

минимальное значение  $HV_{cp}=755$  МПа имеет образец № 6 (из фидстока со связующим № 6 с 35 % полипропилена). Очевидно, уменьшение микротвердости связано с пористостью образцов: чем выше пористость, тем ниже микротвердость.

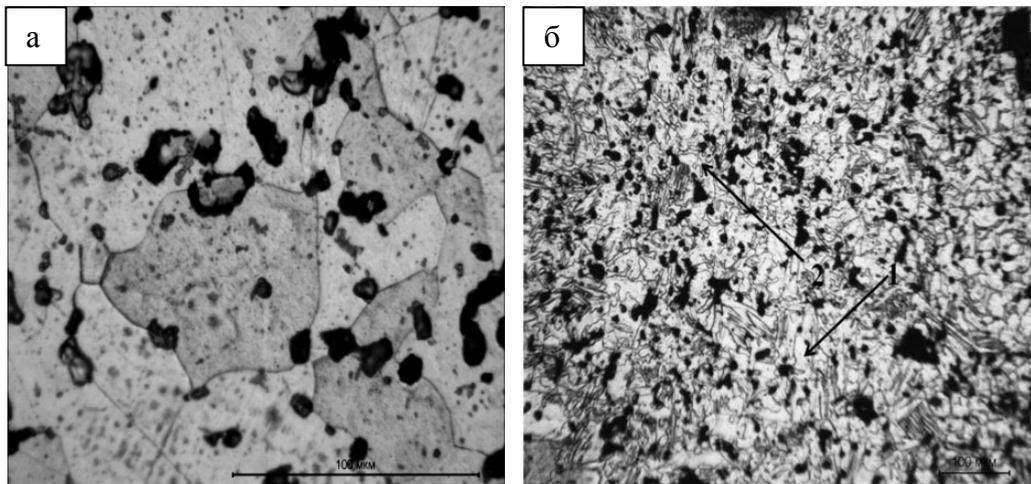


Рисунок – Микроструктура образца № 1: а) травитель 100% «царская водка; б) травитель 5%-й раствор «царской водки» в спирте

В результате исследования установлено отсутствие влияния состава связующего на микроструктуру образцов. Состав связующих влияет на пористость: с увеличением количества полипропилена пористость увеличивается. Оптимальным связующим для получения фидстоков и дальнейшего изготовления из них деталей признано связующее с 15% полипропилена и 85% парафинового воска.

#### Список литературы

1. Семенов А.Б., Гавриленко А.Э., Семенов Б.И. Порошковые технологии синтеза сложных фасонных деталей из суперсплавов: АМ и/или РИМ (зарубежный и отечественный опыт) // Вт. Междунар. конф. «Аддитивные технологии: настоящее и будущее». М.: ФГУП ВИАМ, 2016. 784 с.
2. Heaney D. Handbook of metal injection molding. Woodhead Publishing Ltd, 2012. 586 p.
3. Либенсон Г.А. Основы порошковой металлургии. – М.: Металлургия, 1987. – 208 с.  
17. Кипарисов С.С., Либенсон Г.А. Порошковая металлургия. – М.: Металлургия, 1972. – 528 с.

#### НАНОВОЛОКНИСТЫЕ НЕТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛИ-3-ГИДРОКСИБУТИРАТА С БАКТЕРИЦИДНЫМИ СВОЙСТВАМИ

*П. М. ТЮБАЕВА<sup>1,3</sup>, А. А. ОЛЬХОВ<sup>1,2</sup>, С.Г. КАРПОВА<sup>3</sup>, А.Л. ИОРДАНСКИЙ<sup>2</sup>, А.А. ПОПОВ<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Российский экономический университет им. Г. В. Плеханова, Москва,

<sup>2</sup>ФГБУ Институт химической физики им. Н. Н. Семенова Российской академии наук, Москва,

<sup>3</sup>ФГБУ Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля Российской Академии наук, Москва E-mail: [tyubaeva-polina@yandex.ru](mailto:tyubaeva-polina@yandex.ru)

В результате экспериментального изучения биополимерных материалов наряду с установлением широких возможностей их использования была выявлена потребность в

создании специальных материалов прежде всего специфической структуры. В ходе исследовательской работы реализована цель: разработан метод получения наноструктурированного волокнистого материала на основе биополимера поли-3-гидроксibuтирата, пригодного, как для изготовления инновационных лекарственных средств, оболочек, капсул с особыми свойствами, так и для перевязочных, изолирующих, защитных материалов.

Разработанный в ходе исследования концептуальный подход к решению проблемы создания высокоэффективных биополимерных волокнистых матриц с широким спектром свойств, обеспечивающих медицинское назначение, базируется на введении в структуру материала, получаемого методом волокнообразования в электростатическом поле из расплава природного биополимера - поли-3-гидроксibuтирата (ПГБ), бактерицидного агента - комплекса порфирина (Fe-3-Cl-ТФП) обладающего антимикробной и микробиологической активностью. Сущность данного подхода состоит в получении таких специфических наноструктурированных материалов медицинского назначения, которые могут обеспечить максимальную поверхностную плотность при минимальной площади контакта с тканями организма, в соответствии с требованиями физико-механических показателей и санитарно-гигиенических норм.

В зависимости от характеристик формовочного раствора биополимера и содержания дополнительных компонентов возможно варьирование технологических параметров процесса электроформования (ЭФВ), за счет чего на практике удается подтвердить потенциальную возможность производства нетканых полотен медицинского назначения с заданными свойствами (в зависимости от задаваемых параметров процесса и показателей электропроводности, вязкости и концентрации формовочного раствора ПГБ в растворителе - хлороформе).

В исследовательской работе рассматривались различные параметры, характеризующие структуру нетканого материала и в значительной степени обуславливающие его физико-механические, химические свойства, что было подтверждено в ходе экспериментальной работы. Оценка и сопоставление ряда параметров позволило классифицировать получаемые методом ЭФВ материалы по особенностям морфологии и расположения ультратонких волокон. Среди базовых показателей структурной организации в материале были выделены в качестве определяющих: удельная плотность волокон структуры,  $\gamma$ ; индекс ориентации волокон,  $\phi$ ; материалоемкость - средняя плотность (функция от поверхностного заполнения, выраженная массой единицы объема),  $\delta$ , средние значения для этих показателей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели структуры нетканых материалов на основе ПГБ с различным содержанием бактерицидной добавки.

Наименование образца, содержание бактерицидной добавки FeClТФП	Средний диаметр волокон d, мкм	Удельная плотность волокон структуры $\gamma$ , %	Индекс ориентации волокон, $\phi$	Поверхностное заполнение материала Ms, г/м <sup>2</sup>
7% ПГБ	2,0-2,5	74	0,26	37,7
7% ПГБ + 1%	2,5-3,0	93	0,34	26,6
7% ПГБ + 3%		96	0,72	36
7% ПГБ + 5%		89	0,67	32

В исследовании также была рассмотрена надмолекулярная структура ультратонких волокон на основе полигидроксibuтирата с комплексом железа (III) с тетрафенилпорфирином, который обуславливает высокие антимикробные свойства получаемого материала. Методом Дифференциальной сканирующей калориметрии были определены температурные переходы и значения теплоты плавления и кристаллизации.

Полученные данные позволяют судить о изменениях в скорости кристаллизации, о характере расположения полимерных звеньев ПГБ в ультратонком волокне, что определяет специфические особенности температурных переходов, которые регистрировались для образцов данного материала. Данные, приведенные на рисунке 1 свидетельствуют о том, что кристалличность возрастает в соответствии с ростом концентрации бактерицидной добавки. Также осуществлялся отжиг материалов для установления факта наличия мезоморфных структур в материале, то есть способных к последующей кристаллизации после отжига, так как вероятно, что бактерицидный агент заполняет именно эти области в материале.

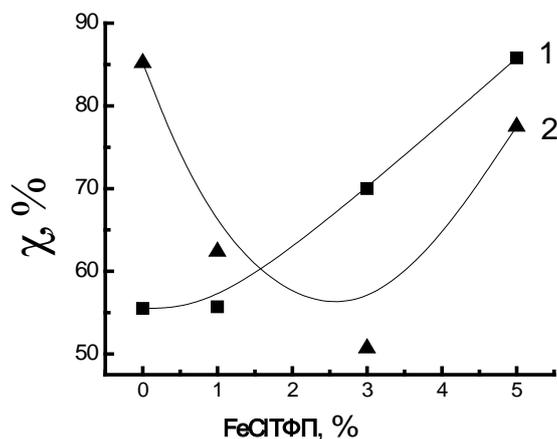


Рисунок 1 – Изменение степени кристалличности ПГБ с различной концентрацией FeClTP в волокнах: 1 – исходные волокна, 2 – после отжига при 140 °C.

Методом электронного парамагнитного резонанса была изучена аморфная фаза волокон, что позволяет дополнить и оценить явления, регистрируемые методом ДСК, обеспечивая высокую точность при оценке надмолекулярной структуры полимерных звеньев в волокнах материала, место расположения в них бактерицидного комплекса и соотношение фаз: аморфной и кристаллической.

В ходе исследовательской работы были получены опытные партии ультратонких волокон медицинского назначения с различным диаметром, плотностью и геометрией пространственного положения, для которых были установлены основные определяющие характеристики: механические, химико-физические, термические свойства, фазовое распределение в макромолекулярной структуре. Определение и анализ данных показателей позволил обосновать возможность формирования набора характеристик в установленных интервалах значений с учетом требований, предъявляемых к медицинскому материалу. Результаты исследования материалоемкости ультратонких волокон на основе ПГБ с бактерицидным агентом наглядно демонстрирует принцип изменения показателей различных свойств материала в зависимости от компонентного состава формовочного раствора.

#### Список литературы

1. Березин Б.Д. Координационные соединения порфиринов и фталцианина. – М.: Наука, 1978. – 280 с.
2. Olkhov A.A., Tyubaeva P.M., Staroverova O.V., Mastalygina, E.E. Popov A.A., Ischenko A.A., Iordanskii A.L. Process optimization electrospinning fibrous material based on polyhydroxybutyrate // AIP Conference Proceedings. – 2016. – V. 1736. – P. 020098-1 - 020098-4
3. Филатов Ю.Н. Электроформование волокнистых материалов (ЭФВ-процесс) – М.: Нефть и газ, 1997. – 298 с.

4. Карпова С.Г., Ольхов А.А., Иорданский А.Л., Ломакин С.Ш., Шилкина Н.С., Попов А.А., Гумаргалиева К.З., Берлин А.А. Нетканые смесевые композиции на основе ультратонких волокон поли(3-гидрокси)бутирата с хитозаном, полученные электроформованием // Высокомолекулярные соединения. – 2016. – Т. 58. – №1. – С. 61-72.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СТАЛИ 50, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

*И.А. ФОТИН, Е.А. ДАРЕНСКАЯ*

Национально Исследовательский Томский Политехнический Университет

E-mail: i.fotin2010@gmail.com

**Abstract.** The effect of pressing pressure on the structure of 50L sintered steel. The structure of sintered powders was studied, microhardness and porosity measurements were made, and X-ray diffraction analysis was performed. The results of the work will be useful in the development of injection molding technology.

Порошковая металлургия это одна из современных развивающихся отраслей промышленности. Она включает в себя как фундаментальные, так и множество смежных наук, таких как физика твердого тела, физическая химия, материаловедение и другие. Порошковая металлургия позволяет получать изделия, которые невозможно получить другими методами, например, получение изделий сложной формы или получение композитов из материалов с различными температурами плавления.

Объектом исследования в данной работе являются образцы спеченной порошковой стали 50Л, полученные при разных давлениях и способах формования.

В качестве материалов исследования использовались образцы стали 50, полученные методом порошковой металлургии. Химический состав представлен в таблице 1. Формование проводили при разном давлении прессования (400 МПа и 600 МПа) без пластификатора и с пластификатором. В качестве пластификатора использовали смесь парафина и воска. Кроме того один образец (полученный прессованием с пластификатором) подвергли отжигу при 820 °С с охлаждением в печи.

Таблица 1 - Химический состав порошковой стали 50

C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Fe
0,47-0,55	0,2 - 0,52	0,4 - 0,9	~0,3	~ 0,3	~0,3	~97

Металлографический анализ показал, что структуры всех исследуемых образцов являются ферритными, рисунок 1. Средний размер зёрен равен 90 мкм.

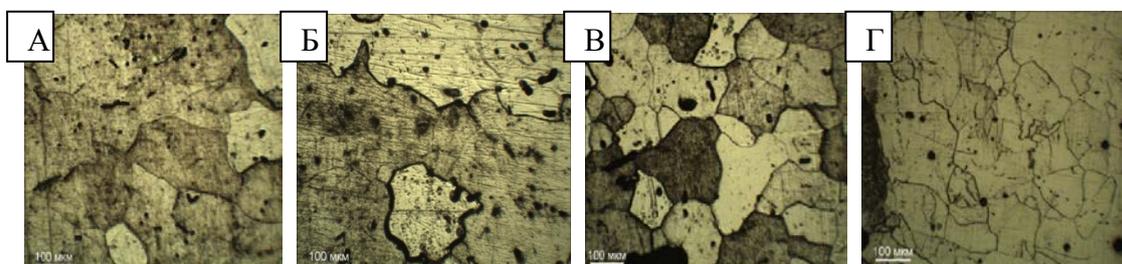


Рисунок 1 – Структуры спеченных образцов стали 50: А – давление прессования 400 МПа, Б – 600 МПа, В – 600 МПа с пластификатором, Г – 600 МПа с пластификатором, отжиг