

УДК 677.5.022

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИИ ПАРАМЕТРОВ
СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КРУЧЕНЫХ НИТЕЙ ИЗ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ**

**RESEARCH AND ANALYSIS OF CORRELATION
OF STRUCTURAL PARAMETERS AND PROPERTIES
OF ALUMINUM OXIDE TWISTED THREADS**

A.B. МЕДВЕДЕВ, К.Э. РАЗУМЕЕВ, Н.Е. ФЕДОРОВА

A.V. MEDVEDEV, K.E. RAZUMEEV, N.E. FEDOROVA

(НПО "Стеклопластик" филиал НПК "Терм",
Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство))

(JSC NPO Stekloplastik,
Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art))

E-mail: 24091955@mail.ru; k.razumeev.@rambler.ru

Структура крученых нитей определяется диаметром элементарных нитей, величиной первой и последующих круток, числом сложений, диаметром крученых нитей. В статье проведены исследования корреляции между диаметром и прочностью элементарных нитей, между зажимной длиной и прочностью комплексных нитей, величины круток и механических свойств, уплотненности и разрывной нагрузки крученых нитей.

The structure of twisted threads is determined by the diameter of the filaments, the size of the first and subsequent twists, the number of folds, the diameter of the twisted threads. The article studies the correlation between the diameter and strength of the filaments, between the clamping length and the strength of the filaments, the magnitude of the twists and mechanical properties, the compaction and breaking load of the twisted filaments.

Ключевые слова: отечественные нити из оксида алюминия, структура крученых нитей, корреляция.

Keywords: domestic filaments made of aluminum oxide, structure of twisted filaments, correlation.

Крученые нити из тугоплавких оксидов металлов (керамические нити) являются исходным материалом для производства гибкой высокотемпературной изоляции в виде

тканей, лент и шнуров. При кручении нитей изменяются их структура, геометрические характеристики (форма поперечного сечения, диаметр, длина, уплотненность), меха-

нические свойства (прочность, деформационная способность) и упругие свойства (жесткость, гибкость). Изменение вышеуказанных свойств при кручении керамических нитей имеет некоторую аналогию с изменениями свойств химических и особенно стеклянных нитей. Но в связи со специфическими свойствами керамических нитей указанные закономерности изменения свойств обладают определенными особенностями. Керамические нити из оксида алюминия российского производства являются новым продуктом для отечественной науки о процессах переработки текстильных волокон и нитей – технологии и первичной обработки текстильных материалов и сырья.

С целью получения исходных данных для проектирования крученых нитей из отечественных керамических нитей проведен анализ структуры крученых нитей из оксида алюминия [1] производства фирм 3M Company США [2] и NITEX (Нидерланды) [3].

Структура крученых нитей определяется следующими параметрами:

- диаметром элементарных нитей;
- величиной первой и последующих круток;
- числом сложений;
- диаметром крученых нитей.

Целью данной работы является исследование и анализ корреляции параметров структуры и свойств крученых нитей из оксида алюминия.

На сегодняшний день комплексные нити из оксида алюминия ФГУП ВИАМ производят в лабораторных условиях. Физико-механические свойства и основные статистические характеристики зарубежных нитей, производимых в условиях промышленного производства, несколько превышают аналогичные характеристики отечественных нитей. В табл. 1 представлены разрывная нагрузка, диаметр и напряжение при разрыве элементарных нитей зарубежного и отечественного производства.

Таблица 1

	Nextel™ 610 Fiber (A0168)			Nextel™ 720 Fiber (A0172)			Отечественная нить ФГУП ВИАМ		
	Pp, сН	d, мкм	σ, МПа	Pp, сН	d, мкм	σ, МПа	Pp, сН	d, мкм	σ, МПа
\bar{Y}	31,5	11,3	3077	23,5	12,2	1964	8,6	9,46	1269
S{Y}	3,88	0,52	348	3,46	0,56	287	0,382	1,13	364,01
C{Y}	12,3	4,6	11,3	14,7	4,5	14,6	4,4	11,9	28,7

Высокие значения коэффициента вариации характерны для высокопрочных материалов, получаемых после термической обработки первичных нитей – оксидных и углеродных. Высокий коэффициент вариации по прочности вызван в том числе наличием дефектов, которые наследуются от исходного материала. Так как значение коэффициента вариации по прочности отечественных нитей не превышает 33%, то совокупность считается однородной. В то время как коэффициент вариации по прочности углеродных нитей может достигать 60% [4].

На рис. 1-а представлены графики зависимости прочности от диаметра элементарных нитей Nextel™ 720 фирмы 3M Company [5] и ВИАМ в логарифмических координатах. На рис. 1-б представлены графики

зависимости прочности от зажимной длины комплексных нитей Nextel™ 720 фирмы 3M Company [6] и нитей ВИАМ в логарифмических координатах. Зажимная длина образцов: 10, 25, 50, 100 и 200 мм.

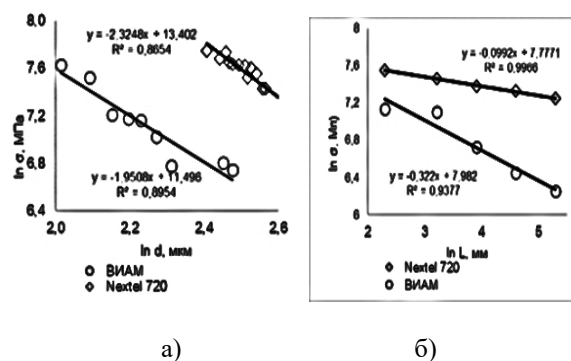


Рис. 1

Уравнение парной линейной корреляционной связи (рис. 1) имеет вид:

$$y = a + bx,$$

где y – среднее значение результативного признака при определенном значении факторного признака x ; a – свободный член уравнения; b – коэффициент регрессии, измеряющий среднее отношение отклонения результативного признака от его средней величины к отклонению факторного признака от его средней величины на одну единицу его измерения (вариация y , приходящаяся на единицу вариации x).

С целью определения степени связанности случайных величин определена функциональная зависимость между диаметром и прочностью элементарных нитей, а также между зажимной длиной и прочностью комплексных нитей в виде коэффициента корреляции $r(X; Y)$. Коэффициент корреляции между диаметром элементарной нити и прочностью равен $-0,8981$, а между зажимной длиной и прочностью $-0,9301$. При отрицательных коэффициентах корреляции между случайными величинами X и Y увеличение одного показателя (d ; L) влечет за собой уменьшение другого (σ), что соответствует теории прочности твердых тел.

Стабильность механических свойств крученых нитей в меньшей степени зависит от распределения элементарных нитей по диаметру в комплексных нитях. На рис. 2 представлены гистограммы распределения по диаметру элементарных нитей Nextel™720 (а) и ВИАМ (б).

Исследование корреляции величины круток и механических свойств крученых нитей проводили путем постановки полного факторного эксперимента с последующим эволюционным планированием [7...9]. Оптимальные значения режимов выработки крученых нитей, полученные по результатам экспериментов, применялись при отработке технологии получения крученых нитей [10], [11].

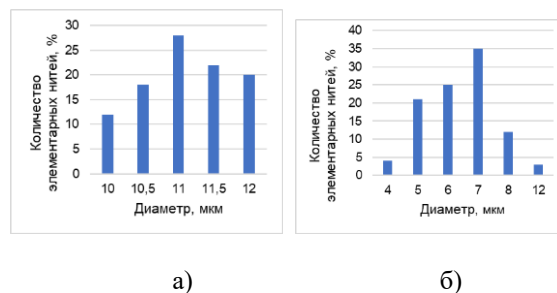


Рис. 2

С целью обеспечения стабильности технологических параметров: натяжения нитей, частоты вращения механизма намотки и крутильного механизма проведена модернизация экспериментального стенда. Результаты модернизации положительно сказались на повышении характеристик механических свойств крученых нитей. В табл. 2 представлены средняя величина удельной разрывной нагрузки и относительного удлинения крученых нитей в два и четыре сложения до модернизации (вариант №1) и после модернизации стенда (вариант №2).

Т а б л и ц а 2

Статистические характеристики	Вариант №1		Вариант №2	
	1×2	1×4	1×2	1×4
Среднее значение удельной разрывной нагрузки, сН/текс	7,87	4,84	7,64	10,42
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	34,71	22,94	13,53	6,11
Среднее значение относительного удлинения, %	0,681	0,633	0,637	0,623
Коэффициент вариации по относительному удлинению, %	21,77	13,85	12,25	7,10

Как можно видеть из представленных в табл. 2 характеристик механических свойств, удельные нагрузки нитей в два сложения варианта №1 и №2 близки, но коэффициент вариации нитей варианта №2 значительно ниже. Удельная разрывная

нагрузка варианта №2 для нитей в четыре сложения выше, а коэффициент вариации ниже, чем у аналогичных нитей варианта №1. Относительное удлинение для нитей практически не отличается, но у нитей варианта №2 коэффициент вариации ниже.

Обработка результатов экспериментов по наработке крученых нитей показала наличие зависимости между числом сложений (стренг) и характеристиками механических свойств, такими как разрывная нагрузка и относительное удлинение. Крученые нити обладают меньшей неровнотой по удельной разрывной нагрузке, чем комплексные нити, причем неровнота снижается с увеличением числа стренг в крученой

нити. Структура и характеристики механических свойств крученых нитей представлены в табл. 3. Из данных, представленных в табл. 3, видно, что удвоение числа стренг крученых нитей приводит к заметному снижению коэффициентов вариации как по разрывной нагрузке, так и по относительному удлинению.

Т а б л и ц а 3

Наименование показателя	Структура крученых нитей					
	1x2	2x2	1x3	2x3	1x4	2x4
Линейная плотность, текс	48	96	60	120	116	232
Разрывная нагрузка, Н	3,69	11,69	6,82	18,61	12,09	24,66
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	7,64	12,18	11,36	15,51	10,42	10,63
Относительное удлинение, %	0,637	0,934	0,590	0,604	0,623	0,739
Коэффициент вариации, %:						
- по разрывной нагрузке	13,53	13,14	23,41	17,87	6,11	4,76
- по относительному удлинению	12,25	3,87	4,8	15,43	7,1	3,93

Влияние числа сложений и диаметра крученой нити на ее механические свойства наиболее полно можно оценить по уплотненности нитей, вычисляемой по формуле:

$$\gamma = \frac{4T}{\pi d^2 1000}, \quad (1)$$

где d – диаметр окружности, описанный вокруг стренг в крученой нити; T – линейная плотность крученой нити.

Диаметр окружности, описанный вокруг стренг в крученой нити (расчетный диаметр) вычислялся по известным формулам Г.В. Соколова [12]. Коэффициент корреляции между уплотненностью, вычисленной по формуле (1), и разрывной нагрузкой однокруточных нитей представлен в табл. 4, а двухкруточных – в табл. 5.

Т а б л и ц а 4

Структура нитей	Линейная плотность, текс	Расчетный диаметр, мм	Уплотненность, г/см ³	Разрывная нагрузка, Н	Коэффициент корреляции
1x2	48	0,372	0,4418	3,69	0,9845
1x3	60	0,431	0,5897	6,82	0,9298
1x4	116	0,494	0,6051	12,09	0,9599

Т а б л и ц а 5

Структура нитей	Линейная плотность, текс	Расчетный диаметр, мм	Уплотненность, г/см ³	Разрывная нагрузка, Н	Коэффициент корреляции
2x2	96	0,744	0,2209	11,69	0,9643
2x3	120	0,862	0,2061	18,61	0,9716
2x4	232	0,988	0,3026	24,66	0,9832

Величина коэффициентов корреляции по модулю для крученых нитей близка к 1, таким образом, изменение уплотненности заметно отражается на изменении разрывной нагрузки. Положительная корреляция у однокруточных и двухкруточных нитей го-

ворит о том, что увеличение уплотненности и числа стренг приводит к увеличению разрывной нагрузки.

Фактически полученный коэффициент корреляции всегда является выборочным, так как он вычисляется на основе ограни-

ченной совокупности, представляющей выборку из генеральной. Поэтому он имеет ошибку выборочности, которая является мерой расхождения между $r_{\text{выбор}}(X; Y)$ и коэффициентом корреляции для генеральной совокупности ρ . В случае малой выборки (число наблюдений меньше 30) для оценки достоверности коэффициента корреляции, то есть для определения соответствия коэффициента корреляции, вычисленного по выборочным данным, действительным размерам связи в генеральной совокупности, определяется средняя ошибка коэффициента корреляции m_r и критерий достоверности t_r .

В случае малой выборки ($N < 30$) значения критерия t_r рассчитываются по формуле:

$$t_r = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{N-2}}}$$

Найденные значения t_r превышают табличное $t_{\text{табл}}$ Стьюдента, следовательно, для заданного уровня доверительной вероятности 0,95 и числа степеней свободы $N - 2$ можно считать нулевую гипотезу отвергнутой, то есть признать данное значение $r_{\text{выбор}}(X; Y)$ достоверными. В табл. 6 приведены расчетные и табличные значения критерия достоверности t .

Т а б л и ц а 6

X	Y	Коэффициент корреляции	$t_{\text{расч}}$	$t_{\text{табл}}$
d	σ	-0,8981	5,403	2,306
L	σ	-0,9301	4,39	2,776
$Y_{1 \times 2}$	P_p	0,9845	9,376	2,776
$Y_{1 \times 3}$	P_p	0,9298	4,37	2,776
$Y_{1 \times 4}$	P_p	0,9599	5,931	2,776
$Y_{2 \times 2}$	P_p	0,9643	6,313	2,776
$Y_{2 \times 3}$	P_p	0,9716	7,123	2,776
$Y_{2 \times 4}$	P_p	0,9832	9,34	2,776

ВЫВОДЫ

1. Проведено исследование и анализ корреляции параметров структуры на разрывную нагрузку.

2. Коэффициент корреляции между диаметром элементарной нити и прочностью равен -0,8981, то есть увеличение диаметра элементарной нити влечет за собой уменьшение прочности.

3. Коэффициент корреляции между зажимной длиной комплексной нити и прочностью равен -0,9301, то есть увеличение зажимной длиной влечет за собой уменьшение прочности.

4. Исследование корреляции величины круток и механических свойств крученых нитей проводилось путем постановки полного факторного эксперимента с последующим эволюционным планированием.

5. Положительная корреляция у однокруточных и двухкруточных нитей говорит о том, что увеличение уплотненности и числа стренг приводит к увеличению разрывной нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев А.В., Разумеев К.Э.* Структура крученых нитей из оксида алюминия// Все материалы. – 2018, № 1. С.24...29.
2. URL:<http://www.3M.com/ceramic>.
3. URL:<http://www.hiltex.nl>.
4. *Перепелкин К.Е.* Армирующие волокна и волоконистые полимерные композиты. – СПб.: Научные основы и технологии, 2009.
5. *Ceramic and Glass Materials. Structure. Properties and Processing.* Editors: James F. Shackelford, Robert H. Doremus. © Springer Science+Business Media, LLC All rights reserved. 2008.
6. *David M. Wilson.* Statistical tensile strength of Nextel™ 610 and Nextel™ 720 fibers // Journal of Materials Science. – Vol. 32, Issue 10, 1997, P.2535...2542.
7. *Medvedev A.V., Kapitanov A.F., Zharikov E.I., Zimichev A.M., Stepanova E.V.* Optimization of the twists of double-twisted high-melting fibers // Fibre Chemistry. – V. 43, № 6, 2012. P. 448...451.
8. *Medvedev A.V., Zharikov E.I.* Study of elongation at break for twisted aluminum oxide yarns with full factorial experimental design for twist optimization // Fibre Chemistry. – V. 48, № 5, 2017. P. 435...438.
9. *Medvedev A.V., Zharikov E.I.* Study imbalance twisted aluminum oxide optimization conditions// Fibre Chemistry. – 2017. P. 40...42.

10. Медведев А.В., Разумеев К.Э. Крученые нити из оксида алюминия для изделий технического назначения // Швейная промышленность. – 2014, №2. С. 18...20.

11. Медведев А.В., Разумеев К.Э. Крученые нити из оксида алюминия для термоэлектрической изоляции гибких термопар// Технология металлов. – 2016, №4. С. 34...39.

12. Соколов Г.В. Вопросы теории кручения волокнистых материалов. – Л.: Гизлегпром, 1957.

REFERENCES

1. Medvedev A.V., Razumeev K.E. Struktura kruchenykh nitey iz oksida alyuminiya// Vse materialy. – 2018, № 1. S.24...29.

2. URL:<http://www.3M.com/ceramic>.

3. URL:<http://www.hiltex.nl>.

4. Perepelkin K.E. Armiruyushchie volokna i voloknistye polimernye kompozity. – SPb.: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2009.

5. Ceramic and Glass Materials. Structure. Properties and Processing. Editors: James F. Shackelford, Robert H. Doremus. © Springer Science+Business Media, LLC All rights reserved. 2008.

6. David M. Wilson. Statistical tensile strength of Nextel™ 610 and Nextel™ 720 fibers // Journal of Ma-

terials Science. – Vol. 32, Issue 10, 1997, P.2535...2542.

7. Medvedev A.V., Kapitanov A.F., Zharikov E.I., Zimichev A.M., Stepanova E.V. Optimization of the twists of double-twisted high-melting fibers // Fibre Chemistry. – V. 43, № 6, 2012. P. 448...451.

8. Medvedev A.V., Zharikov E.I. Study of elongation at break for twisted aluminum oxide yarns with full factorial experimental design for twist optimization // Fibre Chemistry. – V. 48, № 5, 2017. P. 435...438.

9. Medvedev A.V., Zharikov E.I. Study imbalance twisted aluminum oxide optimization conditions// Fibre Chemistry. – 2017. P. 40...42.

10. Medvedev A.V., Razumeev K.E. Krucheny niti iz oksida alyuminiya dlya izdeliy tekhnicheskogo naznacheniya // Shveynaya promyshlennost'. – 2014, №2. S. 18...20.

11. Medvedev A.V., Razumeev K.E. Krucheny niti iz oksida alyuminiya dlya termoelektricheskoy izolyatsii gibkikh termopar// Tekhnologiya metallov. – 2016, №4. S. 34...39.

12. Sokolov G.V. Voprosy teorii krucheniya voloknistykh materialov. – L.: Gizlegprom, 1957.

Рекомендована кафедрой текстильных технологий РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 02.06.20.