

УДК 677.024.52

## Влияние крутки полиэфирных нитей на формирование пористой структуры и свойства армирующих тканей для композиционных материалов

**Силина Т. В.<sup>1</sup>,  
научный сотрудник  
Левакова Н. М.<sup>1</sup>,  
генеральный директор, к.т.н.,  
Юхин С. С.<sup>2</sup>, д.т.н., проф.**

<sup>1</sup>ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», г. Москва,  
Российская Федерация

<sup>2</sup>Российский государственный  
университет им. А. Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство),  
г. Москва, Российская Федерация

*Реферат.* В работе проведено комплексное исследование влияния степени крутки полиэфирных нитей линейной плотностью 27,8 текс на формирование структуры и свойств армирующих тканей. Выявлено, что степень скручивания определяет основные характеристики материала – как прочностные, так и показатели воздухопроницаемости. Определён критический показатель скручивания – 300 кручений на метр, при котором меняются свойства материала. Изучено, как расстояние между волокнами влияет на способность ткани пропускать воздух.

*Ключевые слова:* полиэфирные нити, степень крутки, армирующие ткани, пористая структура, воздухопроницаемость, разрывная нагрузка, композиционные материалы.

Современные отрасли промышленности, такие как аэрокосмическая, автомобилестроение и производство специализированных защитных материалов, предъявляют повышенные требования к характеристикам используемых материалов. Композиты на основе армирующих текстильных структур и полимерных матриц занимают в этом ряду ключевое место благодаря способности сочетать высокую удельную прочность и возможность целенаправленного управления эксплуатационными свойствами [1]. Особый интерес представляют тканепленочные композиты, в которых армирующая ткань обеспечивает механическую прочность и стабильность формы, а полимерное покрытие или пропитка придают материалу герметичность, стойкость к воздействию сред и другие специальные свойства.

Эффективность таких материалов в значительной степени определяется не только прочностными характеристиками армирующей ткани, но и её пористой структурой, которая влияет на адгезию, равномерность нанесения и проникновение полимерного покрытия, а также на итоговые физико-механические свойства композита. Одним из ключевых параметров, позволяющих проектировать армирующие ткани, является степень крутки нитей, формирующих её структуру. Крутка существенно влияет на расположение волокон в нити, её диаметр, жёсткость и способность к деформации в составе ткани, что в конечном итоге определяет структуру пор и особенности взаимодействия с полимерной матрицей.

В связи с этим, актуальной задачей является установление количественных взаимосвязей между степенью крутки полиэфирных нитей, структурой, формируемой на их основе

ткани, её пористостью, воздухопроницаемостью и механическими свойствами. Целью настоящего исследования является комплексный анализ влияния крутки нитей утка на формирование пористой структуры и физико-механические свойства армирующей ткани для последующего использования в композиционных материалах.

В работе исследовались полиэфирные комплексные нити линейной плотности 27,8 текс с различной степенью крутки в направлении «Z»: 0, 130, 300 кр/м. Указанный диапазон был выбран для изучения влияния степени крутки на структурные и функциональные свойства нитей, а также на их поведение в составе армирующих тканей. Результаты исследования физико-механических характеристик полиэфирных нитей представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Физико-механические характеристики полиэфирных комплексных нитей линейной плотности 27,8 текс при различной степени крутки**

Наименование показателей	Фактические показатели		
	0 кр/м «Z»	130 кр/м «Z»	300 кр/м «Z»
Диаметр нити, мкм (мм)	0,76	0,61	0,25
Разрывная нагрузка нити, Н	18,2	16,93	16,65
Удельная разрывная нагрузка, сН/текс	66	61,4	58
Удлинение нити при разрыве, %	7,81	7,94	14
Направление крутки	-	Z	

В результате проведенных исследований установлено существенное влияние степени крутки на физико-механические свойства полиэфирных нитей. Анализ геометрических параметров показал, что с увеличением крутки от 0 до 300 кр/м происходит уплотнение структуры нити, что проявляется в закономерном уменьшении диаметра с 0,76 мкм до 0,25 мкм.

Исследование прочностных характеристик выявило выраженную тенденцию снижения удельной разрывной нагрузки с ростом крутки с 66 сН/текс для некрученной нити до 58 сН/текс для нити с круткой 300 кр/м. Это снижение обусловлено возникновением внутренних напряжений и деформацией волокон при высоких уровнях крутки, что приводит к снижению эффективности использования прочностного потенциала элементарных волокон. Удлинение при разрыве демонстрирует резкое увеличение с 7,81 % до 14 % при возрастании крутки до 300 кр/м. Такое поведение объясняется увеличением степени изгиба длины волокон [2].

На основе указанных нитей было изготовлено три варианта армирующих тканей плотняного переплетения. Во всех образцах в качестве основы использовалась полиэфирная нить линейной плотностью 27,8 текс, 300 кр/м в направлении Z. В утке применялись

полиэфирные нити той же линейной плотности с круткой: 0, 130, 300 кр/м. Такой подход позволил изучить влияние крутки нитей в утке на структурные и физико-механические свойства ткани. В таблице 2 представлены физико-механические показатели армирующей ткани.

**Таблица 2 – Физико-механические показатели армирующей ткани**

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Основа	Нить ПЭ комплексная 27,8 текс 300 кр/м «Z»		
Уток	Нить ПЭ комплексная 27,8 текс 0 кр/м «Z»	Нить ПЭ комплексная 27,8 текс 130 кр/м «Z»	Нить ПЭ комплексная 27,8 текс 300 кр/м «Z»
Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	145,52	147,02	148,67
Разрывная нагрузка полоски ткани 50x200 мм, Н			
– по основе	2120	2020	2070
– по утку	1940	1910	1630
Удлинение при разрыве полоски пробы ткани (50 x 200) мм, %			
– по основе	17,4	21,3	19,1
– по утку	11	12	16,2
Размер пор, мм			
– по основе	0,4	0,6	0,6
– по утку	0,11	0,20	0,21
Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с	32,7	64,1	189,6
Диаметр нити в ткани по горизонтали, мм			
– по основе	0,30	0,33	0,33
– по утку	0,35	0,27	0,26

Анализ влияния крутки уточных нитей на свойства ткани выявил комплекс зависимостей, определяющих функциональные характеристики армирующей ткани. Исследование трех вариантов ткани с идентичной основой (нить ПЭ 27,8 текс 300 кр/м «Z») и различной круткой утка (0, 130 и 300 кр/м) продемонстрировало существенное изменение ключевых параметров.

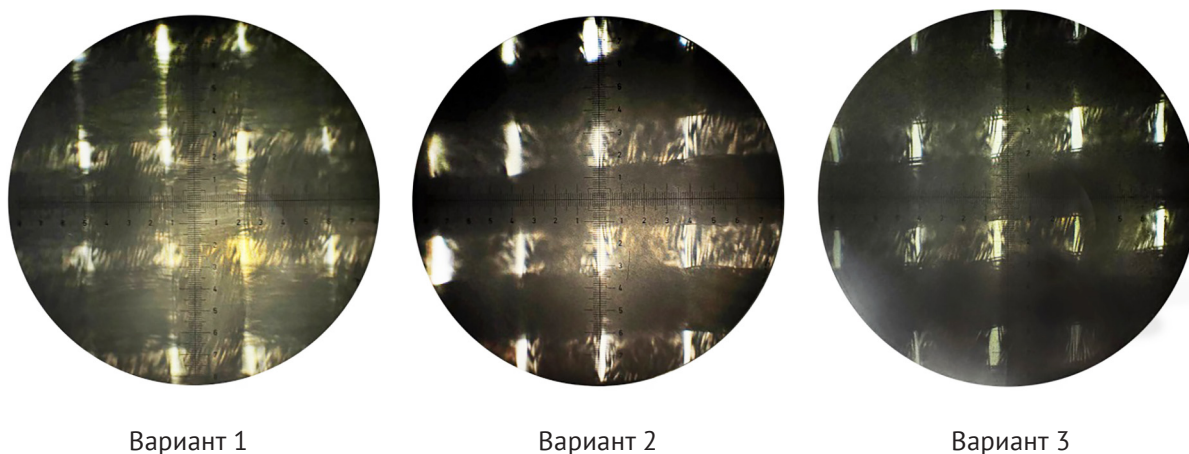
Разрывная нагрузка в направлении утка закономерно снижалась с увеличением крутки, что коррелирует с уменьшением прочностных характеристик самих нитей. Напротив, в направлении основы, где использовалась нить постоянной крутки, значения разрывной

нагрузки оставались стабильными (2120, 2020, 2070 Н), демонстрируя незначительное влияние вариаций утка на прочность системы основы.

Установлено, что образец с круткой утка 300 кр/м демонстрирует максимальное относительное удлинение при разрыве, достигающее 14 %. Высокая степень крутки создает выраженную рельефную структуру нити.

Проведенные исследования выявили наличие критического уровня крутки, составляющего 300 кр/м, при котором наблюдается существенное изменение прочностных характеристик полиэфирных нитей. Экспериментальные данные демонстрируют, что при достижении данного порогового значения происходит статистически значимое снижение разрывной нагрузки на 12–15 % по сравнению с образцами меньшей крутки (0 и 130 кр/м). Важно отметить, что данное явление обусловлено достижением предела межволоконного взаимодействия в структуре нити, при котором нарушается оптимальное распределение нагрузок между элементами структуры [3].

Для исследования структуры нитей и тканей применялся микро- и макропроектор Projectina с 10-кратным увеличением. Проведенный анализ позволил оценить влияние крутки на геометрические параметры нитей, включая диаметр, форму поперечного сечения. На рисунке 1 представлены фото тканей.



**Рисунок 1 – Фото армирующих тканей**

Установлены изменения геометрических параметров нитей в ткани. Если в свободном состоянии наблюдается закономерное уменьшение диаметра нити с ростом крутки (от 0,76 мм при 0 кр/м до 0,25 мм при 300 кр/м), то в структуре ткани происходит выравнивание этих показателей. Нить с высокой круткой (300 кр/м) демонстрирует меньше диаметр (0,26 мм) по сравнению с малой круткой нити (0,35 мм при 0 кр/м). Данное явление объясняется различным поведением нитей под механическим воздействием: нити с малой круткой подвергаются значительной деформации и сплющиванию, в то время как нити с высокой круткой сохраняют структурную целостность благодаря повышенной жесткости.

Ключевым результатом исследования стало установление влияния расположения промежутков между волокнами в нитях на воздухопроницаемость ткани. Несмотря на сравнительную одинаковость порядков величин сквозных пор между нитями (0,4–0,6 мм), воздухопроницаемость возросла в 5,8 раза – с 32,7 до 189,6  $\text{дм}^3/\text{м}^2/\text{с}$ .

Механизм этого явления заключается в изменении расположения промежутков между волокнами:

1. Нити без крутки (0 кр/м) образуют хаотичную структуру с извилистыми мелкими полостями между волокнами, создающими высокое сопротивление воздушному потоку.

2. Нити с круткой 300 кр/м формируют систему упорядоченных каналов между волокнами, ориентированных вдоль оси нити и обеспечивающих высокий показатель воздухопроницаемости.

В результате комплексного исследования влияния крутки полиэфирных нитей на свойства армирующих тканей получены следующие выводы:

- прочностные характеристики материалов демонстрируют четкую зависимость от степени крутки нитей утка;
- выявлен критический порог крутки 300 кр/м, превышение которого приводит к статистически значимому снижению разрывной нагрузки на 12–15 %;
- установлена максимальная величина относительного удлинения при разрыве (14 %) для образцов с круткой 300 кр/м;
- определена обратная корреляция между уровнем крутки и разрывной нагрузкой в направлении утка.

#### Список использованных источников

1. Мэттьюз, Ф. Композитные материалы. Механика и технология : учеб. для студентов физ. и материаловед. специальностей / Ф. Мэттьюз, Р. Ролингс. – М.: Техносфера, 2004. – 406 с.
2. Чайкин, В. А. Особенности формирования механических свойств крученых нитей / В. А. Чайкин, П. А. Дятлова // Текстильная промышленность. – 2015. – № 4.
3. Полушкин, А. А. К вопросу кручения комплексных нитей / А. А. Полушкин, А. М. Чельшев, В. А. Чайкин, П. А. Дятлова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 6С (295). – С. 39–41.