

# РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА И ГИДРОКСИАПАТИТА КАЛЬЦИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ

Выполнил: Чибыев Айсен Константинович  
Научный руководитель: Тимофеева Нина Федоровна,  
ведущий инженер УНТЛ «Технологии полимерных  
нанокомпозитов» ИЕН СВФУ им. М.К.Аммосова  
Наставник, Тобонова Татьяна Иннокентьевна, студент 4  
курса, ХО ИЕН СВФУ им. М.К.Аммосова

# Актуальность:

Для остеосинтеза трубчатых костей используется титановые импланты и штативы, которые по окончании лечения необходимо извлекать. Предлагаем заменить их на ПКМ, биосовместимых и биоразлагаемых штифтов для остеосинтеза трубчатых костей. Это избавит пациентов от дополнительных операций и позволит применять более атравматические методы лечения переломов, особенно детских, где существует риск повреждения эпифиза, что может привести к остановке развития кости, соответственно, к остановке развития конечности.





# Цель и задача:

разработка композиционного материала на основе полилактида и гидроксиапатита кальция, для применения в остеосинтезе.

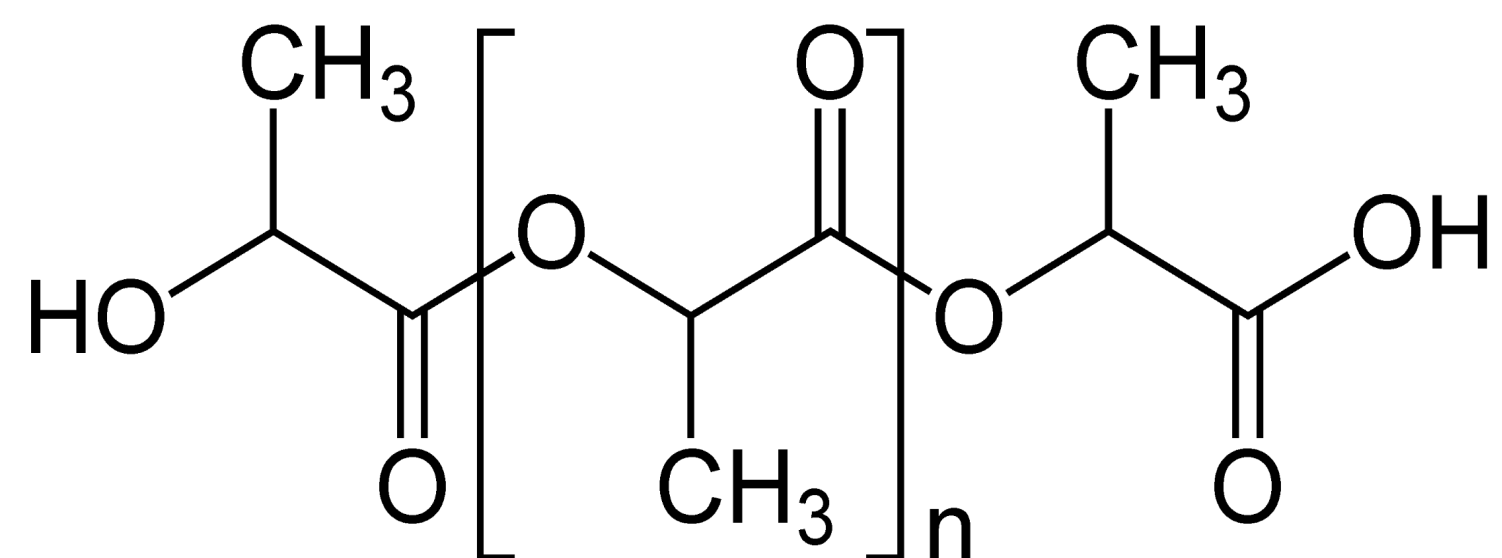
Освоить технологию переработки полимерного композиционного материала в филаменты методом экструзии

Исследовать влияние ГАК на термодинамические, физико-механические и структурные свойства полимерного композиционного материала

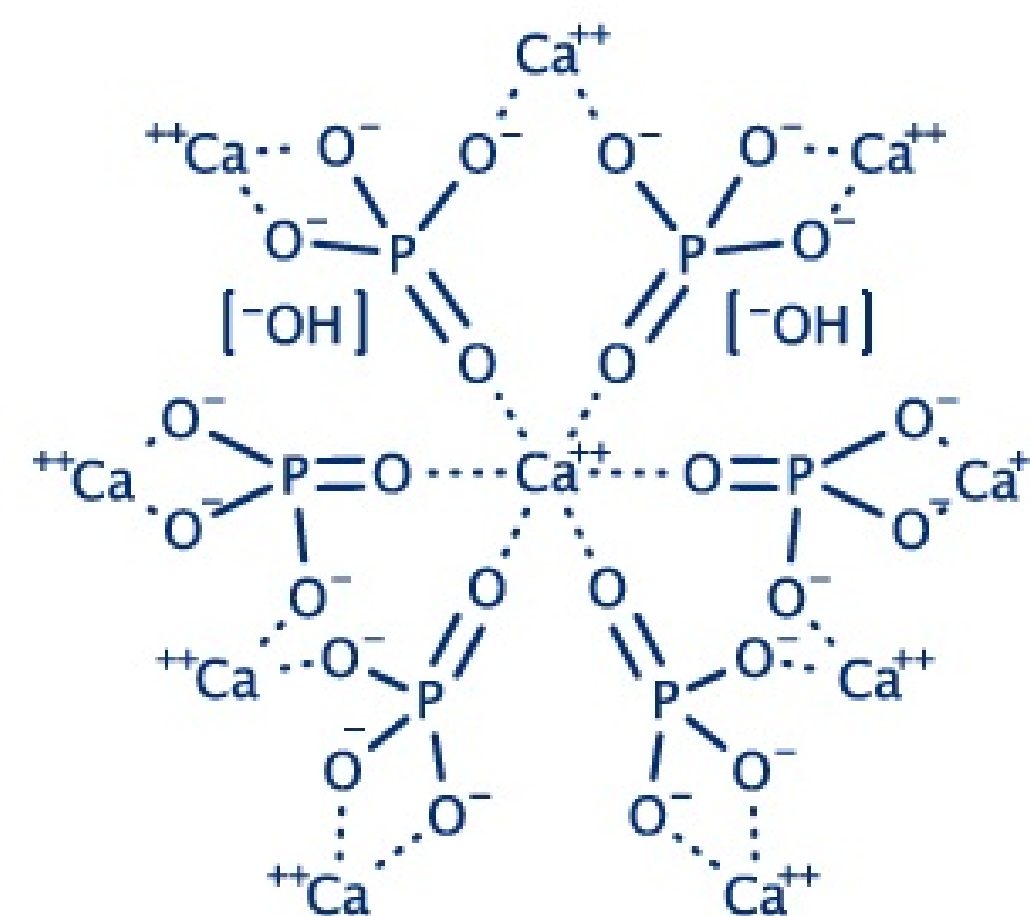
Разработка рецептуры ПКМ на основе ПЛА и ГАК

# Объекты исследования:

- Полилактид марки 4043D «Nature Works» (США).
- Агрегатное состояние полимера – гранулы белого цвета,
- $\rho = 1,238 \text{ г/см}^3$ ;
- $T_{пл} = 175-180^\circ\text{C}$ .



- Гидроксиапатит кальция  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$
- Агрегатное состояние наполнителя – порошок белосерого цвета;
- $\rho = 3,14-3,21 \text{ г/см}^3$ ;
- твердость по шкале Мооса – 5.





# Методы исследования:

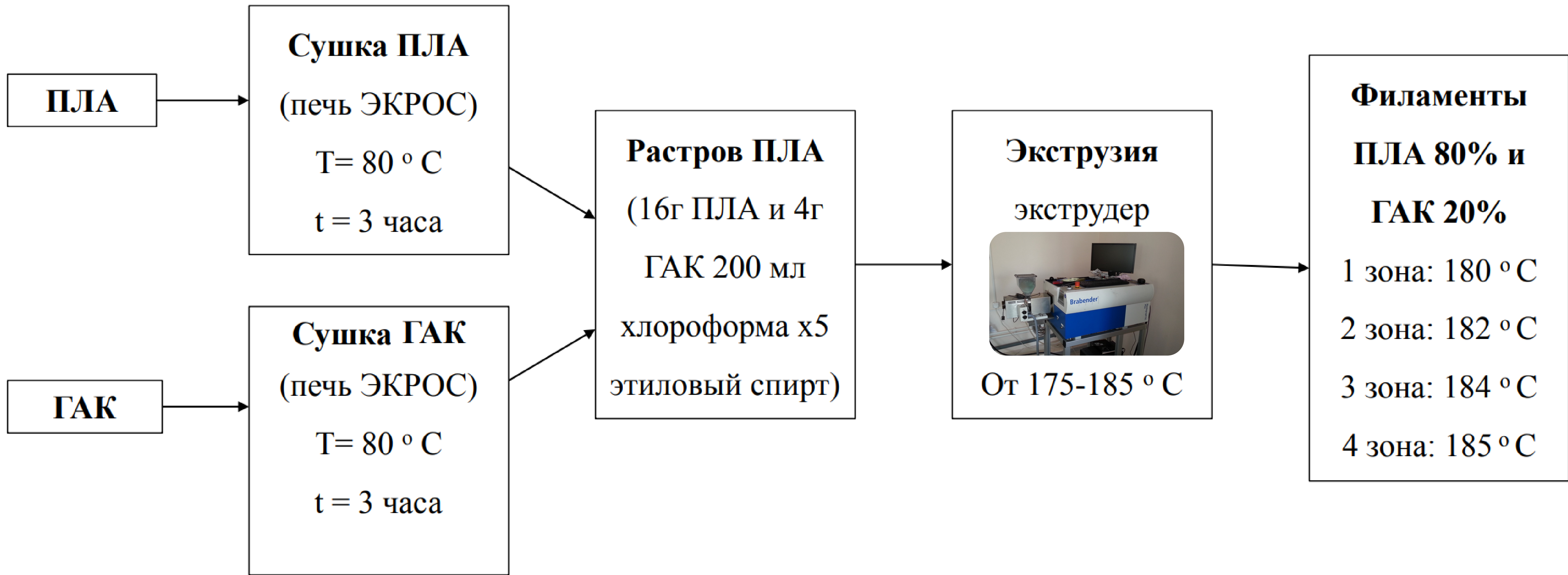
Испытания физико-механических характеристик проводилось на универсальной машине по ГОСТ 11262-2017 "Shimadzu AGSJ" Autograph (Япония);

Термодинамические свойства исследовали на дифференциальной сканирующей калориметрии DSC 204 F1 Phoenix «NETZSCH» (Германия);

Структуру филамента исследовали на растровой электронной микроскопии JEOL JSM-7800F (Япония).

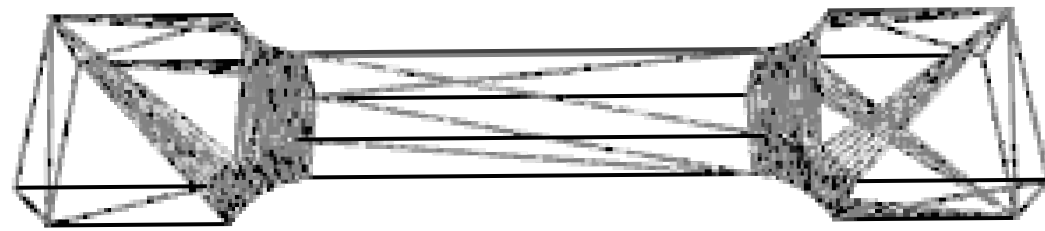


# Технология переработки:





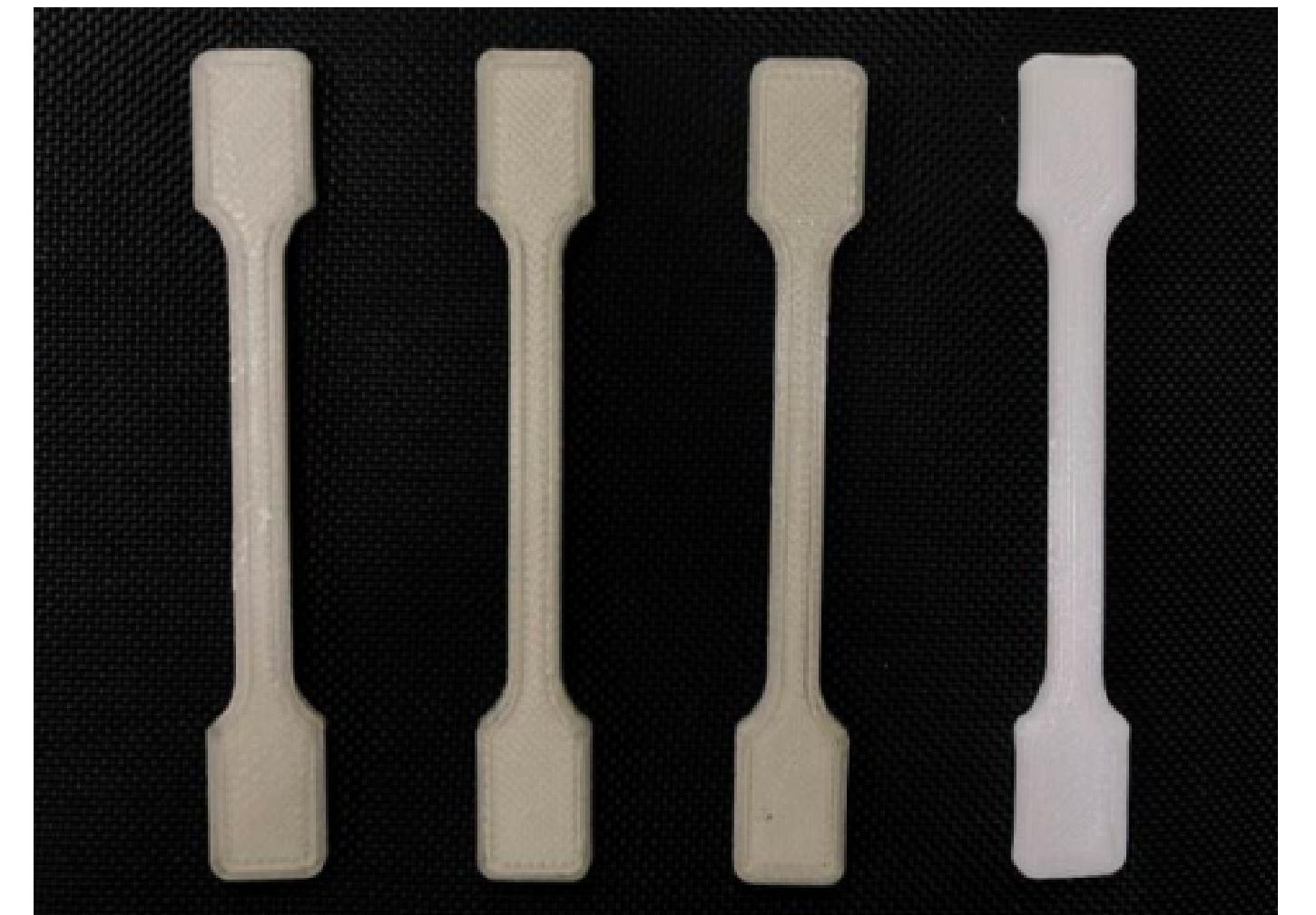
# Технология 3D-печати:



Создание 3D модели согласно по ГОСТ 33693-2015. В программе «Tinkercad»

Подготовка 3D – образцов для распечатывания в специальная программа «Cura»

Распечатывание образца для исследований на принтере «AnyCubic Mega X».



# Результаты термодинамических исследований:

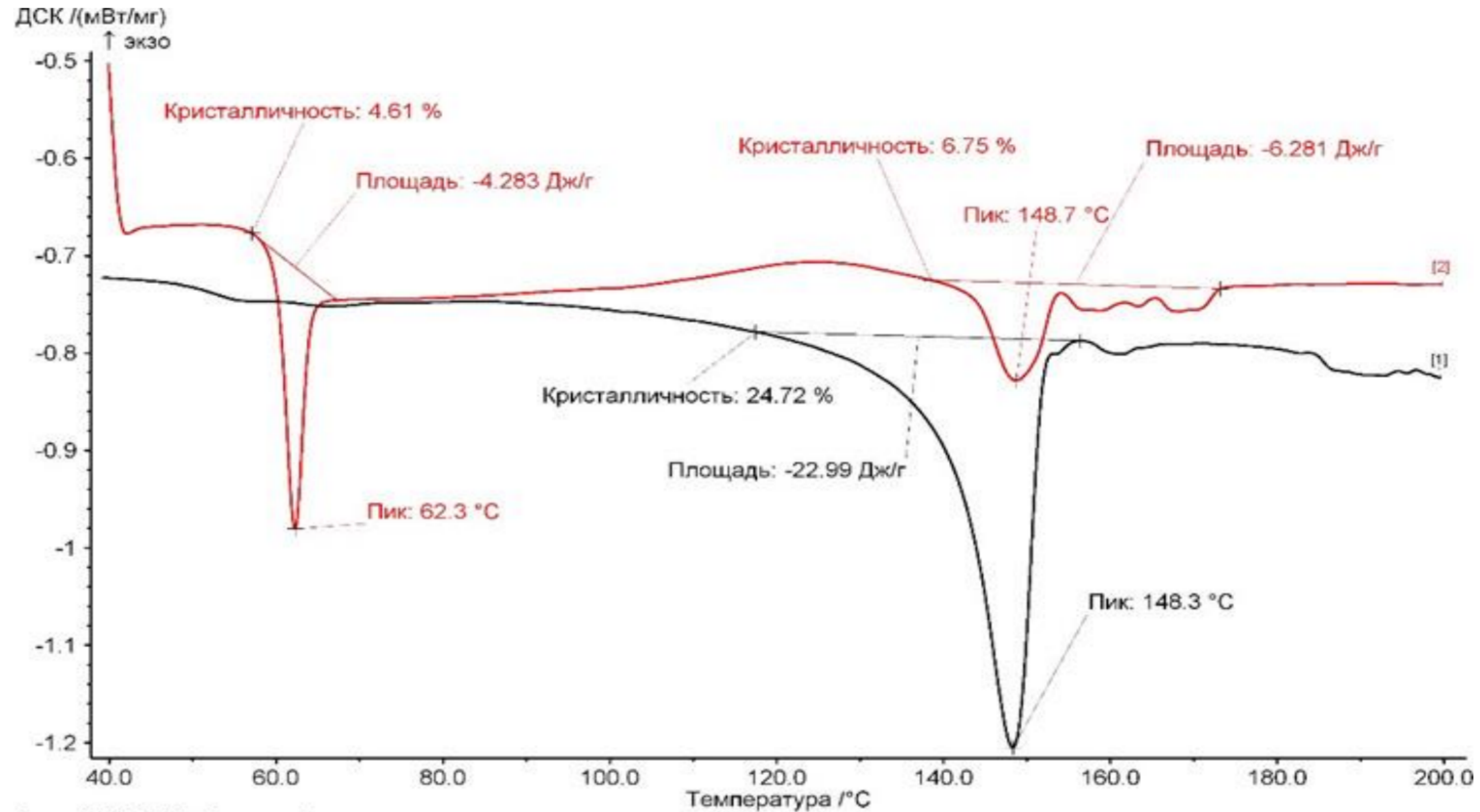


Рисунок 1 – Сравнительная кривая ДСК исходного ПЛА и ПЛА/ГАК;



# Результаты структурных исследований:

---

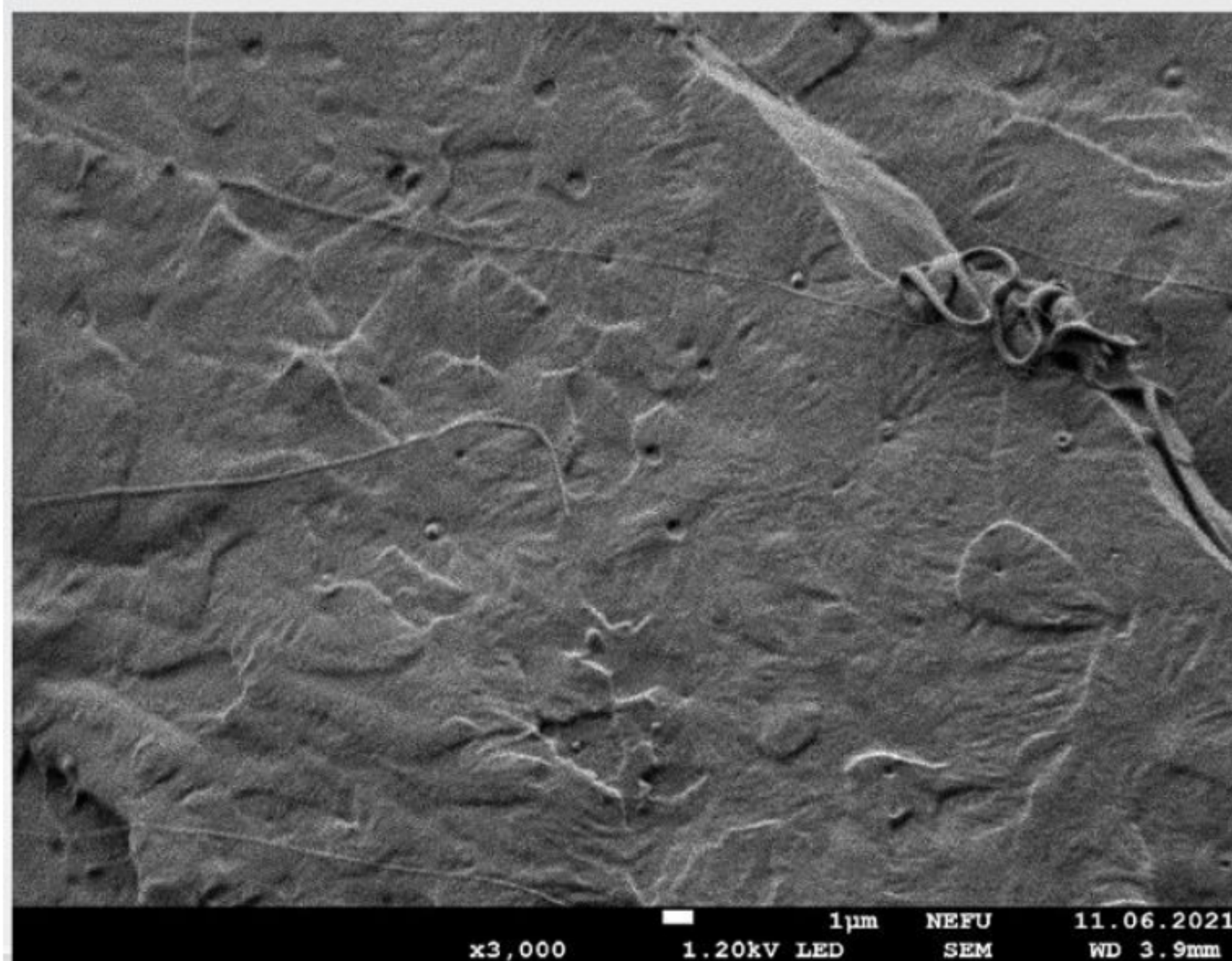


Рисунок 2 – РЭМ изображения исходного  
филамента из чистого ПЛА;

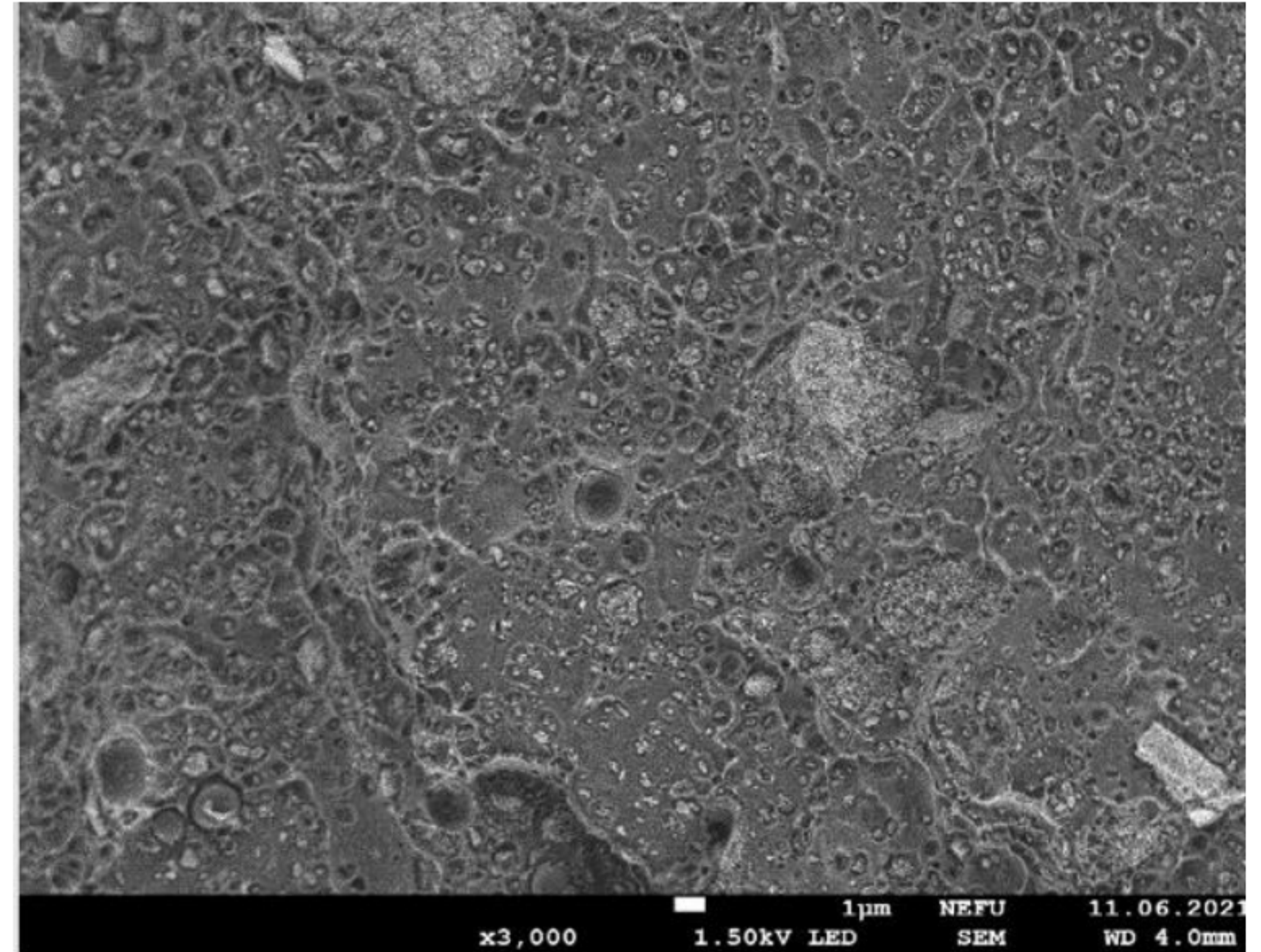


Рисунок 3 – РЭМ изображение  
изображения филаментов композита ПЛА,  
содержащего 20 мас% ГАК;



## Физико-механические характеристик и сроки биодеградации различных материалов:

Материал	Модуль упругости, ГПа	Прочность, МПа	Деформация при разрыве, %	Срок сохранения прочности, мес.	Срок полной деградации, мес.
<b>Кость</b>	7-40	90-120			
<b>Металл и керамика</b>					
Титановый сплав	110-127	900	10-15	-	-
Нержавеющая сталь	180-205	500-1000	10-40	-	-
Гидроксиапатит	80-110	500-1000	-	>12	>24
<b>Биоразлагаемые материалы</b>					
Полигликолид	7	340-920	15-20	1	6-12
Поли (L,L-лактид)	2,7	80-500	4-10	3	>24
Поли (D,L-лактид-со-гликолид)	2	40-550	3-10	1	1-12
Поликапролактон	0,4	20-40	300-500	>6	>24



# Результаты:

Материал	$\Delta \epsilon_{pp}$ , %	$\Delta \sigma_{pp}$ , МПа	E, МПа	$\sigma$ 10%, МПа	$\sigma$ 25%, МПа	$\sigma$ изг, МПа
Образцы из ПЛА, полученные методом экструзии						
<b>ПЛА</b>	<b>56,1</b>	<b>3,9</b>	<b>758,2</b>	<b>60,7</b>	<b>50,7</b>	<b>57,6</b>
Образцы из ПЛА, полученные методом 3D печати						
ПЛА100% (0,1 мм)	43,3	4,5	693,5	69,5	60,8	38,7
ПЛА100%(0,2 мм)	43,4	4,5	693,5	62,1	60,8	39,3
<b>ПЛА80%(0,1 мм)</b>	<b>51,2</b>	<b>4,8</b>	<b>837,5</b>	<b>74,3</b>	<b>58,1</b>	<b>56,3</b>
ПЛА 80% (0,2 мм)	51,6	5,2	737,9	63,6	56,6	55,5
ПЛА 60% (0,1 мм)	55,3	5,6	512,8	62,5	55,7	50,1
ПЛА 60% (0,2 мм)	52,3	5,3	972,8	51,8	45,8	33,2
Образцы композита на основе филамента с выбранными параметрами 3D-печати						
<b>ПЛА+20 масс.% Ca<sub>10</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub> (OH)<sub>2</sub></b>	<b>42,2</b>	<b>3,2</b>	<b>1118,0</b>	<b>62,2</b>	<b>67,8</b>	<b>40,2</b>

# Заключение:

На основании проведенных экспериментальных исследований на основе ПЛА можно сделать следующие выводы:

- Освоена технология получения ПКМ методом экструзии;
- Исследованы влияние ГАК на термодинамические и физико-механические свойства ПКМ;
- Установлено, что при введении 20 масс. % ГАК наблюдается повышение прочности при 25% деформации на 16% и модуль упругости на 33% по сравнению с исходным образцом.



# литература:

- Миронов, С.П. Состояние травматолого-ортопедической помощи населению России / С.П.Миронов, Н.А.Еськин, А.А.Очкуренко и др. // X юбил. Всерос. Съезд травматологов-ортопедов. М.: [Изд-во «Человек и здоровье», 2014].
- Остеосинтез с применением высокотехнологичных современных методов лечения. URL: <https://www.orthoscheb.com/technology/osteosintez-s-primeneniem-vysokotekhnologichnykh-sovremennykh-metodov-lecheniya/> [Электронный ресурс].
- Jang W.Y. Thermal properties and morphology of biodegradable PLA/Starch compatibilized blends / W.Y. Jang, B.Y. Shin, T.J. Lee, R. Narayan // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2007. – № 3. – pp. 457-464. • Sawyer D.J. Bioprocessing; no longer a field of dreams / D.J. Sawyer // Macromolecular Symposia. – 2003. – № 201. – pp. 271-281.
- Фомин В. А. Исследование процесса получения полимолочной кислоты - базового полимера биоразлагаемых пластиков / В. А. Фомин, Л. П. Коровин, Л. Н. Белодед, Ю.А. Курский, С. И. Шкуренко, Е. В. Монахова, А. Г. Петров // Пластические массы. – 2009. – № 12. – С. 11-14.
- Posner A. S., Perloff A., Diorio A. F. Refinement of the hydroxyapatite structure // Acta Crystallographica. – 1958. – Т. 11, № 4. – С. 308-309.
- ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Метод испытания на растяжение. Общие требования. Введ – 2018 г. - М.: Издательство стандартов, 2018

---

**Спасибо за внимание!**

---





# Что такое остеосинтез?

● Остеосинтез — соединение отломков костей. Цель остеосинтеза — обеспечение прочной фиксации сопоставленных отломков до полного их сращения.

Различают два основных вида остеосинтеза:

1) Внутренний (погружной) остеосинтез – это метод лечения переломов при помощи различных имплантатов, которые фиксируют костные отломки внутри тела пациента. Имплантаты представляют собой штифты, пластины, винты, спицы, проволоку.

2) Наружный (чрескостный) остеосинтез, когда костные отломки соединяют с помощью дистракционно-компрессионных аппаратов внешней фиксации.

