

УДК 677.4+678.07

DOI 10.36910/775.24153966.2024.77.2

О.П. Чигвінцева, Ю.В. Бойко

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

## ВУГЛЕПЛАСТИК НА ОСНОВІ АЛІФАТИЧНОГО ПОЛІАМІДУ

Досліджено вплив температури переробки на термічні, теплофізичні, фізико-механічні і трибологічні властивості вуглепластику на основі аліфатичного поліаміду ПА-6,6. Встановлено, що оптимальний комплекс експлуатаційних характеристик має вуглепластик, відпресований при температурі 518К. Розроблений вуглепластик має високу теплопровідність і міцнісні характеристики, низькі значення питомої теплоємності, температурного коефіцієнта лінійного розширення і коефіцієнта тертя, а також гарну зносостійкість, що дозволяє рекомендувати його до застосування як матеріал конструкційного призначення

**Ключові слова:** аліфатичний поліамід, вуглецеве волокно, вуглепластик, експлуатаційні характеристики, конструкційний матеріал

O.P. Chigvintseva, Yu.V. Boyko

## CARBON PLASTIC BASED ON ALIPHATIC POLYAMIDE

The influence of the processing temperature on the thermal, thermophysical, physico-mechanical, and tribological properties of carbon fiber based on aliphatic polyamide PA-6.6 was studied. It was established that the optimal complex of operational characteristics has carbon plastic pressed at a temperature of 518K. Reinforcement of PA-6.6 with carbon fiber material allows to significantly improve the thermal and thermophysical properties of the polymer. Carbon fiber has high values of heat resistance and thermal conductivity ( $0.74-0.94 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ ), good strength indexes, and almost 6 times lower temperature coefficient of linear expansion compared to the original polymer. The low coefficient of friction and high wear resistance and the PV performance criterion of the developed material make it possible to recommend it for use as a material for structural purposes in the field of mechanical engineering.

**Key words:** aliphatic polyamide, carbon fiber, carbon plastic, performance characteristics, constructional materials

**Постановка проблеми.** Комплекс покращених технологічних і експлуатаційних характеристик полімерних композиційних матеріалів забезпечує їх широке застосування у різноманітних галузях техніки. Особливе місце серед пластиків конструкційного призначення займають полімерні композиційні матеріали.

Аліфатичний поліамід марки ПА-6,6 (полігексаметиленадипамід) відрізняється своєю довговічністю і зносостійкістю, температуростійкістю (до  $+140^\circ\text{C}$  градусів) і міцністю при розтягуванні. Він стійкий до корозії, дії палива, мастил, жирів, більшості органічних розчинників і лугів, що робить його незамінним матеріалом для виготовлення виробів, що працюють в складних умовах експлуатації, де потрібна висока механічна міцність, жорсткість, термо- і хімічна стійкість.

Поліаміди і композити на їх основі використовуються як конструкційні, електроізоляційні і антифрикційні матеріали у електротехнічній, радіотехнічній, автомобільній, авіаційній, приладобудівній і медичній промисловості. Із них виготовляють корпусні деталі електро- та пневмоінструментів, будівельно-оздоблювальних та інших машин, що працюють в умовах ударних навантажень і вібрацій, деталі шахтного електроустаткування, залізничні втулки-прокладки, меблеві колеса, петлі та інші навантажені деталі меблів. В автомобільній промисловості із поліамідів виготовляють навантажені теплостійкі деталі автотранспортних засобів; зубчасті колеса, схильні до підвищених механічних і теплових навантажень; основи навантажених приладів та ін. [1].

**Мета роботи.** З метою створення нового композиційного матеріалу конструкційного призначення ПА-6,6 армували вуглецевим волокнистим матеріалом марки Урал Тр 3/2-15 у кількості 40 мас. %.

**Викладення основного матеріалу.** На початковому етапі досліджень вивчали вплив температури пресування теплофізичні властивості вуглепластика. Зразки полімерного композиту виготовляли за температур 513, 518 и 523 К. Результати досліджень показали, що у всьому дослідженому температурному інтервалі (323-573К) питома теплоємність вуглепластиків зі зростанням температури пресування збільшувалась (рис. 1а). Звертав на себе увагу той факт, що в області високих температур інтенсивність зростання теплоємності з підвищенням температури пресування істотно зменшувалась. На усіх температурних кривих при температурі 548К чітко проявлявся стрибок теплоємності, який відповідав температурі розм'якшення вуглепластиків.

Вплив температури пресування на коефіцієнти тепло- і температуропровідності досліджених матеріалів проявлявся у вигляді зворотної залежності: збільшення температури переробки вуглепластиків від 513 до 528К понижало тепло- та температуропровідність у дослідженому температурному інтервалі відповідно в 1,1-1,3 та 1,9-1,4 рази (рис. 1б, в).

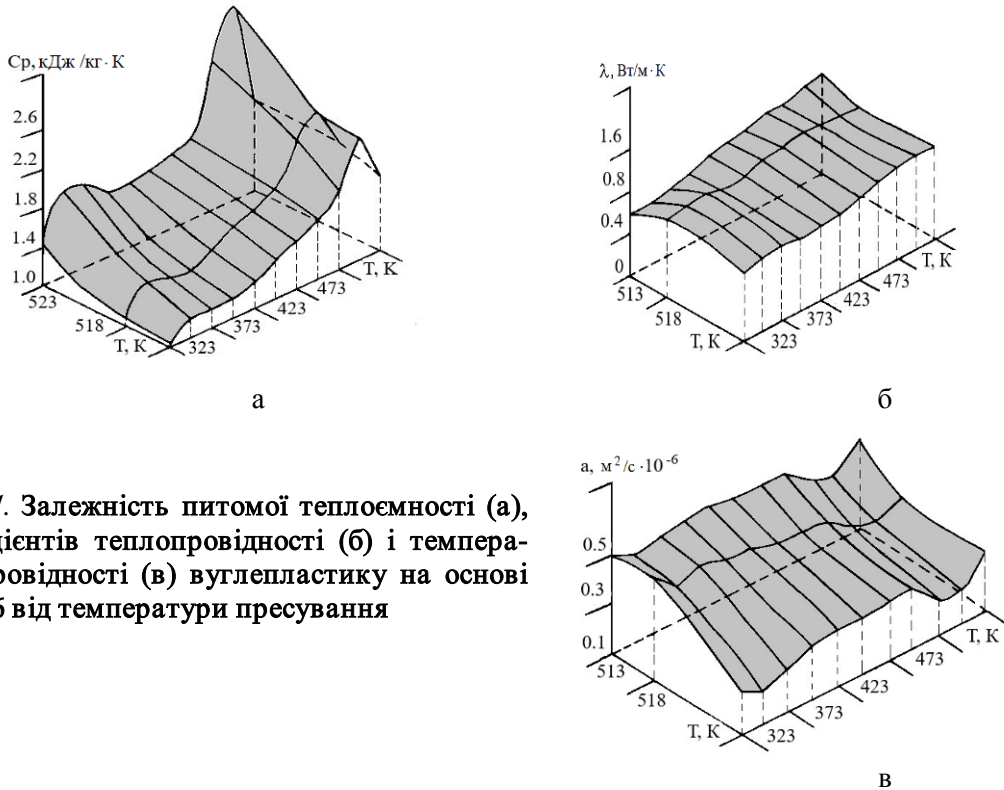


Рис. 1. Залежність питомої теплоємності (а), коефіцієнтів теплопровідності (б) і температуропровідності (в) вуглепластику на основі ПА-6,6 від температури пресування

Встановлено, що найбільш оптимальний комплекс теплофізичних досліджень мав вуглепластик, отриманий методом компресійного пресування за температури 518 К. Зразки цього вуглепластику мали низьку питому теплоємність в усьому дослідженому температурному інтервалі (1,1-18 кДж/кг · К) і високі значення коефіцієнта теплопровідності (0,74-0,94 Вт/м · К).

Розрахунок температурного коефіцієнта лінійного розширення (ТКЛР), здійснений по кривим залежності відносного подовження зразка від температури (рис. 2), показав, що даний показник зі зростанням температури збільшився, а температура склування вуглепластику становила 516 К (табл. 1).

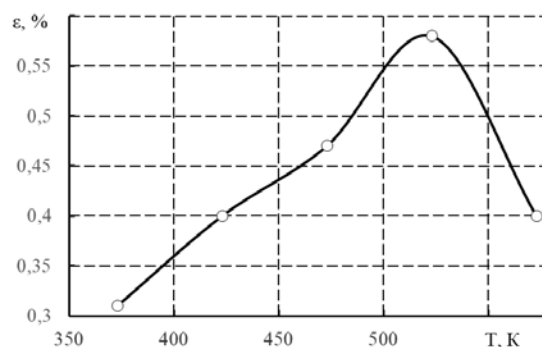


Рис. 2. Крива залежності відносного подовження вуглепластику на основі ПА-6,6 від температури

Порівняльний аналіз даних розрахунку ТКЛР вихідного полімеру і вуглепластику при інтервалі температур 298-323 К показав, що армування ПА-6,6 вуглецевим волокнистим матеріалом марки Урал Тр 3/2-15 знизило даний показник майже у 6 разів [3].

Одним з ефективних методів прогнозування поведінки матеріалів в умовах високих температур, є термогравіметричний метод аналізу. Відомо [2], що термостійкість визначається тією температурною межею, при якій починається термічна або термоокислювальна деструкція матеріалу, яка

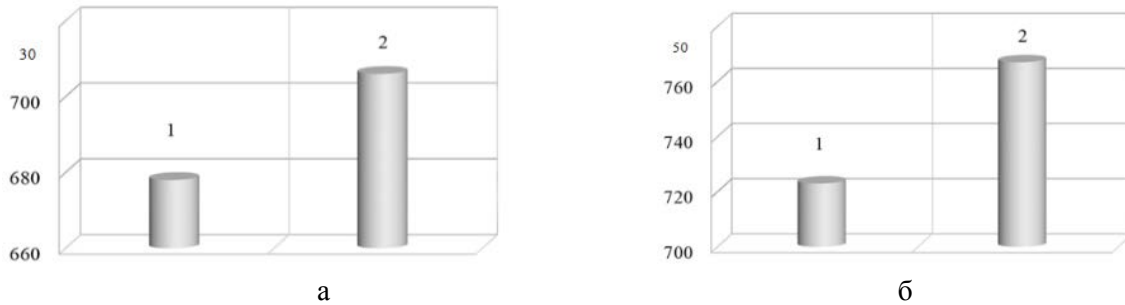
супроводжується виділенням летких продуктів. Внаслідок цього відбувається втрата маси досліджених зразків, що лежить в основі термогравіметричного аналізу.

Табл. 1.

**Термічний коефіцієнт лінійного розширення вуглепластику на основі ПА-6,6**

Температурний інтервал, К									T <sub>ст.</sub> , К
298-323	298-348	298-373	298-398	298-423	298-448	298-473	298-498	298-523	
15,1	23,0	22,8	28,8	30,2	31,5	32,3	33,2	33,7	516

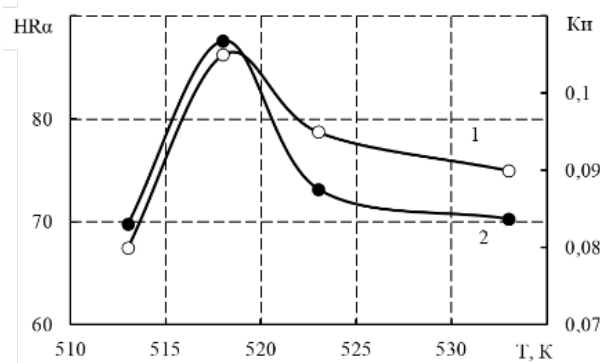
Дані термогравіметричного аналізу (рис. 3) показали, що армування ПА-6,6 вуглецевим волокнистим матеріалом марки Урал Тр 3/2-15 дозволило істотно підвищити його термостійкість: температура, що відповідала 30 і 50%-вій втраті маси зразків для вуглепластику відповідно була на 23 і 44 градуси вища, ніж для вихідного полімеру.



**Рис. 3. Температури що відповідають 30 і 50%-вій втраті маси (T<sub>30</sub> і T<sub>50</sub>) зразків ПА-6,6 (1) і вуглепластику на його основі (2)**

Крім поліпшених теплофізичних властивостей, вуглепластик, перероблений за температури 518 К, мав покращені фізико-механічні і трибологічні характеристики. Зокрема, розроблений матеріал мав порівняно з ПА-6,6 на 20 % більш високі міцнісні показники: межа міцності при стисненні складала 110 МПа, робота руйнування – 718 кДж, модуль пружності при стиканні становив 2750 МПа [3].

Слід зазначити, що спостерігалась гарна кореляція між залежністю відносної зносостійкості і твердості за Роквеллом вуглепластика від температури переробки (рис. 4): вказані показники мали максимальне значення для зразків, відпресованих за температури 518К.



**Рис. 4. Залежність відносної зносостійкості (1) і твердості за Роквеллом (2) вуглепластика на основі ПА-6,6 від температури переробки**

Дані щодо впливу температури переробки на тертя та знос розробленого вуглепластику представлені у таблиці 2.

Отримані результати свідчили про те, що кращі трибологічні характеристики мав вуглепластик, відпресований за температури 518 К, тому подальші дослідження щодо впливу режимів експлуатації на коефіцієнт тертя і інтенсивність лінійного зносу здійснювали на зразках, відпресованих при зазначеній температурі (рис. 5).

Табл. 2.

## Вплив температури переробки на триботехнічні характеристики вуглепластика на основі ПА-6,6

Температура пресування, К	Інтенсивність лінійного зношування, $\times 10^{-8}$	Коефіцієнт тертя
503	0,18	0,19
518	0,16	0,18

Примітка: тертя та знос вуглепластика здійснювали по контртілу зі сталі 45 (твердість 45-48 HRC, шорсткість  $Ra = 0,16-0,32$  мкм) при питомому тиску 0,4 МПа та швидкості ковзання 1 м/с, шлях тертя становив 1000 м.

Аналіз даних трибологічних досліджень свідчив про те, що зміна режимів експлуатації суттєво впливала на процеси тертя та зношування вуглепластику. Покращені трибологічні властивості мали зразки, що експлуатувались при швидкості ковзання 1,5 м/с. В усьому інтервалі навантажень матеріал мав низький коефіцієнт тертя (0,13-0,28) і незначний знос. В умовах досліджень при швидкості ковзання 2,0 м/с і навантаженні понад 1 МПа зразки вуглепластику катастрофічно зношувались і матеріал втратив свою працездатність (рис. 4б). Згідно з отриманими даними, максимальне допустиме значення критерію працездатності  $PV$  для вуглепластику становило 2,0 МПа·м/с, в той час як для ПА-6,6 він не перевищував 1,8 МПа·м/с.

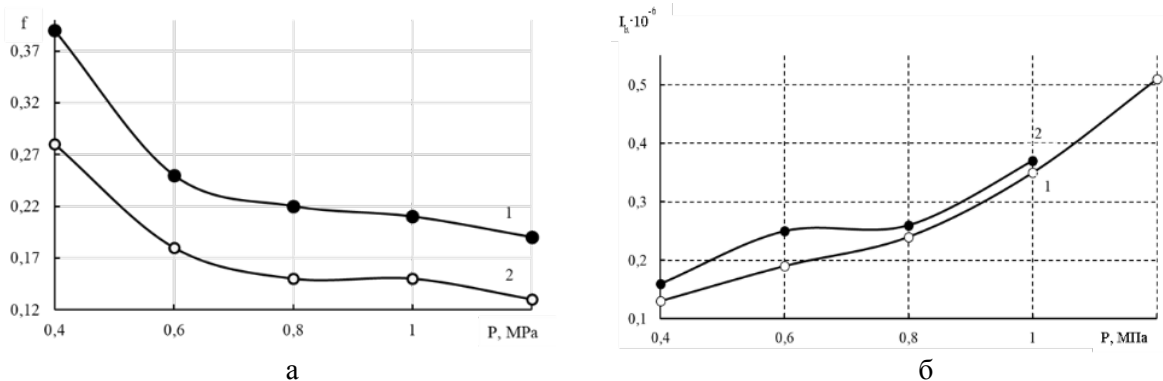


Рис. 5. Вплив питомого тиску ( $P$ ) та швидкості ковзання (крива 1 – 1,5 м/с, крива 2 – 2,0 м/с) на коефіцієнт тертя ( $f$ ) і інтенсивність лінійного зносу ( $I_h$ ) вуглепластику на основі ПА-6,6

**Висновки.** Таким чином, дані проведених термічних, теплофізичних, фізико-механічних і трибологічних досліджень свідчили про те, що оптимальний комплекс властивостей мав вуглепластик, відпресований за температури 518К. В цілому, розроблений вуглепластик на основі ПА-6,6 і вуглецевого волокнистого матеріалу марки Урал Тр 3/2-15 мав високу теплопровідність і міцнісні характеристики, низькі значення питомої теплоємності, температурного коефіцієнта лінійного розширення і коефіцієнта тертя, а також гарну зносостійкість, що дозволило рекомендувати його до застосування як матеріал конструкційного призначення в галузі машинобудування.

## Список використаних джерел:

- [1] Кацнельсон М.Ю., Балаев Г.А. Пластические массы. Свойства и применение: Справочник. Л.: Химия, 1978. 384 с.
- [2] Коршак В.В. Термостойкие полимеры. М.: Наука, 1969. С. 25.
- [3] Chigvintseva O.P., Boyko Y.V., Gupalo S.I. Carbon fiber for structural purposes based on aliphatic polyamide // The XXIII International Scientific and Practical Conference «Scientific trends, solutions, theories and methods of development», June 12 – 14. Bilbao, Spain. P. 291-295.

## Рецензенти:

**О.Д. Деркач**, завідувач кафедри експлуатації машинно-тракторного парку Дніпровського державного аграрно-економічного університету, к.т.н., доцент

**О.С. Кабат**, завідувач кафедри інноваційної інженерії ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», д.т.н, професор