

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497_2024_6_135

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПАРААРАМИДНЫХ
ТКАНЕЙ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ****STUDY OF THE MECHANICAL PROPERTIES
OF PARARAMID FABRICS AFTER THERMAL EXPOSURE***Я.И. БУЛАНОВ, М.М. БОНДАРЧУК, Е.В. ГРЯЗНОВА, А.В. КУРДЕНКОВА**YA.I. BULANOV, M.M. BONDARCHUK, E.V. GRYAZNOVA, A.V. KURDENKOVA***(Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))****(The Kosygin State University of Russia)**

E-mail: bulanov-yai@rguk.ru

Параарамидные ткани должны обеспечивать защиту человека в экстремальных условиях. Благодаря уникальным свойствам их используют для создания легких текстильных средств бронезащиты. Для данных материалов важным показателем качества является устойчивость к воздействию различных видов средств поражения. Проведено исследование влияния температуры на прочность при продавливании конусообразной насадкой с углом 90°. Исследуемые образцы перед разрушением выдерживались в сушильном шкафу и морозильной камере в течение 100, 200 и 300 часов при -20, +150 и +300 °С, а также подвергались последовательному воздействию температуры в диапазоне от -20 до +300 °С. В результате проведения эксперимента установлены функциональные зависимости механических свойств от температуры и длительности термического воздействия. Установлено влияние структурных характеристик на механические свойства параарамидных тканей.

Para-aramid fabrics must provide human protection in extreme conditions. Due to their unique properties, they are used to create lightweight textile armor protection products. An important quality indicator for these materials is their resistance to various types of weapons. This study was carried out on the effect of temperature on the strength when pushing through a cone-shaped nozzle with an angle of 90°. Before destruction, the studied samples were kept in a drying cabinet and freezer for 100, 200 and 300 hours at -20, +150 and +300 °C, and were also subjected to sequential exposure to temperatures in the range from -20 to +300°C.

As a result of experiment, functional dependences of mechanical properties on temperature and the duration of thermal exposure were established. The influence

of structural characteristics on the mechanical properties of para-aramid fabrics has been established.

Ключевые слова: ткани для бронежилетов, текстильный бронепакет, параарамидные ткани, термическое воздействие, разрывная нагрузка, нагрузка при продавливании.

Keywords: fabrics for body armor, textile armor package, para-aramid fabrics, thermal effects, breaking load, bursting load.

Введение

Параарамидные ткани имеют ряд уникальных свойств, благодаря которым они нашли широкое применение в различных областях. Они обладают очень высокой прочностью по сравнению с другими видами материалов. Это делает их идеальными для создания средств бронезащиты.

Важно, чтобы ткань для бронезащиты была способна выдерживать высокие температуры без потери своих качеств. Снижение прочности при повышенных температурах может быть критическим фактором при проектировании изделий.

Длительное воздействие температуры может привести к разрушению полимеров и уменьшению разрывной нагрузки. Поэтому необходимо изучить процессы, происходящие в материалах под воздействием повышенных температур, и предположить оптимальное время воздействия для предотвращения существенного снижения прочности [1...3].

Материалы и методы исследования

Структурные характеристики исследуемых параарамидных тканей приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Показатель качества	Обозначение	Арт. 84127	Арт. 8353/15	Арт. 5363/5	Арт. 56319	Арт. 86294	Арт. 8601	Арт. 86175	Арт. 86139
Толщина, мм	b	0,23	0,31	0,29	0,24	0,24	0,34	0,30	0,25
Линейная плотность нитей основы, текс	T_o	29,8	56,4	58,0	30,6	29	30	30,2	29,8
Линейная плотность нитей утка, текс	T_y	30,8	63,8	60,6	31,8	33,4	30,4	31,4	31,2
Плотность ткани по основе, число нитей / 10 см	P_o	240	148	140	200	255	235	220	205
Плотность ткани по утку, число нитей / 10 см	P_y	230	150	145	205	255	240	225	195
Линейная плотность ткани, г/м	M'	155,0	194,9	185,3	145,8	163,0	121,8	162,3	141,4
Поверхностная плотность ткани, г/м ²	M_1	147,6	185,6	174,8	138,9	164,7	143,3	147,6	122,9
Переплетение		сарже- вое	полотня- ное	полотня- ное	сарже- вое	полотня- ное	сатино- вое	сарже- вое	полотня- ное

Исследуемые образцы перед разрушением выдерживались в сушильном шкафу и морозильной камере в течение 100, 200 и 300 часов при -20, +150 и +300 °С [4...6].

Исследуемые ткани также подвергались последовательному воздействию температуры в диапазоне от -20 до +300 °С. В качестве критерия для оценки воздействия

температуры использована разрывная нагрузка и нагрузка при продавливании конусообразной насадкой с углом 90°.

Для оценки механических свойств использовалась испытательная система Инстрон серии 4411 [7...10].

Результаты и обсуждения

Результаты испытаний разрывной нагрузки (Н) тканей для бронезащиты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Артикул		100 ч.			200 ч.			300 ч.		
		-20	150	300	-20	150	300	-20	150	300
84127	Основа	3064	3060	3013	2781	2695	2145	2024	2005	1469
	Уток	2994	2805	2763	2559	2455	1919	1594	1476	1139
8353/15	Основа	3969	3857	3507	3167	3153	2394	1900	1577	1412
	Уток	3198	3178	3120	2989	2860	2538	1487	1406	1222
5363/5	Основа	3267	3193	2782	2585	2514	2139	1565	1491	1320
	Уток	3245	3161	3114	3018	2695	2437	1663	1267	767
56319	Основа	2810	2285	1977	1903	1836	1685	1559	1468	1406
	Уток	2699	2522	2408	2363	2318	1832	1351	1324	1178
86294	Основа	4295	3843	3630	3311	3237	2519	1943	1171	1073
	Уток	2518	2400	2293	2211	2088	1847	841	752	729
8601	Основа	2471	2425	2183	2135	2058	2044	1876	1868	1370
	Уток	2457	2389	2346	2248	2183	2004	1414	1342	1229
86175	Основа	2248	2222	2020	1979	1953	1899	1738	1472	1338
	Уток	2347	2216	2111	1947	1924	1707	1429	1315	1184
86139	Основа	2214	2208	2049	1949	1902	1842	1657	1308	1143
	Уток	2369	2284	2022	1922	1838	1800	1116	992	728

Из данных таблицы видно, что ткань арт. 86294 с полотняным переплетением обладает наибольшей разрывной нагрузкой, что может быть важным фактором при выборе материала для конкретного изделия. Ткань арт. 86139 с наименьшей плотностью и разрывной нагрузкой может быть менее подходящей для изготовления средств бронезащиты, где требуется высокая прочность [1...3].

Зависимость разрывной нагрузки от температуры определяется полиномом второго порядка:

$$y = \pm ax \pm bx + c, \quad (1)$$

где y – разрывная нагрузка, Н; x – температура, °С; a, b, c – расчетные коэффициенты.

Изогнутая форма параболы зависимости прочности от времени воздействия температуры 300 °С указывает на более резкое снижение прочности материала при данном временном интервале. Это может быть связано с более интенсивными процессами деформации материала под воздействием повышенных температур.

Результаты испытаний по определению разрывной нагрузки (Н) тканей для бронезащиты после комбинированного воздействия температуры -20/+150 приведены в табл. 3, а после -20/+300 – в табл. 4.

Таблица 3

Артикул		0 ч.	100 ч.	200 ч.	300 ч.
84127	Основа	3460	3055	2371	1500
	Уток	3014	2793	2149	1443
8353/15	Основа	4016	3716	2751	1538
	Уток	3218	3139	2739	1312
5363/5	Основа	3300	3001	2488	1390
	Уток	3276	3130	2680	811
56319	Основа	2813	2277	1821	1461
	Уток	2707	2510	1870	1312

86294	Основа	4308	3711	2936	1084
	Уток	2560	2392	2069	749
8601	Основа	2853	2263	2045	1845
	Уток	2479	2389	2091	1270
86175	Основа	2314	2177	1949	1386
	Уток	2385	2214	1718	1248
86139	Основа	2241	2155	1859	1307
	Уток	2369	2271	1858	927

Таблица 4

Артикул		0 ч.	100 ч.	200 ч.	300 ч.
84127	Основа	3460	2800	2079	1249
	Уток	3014	2593	1825	1121
8353/15	Основа	4016	3332	2345	1294
	Уток	3218	3017	2111	813
5363/5	Основа	3300	2602	1951	1189
	Уток	3276	3068	2075	734
56319	Основа	2813	1923	1675	1002
	Уток	2707	2373	1547	496
86294	Основа	4308	3409	2275	776
	Уток	2560	2287	951	689
8601	Основа	2853	2157	1981	1096
	Уток	2479	2334	1605	725
86175	Основа	2314	2001	1822	1245
	Уток	2385	1998	1608	1104
86139	Основа	2241	2048	1736	1071
	Уток	2369	1941	1529	583

Ткань арт. 86294 показывает наиболее значительное изменение разрывной нагрузки по основе при воздействии температуры $-20/+150$ °С, что может указывать на более высокую степень разрушения полимера нитей данного материала при экстремальных температурных условиях.

Ткани арт. 8601 и 86175 менее подвержены значительным изменениям разрывной нагрузки при таких же условиях температуры.

Ткань арт. 86294 наиболее резко изменяет прочность по основе при воздействии температуры $-20/+300$ °С, в то время как ткань арт. 86175 менее подвержена таким изменениям. Это может указывать на различия в структуре и характеристиках материалов, которые определяют их поведение при высоких температурах.

Информация о ткани арт. 5363/5, которая наиболее резко теряет прочность по утку в зависимости от длительности воздействия температуры, также интересна. Это может быть важным фактором при выборе материала для конкретного применения, особенно если существует потенциальное

воздействие высоких температур на этот материал.

Зависимость прочности от длительности воздействия температуры определяется линейной функцией:

$$y = ax + b, \quad (2)$$

где y – нагрузка при продавливании, Н; x – длительность воздействия, ч; a , b – расчетные коэффициенты.

ВЫВОДЫ

Таким образом, увеличение температуры и длительности ее воздействия может привести к снижению разрывной нагрузки и нагрузки при продавливании конусообразной насадкой у различных видов парамидных тканей. Прочность по основе обычно выше, чем по утку, что подтверждается результатами испытаний тканей арт. 86294 и 86139.

Ткань арт. 86294, выработанная полотняным переплетением, обладает наибольшей разрывной нагрузкой, в то время как ткань арт. 86139, также выработанная

полотняным переплетением с наименьшей плотностью, имеет наименьшую разрывную нагрузку. Это указывает на важность учета структурных характеристик ткани при оценке механических свойств.

При воздействии температуры наиболее изменяют свои свойства ткани арт. 5363/5 и 56319, причем первый образец выработан полотняным переплетением, а второй – саржевым. Это указывает на различия в способности параарамидных тканей сохранять механические свойства при экстремальных условиях, что важно для выбора материалов в зависимости от конкретных требований и условий эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буланов Я.И., Курденкова А.В., Шустов Ю.С. Исследование антипрокольных и антипрорезных свойств параарамидных тканей. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2020. 180 с. – ISBN 978-5-87055-899-8.
2. Курденкова А.В., Шустов Ю.С., Буланов Я.И. Влияние эксплуатационных факторов на свойства параарамидных нитей: моногр. М.: МГУДТ, 2018. 167 с. – ISBN 978-5-87055-625-3.
3. Курденкова А.В., Буланов Я.И. Материалы для специальной одежды. М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2023. 217 с. – ISBN 978-5-00181-388-0.
4. Шустов Ю.С., Кирюхин С.М., Давыдов А.Ф. и др. Текстильное материаловедение: лаб. практикум: учеб. пос. 4-е изд., испр. и доп. М.: ИНФРА-М, 2021. 357 с.
5. Скобова Н.В., Ясинская Н.Н. Оценка функциональных свойств модифицированных полиэфирных нитей и текстильных материалов из них // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 1(403). С. 69...75. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_1_69.
6. Новосад Т.Н., Стасева М.А., Гойс Т.О. и др. Анализ и перспективы развития цифровых методов измерения показателей свойств текстильных материалов и изделий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 3(405). С. 15...33. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_15.
7. Новосад Т.Н., Гойс Т.О., Стасева М.А. и др. Анализ состояния и направления совершенствования оценки качества текстильных материалов и изделий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. № 4(406). С. 5...24. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_4_5.
8. Захаркина С.В., Власенко О.М., Казначеева А.А. Методика построения информационно-измерительной системы разрывной машины на основе клиент-серверной технологии // Известия высших учебных

заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 98...104. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_98.

9. Киселев А.М., Румянцев Е.В., Одинцова О.И., Румянцева В.Е. Современные технологии получения текстильных материалов со специальными свойствами и области их применения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2022. № 2(398). С. 121...133. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_121.

10. Курденкова А.В., Буланов Я.И., Шустов Ю.С. Оценка качества тканей ведомственного назначения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2019. № 6(384). С. 94...98.

REFERENCES

1. Bulanov Ya.I., Kurdenkova A.V., Shustov Yu. S. Investigation of anti-puncture and anti-cutting properties of paraaramide tissues. Moscow: Kosygin Russian State University, 2020. 180 p. – ISBN 978-5-87055-899-8.
2. Kurdenkova A.V., Shustov Yu.S., Bulanov Ya.I. The influence of operational factors on the properties of paraaramide filaments: monograph. Moscow: Moscow State University of Design and Technology, 2018. 167 p. – ISBN 978-5-87055-625-3.
3. Kurdenkova A.V., Bulanov Ya.I. Materials for special clothing. Moscow: Kosygin Russian State University, 2023. 217 p. – ISBN 978-5-00181-388-0.
4. Shustov Yu.S., Kiryukhin S.M., Davydov A.F. et al. Textile materials science: laboratory practice: textbook. 4th ed., ispr. and add. Moscow: INFRA-M, 2021. 357 p.
5. Skobova N.V., Yasinskaya N.N. Evaluation of the modified polyester yarns' functional properties and textile materials made from them // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 1(403). P. 69...75. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_1_69.
6. Novosad T.N., Stasheva M.A., Gois T.O. et al. Analysis and prospects for the development of digital methods for measuring the properties of textile materials and products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 3(405). P. 15...33. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_15.
7. Novosad T.N., Gois T.O., Stasheva M.A. et al. Analysis of state and directions of quality assessment improvement of textile materials and products // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2023. № 4(406). P. 5...24. – DOI 10.47367/0021-3497_2023_4_5.
8. Zakharkina S.V., Vlasenko O.M., Kaznacheeva A.A. Methodology of construction of tensioning machine information-measuring system based on client-server technology // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 2(398). С. 98...104. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_98.

nosti. 2022. № 2(398). P. 98...104. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_98.

9. *Kiselyov A.M., Rumyantsev E.V., Odintsova O.I., Rumyantseva V.E.* Modern technologies for obtaining textile materials with special properties and their fields of application // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022. № 2(398). P. 121...133. – DOI 10.47367/0021-3497_2022_2_121.

10. *Kurdenkova A.V., Bulanov Ya I., Shustov Yu.S.* Quality assessment of departmental purpose tissues //

Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2019. № 6(384). P. 94...98.

Рекомендована кафедрой художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи РГУ им. А.Н. Косыгина. Поступила 23.05.24.
