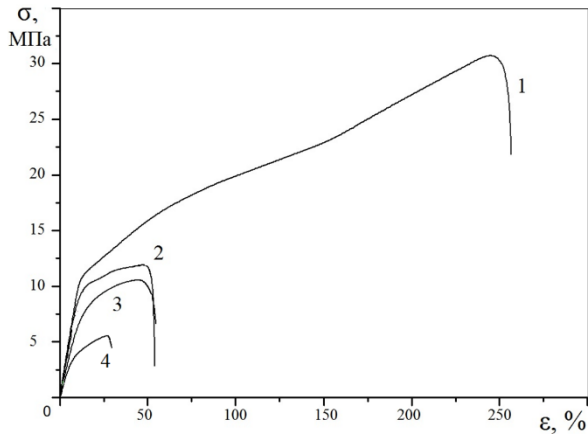


Рис. 1. Залежності  $\sigma(\varepsilon)$  для: 1 - ПТФЕ; 2 - композит ПТФЕ + 20% ВГ; 3 - композит ПТФЕ + 10% АВ; 4 - композит ПТФЕ + 20% АВ.

Таблиця 1. Механічні властивості ПТФЕ і композитів на його основі

Композити	Твердість HRB	$\sigma_0$ , МПа	$\sigma_{max}$ , МПа	$\varepsilon_{max}$ , %
ПТФЕ	4,1	10,6	31,8	254
ПТФЕ + 20ВГ	88,3	9,8	12,0	53
ПТФЕ + 10АВ	99,1	6,1	10,7	48
ПТФЕ + 20АВ	8,5	3,2	5,4	25

На рис. 2. представлені зразки ПТФЕ і композитів на його основі після руйнування. З рис. 2а слідує, що в ПТФЕ відсутня локалізація пластичної деформації, і вона рівномірно розподілена по всій робочій частині зразка. У всіх випадках руйнування зразків відбувалося без утворення шийки (рис.2).

Одержано значення твердості HRB ПТФЕ і композитів на його основі (табл.1). Твердість ПТФЕ становила 4,1, а додавання 20% графіту і 10% вугілля в композиційні суміші збільшили значення твердості до значень 88,3 і 99,1 відповідно. Додавання 20% вугілля в композиційну суміш збільшило значення твердості в 2 рази у порівнянні з ПТФЕ.

Незважаючи на те, що значення границь міцності та коефіцієнтів пружності композитів ПТФЕ + 20% ВГ і ПТФЕ + 10% АВ близькі, з економічної точки зору доцільно використовувати композиційний матеріал армований графітом.

Розроблен технологічний процес виготовлення пористих композитів на основі ПТФЕ з полімерною матрицею армованою графітом.

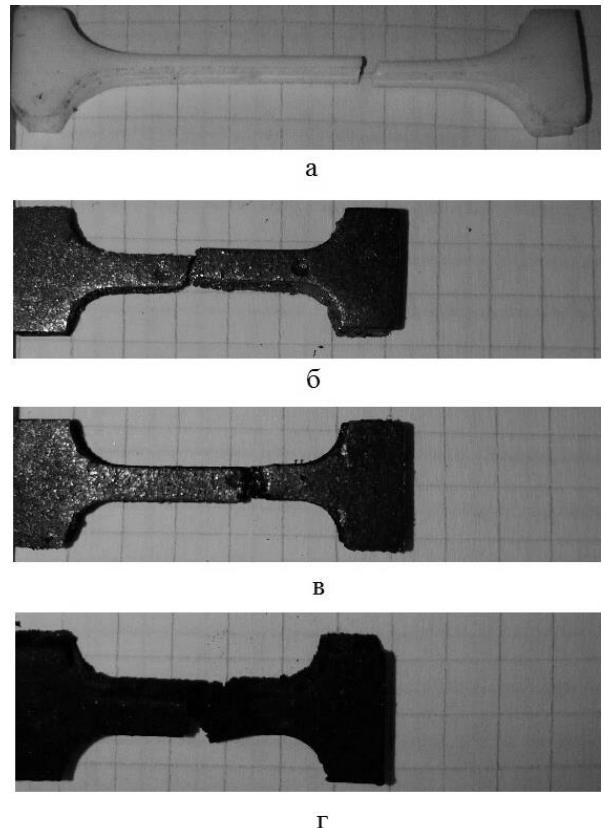


Рис. 2. Зразки після деформації розтягуванням: а - ПТФЕ; б - композит ПТФЕ + 20% ВГ; в - композит ПТФЕ + 10% АВ; г - композит ПТФЕ + 20% АВ.

Основними етапами виготовлення таких матеріалів є:

1. Підготовка порошкоподібного ПТФЕ. Операція полягає в подрібненні ПТФЕ в стані поставки в змішувачі-подрібнювачі з частотою обертання ножів 2000 об/хв протягом 1 хв.

2. Підготовка композиційної суміші матеріалу каркаса. Основою композиційної суміші є попередньо підготовлений ПТФЕ, в який додавався графіт МГ-1 в кількості 20 мас.%. Рівномірність розподілу графіту в порошок ПТФЕ досягалася процесом змішування композиційної суміші в тому ж змішувачі протягом 2 хв.

3. Підготовка пороутворювача. В якості пороутворювача використовувався NaCl, який після подрібнення в кульовому млині просіювався крізь сита з розміром комірок 70, 140, 370 і 500 мкм. Час подрібнення пороутворювача і розмір комірок сита вибирались в залежності від необхідної дисперсності пороутворювача, що забезпечує отримання пористих матеріалів з заданим розміром пор.

4. Змішання компонентів. Компоненти суміші (композиційна суміш і пороутворювач) в певному масовому співвідношенні залежно від дисперсності пороутворювача (80% масова частка пороутворювача в суміші) триразово протирали через сито з розміром комірок 500 мкм.

5. Пресування заготовок пористих матеріалів. Заготовки пористих матеріалів отримували шляхом двостороннього осьового компресійного пресування композиційної суміші в прес-формі з плаваючою матрицею при тиску пресування 150 МПа.

6. Термообробка заготовок пористих матеріалів. Термообробка включала нагрів заготовок з піччю до температури  $385 \pm 2,5$  °С (середня швидкість нагріву  $\sim 2$  °С/хв), витримку при цій температурі (час витримки визначається товщиною заготовки і становить 5 хв на 1 мм її товщини) і охолодження з піччю.

7. Видалення пороутворювача. Охолоджена заготовка занурювалася в ємність з проточною водою, нагрітою до температури  $70 \div 90$  °С. Водорозчинний пороутворювач видалявся протягом  $5 \div 12$  год., в залежності від товщини пористого матеріалу.

8. Сушка пористого матеріалу. Готові пористі матеріали сушили в електричній шафі при температурі  $110 \div 150$  °С протягом  $3 \div 5$  год.

Одержані пористий ПТФЕ і пористі композити на основі ПТФЕ армованого графітом з пористістю  $\varphi = 80\%$ . Порові структури ПТФЕ і пористого композиту на його основі наведені на рис.3.

Видно, що характер порової структури композиту істотно не відрізняється від порової структури ПТФЕ.

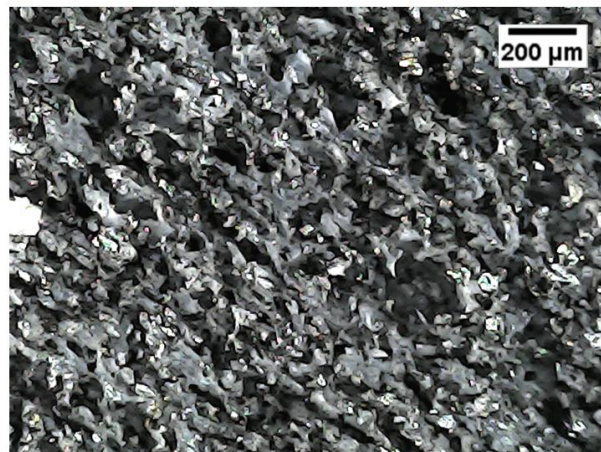
Важливим параметром, що характеризує порову структуру, є її просторова однорідність. Для контролю просторової однорідності порових структур проводилось 50 вимірювань мікротвердості HСа в різних областях одного і того ж зразка пористого ПТФЕ з  $\varphi = 80\%$ , а так само 50 вимірювань HСа на зразку пористого композиту на основі ПТФЕ армованого графітом з тією ж пористістю. Значення мікротвердості пористих ПТФЕ дорівнювала 49 HСа, а значення мікротвердості пористого композиту на основі ПТФЕ армованого графітом була 59 HСа. Для обох матеріалів розкид значень HСа по 50 вимірам не перевищував 4 одиниці. Такі малі відносні значення розкиду вказують на просторову однорідність порових структур, приготовлених у відповідності з розробленим технологічним процесом.

Таким чином розроблен технологічний процес виготовлення пористих композитів на основі ПТФЕ з армованою графітом полімерною матрицею, який дозволив зменшити еластичність і збільшити міцність міжпорових перегородок цих пористих матеріалів, і тим самим одержати матеріали, здатні зберігати задані параметри порової структури і надійно працювати при підвищених температурах аж до 250 °С.

надійно працювати як фільтруючий елемент при підвищених температурах аж до 250 °С.



а



б

Рис.3. Структура пористого ПТФЕ (а)  
і пористого композиту  
ПТФЕ + 20% ВГ(б) з  $\varphi = 80\%$

**Висновки.** Виготовлені композиційні матеріали на основі ПТФЕ, армовані графітом і активованим вугіллям і отримані дані про їх структуру та механічні властивості. Результати показали, що для виготовлення фільтруючих елементів пористих композитів найбільш придатний є композитний матеріал, полімерна матриця якого армована графітом. Розроблено технологічний процес вироблення пористих композитів на основі ПТФЕ з полімерною матрицею армованою графітом, що дозволило зменшити еластичність і збільшити міцність міжпорових перегородок пористих матеріалів, і тим самим отримати фільтруючі матеріали, здатні зберігати задані параметри порової структури і надійно працювати при підвищених температурах аж до 250 °С.

## Література

1. Azarniya, A., Azarniya, A., Safavi, M.S., Farshbaf Ahmadipour, M., Esmaeeli Seraji, M., Sovizi, S., Saqaei, M., Yamanoglu, R., Soltaninejad, M., Madaah Hosseini, H.R., Ramakrishna, S., Kawasaki, A., Adams, S., Reddy M.V. (2020) "Physicomechanical Properties of Porous Materials by Spark Plasma Sintering", *Crit. Rev. Solid. State.*, (1(45)), pp. 26-65.
2. Kaliuzhnyi, O. B., Platkov, V. Ya. (2020) "Formation of Porous Poly(tetrafluoroethylene) Using a Partially Gasified Porogen", *Iran J. Mater. Sci. Eng.*, (2(17)), pp. 13-19.
3. Kalyuzhny, A.B., Karpova, T.L., Kalyuzhny, B.G., Platkov, V.Ya. (1999) "Structure and functional properties of high-porosity material based on Fluoroplast-4", *Funct. Mater.*, (6(2)), pp. 305-309.
4. Hogg, R. (2009) "Mixing and Segregation in Powders: Evaluation, Mechanisms and Processes", *Kona Powder Part. J.* (27), pp. 3-17.
5. Anovitz, L.M., Cole, D.R. (2015) "Characterization and Analysis of Porosity and Pore Structures", *Rev. Mineral. Geochem.*, (1(80)), pp. 61-164.
6. Liu, P.S., Chen., G.F. (2014) *Porous Materials. Processing and Applications.* Elsevier Inc., 576 p.
7. ISO 868:2003, *Plastics and ebonite — Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness).*
8. Brown, E. N., Trujillo, C. P., Gray, G. T., Rae, P. J., Bourne Citation, N. K. (2007) "Soft recovery of polytetrafluoroethylene shocked through the crystalline phase II-III transition", *J. Appl. Phys.* (2(101)) pp. 024916-024916-10.
9. Wang, H.-X., Fang, X., Feng, B., Gao, Z.-R., Wu, S.-Z., Li. Y.-C. (2018) "Influence of Temperature on the Mechanical Properties and Reactive Behavior of Al-PTFE under Quasi-Static Compression", *Polymers*, (1(10)), pp. 56-67.
10. Калюжный, А.Б., Платков, В.Я., Калюжный, Б.Г. (2017) "Формирование давлением структуры и свойств пористых материалов на основе фторопласта-4", *Вісник ХНТУСГ. Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві*, (183) стр. 39-44
11. Drobny, J.G. (2009) *Technology of fluoropolymers.* CRC Press Taylor & Francis Group, 250 p.

## Аннотация

### Расширение температурного диапазона эксплуатации фильтрующих материалов на основе политетрафторэтилена путем армирования полимерной матрицы

Н.В. Исаев, А.Б. Калюжный, В.Я. Платков

С целью повышения устойчивости порового пространства пористого политетрафторэтилена (ПТФЭ) при повышенных температурах были приготовлены композиты на основе коммерческого ПТФЭ. В качестве армирующих материалов использовались высокоочищенный графит марки МГ-1 и порошок активированного угля. Получены деформационные кривые и значения твердости HRB ПТФЭ и композитов на

## Reference

1. Azarniya, A., Azarniya, A., Safavi, M.S., Farshbaf Ahmadipour, M., Esmaeeli Seraji, M., Sovizi, S., Saqaei, M., Yamanoglu, R., Soltaninejad, M., Madaah Hosseini, H.R., Ramakrishna, S., Kawasaki, A., Adams, S., Reddy M.V. (2020) "Physicomechanical Properties of Porous Materials by Spark Plasma Sintering", *Crit. Rev. Solid. State.*, (1(45)), pp. 26-65.
2. Kaliuzhnyi, O. B., Platkov, V. Ya. (2020) "Formation of Porous Poly(tetrafluoroethylene) Using a Partially Gasified Porogen", *Iran J. Mater. Sci. Eng.*, (2(17)), pp. 13-19.
3. Kalyuzhny, A.B., Karpova, T.L., Kalyuzhny, B.G., Platkov, V.Ya. (1999) "Structure and functional properties of high-porosity material based on Fluoroplast-4", *Funct. Mater.*, (6(2)), pp. 305-309.
4. Hogg, R. (2009) "Mixing and Segregation in Powders: Evaluation, Mechanisms and Processes", *Kona Powder Part. J.* (27), pp. 3-17.
5. Anovitz, L.M., Cole, D.R. (2015) "Characterization and Analysis of Porosity and Pore Structures", *Rev. Mineral. Geochem.*, (1(80)), pp. 61-164.
6. Liu, P.S., Chen., G.F. (2014) *Porous Materials. Processing and Applications.* Elsevier Inc., 576 p.
7. ISO 868:2003, *Plastics and ebonite — Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness).*
8. Brown, E. N., Trujillo, C. P., Gray, G. T., Rae, P. J., Bourne Citation, N. K. (2007) "Soft recovery of polytetrafluoroethylene shocked through the crystalline phase II-III transition", *J. Appl. Phys.* (2(101)) pp. 024916-024916-10.
9. Wang, H.-X., Fang, X., Feng, B., Gao, Z.-R., Wu, S.-Z., Li. Y.-C. (2018) "Influence of Temperature on the Mechanical Properties and Reactive Behavior of Al-PTFE under Quasi-Static Compression", *Polymers*, (1(10)), pp. 56-67.
10. Kalyuzhnyi, A.B., Platkov, V.Ya., Kalyuzhny, B.G. (2017) "Formirovanie davleniem struktury i svojstv poristykh materialov na osnove ftoroplasta-4", *Visnyk KhNTUSH. Resursozberihaiuchi tekhnolohii, materialy ta obladnannia u remontnomu vyrobnytstvi*, (183) pp. 39-44
11. Drobny, J.G. (2009) *Technology of fluoropolymers.* CRC Press Taylor & Francis Group, 250 p.

его основе. Разработан технологический процесс получения пористых композитов на основе ПТФЭ с полимерной матрицей армированной графитом МГ-1. При получении объемных пористых композитов с открытой пористостью и контролируемой поровой структурой в качестве порообразователя использовался хлористый натрий, который удалялся из заготовок посредством выщелачивания.

Получены пористые материалы на основе ПТФЭ с пористостью  $\varphi = 80\%$ , а так же пористые композиты на основе ПТФЭ армированные графитом с той же пористостью. Оптико-микроскопические исследования пористого ПТФЭ и пористого композита на основе ПТФЭ армированного графитом показали идентичность их поровых структур. Предложен метод оценки однородности поровых структур посредством многократных измерений микротвердости в различных областях пористых полимеров. Установлено, что разработанный технологический процесс получения пористого ПТФЭ и пористого композита на основе ПТФЭ, армированного графитом, обеспечивает формирование однородных поровых структур.

Получены значения микротвердости пористых ПТФЭ. Показано, что армирование графитом полимерной матрицы уменьшает эластичность и увеличивает прочность их межпоровых перегородок. Это позволило получить фильтрующие материалы, способные сохранять заданные параметры поровой структуры и надежно работать при повышенных температурах до 250 °C

**Ключевые слова:** пористые полимеры, армированный политетрафторэтилен, твердость и микротвердость ПТФЭ

#### Abstract

### Expansion of the temperature range of operation of filter materials based on polytetrafluoroethylene by reinforcing the polymer matrix

M.V. Isaev, O.B. Kaliuzhnyi, V.Ya. Platkov

In order to increase the stability of the pore space of porous polytetrafluoroethylene (PTFE) at elevated temperatures, composites based on commercial PTFE have been prepared. Highly refined MG-1 graphite and activated carbon powder were used as reinforcing materials. Deformation curves and hardness values of HRB PTFE and composites based on it were obtained. A technological process of the production of porous composites based on PTFE with a polymer matrix reinforced with graphite MG-1 has been developed. The sodium chloride was used as a porogen, which was removed from the semi-finished products by leaching for the production of bulk porous composites with open porosity and controlled pore structure.

The porous materials based on PTFE with a porosity of  $\varphi = 80\%$  and porous PTFE-based composites reinforced with graphite with the same porosity, were obtained. Optical microscopic studies of porous PTFE and porous composite based on PTFE reinforced with graphite showed the identity of their pore structures. A method is proposed for assessing the homogeneity of pore structures by means of multiple measurements of microhardness in various areas of porous polymers. It was found that the developed technological process for production of porous PTFE and a porous composite based on PTFE reinforced with graphite ensures the formation of homogeneous pore structures.

The values of the microhardness of porous PTFE have been obtained. The graphite reinforcement of the polymer matrix is shown to decrease the elasticity and increase the strength of their inter-pore partitions. This made it possible to obtain filter materials capable of maintaining the specified parameters of the pore structure and operating reliably at elevated temperatures up to 250 °C.

**Keywords:** porous polymers, reinforced polytetrafluoroethylene, hardness and microhardness of PTFE.

#### Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Isaev, M., Kaliuzhnyi, O. and Platkov, V. (2021). Expansion of the temperature range of operation of filter materials based on polytetrafluoroethylene by reinforcing the polymer matrix. *Engineering of nature management*, 4(22), pp. 7 - 12.

Подано до редакції / Received: 20.10.2021