

**МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕДИЦИНСКОГО
НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ГИДРОКСИАПАТИТА**

В.А. Сюсюкина, Е. Шаповалова, А.С. Буяков

Научный руководитель: д.ф.-м.н. И.А. Курзина

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: vershinina_vlada@mail.ru

**MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS FOR MEDICAL APPLICATION
BASED POLYLACTIDE AND HYDROXYAPATITE**

V.A. Syusyukina, Ye. Shapovalova, A.S. Buyakov

Scientific Supervisor: Dr.Sc. I.A. Kurzina

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: vershinina_vlada@mail.ru

***Abstract.** Composite materials based on polylactide and hydroxyapatite were produced. Mechanical tests were carried out to compress the initial samples and composite materials, which showed that hydroxyapatite cracked under stress and was a very fragile material. In composite materials polylactide were used as polymer matrix and hydroxyapatite as inorganic filler. Such materials deform under stress without cracking. At a load of 370 MPa, the deformation reaches 50 %. Investigation have shown that the polylactide and composite materials under load strongly deform, but do not break. The obtained materials can be recommended as biocompatible composite materials for new bone implants.*

Введение. Заболевания и травмы опорно-двигательной системы занимают второе место среди причин травматизма и третье место среди болезней, приводящих к инвалидности взрослого населения. Поэтому исследования и разработки в области получения перспективных материалов для имплантатов являются актуальными и востребованными для регенеративной медицины [1]. Наибольший интерес представляют материалы для имплантатов, способные резорбироваться при их внедрении в организм человека. К таким биосовместимым материалам относятся композиционные материалы на основе полилактида (ПЛ) и гидроксиапатита (ГА) [2]. Разработка биосовместимых материалов с заданными биологическими, физико-химическими и механическими свойствами, близкими к нативной костной ткани человека, для создания имплантатов нового поколения, является актуальной задачей. Целью работы являлось получение композиционных материалов в различном соотношении компонентов (полилактида и гидроксиапатита) и определение их механических характеристик при статическом сжатии. Проводимое исследование имеет высокую социальную значимость. Разработанные материалы позволят упростить работу медицинского персонала, а также значительно сократить срок послеоперационной реабилитации, поскольку такой материал стимулирует рост костной ткани, что способствует сохранению здоровья населения и повышению средней продолжительности жизни.

Основные преимущества разрабатываемого материала: механические свойства близки к свойствам нативной кости; в присутствии композиционного материала макрофаги человека показывают высокий

уровень жизнеспособности; за счёт присутствия гидроксиапатита в составе ускоряется биохимический цикл регенерации костной ткани. Так как на кости человека возлагаются большие нагрузки, то при сжатии композиционный материал не должен растрескиваться [3]. Механические свойства задаются в зависимости от типа кости, которая будет подвергнута имплантированию.

Экспериментальная часть. Для получения полилактида использовали метод координационной полимеризации с раскрытием цикла из L-лактида с октоноатом олова в качестве катализатора [4], ММ (ПЛ) = 100000. Гидроксиапатит получали методом жидкофазного синтеза при pH ~ 11 с использованием СВЧ-излучения согласно реакции, приведенной в [5]. Композиционные материалы были получены смешением раствора ПЛ в хлороформе и порошка ГА при постоянном перемешивании, согласно методике, описанной в [6], массовое соотношение компонентов ПЛ/ГА составляло 90/10, 70/30 и 60/40. Была проведена серия механических исследований на сжатие материалов, для чего подготовили образцы композитов в виде таблеток $d = 7$ мм, $h = 3,5$ мм, $m = 0,035$ г. Механические испытания на сжатие образцов осуществлялись на испытательной установке «DEVOTRANS» со скоростью нагружения 0,1 мм/с. Образцы для испытания поочередно устанавливали между опорными плитами машины, подвергали статическим нагрузкам, в процессе которых производилась запись диаграмм сжатия соответствующих материалов. На основании полученных данных строилась зависимость напряжения на сжатие от деформации. По экспериментальным данным был рассчитан модуль Юнга (модуль упругости), характеризующий способность материалов сопротивляться продольным деформациям. Он показывает степень жесткости материала.

Результаты и их обсуждение. Исследованы исходные компоненты (ПЛ, ГА) и композиционные материалы на их основе в соотношениях ПЛ/ГА 90/10, 70/30 и 60/40. Исследования физико-химических свойств показали, что все полученные образцы являются гидрофильными ($\theta < 90^\circ$). С ростом содержания полилактида в составе композиционных материалов повышается поверхностная энергия $\sigma_{\text{ТВ-Г}}$ от 29,13 до 74,35 мДж·м⁻². Установлено, что композит 70/30 характеризуется наибольшей шероховатостью $R_a = 4,21 \pm 0,39$ мкм [7].

На рисунке 1 представлены зависимости напряжения от деформации полученных материалов. Однородное пластическое деформирование имеет две стадии. На первой стадии (в области I) деформирование является линейно-упругим. Вторая характеризуется нелинейной связью напряжения и деформации, а также необратимостью деформирования (в области II). После снятия нагрузки остается значительная необратимая деформация. На второй стадии испытания образец из пластичного материала существенно изменяет цилиндрическую форму, становится похожим на диск. Его диаметр значительно увеличивается, а высота уменьшается. Образец из пластичного материала при испытании на сжатие не разрушается, поэтому испытание прекращают при достижении деформации до 50 % от начальной высоты образца. При упругой деформации напряжение прямо пропорционально величине относительной деформации: $\sigma = E\varepsilon$. В области упругой деформации были построены зависимости и определены модули Юнга (рисунок 2). Можно заметить, что с увеличением содержания ГА в составе композиционных материалов значение модуля Юнга увеличивается от 742 до 917 МПа.

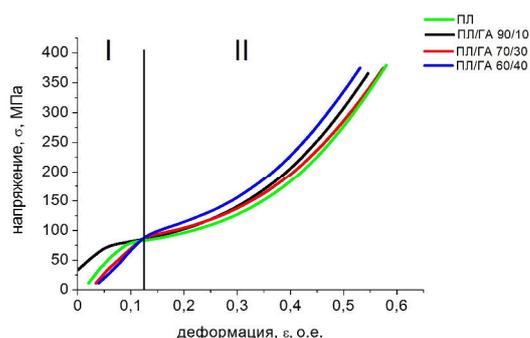


Рис. 1. Диаграмма деформирования образцов полилактида и композиционных материалов

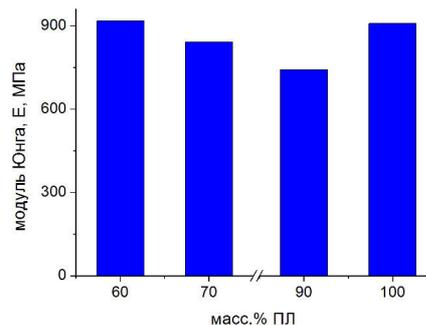


Рис. 2. Значения модуля Юнга при деформировании ПЛ и композиционных материалов

Заключение. Получены композиционные материалы путем смешения раствора полилактида в хлороформе и порошка гидроксиапатита при массовом соотношении компонентов 90/10, 70/30 и 60/40. Установлено, что соотношение ПЛ/ГА 70/30 является оптимальным для получения материалов с высокими функциональными свойствами. Механические исследования на сжатие полученных материалов показали, что ГА при нагрузке растрескивается и является очень хрупким материалом. Композиты, в которых ПЛ выступает в качестве полимерной матрицы, а ГА как неорганический наполнитель, при сжатии деформируются, но не растрескиваются. Деформация достигает 50 % при нагрузке 370 МПа. Добавление ПЛ приводит к понижению модуля Юнга в композиционных материалах. Полученные материалы могут быть рекомендованы в качестве композиционных материалов для получения новых имплантатов.

Исследование поддержано фондом Менделеева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Севастьянов, В.И. Биосовместимые материалы: Учебное пособие / Под ред. В.И. Севастьянова, М.П. Кирпичникова. – М.: МИА, 2011. – 544 с.
2. Хэнч, Л., Биоматериалы, искусственные органы и инжиниринг тканей. – М.: Техносфера, 2007. – 304 с.
3. Полимерные композиционные материалы: Научное издание. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 352 с.
4. K. Madhavan Nampoothiri, Nimisha Rajendran Nair, Rojan Pappy John An overview of the recent developments in polylactide (PLA) research // Bioresource Technology – 2010. № 101. – P. 8493–8501.
5. Rasskazova L., Korotchenko N., Zeer G. Microwave synthesis of hydroxyapatite and physicochemical study of its properties // Russ. J. Appl. Chem. – 2013. – V. 86. – № 5. – pp. 691–695.
6. Shapovalova Y. et al. Preparation of Biocompatible Composites based on Poly-L-lactide/Hydroxyapatite and Investigation of their Anti-Inflammatory Activity // Key Engineering Materials. – 2016. – Vol. 683. – P. 475–480.
7. Сюсюкина В.А. [и др] Особенности структурно-фазового состояния и поверхностных свойств композиционных материалов на основе полилактида и гидроксиапатита // Журнал прикладной химии. – 2017. – Т. 90. – № 1. – С. 114–120.