

УДК 678.664:678.686:546.284

*Л.М. Яценко, Н.В. Ярова, Л.О. Воронцова, О.О. Бровко***ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ,
АРМОВАНИХ КОНОПЛЯНОЮ КОСТРИЦЕЮ****Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України, м. Київ, Україна**

Досліджено фізико-механічні властивості біокомпозитів на основі епоксиретанових сполучних залежно від співвідношення компонентів (поліізоціанату, епоксидної смоли ЕД-20 та натрій силікату) та кількості наповнювача – конопляної костриці – до та після впливу деструктивних факторів. Показано, що механічні властивості отриманих біокомпозитів визначаються взаємодією полімер–наповнювач. При цьому важливу роль відіграє баланс і розподіл фізичних міжмолекулярних зв'язків між компонентами системи. Встановлено, що суттєва різниця в показниках фізико-механічних властивостей для біокомпозитів з різним співвідношенням складових епоксиретанового сполучного зумовлена різною термодинамічною спорідненістю сполучного до поверхні костриці. При дослідженні впливу кількості наповнювача на фізико-механічні властивості біокомпозитів знайдено, що збільшення концентрації конопляної костриці з 60 мас.ч. до 80 мас.ч. зменшує міцність при згині з 30,1 МПа до 25,6 МПа, відповідно, що зумовлено недостатньою кількістю сполучного для змочування всієї поверхні наповнювача, і, як наслідок, призводить до утворення дефектів у композиті. При введенні 60 мас. ч. костриці в епоксиретанову матрицю міцність при розтягуванні збільшується до 13,9 МПа у порівнянні з 0,3 МПа для ненаповненого композиту. Це пов'язано зі зміною міжмолекулярної взаємодії в наповненому біокомпозиті за рахунок виникнення взаємодії полімер–наповнювач, що позитивно відбивається на енергії когезії полімерної матриці. Зі збільшенням вмісту наповнювача в композиті до 80 мас.ч. його міцність при розтязі незначною мірою знижується. Показано, що в умовах довкілля під дією деструктивних факторів біокомпозити зберігають хороші та стабільні фізико-механічні властивості. Проте відбувається значне зниження міцності при розтягуванні та при згині зразків, занурених у воду та закопаних у землю, що вказує на їх біодеградабельність.

Ключові слова: полімерні композити, епоксиретанові сполучні, конопляна костриця, біокомпозити, механічні властивості.

DOI: 10.32434/0321-4095-2020-132-5-104-111

Вступ

Полімерні композити, посилені натуральними волокнами, знаходять застосування в різних сферах, починаючи від приладів до космічних кораблів. Перевагами натуральних волокон перед його синтетичними аналогами є мала вага, низька густина, хороші тепло- та звукоізоляційні властивості, доступність відновлюваних ресурсів і низька вартість, а також здатність до деградації в умовах довкілля, що зумовлює їх екологічність.

Серед різних природних волокнистих на-

повнювачів останнім часом набули значного поширення коноплі, які мають хороші фізико-механічні властивості та є екологічно чистими, тому що при вирощуванні не вимагають застосування гербіцидів і пестицидів [1–5]. Проте, якщо конопляне волокно у виготовленні біокомпозитів (БК) використовується досить активно, то конопляна костриця (подрібнена частина рослинного стебла конопель, одержана під час його первинного оброблення) ще не знайшла широкого застосування. Як правило, кострицю використовують як паливо для виробництва теп-

лоенергії або вивозять на поля з метою подальшого перегнивання.

Втім, костриця може бути дешевою сировиною для виробництва плит та інших пресованих матеріалів високої якості. Частинки костриці утворюють фракцію, придатну для використання в плитному виробництві: вони здатні склеюватися, оскільки до їх складу входить як основний компонент целюлоза. Костриця дозволяє виготовляти плити з гладкою поверхнею, на кшталт ДВП або ДСП.

Властивості біокомпозитів, як відомо, значною мірою залежать від природи полімерної матриці, яка служить для захисту волокон від впливу навколишнього середовища та механічних пошкоджень. На даний час серед синтетичних матриць для композиційних матеріалів найбільшого поширення набули термопластичні полімери. Армовані натуральними волокнами, вони використовуються для виробництва панелей або рам в автомобільній промисловості та в будівельних конструкціях [6,7]. Однак, попри значне поширення біодеградабельних термопластичних полімерів, вони не завжди відповідають вимогам щодо фізико-механічних властивостей, зокрема твердості, жорсткості, тепло- та термостійкості. Цим вимогам можуть відповідати матриці на основі реактопластів. Проте фізико-хімічні засади створення екологічно чистих терморективних матриць все ще перебувають на етапі досліджень [6,8]. Хоча терморективні полімери неможна вважати біодеградабельними, але зі значним вмістом відновлюваної рослинної компоненти їх можна розглядати як еко-сумісні композити. Так, біореактопласти, особливо на основі епоксидної смоли, показують кращі механічні властивості та адгезію до армувальних натуральних волокон порівняно з біотермопластами та мають значні переваги, пов'язані зі способами обробки.

В попередній роботі [9] досліджено взаємодію між компонентами епоксиретанового сполучного та складовими біокомпозита, що містить як волокнистий наповнювач конопляну кострицю. Показана взаємодія між функційними групами епоксиретанового сполучного та гідроксильними групами конопляної костриці, наявними у її складі. Значення ступенів перетворення ізоціанатних та епоксидних груп у пресованому зразку біокомпозита показує практично повне їх вичерпання.

Метою даної роботи було дослідження складу епоксиретанового сполучного та кількості наповнювача – конопляної костриці – на фізико-механічні властивості біокомпозитів до та після впливу деструктивних факторів.

Експериментальна частина

Для виготовлення біокомпозитів використовували епоксиретанові сполучні на основі поліізоціанату (ПІЦ) марки «Lupranat M 20S» IsoPMDI 92140 (суміш ізомерів дифенілметандіізоціанату та олігомерних сполук (масова частка) ізоціанатних груп – 30,0%, густина 1,2446 г/см³), епоксидної смоли ЕД-20 ГОСТ 10587-84 (вміст епоксидних груп 19,8%, вміст гідроксильних груп 1,9%, $M_n=390$), силікату натрію (СН) (силікатний модуль 2,9–3,0, відсоток вільної води 56,0%) шляхом послідовного перемішування зі швидкістю 900 об./хв протягом 3 хв.

Як волокнистий наповнювач використовували частинки конопляної костриці з широким розподілом за розміром від 0,5 до 5,0 мм. Розміри частинок визначали за допомогою оптичного мікроскопа МБИ-6 в прохідному світлі за збільшення $\times 2250$ (об'єктив з числовою апертурою $A=1,25$, роздільна здатність $R \approx 300$ нм) (рис. 1). Відбір фракцій частинок потрібного розміру здійснювали шляхом фракціонування наповнювача через сито (діаметр 0,29 мм).

Конопляну кострицю сушили при 100°C протягом 2 год для видалення вологи, змішували зі сполучним (склад композицій наведено в табл. 1), перемішували та поміщали в прес-форму з подальшим гарячим пресуванням при температурі 140°C і тиску 10,0 МПа.

З метою вивчення морфологічних особливостей композиційних матеріалів методом сканувальної електронної мікроскопії були здійснені дослідження поверхні необробленої конопляної костриці (рис. 1,б), які показали, що поверхня костриці груба і покрита нецелюлозними домішками, а саме лігніном, воском і пектином.

Таблиця 1

Склад композицій для виготовлення біокомпозитів

Зразок	Склад композита, мас.ч.			
	ПІЦ	СН	ЕД-20	Конопляна костриця
БК-1	90	10	20	60
БК-2	80	20	20	60
БК-3	70	30	20	60
БК-4	80	20	20	70
БК-5	80	20	20	80

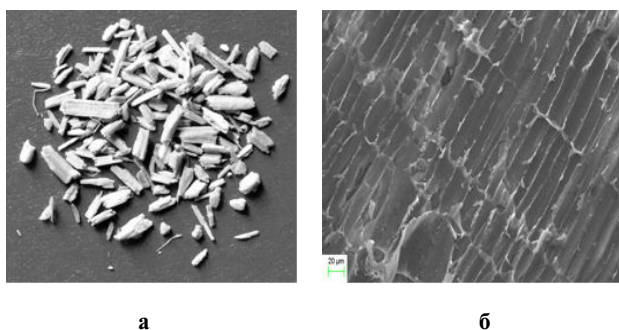


Рис. 1. Зовнішній вигляд частинок конопляної костриці (а) і типові мікрофотографії поверхні конопляної костриці ($\times 800$), отримані методом сканувальної електронної мікроскопії (б)

Для визначення густини БК застосовували метод гідростатичного зважування [10]. Для цього використали ваги Radwag WPS 60/18C:C/2 з вбудованою функцією автоматичного визначення густини та ізооктан як рідину з відомою густиною. Точність вимірювання на повітрі становить 0,0001 г, в середовищі ізооктану – 0,001 г.

Вимірювання показників міцності на згин БК здійснювали за ДСТУ ГОСТ 10635-2009, міцності при розтягуванні – за ГОСТ 11262-80. Для випробувань використовували зразки розміром 150 мм \times 20 мм \times 5 мм.

Оскільки одержані БК потенційно можуть бути використані у будівельній та меблевій промисловості, було оцінено їхню стійкість до старіння. Прискорені дослідження старіння одержаних зразків БК здійснювали в кліматичній камері протягом одного місяця в жорстких умовах: вологість – 98 %, температура – 60°C, опромінення УФ-лапою з максимумом інтенсивності випромінювання при 240 нм. Після експозиції в камері визначали міцність БК при згині та розтязі, та приріст маси зразка в результаті поглинання води.

Вплив натурних кліматичних чинників в період з 1 квітня по 1 жовтня (на прикладі БК-2), проводили в трьох середовищах з подальшим вивченням впливу цих чинників на механічні властивості.

Результати та їх обговорення

Здійснено дослідження впливу співвідношення складових епоксиретанового сполучного та кількості конопляної костриці на фізико-механічні властивості БК на їх основі. Результати випробувань наведені на рис. 2–4 та в табл. 2. Аналіз впливу складу епоксиретанового сполучного на механічні властивості БК при однаковій кількості наповнювача (60%) показав суттєву різницю у їх властивостях. Як видно з рис. 2,

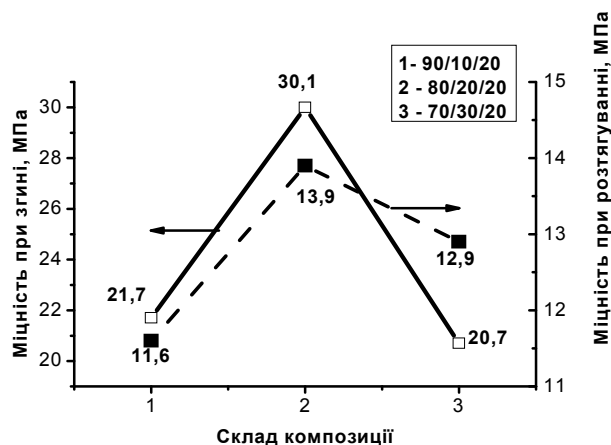


Рис. 2. Міцність при згині та розтязі БК в залежності від складу епоксиретанового сполучного

БК-2 показує максимальні міцність при згині (30,1 МПа) та міцність при розтязі (13,9 МПа) порівняно з такими для БК-1 та БК-3 (міцність при згині 21,7 МПа та 20,7 МПа; міцність при розтязі 11,6 МПа та 12,9 МПа, відповідно).

Натомість, значення поверхневого натягу сполучних ЕУ-1, ЕУ-2 та ЕУ-3 для відповідних біокомпозитів склали 44,3 МДж/м², 41,5 МДж/м² та 43,5 МДж/м², відповідно. Тобто міцнісні показники змінюються антибатно значенням поверхневої енергії (поверхневого натягу). Беручи до уваги той факт, що значення поверхневого натягу костриці становить 41,91 МДж/м², можна стверджувати, що ЕУ-2, яке має найменше значення поверхневого натягу (41,5 МДж/м²) в ряду досліджених сполучних, має більшу термодинамічну спорідненість до поверхні костриці, а отже може краще змочувати більшу її поверхню і мати більший доступ до функційних (ізоціанатних) груп сполучного для взаємодії з гідроксильними групами наповнювача [9], таким чином покращуючи міжфазовий зв'язок сполучне–наповнювач і, як наслідок, БК на основі ЕУ-2 демонструє кращі механічні властивості при виготовленні (рис. 2). При цьому, як видно з табл. 2, склад сполучного практично не впливає на густину композита.

Як відомо, модуль пружності є мірою жорсткості матеріалу. У БК армованих волокном, останнє зазвичай обмежує деформацію матриці, запобігає її руйнуванню та визначає модуль пружності композита в цілому.

Зміна модуля пружності при згині та відносного подовження біокомпозитів в залежності від складу сполучного наведені на рис. 3. Значення модуля пружності та відносного подовження узгоджуються з міцністю при згині, які зміню-

Таблиця 2

Експериментальна густина епоксиретанових сполучних та біокомпозитів на їх основі

Сполучне	Густина, г/см ³		Зразок	Експериментальна густина, г/см ³
	неотверднені	отверднені		
ЕУ-1	1,2388	1,1583	БК-1	0,7034
ЕУ-2	1,2451	1,1539	БК-2	0,7025
ЕУ-3	1,2448	1,1528	БК-3	0,7011
–	–	–	БК-4	0,7255
–	–	–	БК-5	0,7473

ються при застосуванні різних сполучних. БК-2 має найвищий модуль пружності при згині – 3349,01 МПа порівняно з БК-1 та БК-3, значення модуля пружності яких становить 2654,52 МПа та 3215,9 МПа, відповідно.

Вплив вмісту наповнювача на фізико-механічні властивості біокомпозитів вивчали з використанням сполучного ЕУ-2. Результати наведено на рис. 4 та в табл. 2. Як видно з табл. 2, при збільшенні вмісту костриці (80 мас.ч.) гу-

стина БК збільшується, що впливає на їх механічні характеристики. Так, збільшення кількості конопляної костриці зменшує міцність при згині БК з 30,1 МПа для БК-2 до 25,6 МПа для БК-5, у порівнянні з ненаповненим епоксиретановим композитом, міцність при згині (рис. 4) якого становить 40,0 МПа.

Зниження міцності при згині може бути зумовлено недостатньою кількістю сполучного для змочування всієї поверхні наповнювача, і, як наслідок, може призводити до утворення дефектів в композиті: наповнювач може агрегувати, захоплюючи повітря, що веде до зменшення рівня взаємодії на межі поділу полімер–наповнювач, і, як результат, до зменшення механічних характеристик. Зважаючи на той факт, що міцність і модуль пружності полімерів значною мірою залежать від рівня міжмолекулярної взаємодії в них, або в системах на їх основі [11], таке припущення є доволі коректним. Подібне зниження міцності при підвищенні кількості наповнювача також спостерігали автори [12,13]: через погане змочування частинок наповнювача полімерним сполучним внаслідок його високої в'язкості та несумісності між гідрофільним наповнювачем та гідрофобною полімерною матрицею.

Як видно з рис. 4, при введенні 60,0 мас.ч. костриці в епоксиретанову матрицю міцність при розтязі збільшується з 0,3 МПа до 13,9 МПа. Ймовірно, це пов'язано зі зміною міжмолекулярної взаємодії в композиті в цілому й на межі поділу полімер–наповнювач, зокрема, що позитивно відбивається на енергії когезії полімерної матриці. Зі збільшенням вмісту наповнювача в композиті його міцність незначною мірою знижується.

Напевне, при збільшенні наповнювача в композиті зменшується рівень міжмолекулярної взаємодії, що визначає його міцність. Це відбувається, імовірно, переважно за рахунок зменшення цього рівня в самому сполучному. При цьому слід зауважити, що антибатно значенням

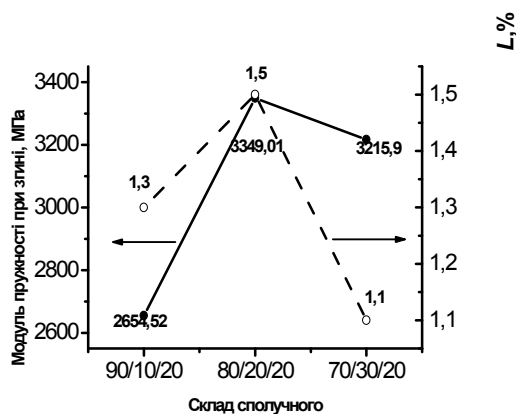


Рис. 3. Модуль пружності при згині та відносне подовження біокомпозитів залежно від складу епоксиретанового сполучного

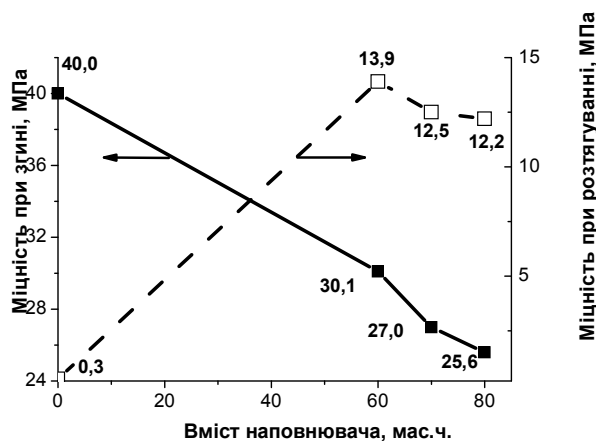


Рис. 4. Міцність біокомпозитів при згині та розтязі залежно від кількості наповнювача

міцності змінюються значення густини композита, які збільшуються. Це дозволяє стверджувати, що дефектність композита зі збільшенням вмісту наповнювача, як і вищезазначені параметри, змінюється незначною мірою.

Підсумовуючи, зазначимо, що механічні властивості отриманих БК, як і багатьох полімерних композиційних матеріалах, визначаються взаємодією полімер–наповнювач. При цьому, важливе значення має баланс і розподіл фізичних (йонних, водневих, кулонівських, тощо) міжмолекулярних зв'язків між компонентами системи. В наповнених полімерних системах завжди слід брати до уваги такі взаємодії як полімер–полімер, полімер–наповнювач та наповнювач–наповнювач. Логічно припустити, що перевагу слід надавати композитам, в яких переважають перші два типи взаємодії, звичайно за умов, коли сумарна енергія взаємодії між макромолекулами в полімері буде сумірною або дорівнювати такій між макромолекулами та поверхнею наповнювача.

Отже, дані експериментальних досліджень показують, що конопляна костриця, на поверхні якої наявні здатні до утворення енергетично потужних водневих зв'язків гідроксильні групи, забезпечує кращу міцність при розтягуванні, ніж при згині у порівнянні з ненаповненими композитами. Зміна компонентів сполучного та вмісту конопляної костриці дає можливість варіювати склад сполучного для виготовлення біокомпозитів з відповідними механічними характеристиками, які можуть знайти застосування в різноманітних галузях.

Як зазначали вище, одержані БК потенційно можуть бути використані у будівельній та меблевій промисловості. Проте, під дією природних агресивних середовищ в них перебігають процеси деструкції, що супроводжуються зміною їхніх властивостей. Такі процеси відбуваються за одночасної дії кількох факторів: температури повітря, відносної вологості, кисню, забруднювальних речовин тощо. Поєднання цих факторів істотно залежить від кліматичної зони, а їхня дія носить непостійний характер протягом тривалого часу експлуатації. Біокомпозиційні матеріали повинні характеризуватися стабільністю властивостей в процесі експлуатації та бути біодеградабельними після неї. З цією метою були проведені дослідження впливу кліматичного старіння на стабільність механічних властивостей біокомпозитів. Досліджувані зразки експонувалися в умовах штучних кліматичних факторів протягом 30 діб (клімакамера: температура –

60°C, вологість – 98%, УФ-опромінення – 240 нм) та піддавалися впливу натурних кліматичних чинників в період з 1 квітня до 1 жовтня.

На рис. 5 наведені результати, отримані для зразків біокомпозитів, експонованих в клімакамері протягом 24 діб.

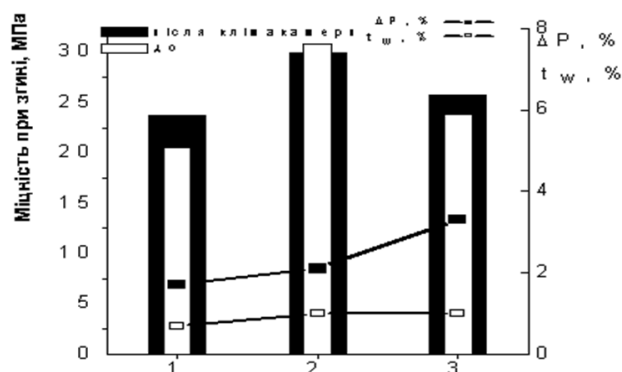


Рис. 5. Вплив деструктивних факторів на механічні властивості БК: 1 – БК-1; 2 – БК-2; 3 – БК-3

Як видно з рисунка, усі досліджені зразки характеризуються незначними змінами (підвищення вологостійкості (DP) та товщини зразків (t_w) до 3,3% та 1,0%, відповідно) і демонструють сталість показників міцності при згині, що загалом свідчить про їх атмосферостійкість.

Для вивчення біодеградабельності біокомпозитів – вплив натурних кліматичних чинників на їх механічні властивості: зразки досліджували в трьох середовищах у період з 1 квітня до 1 жовтня (на прикладі БК-2). Зразки експонувалися

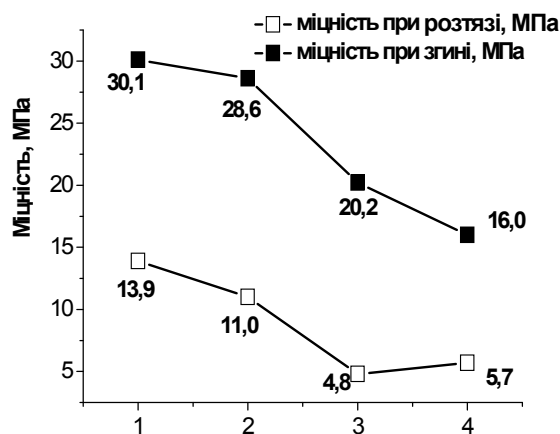


Рис. 6. Вплив натурних кліматичних чинників на механічні властивості БК: 1 – вихідні зразки; 2 – зразки, експоновані в умовах довкілля; 3 – зразки, експоновані у ґрунті; 4 – зразки, експоновані у воді

лися: 1 – в умовах доквілля; 2 – в ґрунті; 3 – із зануренням у воду. На рис. 6 наведена залежність міцності при розтязі біокомпозитів за різних умов експонування.

Результати дослідження вказують, що міцність при розтязі для зразків, експонованих у воді та ґрунті складала 5,7 МПа і 4,8 МПа, відповідно, порівняно з 13,9 МПа для вихідного зразка, а міцність при згині – 16,0 МПа і 20,2 МПа, відповідно, порівняно з 30,1 МПа для вихідного зразка, що вказує на біодеградабельність композитів.

Причина може полягати як в гідрофільній природі конопляної костриці, що призводить до її значного набухання і, як наслідок, втрати структурної цілісності, так і в природі епоксиретанового сполучного, яке зазнає мікротріщин через набухання костриці, що сприяє проникненню води. Це прискорює входження молекул води в міжмолекулярний зв'язок наповнювач–сполучне та процес дифузії через об'ємну матрицю. Молекули води активно атакують ці зв'язки, що призводить до значного погіршення міцності при розтязі. Автори [14] вважають, що причиною зниження міцності може бути те, що у вологих зразках молекули води зменшують міжмолекулярний водневий зв'язок між молекулами целюлози у наповнювачі, при цьому утворюються міжмолекулярні водневі зв'язки між молекулами целюлози та води, тим самим зменшуючи міжфазову адгезію між ними та полімерною матрицею, і в результаті зменшується міцність.

На рис. 6 також показано вплив натурних кліматичних чинників на міцність при згині біокомпозита БК-2. Зразки, експоновані в умовах доквілля, показали найкращі результати – погіршення міцності при згині становило 5% у порівнянні з вихідним сухим біокомпозитом. Найгірші показники мають біокомпозити, занурені у воду. Це може бути пов'язано з набуханням конопляної костриці, яке впливає на адгезію між нею та сполучним і призводить до зменшення напруги, яка переноситься з матриці на наповнювач. Подібні результати отримані і в роботі [15], що вказує на біодеградабельність композитів у ґрунті та воді.

Висновки

Здійснені експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей біокомпозитів, наповнених конопляною кострицею, залежно від зміни компонентів сполучного та вмісту наповнювача до та після впливу деструктивних факторів дозволяють зробити такі висновки:

а) механічні властивості одержаних біокомпозитів визначаються рівнем міжмолекулярної взаємодії в композиті, а саме балансом взаємодій полімер–полімер і полімер–наповнювач, який залежить від складу епоксиретанового сполучного та вмісту наповнювача, а отже й кількістю та співвідношенням функційних груп, здатних брати участь в утворенні ковалентних і фізичних зв'язків, що впливає на рівень як термодинамічної спорідненості, так і на рівень енергії когезії. Так, найкращі механічні властивості показує БК-2, що пов'язано з більшою термодинамічною спорідненістю сполучного до поверхні костриці, і, як результат, спостерігається краще змочування її поверхні та краща адгезія між ними;

в) зважаючи на те, що міцність при розтязі БК значно перевищує таку вихідного сполучного, можна стверджувати, що наповнювач змінює рівень і характер міжмолекулярної взаємодії в композиті: під впливом взаємодії на межі поділу полімер-наповнювач відбувається перерозподіл функційних груп і в самій полімерній матриці; можна припустити, що її енергія когезії в композиті зростає;

г) досліджені БК мають хороші і стабільні фізико-механічні властивості в умовах доквілля. Проте, відбувається значне зниження міцності при розтягуванні та при згині зразків, занурених у воду та закопаних в ґрунт – міцність при розтягуванні для зразків, експонованих у воді та ґрунті складала 5,7 МПа і 4,8 МПа, відповідно, порівняно з 13,9 МПа для вихідного зразка, а міцність при згині – 16,0 МПа і 20,2 МПа, відповідно, порівняно з 30,1 МПа для вихідного зразка, що вказує на біодеградабельність композитів;

д) наявність дешевої сировини, порівняно з фанерою або ДСП, і хороші механічні властивості БК дозволяють виготовляти полегшені екологічно чисті матеріали, які можна використовувати в автомобілях, офісних меблях, панельних перегородках, тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Investigation on mechanical properties of hemp-e-glass fiber reinforced polymer composites* / Somashekar S.M., Manjunath V., Gowtham M.J., Balasubramaniam N.S. // *Int. J. Mech. Eng. Technol.* – 2016. – Vol.7. – No. 3. – P.182-192.
2. *Bhoopathi R., Ramesh M. Mechanical properties evaluation of hemp fibre-reinforced polymer composites* // *Adv. Mater. Metal.* – 2019. – P.343-351.

3. *Influence of low velocity impact on fatigue behaviour of woven hemp fibre reinforced epoxy composites* / de Vasconcellos D.S., Sarasini F., Touchard F., Chocinski-Arnault L., Pucci M., Santulli C., Tirillo J., Iannace S., Sorrentino L. // *Composites Part B* – 2014. – Vol.66. – P.46-57.

4. *Green composites based on blends of polypropylene with liquid wood reinforced with hemp fibers: thermomechanical properties and the effect of recycling cycles* / Cicala G., Tosto C., Latteri A., La Rosa A.D., Blanco I., Elsabbagh A., Russo P., Ziegmann G. / *Materials*. – 2017. – Vol.10. – Article No. 998.

5. *Tensile and flexural behavior of hemp fiber reinforced virgin-recycled HDPE matrix composites* / Singh S., Deepak D., Aggarwal L., Gupta V.K. // *Procedia Mater. Sci.* – 2014. – Vol.6. – P.1696-1702.

6. *Буй Д.М. Разработка композиционных материалов на основе эпоксиуретановых олигомеров с улучшенными эксплуатационными свойствами: Дис. канд. техн. наук: 05.17.06.* – М.: Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 2014. – 140 с.

7. *Модификация гибридных связующих эпоксидным олигомером* / Халикова Р.А., Старовойтова И.А., Муртазина А.И. и др. // *Вестн. Казанского технол. ун-та.* – 2013. – Т.16. – № 15. – С.68-70.

8. *Осипчик В.С., Смотровая С.А., Томильчик А.Я. Исследование свойств модифицированных эпоксисодержащих олигомеров* // *Пласт. массы.* – 2011. – № 2. – С.4-7.

9. *Синтез эпоксиуретанового сполучного для біокомпозиційних матеріалів* / Л.М. Ященко, Н.В. Ярова, Т.Ф. Самойленко, О.О. Бровко // *Питання хімії та хім. технол.* – 2019. – № 1. – С.73-79.

10. *Юзова В.А., Семенова О.В., Харшалин П.А. Материалы и компоненты электронных средств.* – СПб: Проспект, 2015. – 103 с.

11. *Nielsen L.E., Landel R.F. Mechanical properties of polymers and composites.* - New York: Marcel Dekker Inc., 1994. – 557 p.

12. *Ahmad H., Islam M., Uddin M. Thermal and mechanical properties of epoxy-jute fiber composite* // *Journal of Chemical Engineering.* – 2012. – Vol.27. – No. 2. – P.77-82.

13. *Mechanical characterization of hemp fiber reinforced polyester composites* / Saradava B.J., Kathwadia A.J., Goraviyala A.D., Joshi V.K. // *Int. J. Sci. Dev. Res.* – 2016. – Vol.1. – No. 5. – P.754-762.

14. *Sanjeevamurthy G.C., Srinivas G.R. Sisal/coconut coir natural fibers – epoxy composites: water absorption and mechanical properties* // *Int. J. Eng. Innovat. Technol.* – 2012. – Vol.2. – No. 3. – P.166-170.

15. *Alamri H., Low I.M. Mechanical properties and water absorption behaviour of recycled cellulose fibre reinforced epoxy composites* // *Polym. Test.* – 2012. – Vol.31. – No. 5. – P.620-628.

PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES REINFORCED WITH HEMP WOOD CORE

L.M. Yashchenko, N.V. Iarova, L.O. Voronzova, O.O. Brovko*
Institute of Macromolecular Chemistry, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

* e-mail: lara.yashchenko@gmail.com

Physical-mechanical properties of biocomposites based on epoxy urethane binders were studied as a function of the ratio of components (polyisocyanate, epoxy resin ED-20 and sodium silicate) and the amount of a filler (hemp wood core) before and after the action of some destructive factors. It was shown that the mechanical properties of the prepared biocomposites were determined by the polymer–filler interaction. The balance and distribution of physical intermolecular bonds between the components of the system play an important role too. It was established that a significant difference in the parameters of physical and mechanical properties of biocomposites with different ratios of epoxy urethane binder components was due to different thermodynamic affinity of the binder to the hemp wood core surface. The study of the effect of the amount of a filler on the physical and mechanical properties of biocomposites showed that an increase in the concentration of hemp wood core from 60 parts by weight up to 80 parts by weight reduced the flexural strength from 30.1 MPa to 25.6 MPa, respectively. This was due to the insufficient amount of binder to wet the entire surface of the filler, and, therefore, resulted in the formation of defects in the composite. With the introduction of 60 parts by weight into the epoxy urethane matrix, the tensile strength increased to 13.9 MPa as compared with 0.3 MPa for the unfilled composite. This was the result of the intermolecular interaction change in the filled biocomposite due to appearance of polymer–filler interaction, which had a positive effect on the cohesion energy of the polymer matrix. With increasing filler content in the composite to 80 parts by weight, its tensile strength decreased slightly. It was shown that the biocomposites retained good and stable physical and mechanical properties under environmental conditions under the action of some destructive factors. However, there was a significant decrease in the tensile and flexural strengths of the samples exposed to water and ground, which indicated their biodegradability.

Keywords: polymer composite; epoxy urethane binder; filler; hemp wood core; biocomposite; mechanical properties.

REFERENCES

1. Somashekar S.M., Manjunath V., Gowtham M.J., Balasubramaniam N.S. Investigation on mechanical properties of hemp-e-glass fiber reinforced polymer composites. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 2016, vol. 7, pp. 182-192.
2. Bhoopathi R., Ramesh M. Mechanical properties' evaluation of hemp fibre-reinforced polymer composites. In: Lakshminarayanan A., Idapalapati S., Vasudevan M. (eds.) *Advances in Materials and Metallurgy. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Singapore, 2019, pp. 343-351.
3. De Vasconcellos D.S., Sarasini F., Touchard F., Chocinski-Arnault L., Pucci M., Santulli C., Tirillo J., Iannace S., Sorrentino L. Influence of low velocity impact on fatigue behaviour of woven hemp fibre reinforced epoxy composites. *Composites Part B: Engineering*, 2014, vol. 66, pp. 46-57.

Надійшла до редакції 27.05.2020

4. Cicala G., Tosto C., Latteri A., La Rosa A.D., Blanco I., Elsabbagh A., Russo P., Ziegmann G. Green composites based on blends of polypropylene with liquid wood reinforced with hemp fibers: thermomechanical properties and the effect of recycling cycles. *Materials*, 2017, vol. 10, article no. 998.
5. Singh S., Deepak D., Aggarwal L., Gupta V.K. Tensile and flexural behavior of hemp fiber reinforced virgin-recycled HDPE matrix composites. *Procedia Materials Science*, 2014, vol. 6, pp. 1696-1702.
6. Buj D.M., *Razrabotka kompozitsionnykh materialov na osnove epoksiuretanovykh oligomerov s uluchshennymi ekspluatatsionnymi svoystvami* [Development of composite materials basis on the epoxyurethane oligomers with the improved performance properties]: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences, Rossiiskii Khimiko-Tekhnologicheskii Universitet im. D.I. Mendeleeva, Moscow, 2014. (in Russian).
7. Halikova R.A., Starovojtova I.A., Murtazina A.I., Abdulhakova A.A., Hadeev Ye.P. Modifikatsiya gibridnykh sv'yazuyushchikh epoksidnym oligomerom [Modification of hybrid binders with an epoxy oligomer]. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta*, 2013, vol. 16, no. 15, pp. 68-70. (in Russian).
8. Osipchik V.S., Smotrova S.A., Tomilchik A.Ya. Issledovanie svoystv modifitsirovannykh epoksisoderzhashchikh oligomerov [Investigation of the properties of modified epoxy oligomers]. *Plasticheskie Massy*, 2011, no. 2, pp. 4-7. (in Russian).
9. Yashchenko L.M., Iarova N.V., Samoilenko T.F., Brovko O.O. Syntez epoksiuretanovogo spoluchnogo dl'ya biokompozytsiynykh materialiv [Synthesis of epoxy-urethane polymer matrix for biocomposite materials]. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2019, no. 1, pp. 73-79. (in Ukrainian).
10. Yuzova V.A., Semenova O.V., Kharshalin P.A., *Materialy i komponenty elektronnykh sredstv* [Materials and components of electronic media]. Prospekt Publishers, St Petersburg, 2015, 103 p. (in Russian).
11. Nielsen L.E., Landel R.F., *Mechanical properties of polymers and composites*. Marcel Dekker Inc., New York, 1994. 557 p.
12. Ahmad H., Islam M., Uddin M. Thermal and mechanical properties of epoxy-jute fiber composite. *Journal of Chemical Engineering*, 2012, vol. 27, no. 2, pp. 77-82.
13. Saradava B.J., Kathwadia A.J., Goraviyala A.D., Joshi V.K. Mechanical characterization of hemp fiber reinforced polyester composites. *International Journal of Scientific Development and Research*, 2016, vol. 1, no. 5, pp. 754-762.
14. Sanjeevamurthy G.C., Srinivas G.R. Sisal/coconut coir natural fibers-epoxy composites: water absorption and mechanical properties. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 166-170.
15. Alamri H., Low I.M. Mechanical properties and water absorption behaviour of recycled cellulose fibre reinforced epoxy composites. *Polymer Testing*, 2012, vol. 31, pp. 620-628.