



УДК 539.3:539.4

*Буря О. І., Набережна О. О.*

Дніпродзержинський державний технічний університет. Україна, м. Дніпродзержинськ

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ САМОАРМОВАНИХ ОРГАНОПЛАСТИКІВ

*У статті обговорено можливість розробки та створення нових полімерних композиційних матеріалів на основі ароматичного поліаміду – фенілон. Були досліджені фізико-механічні властивості самоармованих органопластиків. Показано, що накопичення деформацій призводить до перебудови зруйнованої структури в нову більш міцну. Результати досліджень дозволили прийти до висновку, що отриманий матеріал відрізняється гарною адгезією полімерної матриці до волокна, більш високою міцністю та еластичністю.*

*Ключевые слова:* ароматичний поліамід; органічне волокно; органопластик; деформація; напруження; навантаження.

### 1. Вступ

Сучасний розвиток техніки і виробництва тісно пов'язаний з прогресом в області розробки нових видів конструкційних матеріалів. Прорив у нові галузі знань, технологій, створення виробів з необхідними властивостями, різке поліпшення економічних показників, набуття техніко-економічної незалежності – все це можливо завдяки новим матеріалам. Особливе місце серед композитів займають високоефективні полімерні композиційні матеріали (ПКМ), які армовані хімічними органічними волокнами. Отримані органопластики (ОП) з питомою міцністю в 3-4 рази перевищуючі міцність легованих сталей та титанових сплавів. Створення ПКМ – гетерогенних систем з високорозвиненою поверхнею розділу фаз полімерна матриця – волокнистий наповнювач неможливе без вивчення закономірностей поведінки полімерного в'язучого на границі розділу з волокнистим наповнювачем без оцінки енергії цієї взаємодії, яка визначає адгезію полімерів, та експлуатаційні характеристики. Для органічних волокон питання вибору в'язучого набуває особливого значення, у зв'язку з їх чутливістю до взаємодії полімерного в'язучого і його ком-

понентів [1]. В останні роки розроблені нові типи органічних волокон, з яких найбільш міцними та жорсткими являються волокна на основі ароматичних поліамідів. Вже невеликий вміст наповнювача в композитах такого типу призводить до появи якісно нових фізико-механічних та технологічних властивостей матеріалу, підвищення експлуатаційних характеристик як конструкційного, підшипникового пластику. Широко варіювати властивості матеріалу дозволяє також зміна розміру та концентрації волокон [2].

### 2. Постановка задачі

У зв'язку з вищесказаним, мета даної роботи – розробка пластиків триботехнічного призначення та вивчення закономірностей формування властивостей самоармованих ОП на основі термостійкої матриці, хаотично армованої дискретними хімічними волокнами. Це дозволить науково обґрунтувати оптимальні технологічні процеси отримання та переробки волокнітів, підвищити ступінь реалізації властивостей компонентів в пластиках, визначити діапазони їх працездатності, області їх ефективного застосування [1].

### 3. Об'єкти та методи досліджень

Композицію, до складу якої входить фенілон С-1 (95 мас.%) (ТУ 6-05-221-101-71), який являє собою дрібнодисперсний порошок рожевого кольору з насипною густиною 0,2-0,3 г/см<sup>3</sup> і питомою в'язкістю 0,5%-ого розчину в диметилформаміді з 5% хлористого літію не менше 0,75 та органічне волокно фенілон С-1 (5 мас.%), довжиною 1-5 мм з концентрацією (5-20 мас.%). Технологічний процес виготовлення зразків композиційних матеріалів включав в себе декілька етапів. Для виготовлення композиції в ємність завантажували визначені наважки порошкоподібного фенілону та подрібненого волокна, додавали феромагнітні частки, виготовлені у вигляді циліндрів, діаметром 2 мм, довжиною 15 мм. Ємність поміщали в обергальне електромагнітне поле (0,12-0,15 Тл), під дією якого феромагнітні частки приходили в інтенсивний хаотичний рух, забезпечуючи при цьому рівномірне змішування. Готову суміш таблетували при кімнатній температурі і тиску 30 МПа, враховуючи збільшення зразків на 1,5-2% після вилучення із форми. Перед переробкою відтабовані зразки витримували в термошафі впродовж 2-3 год. при температурі 473-523 К. Після чого таблетки одразу ж завантажували в прес-форму, нагріту до 523 К, нагрівали до 593-598 К і витримували при цій температурі 10 хв. без тиску та 10 хв. під тиском 30 МПа. Витримку під тиском визначали з розрахунку 1 хв./мм товщини зразка. Для фіксації форми виріб охолоджували під тиском до температури 523 К і далі виштовхували із прес-форми. Готові вироби піддавали механічній обробці, яка головним чином полягала в зачистці виробів – видаленні оболу. При необхідності за допомогою різних методів обробки можна змінюва-

ти форму виробів, підвищувати точність розмірів [3]. Визначення руйнівного напруження при стисненні, відносної деформації при руйнуванні проводили згідно ГОСТ 4651-78 на машині ІМ-4Р. Для дослідження використовували зразки діаметром 10 мм і висотою 15 мм. Опорні площини зразків повинні бути паралельними в межах 0,1% від висоти зразка в напрямку, перпендикулярному напрямкові прикладеного навантаження. Також була проведена оцінка термопластичних матеріалів при проведенні досліджень за методом Шарпі по стандарту «ASTM D 256» на маятниковій машині фірми «Чеаст» 6545/000. Досліджувані зразки мали розмір 6×4×50 см, бокові сторони знаходились під кутом 400 з радіусом кривизни 0,025 см, відстань між опорами 40 мм.

### 4. Результати та їх обговорення

На рис.1 представлені криві «напруження-деформація» ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) вихідного фенілону і ОП на його основі. Аналізуючи хід кривих, слід зауважити, що вони є типовими для аморфних полімерів [4].

На кривих можна виділити наступні ділянки:

- ділянка, на якій напруження і деформація пропорційні одне одному. Крива  $\sigma$ - $\epsilon$ , в цьому випадку, представлена прямою, яка описується рівнянням (1), що називається законом Гука:

$$\sigma = E \cdot \epsilon; \quad (1)$$

- крім вже розглянутої прямолінійної ділянки, яка описує пружні деформації при малих її значеннях, на кривих є параболічна ділянка, яка свідчить про схильність розроблених матеріалів до пластичного деформування;

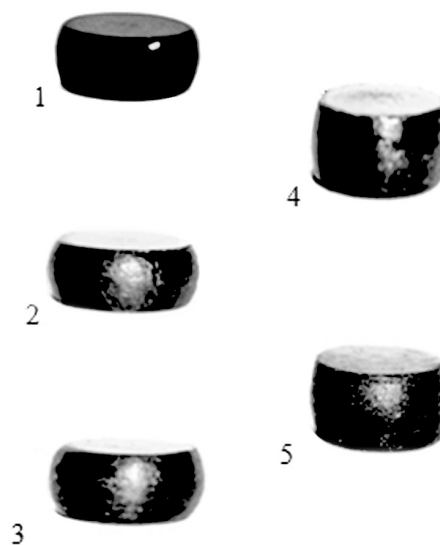
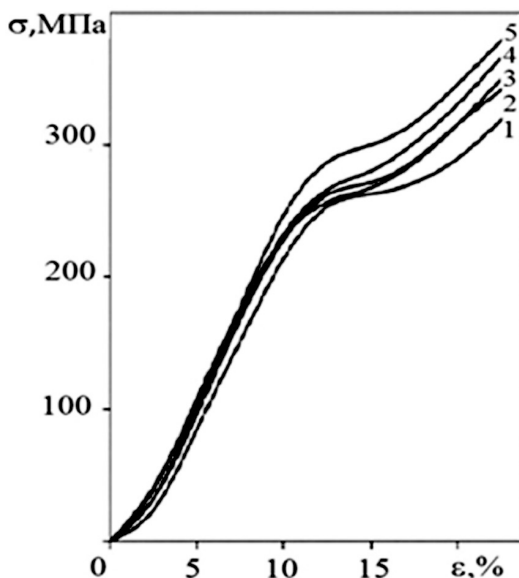


Рис. 1. Типові криві  $\sigma$ - $\epsilon$  для фенілону (1) і ОП, що містять 5 (2, 3) та 10 (4, 5) мас.% волокна довжиною 3 і 5 (2, 3) та 1 і 3 (4, 5) мм

- висока пластична текучість відбувається з руйнуванням вихідної структури полімеру.

Накопичення деформацій призводить до перебудови зруйнованої структури в нову більш міцну. По мірі того, як все більша кількість ділянок фенілону приймає нову структуру, зростає опір матеріалу деформації – починається стадія деформаційного зміцнення – крива  $\sigma$ - $\epsilon$  знову починає підійматись. Деформаційне зміцнення відбувається за рахунок переорієнтації макромолекул в'язучого і закінчується руйнуванням.

Експериментальні криві навантаження – час характеризують поведінку матеріалу при ударному руйнуванні представлені на рис. 2, а.

З рисунку видно, що крива 1 має характер зростання близький до лінійного, досягаючи максимального значення в точці  $\beta_1$ , де відбувається безпосередньо руйнування. Також ця полого ділянка свідчить про початок процесу пластичного розсіювання. Падіння кривої від точки  $\beta_1$  до  $\gamma_1$  характеризується повним руйнуванням, після чого ми бачимо криву, обумовлену коливаннями залишкового уламку. Подібна поведінка матеріалів вказує на те, що полімери мають слабку здібність розсіювати енергію.

На кривій 2 показана поведінка матеріалу по лінії  $\alpha_2$ , де напруження проявляє нестабільність, але зберігаючи певну лінійність при своєму загальному зростанні. Така нестабільність може бути витлумачена, як локальна усадка, яка можливо відбувається із-за руйнування волокон [5].

Цей процес можливий в тих випадках, коли має місце гарна адгезія між волокном та матрицею. Про

це можливо судити, розглядаючи напруження, при яких проявляються дві особливості:

- чим вищі відповідні напруження, тим вища адгезія волокна до матриці

- при рівності розмірних параметрів і рівному вмісті волокна.

Порівнюючи результати, на кривих 1 і 2 можна судити про те, що наскільки менше відношення  $\beta/\alpha$ , настільки більша розсіюча здатність композиту. Потенційна енергія еластичності, яка залишається до моменту різкої усадки в точках  $\gamma_1$  і  $\gamma_2$  швидко витрачається в процесі поширення злому. Також гарна адгезія характеризується ділянкою «хвостів», яка у органічного пластика має значно більші коливання порівняно з вихідним матеріалом, що свідчить про значне зміцнення вихідної структури за рахунок армування волокном. Не можливо не звернути увагу на те, що отриманий ОП володіє високою міцністю в порівнянні з вихідним пластиком (перевищує в 1,6 рази).

Як видно з рис. 2, б характер нахилу кривої 2 свідчить, про більш еластичний злам зразків, ніж кривої 1, яка схильна більш до пружних деформацій. В цьому випадку армування волокнами фенілону в порівнянні з чистим матеріалом сприяє збільшенню енергії поглинання, під час розповсюдження тріщини, в 1,3 рази.

Позитивні результати лабораторних досліджень дозволили перейти до виробничих. Зокрема, ПКМ успішно пройшли виробничі випробування та рекомендовані до впровадження в серійне виробництво в металургійній промисловості (підшипники ковзання вивідних жолобів прокатних станів та шліпперів), в

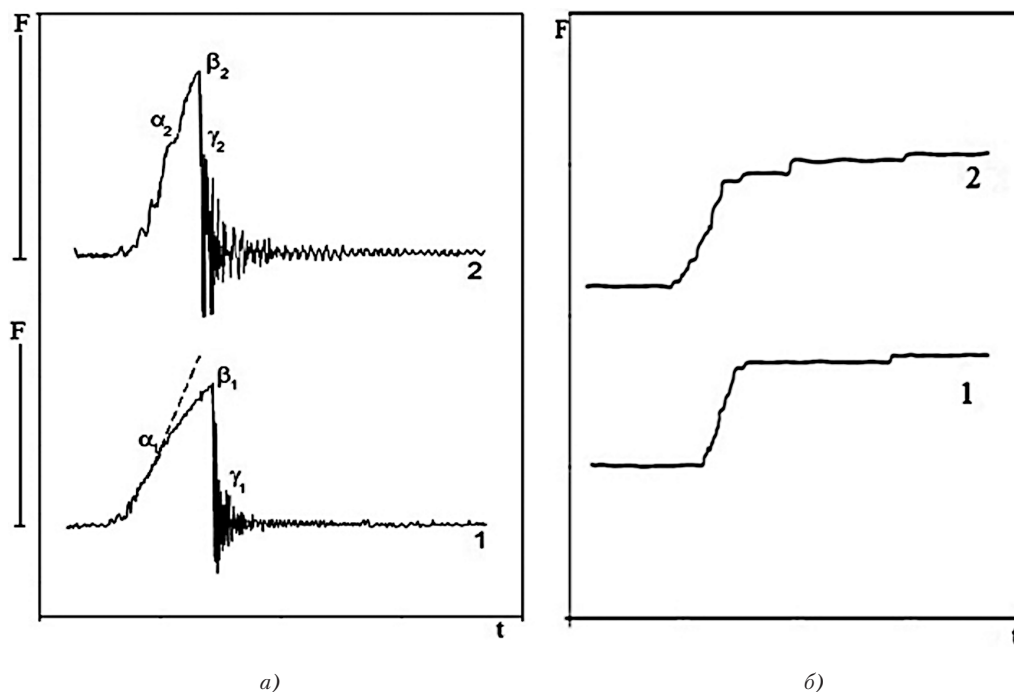


Рис. 2. Криві залежності навантаження—час (а) та енергія—час (б) вихідного матеріалу (1) та органічного пластика (2)

електротранспорті (втулки шкворня та розжимного кулаку гальм в тролейбусах), підшипники ковзання вузлів тертя великовантажних автомобілей та тягачів (КРАЗ, МАЗ). В усіх випадках виробі з ОП заміняли аналоги з бронзи, які в свою чергу забезпечували також економію кольорових металів [6].

### 5. Висновки

Розроблені нові ПКМ армовані органічними волокнами з високими показниками фізико-механічних властивостей. При випробуванні ОП при стисненні було визначено, що їх деформаційне зміцнення відбувається за рахунок переорієнтації макромолекул в'язучого і закінчується руйнуванням. Отриманні ОП мають більш високу ударну міцність і забезпечують підвищення енергії поглинання, під час розповсюдження тріщини, в 1,3 рази.

### Література

[1] Буря А.И. Углерод углеродные композиты: области применения, технология получения и перспективы

развития / А.И. Буря, В.В. Байгушев, Фен Сян-мин. — Днепропетровск, 2013. — 304с.

[2] Черкасова Н.Г. Реактопласты, хаотично армированные химическими волокнами / Н.Г. Черкасова, А.И. Буря. — Днепропетровск, «Има-пресс». — 2011. — 234с.

[3] Буря А.И. Применение фенилона, армированного полиамидными и углеродными волокнами в узлах сухого трения / А.И. Буря, И.А. Фомичев, А.П. Давыдов // Республ. межвед. науч.-техн. сб.: «Вопросы химии и химической технологии», X: Вища школа, Вып.50. — 1978. — с.113-116

[4] Ларков А.В. Сопроотивление материалов. Москва, Высшая школа. — 1963. — с.762

[5] F.J. McGarry. Fracture Toughness of Fibrous Glass Reinforced Plastic Composites/ F.J. McGarry, J.F. Mandell// Proc. 27<sup>th</sup> Reinforced Plastic/Composites Div, SPI, Section 9A.-1972. — p.224-236

[6] Буря А.И. Разработка и исследование свойств органо-пластиков на основе фенилона С-1, армированного волокном сульфон-Т / А.И. Буря, О.А.Набережная, А.М. Щетинин // Дизайн. Материалы. Технология 5(35). — 2014 — с.104-108.

*Burya A. I., Naberezhnaya O. A.*

Dneprodzerzhynsk State Technical University. Ukraine, Dneprodzerzhynsk

### STUDY PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES SELF-REINFORCED ORGANIC PLASTICS

*The article discussed the possibility of developing and creating new polymer composite materials based on aromatic polyamide — phenylone. We investigated the physical and mechanical properties self-reinforced organic plastics. It is shown that the accumulation of deformation leads to the restructuring of the destroyed structures in new more solid. The research results allowed to conclude that the resulting material has good adhesion to the polymer matrix fiber, a high strength and elasticity.*

*Keywords:* aromatic polyamide organic fiber; deformation, organic plastics stress.

### References

[1] Burya A.I. Carbon Carbon Composites: application, technology of production and development prospects / A.I. Burya, V.V. Baygushev, Fen Xiang-min . — Dnipropetrovsk, 2013. — 304 p.

[2] Cherkasova N.G. Thermosets, chaotically reinforced by chemical fibers / N.G. Cherkasova, A.I. Burya. — Dnepropetrovsk, «Ima-press». — 2011. —234 p.

[3] Burya A.I. Application phenylone reinforced polymer and carbon fibers in the nodes of a dry friction / A.I. Burya, I.A. Fomichev, A.P. Davydov // Republics. Interdepartmental. scientific-tehn.sb. : «Questions of chemistry and chemical technology» X: Vishcha school Vyp.50. — 1978. —P. 113-116

[4] Darkov A.V. Strength of materials. Moscow Higher School. — 1963 —762 p.

[5] F.J. McGarry. Fracture Toughness of Fibrous Glass Reinforced Plastic Composites/ F.J. McGarry, J.F. Mandell// Proc. 27th Reinforced Plastic/Composites Div, SPI, Section 9A. — 1972. — P. 224-236

[6] Burya A.I. Development and research of the properties of organic plastics based phenylone C-1, fiber reinforced sulfone-T / A.I. Burya, O.A. Naberezhnaya, A.M. Schetinin // Design. Materials. Technology 5 (35). — 2014 — P. 104-108.