

УДК: 678.073

**Хисамиева Д.Р., Назмиева А.Ф., Шарафиев И.А.,
Галимзянова Р.Ю., Никифоров А.А.,
Хакимуллин Ю.Н., Вольфсон С.И.**
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)

Касперович О.М.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ДЕГРАДАЦИЮ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КРАХМАЛА ДЛЯ МЕДИЦИНЫ

Использование биорезорбируемых костных имплантатов для процедуры остеосинтеза существенно возросло за последнее десятилетие. В настоящее время большинство из них изготавливается из биосовместимого поли-L-лактида, его сополимеров или смесей с другими компонентами. *In vivo* поли-L-лактид сохраняется в течение многих лет (3 года) после того, как его хирургическая роль закончилась, что подтверждается долгосрочными гистологическими исследованиями. Долговечность и отсутствие его замены костью указывает на то, что, несмотря на удовлетворительные клинические характеристики, он не является идеальным материалом для биорезорбируемых имплантатов [1].

Эти недостатки можно уменьшить или полностью устранить путем комбинирования поли-L-лактида с другими полимерами. В частности, в последние годы глубоко изучается вопрос применения термопластичного крахмала (ТПК) в тканевой инженерии [2]. Крахмал интересен для инженерии костной ткани, поскольку является биосовместимым и гидрофильным полимером, позволяющим регулировать время резорбции имплантатов, а продукты его распада имеют слабый иммуногенный характер. Крахмал и его производные обеспечивают подходящую среду для адгезии и пролиферации клеток *in vitro* и *in vivo* [3].

Цель работы – изучить влияние полимолочной кислоты на физико-механические свойства и деградацию композиций на основе термопластичного крахмала.

Материалы и методы исследования

Кукурузный крахмал высший сорт производства ООО «Крахмальный завод Гулькевичский» (Россия, Москва), глицерин марки ПК-94 АО «Нэфис Косметикс» (Россия, Казань), сорбит производства ООО «Сладкий мир» (Россия, Нижний Новгород), гранулы полимолочной кислоты марки Ingeo 4043D (Nature Works).

Биорезорбируемые композиции получали путем двухстадийного смешения в смесительной камере «Measuring Mixer 350E» смесительного оборудования фирмы Brabender «Plasti – Corder® Lab-Station». На первой стадии получали ТПК путем смешения кукурузного крахмала с комбинацией двух пластификаторов (сорбит и глицерин) в соотношении 60/26,7/13,35 в течение 12 минут при температуре 140°С. На второй стадии, к полимолочной кислоте добавляли полученный термопластичный крахмал и смешивали в течение 15 минут при температуре 180 °С.

Готовые смеси были экструдированы на лабораторном одношнековом экструдере при 60 оборотах и температуре 180°С. После, из полученной ленты штанцевым ножом были подготовлены образцы типа 1В согласно ГОСТ 11262-2017 (ISO 527-2:2012) «Пластмассы. Метод испытания на растяжение» для исследования физико-механических характеристик материала.

Ускоренную деградацию полученных композиций ПЛА/ТПК проводили согласно ГОСТ Р ИСО 13781-2011 «Смолы и отформованные элементы на основе поли(L-лактида) для хирургических имплантатов. Исследование деградации методом *in vitro*».

В таблице 1 представлены соотношения компонентов в составе композиций ПЛА/ТПК.

Таблица 1 – Соотношение компонентов в композициях ПМК/ТПК

Номер рецептуры	Полимолочная кислота	Термопластичный крахмал
1	50	100
2	75	100
3	100	100
4	125	100
5	150	100
6	175	100
7	200	100

Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлены результаты физико-механических испытаний полученных композиций ПМК/ТПК.

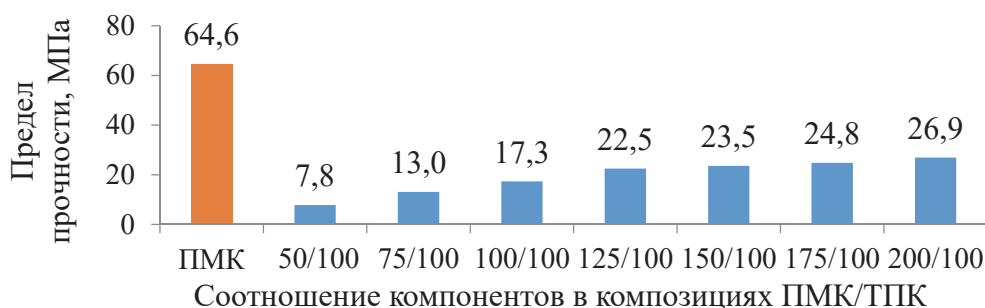


Рисунок 1 – Результаты физико-механических испытаний композиций ПМК/ТПК

По результатам испытаний композиции ПМК/ТПК имеют предел прочности при растяжении значительно ниже по сравнению с чистой полимолочной кислотой. Снижение прочности при растяжении в композициях ПМК/ТПК можно объяснить слабой межфазной адгезией между ПМК и ТПК, которая не позволяет переносить напряжение через поверхность раздела.

При увеличении ПМК в составе композиций наблюдается увеличение предела прочности при растяжении от 7,8 МПа при содержании ПМК в составе смеси 50 мас.ч. до 26,9 МПа при содержании ПМК в составе смеси 200 мас.ч.

На рисунке 2 представлены результаты потери массы композиций после испытаний на ускоренную деградацию.

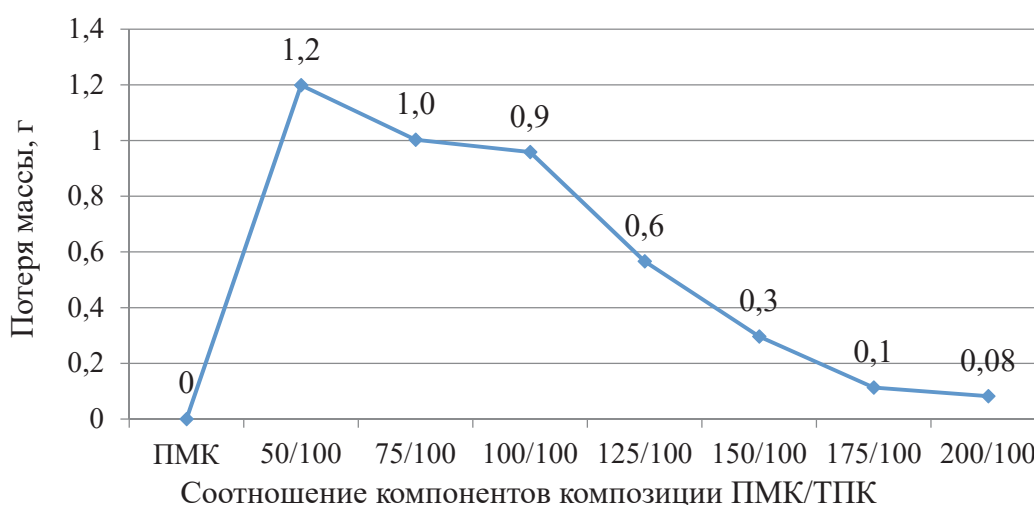


Рисунок 2 – Потеря массы композиций ПМК/ТПК после ускоренной деградации

По результатам испытаний у композиций ПМК/ТПК после ускоренной деградации в течение 24 час наблюдается потеря массы в отличие от чистой полимолочной кислоты. Это подтверждает, что крахмал в составе биорезорбируемых материалов может способствовать ускорению процессов резорбции. Напротив, при увеличении ПМК в составе композиций ПМК/ТПК наблюдается снижение потери массы от 1,2 гр. при содержании ПМК 50 мас.ч. до 0,08 гр. при содержании ПМК в составе смеси 200 мас.ч.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. J. Cotton. Long-term in vivo degradation of poly-L-lactide (PLLA) in bone / N. J. Cotton, M. Walton // Journal of Biomaterials Applications. – 2007. – Vol.21. – № 4. – P. 395-411.

2. Хисамиева, Д. Р. Применение термопластичного крахмала в ткаевой инженерии / Д. Р. Хисамиева, Р.Ю. Галимзянова, Ю. Н. Хакимуллин // Наука. Наследие. Университет: сборник материалов Международной 56-й научной студенческой конференции (Чебоксары, 8–15 апреля 2022 г.). – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2022. – С. 493-495

3. De Carvalho, A. J. F. Biomedical Applications for Thermoplastic Starch / A. J. F. De Carvalho, E. Trovatti // Biodegradable and biobased polymers for environmental and biomedical applications. – 2016. – Vol.1. – P.1-24

УДК 544.23

Yunusov K.E., Sarymsakov A.A., Mirxolisov M.M.

Institute of Polymer Chemistry and Physics, Uzbekistan Academy of Sciences

Rogachev A.A., Agabekov V. E., Ihnatovich Zh.V.

Institute of Chemistry of New Materials of the NAS of the Republic of Belarus

**PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF BIOMATERIALS
BASED ON CELLULOSE FIBRES COATING
SODIUM-CARBOXYMETHYLCELLULOSE CONTAINING
NANOPARTICLES OF SILVER**

Presently, there is a great practical interest in the elaboration of cellulose fibers and textile biomaterials and products on their bases possessing a high bactericidal activity against pathogenic fungus and bacteria [1]. Bactericidal and bacteriostatic activity in the bases of cellulosic biomaterials and their products may take place by incorporating silver ions in their structure and following their reduction into nanoparticles, their interaction with the polymer matrix is carried out through the formation of coordinational bonds [2]. Silver (Ag) and Ag-based compounds have become the most widely represented and studied inorganic antimicrobial agents for use in textiles [3].

The aim of this investigation is to prepare and physicochemically characterize textile biomaterials obtained from cotton fiber containing silver nanoparticles (AgNPs) stabilized with sodium-carboxymethylcellulose (Na-CMC).

In the first stage of the investigation, the formation of AgNPs in 0.2-0.4 wt.% solutions of Na-CMC with degree of substitutions (DSs) - 0.85 and degree of polymerization (DP) - 400 were carried out by photochemical reduction of Ag^+ . It has been established that adding Ag^+ to a Na-CMC solution increases the viscosity of the solution owing to the decreased solubility of Ag^+CMC^- complexes generated due to the formation of coordination bonds between the carboxylate groups ($-\text{COO}^-$) of Na-CMC macromolecules and Ag^+ .