

УДК 677.4:677.04

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-4(6)-40-49

Влияние параметров окисления ПАН-ТЖ, модифицированного органосиланами, на состав и свойства полученного окси-ПАН

Н. Г. Зубова^{*,1}, В. М. Герасимова^{*}, Т. П. Устинова^{**}

** Балаковский инженерно-технологический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»,
Балаково, Саратовская обл., Россия*

*** Энгельсский технологический институт — филиал Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.,
Энгельс, Саратовская обл., Россия*

Аннотация

В работе исследовано влияние модификации полиакрилонитрильного технического жгутика (ПАН-ТЖ) органосиланами на структуру и свойства волокнистого материала в условиях процесса окисления. Показано различное поведение ашпретирующих составов при термогравиметрическом анализе, по результатам которого для обработки исходного прекурсора выбран органосиловый модификатор 3-аминопропилтриэтоксисилан (АГМ-9). Проведен выбор параметров процессов модификации и окисления исходного волокнистого материала, в результате которого установлено, что ашпретирование ПАН-ТЖ 5%-ным раствором АГМ-9 в течение 60 с и термостабилизация модифицированного жгутика при температуре 210°C в течение 1 ч обеспечивают интенсификацию структурных изменений в волокнистом материале при сохранении его устойчивости к разрывным нагрузкам, следствием чего является улучшение прочности разработанного эпоксидного композита на его основе, что позволяет рекомендовать данный наполнитель в качестве перспективной армирующей системы в технологии полимерных композиционных материалов.

Ключевые слова

Полиакрилонитрильный технический жгут, модификатор АГМ-9, окисление, модифицированный и окисленный волокнистый материал, структурные особенности, механические характеристики, эпоксидный композит.

Введение.

К числу перспективных армирующих систем, используемых в технологии переработки композитов на основе реактопластов при получении технических изделий,

являются окисленные полиакрилонитрильные волокна (окси-ПАН), которые характеризуются поверхностной активностью, прочностью, термо- и хемостойкостью. Окси-ПАН получают путем

¹ Для переписки:

Email: zubova_aptech@mail.ru

окисления исходных полиакрилонитрильных волокон при температуре 200–300°C, соблюдая постоянный термоконтроль за технологическим процессом. Процесс окисления (термостабилизации) полиакрилонитрильного прекурсора, сопровождаемый реакциями циклизации и межмолекулярного сшивания, приводит к изменению свойств и структуры волокон с образованием циклизированных и ненасыщенных углеводородных фрагментов, а также некоторого количества поперечных сшивок с включением атомов кислорода или азота [1-4].

В предыдущих работах [5, 6] показана эффективность влияния органоциановых модификаторов: 3-аминопропилтриэтоксисилана, 3-глицидоксипропилтриметоксисилана, 3-метакрилоксипропилтриметоксисилана, на увеличение устойчивости к разрывным нагрузкам и удлинению модифицированного полиакрилонитрильного жгутика, на улучшение смачиваемости полученных нитей, кинетических характеристик процесса формирования пространственно-сшитой структуры эпоксидного связующего в присутствии модифицированных волокнистых материалов, деформационно-прочностных показателей и физико-химических свойств композитов на их основе.

В связи этим, целью настоящей работы является изучение влияния модификации полиакрилонитрильного технического жгутика органоциановыми аппретами на состав и свойства волокнистого материала, получаемого в процессе окисления. Задачами исследования являются: анализ армирующих характеристик модифицированных органоциановыми аппретами и прошедших термостабилизацию полиакрилонитрильных жгутиков в зависимости от режимов аппретирования исходных прекурсоров и параметров процесса

окисления, оценка химического состава получаемых волокнистых материалов.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения

В качестве исходных материалов использовали:

- полиакрилонитрильный технический жгут (ПАН-ТЖ) с номинальной линейной плотностью жгутика 360 текс, с номинальной линейной плотностью элементарной нити 0.12 текс (ТУ 6-06-С253-87, ООО «СНВ»);
- 3-аминопропилтриэтоксисилан (АГМ-9) (ТУ 6-02-724-77, ООО «Пента силиконы»);
- 3-глицидоксипропилтриметоксисилан (А-187) (ТУ 6-02-1077-85, ООО «Русские силиконы»);
- 3-метакрилоксипропилтриметоксисилан (А-174) (CAS 2530-85-0, ISO 9001, Qingdao Hengda Zhongcheng Technology Co., Ltd);
- эпоксидную смолу марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84, ФКП «Завод имени Я.М. Свердлова»);
- отвердитель — полиэтиленполиамин (ПЭПА) (ТУ 2413-066-18777143-15, ЗАО «Завод органических продуктов»).

Аппретирование волокнистых материалов проводили путем их обработки водными растворами исследуемых модификаторов, концентрация которых составляла 2, 5 и 10 мас%, продолжительность аппретирования — 30, 60 и 90 с. С целью дополнительной фиксации аппретов на волокне жгутики подвергали двухступенчатой сушке: температура первой ступени сушки составляла 50°C, продолжительность сушки — 60 ± 2 мин; температура второй ступени сушки — 100°C, продолжительность сушки — 15 ± 2 мин.

Окисление полиакрилонитрильного жгутика осуществлялось в сушильном шкафу SNOL 58/350 (AB UMEGA-GROUP) при скорости нагрева 10°C/мин

от комнатной температуры до температуры исследования.

Разрывная нагрузка и разрывное удлинение исследуемых нитей определяли на разрывной машине ФМ 27 («Computext») при скорости нагружения в процессе испытаний при растяжении элементарных волокон 25 ± 2.5 мм/мин.

Термогравиметрический анализ, используемый для определения термической устойчивости исследуемых нитей, проводился на дериватографе Q-1500 D системы F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey («МОМ») при скорости нагрева $10^\circ\text{C}/\text{мин}$.

Для изучения структурных особенностей окисленных волокнистых материалов методом ИК-спектроскопии использовали Фурье-спектрофотометр инфракрасный IRTracer-100 (Shimadzu) с рабочим диапазоном длин волн $4000\text{--}400$ см⁻¹.

Образцы композиционных материалов на основе эпоксидного связующего (при массовом соотношении эпоксидной смолы ЭД-20 и отвердителя ПЭПА 10 : 1) и окисленных волокнистых материалов (при массовом соотношении эпоксидного связующего и наполнителя 1 : 1), вводимых в эпоксидное связующее в виде однонаправленных непрерывных жгутов, получали методом компрессионного прессования при температуре $110 \pm 5^\circ\text{C}$ и давлении 5 ± 0.5 МПа.

Испытание армированных пластиков на растяжение, сжатие и изгиб проводили на разрывной машине ИР 5046-5 (ТОВ ВТП «АСМА-ПРИЛАД») (ГОСТ 11262-80, ГОСТ 4651-2014, ГОСТ 4648-2014); испытание композитов на твердость по Бригеллю осуществляли на твердомере ТМ-2М (ООО «Завод испытательных приборов») (ГОСТ 4670-2015).

Результаты

С целью установления оптимального режима термостабилизации полиакрилонитрильного прекурсора в лабораторных условиях предварительно проведен выбор параметров процесса окисления исходного жгутика.

Процесс окисления жгутика проводили под натяжением в среде воздуха при температуре 210 и 230°C и продолжительности температурной обработки 1, 2, 3, 4, 5 ч. Эффективность процесса окисления оценивали по изменению массы и механических свойств образцов окисленного ПАН-ТЖ (таблица 1).

Для изучения влияния параметров процесса окисления на используемые для модификации исходного ПАН-ТЖ армирующие вещества проведена предварительная оценка поведения органосилонов АГМ-9, А-187 и А-174 в условиях термостабилизации методом ТГА (таблица 2).

Таблица 1 — Зависимость изменения массы и механических свойств ПАН-ТЖ от продолжительности и температуры окисления

Продолжительность окисления, ч	Изменение массы нити, %	Относительная разрывная нагрузка, сН/текс	Относительное разрывное удлинение, %
-	-	43	16
Температура окисления, 210°C			
1	0.9	35	29
2	1.2	29	27
3	0.6	29	30
4	1.0	26	30
5	1.9	25	27
Температура окисления, 230°C			
1	0.8	34	26
2	1.3	30	31
3	0.9	28	28
4	0.6	24	26
5	2.0	25	25

Таблица 2 — Данные ТГА органосиланов и ПАН-жгутика

Название вещества	Температурный интервал пиролиза, °С	ΔH , Дж/г	Потери массы, % при температуре, °С					КО, мас% при 600°С
			100	200	300	400	500	
АГМ-9	110–166 243–299	90.4 562.0	18	58	65	69	72	26
А-187	205–252 327–392	84.2 789.6	1	59	80	89	90	9
А-174	156–204	-273	1	97	98	99	99	1
ПАН-ТЖ	245–279 620–681	871 8608	0	0	10	17	27	58

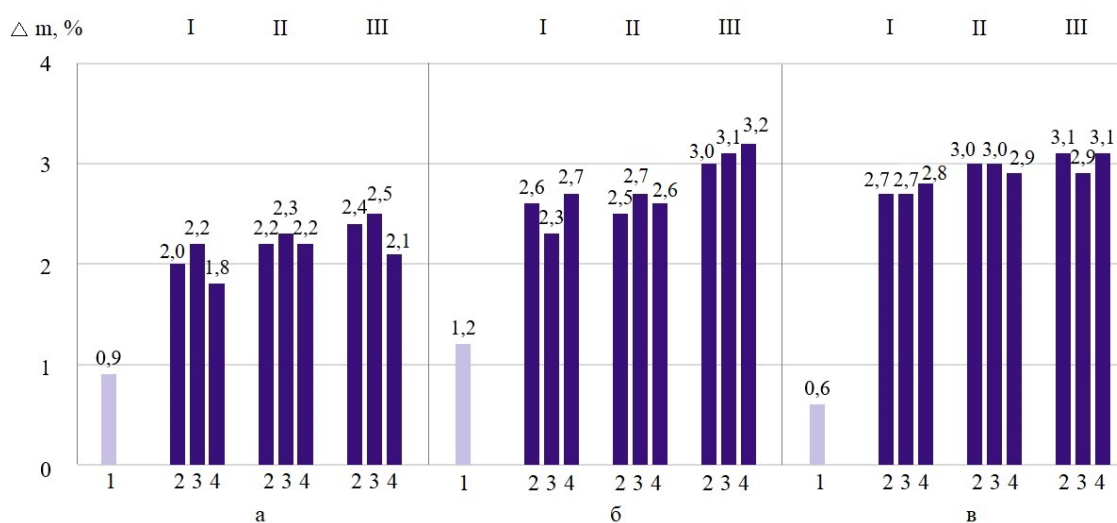


Рисунок 1 — Зависимость изменения массы модифицированных АГМ-9 образцов ПАН-ТЖ (Δm) в процессе окисления при температуре 210°С:

- а — время окисления 1 ч; б — время окисления 2 ч; в — время окисления 3 ч;
1 — исходный ПАН-ТЖ; 2 — время аппретирования ПАН-ТЖ 30 с;
3 — время аппретирования ПАН-ТЖ 60 с; 4 — время аппретирования ПАН-ТЖ 90 с;
I — концентрация 2%; II — концентрация 5%; III — концентрация 10%

Для выбора оптимального режима модификации ПАН-прекурсора исследовали влияние содержания аппрета в модифицирующей ванне и продолжительности его обработки на снижение массы образцов волокнистого материала при температуре окисления 210°С (рисунок 1) и 230°С (рисунок 2). При этом окисление модифицированных полиакрилонитрильных жгутиков проводили в лабораторной термопечи,

время температурной обработки составляло 1, 2, 3 ч.

Результаты механических испытаний образцов модифицированного и окисленного ПАН-ТЖ в зависимости от температуры обработки приведены на рисунке 3.

Изучение химического состава окисленного после модификации АГМ-9 полиакрилонитрильного жгутика проводили с использованием метода ИК-спектроскопии (рисунок 4).



Рисунок 2 — Зависимость изменения массы модифицированных АГМ-9 образцов ПАН-ТЖ (Δm) в процессе окисления при температуре 230°C:

а — время окисления 1 ч; б — время окисления 2 ч; в — время окисления 3 ч;
 1 — исходный ПАН-ТЖ; 2 — время аппретирования ПАН-ТЖ 30 с;
 3 — время аппретирования ПАН-ТЖ 60 с; 4 — время аппретирования ПАН-ТЖ 90 с;
 I — концентрация 2%; II — концентрация 5%; III — концентрация 10%

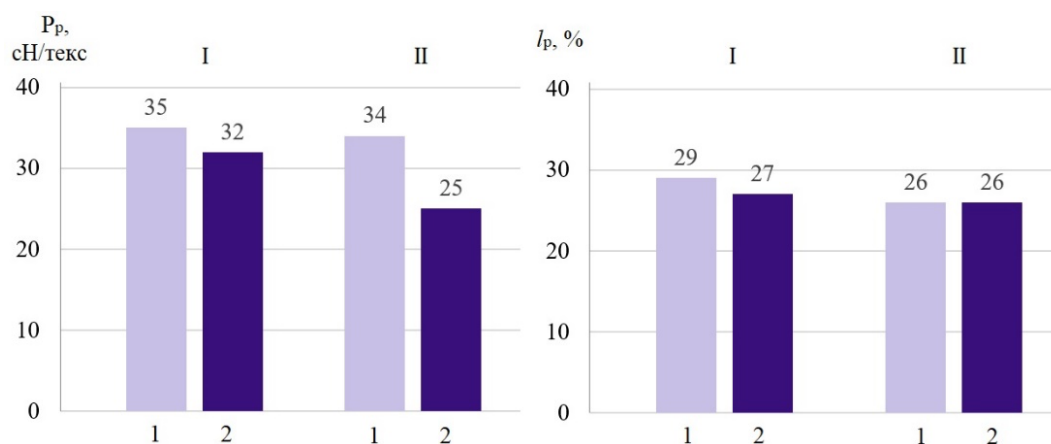


Рисунок 3 — Относительная разрывная нагрузка (P_r) и относительное разрывное удлинение (I_p) окисленных волокнистых материалов:

1 — ПАН-ТЖ; 2 — ПАН-ТЖ, обработанный 5%-ным раствором АГМ-9 в течение 60 с;
 I — температура окисления 210°C; II — температура окисления 230°C

С целью обоснованного применения окисленных волокнистых материалов в качестве армирующих наполнителей при получении эпоксидных композитов методом

компрессионного прессования проведены механические испытания образцов полученных волокнистых пластиков (рисунок 5).

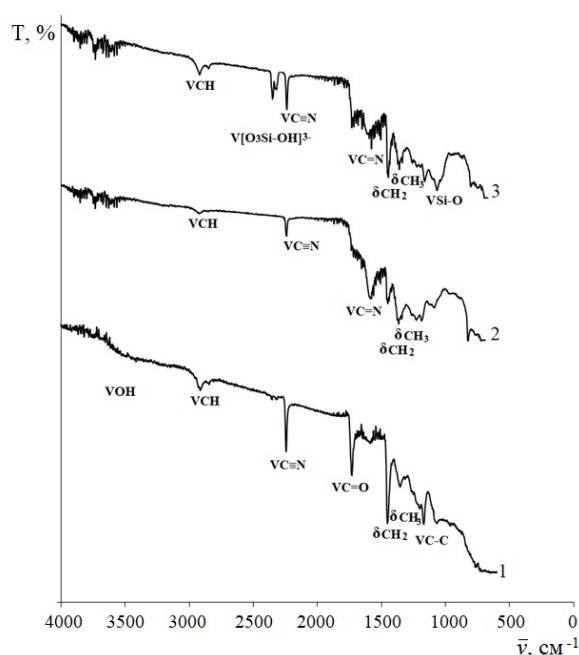


Рисунок 4 — ИК-спектры волокнистых материалов:

ν — волновое число, T — пропускание;
1 — ПАН-ТЖ; 2 — окси-ПАН;
3 — модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ

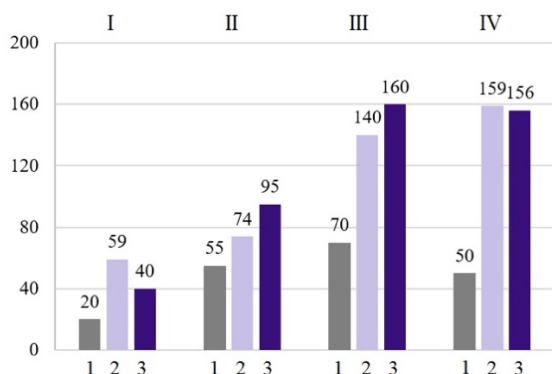


Рисунок 5 — Деформационно-прочностные свойства эпоксидных композитов:
1 — ЭД-20; 2 — ЭД-20+окси-ПАН;
3 — ЭД-20+модифицированный АГМ-9 и окисленный ПАН-ТЖ;

I — разрушающее напряжение при растяжении, МПа; II — разрушающее напряжение при сжатии, МПа;
III — изгибающее напряжение, МПа;
IV — твердость по Бринеллю, МПа

Обсуждение полученных результатов

При увеличении температуры окисления исходного прекурсора с 210 до 230°C и увеличении продолжительности окисления с 1 до 5 ч наблюдается незначительное изменение массы волокнистого материала; потери массы составляют не более 2% (таблица 1). Однако с увеличением температурного и временного режима процесса окисления происходит снижение механических свойств образцов окисленных волокнистых материалов по сравнению с образцами исходного ПАН-ТЖ. При времени окисления 1 ч наблюдается наименьшее снижение прочности жгутика (на 18–20%), которое сопровождается его полным однородным почернением. Увеличение продолжительности термообработки образцов волокнистого материала до 2–3 ч снижает прочность волокон на 35–37%, увеличение времени окисления до 4–5 ч — на 44–45%.

Экспериментальные данные проведенного термогравиметрического анализа исследуемых ашпретов и исходного технического жгутика (таблица 2) показывают, что модификатор А-174 разрушает до начала пиролиза ПАН-ТЖ практически полностью, А-187 также характеризуется значительной потерей массы при температурах, близких к 300°C. В то же время АГМ-9, несмотря на снижение температурного интервала пиролиза, напротив, сохраняет коксовый остаток при температуре 600°C. В связи с этим, органосилановый модификатор АГМ-9 был выбран для обработки технического ПАН-жгутика и исследования поведения ашпретированного волокнистого материала в процессе термостабилизации.

При исследовании поведения модифицированных нитей в процессе окисления (рисунки 1, 2) видно, что увеличение продолжительности термообработки волокнистых материалов с 1 до 3 ч практически не

влияет на изменение массы модифицированных полиакрилонитрильных жгутиков в процессе их окисления. В связи с этим, дальнейшее исследование проводили при продолжительности термоокисления 1 ч.

Сравнительный анализ результатов окисления ПАН-ТЖ при термообработке 210 и 230°C в течение 1 ч (рисунки 1, 2) показывает, что изменение массы волокон, аппретированных 5%-ным раствором АГМ-9 в течение 60 с, способствует интенсификации процесса его окисления. Следовательно, для дальнейших исследований выбраны концентрация модификатора в водном растворе 5%, время модификации 60 с.

Результаты механических испытаний аппретированных АГМ-9 и окисленных полиакрилонитрильных волокнистых материалов (рисунок 3) свидетельствуют, что при температуре термостабилизации 210°C относительная разрывная нагрузка образцов модифицированных окси-ПАН снижается на 9 % по сравнению с немодифицированным жгутиком, в то время как при температуре термостабилизации 230°C снижение значения этого показателя у модифицированных нитей составляет 26%. В связи с этим, для дальнейших исследований процесс окисления модифицированного АГМ-9 ПАН-ТЖ предлагается осуществлять при температуре 210°C в течение 1 ч.

Спектральная картина исследуемых волокнистых материалов (рисунок 4) свидетельствует о наличии структурных изменений ПАН-ТЖ, протекающих в процессе окисления. Так, на спектрах полученного в лабораторных условиях окси-ПАН (кривая 2) и модифицированного АГМ-9 и окисленного ПАН-ТЖ (кривая 3) при сравнении со спектром ПАН-ТЖ (кривая 1) в области 2240 см⁻¹ снижается интенсивность пиков, соответствующих валентным колебаниям группы C≡N, в

области 3550 см⁻¹ и 1735 см⁻¹ отсутствуют пики, характерные для валентных колебаний групп ОН и С=О, а в области 1590 см⁻¹ появляется пик, обусловленный присутствием группы -C=N- [7, 8]. Также следует отметить разный характер интенсивности полос (для групп C≡N и -C=N-), фиксируемых на спектрах окисленных волокнистых материалов: для окси-ПАН характерно наиболее интенсивное изменение этих полос по сравнению с модифицированным АГМ-9 и окисленным ПАН-ТЖ, что вероятно связано с аппретирующим эффектом органосилана, предварительно нанесенного на поверхность исходного жгутика. В спектре модифицированного АГМ-9 и окисленного ПАН-ТЖ идентифицируется также пик в области 2360 см⁻¹, соответствующий валентным колебаниям ОН-групп, входящих в состав поверхностных анионов [O₃Si-OH]³⁻, а в области 1053 см⁻¹ — пик, соответствующий группе Si-O [9, 10].

Армирование эпоксидного связующего ЭД-20 окси-ПАН и модифицированным АГМ-9 и окисленным ПАН-ТЖ обеспечивает увеличение деформационно-прочностных свойств композиционных материалов в 2–3 раза по сравнению с ненаполненной матрицей (рисунок 5).

Заключение

Таким образом, аппретирование полиакрилонитрильного технического жгутика 5%-ным раствором органосилового модификатора АГМ-9 в течение 60 с и окисление волокнистого материала при температуре 210°C в течение 1 ч, сопровождаемые характерным изменением химического состава модифицированного жгутика, обеспечивают сохранение устойчивости к разрывным нагрузкам волокнистого материала и улучшение прочности разработанного эпоксидного композита на его основе, что позволяет рекомендовать модифицированный и окисленный ПАН-ТЖ в

качестве перспективной армирующей системы в технологии полимерных композиционных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Perepelkin K. E. Oxidized (Cyclized) Polyacrylonitrile Fibres - Охупан. A Review. *Fibre Chem.*, 2003, vol. 35, № 3, pp. 409-416.
DOI:10.1023/B:FICH.0000020769.42823.31
- [2]. Перепелкин К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб., Научные основы и технологии, 2009.
- [3]. Serkov A.A., Radishevskii M.B., Panichkina O.N., et al. Tempering of acrylic twists in oxidative thermal stabilization. *Fibre Chem.*, 2000, vol. 32, pp. 12–20.
DOI:10.1007/BF02359195
- [4]. Варшавский В.Я. Углеродные волокна. М., Варшавский, 2007.
- [5]. Корчина Л. В., Зубова Н. Г., Устинова Т.П. Структурные особенности и свойства эпоксиластов на основе модифицированного ПАН-ТЖ. *Пластические массы*, 2014, № 3-4, С.8-10.
- [6]. Korchina L.V., Zubova N.G., Popova N.E., et al. Effect of polyacrylonitrile fibers modified by various chemical finishes on the hardening kinetics proprieties of an epoxide composite based on them. *Fibre Chem.*, 2015, № 6, pp. 360-362.
DOI: 10.1007/s10692-015-9621-1
- [7]. Standage A., Matkowsky R. Structure of Oxidized Polyacrylonitrile. *Nature*, 1969, vol. 224, pp. 688–689.
DOI:10.1038/224688A0
- [8]. Конкин А.А. Углеродные и другие жаростойкие волокнистые материалы. М., Химия, 1974.
- [9]. Беллами Л. Инфракрасные спектры сложных молекул. М., Издательство иностранной литературы, 1963.
- [10]. Шрайнер Р., Фьюзон Р., Кёртин Д. и др. Идентификация органических соединений. М., Мир, 1983.

Зубова Наталья Геннадьевна — канд. техн. наук, доцент, кафедра «Физика и естественнонаучные дисциплины», Балаковский инженерно-технологический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (Российская Федерация, 413800, Балаково, Саратовская обл., ул. Чапаева, 140).

Герасимова Виктория Михайловна — канд. техн. наук, доцент, кафедра «Физика и естественнонаучные дисциплины», Балаковский инженерно-технологический институт — филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (Российская Федерация, 413800, Балаково, Саратовская обл., ул. Чапаева, 140).

Устинова Татьяна Петровна — д-р техн. наук, профессор, кафедра «Технология и оборудование химических, нефтегазовых и пищевых производств», Энгельсский технологический институт (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. (Российская Федерация, 413100, Энгельс, Саратовская обл., пл. Свободы, 17, корпус 3).

Influence of the oxidation parameters of organosilane-modified PAN-TF on the composition and properties of the resulting oxy-PAN

N. G. Zubova^{*,1}, V. M. Gerasimova^{*}, T. P. Ustinova^{**}

^{* *} *Balakovo Institute of Engineering and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI, Balakovo, Saratov region, Russia*

^{**} *Engels Technological Institute of Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Engels, Saratov region, Russia*

Abstract

The effect of modification of the polyacrylonitrile technical flagellum by organosilanes on the structure and properties of the fibrous material under the conditions of the oxidation process is investigated. Different behavior of the appretizing compounds was shown during thermogravimetric analysis, according to the results of which the organosilane modifier 3-aminopropyltriethoxysilane (AGM-9) was selected for the treatment of the initial precursor. The parameters of the modification and oxidation processes of the initial fibrous material were selected, as a result of which it was found that the application of PAN-TF with a 5% solution of AGM-9 for 60 seconds and the thermal stabilization of the modified flagellum at a temperature of 210°C for 1 hour provide intensification of structural changes in the fibrous material while maintaining its resistance to breaking loads, the consequence of which is an improvement in the strength of the developed epoxy composite based on it, that allows us to recommend this filler as a promising reinforcing system in the technology of polymer composite materials.

Keywords

Polyacrylonitrile technical flagellum, AGM-9 modifier, oxidation, modified and oxidized fibrous material, structural features, mechanical characteristics, epoxy composite.

REFERENCES

- [1]. Perepelkin K.E. Oxidized (Cyclized) Polyacrylonitrile Fibres - Oxypan. A Review. *Fibre Chem.*, 2003, vol. 35, № 3, pp. 409–416.
DOI:10.1023/B:FICH.0000020769.42823.31
- [2]. Perepelkin K.E. Armiruyushchiye volokna i voloknistyye polimernyye kompozity [Reinforcing fibers and fibrous polymeric composites]. Saint Petersburg, Nauchnyye osnovy i tekhnologii Publ., 2009. (In Russ.)
- [3]. Serkov, A.A., Radishevskii M.B., Panichkina O.N., et al. Tempering of acrylic twists in oxidative thermal stabilization.

¹ *Corresponding author:*

Email: zubova_aptech@mail.ru

Fibre Chem., 2000, vol. 32, pp. 12–20.
DOI: 10.1007/BF02359195

[4]. Varshavsky V.Ya. Carbon fibers. Moscow, Varshavsky, 2007.

[5]. Korchina L.V., Zubova N.G., Ustinova T.P. Strukturnyye osobennosti i svoystva epoksiplastov na osnove modifitsirovannogo PAN-TF [Structural features and properties of epoxyplasts based on modified PAN-TF]. *Plast. Massy*, 2014, № 3–4, pp. 8–10. (In Russ.)

[6]. Korchina L.V., Zubova N.G., Popova N.E., et al. Effect of polyacrylonitrile fibers modified by various chemical finishes on the hardening kinetics proprieties of an epoxide composite based on them. *Fibre Chem.*, 2015, № 6, pp. 360–362. DOI: 10.1007/s10692-015-9621-1

[7]. Standage A., Matkowsky R. Structure of Oxidized Polyacrylonitrile. *Nature*, 1969, vol. 224, pp. 688–689. DOI:10.1038/224688A0

[8]. Konkin A.A. Uglerodnyye i drugiye zharostoykiye voloknistyye materialy [Carbon and other heat-resistant fibrous materials]. Moscow, Chemistry Publ., 1974. (In Russ.)

[9]. Bellamy L. The infra-red spectra of complex molecules. Heidelberg, Springer Dordrecht, 1962.

[10]. Shriner R., Fuson R., Curtin D., et al. The Systematic Identification of Organic Compounds, New York, Wiley & Sons, 1956.

Zubova N. G. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, department of «Physics and the natural Sciences», Balakovo Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University «MEPhI» (Chapaev st., 140, Biysk, Balakovo, Saratov region, 413800 Russian Federation).

Gerasimova V. M. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, department of «Physics and the natural Sciences», Balakovo Institute of Engineering and Technology - branch of the National Research Nuclear University «MEPhI» (Chapaev st., 140, Biysk, Balakovo, Saratov region, 413800 Russian Federation).

Ustinova T. P. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, кафедра department of «Technology and equipment of chemical, oil and gas and food industries», Engels Institute of Technology (branch) of Yu. A. Gagarin Saratov State Technical University (Svoboda sq., 17, bldg. 3, Engels, 413100, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Влияние параметров окисления ПАН-ТЖ, модифицированного органосиланами, на состав и свойства полученного окси-ПАН / Н. Г. Зубова, В. М. Герасимова, Т. П. Устинова // Промышленные процессы и технологии. 2022. Т. 2 № 4(6). С. 40 – 49.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-4(6)-40-49

Please cite this article as:

Zubova N. G., Gerasimova V. M., Ustinova T. P. Influence of the oxidation parameters of organosilane-modified PAN-TF on the composition and properties of the resulting oxy-PAN. *Industrial processes and Technologies*, 2022, vol. 2, no. 4(6), pp. 40 – 49.

DOI: 10.37816/2713-0789-2022-2-4(6)-40-49