

СТРУКТУРА ТА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕПЛАСТИКІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ С-2, АРМОВАНИХ МЕТАЛОВМІСНИМИ ВУГЛЕЦЕВИМИ ВОЛОКНАМИ

Буря О.І., Сафонова А.М., Губачева Л.О.

THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF CARBON PLASTICS ON THE BASIS OF PHENYLONE C-2, REINFORCED BY METAL-CONTAINING CARBON FIBERS

Burya A., Safonova A., Gubacheva L.

Представлені результати досліджень впливу металовмісних вуглецевих волокон (Ме-ВВ) на структуру та механічні властивості вуглепластиків (ВП) на основі термостійкого ароматичного поліаміду фенілон С-2. Показано, що використання Ме-ВВ забезпечує, в порівнянні з вихідним полімером, підвищення міцності на 10% та модуля пружності на 130-317 МПа, що пояснюється впливом ВВ, активованих наночастками металу, на структуру полімерної матриці.

Ключові слова: фенілон С-2, металовуглецеві волокна, вуглепластик, структура, механічні властивості.

Вступ. Істотно поліпшити властивості ВП дозволяє модифікація поверхні вуглецевих волокон (ВВ) структурно-активними групами [1]. Встановлено [2], що найбільш ефективним методом для поліпшення як фізико-механічних і триботехнічних характеристик полімерів, так і адгезії ВВ до полімеру є використання елементвмісних ВВ. Як показали попередні дослідження, одним з перспективних видів ВВ такого типу є Ме-ВВ, отримані шляхом карбонізації целюлозних волокон, просочених відповідною сполукою. Особливістю Ме-ВВ є наявність в їхній структурі високодисперсних нанорозмірних металовмісних включень у вигляді відновлених металів, оксидів, карбідів, які надають Ме-ВВ комплекс нових властивостей: адсорбційно-каталітичні, магнітні, біоцидні, антифрикційні [3].

Ме-ВВ збільшують жорсткість, зменшують коефіцієнт тертя та інтенсивність лінійного зносу ВП в порівнянні з немодифікованими ВВ [4]. Посилюється також здатність до утворення регресивних структур, що уповільнюють деструктивні процеси в матриці при терті.

Як встановлено раніше [5], оптимальний вміст Ме-ВВ для ВП на основі термостійкого поліаміду

фенілон – 17 мас.%. Тому саме такого складу ВП ми використовували для визначення впливу на їхні властивості нанометалевого модифікатора Ме-ВВ.

Експериментальна частина. В якості в'язучого був обраний термостійкий ароматичний поліамід марки фенілон С-2 (м-фенілен (ізо-, тере-) фталамід) (ТУ 6-05-221-226-72). Для армування полімерної матриці використовували розроблені Ме-ВВ, що містять у своєму складі 14-26 мас.% високодисперсного металу, який при температурі термічної обробки (ТТО) 1073-1173 К каталізує утворення фази нанорозмірного упорядкованого вуглецю, структурним елементом якого є графенові шари.

Введення Cu, Co, Cr, Co-Ni в структуру ВВ здійснювали шляхом просочення целюлозних волокон хлоридами відповідних металів з наступною карбонізацією в струмі інертного газу. Швидкість зростання підйому температури до 773 К становила 2,5 град/хв., вище – 5 град/хв.

Таблиця 1

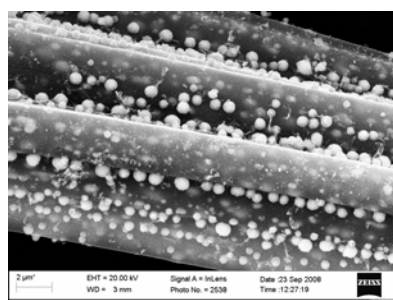
Характеристики металовуглецевих волокон

Зразок	ρ^* , г/см ³	$C_{\text{ме}}$, мас. %
Cu-ВВ	1,8	20
Ni-ВВ	2,2	20
Co-ВВ	2,2	26
Co-Ni-ВВ	2,2	22
Cr-ВВ	1,7	14
ВВ	1,6	-

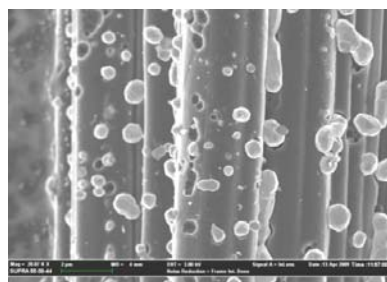
* густина Ме-ВВ, виміряна за гексаном

В процесі карбонізації системи целюлоза – сіль відбувається терморозкладання полімерного прекурсору і введених неорганічних домішок. Розкладання кожного з компонентів даної системи протікає при їхньому взаємному впливі.

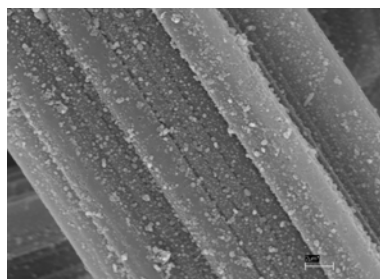
Особливості термічного розкладання целюлози визначаються продуктами термолізу сольової домішки [6].



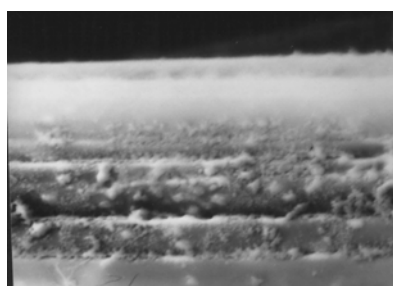
Cu-BB



Co-BB



Co-Ni-BB



Cr-BB

Рис. 1. SEM знімки Me-BB з ТТО 1173 К

З підвищенням температури термічної обробки (ТТО) до 1173 К продукти розкладання солей таких металів, як Cu, Co, Ni відновлюються до вільних металів під впливом продуктів карбонізації, а Cr – не відновлюється і утворює оксидну фазу Cr_2O_3 . В табл. 1 наведені характеристики отриманих Me-BB.

На рис. 1 наведені електронно-мікроскопічні знімки зразків Cu-BB, Co-BB, Co-Ni-BB і Cr-BB, отриманих в процесі карбонізації до 1173 К

целюлозних волокон, імпрегнованих хлоридами відповідних металів.

При ТТО 873 К продукти терморозкладання солей являють собою високодисперсні фази оксидів або відновлених металів з розмірами часток порядку десятків нм. У процесі термічної обробки Me-BB до 1173 К високодисперсні частки, маючи високу поверхневу енергію і швидкість дифузії, мігрують по поверхні волокна і агрегують в більші частки з розміром порядку сотень нм.

Me-BB, отримані при 1173 К, мають такі характеристики: питомий електричний опір – 10^{-3} – 10^{-4} Ом⁻¹·м⁻¹, густина – 1,7-2,2 г/см³, міцність на розрив – 400-1000 МПа. Наявність в складі Me-BB металів підгрупи заліза надає їм магнітні властивості ($\sigma=31$ -60 Гс·см³/г), Cu – біоцидні, Cr – антикорозійні.

Слід зазначити, що модифікація BB металами покращує їхню змочуваність полімерними в'язучими [3, 6]. Це сприяє рівномірному розподілу Me-BB в полімері і дозволяє при однаковому наповненні композицій BB без металів і Me-BB більш ефективно використовувати Me-BB наповнювач для зниження електричного опору, усадки і коефіцієнта лінійного термічного розширення композицій. Характер розподілення BB і Me-BB в полімерному в'язучому ілюструє рис. 2.

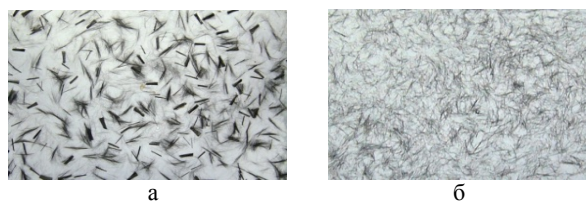


Рис. 2. Розподілення BB (а) і Me-BB (б) в полімерному в'язучому

Таким чином, наявність у структурі Me-BB мікронного розміру (діаметр волокна – близько 6-8 мкм) нанорозмірних фаз металів надає їм комплекс нових властивостей, характерних для нанорозмірних об'єктів, і відкриває широкі можливості їхнього практичного використання.

ІЧ-спектральний аналіз. Спектри реєстрували на інфрачервоному спектрофотометрі ИКС-29 у діапазоні 4000 – 400 см⁻¹. Зразки готували у вигляді таблеток з калійбромідом. Волокно Русар С подрібнювали ножицями, зразки композитів натирали з використанням надфіля. Наважка речовини для дослідження складала 5 – 10 мг. Зразок речовини змішували з ретельно просушеним порошком калійброміду масою близько 600 мг, і суміш пресували під навантаженням 175 кН у сталевій прямокутній прес-формі. Розмір таблеток 35×10 мм.

Зареєстровані на діаграмну стрічку спектри сканували і переводили у цифрову форму за допомогою програми Free Data Digitizer WinDIG 2.5 [7] для подальшої побудови графіків в координатах хвильове число – оптична густина.

Механічні властивості. Визначення руйнівного напруження, межі текучості та відносної деформації

при стисненні проводили згідно з ГОСТ 4651-78 на машині FP-100. 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.

Руйнівне напруження при стисненні (σ) обчислювали за формулою:

$$\sigma = P / S, \quad (1)$$

де P – навантаження, МПа; S – мінімальна площа поперечного перерізу зразка, мм².

$$S = \pi d^2 / 4, \quad (2)$$

де d – діаметр зразка, мм.

Відносну деформацію при стисненні (ε) обчислювали за формулою:

$$\varepsilon = \Delta h_{p.c.} \cdot 100 / h_o, \quad (3)$$

де $\Delta h_{p.c.}$ – зменшення висоти зразка при руйнуванні, мм; h_o – початкова висота зразка, мм.

Для визначення модуля пружності при стисненні (E) за діаграмою визначали значення

навантажень, що відповідають величинам відносної деформації 0,1 і 0,3% (ГОСТ 9550-81). Розрахунок робили згідно зі співвідношенням:

$$E = \frac{(F_2 - F_1)h_o}{A_o(\Delta h_2 - \Delta h_1)}, \quad (4)$$

де F_1 – навантаження, що відповідає відносній деформації 0,1%, Н; F_2 – навантаження, що відповідає відносній деформації 0,3 %, Н; h_o – початкова висота зразка, мм; A_o – площа поперечного перерізу зразка, мм; Δh_1 – зміна висоти, що відповідає навантаженню F_1 ; Δh_2 – зміна висоти, що відповідає навантаженню F_2 .

Зйомка стиснених зразків після руйнування проводилась за допомогою фотоапарата Casio Exilim EX-Z60 в режимі макрозйомки.

Обговорення результатів дослідження.

Отримані спектри вуглепластиків (ВП) наведені на рис. 3, а хвильові числа смуг поглинання – в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики смуг поглинання вуглепластиків на основі фенілону С2, армованого металовмісними вуглецевими волокнами

Хвильові числа максимумів						Інтенсивність, форма	Віднесення
Вуглепластики армовані Ме-ВВ					Фенілон-С2 [8]		
Сг-ВВ	Со-ВВ	Ni-ВВ	Co/Ni-ВВ	Су-ВВ			
~3250		~3250	3260	3270	3290	с.ш.	v NH Н-зв'яз. амідн. групи (Амід-А та Амід-В)
3060			3060	3060	3060	дуже с.	v CO + v NH (Амід-І)
1657	1663	1663	1661	1662	1656	дуже с. вузька	Пульсаційні коливання бензольного кільця
1641	1655, 1650	1644	1652, 1646	1651	1640 (пл.)	с.вузька	
1605	1609	1606	1607	1609	1605	сл., пл.	
1530	1530	1531	1531	1531	1527	сл. пл.	
	1512		1527			с.	
1481	1485	1482	1478	1482	1479	с.вузька	v CO + v NH + δ NH (Амід-ІІ)
1439	~1440	1442	1436	1441	1437	с.вузька	?
1544	1548	1548	1545	1548	1544	сл.	?
1412	1415	1410	1412	1413	1412	сер.	
					1321	с.	
1307	1304	1303	1305	1306	1305	сер.	
	1256		1258	1259		с.	
1248, уш	1243	1242	1243	1246	1246	с.	v CO + v NH + δ NH (Амід-ІІІ)
1192	1195	1193	1195	1195	1191	сл.	Плоскі коливання δ СН бензольного кільця
1167	1167	1168	1166	1168	1165	сл.	
		1121			1112	сер. ш.	
1086	1083	1085	1085	1086	1081	сер. ш.	
1017	1018	1019	1019	1018	1015	сер./сл. вузька	
1002	1002	1001	1002	1002	997	сл. ш.	?
~980	~980	976	~980	~980	965	сл. ш.	
					924	сл. ш.	
862	861	859	862	863	859	сер.	Неплоскі коливання δ СН бензольного кільця
		818			816	сл.	
780	780	780	782	781	778	сер.	? Коливання за участю амідних груп
719	715	715	718	715	715	сер.	Неплоскі коливання δ NH (Амід V)
683	683	683	685	685	682	сер.	? Плоскі коливання δ NH (Амід IV)
					624	сл.	?
570	579	570	575	576	573	сер./сл.	Деформаційні скелетні коливання бензольних кілець и неплоскі деформаційні коливання С=О
			512	513	512	сер./сл.	
	459	448	459	458	449	сл.	

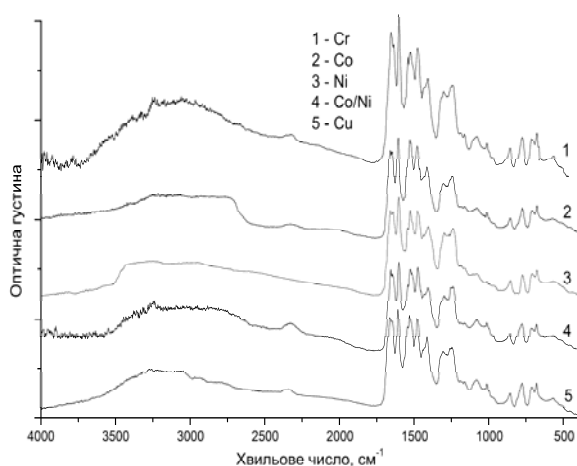


Рис. 3. ІЧ спектри поглинання вуглепластиків на основі феноліону С-2, армованого металовмісними вуглецевими волокнами

В таблиці для порівняння також наведені хвильові числа відповідних смуг поглинання феноліону С-2 [9].

Спектри композитів в загальних рисах відтворюють спектр феноліону. В області валентних коливань атомів гідрогену спостерігається широка смуга (майже від 4000 до 1800 cm^{-1}) з маловираженими максимумами. Вона є результатом перекривання смуг зв'язаних і вільних амідних NH-груп, сюди ж попадають обертони ν C=O та смуги поглинання води, яка міститься в зразках або калійброміді. Максимуми в області 3250 і 3050 cm^{-1} відносять до валентних коливань, зв'язаних водневими зв'язками NH-груп.

Типові для ароматичних поліамідів і характерні для феноліону С-2 інтенсивні смуги поглинання містяться в межах 1700 – 1200 cm^{-1} . Це, перш за все, смуги Амід I, Амід II і Амід III в межах 1660, 1550 і 1245 cm^{-1} та вузькі інтенсивні смуги, що відповідають коливанням ароматичних фрагментів (1605, 1530 і 1480 cm^{-1}). В межах 1200 – 400 cm^{-1} знаходяться менш інтенсивні смуги поглинання, серед яких слід відмітити смуги деформаційних коливань атомів гідрогену ароматичних фрагментів 860 cm^{-1} та ряд смуг 780, 719 і 683 cm^{-1} , що належать до коливань амідних груп.

Незважаючи на те що спектри ВП в цілому схожі на спектр феноліону С-2, в них є і суттєві відмінності. Так, в спектрах ВП, де волокно було модифіковане міддю і сумішшю кобальту з нікелем, смуга Амід III розщеплена на дві компоненти, додатковий максимум лежить при 1258 cm^{-1} . В спектрах ВП з Co-BB цей пік менш чіткий, а в спектрі вуглепластика з Cr-BB смуга Амід III розширена у височастотний бік, у результаті чого її максимум змістився до 1248 cm^{-1} . Спектри всіх означених вище чотирьох вуглепластиків містять і додаткові смуги поблизу Амід I при 1640 – 1650 cm^{-1} (в спектрі феноліону тут спостерігається лише відносно слабе плече).

Слід відзначити також помітне розширення смуги 781 cm^{-1} та посилення і розширення смуги 1080 cm^{-1} . Останнє призводить до того, що смуга 1112 cm^{-1} стає непомітною на фоні піку 1080 cm^{-1} (у спектрі ВП з Cr-BB вона виявляється у вигляді плеча). Оскільки всі вказані особливості торкаються змін у смугах, що належать до амідних фрагментів, можна дійти висновку, що для ВП, що містять BB, модифіковані міддю, кобальтом, хромом та сумішшю кобальту з нікелем, має місце суттєвий вплив наповнювача на структуру поліамідної матриці, і цей вплив стосується саме амідних груп. Найбільше цей ефект виявляється в композитах з Cu-BB та Co-Ni-BB. Детальне в'яснення хімічної природи впливу наповнювача на молекули полімеру потребує подальших досліджень, але дані робіт [10, 11] дозволяють припустити, що результатом цього впливу є руйнування водневих зв'язків, у яких беруть участь амідні групи.

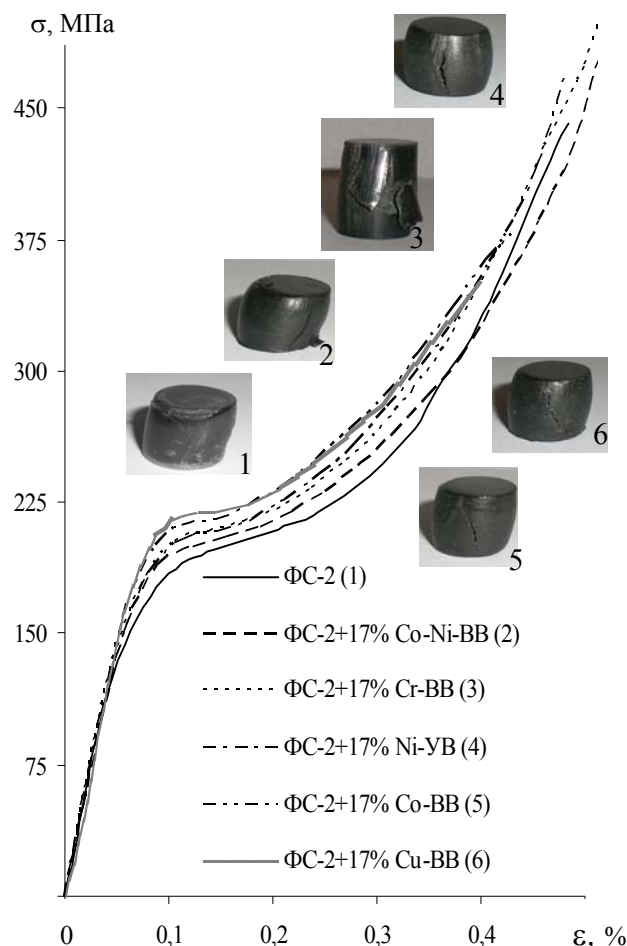


Рис. 4. Криві $\sigma - \epsilon$ феноліону С-2 (1) і вуглепластиків на його основі, армованих (17 мас. %) металовмісними вуглецевими волокнами: Co-Ni-BB (2), Cr-BB (3), Ni-BB (4), Co-BB (5), Cu-BB (6) та характер їх руйнування

Що стосується ВП, наповненого Ni-BB, то його спектр дуже близький до спектра феноліону С-2. Смуги поглинання в ньому добре розділені, що говорить про високий ступінь впорядкованості полімерної матриці. Так,

наприклад, смуга 780 см^{-1} в даному спектрі настільки вузька, що стає добре помітним слабкий пік при 818 см^{-1} .

Випробування на стиснення - один з найбільш широко використовуваних експериментальних методів для визначення таких механічних властивостей матеріалу, як межа текучості і міцність при стисненні, величина пластичної деформації, модуль пружності.

Криві напруження-деформація фенілону С-2 і вуглепластиків на його основі є характерними для полімерних матеріалів. Аналіз впливу металу-наномодифікатора в складі армуючого волокна на міцність вуглепластиків свідчить про те, що при армуванні полімерної матриці Cu-BB, Co-BB, Ni-BB, Cr-BB межа текучості та модуль пружності вищі, ніж у вихідного полімеру.

Таблиця 3

Механічні властивості фенілону С-2 та вуглепластиків на його основі

Показники	Фенілон С-2	Фенілон С-2 + 17 мас. % Ме-BB				
		Co-Ni	Cr	Ni	Co	Cu
Межа міцності при стисненні σ_m , МПа	361	381	368	372	377	337
Межа текучості при стисненні σ_t , МПа	201,7	194,3	220,7	211,0	211,7	210,3
Модуль пружності при стисненні E, МПа	3313,6	3146,9	3437,5	3452,5	3459,2	3630,2
Відносна деформація ϵ , %	13,2	11,8	12,0	12,1	11,2	11,0

На кривих $\sigma - \epsilon$ фенілону С-2 і ВП на його основі (рис.4) є прямолінійна ділянка до напруження, яке відповідає межі пропорційності; ділянка, де спостерігається деяке відхилення від закону Гука, пов'язане із сегментальною рухливістю макромолекул, межа текучості, після якої розвивається пластична деформація; стадія деформаційного зміцнення та руйнування. Всі наведені криві $\sigma - \epsilon$ належать до V типу [12], які Мейнел та Петерлін [13] розглядають як результат конкретного розвитку двох процесів. Спочатку пластична течія відбувається з руйнуванням вихідної структури полімерного матеріалу: результатом цього процесу є падіння навантаження. Якщо після цього руйнування не відбудеться, то накопичення деформації супроводжується руйнуванням попередньої структури полімерного зв'язу і перебудовою її в нову, що, як правило, характеризується більшою міцністю. Зі збільшенням кількості ланок полімеру, що набувають нової структури, зростає опір матеріалу деформації, і настає стадія деформаційного зміцнення, крива напруження-деформація знову починає підніматись. Чим крутіше піднімається крива, тим більш інтенсивно, аж до руйнування, йде переорієнтація полімерних макромолекул.

Характер руйнування зразків, як видно з рис. 4, різний: одні з них руйнуються крихко з подальшим відділенням фрагментів (Cr-BB), інші - з утворенням тріщин (Co-BB, Cu-BB, Ni-BB), решта (Co-Ni-BB та фенілон С-2) - пластично за рахунок втрати стійкості.

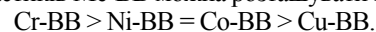
Як видно з результатів досліджень, представлених в табл. 4, механічні властивості вуглепластиків, отриманих при армуванні полімерної матриці Cu-BB, Co-BB, Ni-BB, покращуються, а саме межа текучості при стисканні - на 10%, а модуль пружності - на 130-317 МПа в порівнянні з вихідним полімером.

Висновки: 1. В спектрах композитів, наповнених Cr-BB, Co-BB, Co-Ni-BB і Cu-BB (особливо в двох останніх випадках), виявлені суттєві зміни в смугах поглинання, які належать до коливань амідних груп, що свідчить про

суттєвий вплив наповнювача на структуру полімеру і про те, що цей вплив відбувається саме через амідні фрагменти.

2. Аналіз спектрів свідчить, що структура полімерної матриці для вуглепластика, наповненого Ni-BB, порівняно з фенілоном С-2, є найбільш впорядкованою.

3. В цілому за впливом на механічні властивості вуглепластиків Ме-BB можна розташувати в ряд:



Література

- Буря А.И., Дубкова В.И., Ермоленко И.Н. Исследование влияния медьсодержащих углеродных волокон на свойства ароматического полиамида / Доклады АН БССР, 190, т. XXXIV, №3, С.246-249..
- Буря А.И., Бурмистр М.В., Рула И.В., Сафонова А.М. Исследование триботехнических характеристик углепластиков на основе фенилона, армированных никельсодержащими углеродными волокнами // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2007), 16-19 июля 2007, Гомель, Беларусь. С. 22-23.
- Ермоленко И.Н. Гулько Н.В., Люблинер И.П. Элементосодержащие угольные волокнистые материалы. - Минск: Наука и техника, 1982. - 272 с
- Буря А.И. Свойства и опыт применения углепластиков в сельхозмашиностроении // Методические рекомендации, Киев: Общество "Знание", 1992. - 29 с.
- Буря А.И., Чукаловский П.А., Рула И.В., Сафонова А.М. Разработка и исследование свойств термостойких углепластиков на основе фенилона и никельсодержащих углеродных волокон // Материалы IX Российско-Китайского Симпозиума «Новые материалы и технологии», том 1, Астрахань, Россия, 19-22 сентября 2007. Интерконтакт Наука, Москва, 2007. - С. 243-247.
- Сафонова А.М. Шпилевская Л.Е., Сметанина О.В. Металлоуглеродные волокна и композиции на их основе // Вопросы материаловедения. - 2009. - №1 (57). - С. 170-180.
- Логвиненко Д.Д., Шеляков О.П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым сбоем. - К.: Техніка, 1976. - 144 с.
- Фридляндер И.Н. Современные тенденции в развитии композиционных материалов // Журнал

- Всесоюзного химического общества – 1991. – 36. – №6. – С.652-656.
- Селиванов А.И., Артемьев Ю.Н. Теоретические основы ремонта и надежности сельскохозяйственной техники. – М.: Колос, 1978. – 139 с.
 - Заболоцкий А.А., Варшавский В.Я. Полиармированные (гибридные) композиционные материалы //Итоги науки и техники. ВИНТИ, Композиционные материалы. Том 2. – М., 1984. – 104 с.
 - Кузнецов В.А. Гибридные композиционные материалы на основе химических волокон и нитей с органической матрицей / Итоги науки и техники. ВИНТИ, Химия и технология высокомолекулярных соединений. – 1986. – Вып. 21. – С. 199-249.
 - Херцберг Р.В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов. // Пер. с англ. Под ред. Бернштейна М.Л., Ефименко С.П. – М.: Металлургия, 1989. – 576 с.
 - Meinel G. and Peterlin A. J. Polym. Sci., Part. A-2, 9. – 1971. – p.67.
 - Zabolotskiy A.A, Varshavskiy V.Ya. Poliarmirovannye (gibridnye) kompozytsyonnye materialy / Itogi nauki i tehniki. VINITI, Kompozytsyonnye materialy. Volume 2. – М., 1984. – 104 p.
 - Kuznetsov V.A Gibridnye kompozytsyonnye materialy na osnove himicheskikh volokon i nitey s orhanicheskoy matritsey / Itogi nauki i tehniki. VINITI, Himiya i tehnologiya vysokomolekulyarnykh soediniy. – 1986. – Vol. 21. – P. 199-249.
 - Herzberg R.V. Deformatsiya i mekhanika razrusheniya konstruksyonnykh materialov // Per. s angl. Pod. red. Bernsteina M.L, Efimenko S.P. – М.: Metallurhiya, 1989. – 576 p.
 - Meinel G. and Peterlin A. J. Polym. Sci., Part. A-2, 9. – 1971. – P. 67.

References

- Burya A.I., Dubkova V.I, Yermolenko I. N. Issledovaniye vliyaniya soderzhaniya med'soderzhaschih uglerodnykh volokon aromaticheskogo poliamida / Doklady AN BSSR, 190, v. XXXIV, № 3, P.246-249.
 - Burya A.I., Burmistr M.V, Rula I.V, Safonova A. M. Issledovaniye trybotekhnicheskikh haracteristic ugleplastikov na osnove fenilona, armyrovannykh nikelsoderzhaschymi uglerodnymi voloknami // Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferencyi "Polimernye kompozity i tribologiya (POLYKOMTRYB-2007), 16-19 iyula 2007, Gomel, Belarus. P. 22-23.
 - Yermolenko I.N, Gulko N.V, Lyublyner I.P Элементосодержащие угольные волоконистые материалы. – Минск: Наука и техника, 1982. – 272 pp.
 - Burya A.I. Svoystva i opyt primeneniya ugleplastikov v selhoz mashynostroyeniye // Metodicheskiye rekomenda-tsiy, Kiev: Obschestvo "Znaniye", 1992. – 29 p.
 - Burya A.I., Chukalovskiy P.A, Rula I.V, Safonova A.M. Razrabotka i issledovaniye svoystv termostoykikh ugleplastikov na osnove fenilona i nykelsoderzhaschih uglerodnykh volokon // Materialy IX Russkiysko-Kitayskogo Simposiuma «Novye materialy i tehnologii», Volume 1, Astrakhan, Rossiya ,19-22 sentyabrya 2007. Interkontakt Nauka, Moskva, 2007. – P. 243-247.
 - Safonova A.M. Shpilevskaya L.E, Smetanyina O.V Metallouhlerodnye volokna i kompozytsyy na ih osnove // Voprosy materialovedeniya. – 2009. – № 1 (57). – P. 170-180.
 - Logvinenko D.D, Shelyakov O.P Intensifikatsiya tehnologicheskikh processov v apparatah s vyhrevym sloem. – К.: Tehnika, 1976. – 144 p.
 - Fridlyander I.N. Sovremennye tendentsyi v razvityi kompozytsyonnykh materialov // Zhurnal Vsesoyuznogo himicheskogo obschestva – 1991. – 36. – № 6. – P. 652-656.
 - Selivanov A.I., Artemyev Yu.N. Teoreticheskiye osnovy remonta sel'skhozaystvennoy tecnicki. – М.: Kolos, 1978. – 139 p.
- Буря А.И., Сафонова А.М., Губачева Л.А. Структура и механические свойства углепластиков на основе фенилона С-2, армированных металлосодержащими углеродными волокнами**
Представлены результаты исследований влияния металлосодержащих углеродных волокон (Ме-УВ) на структуру и механические свойства углепластиков (УП) на основе термостойкого ароматического полиамида фенилон С-2. Показано, что использование Ме-УВ обеспечивает, по сравнению с исходным полимером, повышение прочности на 10% и модуля упругости на 130-317 МПа, что объясняется влиянием УВ, активированных наночастицами металла, на структуру полимерной матрицы.
Ключевые слова: фенилон С-2, металлосодержащие углеродные волокна, углепластик, структура, механические свойства.
- Burya A., Safonova A., Gubacheva L. The structure and mechanical properties of carbon plastics on the basis of phenylene C-2, reinforced by metal-containing carbon fibers**
The producing results of studies of the metal-containing carbon fibers (Me-CF) impact on the structure and mechanical properties of carbon plastics (CP) on the basis of thermoresistant aromatic polyamide phenylene C-2. It is shown that the using of Me-CF provides – in comparison with initial polymer – increasing of strength by 10% and elastic modulus at 130-317 MPa, due to the influence of CF, activated by metal nanoparticles on the structure of polymer matrix.
Keywords: phenylene C-2, metal-containing carbon fibers, carbon plastic, structure, mechanical properties.
- Буря О.І.** – к.т.н., професор кафедри промислової біотехнології та загальної хімії, ДДТУ, м. Дніпродзержинськ, Дніпропетровська обл., Україна, e-mail: ol.burya@gmail.com
- Сафонова А.М.** – к.х.н., старший науковий співробітник ДНЗ «Інститут загальної та неорганічної хімії Національної академії наук Білорусі», м. Мінськ, Білорусь, e-mail: safonova@igic.bas-net.by
- Губачева Л.О.** – д.т.н., професор, зав. кафедри комп'ютерних технологій на промисловому і міському транспорті, СНУ ім. В. Даля, м. Луганськ, Україна, e-mail: gubacheva_snu@bk.ru

Стаття подана 12.07.2013