

УДК 677.494.745.32

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-5(7)-32-43

Влияние кислотного сомономера в структуре
поли[акрилонитрил–со–метилакрилат–со–итаконовая кислота]
на морфологические особенности полиакрилонитрильных волокон

И. С. Городнякова^{*}, Н. В. Пчелова^{*,1}, И. А. Будкуте^{*}, Л. А. Щербина^{*},
А. М. Бритов^{**}

^{*} Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий,
Могилев, Республика Беларусь

^{**} Завод «Полимир» ОАО «Нафтан», Новополоцк, Республика Беларусь

Аннотация

С целью исследования влияния первичной структуры волокнообразующих терсополимеров акрилонитрила и условий формования волокон, получаемых из растворов в диметилформамиде, на их профиль, путем гомофазного свободно-радикального синтеза получены модельные образцы терсополимеров акрилонитрила, метилакрилата и итаконовой кислоты при варьировании содержания в исходной реакционной смеси кислотного сомономера от 0 до 2 % (от массы мономеров). На основе полученных терсополимеров подготовлены прядильные растворы в диметилформамиде и сформованы модельные волокна с использованием осадительных ванн, содержащих растворитель в количестве 0 и 55 % (масс.), при температуре 15 °С с использованием фильер с круглыми каналами отверстий. Отмечено влияние содержания кислотного сомономера в реакционной среде при синтезе волокнообразующего терсополимера и состава осадительной ванны на структурно-морфологические особенности полученных волокон.

Ключевые слова

Акрилонитрил, метилакрилат, итаконовая кислота, терсополимер, диметилформамид, формование, волокно.

Введение

В процессе производства полиакрилонитрильных (ПАН) волокон с целью придания им окрашиваемости или других специальных свойств в сополимеры, содержащие около 85–97 % (масс.) акрилонитрила (АН) и 3–15 % (масс.) сложноэфирного сомономера, часто вводят третий, ионогенный сомономер с кислотными или

основными свойствами в количестве около 1–1,5 % (масс.). В качестве ионогенных сомономеров предлагается использовать 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоту (АМПС), акриловую, итаконовую (ИтК), аллилсульфоновую кислоты, п-стиролсульфокислоту, 3-винилпиридин, 2-метил-5-винилпиридин и др. [1–3].

¹ Для переписки:

Email: htums@tut.by

С целью расширения ассортимента волокнистых материалов текстильного ассортимента и создания прекурсоров материалов специального назначения, а также для разработки путей повышения экономической эффективности и сырьевой «независимости» завод «Полимир» ОАО «Нафтан» рассматривает вопрос о возможности замены АМПС на ИтК при производстве волокна марки нитрон Д по диметилформамидному методу. В настоящее время на данном предприятии реализован технологический процесс производства ПАН волокна на основе [АН (91 % (масс.))–со–метилакрилат (МА) (8 % (масс.))–со–АМПС (1 % (масс.))].

Несмотря на неоспоримость того факта, что растворитель и первичная структура волокнообразующего терсополимера могут оказывать существенное влияние на формирование структуры и профиля формируемых волокон, практически отсутствует объективная информация о том, какие изменения структурно-морфологических свойств волокон будут происходить при замене одного кислотного сомономера на другой, а также при изменении его содержания в сополимере в условиях использования любого из технологически приемлемых растворителей. В частности, анализ имеющейся в открытых источниках научно-технической информации не позволил обнаружить материалы, позволяющие ответить на вопросы, каково должно быть оптимальное содержание ИтК в сополимере для обеспечения заданных потребительских свойств, какие режимы более целесообразны для формирования волокнистых материалов на основе конкретных волокнообразующих сополимеров.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения

С целью определения оптимального содержания ИтК в реакционной смеси при получении волокнообразующего поли[АН–со–МА–со–ИтК] проведена серия синтезов данных терсополимеров АН, в ходе которых варьировалось количество ИтК от 0 до 2 % (от массы мономеров) за счет изменения доли МА в исходной мономерной смеси. При этом содержание АН в реакционной смеси составляло 91 % (от массы мономеров), а общее содержание мономеров в реакционной смеси (РС) было 35 %. Остальные параметры синтеза соответствовали принятым в производственных условиях. Фактическое содержание кислотного сомономера в модельных сополимерах, по сравнению с его количеством в РС, определяли методом крашения [4].

В ходе проведения работы на основе синтезированных сополимеров были приготовлены прядильные растворы, которые гомогенизировали, фильтровали и обезвоздушивали. Формование модельных образцов ПАН волокон из прядильных растворов осуществляли «мокрым» методом с использованием лабораторной стендовой установки [5].

Схема и порядок работы на лабораторной стендовой установке для получения волокон «мокрым» способом изложены [5–9]. При формировании модельных образцов ПАН гель-волокон варьировали содержание диметилформамида (ДМФ) в осадительной ванне (дистиллированная вода и 55 % (масс.) водный раствор ДМФ). При этом температура осадительной ванны составляла 15 °С; количество отверстий в фильтре — 120 шт.; ванна плаستيфикационного вытягивания представляла собой воду с температурой 95.5 °С;

кратность пластификационного вытягивания была равна 5.

Свежесформованные при различных режимах модельные гель-волокна промывали на перфорированной бобине периодическим способом при комнатной температуре и гидромодуле ванны не менее 100. Количество промывок составляло не менее 5. Каждая промывка длилась не менее 1 ч. Промывку вели до остаточного содержания растворителя в волокне не более 0.1 % (масс.). Остаточное содержание растворителя в гель-волокне оценивали путем экстракции из него ДМФ в кипящей воде [4] и последующим его определением по методу Кьельдаля [10].

Для изучения структурно-морфологических особенностей волокон после сушки до постоянной массы при температуре 20–25 °С жгутик волокна складывали вдвое (не перекручивая), погружали в массу малоусадочного клея для увеличения компактности филаментов в жгутике и оставляли его на полиэтиленовой подложке до полного высыхания (не менее 40–50 минут). Далее на стекло наносили слой термокля, на который укладывали проклеенный образец волокна, а затем сверху наносили второй слой термокля и оставляли образец до полного отверждения (примерно на 10 минут). С помощью микротомы перпендикулярно направлению филаментов делали срез волокна. Полученный срез изучали в поляризованном свете с использованием микроскопа Nikon Eclipse E200.

Исследование продольного вида гель-волокон, отобранных на выходе из осадительной ванны, проводили в дистиллированной воде с использованием того же микроскопа.

Результаты

Зависимость фактического значения содержания кислотного сомономера в

модельных сополимерах, в сравнении с его количеством в РС, представлена на рисунке 1.

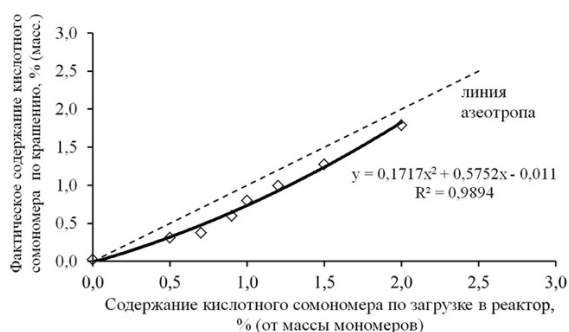
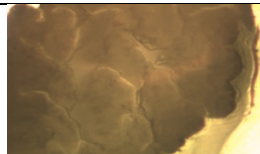
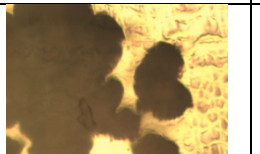
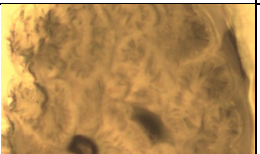


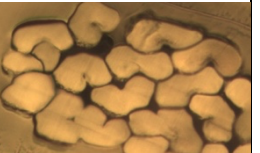
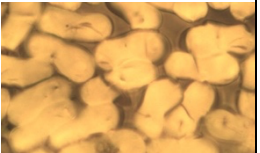
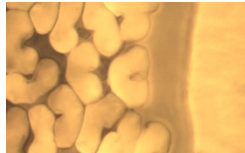

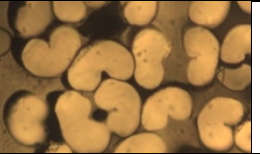
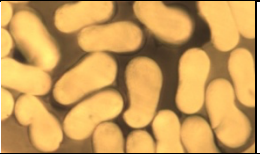


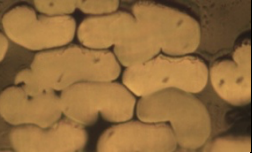
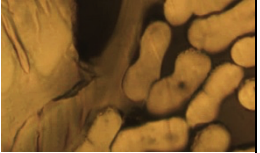

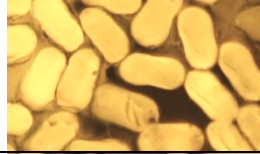

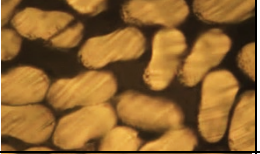
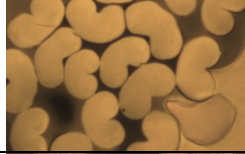

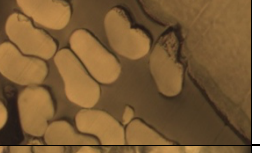


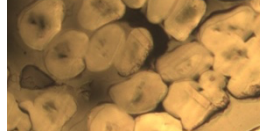
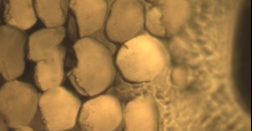

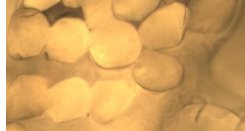


Рисунок 1 — Зависимость фактического содержания кислотного сомономера в модельных образцах поли[АН-со-МА-со-ИтК] от его содержания в исходной реакционной смеси

Можно отметить, что доля вступившей в реакцию сополимеризации ИтК при синтезе в ДМФ меньше ее доли в исходной реакционной смеси. Это можно объяснить более низкой относительной реакционной способностью ИтК по сравнению с другими мономерами (АН и МА).

В таблице 1 приведены фотографии поперечных срезов модельных образцов волокон, сформированных в воде, а также в осадительной ванне, представляющей собой 55 % водный раствор ДМФ. На микрофотографиях можно отметить различия в структуре срезов, выполненных без использования и с использованием иммерсионной жидкости (глицерина). Эти различия вызваны тем, что поры, размер которых сопоставим с длиной волны падающего света, заполняются иммерсионной жидкостью и в значительно меньшей степени рассеивают видимое электромагнитное излучение. Из данных, представленных в таблице 1, можно также проследить, как в зависимости от условий получения волокон профили их срезов изменяются от округлого до гантелеобразного или бобо-видного.

Таблица 1 — Поперечные срезы волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК], сформованных в воду и 55 % водный раствор ДМФ при температуре 15 °С

С _{ИтК} , %* (С _{ИтК} , %)**	Результаты микроскопирования			
	без иммерсионной жидкости		в глицерине	
	состав осадительной ванны			
	вода	55 % раствор ДМФ	вода	55 % раствор ДМФ
1	2	3	4	5
0 (0)				
0,31 (0.5)				
0.37 (0.7)				
0.60 (0.9)				
0.79 (1.0)				
1.0 (1.2)				
1.79 (2.0)				

* С_{ИтК}, % — содержание ИтК в поли[АН-со-МА-со-ИтК], % (масс.);

** С_{ИтК}, % — содержание ИтК в реакционной смеси, % (от массы мономеров).

Исследование морфологии волокон на основе сополимера АН и МА, не содержащих в первичной структуре ИтК и сформованных в водную осадительную ванну, не содержащую растворителя, показало,

что в этом случае формируются волокна с «неправильной» геометрией поперечного сечения (амебообразная структура) и с развитой внутренней и внешней поверхностью. При этом вся внутренняя структура

волокна представляет собой систему мелких и крупных пор. При микроскопировании с использованием иммерсионной жидкости мелкие поры визуально маскируются, в то время как становится отчетливо видным распределение крупных пор. Крупные поры волокон, сформованных в воду из поли[АН-со-МА], распределяются по «секторам» наподобие распределения «зерен» в структуре граната.

При формировании в осадительную ванну, представляющую собой 55 % водный раствор ДМФ, волокна на основе поли[АН-со-МА] приобретают искаженный бобовидный поперечный срез. Поверхность таких волокон имеет значительные шероховатости и неровности, по-видимому, переходящие во внутренние крупные поры, которые распределены, главным образом, у поверхности филаментов.

Исследование поперечных срезов волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК], содержащих в первичной структуре 0.31 % (масс.) ИтК и сформованных в воду при температуре 15 °С, показало меньшую активность формирования внутренних пустот в волокнах на основе данного сополимера. Это также отмечается на продольных видах гель-волокон, отобранных на выходе из осадительной ванны (таблица 2).


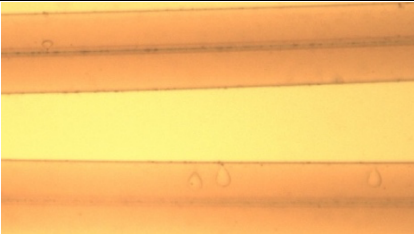




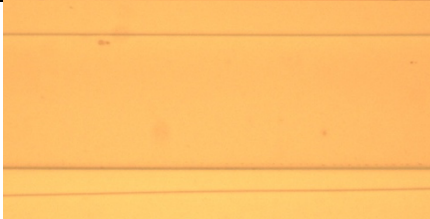

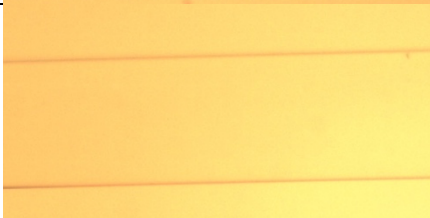

При содержании ИтК в сополимере 0.37 % (масс.) внутренние пустоты практически отсутствуют и на продольных видах (таблица 2), и на поперечных срезах (таблица 1). При этом, при использовании 55 % водного раствора ДМФ в качестве

осадительной ванны, формирования внутренних пустот в волокнах, сформованных на основе сополимеров, синтезированных в присутствии 0.5 и 0.7 % (от массы мономеров) ИтК в РС, практически не отмечается.

Что касается профиля поперечного среза волокон, то, как правило, для волокон, формуемых в промышленных условиях на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] по диметилформамидному способу, характерна бобовидная форма поперечного среза. Данный эксперимент показал, что при использовании в качестве волокнообразующего сополимера поли[АН-со-МА-со-ИтК] с использованием в качестве осадителя воды формируются волокна овальной вытянутой формы с перетяжкой в центральной части. Как правило, такую форму называют гантелевидной, или «собачья кость». С повышением содержания ИтК в мономерной смеси форма поперечного среза постепенно скругляется.

При использовании 55 % водного раствора ДМФ в качестве осадительной ванны при формировании волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] образуются волокна с классической бобовидной формой поперечного среза. С повышением содержания ИтК в сополимере от 0.31 до 1.0 % (масс.) «боб» постепенно «разворачивается». При этом переход от бобовидной к максимально округлой форме поперечного среза наблюдается при повышении содержания ИтК в сополимере от 0.31 до 1.79 % (масс.).

Таблица 2 — Продольные виды гель-волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК], сформованных при температуре 15 °С и отобранных на выходе из осадительной ванны (до стадии пластификационного вытягивания)

С _{ИтК} , %* (** С _{ИтК} , %)	Состав осадительной ванны	
	вода	55 % водный раствор ДМФ
0.31 (0.5)		
0.37 (0.7)		
0.60 (0.9)		
0.79 (1.0)		
1.0 (1.2)		

* С_{ИтК}, % – содержание ИтК в поли[АН-со-МА-со-ИтК], % (масс.);

** С_{ИтК}, % – содержание ИтК в реакционной смеси, % (от массы мономеров).

При содержании в первичной структуре поли[АН-со-МА-со-ИтК] звеньев ИтК в количестве 1.79 % (масс.) формируется достаточно пластичная структура гель-волокон, в результате чего их срез имеет многогранную форму «зерен» граната, формирующуюся, вероятно, под

влиянием межфиламентного сдавливания. Внутренняя структура таких волокон достаточно плотная и, по-видимому, не содержит микронеоднородностей, которые могли бы маскироваться иммерсионной жидкостью. Тем не менее, сухие волокна на основе данного сополимера,

сформованные в воду, имеют 1–2 отчетливо видимые микропустоты, которые формируются вблизи центра волокна.

Характерным следствием замены воды как осадительной ванны на 55 % водный раствор ДМФ является полное отсутствие в волокнах на основе поли[АН–со–МА–со–ИтК] крупных пор и других пустот. Наличие видимой в оптический микроскоп «оболочки» можно отметить, главным образом, на поперечных срезах волокон, полученных из поли[АН–со–МА–со–ИтК] с минимальным содержанием ИтК.

Сопоставление микрофотографий, представленных в таблице 1, полученных без использования иммерсионной жидкости, и микрофотографий, выполненных с использованием иммерсионной жидкости (глицерина), показывает их высокую идентичность. Это позволяет констатировать, что полимерная структура волокон на основе поли[АН–со–МА–со–ИтК], формуемых по диметилформамидному методу, достаточно однородная и плотная, за исключением волокон, имеющих оптически видимую «оболочку».

Обсуждение полученных результатов

В целом эксперименты показали, что в отсутствие ионогенного сомомера в сополимере АН образуются волокна, характеризующиеся достаточно грубой и высокопористой структурой, что недопустимо при производстве волокон как текстильного, так и специального назначения.

При содержании в сополимере 1.28–1.79 % (масс.) ИтК в ходе нитеобразования наблюдалось большое количество склеек филаментов, что однозначно является браком и делает волокна непригодными для дальнейшей переработки.

В случае варьирования содержания ИтК в сополимерах в пределах от 0.31 до 1.0 % (масс.) при формировании волокон с использованием в качестве осадительных

ванн воды и 55 % водного раствора ДМФ с температурой 15°C формируются филаменты со структурой, обеспечивающей их пригодность для дальнейшей переработки.

При этом при формировании волокон на основе поли[АН–со–МА–со–ИтК], содержащего звенья ИтК в количестве 0.31 % (масс.), с использованием в качестве осадительной ванны воды, образуются филаменты, имеющие значительное количество крупных пор, дислоцирующихся ближе к геометрическому центру волокон. При содержании в терсополимере ИтК в количестве 0.37 % (масс.) в волокнах формируется небольшое количество единичных пор. При большем содержании ИтК (до 1.0 % (масс.)) поры в волокне практически отсутствуют.

При формировании волокон в 55 % водный раствор ДМФ и содержании ИтК в сополимере от 0.31 до 1.0 % (масс.) образования пор, видимых в оптический микроскоп, не установлено.

Дополнительный анализ структуры ПАН волокон на основе исследования их продольных видов также указывает на то, что при формировании в воде у волокон, содержащих незначительное количество ИтК, высока вероятность формирования различных по размеру неоднородностей, которые после пластификационного вытягивания видны как продольные поверхностные борозды. Сопоставление этих данных с результатами изучения поперечных срезов может говорить о том, что продольные борозды, по-видимому, сообщаются с внутренними пустотами.

Заключение

В результате выполнения работы получена экспериментальная информация, отсутствующая в открытых источниках и необходимая при прогнозировании структуры полиакрилонитрильных волокнистых материалов, формуемых по

диметилформамидному методу на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК].

Микроскопирование образцов модельных волокон позволило установить фактическое влияние композиционного состава поли[АН-со-МА-со-ИтК], а также состава осадительной ванны, на морфологическую структуру и профиль поперечного сечения полученных волокнистых материалов. Наиболее однородная структура характерна для волокон, полученных на основе сополимеров АН, МА и ИтК, синтезированных при содержании ИтК от 0.7 до 1.2 % (от массы мономеров). Использование в качестве осадительной ванны 55 % водного раствора ДМФ также повышает структурную однородность волокнистых материалов, по сравнению с образцами, сформованными в воду. При этом изменяется профиль поперечного сечения от гантелеобразного к бобовидному. Волокна с круглым срезом могут быть получены как в жестких, так и в мягких осадительных ваннах, однако внутренняя структура таких волокон принципиально различна.

На основе результатов данной работы можно сделать предварительные выводы о том, что оптимальное содержание ИтК при синтезе волокнообразующих сополимеров АН, МА и ИтК с позиции однородности структуры волокон на их основе должно находиться в диапазоне между 0.7 и 1.2 % (от массы мономеров в реакционной смеси).

В целом, в ходе выполнения работы, апробированы отдельные режимы процесса получения ПАН волокон на основе волокнообразующего терсополимера поли[АН-со-МА-со-ИтК]. При этом переход от использования АМПС к использованию ИтК в качестве кислотного сомономера может сулить ряд преимуществ, связанных с увеличением однородности структуры волокна. Это позволяет

ожидать улучшения структурно-механических свойств ПАН волокнистых материалов, а также рассматривать возможность использования нового ассортимента ПАН волокон в качестве прекурсора углеродных волокнистых материалов при соответствующей корректировке ряда параметров технологического процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1]. Геллер Б. Э., Щербина Л. А. Кинетические и термодинамические аспекты модификации композиционного состава волокнообразующих сополимеров на основе акрилонитрила. *Химические волокна*, 2002, № 4, с. 18–24.

DOI: 10.1023/A:1021088830345

[2]. Городнякова И. С., Чвириков П. В., Щербина Л. А. Влияние природы кислотных сомономеров на свойства прядильных растворов и волокон на основе терсополимеров акрилонитрила. *Материалы Международной научно-технической конференции «Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов»*. Минск, БГТУ, 2015, с. 465–468.

[3]. Щербина Л. А. Синтез и свойства сополимеров на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты. *Химические волокна*, 2020, № 6, с. 24–29.

[4]. Чеголя А. С., Кваша Н. М. Аналитический контроль производства синтетических волокон. Москва, Химия, 1982.

[5]. Городнякова И. С., Чвириков П. В., Щербина Л. А. Об опыте эксплуатации и модернизации стандовой прядильной установки МУЛ-1. *Материалы Международной научно-технической конференции*

семинара «Волокна и пленки 2011». Могилев, МГУП, 2011, с. 173–175.

[6]. Городнякова И. С., Щербина Л. А. Морфология волокон, получаемых из растворов промышленных волокнообразующих сополимеров акрилонитрила в апротонных и гидротропных растворителях. *Полимерные материалы и технологии*, 2019, Т. 5, № 2, с. 53–66.

DOI: 10.32864/polymmattech-2019-5-2-53-66

[7]. Городнякова И. С., Щербина Л. А., Будкуте И. А. Влияние состава осадительной ванны на структуру и свойства волокна, получаемого мокрым методом из растворов поли[акрилонитрил-со-метилакрилат-со-2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты] в апротонных и гидротропном растворителях. *Полимерные материалы и технологии*, 2020, Т. 6, № 4, с. 42–57.

DOI: 10.32864/polymmattech-2020-6-4-42-57

[8]. Городнякова И. С., Щербина Л. А., Устинов К. Ю. О некоторых аспектах регулирования показателя «усадка» волокна на основе терсополимера акрилонитрила, метилакрилата и 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты. *Полимерные материалы и технологии*, 2017, Т. 3, № 4, с. 37–43.

[9]. Чвиров П. В., Городнякова И. С., Щербина Л. А. Исследование процесса получения полиакрилонитрильного волокна с повышенной прочностью. *Дизайн. Материалы. Технология* [Design. Materials. Technology], 2012, № 5 (25), с. 59–63.

[10]. Щербина Л. А. Ильичева Н. И., Геллер Б. Э. и др. Метод Кьельдаля [Kjeldahl method]. Минск, БГТУ, МГУП, 2007.

Городнякова Ирина Сергеевна — старший преподаватель, кафедра химической технологии высокомолекулярных соединений, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (Республика Беларусь, 212027, г. Могилёв, проспект Шмидта, 3).

Пчелова Наталья Владимировна — старший преподаватель, кафедра химической технологии высокомолекулярных соединений, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (Республика Беларусь, 212027, г. Могилёв, проспект Шмидта, 3).

Будкуте Ирина Александровна — канд. техн. наук, доцент, кафедра химической технологии высокомолекулярных соединений, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (Республика Беларусь, 212027, г. Могилёв, проспект Шмидта, 3).

Щербина Леонид Александрович — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой химической технологии высокомолекулярных соединений, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий (Республика Беларусь, 212027, г. Могилёв, проспект Шмидта, 3).

Бритов Андрей Михайлович — заместитель начальника прядельно-отделочного цеха производства синтетического волокна, завод «Полимир» ОАО «Нафтан» (Республика Беларусь, 211441, Витебская область, г. Новополоцк).

Influence of the acidic comonomer in the structure of poly[acrylonitrile–co–methacrylate–co–itaconic acid] on the morphological properties of polyacrylonitrile fibers

I. S. Haradnyakova^{*}, N. V. Pchalova^{*,1}, I. A. Budkute^{*}, L. A. Shcherbina^{*},
A. M. Britov^{**}

^{*} Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Belarus

^{**} Plant «Polymir» OJSC «Naftan», Novopolotsk, Belarus

Abstract

This study investigates the influence of polyacrylonitrile-based copolymer composition on the morphological structure and cross-sectional view of fibers produced by the dimethylformamide method. Model copolymer samples of acrylonitrile, methyl acrylate, and itaconic acid were synthesized by homophase free-radical synthesis with varying the content of the acidic co-monomer in the initial reaction mixture from 0 to 2 % (of the weight of monomers). A spinning dope in dimethylformamide was prepared on the basis of the obtained copolymers and model fibers were spun using precipitation baths containing 0 and 55 % (wt.) of the solvent at 15 °C with the use of spinnerets with circular hole channels. The influence of the content of the acidic co-monomer in the initial reaction mixture and spinning conditions on morphological structure and cross-sectional view of fibers has been noted.

Keywords

Acrylonitrile, methyl acrylate, itaconic acid, copolymer, dimethylformamide, spinning, fiber

REFERENCES

[1]. Geller B.Je., Shcherbina L.A. Kineticheskie i termodinamicheskie aspekty modifikacii kompozicionnogo sostava voloknoobrazujushchih sopolimerov na osnove akrilonitrila [Kinetic and thermodynamic aspects of modifying the composition of fiber-forming copolymers based on acrylonitrile]. *Khimicheskie volokna* [Fiber chemistry], 2002, no. 4, s. 18–24. (In Russ.)
DOI: 10.1023/A:1021088830345

[2]. Gorodnjakova I.S., Chvirov P.V., Shcherbina L.A. Vlijanie prirody kislotnykh somonomerov na svoystva prjadil'nykh rastvorov i volokon na osnove tersopolimerov akrilonitrila [Influence of the Nature of Acid Comonomers on the Properties of Spinning Solutions and Fibers Based on Acrylonitrile Tercopolymers]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Novejshie dostizhenija v oblasti innovacionnogo*

¹ Corresponding author:
Email: htvms@tut.by

razvitija v himicheskoj promyshlennosti i proizvodstve stroitel'nyh materialov» [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «The latest achievements in the field of innovative development in the chemical industry and the production of building materials»]. Minsk, BGTU, 2015, pp. 465-468. (In Russ.)

[3]. Shherbina L. A. Synthesis and properties of copolymers based on acrylonitrile and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid. *Fiber chemistry*, 2021, no. 52, pp. 405-410. DOI: 10.1007/s10692-021-10221-1

[4]. Chegolja A. S., Kvasha N. M. Analiticheskij kontrol' proizvodstva sinteticheskikh volokon [Analytical control of the production of synthetic fibers]. Moskva, Himija, 1982. (In Russ.)

[5]. Gorodnjakova I. S., Chvirov P. V., Shherbina L. A. Ob opyte jekspluatacii i modernizacii stendovoj prjadil'noj ustanovki MUL-1 [On the experience of operation and modernization of the bench spinning unit MUL-1]. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii-seminara «Volokna i plenki 2011» [Materials of the International scientific and technical conference-seminar «Fibers and films 2011»]. Moglev, 2011, pp. 173-175. (In Russ.)

[6]. Gorodnjakova I. S., Shherbina L. A. Morfologija volokon, poluchaemyh iz rastvorov promyshlennyh voloknoobrazujushhih sopolimerov akrilonitrila v aprotonnyh i gidrotropnyh rastvoriteljah [Morphology of fibers obtained from solutions of industrial fiber-forming acrylonitrile copolymers in aprotic and hydrotropic solvents]. *Polimernye materialy i tehnologii* [Polymer materials and technologies], 2019, vol. 5, no. 2, pp. 53-66. (In Russ.)

DOI: 10.32864/polymmattech-2019-5-2-53-66

[7]. Gorodnjakova I. S., Shherbina L. A., Budkute I. A. Vlijanie sostava osaditel'noj vannы na strukturu i svojstva volokna, poluchaemogo mokrym metodom iz rastvorov poli[akrilonitril-so-metilakrilat-so-2-akrilamid-2-metilpropansul'fokisloty] v aprotonnyh i gidrotropnom rastvoriteljah [Influence of the composition of the precipitation bath on the structure and properties of the fiber obtained by the wet method from solutions of poly[acrylonitrile-co-methylacrylate-co-2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid] in aprotic and hydrotropic solvents]. *Polimernye materialy i tehnologii* [Polymer materials and technologies], 2020, vol. 6, no. 4, pp. 42-57. (In Russ.)

DOI: 10.32864/polymmattech-2020-6-4-42-57

[8]. Gorodnjakova I. S., Shherbina L. A., Ustinov K. Ju. O nekotoryh aspektah regulirovaniya pokazatelja «usadka» volokna na osnove tersopolimera akrilonitrila, metilakrilata i 2-akrilamid-2-metilpropansul'fokisloty [On some aspects of regulation of the «shrinkage» index of a fiber based on acrylonitrile tercopolymer, methyl acrylate and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid]. *Polimernye materialy i tehnologii* [Polymer materials and technologies], 2017, vol. 3, no. 4, pp. 37-43. (In Russ.)

[9]. Chvirov P. V., Gorodnjakova I. S., Shherbina L. A. Issledovanie processa polucheniya poliakrilonitril'nogo volokna s povyshennoj prochnost'ju [Study of the process of obtaining polyacrylonitrile fiber with increased strength]. *Dizajn. Materialy. Tehnologija*, 2012, no. 5(25), pp. 59-63.

[10]. Shherbina L. A., Il'icheva N. I., Geller B. Je. et al. Metod K'el'dalja. Minsk, BGTU, MGUP, 2007. (In Russ.)

Haradnyakova I. S. — Senior Lecturer, Department of Chemical Technology of High-molecular Compounds, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (Schmidt Ave., 3, Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

Pchalova N. V. — Senior Lecturer, Department of Chemical Technology of High-molecular Compounds, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (Schmidt Ave., 3, Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

Budkute I. A. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Chemical Technology of High-molecular Compounds, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (Schmidt Ave., 3, Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

Shcherbina L. A. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Head of the Department of Chemical Technology of High-molecular Compounds, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (Schmidt Ave., 3, Mogilev, 212027, Republic of Belarus).

Britov A. M. — Deputy Head of the Spinning and Finishing Shop (Production of Synthetic Fiber), Plant «Polymir» OJSC «Naftan» (Novopolotsk, Vitebsk region, 211445, Republic of Belarus).

Простьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Влияние кислотного сомономера в структуре поли[акрилонитрил-со-метилакрилат-со-итаконовая кислота] на морфологические особенности полиакрилонитрильных волокон / И. С. Городнякова, Н. В. Пчелова, И. А. Будкуте, Л. А. Щербина, А. М. Бритов // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2 № 5(7). С. 32 – 43.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-5(7)-32-43

Please cite this article as:

Haradnyakova I. S., Pchalova N. V., Budkute I. A., Shcherbina L. A., Britov A. M. Influence of the acidic comonomer in the structure of poly[acrylonitrile-co-methylacrylate-co-itaconic acid] on the morphological properties of polyacrylonitrile fibers. Industrial processes and Technologies, 2022, vol. 2, no. 5(7), pp. 32 – 43.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-5(7)-32-43