

А. Н. Гайдадин, И. П. Петрюк, В. Ф. Каблов // Каучук и резина. – 2008. – № 1. – С. 7–10.

4. Каблов, В. Ф. Исследование процессов порообразования и вспучивания эластомерных ТЗМ при температурах ниже температуры начала их термического разложения / В. Ф. Каблов, А. Н. Гаращенко, А. Н. Гайдадин, В. Л. Страхов, В. С. Кулямин // Вопросы оборонной техники. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – 2000. – № 1 (122). – С. 31–35.

5. Гайдадин, А. Н. Особенности термомеханического поведения сшитых эластомеров в области высоких температур / А. Н. Гайдадин, И. П. Петрюк // Вестник технологического университета. – 2022. – Т. 25, № 9. – С. 46–49.

6. Петрюк, И. П. Моделирование прочностных характеристик пенопластов // Пластические массы. – 2020. – № 5–6. – С. 36–37.

УДК: 678.073

А.В. Сиразетдинов; Д.Р. Хисамиева, 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, проф.
(КНИТУ, г. Казань, Российская Федерация)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ КУКУРУЗНОГО И КАРТОФЕЛЬНОГО КРАХМАЛА

Крахмал возобновляемый, широкодоступный и недорогой материал. Благодаря биосовместимости и нецитотоксичности в последние годы широко изучаются композиционные полимерные материалы с добавлением крахмала для тканевой инженерии. Материалы на основе крахмала позволяют адаптировать механические свойства и скорость разложения, что является преимуществом костных имплантатов на основе крахмала. Тесты *in vitro* показывают высокую биосовместимость полимеров на основе крахмала с клетками остеобластов и эндотелиальными клетками, что подтверждается тестами на цитотоксичность, клеточную пролиферацию и клеточную адгезию [1].

Пластифицированный крахмал, или термопластичный крахмал (ТПК), производится путем структурного разрушения крахмала в присутствии пластификатора. В качестве нетоксичных пластификаторов, пригодных для применения в биомедицине выступают глицерин и сорбит [2].

В тканевой инженерии изучаются композиции ТПК с различными биоразлагаемыми биоактивными материалами. В научной литературе известны такие композиции: ТПК/биоактивное стекло, ТПК/бета-трикальцийфосфат, ТПК/полилактид/полигидроксибутират [3, 4, 5]. По результатам исследований данные композиции показали подходящие механические свойства для замены и восстановления костной ткани, хорошую биосовместимость и успешную пролиферацию клеток.

Материалы и изготовление образцов. Кукурузный крахмал высший сорт производства ООО «Крахмальный завод Гулькевичский» (Россия, Москва), картофельный крахмал высший сорт производства ООО «Гарнец» (Россия, Владимир). Глицерин марки ПК-94 АО «Нэфис Косметикс» (Россия, Казань). Сорбит производства ООО «Сладкий мир» (Россия, Нижний Новгород).

Приготовление композиций производили в смесительной камере «Measuring Mixer 350E» смесительного оборудования фирмы Brabender «Plasti – Corder® Lab-Station» в одну стадию. Смешение проводили в течении 12 минут при температуре 140°C, скорость вращения роторов 80 об/мин. Перед смешением все компоненты сушились в вакуумном термошкафу при 80°C в течении 4 часов. Начальное и конечное содержание влаги в компонентах измеряли при помощи анализатора влажности MA 50.R2.WH. Содержание влаги в крахмалах после сушки варьировалось в диапазоне от 4 до 6 % мас., а содержание влаги в сорбите достигло 0 % мас.. Готовые смеси формовали в виде пластин на гидравлическом прессе при 100°C в течении 5 минут, из которых потом вырубали образцы для испытаний штанцевым ножом. Предел текучести при растяжении образцов определяли на разрывной машине Zwick/Roell/ BT1-FR2.5TH.140 при температуре 23±2°C, в соответствии с ГОСТ Р 11262-2017. Скорость движение зажима – 10 мм/мин.

Результаты и их обсуждение. В данной работе были исследованы физико-механические свойства композиции термопластичных крахмалов на основе кукурузного и картофельного крахмала и комбинации двух пластификаторов – сорбита и глицерина. Соотношения компонентов в композициях ТПК представлены в таблице.

Таблица – Соотношения компонентов ТПК

Крахмал	Сорбит	Глицерин
Содержание, % мас.		
60	10	30
50	25	25
50	20	30
50	10	40

Как видно из данных на рисунке, увеличение содержания глицерина приводит к снижению предела прочности при растяжении.

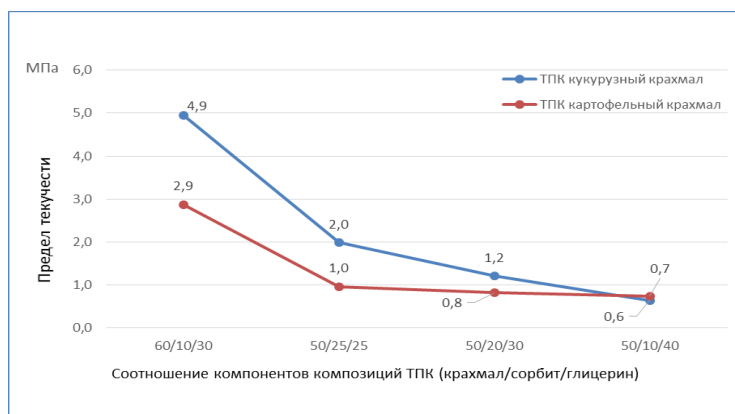


Рисунок 1 – Предел текучести термопластичного крахмала

Известно, что крахмалы разных растительных культур характеризуются разной структурой, отличаются содержанием амилозы и амилопектина, а также размером и формой частиц.

Видно, что ТПК на основе картофельного крахмала имеет значения практически в 2 раза меньше, чем показатели у ТПК на основе кукурузного крахмала. Это может объясняться другой структурой картофельного крахмала, его более крупными частицами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Trovatti, E. Biomedical Applications for Thermoplastic Starch / A. J. Felix de Carvalho, E. Trovatti // *Biodegradable and Biobased Polymers for Environmental and Biomedical Applications*. – 2016. – P. 1–23.
2. Schmitt, H. Studies on the effect of storage time and plasticizers on the structural variations in thermoplastic starch / H. Schmitt, A. Guidez, K. Prashantha, J. Soulestin, M.F. Lacrampe, P. Krawczak // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – V. 115. – P. 364–372.
3. Fadzli, S. Tensile Properties, Biodegradability and Bioactivity of Thermoplastic Starch (TPS)/Bioglass Composites for Bone Tissue Engineering / S. Fadzli, A. Osman, R. Shamsudin // *Sains Malaysiana*. – 2018. – V. 47 (6). – P. 1303–1310.
4. Taherimehr, M. In-vitro evaluation of thermoplastic starch/ beta-tricalcium phosphate nano-biocomposite in bone tissue engineering / M. Taherimehr, R. Bagheri, M. Taherimehr // *Ceramics International*. – 2021. – V. 47. – P. 15458–15463.
5. Culenova, M. In Vitro Characterization of Poly(Lactic Acid) / Poly(Hydroxybutyrate)/Thermoplastic Starch Blends for Tissue Engineering Application / M. Culenova, I. Birova, P. Alexy, P. Galfiova, A. Nicodemou, B. Moncmanova, R. Plavec, K. Tomanova, P. Mencik, S. Ziaran, L. Danisovic // *Cell Transplantation*. – 2021 – V. 30.