

**ВПЛИВ ВОЛОКНА ТАНЛОН НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
ОРГАНОПЛАСТИКІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ С-1**

*У статті розглянуто вплив полісульфонамідного волокна Танлон Т700 на фізико-механічні та трибологічні властивості ароматичного поліаміду фенілону С-1. Аналіз фізико-механічних досліджень показав деяке покращення міцнісних характеристик в'язучого при введенні 5–10 мас.% волокна. При збільшенні масової частки наповнювача даний показник погіршується, що пов'язано з недостатньою адгезією між наповнювачем та в'язучим, внаслідок великої жорсткості волокна. Що стосується показника абразивної зносостійкості, то як і у випадку міцнісних характеристик, максимальне покращення (на 22–42 %), спостерігається для органопластиків із вмістом наповнювача 5–10 мас.%. Подальше збільшення наповнювача в полімерній матриці до 20 мас.% призводить до зростання дефектності матеріалу за рахунок домінуючого розпушення волокон, яке призводить до утворення «непросочених» ділянок на границі поділу «фенілон-волокно». Композит з оптимальним вмістом волокна (10 мас.%), можна рекомендувати для виготовлення деталей трибовузлів сучасного обладнання. [dx.doi.org/10.29010/087.7]*

*Ключові слова:* органопластик; полісульфонамід; стиснення; показник абразивного стирання; експлуатаційні характеристики.

**Вступ**

Сучасне машино- та приладобудування, сільсько-господарська й авіаційна техніка, енергетична та ткацька промисловість не можуть обійтися без застосування волокнистих полімерних композиційних матеріалів, зміцнених органічними волокнами, які завдяки поєднанню унікальних властивостей (високої демпфуючої здатності, стійкості до дії високих температур і корозії, малої питомої ваги) ефективно конкурують з традиційними конструкційними металами (чавун, сталь, бронза, латунь тощо) [1, 2].

Трибовузли укомплектовані деталями з таких композитів працюють в умовах тертя без змащення (яке у ряді випадків забруднює навколишнє середовище), що призводить до покращення екологічної безпеки при їх експлуатації, здешевлення ремонту та експлуатації обладнання, підвищення терміну служби та надійності [3, 4].

Ароматичний поліамід фенілон добре зарекомендував себе при виготовленні волокнистих полімерних композиційних матеріалів, здатних працювати тривалий час при температурах 523 – 533 К під дією радіаційного та хімічного впливу, а також у вузлах тертя машин та механізмів [5].

Враховуючи зазначене, мета даної роботи полягала у дослідженні експлуатаційних характеристик органопластиків (ОП) на основі ароматичного

поліаміду фенілону марки С-1, армованого полісульфонамідним волокном марки Танлон Т700.

**Об'єкти та методи досліджень**

Як полімерну матрицю використовували ароматичний поліамід фенілон марки С-1 (ТУ 6-05-221-101-71) – дисперсний порошок рожевого кольору з насипною густиною 0,2-0,3 г/см<sup>3</sup>, що характеризується наступними властивостями: густина – 1,35 г/см<sup>3</sup>, ударна в'язкість – 20 кДж/м<sup>2</sup>, твердість – 180 МПа, температура розм'якшення за Віка – 543 К. Призначається для виготовлення пластмасових виробів методом прямого пресування [6].

Як наповнювач обрали органічне полісульфонамідне волокно марки Танлон Т700 (виробництво Шанхай), основні властивості якого наведені в табл. 1.

Приготування ОП на основі фенілону, що містять 5-20 мас.% органічного полісульфонамідного волокна (5-7 мм), здійснювали методом сухого змішування в апараті з обертальним електромагнітним полем (0,12 Тл) за допомогою феромагнітних часток, які з приготовленої композиції вилучали методом магнітної сепарації.

Перед формуванням поліамід марки фенілон С-1 та композити на його основі необхідно ретельно висушити. Переробка у виробі невисушених

Властивості полісульфонамідного волокна [7]

Показник	Величина
Густина, г/см <sup>3</sup>	1,42
Модуль пружності при розтягуванні, ГПа	7,45
Відносне видовження при розриванні, %	20-25
Міцність при розриванні, сН/дтекс	>3
Температура розм'якшення, К	640
Температура експлуатації, К: - тривалої; - короткочасної	523 573
Кисневий індекс	33

матеріалів погіршує їхню міцність, що призводить до утворення поверхневих дефектів (раковин, пухирів тощо). Сушку заготовок проводили в термошафі SPT-200 протягом 2-3 год. при 473-523 К. Заготівку з термошафи відразу ж завантажували до прес-форми, нагрітої до 523 К. Після чого її нагрівали до 598 К, витримували без навантаження 10 хв. і під навантаженням (50 МПа) 5 хв. Далі прес-форму охолоджували при постійному навантаженні до температури 543 К і вилучали готовий виріб.

Стиснення органопластиків проводили на універсальній машині FP-100, відповідно до ГОСТ 4651-78.

Коефіцієнт Пуассона (1), модуль зсуву (2) і об'ємного стиснення (3), а також параметр Ламе (4) розраховували за формулами:

$$\mu = \frac{(E - 6 \cdot \sigma_n)}{6 \cdot \sigma_n + 2 \cdot E}, \quad (1)$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}, \quad (2)$$

$$K = \frac{E}{3 \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}, \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{\mu \cdot E}{(1 + \mu) \cdot (1 - 2 \cdot \mu)}, \quad (4)$$

де  $E$  – модуль пружності, МПа;

$\sigma_n$  – межа плинності при стисненні, МПа.

Мікротвердість досліджували за допомогою мікротвердоміру ПМТ – 3М. Густина зразків визначали адитивним та гідростатичним методом згідно з ГОСТ 15139-69.

Дослідження матеріалів на абразивне зношування нерухомо закріпленими абразивними частками

(дисперсність шкурки 40–60 мкм) проводили згідно з ГОСТ 11012-69 на дослідній машині Hecker. Показник абразивного стирання визначали відповідно до формули:

$$V_i = \frac{\Delta G \cdot 1000}{\rho \cdot L}, \quad (5)$$

де  $\Delta G$  – величина масового зношування;

$\rho$  – густина матеріалу, що зношується, г/см<sup>3</sup>;

$L$  – довжина шляху стирання, м.

### Результати досліджень

Криві «міцність при стисненні ( $\sigma$ )-деформація ( $\epsilon$ )» фенілону С-1 та ОП на його основі, що містять 5–20 мас.% волокна (рис. 1), згідно до класифікації Херцберга [8] відповідають V типу кривих, який характеризує пружну гетерогенно-пластичну поведінку. А саме, на ділянці до 170 МПа спостерігається лінійна залежність від  $\epsilon$ , що відповідає пружній поведінці матеріалу, далі форма кривих пояснюється результатом розвитку двох конкуруючих процесів. Перший процес характеризується пластичною течією, що протікає за рахунок руйнування вихідної структури полімеру (у результаті спостерігається падіння навантаження). Другий процес характеризується перебудовою зруйнованої структури у нову, за рахунок накопичення деформаційних напружень (відбувається деформаційне зміцнення).

Аналіз результатів фізико-механічних досліджень показав покращення міцнісних характеристик при введенні 5-10 мас.% волокна (рис. 2), що свідчить про збільшення опору матеріалу до зсувних деформацій. Настільки незначне збільшення харак-

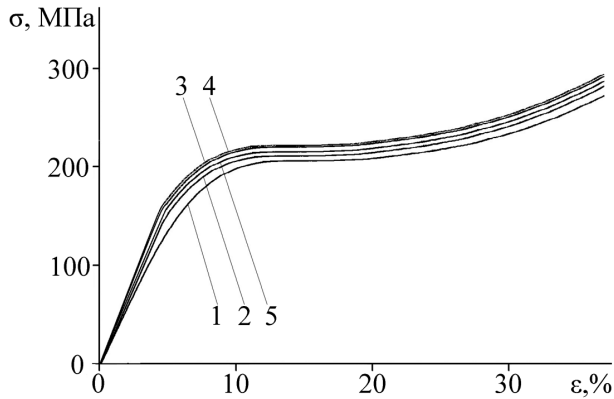


Рис. 1. Криві  $\sigma$ - $\epsilon$  – фенілона С-1 (1) та органопластиків, армованих 5 (2); 10 (3); 15 (4); 20 (5) мас. % волокна Танлон Т700

теристик можна пояснити недостатнім змочуванням волокна в'язучим, внаслідок великої жорсткості волокна [9].

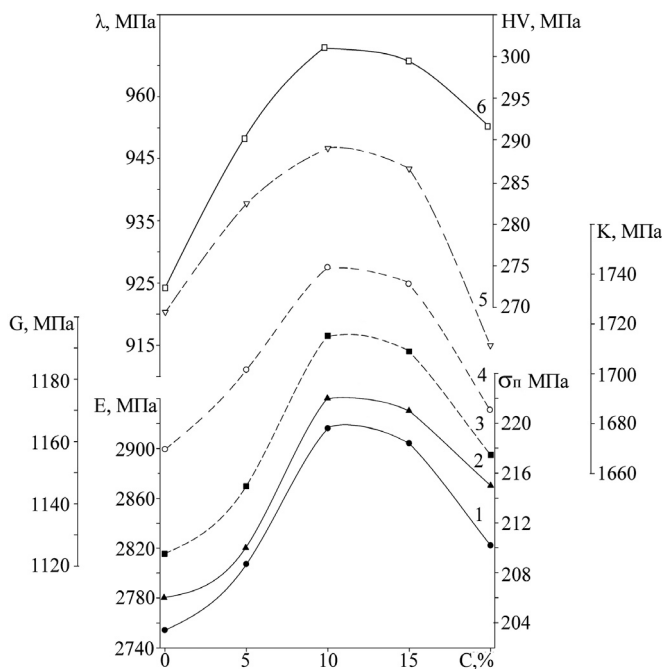


Рис. 2. Вплив органічного волокна Танлон на модуль пружності (1); межу плинності (2); модуль зсуву (3); модуль об'ємного стиснення (4); параметр Ламе (5); мікротвердість матриці (6)

Аналіз результатів триботехнічних характеристик розроблених ОП (рис. 3) свідчить що використання як наповнювача полісульфонамідного волокна є перспективним шляхом зменшення показника абразивного стирання вихідного полімеру (абразивна зносостійкість покращується на 22-42%) [10]. Це відбувається за рахунок зміцнення полімерної матриці при введенні органічного

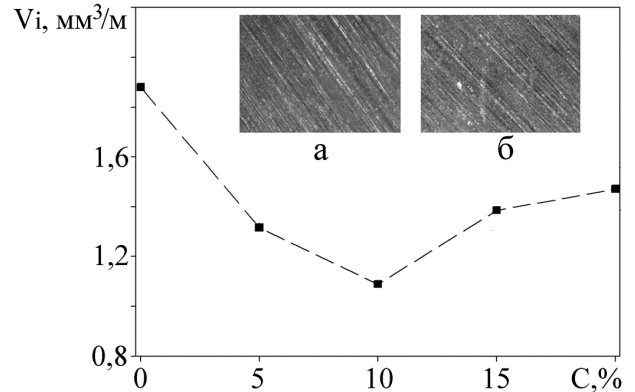


Рис. 3. Вплив вмісту полісульфонамідного волокна на показник абразивного стирання та поверхні тертя фенілону (а) і органопластику, що містить 10 мас.% Танлону (б), ( $\times 100$ )

волокна, як наслідок зменшуються борозни прорізування органопластиків та гальмується розвиток деструктивних процесів на поверхні тертя, що збільшує зносостійкість ОП. Як і у випадку фізико-механічних характеристик, максимальне покращення показника абразивного стирання спостерігається для ОП армованих 5-10 мас.% волокна Танлон Т700, при подальшому збільшенні його кількості у в'язучому (до 20 мас.%) спостерігається його збільшення. Отримані дані пояснюються зростанням дефектності матеріалу за рахунок домі-

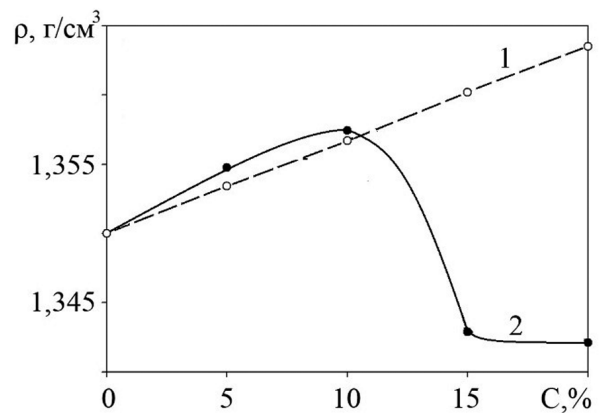


Рис. 4. Розрахункова (1) та експериментальна (2) густина фенілону та органопластиків на його основі

нуючого розпушення волокон, яке призводить до утворення «непросочених» ділянок на границі поділу «фенілон-волокно» [11]. Підтвердженням сказаного служить той факт, що густина ОП визначена гідростатичним методом нижча за передбачувану розрахункову при вмісті 15-20 мас.% наповнювача (рис. 4).

## Висновок

В результаті проведених досліджень встановлено, що оптимальним комплексом фізико-механічних та трибологічних властивостей характеризується органопластик із вмістом наповнювача 10 мас.%. При оптимальному вмісті наповнювача ОП характеризується підвищеними експлуатаційними характеристиками, що дозволяє рекомендувати його для виготовлення деталей машин і механізмів, працюючих у важконавантажених вузлах тертя: зубчастих коліс і ввінців, підшипників кочення тощо. При подальшому збільшенні наповнювача в полімерній матриці спостерігається різке погіршення зазначених характеристик, пов'язане зі збільшенням дефектності матеріалу.

## Література

- [1] Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы [Текст] / Л. И. Бондалетова, В. Г. Бондалетов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 118 с.
- [2] Investigation of dynamic properties of a polymer matrix composite with different angles of fiber orientations [Text] / E. Kadioglu, T. Coskun, M. Elfarra // 5th Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2018). – 2018. doi:10.1088/1757-899X/369/1/012037
- [3] Материаловедение. Технология композиционных материалов [Текст] / [Кобелев А. Г., Шаронов М. А., Кобелев О. А., Шаронова В. П.]. – М.: КноРус, 2016. – 270 с.
- [4] Исследование триботехнических характеристик полимерного покрытия на основе фенилона, модифицированного комплексными соединениями меди состава [CU(HL)2X]2 [Текст] / В. И. Сытар, Н. М. Евдокименко, А.В. Стовпник [и др.] // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – №5. – С. 85–93.
- [5] Протонная магнитная релаксация в ароматических полиамидах при сорбции водяного пара [Текст] / Т.В. Смотрина, Ю.С. Чулкова, Д.В. Карасев [и др.] // Журнал Физической химии. – 2009. – Т.83, №7. – С. 1346 – 1351.
- [6] Машиностроительные материалы. Краткий справочник / В. М. Раскатов, В. С. Чуенков, Н. Ф. Бессонова, Д.А. Вейс. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 511 с.
- [7] Fiber materials [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://en.tanlon.com.cn/Products/fms/>.
- [8] Херцберг Р. В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов [Текст] / Р. В. Херцберг. пер. с англ. // под. ред. М.Л. Бернштейна. – М.: Металлургия. – 1989. – 560 с.
- [9] Баурова Н. И. Методы оценки эксплуатационных свойств деталей из полимерных композиционных материалов [Текст] / Н. И. Баурова, В. А. Зорин. – М.: МАДИ, 2017. – 84 с.
- [10] Влияние органических волокон на абразивную износостойкость органопластиков [Текст] / А. И. Буря, А.-М.В. Томина, В. И. Теренин // Тези доповіді XIV Української конференції з високомолекулярних сполук (Київ, 15 – 18 жовтня, 2018 р.). – Київ: Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, 2018. – С. 303 – 304.
- [11] Карпинос Д. М. Полимеры и композиционные материалы на их основе в технике [Текст] / Д. М. Карпинос, В. И. Олейник. – Киев: Наук. Думка, 1981. – 180 с.

*Burya A.I., Tomina A.-M.V., Yeriomina Ye.A.*

Dneprovskii State Technical University. Ukraine, Kamenskoe

### INFLUENCE OF FIBER TANLON ON THE PERFORMANCE OF ORGANOPLASTIC ON THE BASIS OF PHENYLONE C-1

*The article discusses the effect of polysulfonamide Tantlon T700 fiber on the physico-mechanical and tribological properties of the aromatic polyamide of phenylone C-1. Analysis of physico-mechanical studies showed some improvement in the strength characteristics of the binder with the introduction of 5-10 wt.% fiber. With an increase in the mass fraction of the filler, this indicator deteriorates due to insufficient adhesion between the filler and the binder, due to the high rigidity of the fiber. As for the indicator of abrasive wear resistance, then, as in the case of strength characteristics, the maximum improvement (by 22-42%) is observed for organoplastic materials with a filler content of 5-10 wt.% by weight. A further increase in the filler in the polymer matrix to 20 wt.% leads to an increase in the defectiveness of the material due to the dominant loosening of the fibers, which leads to the formation of «non-impregnated» areas at the interface «phenylone-fiber». Composite with optimal fiber content (10 wt.%), can be recommended for the manufacture of parts of tribological units of modern equipment. [dx.doi.org/10.29010/087.7]*

*Key@ords:* organoplastic; polysulfonamide; compression; abrasion resistance; performance characteristics.

### References

- [1] Bondaletova L.I. Polimernye kompozicionnye materialy [Text] / L.I. Bondaletova, V.G. Bondaletov. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2013. – 118 p.
- [2] Investigation of dynamic properties of a polymer matrix composite with different angles of fiber orientations [Text] / F. Kadioglu, T. Coskun, M. Elfarra // 5th Global Conference on Polymer and Composite Materials (PCM 2018). – 2018. doi:10.1088/1757-899X/369/1/012037
- [3] Materialovedenie. Tehnologija kompozicionnyh materialov [Text] / [Kobelev A.G., Sharonov M.A., Kobelev O.A., Sharonova V.P.]. – M.: KnoRus, 2016. – 270 p.
- [4] Issledovanie tribotekhnicheskikh harakteristik polimernogo pokrytija na osnove fenilona, modifitsirovannogo kompleksny-mi soedinenijami medi sostava [CU(HL)2X]2 [Text] / V.I. Sytar, N.M. Evdokimenko, A.V. Stovpnik [i dr.] // Voprosy himii i himicheskoy tehnologii. – 2013. – №5. – P. 85 – 93.
- [5] Protonnaja magnitnaja relaksacija v aromaticeskikh poliamidah pri sorbcii vodjanogo para [Text] / T.V. Smotrina, Ju.S. Chulkova, D.V. Karasev [i dr.] // Zhurnal Fizicheskoy himii. – 2009. – T.83, №7. – P. 1346 – 1351.
- [6] Mashinostroitel'nye materialy. Kratkij spravochnik / V.M. Raskatov, B.C. Chuenkov, N.F. Bessonova, D.A. Vejs. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 511 p.
- [7] Fiber materials [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://en.tanlon.com.cn/Products/fms/>.
- [8] Hercberg R. V. Deformacija i mehanika razrushenija konstrukcionnyh materialov [Text] / R. V. Hercberg, per. s angl. // pod. red. M.L. Bernshtejna. – M.: Metallurgija. – 1989. – 560 p.
- [9] Baurova N.I. Metody ocenki jekspluatacionnyh svojstv detalej iz polimernyh kompozicionnyh materialov [Text] / N.I. Baurova, V.A. Zorin. – M.: MADi, 2017. – 84 p.
- [10] Vlijanie organicheskikh volokon na abrazivnuju iznosostojkost' organoplastikov [Text] / A.I. Burya, A.-M.V. Tomina, V.I. Terenin // Tezy` dopovidi XIV Ukrayins`koy konferenciyi z vy`sokomolekulyarny`x spoluk (Ky`yiv, 15 – 18 zhovt-nya, 2018 r.). – Ky`yiv: Insty`tut ximiyi vy`sokomolekulyarny`x spoluk NAN Ukrayiny, 2018. – P. 303 – 304.
- [11] Karpinos D.M. Polimery i kompozicionnye materialy na ih osnove v tehnike [Text] / D.M. Karpinos, V.I. Olejnik. – Kiev: Nauk. Dumka. – 180 p.