

**В.П. Кашицький, О.Л. Садова, П.П. Савчук, В.М. Малець, В.С. Мазурок,  
С.В. Мисковець**

*Луцький національний технічний університет*

### **ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ТА ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ БІОКОМПЗИТІВ НА ОСНОВІ КРОХМАЛЬНОГО В'ЯЖУЧОГО**

*В статті визначено оптимальний вміст композиції в прес-формі, що дозволило отримати біокомпозитні зразки циліндричної форми без розшарувань та дефектів структури за рахунок прикладання одноосноного навантаження стиснення. Досліджено вплив деревного борошна на в'язкість композиційна основі крохмального гелю та визначено оптимальний вміст водного розчину глютину в композиції, що забезпечило підвищення твердості біокомпозитних матеріалів. Розроблено технологію отримання крохмального гелю та водного розчину глютину, а також оптимізовано режим формування біокомпозитів під впливом термомеханічної обробки з наступною термічною обробкою біокомпозитних зразків, що забезпечило формування щільної та однорідної структури біокомпозитів.*

*Ключові слова:* крохмаль, розчин глютину, модифікатор, деревне борошно, пресування, композиція, дефекти структури.

**В.П. Кашицкий, О.Л. Садовая, П.П. Савчук, В.М. Малец, В.С. Мазурок, С.В. Мисковец**

### **ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ БИОКОМПЗИТОВ НА ОСНОВЕ КРАХМАЛЬНОГО ВЯЖУЩЕГО**

*В статье определено оптимальное содержание композиции в пресс-форме, что позволило получить биокompозитные образцы цилиндрической формы без расслоений и дефектов структуры за счет приложения одноосной нагрузки сжатия. Исследовано влияние древесной муки на вязкость композиций на основе крахмального геля и определено оптимальное содержание водного раствора глютина в композиции, что обеспечило повышение твердости биокompозитных материалов. Разработана технология получения крахмального геля и водного раствора глютина, а также оптимизирован режим формирования биокompозитов под влиянием термомеханической обработки с последующей термической обработкой биокompозитных образцов, что обеспечило формирование плотной и однородной структуры биокompозитов.*

*Ключевые слова:* крахмал, раствор глютина, модификатор, древесная мука, прессование, композиция, дефекты структуры.

**V. Kashytskyi, O. Sadova, P. Savchuk, V. Malets, V. Mazurok, S. Myskovets**

### **OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION AND FORMATION TECHNOLOGY OF BIOCOMPOSITES ON THE BASIS OF STARCH BINDER**

*The article determines the optimal content of the composition in the press-mold, which allowed obtaining biocomposite samples cylindrical shape without delamination and defects of structure due to the application of uniaxial compression load. The influence of wood flour on the viscosity of compositions based on starch gel was studied. The optimal content of aqueous solution of gluten in the composition was determined, which provided an increase in the hardness of biocomposite materials. The technology of obtaining starch gel and aqueous solution of gluten has been developed. The mode of formation of biocomposites under the influence of thermomechanical treatment with the following heat treatment of biocomposite samples was optimized, which ensured the formation of a dense and homogeneous structure of biocomposites.*

*Keywords:* starch, gluten, modifier, wood flour, pressing, composition, structure defects.

**Постановка проблеми.** Розвиток сучасного матеріалознавства спрямований на підвищення екологічної безпеки та вирішення глобальних проблем, що пов'язані з переробкою відходів, в результаті чого екологічно чисті матеріали на основі рослинної сировини визнано перспективним матеріалом як альтернативу композитам на основі полімерів, які належать до вичерпних джерел сировини. На сьогодні активно використовують відходи харчової, легкої та деревообробної галузі, які після спеціальної обробки можуть бути використані як наповнювачі полімеркомпозитних матеріалів, що зменшує вміст полімерної матриці в об'ємі композитного матеріалу та підвищує його біодеградабельність. При цьому полімеркомпозитні матеріали з наповнювачами природного походження забезпечують високі механічні та експлуатаційні характеристики, однак здатність до біологічного розкладу є нижчою порівняно з біокомпозитами, що містять лише компоненти природного походження. Вирішення проблеми можливе шляхом заміни полімерної матриці на в'язуче природного походження за умови, що таке в'язуче забезпечить високу адгезійну міцність

з поверхнею частинок наповнювача. Перспективним варіантом матеріалу природного походження є використання крохмального гелю як біополімерної матриці з високим ступенем деградабельності, що потребує розробки технології отримання крохмального гелю, оптимізації вмісту компонентів та дослідження процесів формування структури біокомпозитних виробів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні значна увага науковців в галузі полімеркомпозитного матеріалознавства акцентована на розробці біодеградабельних матеріалів, які здатні до розкладу в навколишньому середовищі під впливом біологічних та атмосферних факторів. Це пов'язано з більш жорсткими екологічними вимогами, які стосуються контролю викидів парникових газів, зменшення забруднення навколишнього середовища токсичними відходами, що викликані діяльністю людини та призводять до кліматичних змін. Розглядаючи полімеркомпозитні матеріали, особливий науковий та практичний інтерес представляють біокомпозити, які складаються з біополімерного в'язучого, що армоване волокнами природного походження. Серед в'язучих для біокомпозитів доцільно звернути увагу на біорозкладні полімери, які отримують з рослинної або тваринної сировини, оскільки вони мають значну перевагу в аспекті відповідності екологічним вимогам та становлять 80 % від загального ринку біопластиків [1, 2].

Інтерес до розробки біокомпозитів швидко зростає в області практичного застосування і проведення експериментальних досліджень через їх значні переваги, оскільки вони виготовлені з відновних природних ресурсів, дешеві, придатні до формування та механічної обробки, екологічно безпечні та біорозкладні. До позитивних сторін активного впровадження біокомпозитів відносять відсутність шкідливих факторів на здоров'я працівників в процесі виготовлення виробів, високу технологічність та питому міцність, декоративний зовнішній вигляд, подібний до текстури деревини [3]. Біокомпозитні матеріали відносять до нового класу матеріалів, які мають широкий спектр механічних та експлуатаційних властивостей, що дозволяє розширювати область застосування таких матеріалів у виготовленні пакувальних матеріалів (тара, піддони, ящики), будівництві (конструкція даху, вікна, двері, підлога), меблевій промисловості, автомобілебудуванні (накладки дверей та сидінь, панель приладів), аерокосмічній промисловості (салон літака), військовій галузі, електроніці (плати), виготовленні товарів народного споживання і медицині [4].

Компоненти біокомпозитів відносять до відновних джерел сировини, що дозволяє отримувати вихідні матеріали в результаті біологічного росту рослин, які в більшості випадків є відходами в процесі основного виробництва в меблевій або харчовій промисловості. Такі продукти підлягають утилізації, що знижує собівартість процесу отримання компонентів для формування біокомпозитного матеріалу. Значною перевагою біокомпозитів є можливість їх рециклінгу, оскільки після експлуатації біокомпозитних виробів компоненти в деяких випадках повністю придатні для вторинної переробки, що спрощує їх утилізацію та зменшує ступінь забруднення навколишнього середовища. Рослинні і дерев'яні волокна (табл. 1), які використовують для армування біокомпозитів, містять целюлозу і лігнін, що забезпечує високу міцність на розрив і ступінь кристалічності та дозволяє отримати композитні матеріали з низькою густиною, високою питомою міцністю і жорсткістю порівняно з полімеркомпозитами, наповнених синтетичними волокнами. Широкий спектр волокон природного походження забезпечує високу конкурентну здатність біокомпозитним матеріалам, які виступають як екологічно альтернативний матеріал полімеркомпозитам, наповнених вуглецевими, скляними або полімерними волокнами. Натуральні волокна мають пористу структуру, яка забезпечує високу ізоляцію від шуму і низьку теплопровідність виробів, які доцільно використовувати як ізоляційні панелі в оформленні салонів транспортних засобів, будівництві та виготовленні меблів [5].

Таблиця 1.

#### Класифікація наповнювачів біокомпозитних матеріалів

Рослинні волокна					Деревні волокна	
Солом'яні	Луб'яні	Листяні	Насіння	Трав'яні	неперероблені	перероблені
Рис, пшениця, кукурудза	Кенаф, льон, джут, конопля	Банан, сизаль, ананас	Бавовна, кокос	Бамбук	М'яка і тверда деревина	Папір, картон

Термін «зелені композити» використовують до біокомпозитів, які складаються з натуральних волокон і біорозкладних смол. Їх вважають екологічно чистими композитами в основному через здатність до розкладання, тому їх можна легко утилізувати, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу. Завдяки своїй довговічності «зелені композити» в основному використовують для збільшення життєвого циклу виробів, які характеризуються коротким терміном експлуатації [7, 8].

Широко практикується використання «гібридних біокомпозитів», які містять волокна різного хімічного складу. При цьому волокна можуть бути синтетичними або натуральними різного морфологічного складу і їх можна довільно комбінувати для формування «гібридних біокомпозитів». Функціональність волокон безпосередньо залежить від балансу між корисними і негативними властивостями кожного компоненту, що входить до складу біокомпозитного матеріалу. Властивості таких біокомпозитів безпосередньо залежать від параметрів волокон, що враховують їх довжину, товщину, розташування, а також ступінь взаємодії з полімерною матрицею. Зокрема, міцність «гібридного біокомпозиту» залежить від здатності до деформації та руйнування окремих волокон [8].

**Постановка завдань.** Метою роботи є оптимізація складу біокомпозитного матеріалу на основі крохмального в'язучого з розробкою технології підготовки компонентів та формування композиції, до складу якої входить модифікована розчином глютину матриця та деревне борошно.

**Викладення основного матеріалу.** Формування біокомпозитних зразків на основі матриці з крохмального гелю полягало в отриманні однорідної композиції, до складу якої входили в'язуче та деревне борошно. Залежно від об'єму зразків розраховували кількісний вміст компонентів на 100 мас. ч. крохмального гелю.

Приготування в'язучого на основі крохмального гелю для формування біокомпозитних зразків проводили наступним чином. На першому етапі змішували порошок крохмалю з холодною водою у співвідношенні 10 г крохмалю на 10 г води. Після ретельного змішування до отриманого розчину додавали 50 г гарячої води ( $t = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) та підігрівали розчин до температури  $50\text{-}55\text{ }^{\circ}\text{C}$  протягом 2-3 хв до утворення напівпрозорого гелю. Життєздатність крохмального гелю становить не більше 15-20 хв. До складу в'язучого вводили наповнювач (деревне борошно) з дозованим вмістом від 40 мас. ч. до 60 мас. ч. та ретельно перемішували композицію з метою забезпечення її однорідності. Отриману композицію поміщали у прес-форму під тиском 10-20 МПа з фіксацією пуансонів для забезпечення високої щільності композиції і уникнення розшарування та піддавали термічній обробці: витримка протягом 6 год за температури  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  та 2 год за температури  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Далі зразки видаляли з прес-форми та піддавали додатковій термічній обробці протягом 3 год за температури  $90\text{-}95\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Технологічний режим формування біокомпозитних матеріалів визначається зусиллям стискування композиції в порожнині прес-форми, що призводить до отримання біокомпозитних зразків з різним ступенем щільності. В роботі використано прес-форму у вигляді пустотілої циліндричної матриці та пуансонів, в результаті чого формування біокомпозитного матеріалу відбувалося шляхом одностороннього стиснення композиції з фіксованим розташуванням верхнього пуансона. При цьому ступінь стиснення визначається вмістом композиції в об'ємі прес-форми, який необхідно змінювати для регулювання величини питомого навантаження. Визначення оптимального вмісту композиції в порожнині прес-форми проводили з використанням різних співвідношень маси композиції до сталого об'єму порожнини прес-форми: 10 г, 11 г, 12 г, 13 г.

За малого вмісту композиції в порожнині прес-форми (10 г) тиск пресування становив 10 МПа, в результаті чого отримаємо зразок зі спотвореною формою через високу усадку в результаті інтенсивного видалення вологи (рис. 1, а). Виникнення наскрізної радіальної тріщини зумовлено формуванням високопористої структури та низькою когезійною міцністю біокомпозиту через низький ступінь стиснення композиції, в якій частинки деревного борошна втрачають зв'язок з крохмальною матрицею в результаті зменшення її об'єму під час термічної обробки за рахунок інтенсивного видалення вологи. У випадку завантаження композиції в кількості 11 г тиск пресування складав 12 МПа, що забезпечило формування брикету з незначною кількістю невеликих тріщин (рис. 1, б), які утворилися в результаті видалення вологи під час термічної обробки за температури  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Перевищення тиску пресування (15 МПа) призводить до утворення глибоких поперечних поверхневих тріщин (рис. 1, в), які утворюються через появу пружної післядії. Встановлено, що міцність адгезійних зв'язків виявилася нижчою порівняно із зусиллям,

яке викликає розширення матеріалу після видалення з прес-форми та під впливом термічної обробки. Поява поперечного розриву біокомпозитного об'єкта (рис. 1, г) пов'язана з надлишковим вмістом композиції в прес-формі (13 г), в результаті чого тиск пресування склав 20 МПа. Це призвело до руйнування слабких фізичних зв'язків між крохмальною матрицею і частинками деревного борошна, оскільки накопичена енергія деформації вивільняється в дефектному місці під впливом теплової енергії.

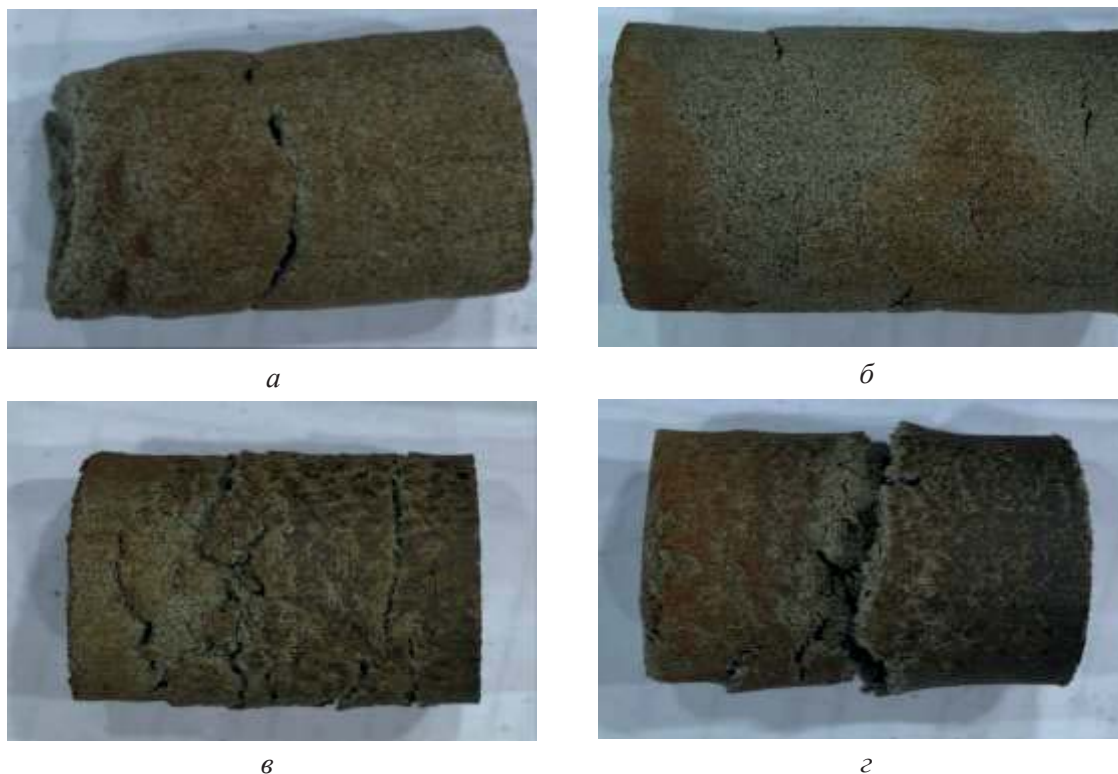
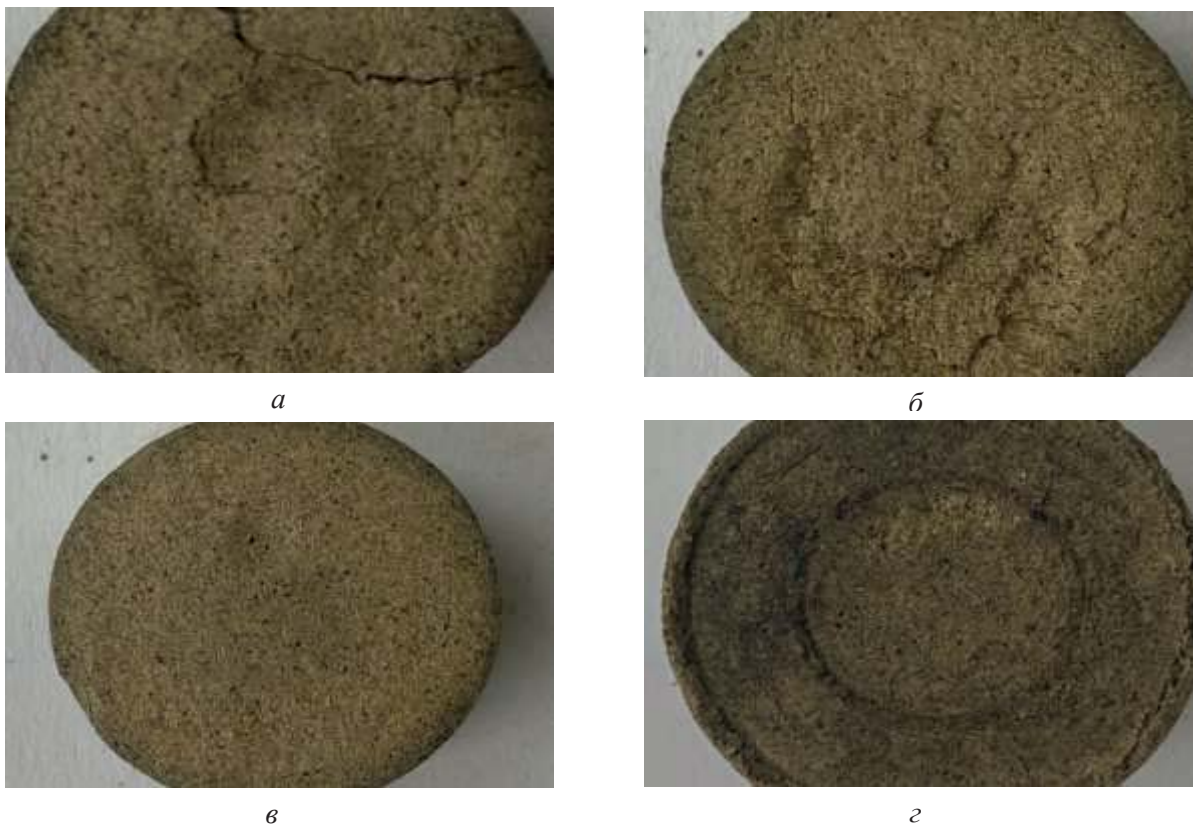


Рис. 1. Загальний вигляд сформованої композиції: а – 10 МПа; б – 12 МПа; в – 15 МПа; г – 20 МПа

З метою підвищення міцності крохмальної матриці та усунення дефектів структури проведено модифікування біокомпозитів кістковим клеєм (глютином). Приготування модифікатора полягало в попередньому насиченні гранул глютину водою у співвідношенні 1:2 з наступною витримкою протягом 24 год за кімнатної температури. В результаті гранули глютину розчинилися у воді за рахунок руйнування фізичних зв'язків між макромолекулами амінокислот в первинній структурі білкової речовини. Для отримання однорідного розчину суміш глютину та води нагрівали на паровій бані протягом 3-5 хв. Отриманий розчин глютину дозували шляхом зважування та вводили в крохмальну матрицю. Вміст глютину варіювався в межах від 20 мас. ч. до 50 мас. ч. та розраховувався на 100 мас. ч. крохмального гелю. До суміші вводили деревне борошно в кількості 50 мас. ч. та механічно вимішували, після чого готову композицію поміщали в прес-форму та пресували за оптимального тиску 12 МПа. Наступна термічна обробка, яка полягала у витримці протягом 1 год за температури 70 °С, 1 год – 110 °С, 1 год – 150 °С забезпечувала видалення вологи з об'єму біокомпозитного матеріалу та утворення фізичних і хімічних зв'язків.

Встановлено, що введення в композицію модифікатора (розчин глютину) в кількості 50 мас. ч. є недостатнім, оскільки на торцевій поверхні виявлено тріщини та незначну усадку (рис. 2, а). Отримане співвідношення крохмального гелю та глютину не забезпечує формування бездефектної структури біокомпозитного матеріалу, що можна пояснити додатковим введенням до складу композиції води, яка міститься у розчині глютину і спричиняє усадку в процесі випаровування під час термічної обробки. Присутні мікропори та мікротріщини на торцевій поверхні біокомпозитного зразка спричиняють викришування матеріалу (рис. 2, б), що пов'язано із видаленням води. Однак за вмісту розчину глютину 60 мас. ч. відбувається

формування фізичних та хімічних зв'язків, які підвищують адгезійну міцність крохмальної матриці до поверхні частинок деревного борошна. Оптимальний вміст розчину глютину в складі композиції складає 70 мас. ч., що забезпечує формування однорідної щільної структури біокомпозитного матеріалу без макроскопічних дефектів з незначними слідами усадки після термічної обробки (рис. 2, в). Макромолекули амінокислот після видалення води зі складу композиції є більш міцними порівняно з макромолекулами крохмалю, що підвищує когезійну міцність полімерної матриці та адгезійну міцність зв'язків між компонентами біокомпозитного матеріалу. Підвищення вмісту розчину глютину до 80 мас. ч. призводить до появи на торцевій поверхні зразка тріщин (рис. 2, г), які розташовані на периферійній частині, що пов'язано з надлишковим вмістом води в композиції, яка видаляється під час термічної обробки і викликає розшарування в зовнішніх підповерхневих шарах біокомпозитного матеріалу.



**Рис. 2. Макроструктура біокомпозитів, наповнених 50 мас. ч. деревного борошна на основі крохмальної матриці, модифікованої кістковим клеєм в кількості:  
а – 50 мас. ч., б – 60 мас. ч., в – 70 мас. ч., г – 80 мас. ч.**

З метою надання підвищення щільності та твердості біокомпозитного матеріалу проведено дослідження визначення впливу вищого вмісту деревного борошна на особливості формування структури біокомпозитів. При формуванні біокомпозитів з підвищеним вмістом деревного борошна вміст модифікатора становив 70 мас. ч., а тривалість обробки на кінцевому етапі за температури 150 °С підвищено до 2 год для повнішого видалення вологи зі складу композиції.

В біокомпозитних зразках з нижчим вмістом наповнювача 55 мас. ч. зафіксовано макротріщини на циліндричній поверхні (рис. 3, а), які призводять до розшарування матеріалу, що вказує на наявність надлишкового вмісту вологи, яка залишається в складі біокомпозиту через високий вміст крохмального гелю порівняно з вмістом деревного борошна. Волога не встигає випаруватись, оскільки зразки під час термічної обробки знаходяться в прес-формі, що спричиняє високу шорсткість бічної поверхні, яка утворюється в результаті тертя бічної поверхні по внутрішній поверхні прес-форми під час випресовування зразка. Тому виникає необхідність збільшення тривалості термічної обробки, що є економічно не вигідно в технологічному процесі виготовлення виробів на основі біокомпозитних матеріалів, або використовувати композиції з

підвищеним вмістом деревного борошна, що забезпечить усунення даних дефектів структури за рахунок зменшення вмісту вологи в складі композиції.

Введення наповнювача в кількості 65 мас. ч. забезпечує формування біокомпозитного матеріалу без тріщин та розшарувань, однак з високою шорсткістю бічної поверхні (рис. 3, б), що пов'язано з підвищеним вмістом вологи в складі композиції. Це вказує на можливість підвищення вмісту наповнювача, який поглинає частину води та заповнює порожнечу в результаті випаровування молекул води під час термічної обробки.

Підвищення вмісту деревного борошна до 65 мас. ч. дозволяє отримати біокомпозитні матеріали без розшарувань та інших дефектів структури (рис. 3, в) із значно нижчою шорсткістю, що пов'язано із зменшенням вмісту вологи та вказує на вищу щільність і твердість поверхні біокомпозитного зразка. Це вказує на оптимальне співвідношення компонентів біокомпозиту, що забезпечує формуванням однорідної структури матеріалу.

На зразках, які містять 70 мас. ч. деревного борошна зафіксовано невелику кількість тріщин на бічній поверхні біокомпозитного зразка (рис. 3, г), що пов'язано із недостатнім змочуванням частинок наповнювача модифікованою крохмальною матрицею через його високий вміст, в результаті чого неможливо забезпечити високу адгезійну міцність компонентів матеріалу.

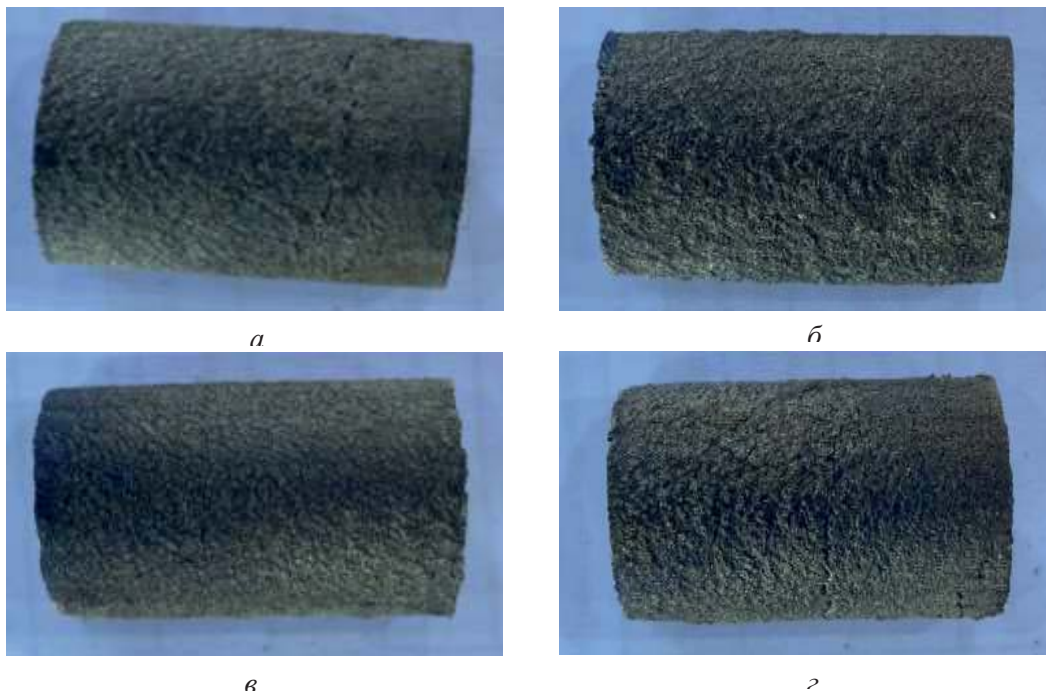


Рис. 3. Загальний вигляд біокомпозитів модифікованих кістковим клеєм та наповнених деревним борошном в кількості: а – 55 мас. ч.; б – 60 мас. ч.; в – 65 мас. ч.; г – 70 мас. ч.

Експериментально встановлено, що підвищення тривалості термічної обробки до 3 год. за температури 150 °С забезпечує формування однорідної макроструктури розробленого біокомпозитного матеріалу з високим ступенем щільності (рис. 4), оскільки після випресовування на поверхні зразків не зафіксовано утворення макроскопічних дефектів (тріщини, порита розшарування). Однак в об'ємі матеріалу присутні дрібні пори, що забезпечує зниження питомої ваги розроблених біокомпозитних матеріалів, тому можна вважати, що розроблена технологія формування та оптимізований склад компонентів забезпечує формування біокомпозитів з підвищеною питомою міцністю.

**Висновки.** Оптимальний тиск пресування композиції складає 12 МПа, що забезпечує взаємодію компонентів біокомпозитного матеріалу з утворенням фізичних та хімічних зв'язків. У випадку низького тиску пресування відбувається руйнування матеріалу під час термічної обробки через недостатню щільність структури, а випадку високого тиску матеріал розшаровується через появу ефекту пружної післядії.



**Рис. 4. Макроструктура біокомпозиту з оптимальним вмістом компонентів та підвищеною тривалістю термічної обробки**

Встановлено, що за оптимального вмісту модифікатора (розчин глютину) 70 мас. ч. формується однорідна та щільна структура біокомпозитного матеріалу, що містить мікропори, які забезпечують високу питому міцність. За меншого вмісту модифікатора частинки деревного борошна погано змочуються матрицею, що ускладнює формування та пресування композиції, а також призводить до появи макродефектів (пори, тріщини). Підвищення міцності біокомпозитних матеріалів у випадку введення модифікатора пов'язано із вищою міцністю макромолекул амінокислот порівняно з макромолекулами крохмалю, які входять до складу розчину глютину. Після видалення води зі складу композиції утворюються фізичні та хімічні зв'язки, що підвищує когезійну міцність полімерної матриці та адгезійну міцність між компонентами біокомпозитного матеріалу.

Оптимальний вміст деревного борошна становить 65 мас. ч., що забезпечує формування щільної структури поверхневого шару з невисокою шорсткістю порівняно з біокомпозитами, що містять менший вміст наповнювача. Наявність рівномірно розташованих мікропор в об'ємі біокомпозитного матеріалу вказує на формування однорідної структури та оптимальне співвідношення компонентів. В біокомпозитах з меншим ступенем наповнення (55...60 мас. ч) зафіксовано появу макротріщин на бічній поверхні через інтенсивне видалення вологи, яка міститься в розчинах крохмального гелю та глютину.

#### Список використаної літератури

1. Севастьянов Д.В. Полимерные биокompозиты на основе биоразлагаемых связующих, армированных натуральными волокнами / Д.В. Севастьянов, И.В. Сутубалов, М.И. Дасковский, Е.А. Шейн // Композиционные материалы. – №4(49), 2017. – С. 42-50.
2. Савчук П.П. Дослідження властивостей біокомпозитів, наповнених дискретними волокнами природного походження / П.П. Савчук, О.Л. Садова, В.П. Кашицький, Є.М. Кальба, О.Б. Климовець // Наукові нотатки. – Випуск 69. – Луцьк, 2020. – С. 75-81.
3. Pandey J.K. Commercial potential and competitiveness of natural fiber composites / J.K. Pandey, V. Nagarajan, A.K. Mohanty, M. Misra // Biocomposites: Design and Mechanical Performance. Elsevier, – 2015. – P. 1-15.
4. Тіммапурам Ранджет Кумар Редді, Хєн-Джунг Кім, Парк Джи-Вон. Відновлювані властивості біокомпозитів та їх застосування. – 2019. – 1712 с.
5. Кашицький В.П. Дослідження фізико-механічних характеристик епоксикомпозитів з органічним наповнювачем / В. П. Кашицький, О. Л. Садова, С.М. Щеглов // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2018): збірка матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції (29-31 травня 2018 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія, 2018. – С. 308-309.
6. Natural Fiber Composites Market Trend and Forecast: Trend, Forecast and Opportunity Analysis. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis Group. – 2016. P. 30-36 p.
7. Моханті А.К., Місра М. та Дрзаль Л.Т. Стійкі біокомпозити з відновлюваних ресурсів: можливості та проблеми у світі зелених матеріалів / Polym Environment. – 2002. – 19-26 с.
8. Пол Фаулер, Дж. Марк Хьюз та Роберт М. Еліас. Біокомпозити: технологія, екологія повноваження та ринкові сили // Журнал Наука про харчові та сільські господарства. – 2006. – 1781-1789 с.

## ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАННЯ СТАТЕЙ

Стаття надсилається до редакції збірника у паперовому варіанті з підписами авторів на адресу: 43018, м. Луцьк, вул. Львівська 75, Луцький НТУ; в електронному вигляді у форматі MS WORD – на електронну адресу: [naukovi\\_notatki@lutsk-ntu.com.ua](mailto:naukovi_notatki@lutsk-ntu.com.ua). Обидва варіанти повинні бути ідентичними.

**Наукова стаття обов'язково повинна мати наступні необхідні елементи:** постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття; формулювання цілей статті; виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень у даному напрямку.

1. **Статтю можна подавати українською, російською, або англійською мовою.** Стаття повинна бути набрана у текстовому редакторі не нижче MS WORD 97/03 і надрукована тільки на лазерному або струйному принтері на білих листах формату А4 (297x210 мм). Нумерацію сторінок не виконувати. Обсяг статті від 4-9 сторінок.
2. Параметри сторінки: верхнє, нижнє та ліве поле – 2 см, праве поле 2,5 см. Від краю до колонтитула верхнього – 1,25 см, нижнього – 1,25 см.
3. Шапка статті: індекс УДК, ініціали та прізвища авторів розміщується на один абзац нижче шрифтом 11 пт, назва організації – набираються з нового рядка шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по центру. Назва статті розміщується на один абзац нижче назви організації, набирається шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з напівжирним виділенням і вирівнюється по центру.
4. **Анотації** українською, російською та англійською мовами набираються з абзацного відступу шрифтом Time New Roman Cyr розміром 9, курсив, напівжирний 300-500 друкованих знаків з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюються по ширині; англійською мовами розширена анотація 700-1000 друкованих знаків.
5. Нижче анотацій обов'язково вказуються ключові слова шрифтом Time New Roman Cyr, курсив, напівжирний 9 пт.
6. Основний текст розміщується на 1 см нижче анотацій, набирається з абзацного відступу 1 см шрифтом Time New Roman Cyr розміром 11 пт з одинарним міжрядковим інтервалом і вирівнюється по ширині.
7. Для набирання формул застосовувати редактор формул MS WORD (використовувати шрифти: Symbol, Time New Roman Cyr; розміри шрифтів: звичайний 12 пт, крупний індекс 7 пт, дрібний індекс 5 пт, крупний символ 18 пт, дрібний символ 12 пт). Формула вирівнюється по центру і не повинна займати більше 5/6 ширини рядка.
8. Якщо в статті присутні ілюстрації, необхідно розташовувати їх по тексту, вирівнюючи підписи (*Рис. 1. Схема ...*) по ширині з абзацного відступу 1 см. Другий екземпляр ілюстрації необхідно подати на окремому листі. Ілюстрації повинні бути чіткими та контрастними.



9. Таблиці розташовувати по тексту, причому їх ширина повинна бути на 1 см менша ширини рядка. Над таблицею поставити її порядковий номер (*Таблиця 1*) вирівнюючи по правому краю, під яким розмістити назву таблиці вирівнюючи по центру.
10. Література подається загальним списком в кінці рукопису згідно з вимогами державного стандарту через 1 см від останнього рядка.
11. **Обов'язково** подати статтю. на лазерному диску. Статті можна також пересилати електронною поштою за такою адресою: [naukovi\\_notatki@lutsk-ntu.com.ua](mailto:naukovi_notatki@lutsk-ntu.com.ua)
12. До статті **обов'язково** додається **рецензія від** провідного вченого за науковим спрямуванням статті та **авторська довідка** у письмовому та електронному вигляді за вказаною формою:

**Прізвище, Ім'я, По-батькові**

**Місце роботи, посада, науковий ступінь, вчене звання**

**Наукові інтереси, ORCID**

**Назва статті та особисті підписи усіх авторів**

**Адреса для листування, телефон, e-mail, контактну особу**

14. В кінці статті обов'язково вказуються ПІБ, посаду, науковий ступінь, вчене звання рецензента статті.
15. Рукописи, що не відповідають вище вказаним вимогам, не розглядаються і до друку не приймаються.