

Д. Р. Хисамиева, асп., И. А. Шарафиев, асп.,
Р. Ю. Галимзянова, канд. техн. наук, доц.,
А. А. Никифоров, канд. техн. наук, доц.,
Ю. Н. Хакимуллин, д-р техн. наук, проф.,
С. И. Вольфсон, д-р техн. наук, зав. каф.,
Ю. М. Казаков, д-р техн. наук, проф.
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань, Российская Федерация)
А. В. Касперович, канд. техн. наук, зав. каф. (БГТУ, г. Минск)

БИОРЕЗОРБИРУЕМЫЕ КОМПОЗИЦИИ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИБУТИЛЕНСУКЦИНАТА

Полимолочная кислота (ПМК) уже более десяти лет используется в черепно-челюстно-лицевой и ортопедической хирургии. ПМК демонстрирует высокую биосовместимость и хорошие биофизические свойства. Однако, несмотря на высокую прочность, полимолочная кислота имеет низкую эластичность, что является препятствием для ее применения в ряде клинических случаев [1].

Полибутиленсукинат (ПБС) – биоразлагаемый полиэфир, мономерами для синтеза которого служат янтарная кислота и 1,4-бутандиол. ПБС гибкий и эластичный полимер, модуль Юнга которого может варьироваться в широком диапазоне 300-500 МПа, в зависимости от степени кристалличности, а деформация при разрыве достигать до 330% [2–4]. В последние годы все большее внимание в плане возможного применения в биомедицине привлекает – полибутиленсукинат (ПБС). Остеокондуктивные свойства ПБС были подтверждены его клеточной адгезией и пролиферацией (как *in vitro*, так и *in vivo*) [5]. Также ПБС отличается высокой эластичностью и невысокими прочностными характеристиками [5].

В работе применяли материалы: полимолочная кислота марки Ingeo Biopolymer 4043D производство NatureWorks (США), полибутиленсукинат марки PBS – TH803S – Bio (Китай). Перед смешением композитов проводили сушку компонентов: в сушильном вакуумном шкафу Labdevices-52D для удаление избыточной влаги в течение 4 часов при 80°C. Контроль уровня влажности (полимолочная кислота (0,02%), полибутиленсукинат (0,05%)) осуществляли с помощью термогравиметрического анализатора влажности Radwag MA 50. R.2.

Смешение композитов осуществляли на роторном смесителе фирмы Brabender «Plasti – Corder® Lab-Station» при температуре 180°C в течение 5 минут. Соотношения ПМК и ПБС представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Соотношение ПМК и ПБС

Номер композиции	ПМК, масс. ч.	ПБС, масс. ч.
1	100	0
2	80	20
3	60	40
4	40	60
5	20	80
6	0	100

После смешения композиты были экструдированы для получения опытных образцов на лабораторном одношнековом экструдере при 80 оборотах в минуту и в диапазоне температур 160–180°С.

Результаты физико-механических испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойств композитов ПМК/ПБС

Номер композита	Предел прочности, МПа	Относительное удлинение в точке разрыва, %
1	51,5	7,8
2	46,7	17,3
3	42,0	34
4	41,4	65,3
5	39,8	278
6	37,9	288

По результатам физико-механических испытаний введение ПБС в ПМК приводит к снижению предела прочности при растяжении, но значительно улучшает эластичность. При введении 20 масс. ч. ПБС в ПМК относительное удлинение составляет 17%, при дальнейшем увеличении ПБС до 80 масс. ч. относительное удлинение увеличивается до 278%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биорезорбируемые композиционные материалы для остеосинтеза: обзор современных исследований / Д. Р. Хисамиева [и др.] // Вестник современной клинической медицины. – 2024. – Т. 17, № 1. – С. 119–126.
2. Recent developments in fire retardancy of polybutylene succinate / F. Xiao, G. Fontaine, S. Bourbigot // Polymer Degradation and Stability. – 2021. – Vol. 183. – P. 285–294.
3. Recent insight into the biomedical applications of polybutylene succinate and polybutylene succinate-based materials / A. Mtibe [et al.] // Express Polymer Letters. – 2023. – Vol. 17 (1). – P. 2–28.
4. Poly(butylene succinate)-based polyesters for biomedical applica-

tions: A review / M. Gigli [et al.] // Eur. Polym. J. – 2016. – Vol. 75. – P. 431–460. – DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2016.01.016

5. Preparation of PBS/PLLA/HAP Composites by the Solution Casting Method: Mechanical Properties and Biocompatibility / M. A. Khan [et al.] // Nanomaterials. – 2020. – Vol. 10 (9). – P. 1778–179.

УДК 678.046.3

Ю. К. Луканина, канд. хим. наук, науч. сотр.,

С. М. Ломакин, канд. хим. наук, зав. лаб.,

А. В. Хватов, канд. хим. наук, науч. сотр.

(ФГБУН «ИБФ им. Н.М. Эмануэля», г. Москва, Российская Федерация);

В. Д. Колногузенко, студ., В. О. Попова, студ.

(ФГБОУ ВО «МИРЭА», г. Москва, Российская Федерация)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОАНТИПИРЕНОВ В ЭЛАСТОМЕРНЫХ МАТЕРИАЛАХ

Пожароопасность полимерных материалов определяется их способностью к воспламенению и распространению процесса горения, а также последствиями этого процесса (дымообразование, токсичные продукты горения).

Как и прочие органические соединения, углеводородные эластомеры обладают высокой воспламеняемостью. Механизм горения полимеров включает совокупность различных физических и химических процессов (фазовые переходы, термоокислительная деструкция, образование новой фазы и т. д.), в результате которых исходное вещество превращается в нагретые до высокой температуры продукты сгорания [1]. Горение поддерживается за счет подвода тепла и кислорода к горючему материалу. Чтобы ингибировать процесс разрушения полимера – повысить его огнестойкость, нужно минимизировать влияние вышеперечисленных факторов. Этого можно достичь разными способами: синтез негорючих полимеров; химическая модификация полимеров; применение антипиренов; применение наполнителей; нанесение огнезащитных покрытий [2, 3].

Большое распространение получило использование в эластомерах галогенсодержащих антипиренов [2, 4–5]. Бромсодержащие соединения как антипирены обычно превосходят по эффективности хлорсодержащие соединения [2, 6]. Для повышения огнестойкости часто применяется триоксид сурьмы в качестве синергетической добавки. Но его недостатки – выделение дыма во время горения и токсичность, из-за чего ведутся работы по его замене на менее токсичные вещества. В качестве замены используют борат цинка, борат бария [6].