

УДК 677.494

**ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫЕ ВОЛОКНА – СЫРЬЕ  
ДЛЯ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ**

<sup>1</sup>И.С. Городнякова, <sup>1</sup>П.В. Чвиров, <sup>1</sup>Л.А. Щербина, <sup>2</sup>Ю.Ф. Коско,  
<sup>2</sup>К.Ю. Устинов, <sup>2</sup>В.А. Бондаренко, <sup>2</sup>А.Н. Короткий, <sup>2</sup>А.М. Бритов

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет продовольствия, г. Могилев

<sup>2</sup>Завод «Полимир» ОАО «Нафтан», г. Новополоцк

Углеродные волокна впервые были получены в 1880 г. В 20-ом веке основной спрос на углеродные волокна был связан с военной промышленностью. К началу 21 века по мере снижения цен на данный продукт, были освоены новые области применения углеродных волокон, в связи с чем спрос на них стал резко увеличиваться. Углеродные волокна фактически революционизировали технологию композиционных материалов различного назначения, в том числе и в строительстве. В настоящее время производство углеродных волокон в мире непрерывно растет, что связано, прежде всего, с расширением областей и масштабов применения данного материала.

Основными сферами применения углеродных волокон являются: автомобилестроение, судостроение, самолетостроение, ракетостроение, роботостроение, энергетика, производство оборудования для обогащения сырья, содержащего редкоземельные и радиоактивные элементы, создание экзоскелетов, беспилотной техники, производство спортивного инвентаря и др.

В строительстве углеродные волокна являются сравнительно новыми материалами, тем не менее, их достоинства уже оценили и активно используют. Например, материалы и изделия, изготовленные с использованием углеродных волокон, по ряду эксплуатационных свойств превосходят традиционные «аналоги», выполненные из стали и бетона, так как в пересчете на ту же массу они в несколько раз прочнее. Так, использование сетки из углеродного волокна вместо стальной арматуры уменьшает вес стеновых панелей на 75%. А наружное армирование железобетонных, деревянных и кирпичных конструкций углеродными материалами увеличивает прочность конструкций более чем в два раза. Более того, использование углепластиковой арматуры позволяет, в ряде случаев, снизить общие расходы на строительство и последующую эксплуатацию сооружений за счет повышения устойчивости конструкций к коррозии и их долговечности и т.д. [1].

В промышленных масштабах углеродные волокна производят из различных видов прекурсоров, но главным образом: на основе полиакрилонитрильного волокна; на основе вискозного волокна; на основе пекового волокна [2].

В Республике Беларусь налажено производство углеродных волокон из вискозных волокон, однако, ввиду особенностей структуры исходного полимерного субстрата, получаемые углеродные волокна по ряду физико-механических свойств существенно уступают углеродным волокнам, получаемым из полиакрилонитрильных волокон. Поэтому в мировой практике основным сырьем, применяемым при производстве высокопрочных и высокомодульных углеродных волокон, являются волокнистые полиакрилонитрильные прекурсоры.

В Республике Беларусь полиакрилонитрильное волокно текстильного ассортимента под торговым названием «Нитрон Д» по ТУ ВУ 300041455.015 производится на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан» (г. Новополоцк) по мокрому методу из прядильных растворов на основе поли[акрилонитрил(АН)–со–метилакрилат(МА)–со–2-акриламид-2-метилпропансульфонат натрия (АМПС)] в диметилформамиде (ДМФ). Однако к полиакрилонитрильным волокнам, используемым для получения углеродных волокон, предъявляется ряд специфических свойств. Организация выпуска на данном предприятии полиакрилонитрильных волокон, пригодных к использованию в качестве прекурсоров углеродных волокон, требует существенного изменения параметров технологического процесса.

Проведенные на кафедре химической технологии высокомолекулярных соединений с использованием стендового оборудования лабораторные исследования, а также производственная апробация в условиях завода «Полимир» ОАО «Нафтан» предложенных технологических решений показали, что на существующей технологической линии возможна реализация ряда технологических режимов, позволяющих получать полиакрилонитрильное волокно, пригодное для переработки в углеродное. В то же время, полная реализация всех необходимых технологических режимов для промышленного выпуска полиакрилонитрильных прекурсоров углеродных волокон на существующем оборудовании нецелесообразна, так как требует серьезной модернизации существующего и установки дополнительного оборудования.

Существуют и другие причины, не позволяющие добиться получения высококачественного углеродного волокна на основе полиакрилонитрильных волокон, получаемых по ТУ ВУ 300041455.015. Так, недостатком реализованного на заводе «Полимир» технологического процесса является получение недостаточно однородного по морфоло-

гии волокна. Данная неоднородность, приемлемая для текстильного ассортимента полиакрилонитрильного волокна, отрицательно сказывается на свойствах готовых углеродных волокон.

Важнейшими технологическими факторами, существенно сказывающимися на структурной однородности волокна, являются особенности взаимодействия в системе «полимер – растворитель – осадитель», определяющими процессы структурообразования в формирующемся волокне. Известно множество реализованных на практике различных технологических вариаций по составу волокнообразующих сополимеров акрилонитрила, используемых для получения прекурсоров углеродных волокон, и по применяемым растворителям. Наиболее часто из растворителей используют в последнее время диметилформамид (ДМФ), диметилацетамид и диметилсульфоксид (ДМСО).

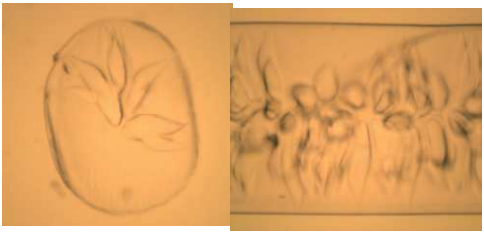
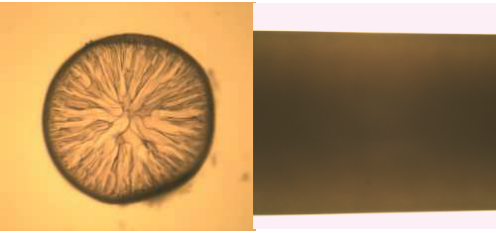
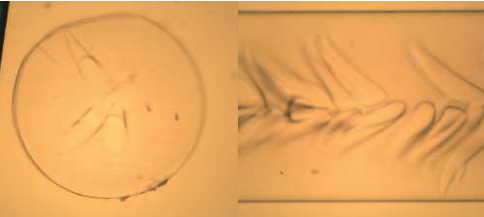
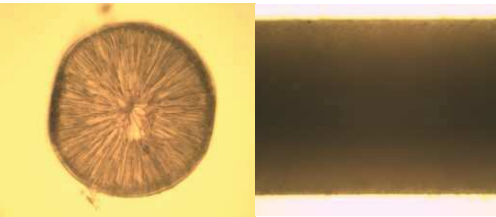
К сожалению, никакой конкретной практической информации о технологических режимах получения полиакрилонитрильных прекурсоров, предназначенных для переработки в углеродные волокна, а также информации для сопоставления этих режимов и качества получаемого при этом углеродного волокна, из опубликованных источников извлечь нельзя. Это связано с коммерческой тайной и серьезной конкуренцией в области производства и развития технологий получения высокопрочных углеродных волокнистых материалов.

Исходя из анализа собственного практического опыта, а также имеющихся мировых тенденций и существующей общетеоретической информации, с целью получения данных, необходимых для понимания механизма и управления процессом формирования морфологии полиакрилонитрильных волокнистых прекурсоров, были выбраны объекты исследования, поставлена систематическая серия лабораторных и производственных экспериментов и получены необходимые для дальнейшей работы данные.

В качестве примера, иллюстрирующего влияние на морфологическую однородность полиакрилонитрильного волокна физико-химической природы апротонного растворителя и минимальных изменений первичной структуры волокнообразующих сополимеров акрилонитрила, можно привести микрофотографии, представленные в таблице.

В таблице сопоставлены особенности морфологической структуры волокон, полученных по мокрому методу из прядильных растворов на основе волокнообразующих поли[АН-со-МА-со-АМПС] и поли[АН-со-МА-со-моноитаконат натрия (ИтК)] и апротонных растворителей: ДМФ и ДМСО.

**Таблица – Влияние мономерного состава сополимера и применяемого растворителя на структуру волокна**

Растворитель	Состав сополимера	
	Поли[АН-со-МА-со-ИтК]	Поли[АН-со-МА-со-АМПС]
ДМФ		
ДМСО		

Анализируя влияние растворителя и состава сополимерана структуру формирующегося в осадительной ванне моноволокна (см. таблицу) можно отметить следующее:

- при формировании волокна из прядильных растворов поли[АН-со-МА-со-ИтК] образуется более однородная структура и моноволокно имеет наименьшее количество видимых пор;

- при формировании волокна из диметилсульфоксидных прядильных растворов у волокон формируется меньшее количество пор и менее отчетливо выраженная оболочка.

Таким образом, исходя из полученной экспериментальной информации, можно предположить, что для реализации процесса получения полиакрилонитрильных волокнистых прекурсоров углеродных волокон в качестве растворителя более целесообразно использовать диметилсульфоксид, а в качестве волокнообразующего сополимера – поли[АН-со-МА-со-ИтК]. При этом замена растворителя и замена кислотного сомономера, используемых в существующем технологическом процессе, потребуют, как минимум, пересмотра технологических режимов стадий регенерации растворителя, синтеза и формирования волокна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Углеродные материалы. Свойства, технологии, применения: учебное пособие / С. Н. Колокольцев. – Долгопрудный: Интеллект, 2012. – 295 с.

2. Карбонизация полимеров / Ю. Н. Сазанов, А. В. Грибанов. – СПб.: Научные основы и технологии, 2013. – 295 с.