

5. Абронин И.А., Ракитина В.А., Грибанов В.А.// Квантово-химический расчет водородных связей. Хим. волокна, 2005, №6, с 81-85
6. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, Л.В. Волкова, М.В. Шаблыгин// Особенности водородных связей в ароматических полиамидах, содержащих бензимидазольные группировки, по данным квантово-химических расчетов. Хим. волокна, 2015 №5, с 40-43
7. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, В.А. Ракитина, М.В. Шаблыгин.// Модельные квантово-химические расчеты водородных связей между полимерными молекулами в волокнах типа АРМОС. Материалы международного семинара «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» SMARTEX-2013. Иваново, 2013, с.32-34.
8. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, Л.В. Волкова, М.В. Шаблыгин // Особенности водородных связей в ароматических полиамидах, содержащих бензимидазольные группировки, по данным квантово-химических расчетов. Хим. волокна, 2015 №5, с 40-43

УДК 677.074.1

РАЗРАБОТКА СТРУКТУР ТКАНЕЙ ДЛЯ МЯГКОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКООБЪЕМНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ

DEVELOPMENT OF STRUCTURES OF FABRICS FOR MILD BODY ARMOR WITH THE USE OF HIGH-SIZE AND COMBINED THREADS

П.Е. Сафонов¹, Н.М. Левакова¹, С.С. Юхин²
P.E. Safonov¹, N. M. Levakova¹, S.S. Yukhin²

¹ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», (Москва)

²Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)

¹TEKS-CENTRE Ltd (Moscow)

²Russian State University "A.N. Kosygin" (Technology. Design. Art), (Moscow)

E-mail: info@teks-centre.ru, sergeyyukhin@yandex.ru

Представлены результаты разработки защитных арамидных тканей с использованием высокообъемных и комбинированных неоднородных нитей. Подтверждена целесообразность использования высокообъемных нитей для повышения осколочной стойкости арамидных тканей и целесообразность использования комбинированных нитей со стальной оплеткой для защиты от холодного оружия.

Ключевые слова: арамидные нити, текстурированные высокообъемные нити, комбинированные неоднородные нити, противоосколочная стойкость ткани.

The results of the development of protective aramid fabrics using high-size and combined heterogeneous threads are presented. The expediency of the use of high-size threads to increase the fragmentary resistance of aramid fabrics and the feasibility of using combined threads with steel braid for protection against cold weapons is confirmed.

Keywords: aramid threads, textured high-size threads, combination of heterogeneous threads, ballistic resistance of the fabric.

При проектировании рациональных структур защитных тканей на основе высокопрочных и высокомодульных арамидных нитей необходимо иметь четкие представления о механизмах разрушения той или иной структуры при воздействии поражающих элементов определенной формы и с определенной скоростью (энергией).

На основании проведенных ранее исследований [1] показано, что баллистическая эффективность (противоосколочная стойкость) тканевого пакета зависит от структуры использованных нитей (филаментность нити, степень извитости и ориентация филаментов).

Так установлено, что с уменьшением количества кручений комплексной нити наблюдается тенденция к увеличению показателя скорости непробития (V_{50}) осколком, это объясняется увеличением полезной площади нити в структуре ткани, в результате чего в работу деформирования при внедрении поражающего элемента одновременно включается максимальное количество филаментов. Тем самым можно сделать вывод о том, что максимально возможное количество, одновременно участвующих в деформировании ткани филаментов будет в случае, когда комплексная нить имеет крутку 0 кр./м.

Однако существуют предпосылки к дальнейшему увеличению полезной площади комплексной нити в структуре ткани, путем придания ей повышенной объемности. Нити с повышенной объемностью получили название текстурированных, основным признаком, отличающим текстурированные нити от других видов нитей, является извитая форма филаментов. Извитость филаментам в нити придается путем механической деформации или тепловой обработки [2].

Известно [3] об удачном применении высокообъемных текстурированных параарамидных нитей для изготовления структур тканей, защищающих от осколков, пуль и холодного оружия. Авторами предложено сообщать извитость нитям Тварон способом роспуска трикотажного полотна. Однако использованный способ текстурирования является весьма трудоемким, так как необходимо сначала связать трикотажное полотно, термофиксировать его в автоклаве, затем распустить на отдельные нити и потом из полученных извитых нитей выработать ткань. Очевидно, что в результате описанных операций арамидные нити могут значительно повредиться, что не позволит реализовать их свойства в полной степени [4].

Для проверки предположения, согласно которому использование высокообъемных арамидных нитей позволит повысить защитные свойства ткани при воздействии поражающего элемента, рассмотрим более простой способ текстурирования – классический способ.

Классический способ текстурирования заключается в дополнительном кручении комплексной нити в направлении заводской крутки, термической обработке и раскручивании в обратном направлении до 0 ± 20 кр./м. Объект исследования – нить Руслан 29,4 текс с заводской круткой 100 кр./м предложено докручивать до 280...850 кр./м в направлении «Z», затем термообработать и после этого раскручивать в направлении «S» до 0 ± 20 кр./м.

На рис. 1 показана нить Руслан 29,4 текс до и после текстурирования классическим способом. Изменения, произошедшие со структурой нити при текстурировании очевидны – нить приобрела пространственную извитость и увеличенный объем.

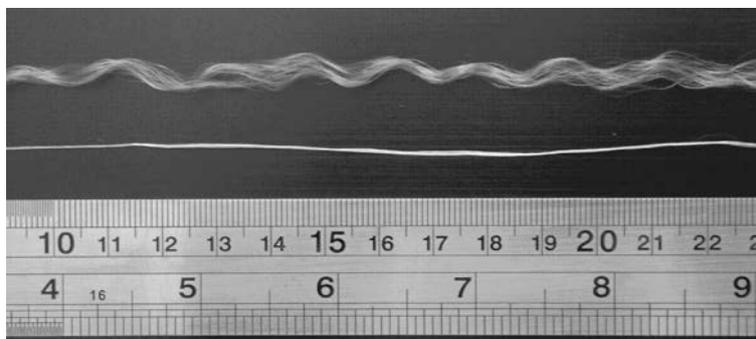


Рис. 1. Текстурированная высокообъемная нить (вверху) в сравнении с нитью Руслан 29,4 текс 0 кр./м (внизу)

В табл. 1 представлены показатели свойств, характеризующие защитную способность ткани: значения усилий вытягивания нитей основы и утка, и показатель противоосколочной

стойкости, выраженный через скорость V_{50} . Для определения целесообразности использования высокообъемных нитей Руслан предложено ввести их в систему утка ткани саржевого переплетения. В табл. 1 принято следующее обозначение нитей: для нетекстурированных нитей указывается величина и направление крутки, например 100 Z или 0 S, а для высокообъемных нитей указывается величина крутки при текстурировании, например T 280 или T 500.

Таблица 1

Значения показателей, характеризующих защитные свойства саржевой ткани 150 г/м²

Образец	Крутка, кр./м		Усилие вытягивания, Н		Скорость V_{50} , м/с
	<i>Осн.</i>	<i>Ут.</i>	<i>Осн.</i>	<i>Ут.</i>	
<i>С</i>	100 Z	0 S	7,80	6,05	556,7
<i>О-1</i>	100 Z	T 500	6,29	7,52	545,7
<i>О-2</i>	50 Z	T 500	6,69	7,78	570,5
<i>О-3</i>	100 Z	T 280	7,02	5,27	567,0

Примечание: в обозначении образца ткани буквы *С* – серийный и *О* – опытный.

Из данных табл. 1 следует, что однозначного вывода о целесообразности использования текстурированных арамидных нитей сделать нельзя. При испытаниях осколочной стойкости пакетов из 20 слоев ткани в сухом состоянии установлено, что наиболее высокие показатели скорости V_{50} достигнуты именно для опытных образцов с текстурированными нитями в утке (*О-2* и *О-3*). Но с другой стороны, опытный образец *О-1*, также содержащий текстурированные нити, обнаружил минимальное значение скорости непробития V_{50} .

Возможное объяснение такого разброса в результатах состоит в том, что у процесса текстурирования есть негативная сторона – это снижение свойств нити при растяжении вследствие повреждений филаментов. Удельная разрывная нагрузка текстурированных нитей Руслан 29,4 текс, в зависимости от сообщаемой величины крутки при текстурировании, составляет всего 149-164 сН/текс, а удлинение 2,2-2,4%.

Наряду с высокообъемными текстурированными нитями неожиданный положительный эффект при изготовлении защитных арамидных тканей могут обеспечить различные комбинированные структурно-неоднородные нити.

Среди всего возможного разнообразия комбинированных нитей [5] рассмотрим неоднородные обкрученные (оплетенные) нити, сердечник которых выполнен из арамидной нити Руслан, а оплетка из стальной микропроволоки. Предполагается, что использование подобных нитей в структурах тканей позволит управлять их способностью вытягиваться и раздвигаться при воздействии поражающего элемента.

На рис. 2 представлены фотографии образцов комбинированных нитей с арамидным сердечником и одиночной или двойной стальной оплеткой. Удельная разрывная нагрузка комбинированных нитей составляет 172...215 сН/текс, удлинение 3,5...3,9%, а работа разрыва 35...43 Дж/г.

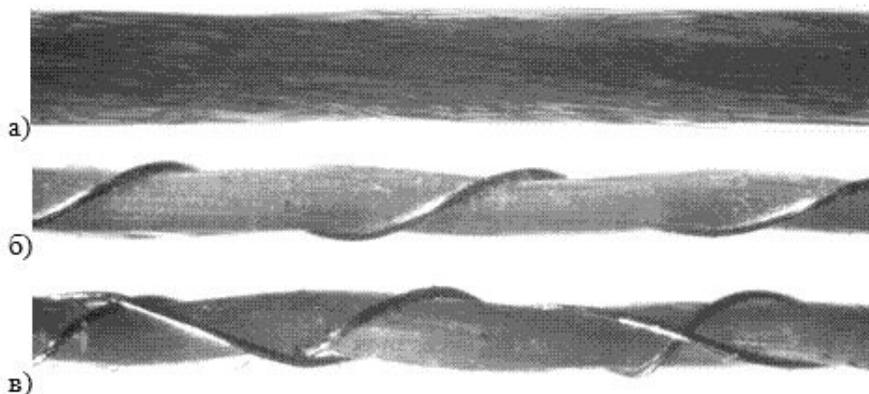


Рис. 2. Варианты комбинированных неоднородных нитей: а) исходная нить Руслан; б) нить Руслан, обкрученная стальной микропроволокой в одном направлении; в) нить Руслан, обкрученная в двух противоположных направлениях

В рамках проводимого исследования предложено ввести комбинированные нити со стальной проволокой в систему утка ткани саржевого переплетения. Прежде всего, исследуем то, как повлияло использование комбинированных нитей на усилие вытягивания основы и утка из ткани, раздвигающую нагрузку вдоль систем нитей и стойкость при прорезании ножом [6]. В табл. 2 представлены значения перечисленных показателей свойств для серийного образца ткани и образца ткани с комбинированными, обкрученными стальной микропроволокой, нитями утка.

Установлено, что после введения в уток комбинированных нитей наблюдается увеличение усилий вытягивания основы и утка в 3,2 и 2,5 раза, соответственно, раздвигающая нагрузка систем нитей также увеличивается – основы относительно утка на 10% и утка относительно основы на 29%. Очевидно, что степень закрепления нитей в структуре ткани существенно увеличилась благодаря использованию комбинированных нитей утка.

Таблица 2

Значения показателей, характеризующих защитные свойства саржевой ткани, содержащей комбинированные нити со сталью

Образец	Усилие вытягивания, Н		Раздвигающая нагрузка, Н		Максимальная нагрузка при внедрении ножа, Н		Работа внедрения ножа, Дж/г	
	Осн.	Ут.	Осн.	Ут.	Осн.	Ут.	Осн.	Ут.
<i>Система нитей</i>								
Серийный	5.0	5.0	16.9	16.7	116.7	75.7	12.1	9.0
Опытный	16.1	12.6	18.6	21.6	189.4	189.5	15.5	15.1

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для обеспечения эффективной защиты от колющего или режущего оружия необходимо выбирать такие структуры тканей, в которых нити не имеют возможность относительно свободно вытягиваться и раздвигаться, использование разработанных комбинированных нитей со стальной оплеткой позволяет удовлетворить этому условию.

В заключение исследуем противоосколочную стойкость образцов тканей до и после введения комбинированных нитей в систему утка. В табл. 3 представлены результаты испытаний скорости V_{50} по итогам 20 зачетных выстрелов. Испытания проводились следующим образом: в качестве базового образца выбран пакет из 20 слоев серийной ткани

150 г/м², далее в рамках эксперимента в пакеты с определенным чередованием были введены слои ткани с комбинированными нитями.

Из данных табл. 3 следует, что при введении в состав пакета опытных слоев тканей происходит снижение осколочной стойкости на 27...37 м/с для всех рассмотренных комбинаций слоев. Снижение осколочной стойкости пакета объясняется именно тем фактом, что опытные ткани с комбинированными нитями в утке препятствуют свободному вытягиванию нитей, т.е. то, что являлось преимуществом при защите от колющего или режущего оружия с точки зрения обеспечения эффективной осколочной стойкости является недостатком тканей из комбинированных нитей.

Таблица 3

Результаты испытаний осколочной стойкости пакетов ткани

Обозначение пакета	Чередование слоев ткани	Поверхностная плотность пакета, кг/м ²	Скорость V ₅₀ , м/с	Число пробитий	Число непробитий
<i>Серийный</i>	20 сл.	2,94	559,05	12	8
<i>Опыт 1</i>	19 сл. - 11/8	2,99	531,70	15	5
<i>Опыт 2</i>	19 сл. – 8/4/7	2,89	529,40	12	8
<i>Опыт 3</i>	19 сл. – 6/8/5	2,99	521,73	13	7

Примечание: в обозначениях чередования слоев жирным шрифтом выделены слои ткани, содержащие в утке комбинированные нити со стальной проволокой.

На рис. 3 показаны фотографии пакетов после испытаний, видно, что из пакетов, содержащих слои ткани с комбинированными нитями, нити не вытягиваются осколком.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о создании предпосылок для дальнейшего повышения защитной способности тканей из арамидных нитей Руслан. Для защиты от колющего или режущего оружия предложено использовать комбинированные неоднородные нити с арамидным сердечником и стальной микропроволокой в качестве оплетки, подобные нити позволяют увеличить степень закрепления нитей основы и утка в элементе ткани. Для повышения осколочной стойкости представляется целесообразным использование в структуре ткани высокообъемных нитей, полученных путем текстурирования комплексных нитей. Пространственная ориентация филаментов в текстурированной нити должна способствовать более раннему торможению осколка в пакете.

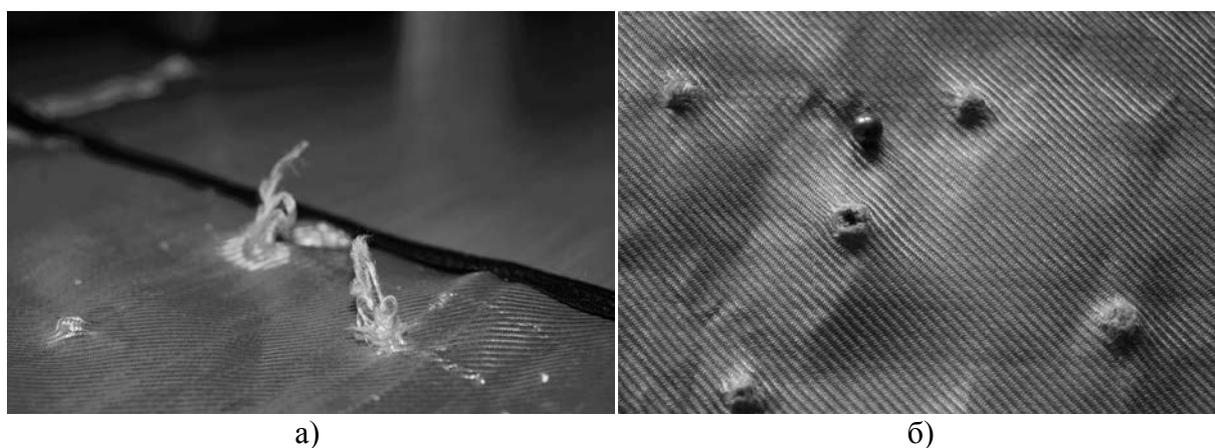


Рис. 3. Фотографии пакетов из ткани: а) серийный пакет; б) в составе пакета слои с комбинированными нитями

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Буланова М.Е., Юхин С.С. Разработка технологии изготовления и структуры ткани с повышенной противоосколочной стойкостью // Вопросы оборонной техники. Серия 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – М.: «НТЦ «Информтехника» - филиал ФГУП «НИИСУ», 2015. Вып. 4(179). с. 9-19.
2. Смирнов Л.С., Шавлюк В.Н. Текстурированные нити. – М.: Лёгкая индустрия, 1979. – 232 с.
3. Беттгер К., Хартерт Р. Устойчивое к пробиванию текстильное полотно и изделие, содержащее такое текстильное полотно / Пат. № 2525809 РФ, МПК D02G 3/44; заявка № 2012112958/12; заявл. 27.08.2010; опуб. 20.08.2014 Бюл. № 23.
4. Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Юхин С.С., Буланова М.Е. Разработка рациональных структур мягкой баллистической защиты на основе арамидных нитей Руслан // Вопросы оборонной техники. Серия 15. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. – М.: ФГУП «НТЦ «Информтехника», 2013, Вып. 3(170) – 4(171), с. 27-33.
5. Сафонов П.Е., Левакова Н.М., Юхин С.С. Проектирование структур защитных тканей с применением комбинированных огне- и термостойких нитей // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX-2017) [Текст]: сб. материалов XX Междунар. науч.-практ. форума, 22-26 мая 2017 года. – Иваново: ИВГПУ, 2017. – с. 328-333.
6. Сафонов П.Е., Юхин С.С. Особенности деформирования арамидных тканей различных структур при низкоскоростном внедрении индентора. Обзор // Химические волокна. 2016, № 6, с. 34-41.