

**ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ  
НА ПРОЦЕСС СТАРЕНИЯ ТКАНИ ИЗ НИТЕЙ АРСЕЛОН**

**THE INFLUENCE OF TEMPERATURE  
ON THE AGING PROCESS OF FABRIC FROM ARCELON**

*В.И. БЕСШАПОШНИКОВА, М.В. ЗАГОРУЙКО, Т.С. ЛЕБЕДЕВА, Т.В. МЕРЗЛИКИНА*  
*V.I. BESSHAPOSHNIKOVA, M.V. ZAGORUIKO, T.S. LEBEDEVA, T.V. MERZLIKINA*

(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство),  
Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина)  
(Russian State University named after A. N. Kosygin (Technologies. Design. Art),  
Saratov State Technical University named after Yuri Gagarin)

E-mail: vibesvi@yandex.ru

*В работе определены температурные условия безопасной эксплуатации ткани Термаль из нитей арселон. Установлена зависимость прочности от воздействия высокой температурой в течение 100 часов, которая позволяет прогнозировать термическое старение тканей из нитей арселон другой структуры и поверхностной плотности.*

*The work defines the temperature conditions for the safe usage of the Thermal fabric from Arselon threads. The dependence of strength on exposure to high temperatures for 100 hours has been established, which allows predicting thermal aging of tissues from Arselon threads of a different structure and surface density.*

**Ключевые слова:** ткани, термостойкость, термическое старение, свойства, прогнозирование.

**Keyword:** fabrics, heat resistance, thermal aging, properties, prediction.

Защита человека от опасных факторов производства является первостепенной задачей. Для производства высококачественной защитной одежды широко применяют

материалы из термостойких волокон, которые используются как в чистом виде, так и в смеси с другими волокнами. Однако анализ литературных данных позволил вы-

явить [1...6], что исследование свойств в основном проводится на нитях и волокнах, и отсутствуют данные по текстильным полотнам. Тем не менее, структура ткани оказывает влияние на показатели свойств и имеет важное значение для рационального конфекционирования материалов в пакет спецодежды. Поэтому исследование термических превращений, процесса термостарения, а также структуры и свойств тканей из нитей арселон является актуальной проблемой.

В качестве объекта исследования выбрана ткань Термаль из термостойких нитей арселон, полотняного переплетения, поверхностной плотности 240 г/м<sup>2</sup>. Ткань с масло-, водоотталкивающей отделкой. Результаты исследований показали, что ткань характеризуется высокой огнестойкостью – не горит, не тлеет, не плавится, кислородный индекс – 30 % об. Ткань характеризуется высокой прочностью (разрывная нагрузка 186 кгс по основе и 113 кгс по утку) и гигроскопичностью – 8,5%, безусадочная – усадка менее 0,3/0,5%.

Одним из основных критериев термостойкости полимерных материалов является температура, при которой полимер сохраняет более 50% прочности при заданной температуре, например 200°C и выше, в течение 100 ч. Термостойкость оценивали методами: дифференциального термогравиметрического анализа (ДТГ), дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термомеханического анализа (ТМА). ДТГ проводили на дериватографе Q-1500 системы Паулик-Паулик-Эрдей в среде воздуха и азота, со скоростью нагрева 10 град/мин. Исследование теплофизических процессов осуществляли на калориметре ДСК-2М в атмосфере воздуха и азота. Процесс термостарения ткани Термаль осуществляли в термостате в среде воздуха, располагая образцы на приспособлении в свободном подвешенном состоянии. Термостойкость тканей оценивали по степени сохранения механических характеристик, выраженных в процентном соотношении к их исходным значениям.

По данным ДТГ и ДСК в области температур 100...200°C происходит удаление сорбционной и физически связанной влаги,

в количестве 7% – в атмосфере воздуха и 5% – в среде азота (рис. 1 – данные ДТГ (1, 2) и ДСК (3, 4) ткани из нитей арселон: 1, 2 – кривые потери массы (TG); 3, 4 – кривые теплоты реакций, в среде: 1 и 3 – воздуха; 2, 4 – азота). Экзотермический эффект в области 250...350°C с потерями массы 2...3%, вероятно, обусловлен разложением препаратов заключительной отделки ткани. Температура начала основной стадии деструкции отмечается при 450°C в атмосфере воздуха и 480°C в среде азота, что свидетельствует о высокой термостойкости ткани. Завершается основная стадия деструкции в среде воздуха при 750°C с потерями массы 90%, в среде азота – при 780°C с потерями массы 50%. При переходе от окислительной среды к инертной механизм деструкции изменяется, о чем свидетельствует изменение вида кривых (рис. 1). В инертной среде при недостатке окислителя (кислорода воздуха) преобладают процессы циклизации, о чем свидетельствует высокое коксообразование. В результате чего процесс окисления и потери массы в инертной среде замедляется и при максимуме экзоэффекта 625°C составляют 45%, а при 1000°C – лишь 65%.

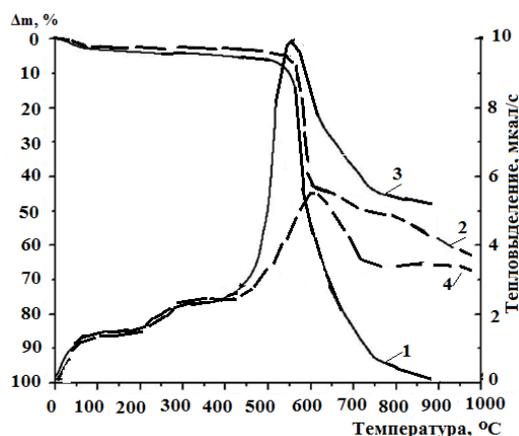


Рис. 1

Таким образом, в результате проведенного исследования определена предельная температура эксплуатации ткани из нитей арселон до 400°C, при кратковременном ее воздействии.

Исследования термостойкости и термического старения ткани, представленные в

табл. 1, оценивали по изменению свойств образцов под воздействием температур 200, 250, 300 и 350°C в течение 24, 48, 72 и 100 ч.

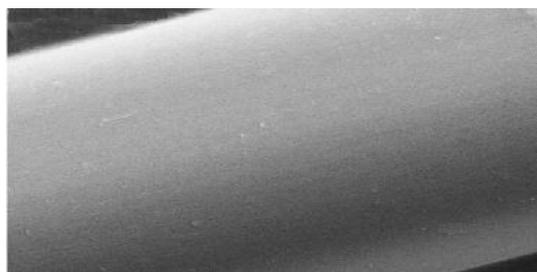


Рис. 2

Воздействие на ткань температурой 200°C в течение 24 и 48 ч приводит к незначительному, на 5...6%, возрастанию разрывной и раздирающей нагрузки ткани

(табл. 1). При этом удлинения и усадки ткани практически не происходит. Дальнейшее экспонирование температурой 200°C до 100 ч, незначительно (на 1...2%) снижает прочность ткани. Следовательно, при температуре 200 °С ткань выдерживает длительное тепловое воздействие без ухудшения свойств. Возрастание прочности ткани на 5...6% обусловлено тем, что мелкие дефекты структуры нитей под действием температуры 200°C устраняются, что подтверждают данные электронной микроскопии (рис. 2 – данные электронной микроскопии поверхности волокна арселон после воздействия температурой 200°C в течение 48 ч (увеличение 5000)), поверхность нити арселон ровная, без продольных и поперечных дефектов.

Т а б л и ц а 1

Физико-механические показатели	Время воздействия, ч				
	0	24	48	72	100
Температура 200°C					
Разрывная нагрузка Pp, кгс, основа/уток	186/113	195/119 (+5/5)	197/120 (+6/6)	184/111 (-1)	182/109 (-2)
Разрывное удлинение, %, основа/уток	29,0/21,0	29,2/21,3	29,5/21,6	29,8/21,9	30,0/22,0
Раздирающая нагрузка, кгс, основа/уток	30,4/27,1	30,4/27,1	30,6/27,3	30,0/27,0	29,8/28,9
Усадка ткани, %, основа/уток	0,3/0,3	0,3/0,3	0,3/0,3	0,3/0,3	0,3/0,3
Температура 250°C					
Разрывная нагрузка Pp, кгс, основа/уток	186/113	182/110 (-2/-3)	178/107 (-4/-5)	175/104 (-6/-8)	167/102 (-10/-10)
Разрывное удлинение, %	29,0/21,0	29,3/21,3	29,7/21,7	29,9/22,0	30,3/22,3
Раздирающая нагрузка, кгс, основа/уток	30,4/27,1	30,3/27,2	30,6/27,4	29,8/26,9	29,5/28,4
Усадка ткани, %, о/у	0,3/0,3	0,4/0,4	0,5/0,5	0,5/0,6	0,6/0,7
Температура 300°C					
Разрывная нагрузка Pp, кгс, основа/уток	186/113	177/105 (-5/-7)	158/95 (-15/-16)	130/76 (-30/-33)	104/62 (-44/-45)
Разрывное удлинение, %, основа/уток	29,0/21,0	29,4/21,4	29,8/21,8	30,1/22,2	31,0/23,0
Раздирающая нагрузка, кгс, основа/уток	30,4/27,1	30,4/27,1	28,0/25,0	23,3/20,9	19,3/16,9
Усадка ткани, %, основа/уток	0,3/0,3	0,4/0,5	0,6/0,7	0,8/0,9	0,9/0,9
Температура 350°C					
Разрывная нагрузка Pp, кгс, основа/уток	186/113	130/77 (-30/-33)	95/57 (-49/-50)	74/44 (-60/-61)	54/31 (-71/-73)
Разрывное удлинение, %, основа/уток	29,0/21,0	29,8/21,8	30,1/22,2	31,5/22,5	32,2/23,9
Раздирающая нагрузка, кгс, основа/уток	30,4/27,1	23,3/20,9	19,3/16,9	16,3/13,9	10,3/7,9
Усадка ткани, %, основа/уток	0,3/0,3	0,6/0,7	0,8/0,9	0,9/0,9	1,3/1,3

П р и м е ч а н и е. В числителе – показатели свойств по основе, в знаменателе – по утку. В скобках – процент снижения прочности от первоначальной прочности по основе и утку, соответственно. Коэффициент вариации для всех измерений не превышал 2,5%.

При воздействии температурой 250°C в течение 100 ч, прочность при разрыве и раздирании снижается незначительно, на 10% от исходной прочности. При этом удлине-

ние ткани незначительно возрастает, на 0,5%. В процессе термического старения усадка ткани постепенно возрастает до 0,6/0,7%. Все это свидетельствует о высо-

кой теплостойкости ткани Термаль к продолжительному воздействию температурой 250°C.

При воздействии температурой 300°C в течение 48 ч ткань Термаль теряет до 15% прочности при растяжении и раздирании. С увеличением времени экспонирования температурой 300°C до 100 ч потери прочности при разрыве ткани возрастают до 44%, удлинение возрастает на 4...5%, прочность при раздирании снижается на 35...40%, усадка ткани возрастает до 0,9% (табл. 1). Наличие удлинения объясняется способностью жесткоцепных ароматических связей к дополнительному ориентированию в процессах термической обработки.

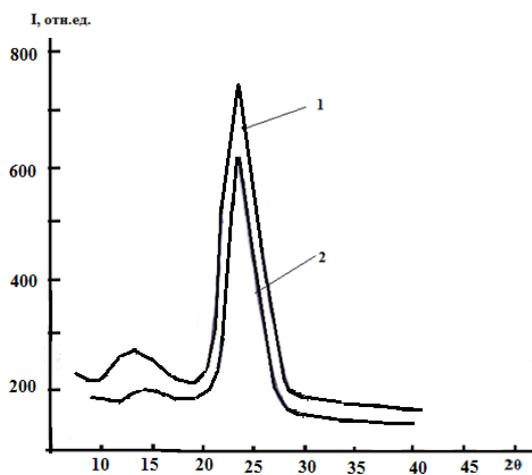


Рис. 3

Эти данные свидетельствуют о начале деструкционных процессов в надмолекулярной структуре волокна, что подтверждают данные рентгеноструктурного анализа (РСА) (рис. 3 – данные РСА ткани из нитей арселон, термообработанной в течение 100 ч при температуре: 1 – 250°C; 2 – 300°C). Дифрактограммы РСА показывают, что степень кристалличности полимера волокна арселон, термообработанного в течение 100 ч при температуре 250°C составляет 67%, а при 300°C – 56%, то есть снижается на 11%. Разупорядочивание структуры приводит к необратимой потере прочностных свойств. Кристаллическая природа полимера обеспечивает высокую термическую стабильность волокон. Благодаря жесткой сетчатой структуре макромолекулу ткань из нитей арселон не плавится.

Таким образом, работоспособность ткани Термаль из нитей арселон при 300°C весьма кратковременная, не более 24...48 ч.

При воздействии на ткань температурой 350°C в течение 24 ч отмечается снижение показателя разрывной нагрузки на 30...33% от исходной. Продолжение термического воздействия до 100 ч приводит к разрушению волокна и потери прочности ткани более 70%. Все это свидетельствует о деструкции полимера и термическом старении ткани.

Коэффициент вариации для всех измерений не превышал 2,5% (табл. 1), что свидетельствует о высоком качестве и однородности структуры ткани Термаль из нитей арселон. Таким образом, в результате исследований была доказана возможность длительной безопасной эксплуатации ткани Термаль из нитей арселон в термических условиях до 250°C, и кратковременно – до 300°C.

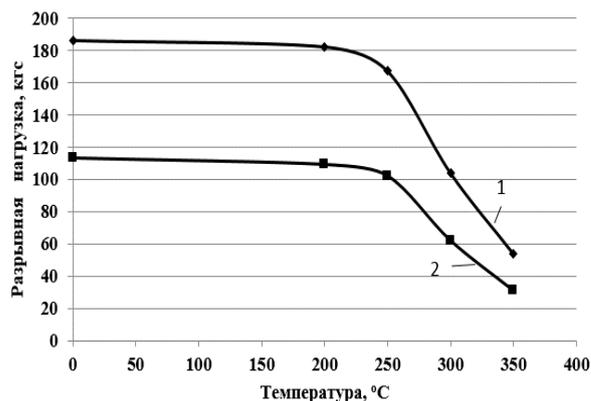


Рис. 4

Процесс термического старения ткани анализируем по изменению показателя разрывной нагрузки при возрастании температурой 200...350°C в течение 100 ч (рис. 4 – зависимость разрывной нагрузки ткани Термаль из нитей арселон от воздействия температурой в течение 100 ч: 1 – данные по основе, 2 – по утку). Зависимость разрывной нагрузки ткани Термаль от воздействия высокой температурой в течение 100 ч имеет полиномиальный характер и описывается полиномом второй степени вида:

$$y = C - Ax^2 + Bx,$$

где  $C$  – значение показателя прочности (разрывной нагрузки) ткани до испытания;  $A$  и  $B$  – коэффициенты аппроксимации зависимости прочности от температуры,

представленные в табл. 2;  $x$  – температура;  $y$  – показатель прочности (разрывной нагрузки) ткани после воздействия температурой 200...350°C в течение 100 ч.

Т а б л и ц а 2

Название ткани	Коэффициенты		
	A ( $\pm 0,0005$ )	B ( $\pm 0,01$ )	C ( $\pm 1$ )
Ткань Термаль из нитей арселон:			
по основе	0,0026	0,532	186
по утку	0,0016	0,324	113

П р и м е ч а н и е. Величина достоверности аппроксимации 0,98.

Полученная зависимость позволяет прогнозировать термическое старение тканей из нитей арселон другой структуры и поверхностной плотности.

## ВЫВОДЫ

1. В результате исследований была доказана возможность длительной безопасной эксплуатации ткани Термаль из нитей арселон при температуре 250°C, и кратковременно, 24...48 ч, при 300°C.

2. Получена зависимость прочности от воздействия высокой температурой в течение 100 ч, которая позволяет прогнозировать термическое старение тканей из нитей арселон другой структуры и поверхностной плотности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелкин К.Е., Андреева И.В., Мещерякова Г.П., Моргоева И.Ю. Изменение свойств параарамидных нитей при термическом старении // Химические волокна. – 2006, № 5. С. 44...49.
2. Лысенко В.А., Крисковец М.В., Сазанов Ю.Н., Губанова Г.Н., Куликова Е.М., Уголков В.Л., Лаврентьев В.К. Основы электротермических превращений волокон полиоксадиазола при карбонизации // Химические волокна. – 2019, №6. С. 11...16.
3. Макаров Б.П., Шаблыгин М.В., Матрохин А.Ю., Михайлова М.П. Исследование и анализ свойств полипарафенилен-1,3,4-оксадиазольных волокон, предназначенных для текстильных изделий // Химические волокна. – 2019, №5. С. 56...58.
4. Дянкова Т.Ю., Степанова А.Б. Изменение механических свойств параарамидных нитей после воздействия агрессивной среды // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2012, №1 (15). С.22...26.

5. Мещерякова Г.П., Степанова А.Б. Математические модели, описывающие механические свойства термосостаренных параарамидных нитей // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2012, № 4. С. 12...14.

6. Бессшапошникова В.И., Загоруйко М.В. Термостойкие и негорючие волокна и текстильные материалы. – М.: РГУ имени А.Н. Косыгина, 2020.

## REFERENCES

1. Perepelkin K.E., Andreeva I.V., Meshcheryakova G.P., Morgoeva I.Yu. Izmenenie svoystv paraaramidnykh nitey pri termicheskom starenii // Khimicheskie volokna. – 2006, № 5. S. 44...49.
2. Lysenko V.A., Kriskovets M.V., Sazanov Yu.N., Gubanova G.N., Kulikova E.M., Ugolkov V.L., Lavrent'ev V.K. Osnovy elektrotermicheskikh prevrashcheniy volokon polioksadiazola pri karbonizatsii // Khimicheskie volokna. – 2019, №6. S. 11...16.
3. Makarov B.P., Shablygin M.V., Matrokhin A.Yu., Mikhaylova M.P. Issledovanie i analiz svoystv poliparafenilen-1,3,4-oksadiazol'nykh volokon, prednaznachennykh dlya tekstil'nykh izdeliy // Khimicheskie volokna. – 2019, №5. S. 56...58.
4. Dyankova T.Yu., Stepanova A.B. Izmenenie mekhanicheskikh svoystv paraaramidnykh nitey posle vozdeystviya agressivnoy sredy // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2012, №1 (15). S.22...26.
5. Meshcheryakova G.P., Stepanova A.B. Matematicheskie modeli, opisyyvayushchie mekhanicheskie svoystva termosostarennykh paraaramidnykh nitey // Izv. vuzov. Tekhnologiya legkoy promyshlennosti. – 2012, № 4. S. 12...14.
6. Besshaposhnikova V.I., Zagoruyko M.V. Termostoykie i negoryuchie volokna i tekstil'nye materialy. – М.: RGU imeni A.N. Kosygina, 2020.

Рекомендована кафедрой материаловедения и товарной экспертизы РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 04.06.21.