

**Для цитирования:**

Кокшаров С.А., Корнилова Н.Л., Федосов С.В. Модификация полиэфирного волокна для создания композитных материалов с регулируемой жесткостью. *Иzv. вузов. Химия и хим. технология.* 2016. Т. 59. Вып. 6. С. 105– 111.

**For citation:**

Koksharov S.A., Kornilova N.L., Fedosov S.V. Modification of polyester fibers to create composite materials with adjustable rigidity. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2016. V. 59. N 6. P. 105– 111.

УДК 677.027.622.13+678.7

**С.А. Кокшаров, Н.Л. Корнилова, С.В. Федосов**

Сергей Александрович Кокшаров

Научно-инновационный отдел, Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ул. Академическая, 1, Иваново, Российская Федерация, 153045

E-mail: ksa@isc-ras.ru

Надежда Львовна Корнилова

Инжиниринговый центр текстильной и легкой промышленности, Ивановский государственный политехнический университет, просп. Шереметевский, 21, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: nkorn@mail.ru

Сергей Викторович Федосов

Ивановский государственный политехнический университет, ул. 8 Марта, 20, Иваново, Российская Федерация, 153037

E-mail: prezident@ivgpu.com

**МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИЭФИРНОГО ВОЛОКНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ**

*Экспериментально обоснован эффективный прием наноконструирования композиционных полимерно-волокнистых материалов посредством локализованного поверхностного омыления полиэфирного волокна для создания поровых пространств и заполнения их полимерным связующим, формирующим гребнеобразную структуру межфазного слоя. Методом газовой адсорбции оценены размерные характеристики поровых образований, которые согласованы с параметрами полимерной дисперсии, обеспечивающей армирование композита и повышение его жесткости в 10 и более раз.*

**Ключевые слова:** омыление полиэфирного волокна, композитные материалы, структура межфазного слоя, жесткость

**S.A. Koksharov, N.L. Kornilova, S.V. Fedosov**

Sergey A. Koksharov

Research and Innovation Department of G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of RAS,  
Akademicheskaya str., 1, Ivanovo, 153045, Russia  
E-mail: ksa@isc-ras.ru

Nadezda L. Kornilova

Engineering Center of Textile and Light Industry, Ivanovo State Polytechnic University, Sheremetievskiy ave.,  
21, Ivanovo, 153000, Russia  
E-mail: nkorn@mail.ru

Sergey V. Fedosov

Ivanovo State Polytechnical University, 8 Marta str., 20, Ivanovo, 153037, Russia  
E-mail: prezident@ivgpu.com

**MODIFICATION OF POLYESTER FIBERS TO CREATE COMPOSITE MATERIALS  
WITH ADJUSTABLE RIGIDITY**

*Research aims at experimental study of an effective method of creating polymer-fiber composite materials with a comb structure of an interfacial layer. To change the surface micro-relief of polyester fiber method of surface saponification in the presence of a quaternary ammonium compound was used. This method provides localized hydrolysis reacting of polymer to form dotted etch wells. Fiber modification allows synthesizing comb polymer chains of the binder with the penetration of the lateral branches into the formed pore spaces of the textile carrier. Condition of polyester fiber after saponification estimated by indices: a loss of fiber mass, specific breaking load of the material, the content of carboxyl groups, the sorption of acrylic dispersion. The criterion for the rapid assessment of the quality of the fiber modification to change the micro-relief of its surface can serve the magnitude of the fiber mass loss, which must not exceed 3 %. Estimating the size of the formed voids was carried out according to the nitrogen adsorption data using a sorption analyzer NOVA 1200e. In moderate alkaline hydrolysis conditions, the main increase in the internal free volume provides mesopores with a diameter of 35...40 nm. The formations of a sub microscopic size 7...8 nm are the most numerous. Assessment of nanosized condition of reinforcing polymer dispersion by dynamic light scattering method allows recommending the necessary depth of polyester fiber hydrolysis to ensure the effects of the composite material stiffness controlled increase in 10...16 times.*

**Key words:** polyester fiber saponification, composite materials, interfacial layer structure, stiffness

**ВВЕДЕНИЕ**

В соответствии с классическими признаками систематизации композитов конструкционного назначения [1] в группе полимерно-волоконистых материалов функции наполнителя, определяющего механические свойства системы, выполняет волоконистый компонент, а полимерная матрица обеспечивает перераспределение напряжений и защиту армирующих элементов от повреждений. Вместе с тем, согласно современным

представлениям, макросвойства системы во многом определяются состоянием межфазного слоя, специфическая организация которого может быть достигнута с применением методов наномасштабного молекулярного дизайна [2]. Одно из направлений базируется на развитии приемов синтеза полимеров сложной пространственной архитектуры, в частности, молекулярных щеток и гребнеобразных полимеров [3, 4]. Строение таких соединений характеризуется ковалентным присоединением к основной цепи многочисленных узкодис-

персных боковых радикалов. При этом взаимодействие боковых ответвлений в существенной степени влияет на свойства полимера [5], в десятки раз повышая уровень равновесной жесткости по сравнению с линейным аналогом [6].

Решение на этой основе задач дополнительного армирования полимерно-волоконистых материалов предполагает создание развитой трехмерной структуры межфазного слоя в результате синтеза полимерного связующего в форме молекулярных щеток, пронизывающих поровые пространства текстильного носителя. Реализуемость подхода показана [7] на примере модифицирования хлопко- или вискозосодержащих полотен для получения формообразующих деталей швейных изделий с регулируемыми упруго-деформационными свойствами. Проникновение армирующей полимерной дисперсии в мезопоровые пространства целлюлозного волокна позволяет повысить уровень жесткости композита в 2–2,5 раза. Использование ультрадиспергированных форм армирующего препарата с размером частиц менее 3,5 нм создает условия для заполнения субмикроскопических пор, что дает увеличение показателя жесткости материалов в 6–8 раз.

Для распространения развиваемых подходов в сферу получения полимерно-волоконистых композитов технического назначения, включая геотекстиль, слоисто-каркасные конструкционные материалы и т.п., необходимо учитывать, что их текстильный компонент преимущественно состоит из синтетических (например, полиэфирных) волокон, не обладающих системой внутриволоконных поровых пространств. В связи с этим актуальны исследования, направленные на изменение микрорельефа поверхности волокна для проникновения в его структуру армирующей полимерной дисперсии.

В случае полиэфирного волокна с этой целью может быть применен известный метод поверхностного омыления полимера [8], в частности его вариант с введением в систему четвертичного аммониевого соединения, способствующего локализованному протеканию гидролиза с точечным образованием ямок травления [9, 10]. Поскольку имеющиеся литературные данные не позволяют аргументированно определить условия обработки для проникновения в его структуру полимерного модификатора, задачи исследования включают поиск рациональной глубины морфологических преобразований поверхности волокна, что обеспечило бы получение требуемых эффектов армирования композиционного материала.

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе использована полиэфирная ткань арт. 215/1 (ОАО Искож, г. Нефтекамск). Поверхностное омыление осуществляли в кипящем растворе NaOH (0,025–1 моль/л) в присутствии четвертичного аммониевого соединения алкамон ОС-3 (0,3 г/л). Образцы обрабатывали в колбе с обратным холодильником в течение 2–20 мин с последующей промывкой проточной холодной и горячей (80 °С) водой до нейтральной реакции по фенолфталеину.

Степень омыления волокна оценивали по изменению содержания карбоксильных групп ( $C_{COOH}$ , г-экв/кг) с учетом их способности во взаимодействии с ацетатом кальция выделять уксусную кислоту, которую оттитровывали 0,01 н. раствором NaOH в присутствии индикаторов тимол синий и крезол красный. Потерю массы волокна ( $\Delta M$ , %) определяли гравиметрическим методом с точностью  $\pm 0,0001$  г после выдержки образцов в течение 24 ч в эксикаторе с серной кислотой. Изменение прочности ткани оценивали по показателю удельной разрывной нагрузки на одну нить ( $R_{уд}$ , даН) при одноосном растяжении на разрывной машине РТ 250 в соответствии с ГОСТ 3813-72.

Сорбционную емкость полиэфирного волокна оценивали методом низкотемпературной адсорбции-десорбции паров азота при 77 К на газовом сорбционном анализаторе NOVA 1200e (Quantachrome Instruments, США) для оценки пористости материала ( $V_{п}$ , м<sup>3</sup>/г), а также по количеству сорбированной акриловой дисперсии ( $\Delta G$ , %) после 30 мин выдержки образцов ткани в растворе с концентрацией 1 г/л при модуле ванны 50, 100 %-го отжима и сушки на воздухе. Для обработки использованы выпускная форма препарата Акратам AS 01-М (ОАО «Пигмент» г. Тамбов, Россия) и образец, подвергнутый ультрадиспергированию на лабораторной коллоидной мельнице. Размер наночастиц ( $r$ , нм) в гидрозоле препарата контролировали методом динамического светового рассеяния на анализаторе Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd., Англия) с учетом рекомендаций [11] по работе с полидисперсными объектами.

Для оценки эффективности армирующего действия на сопоставляемые образцы тканого полотна методом трафаретной печати наносили варьируемое количество ( $C_{АП}$ , г/м<sup>2</sup>) препарата Акратам AS 01-М в исходной и ультрадиспергированной формах. После сушки на воздухе образцы подвергали последовательным операциям сухого нагрева при 80 °С и влажно-термической обработ-

ки (пропаривание 2 мин, нагрев до 140 °С). Жесткость материала ( $EI$ , мН·см<sup>2</sup>) оценивали консольным методом в соответствии с ГОСТ 10550-93.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице представлена совокупность данных, характеризующих глубину морфологической перестройки полиэтилентерефталата в поверхностных слоях волокна и ее влияние на проявление сорбционной активности материала.

Таблица

Влияние условий омыления на свойства полиэфирной ткани

Table. Influence of saponification conditions on properties of polyester fiber

$C_{NaOH}$ , моль/л	$\tau$ , мин	$C_{COOH} \cdot 10^4$ , г-экв/кг	$\Delta M$ , %	$R_{уд}$ , даН	$\Delta G$ , %		$V_{П} \cdot 10^3$ , см <sup>3</sup> /г
					ИФ*	УФ*	
образец до обработки		4,0	0	0,70	0,1	0,1	1,5
0,025	10	4,6	0,05	0,70	0,2	0,2	-
	15	7,3	0,12	0,70	0,2	0,6	
	20	10,5	0,16	0,70	0,4	1,5	
0,05	10	6,4	0,14	0,70	0,3	0,6	-
	15	9,8	0,33	0,70	0,5	1,4	
	20	11,3	0,78	0,70	1,1	2,4	
0,1	5	7,8	0,10	0,70	0,3	0,7	-
	10	11,6	0,24	0,70	0,6	1,8	
	15	14,8	0,63	0,70	0,9	2,3	
	20	14,4	1,44	0,70	1,7	2,9	
0,25	5	10,2	0,32	0,70	0,3	2,0	-
	10	16,4	0,85	0,70	0,9	3,1	4,3
	15	14,5	1,76	0,70	1,8	3,9	-
0,5	2	10,5	0,15	0,70	0,5	2,1	-
	5	15,7	0,61	0,70	1,4	3,8	
	10	14,4	1,96	0,70	2,9	4,5	
	15	11,4	5,35	0,66	2,2	4,2	
0,75	2	16,2	0,98	0,70	1,7	3,0	-
	5	16,6	2,32	0,70	3,1	4,5	
	10	12,9	8,47	0,64	2,8	3,4	
	15	10,3	15,81	0,54	2,1	2,5	
1	1,5	16,8	1,35	0,70	1,9	3,8	-
	3	17,7	2,98	0,70	3,2	4,2	9,4
	5	11,7	7,43	0,65	3,0	3,7	7,3
	10	10,1	12,46	0,58	2,6	3,2	-
				6			

Примечание: \* ИФ и УФ – исходная и ультрадиспергированная формы препарата Акратам AS 01-М

Note: \* ИФ and УФ – initial and ultra dispersed forms of AS 01-M preparation

Выявлено, что при малой концентрации NaOH (до 0,05 моль/л) увеличение длительности обработки до 20 мин неуклонно повышает количество карбоксильных группировок на поверхности волокна ( $C_{COOH}$ ) при величине потерь массы

( $\Delta M_B$ ) не более 1%. При содержании щелочи 0,1 моль/л и выше ход временной зависимости  $C_{COOH} = f(\tau)$  экстремальный, и прохождение максимума сопровождается резким увеличением значения  $\Delta M_B$ , что свидетельствует о глубоком протекании гидролиза полиэтилентерефталата. Снижение показателя  $R_{уд}$  начинает проявляться при значениях  $\Delta M_B$  более 5%; существенное падение механической прочности материала имеет место лишь при поверхностном «стравливании» более 10 масс.% волокнообразующего полимера.

Контроль влияния поверхностного омыления на способность волокна сорбировать акрилатную дисперсию подтверждает, что в исходном состоянии материал проявляет химическую инертность, и величина привеса ( $\Delta G$ ) определяется количеством жидкости, поглощенной после отжима образцов ткани. Появление на модифицируемой поверхности функциональных группировок сопровождается нарастанием количества поглощенной полимерной дисперсии. Тем не менее, надежных корреляций между параметрами  $C_{COOH}$  и  $\Delta G$  не наблюдается: коэффициенты аппроксимации для различных видов зависимостей составляют менее 0,4 для исходной формы препарата Акратам AS 01-М и не превышают 0,7 для ультрадиспергированного гидрозоля.

Вместе с тем, для обеих форм полимерного модификатора прослеживается однотипный вид нарастания сорбции при осуществлении поверхностного омыления до достижения  $\Delta M_B = 3\%$  с последующим снижением величины  $\Delta G$  при дальнейшем усилении гидролитической деструкции волокна. Причем спадающая ветвь сорбционной кривой имеет S-образную форму с прогрессирующим снижением в области  $\Delta M_B$  более 10%. Взаимосвязь характеристик морфологических преобразований волокнистого материала с достаточно высокой точностью воспроизводится полиномиальными уравнениями 4-й степени:

$$\Delta G_{ИФ} = 0,0556 + 1,8167\Delta M_B - 0,3729\Delta M_B^2 + 0,0299\Delta M_B^3 - 0,0008\Delta M_B^4; R^2 = 0,9199;$$

$$\Delta G_{УФ} = 0,0756 + 2,854\Delta M_B - 0,6563\Delta M_B^2 + 0,0547\Delta M_B^3 - 0,0015\Delta M_B^4; R^2 = 0,8601.$$

Обращает на себя внимание тот факт, что при  $C_{NaOH} = 0,25 - 0,5$  моль/л с увеличением длительности гидролиза сорбция полимерных дисперсий продолжает нарастать и после преодоления экстремума по количеству COOH-групп, а при более высоких концентрациях щелочи для показателя  $\Delta G$  зафиксированы аналогичные экстремаль-

ные изменения. При этом потери сорбционной способности в отношении УФ-препарата вдвое существеннее, чем для исходного состояния гидрозоля. Причины указанных отклонений выявлены в ходе исследования наноструктурных преобразований системы.

Информационный потенциал указанных в таблице данных о 3 – 6-кратном увеличении свободного объема пор  $V_{\Pi}$  в волокне после омыления может быть существенно расширен сведениями о фракционировании параметра  $V_{\Pi}$  по размеру пор, которые приводятся измерительной программой сорбционного анализатора NOVA 1200e. Материалы рис. 1 позволяют оценить нарастание показателя  $V_{\Pi}$  в образцах волокна по ходу увеличения диаметра пустот и провести их сопоставление с кривыми удельного вклада отдельных поровых фракций в величину достигаемого приращения внутреннего объема.

Признавая технологическую малозначимость величины показателя  $V_{\Pi}$  для исходного волокна (кр. 1), следует отметить, что свободный объем субстрата преимущественно обеспечивается пустотами с размером более 90 нм, т.е. немногочисленными дефектами и трещинами, образовавшимися в процессе формования волокна и последующей переработки текстильных материалов. Вместе с тем применяемый метод прецизионной оценки позволяет выделить присутствие полостей с поперечником до 15 нм. Причем наиболее многочисленными являются пустоты субмикроскопических размеров 7 – 8 нм, определяющие максимальное значение удельного показателя пористости, приведенного к величине приращения размерного параметра для соответствующей фракционной группы пор  $\partial V_{\Pi}/\partial D$  (рис. 1б).

Вполне вероятно, что наличие этих мельчайших полостей обуславливает сорбцию алкамона ОС-3, выполняющего роль межфазного катализатора-переносчика при протекании гидролиза полиэтилентерефталата. Именно для этой фракции пор наблюдается наиболее существенный рост в образцах модифицированного волокна. В условиях умеренного щелочного гидролиза (кр. 2) амплитуда пика на дифференциальной кривой возрастает в 3,7 раза. С увеличением концентрации щелочи (кр. 3) амплитуда основного пика снижается, поскольку «ямки травления» разрастаются и пополняют объем пор большего размера. Основной прирост  $V_{\Pi}$  обеспечивается мезопорами с поперечником до 35 – 40 нм.

Уместно проанализировать данные о коллоидном состоянии гидрозоля используемых форм

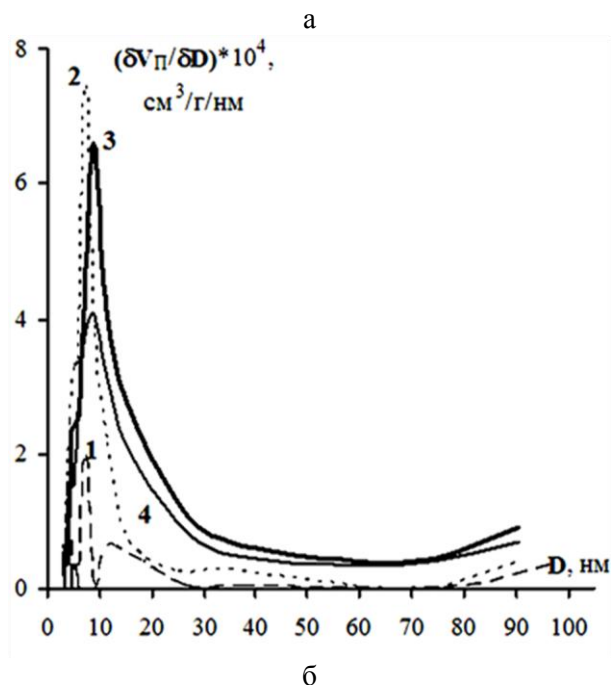
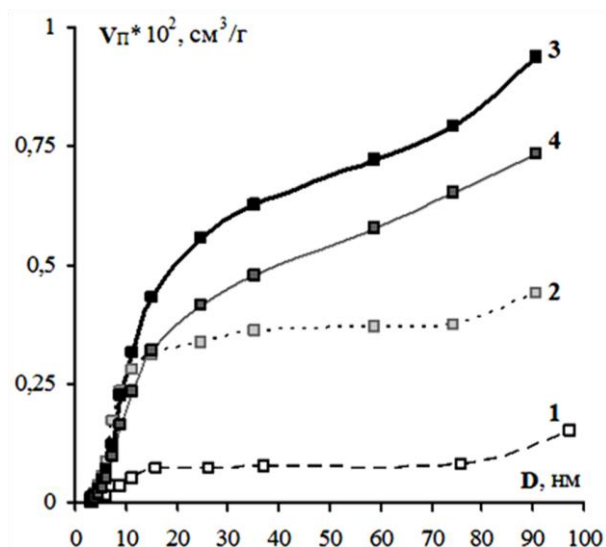


Рис. 1. Вклад поровых фракций в нарастание свободного объема полиэфирного волокна (а) и в величину удельного приращения внутреннего объема (б) для исходного материала (1) и образцов, подвергнутых омылению: 2 –  $CNaOH=0,25$  моль/л,  $\tau=10$  мин; 3 –  $CNaOH=1$  моль/л,  $\tau=3$  мин; 4 –  $CNaOH=1$  моль/л,  $\tau=5$  мин

Fig. 1. The contribution of pore fractions in the increasing of available volume of polyester (a) and in the specific increment of the inner volume (b) for the initial material (1) and the samples after saponification: 2 –  $CNaOH=0.25$  mol / l,  $\tau=10$  min; 3 –  $CNaOH=1$  mol / l,  $\tau=3$  min; 4 –  $CNaOH=1$  mol / l,  $\tau=5$  min

препарата Акратам AS 01-М, которые приведены на рис. 2. В исходной форме (кр. 1) более 60% объема дисперсной фазы ( $V_D$ ) имеют размеры частиц ( $r$ ) до 100 нм, а доминирующие фракции приходятся на интервал 25 – 40 нм. Вполне закономер-

но, что интенсивная сорбция ИФ-препарата наблюдается лишь при формировании пустот соответствующего размера.

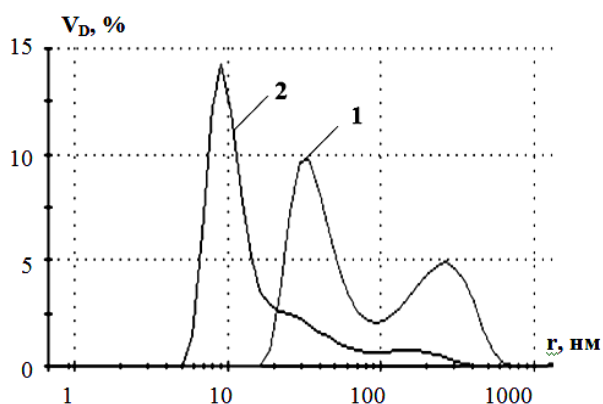


Рис. 2. Распределение относительного объема дисперсной фазы по размеру частиц в препаратах армирующего полимера: 1 – исходная форма; 2 – ультрадиспергированная форма  
Fig. 2. The distribution of the relative volume of the dispersed phase on particle size in the preparations of reinforcing polymer: 1 – original form; 2 – ultradispersed form

В гидрозоле УФ-препарата (кр. 2) около 40% объема дисперсной фазы приходится на фракции мельче 10 нм, что определяет возможность эффективного поглощения частиц волокном даже для «умеренных» режимов поверхностного омыления. Сходство хода кр. 3 на рис. 1б и кр. 2 на рис. 2 объясняют экспериментально получаемые результаты истощения раствора и практически полной сорбции препарата в УФ-модификации (таблица).

Результат избыточной деструкции волокна демонстрирует кр. 4 на рис. 1. Наиболее существенно меняется доля субмикроскопических поровых пространств в связи с их разрастанием. При этом общее «стравливание» поверхности сокращает и мезопоровую составляющую, но менее ощутимо. Как следствие, выход за оптимальные условия поверхностного омыления волокна более резко проявляется в снижении сорбции полимерного препарата в УФ-модификации (таблица), и результаты поглощения дисперсии в обеих формах сближаются.

На рис. 3 сопоставлены результаты изменения показателя жесткости композитного материала при варьировании количества наносимой армирующей полимерной дисперсии в исходной и ультрадиспергированной формах на немодифицированное полиэфирное полотно арт. 215/1 (кр. 1) и на образцы ткани с предварительным поверхностным омылением волокна в условиях, соответствующих режимам обработки для рис. 1. На фоне

отсутствия армирующего эффекта для немодифицированного текстильного носителя вполне закономерно, что наилучшим вариантом предварительной активации волокна для обработки исходной формой полимерной дисперсии является режим 3 ( $C_{\text{NaOH}} = 1$  моль/л,  $\tau = 3$  мин). Для УФ-препарата поверхностный гидролиз может быть осуществлен и при пониженной (до 0,25 моль/л) концентрации щелочи.

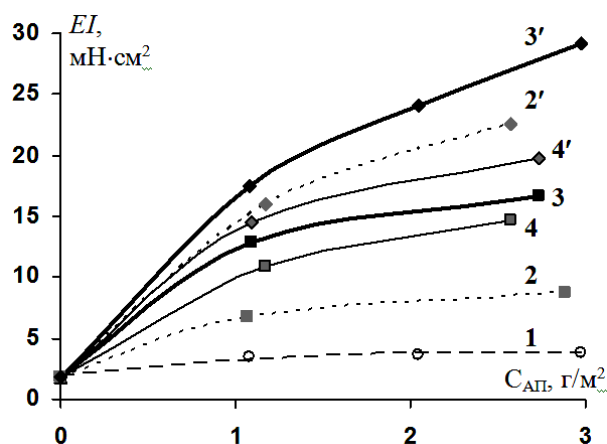


Рис. 3. Влияние количества армирующего полимера, нанесенного на модифицированную полиэфирную ткань, на изменение жесткости композитных материалов: 1-4 – армирующий полимер в исходной форме, 2'-4' – в ультрадиспергированной форме (нумерация режимов поверхностного омыления соответствует обозначениям на рис. 1)

Fig. 3. The influence of the amount of the reinforcing polymer, which is deposited on modified polyester fabric, on the changing in composite materials rigidity: 1-4 – the reinforcing polymer in the initial form, 2'-4' – in ultradispersed form (the numbering of modes of surface saponification corresponds to the Fig. 1)

При этом варьирование параметров стадии омыления и количества нанесенной армирующей полимерной дисперсии является эффективным приемом регулируемого повышения жесткости композита. В сопоставимых условиях проведения экспериментов с использованием ИФ-препарата, способного заполнять мезопоровые пространства, обеспечивается прирост показателя  $EI$  до 10 раз. При переходе к ультрадиспергированной форме полимерного модификатора, обладающей возможностью проникновения в пустоты субмикроскопических размеров, повышение жесткости материала может достигать 12,7 – 16,4 раза.

Исследования проведены в рамках выполнения государственного задания № 11.1898.2014/К Минобрнауки РФ на экспериментальной базе ЦКП «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Критерием оценки качества поверхностного омыления полиэфирного волокна для изменения микрорельефа его поверхности может служить величина убыли массы текстильного материала, которая не должна превышать 3 %.

Метод газовой адсорбции с использованием сорбционного анализатора NOVA 1200e применен для дифференцированной оценки размера пор в полиэфирном волокне и оптимизации условий нанослойного поверхностного модифицирования

текстильного носителя с целью формирования развитой структуры межфазного слоя полимерно-волоконистых композиционных материалов.

Оценка наноразмерного состояния дисперсии армирующего полимера методом динамического светового рассеяния позволяет рекомендовать необходимую глубину проведения гидролиза полиэфирного волокна для обеспечения эффектов регулируемого повышения жесткости композитного материала в 10 – 16 раз.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Любин Дж.** Справочник по композиционным материалам: В 2-х кн. М.: Машиностроение. 1988. Т. 1. 448 с.
2. **Мэттьюз Ф., Ролингс Р.** Композитные материалы. Механика и технология. М.: Техносфера. 2004. 407 с.
3. **Платэ Н.А., Шибает В.П.** Гребнеобразные полимеры и жидкие кристаллы. М.: Химия. 1980. 304 с.
4. **Ishizu K., Tsubaki K., Mori A.** // Prog. Polym. Sci. 2003. V. 28. N 1. P. 27-54.
5. **Колбина Г.Ф., Кононов А.И., Штенникова И.Н.** // Высокомолек. соед. С. 2010. Т.52. №7. С. 1314-1317.
6. **Филиппов А.П., Беляева Е.В., Красова А.С.** // Высокомолек. соед. А. 2014. Т. 56. № 1. С. 3-12.
7. **Кокшаров С.А., Корнилова Н.Л., Федосов С.В.** // Рос. хим. ж. 2015. Т. LIX. № 3. С. 112-123.
8. **Latta B.M.** // Text. Res. J. 1984. V. 54. N 11. P. 766-775.
9. **Кабает М.М.** // Хим. волокна. 1988. № 5. С. 52-53.
10. **Пророкова Н.П., Вавилова С.В., Пророков В.Н.** // Хими. волокна. 2007. №1. С. 17-22.
11. **Кокшаров С.А.** // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2015. Т. 58. Вып. 1. С. 33-36.

### REFERENCES

1. **Lubin G.** Handbook of Composites. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc. 1982.
2. **Matthews F.L., Rawlings R.D.** Composite materials: engineering and science. Oxford: Alden Press. 1999. 470 p.
3. **Plate N.A., Shibaev V.P.** Comb polymers and liquid crystals. M.: Khimia. 1980. 304 p. (in Russian).
4. **Ishizu K., Tsubaki K., Mori A.** // Prog. Polym. Sci. 2003. V. 28. N 1. P. 27-54.
5. **Kolbina G.F., Kononov A.I., Shtennikova I.N.** // Polymer Science. Series C. 2010. V. 52. N 1. C. 79-82.
6. **Filippov A.P., Belyaeva E.V., Krasova A.S.** // Polymer Science. Series A. 2014. V. 56. N 1. C. 1-9.
7. **Koksharov S.A., Kornilova N.L., Fedosov S.V.** // Ross. Khim. Zhurn. 2015. V. LIX. N 3. P. 112-123 (in Russian).
8. **Latta B.M.** // Text. Res. J. 1984. V. 54. N 11. P. 766-775.
9. **Kabaev M.M.** // Khim. Volokna. 1988. N 5. P. 52-53 (in Russian).
10. **Prorokova N.P., Vavilova S.V., Prorokov V.N.** // Khim. Volokna. 2007. N 1. P. 17-22 (in Russian).
11. **Koksharov S.A.** // Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. 2015. V. 58. N 1. P. 33-36 (in Russian).

*Поступила в редакцию 05.04.2016  
Принята к опубликованию 30.05.2016*

*Received 05.04.2016  
Accepted 30.05.2016*