

Щербина Л.А., Будкуте И.А.
(Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий)

Прокопчук Н.Р.
(Белорусский государственный технологический университет)

ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИАКРИЛОНИТРИЛЬНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Производство химических волокон в Республике Беларусь является важнейшим народно-хозяйственным сегментом, обеспечивавшим до девяностых годов прошлого века существенную долю национального дохода БССР. Сегодня экспорт всех химических волокон и нитей, выпускаемых в Республике Беларусь, составляет около 80 %, а полиакрилонитрильных (ПАН) волокон – около 90 %.

Мировое производство ПАН (или акриловых) волокон всегда занимало не самую большую, но стабильную долю на рынке текстильных материалов. В настоящее время наметился среднегодовой прирост объема рынка акрилового волокна в размере более 3,6 %, который в 2025 году составляет около 1,57 млн. тонн (или 5,52 млрд. долларов США) и, предположительно, достигнет 1,81 млн. тонн к 2030 году.

ПАН волокна выпускают несколько десятков фирм. Важнейшие из них расположены в Турции, Китае, Японии и США. Основной прирост производства ПАН волокон в прошедшие годы отмечался в Китае и на Тайване, в Южной Корее и Индии, в Турции и Иране. Вклад регионов планеты в рынок ПАН волокна в 2023 г. распределился следующим образом: Северная Америка – 20 %, Азиатско-Тихоокеанский регион – 45 %, Европа – 25 %, Латинская Америка – 5 %, Ближний Восток и Африка 5 – %. В 2025 году мировая доля производства ПАН волокна в Азиатско-Тихоокеанском регионе превысила 49 %, а ожидаемый среднегодовой темп роста производства в данном регионе в период с 2026 по 2035 год прогнозируется свыше 5 % в год, преимущественно за счет производства в Китае и Индии. Это связано с растущим спросом на ПАН волокна в таких отраслях, как текстиль, автомобилестроение, композитные материалы. Около 50 % ПАН волокна текстильного ассортимента идет на производство одежды, а около 30 % для выпуска ковровых изделий, обивки и др. Есть мнение, что в ближайшие годы текстильный сектор будет расти в среднем на 5 %. В целом, на рынке акриловых волокон сегмент текстильной промышленности в 2025 году занял более 68,6 %. Этому способствуют достижения в технологии производства волокон, в частности, разработка низкопиллинговых и высокопрочных волокон, инновации, повышающие долговечность и эксплуатационные

характеристики акриловых тканей, решая проблему износа у потребителей. Интерес потребителей к изделиям на основе ПАН волокон объясняется множеством их достоинств.

Во-первых, по тактильным ощущениям и визуально они превосходят тонкорунную шерсть, создают ощущение уюта, лёгкие, хорошо окрашиваются в разнообразные цвета, быстро сохнут после стирки; сохраняют тепло не хуже шерсти, не выгорают на солнце, не поедаются молью и микроорганизмами, не вызывают аллергических реакций, не сминаемы, не свойлачиваются и не усаживаются при стирке, не притязательны в уходе, плохо удерживают загрязнения и почти не впитывают влагу, износостойки, доступны по стоимости. ПАН волокна используются как индивидуально, так в смеси с натуральными и химическими волокнами во всех вариантах бытового текстиля, включая трикотажные изделия, искусственный мех, носки и спортивную одежду, верхнюю одежду, одеяла, ковры, обивочные материалы и многое другое. В данном сегменте ПАН волокна имеют «потребительскую» нишу в объеме около 0,3 кг на человека в год.

Во-вторых, уникальность ПАН волокон не только в возможности производства технического текстиля, такого как защитная одежда, фильтровальные материалы, армирующие наполнители, рыболовные сети и т.п., но еще и в том, что они являются благодатными прекурсорами для высокотехнологичных материалов специального назначения. Например, они прекрасно модифицируются в сорбенты различного назначения, а также являются важнейшими сырьем для выпуска термостойкого окисленного ПАН волокна и углеродных волокнистых материалов (УВМ). При этом доля ПАН волокон специального назначения в объеме прекурсоров УВМ достигает до 90 %. И спрос на них продолжает неуклонно расти, так как этому есть ряд веских причин. Одна из них, активное повышение спроса на композиционные материалы.

К ПАН волокнам, как к прекурсорам УВМ, предъявляются более жесткие требования по их морфологической и химической структуре и физико-механическим свойствам (например: к однородности структуры волокна, ее дефектности, высокой идентичности филаментов в жгуте, степени ориентации макромолекул вдоль оси филаментов, а также сомономерному составу, определяющему протекание цепных термохимических превращений ПАН субстрата прекурсоров в одну из форм структурной организации в УВМ).

В-третьих, технологическое оформление предложенных и на практике реализованных вариантов производства ПАН волокон текстильного и технического назначения, вероятно, имеет самое большое разнообразие. Они могут отличаться композиционным составом используемых

сополимеров акрилонитрила и применяемыми растворителями. Большинство ПАН волокон текстильного и технического назначения производят, как правило, из тройных сополимеров: акрилонитрила (не менее 85 %), винилового сомономер (6-12 %), вводимого для улучшения перерабатываемости и потребительских свойств (метилакрилат, метилметакрилат, винилацетат и др.), и ионогенного сомомера (1-3 %), придающего волокну сродство к определенной группе красителей (например, 2-акриламид-2-метилпропансульфокислота, аллилсульфонат натрия, итаконовая кислота, акриловая – к катионным красителям, винилпиридин – к кислотным красителям). Синтез ПАН ведут либо гомофазным, либо гетерофазным методом (в водной среде путем суспензионной и реже эмульсионной полимеризации). Прядильные растворы получают демомеризацией реакционной массы после гомофазного синтеза или растворением сополимера, полученного гетерофазным методом.

Выпускают ПАН волокна, в основном, в виде штапелированного (около 63,7 т на 2025 г.) или жгутового волокна. Только около 1 % продукции выпускают в виде комплексных нитей. Основные методы получения: мокрое (около 60 % на 2023 г.), сухо-мокрое и сухое (40 %) формование из растворов ПАН. Существует также вариант формования ПАН волокна из пластифицированного состояния. Прорабатываются способы его получения из расплава и механотропным методом. Нетканые ПАН материалы можно получить еще и методом электродинамического формования. В качестве растворителей в промышленности широко используют диметилформамид (ДМФ), диметилацетамид, диметилсульфоксид, водные растворы пропилен- и этиленкарбоната (85 %-ный), роданида натрия (51,5 %-ный), $ZnCl_2$ (60 %-ный). Известны варианты с использованием растворов HNO_3 (65-70 %-ные), перхлората магния, роданида кальция и другие.

На рынке ПАН волокон доминируют Aksa Akrikil (Турция), Dralon (Германия), Aditya Birla (Индия), Mitsubishi Chemical (Япония), Formosa Plastics (Тайвань), Jilin Chemical Fiber (Китай), Kaltex (Мексика), Sinopec (Китай), Pasupati Acrylon (Индия), Toray Industries (Япония). При этом у каждой из них свое технологическое решение.

Несмотря на то, что ПАН волокна, получаемые различными вариантами, хотя и имеют определенные различия в свойствах и структуре, но имеющаяся информация не позволяет выделить наиболее экономически целесообразный технологический вариант для их производства. Много зависит от сырьевой базы, соблюдения авторских прав, наличия лицензий, логистики, масштабов производств, исторического стечения обстоятельств, «привычек» переработчиков, пригодности отдельных видов волокон для специальных применений. Например, наиболее

высокотехнологичные прекурсоры для высококачественных УВМ получают в Японии по водно-роданидному, который как бы считают архаичным для производства текстильных ассортиментов ПАН волокна. И это при том, что данным способом формируются ПАН волокна, имеющие наиболее комфортные тактильные ощущения.

В Республике Беларусь также имеется многолетний опыт производства ПАН волокон по диметилформамидному и водно-родному методам из сополимеров акрилонитрила, синтезируемых гомофазным способом. Существовало также производство модакрилового волокна мокрым методом из ацетоновых растворов поли[акрилонитрил (60–40 %) – со – винилхлорид (40–60 %)], синтезируемого эмульсионным методом.

Сегодня интерес может представлять выпуск высокоусадочных, бактерицидных, высокопрочных, короткорезанных, очень тонких, с регулируемой пористостью, фибриллирующихся, смарт («умных»), инклюзионно-модифицированных, электропроводящих, термостойких, огнестойких, термостабилизированных (заменителей асбеста), прекурсоров УВМ и других видах ПАН волокон. Рассматривая возможность реализации такого разнообразия ассортимента ПАН волокон, необходимо отметить, что организовывать это на существующем оборудовании нецелесообразно из-за его высокой мощности и узкой текстильной специализации. Для производства этих материалов необходимы «гибкие» технологические цепочки, имеющие комплекс оборудования для перехода с одного ассортимента на другой. Это необходимо хотя бы из тех соображений, что потребители и их требования постоянно меняются, а технологическое оборудование должно удовлетворять этому в течение нескольких десятков лет. Поэтому, чтобы следовать мировым трендам, необходимо создавать новые производственные мощности.

УДК 666.151.016.2:546.311-31

Грицкевич К.С., Павлюкевич Ю.Г.

(Белорусский государственный технологический университет)

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ ЛИСТОВЫХ СТЕКОЛ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ОКСИДОВ

***Аннотация.** В данной работе проведено исследование технологических и физико-химических свойств листовых стекол со сниженным содержанием щелочных оксидов. Установлены особенности влияния состава на вязкостные характеристики стекол.*