

РОЗРОБЛЕННЯ ПОЛІГІДРОКСИБУТИРАТ-ГІДРОКСИАПАТИТНИХ КОМПОЗИТІВ ІЗ КОНТРОЛЬОВАНОЮ ПОРИСТИСТІЮ ДЛЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Іванух О. О., Мельник Ю. Я., Скорохода В. Й.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

oleksandr.o.ivanukh@lpnu.ua

У сучасній біоінженерії актуальним є створення біодеградабельних композитів, здатних тимчасово замінювати ушкоджені кісткові тканини, забезпечуючи механічну підтримку та біоактивну стимуляцію регенерації. Перспективними полімерними матрицями для їх створення є полігидроксіалканоати, зокрема полігидроксibuтират (ПГБ) – біосумісний термопластичний поліестер мікробного походження, що характеризується інертністю, біодеградацією, нетоксичністю продуктів розпаду, високими бар'єрними характеристиками. Використання гідроксіапатиту (ГА), який є основним компонентом кістки, як біоактивного наповнювача у композитах забезпечує їхню остеокондуктивність, сприяє адгезії, диференціюванню остеогенних клітин і стимулює мінералізацію через вивільнення йонів. Готували суміші наступних складів ПГБ/ГА, % мас.: 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50. Формування композитів здійснювали методом компресійного пресування. ПГБ у вигляді порошку був одержаний під час культивування бактерій штаму *Azotobacter vinelandii* N-14 у ВФХГК ІнФОВ ім. Л.М. Литвиненка НАН України (м. Львів) з наступними характеристиками: $M_w = 680\,000$, $\rho = 1,22\text{ г/см}^3$, $PTP_{180^\circ\text{C}, 2,16\text{кг}} = 14\text{ г/хв}$. Використовували гідроксіапатит Acros Organics® із середнім розміром частинок 60–80 нм. У прес-форму завантажували підготовлену гомогенізовану суміш ПГБ/ГА, нагрівали до робочої температури 165–180 °С і витримували протягом 10 хв під тиском 0,5...1 МПа, що забезпечувало плавлення полімерної фази, змочування частинок наповнювача, коли ще не відбувалося повного плавлення полімеру й формувалась макропориста структура. Витримка під тиском становила 20 хв, протягом цього часу відбувалося одночасне ущільнення та контрольоване охолодження композиції у зімкнутій формі, що дозволяло уникнути внутрішніх дефектів і забезпечувало формування бездефектних зразків. Для композицій із високим вмістом ГА оптимальні результати досягалися за температури 180 °С, що зумовлено зменшенням частки полімерної фази та необхідністю інтенсивнішого нагрівання для забезпечення задовільного зв'язування частинок ГА полімерною матрицею. Встановлено вплив складу та технологічних параметрів пресування на структуру, пористість і властивості одержаних ПГБ/ГА композитів. Для складів із високим вмістом полімерної матриці (90:10 мас.%) за температури 165 °С визначено відносно низьку пористість (18 %), а також встановлено неповне плавлення та недостатнє змочування частинок ГА. Підвищення температури до 170–180 °С призвело до зменшення пористості до 10–15 %, покращення механічної цілісності та відсутності руйнувань. Збільшення частки наповнювача до 30 % (ПГБ:ГА = 70:30 мас.%) супроводжувалося зростанням пористості до 22–28 % при 165 °С і незначним зменшенням до 21–22 % при 180 °С, що свідчить про ефективніше ущільнення при вищих температурах. Для композитів ПГБ:ГА = 50:50 мас.% відзначено найбільшу пористість серед складів (29–32 %). Для композицій із високим наповненням (30:70 і 10:90) навіть максимальна температура пресування 180 °С не забезпечила достатнього ущільнення: пористість становила відповідно ~42–44 % та ~53–55 %. Комплексна оцінка композицій показала, що за вмісту ГА 20–30 мас.% досягається оптимальний баланс властивостей: міцність при стиску ~32 МПа (за 6 % деформації), пористість 22–28 % і ступінь кристалічності ~85 %. Подальше збільшення частки ГА знижує міцність композитів через послаблення міжфазної адгезії та зростання пористості. Отримані біодеградабельні композити ПГБ/ГА характеризуються пористістю та механічними властивостями, наближеними до параметрів природної кісткової тканини, що робить їх перспективними для застосування як остеопластичні матеріали в регенеративній медицині та біоінженерії.