

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА НА
СКЭФОЛДЫ ИЗ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ**

П.Г. Кузнецов, В.Л. Кудрявцева, Д.В. Пономарев

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. С.И. Твердохлебов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: PavelKuznetsovTPU@gmail.com

**THE RESEARCH OF THE PULSED ELECTRON BEAM EFFECT ON POLYLACTIC ACID
SCAFFOLDS**

P.G. Kuznetsov, V.L. Kudryavtseva, D.V. Ponomarev

Scientific Supervisor: Associate professor, S.I. Tverdokhlebov

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: PavelKuznetsovTPU@gmail.com

Abstract. *The effect of nanosecond pulsed electron beam irradiation on properties of polylactic acid (PLLA) scaffolds was investigated. Modification of scaffolds was performed in electron beam accelerator with absorbed dose from 30 to 200 kGy. Properties of the scaffolds were examined by means of XRD analysis and scanning electron microscopy. It was shown that pulsed electron beam exposure leads to the recrystallization and changes in surface morphology.*

Для тканевой инженерии требуются биоматериалы с определенными свойствами. Искусственные полимеры, в том числе, биodeградируемые широко применяются для изготовления материалов, применяемых в регенеративной медицине, за счет своей высокой биосовместимости и относительно невысокой стоимости. Важной характеристикой полимеров является скорость их деградации, которая должна коррелировать со скоростью регенерации тканей [1, 2].

Одним из методов модифицирования полимеров с целью управления скоростью деградации является радиационное воздействие, например, электронным пучком.

Материалы и методы. Для формирования нетканых материалов использовали 4% раствор поли-L-молочной кислоты (PLLA) PL38 (PURAC, Нидерланды) в хлороформе (ЭКРОС, Россия). Формирование нетканых материалов осуществляли методом электроспиннинга на установке NANON-01A® (Япония). Для первичной кристаллизации и избавления от остаточных растворителей образцы отжигали в вакууме при давлении 10 Па в течение 10 часов при температуре 90°C. Полученное полотно, 200×300 мм было разрезано на образцы размером 30×50 мм для дальнейшего облучения.

Модифицирование полимеров осуществлялось на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500 [3]. Режимы облучения были следующими: ускоряющее напряжение до 350 кВ, длительность импульса напряжения 60 нс на полувывоте, выведенная энергия электронного пучка за импульс до 180 Дж, выведенный ток пучка до 11 кА, диаметр пучка 5 см. Электронный пучок выводился из камеры через титановую фольгу толщиной 50 мкм. Образцы располагали перед выходным окном ускорителя и

облучали электронным пучком, число импульсов N задавали 1, 2, 4 и 6. Для минимального термического воздействия на полимер интервал между импульсами был 1 минуты.

Поглощенную дозу определяли по изменению оптической плотности дозиметрических пленок типа ПОР. Исследование морфологии поверхности проводилось методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на приборе Quanta 400 FEG. Исследование кристаллической структуры образцов проводили методом рентгеноструктурного анализа (РСА) на приборе Shimadzu XRD 6000S.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1 представлены СЭМ изображения исходного образца

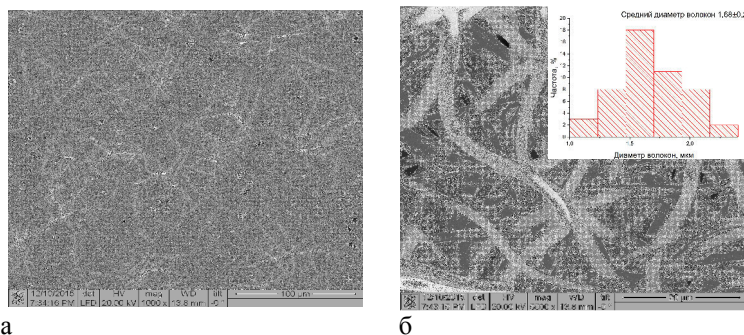


Рис. 1. СЭМ изображения исходного образца при увеличении а) $\times 1000$ и б) $\times 5000$

На рисунке 2 представлены СЭМ изображения образца с поглощенной дозой 139,6 кГр.

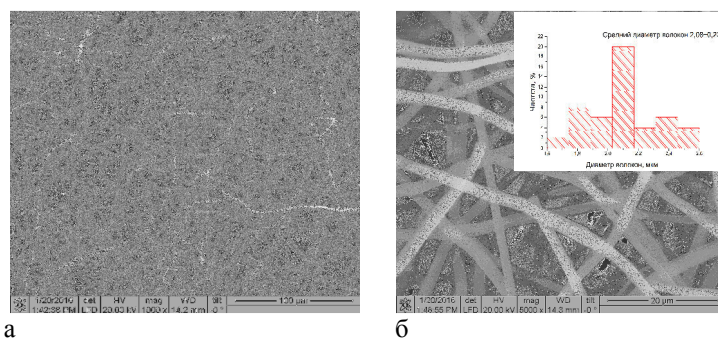


Рис. 2. СЭМ изображения образца, облученного импульсным электронным пучком при увеличении а) $\times 1000$ и б) $\times 5000$

На рисунке 3 представлены СЭМ изображения образца с поглощенной дозой 194,4 кГр.

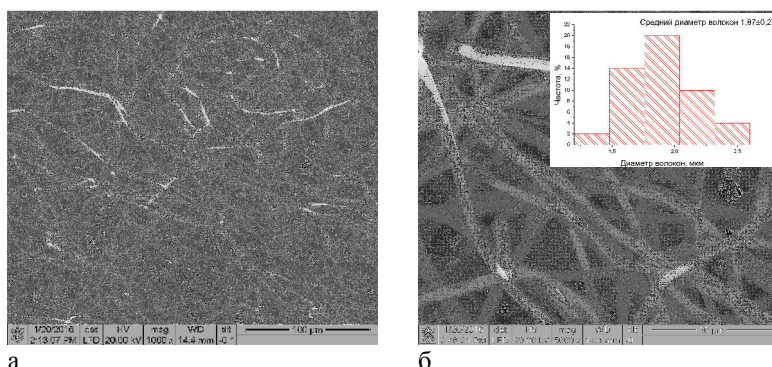


Рис. 3. СЭМ изображения образца, облученного импульсным электронным пучком при увеличении а) $\times 1000$ и б) $\times 5000$

Из сравнения рисунков 1, 2 и 3 видно, что при увеличении поглощенной образцом дозы наблюдается разрушение волокон полимера. По изображениям СЭМ были построены гистограммы распределения волокон по диаметру. Из гистограмм (вставки на рисунках 1, 2 и 3) видно, что при увеличении поглощенной образцами дозы до 139,6 кГр наблюдается увеличение среднего диаметра волокон, при

дальнейшем увеличении поглощенной дозы, выше 139,6 кГр, наблюдается уменьшение среднего диаметра волокон.

На рисунке 4 представлена дифрактограмма исходных образцов и образцов, модифицированных импульсным электронным пучком.

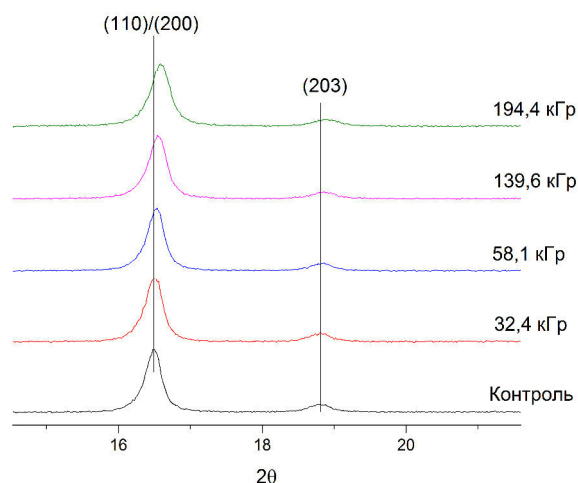


Рис. 4. Дифрактограмма исследуемых образцов при различных поглощенных дозах облучения

На рисунке 4 видно, что исходный образец был кристаллизован, о чем свидетельствуют рефлексы в области 17° и 19°, соответствующие отражению от кристаллографических плоскостей (200/100), (203). При увеличении поглощенной дозы наблюдается смещение рефлексов в область более высоких значений 2θ , что свидетельствует о перекристаллизации PLLA, обусловленной процессами сплавления полимерных кристаллитов типа α' и образования более упорядоченных кристаллитов типа α . Механизм перехода типа $\alpha' \rightarrow \alpha$ описан в работах [4, 5].

В результате работы были исследованы изменения свойств матриц из полимолочной кислоты под действием импульсного электронного пучка. Полученные результаты свидетельствуют о перекристаллизации PLLA по механизму $\alpha' \rightarrow \alpha$. Также было обнаружено разрушение и уменьшение среднего диаметра волокон матрикса под воздействием импульсного электронного пучка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tian H. et al. Biodegradable synthetic polymers: preparation, functionalization and biomedical application //Progress in Polymer Science. – 2012. – Т. 37. – №. 2. – С. 237-280.
2. Gunatillake P., Mayadunne R., Adhikari R. Recent developments in biodegradable synthetic polymers //Biotechnology Annual Review. – 2006. – Т. 12. – С. 301-347
3. Гончаров Д. В. Ежов В. В. Пушкарев А. И. Ремнев Г. Е. Журнал. Известия Томского политехнического университета. Выпуск № 6 / том 308 / 2005.
4. Saeidlou S., Huneault M.A., Li H., Park C.B., Poly(lactic acid) crystallization, Prog. Polym. Sci. 37 (2012) 1657 – 1677.
5. Zhang J., Tashiro K., Tsuji H., Domb A.J., Disorder-to-Order Phase Transition and Multiple Melting Behavior of Poly(L-lactide) Investigated by Simultaneous Measurements of WAXD and DSC, Macromolecules. 41 (2008), 1352-1357.