

**ВПЛИВ СТУПЕНЯ ПІДСУШУВАННЯ БІОКОМПОЗИЦІЇ НА МІЦНІСТЬ ПРИ СТИСКАННІ БІОКОМПОЗИТІВ**

**Доц. Садова О.Л., проф. Кашицький В.П., асп. Вишинський М.І.**  
*Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, вул. Львівська, 75,  
o.sadova@lntu.edu.ua*

З метою подолання проблеми забруднення планети було проведено велику кількість досліджень для синтезу безпечних екологічних матеріалів, які здатні до розкладання за звичайних умов компостування на безпечні вторинні продукти в кінці їх життєвого циклу [1, 2]. Пакувальний матеріал є одним з синтетичних матеріалів нафтохімічного походження, що характеризується багатотонним щорічним виробництвом, тому потребує першочергової заміни на біорозкладні полімери. Біополімери можуть розкладатися різними способами: CO<sub>2</sub>-нейтральне спалювання (з відновленням енергії), розкладання/деградація у ґрунті, промислове та побутове компостування, термомеханічна переробка, деградація через різні організми (споживання, біодеградація), анаеробне розщеплення з перетворенням в біогаз, розчинення у звичайній та морській воді, хімічна переробка або утилізація на сміттєзвалищах [3].

Інтерес до біокомпозитів швидко зростає з точки зору промислового застосування (автомобілі, залізничні вагони, аерокосмічні, військові застосування, будівництво та пакування) і фундаментальних досліджень завдяки їх значним перевагам (відновлюваність, низька собівартість, технологічність та біодеградабельність). Біокомпозити можна використовувати окремо або як добавки до класичних матеріалів, таких як вуглецеве волокно. Використання біокомпозитних матеріалів покращує безпеку праці в умовах виробництва, знижує вагу виробів, забезпечує декоративний зовнішній вигляд та підвищує екологічність. Відмінність такого класу композитів полягає в тому, що вони біологічно розкладаються і не забруднюють навколишнє середовище, оскільки завданням матеріалознавців є знизити шкідливий вплив виробництва полімеркомпозитів на екологічний стан довкілля. Компоненти для біокомпозитів отримують з відновлюваних джерел, вони є дешевими і можуть повністю піддаватися переробці [4].

В якості наповнювача для формування високонаповнених біокомпозитів використано подрібнені стебла зернових культур розмірами 0,5 мм і 0,7 мм. Вміст наповнювача становив 150 мас. ч. В якості матриці використано розчин глютину, який готували з розрахунку 13 г гранул кісткового клею на 26 г дистильованої води. Розчин підігрівали протягом 1,5 год за температури 50 °С з періодичним перемішуванням для забезпечення однорідності. Далі проводили дозування компонентів. До попередньо підсушеного наповнювача додавали розчин глютину і змішували. Окремо дозували 11 г композиції [5] і поміщали в сушильну шафу за температури 50 °С з метою видалення надлишкової вологи, яка потрапляє в матеріал на стадії приготування матриці. Видалення вологи під час проведення додаткової термічної обробки (основна термічна обробка проводиться в прес-формі під тиском) призводить до утворення тріщин в біокомпозитних матеріалах [5, 6]. Ступінь підсушування (втрата маси) композиції становив 10%, 15%, 20% та 25%. Далі композицію поміщали в форму та піддавали стисненню. Пуансони прес-форми фіксували для забезпечення суцільності матеріалу та піддавали основній термічній обробці: 150 °С з витримкою протягом 2 год (після 1 год необхідно провести додаткове стиснення композиції). Охолодження проводили на спокійному повітрі за кімнатної температури.

Встановлено, що міцність при стисканні підвищується із збільшенням ступеня підсушування композиції. Найнижчу міцність при стисканні 7,9 МПа і 7,2 МПа мають біокомпозити, наповнені подрібненими стеблами зернових культур розмірами 0,5 мм та 0,7 мм відповідно, що мають ступінь попереднього підсушування композиції 10%. Низьку міцність отриманих біокомпозитів можна пояснити надлишком вологи в матеріалі, яка не видаляється під час термічної обробки, оскільки матеріал знаходиться в прес-формі. Із збільшенням

ступеня підсушування композиції до 15% міцність при стисканні зростає в 4,8 рази для біокомпозитів, що наповнені частинками з фракцією 0,5 мм і в 4,4 рази у випадку наповнення фракцією 0,7 мм, що становить 38,2 МПа та 31,8 МПа відповідно.

Ступінь попереднього підсушування композиції 20% дозволив підвищити міцність при стисканні біокомпозитів в 1,3 рази у випадку наповнення подрібненими стеблами зернових культур розміром 0,7 мм і становить 42,2 МПа. У випадку наповнення частинками розміром 0,5 мм міцність при стисканні біокомпозитів зростає в 1,7 рази і становить 63,7 МПа. Отриману вищу міцність в даному випадку можна пояснити вищою дисперсністю наповнювача, оскільки в його об'ємі залишається менший вміст вологи.

Найвищу міцність при стисканні мають біокомпозитні матеріали зі ступенем попереднього підсушування композиції 25%. Встановлено, що міцність при стисканні 79,6 МПа і 82,8 МПа мають біокомпозити, наповнені подрібненими стеблами зернових культур розмірами 0,5 мм та 0,7 мм відповідно, що вище в 1,2-2 рази порівняно із біокомпозитами зі ступенем підсушування 20%. Дещо нижчу міцність при стисканні (на 4%) біокомпозитів із наповнювачем розміром 0,5 мм порівняно розміром 0,7 мм можна пояснити утворенням меншої кількості фізико-хімічних зв'язків між компонентами, що імовірно відбулося через високий ступінь видалення вологи із частинок наповнювача, які є дрібнішими. Також частинки більшого розміру є міцнішими і за рахунок механічного зачеплення мають вищий опір руйнуванню. Тому можна стверджувати, що оптимальний вміст вологи (20-25%) в композиції необхідний для забезпечення утворення зв'язків між глютиновою матрицею та наповнювачем природного походження.

#### Література:

1. Asyraf MRM, Ishak MR, Sapuan SM, Yidris N, Ilyas RA. Woods and composites cantilever beam: A comprehensive review of experimental and numerical creep methodologies. *Journal of Materials Research and Technology* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.01.013>.
2. Syafri E, Sudirman, Mashadi, Yulianti E, Deswita, Asrofi M, et al. Effect of sonication time on the thermal stability, moisture absorption, and biodegradation of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) nanocellulose-filled bengkuang (*Pachyrhizus erosus*) starch biocomposites. *Journal of Materials Research and Technology* 2019;8:6223–31. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.10.016>
3. Ilyas RA, Sapuan SM. The preparation methods and processing of natural fibre bio-polymer composites. *Current Organic Synthesis* 2020;16:1068-70. <https://doi.org/10.2174/157017941608200120105616>.
4. Fazeli, M.; Florez, J.; Simão, R. (9 November 2018). "Improvement in adhesion of cellulose fibers to the thermoplastic starch matrix by plasma treatment modification". *Composites Part B: Engineering*. 163: 207–216.
5. Кашицький В.П., Садова О.Л., Савчук П.П., Малець В.М., Мазурок В.С., Мисковець С.В. Оптимізація складу та технології формування біокомпозитів на основі крохмального в'язучого. *Наукові нотатки*. – Випуск 71. – Луцьк, 2021. – С. 353-359.
6. Кашицький В. П. Розробка біокомпозитів, наповнених продуктами переробки вторинної сировини рослинного походження / В.П. Кашицький, О.Л. Садова, О.В. Заболотний, В.М. Малець, В.С. Мазурок // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. – Випуск 1 (160). – Вінниця, 2022. – С. 95-102.