

КУЛИРНЫЙ ТРИКОТАЖ КАК НАПОЛНИТЕЛЬ КОМПОЗИТОВ

THE WEFT-KNITTED FABRIC AS A COMPOSITE REINFORCING COMPONENT

A.V. ТРУЕВЦЕВ, Е.С. ЦОБКАЛЛО

A.V. TRUEVTSEV, E.S. TSOBKALLO

(Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна)

(St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design)

E-mail: alexistrue@rambler.ru

Обобщены работы, проведенные в 2008-2021 гг. Получены и исследованы образцы композитов на основе эпоксидной смолы и кулирного трикотажа переплетений кулирная гладь и ластик 1+1. Установлено, что растяжимость трикотажа не оказывает существенного влияния на прочность армируемого им композита. Максимальная прочность композита достигается при модуле петли выше 35. По механическим свойствам композит с кулирным трикотажным наполнителем очень близок к композитам с квазинепрерывным армированием, например, отдельными однонаправленными нитями. Показана возможность применения кулирного трикотажа для получения композиционных изделий сложной формы.

The paper presents a glimpse on investigations made at St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design in during 2008-2021 devoted to the estimation of strength of the textile composites reinforced by plain-knitted and Rib 1 x 1 structures. The obtained data demonstrate that the knitted fabric strain properties don't affect on the strength of the composite. The best mechanical properties can be reached if the ratio of loop length to the yard diameter is greater than 35. The obtained data demonstrate that knitted structure behavior in the composite material is equal to that of parallel yarns of limited length reinforcing quasi-continuous composites. The examples of application the weft-knitted structures for the producing the composite objects of high curvature surfaces are shown.

Ключевые слова: композиционный материал, прочность, растяжимость, кулирная гладь, ластик 1+1.

Keywords: reinforced composite, strength, weft-knitted fabric, plain-knitted structure, Rib 1x1.

Введение

Современная эпоха диктует необходимость разработки новых конструкционных материалов, и одним из наиболее перспективных подходов к решению этой задачи по праву считается создание текстильно-армированных композитов. Ткани и нетканые материалы в качестве наполнителя конструкционных композитов используются достаточно давно [1]. В последние 15...20

лет их начал активно вытеснять мультиаксиальный основовязанный трикотаж [2], представляющий собой несколько систем параллельных нитей, пересекающихся друг с другом под определенным углом и скрепленных каким-либо основовязанным переплетением. Однако представить в роли наполнителя "обычный" кулирный трикотаж еще совсем недавно представлялось маловероятным, поскольку, согласно клас-

сическим представлениям теории композитов, материал годится для армирования только в том случае, если его разрывное удлинение меньше, чем у матрицы, а прочность – больше, иначе от армирования не будет достигнуто никакого полезного эффекта [3].

Поскольку кулирный, или поперечновязанный, трикотаж не соответствует данным требованиям [4], то и сама возможность его применения в подобном качестве считалась бессмысленной. Это мнение настолько укрепилось в сознании специалистов, что если структуры кулирного трикотажа и фигурировали в публикациях, посвященных композитам, то лишь в качестве грунта для прокладывания горизонтальных или вертикальных уточных нитей, воспринимающих внешнюю нагрузку [5], [6]. Такие моно- или биаксиальные полотна по свойствам кардинально отличаются от "обычного" кулирного трикотажа [7], приближаясь по растяжимости к тканям и мультиаксиальному основовязаному трикотажу.



Рис. 1

Тем не менее, уникальные свойства поперечновязанных трикотажных полотен, и прежде всего способность принимать сложные пространственные формы путем вязания изделия по заданному контуру, а также гипотетическая возможность обтягивания трикотажем различных поверхностей (рис. 1 – обтягивание кулирным трикотажем пехотной каски образца 1915 года для изготовления реплики исторического объекта (из коллекции проф. А. В. Арановича)) с по-

следующим заливанием пластмассой, открывающие захватывающие перспективы, эпизодически привлекали внимание исследователей. Однако немногочисленные статьи, рассматривавшие данную проблему, ограничивались описанием (или прогнозированием) механических свойств вязаных материалов и рассуждением о возможностях их использования в качестве армирующего компонента композита [8], [9]. О каких-либо результатах практической реализации упомянутых возможностей в них не упоминалось.

Вместе с тем, описанная выше привлекательность кулирного трикотажа для получения изделий сложной формы была столь высока, что на кафедре технологии и художественного проектирования трикотажа (ТХПТ) и кафедре инженерного материаловедения и метрологии (ИММ) Санкт-Петербургского университета промышленных технологий и дизайна был проведен ряд экспериментов, подтвердивших возможность эффективного армирования композитов поперечновязанным трикотажем [10]. В частности, было обнаружено, что растяжимость кулирного трикотажа не влияет на прочность армируемого им композита [11], поэтому даже высокорастяжимый трикотаж может быть использован для получения композитных объектов сложной пространственной формы путем обтягивания им заготовки заданной конфигурации. Этот феномен объясняется тем, что общеизвестная высокая растяжимость кулирного трикотажа вне композита обусловлена возможностью легкого скольжения нити по нити в смежных петлях. Однако, будучи помещенным в полимерную матрицу, трикотаж кардинальным образом меняет свои свойства – точки контакта между петлями уже не могут свободно смещаться, и удлинение возможно лишь за счет деформирования нитей, растяжимость которых на 1...2 порядка ниже, чем у вязаной структуры в свободном состоянии.

Постановка задачи

В композиционных материалах, или композитах, компоненты можно разделить на матрицу (связующее) и включенные в нее армирующие элементы (наполнители).

В этих материалах армирующие элементы обеспечивают нужные механические свойства, а матрица обеспечивает совместную работу армирующих элементов и защиту их от механических повреждений и агрессивной химической среды. Армирование можно разделить на дискретное (например, в бетоне), непрерывное (например, в текстолите) и квазинепрерывное. К последнему обычно относят армирование матрицы короткими однонаправленными нитями (рис. 2 – виды армирования и примеры их реализации).

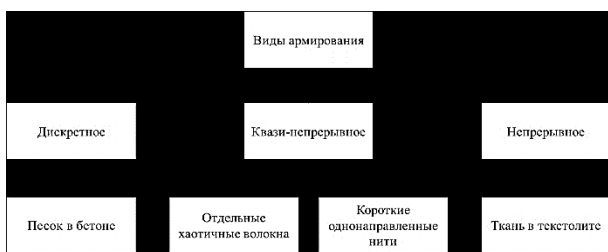


Рис. 2

Можно предположить, что механизм армирования композита кулирным трикотажем наиболее близок к этому варианту. Например, при продольном нагружении такого композита петельная палочка выступает в качестве армирующего отрезка нити. Согласно теории композитов [12] должна существовать некая "критическая длина" отрезка, после превышения которой прочность материала резко повышается. На рис. 3 изображены: а) петельная структура кулирного трикотажа, б) элементы петли, на которые действует внешняя нагрузка (выделены черным цветом), в) пространственная ориентация элементов петли, г) условная модель "квазинепрерывного армирования" короткими однонаправленными нитями, предложенная кафедрами ТХПТ и ИММ в работах [13], [14].

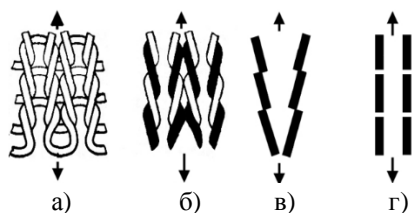


Рис. 3

Модель "квазинепрерывного армирования" позволяет объяснить феномен наличия армирующего эффекта при использовании кулирного трикотажа в качестве наполнителя композита. Для иллюстрации данного подхода следовало создать модельный материал и исследовать влияние длины армирующего отрезка нити (в нашем случае – петельной палочки) на прочность получаемого композита.

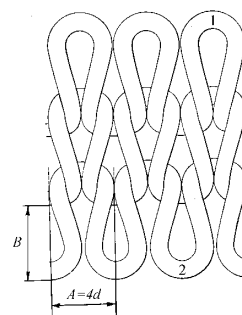


Рис. 4

На рис. 4 изображен кулирный трикотаж (A – петельный шаг, мм; B – высота петельного ряда, мм; d – диаметр нити, мм). Петли, расположенные горизонтально, образуют петельный ряд, а петли, расположенные вертикально – петельный столбик. Вертикально ориентированные участки нитей называются "петельными палочками". Именно они воспринимают продольную нагрузку, приложенную к образцу трикотажа. Согласно теории вязания А.С.Далидовича [15] длина петельных палочек в кулирном трикотаже не очень высокой плотности практически неотличима от высоты петельного ряда B . Поэтому в дальнейшем длину армирующего отрезка нити будем оценивать по этой характеристике.

Методы

Поскольку ранее было установлено [10], что прочность нити влияет на прочность композита, армированного трикотажем, для экспериментов было решено использовать высокопрочные комплексные нити: параарамидную нить "Херакрон" ("Kolon Industries", Южная Корея, 110 текс) и нить на основе сверхвысокомодульного полиэтилена "Дайнема" ("DSM High Perfor-

mance Fibers", Нидерланды, 176 текс). Реальная нить всегда обладает определенной неровнотой (по диаметру, по линейной плотности). Если речь не идет о монопитах, то над поверхностью всегда присутствуют кончики отдельных волокон, что особенно характерно для пряжи. У комплексной нити повреждения отдельных филаментов также вызывают образование ворсинок. Ворсистость может существенно сказываться на протекании процесса петлеобразования, повышая "цепкость" нити при огибании ею нитенаправителей и петлеобразующих органов вязальной машины, причем эта "цепкость" может быть не связана с величиной коэффициента трения нити о сталь. Данный факт был подтвержден экспериментально при вязании нити "Дайнема" на плосковязальной машине: при весьма низком коэффициенте трения нити о сталь ($\mu=0,28$; для сравнения – у хлопчатобумажной пряжи этот показатель равен 0,32, а у ПАН пряжи – 0,34), она активно цеплялась за различные выступы на нитенаправителях. То же самое, хотя и в меньшей степени, наблюдалось при вязании нити "Херакрон" ($\mu=0,44$). Это можно объяснить очень низким коэффициентом трения нити о нить как у "Дайнемы" (0,13), так и у "Херакрона" (0,21), для сравнения – у хлопчатобумажной пряжи этот показатель равен 0,47, у ПАН пряжи – 0,32. Исследуемые высокопрочные нити настолько "скользкие", что трение филамента о филамент ниже, чем филамента о сталь. Возможно, поэтому отдельные филаменты зацепляются за направляющие поверхности машины и вытаскиваются из структуры комплексной нити.

При выборе нити для изготовления наполнителя композита была применена методика оценки вязальной способности нити Труевцева–Молоснова [13], учитывающая указанные свойства нити. Кроме параарамидной нити "Херакрон" в отдельных опытах использовалась хлопчатобумажная пряжа линейной плотности 29 x 2 текс, как обладающая исключительно высокой адгезией к эпоксидной смоле, а потому весьма ценная для вязания образцов, предназначенных для проведения модельных экспериментов. Подходя к выбору переплетения кулирного трикотажа, необходимо учитывать следующие требования:

- полотно должно иметь равномерную однотипную структуру, следовательно, это не должен быть рисунчатый трикотаж;
- полотно должно позволять смоле проникать в свободное пространство между нитями, следовательно, это не должен быть производный трикотаж, который, как известно, имеет очень плотную структуру;
- полотно не должно закручиваться, следовательно, это должен быть двойной трикотаж (ластичный).

Изготовление образцов выполнялось на двухфонтурных машинах "Silver Reed" типа SK (Япония). Они выпускаются разных классов (4, 5, 7). Это создает возможность связать образцы из нити одной линейной плотности как очень плотной, так и очень редкой структуры, что позволит глубже изучить процессы армирования композита кулирным трикотажем и проверить гипотезу о квазинепрерывном его характере. Для получения максимально возможного диапазона плотностей были выбраны машины 4 и 7-го классов.

Таблица 1

№ опыта	Класс машины	Показания лимба на кулирном клине	Длина нити в петле l , мм	Петельный шаг A , мм	Высота петельного ряда B , мм	Плотность по горизонтали P_r , петель/дм	Плотность по вертикали P_v , петель/дм	Поверхностная плотность трикотажа ρ_s , г/м ²
1		2	7,3	2,5	1,4	80	70	484
2	7	5	10,1	2,8	2,1	72	47	399
3		10	14,6	3,7	3,7	59	27	247
4		R	15,8	4,0	3,8	50	26	241
5	4	5	20,6	5,0	4,5	40	20	212
6		10	26,6	7,6	5,3	26	19	153

В табл. 1 представлены условия вязания и технологические параметры образцов трикотажа переплетения ластик 1+1 из хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 29×2 текс×2.

Для изготовления образцов композита был применен метод ручной выкладки, после чего они выдерживались при температуре 20°C в течение суток. В качестве матрицы была использована эпоксидная смола ЭД-20 и отвердитель полиэтиленполиамин. Для проведения прочностных испытаний образцы имели ширину 50 мм и толщину 4,5...5 мм. Разрывные характеристики композитов были получены на измерительном комплексе Instron-1195; скорость растяжения образцов составляла 50 мм/мин; зажимная длина образцов – 50 мм (разрыв образца изображен на рис. 5).

Результаты и обсуждение

Полученные данные сведены в табл. 2 (зависимость прочности композитов от высоты петельного ряда трикотажа). Введем величину удельной разрывной нагрузки композита как величину усилия, приходящегося на один петельный столбик. Для ис-

следуемых в работе образцов, имеющих ширину 50 мм, можно записать:

$$P_{уд} = 2P_p / \Pi_r,$$

где $P_{уд}$ – удельная разрывная нагрузка композита, Н; P_p – разрывная нагрузка образца композита, Н; Π_r – плотность по горизонтали, петельных столбиков/дм.



Рис. 5

Т а б л и ц а 2

№ опыта	Высота петельного ряда В, мм	Модуль петли ℓ/d	Разрывная нагрузка композита P_p , Н	Удельная разрывная нагрузка композита $P_{уд}$, Н/пет.ст.
1	1,4	17	647±136	16
2	2,1	23	675±105	19
3	3,7	34	600±57	20
4	3,8	37	712±100	29
5	5,0	48	687±48	34
6	5,3	62	820±82	63

Из полученных результатов видно, что при нагружении вдоль петельных столбиков решающим фактором в прочности композита является высота петельного ряда, так как в роли отрезка однонаправленной дискретной нити оказалась петельная палочка. Существенным результатом является то, что при достижении определенного "критического" значения длины петельной палочки наблюдается резкое увеличение удельной разрывной нагрузки композита. Для исследуемых образцов такой "критической" областью значений В можно считать

4,5...5,0 мм. Этот результат хорошо согласуется со свойствами композитов, имеющих квазинепрерывное армирование, например, армированных дискретными однонаправленными нитями, и характерным для них наличием понятия "критической длины" отрезка нити, после превышения которой прочность композиционного материала существенно возрастает.

Оценим эффективность армирования композита трикотажным полотном. Эффективным следует считать такой вариант армирования, который обеспечивает макси-

мальную прочность при минимальном расходе армирующего материала. Универсальным показателем расхода сырья можно считать модуль петли m , представляющий собой отношение длины нити в петле ℓ к диаметру нити d [15]. Проведенный эксперимент показал, что в исследуемом широком диапазоне модуля петли более разреженная структура трикотажа обеспечивает наиболее эффективное армирование. Оно начинает существенно возрастать при модуле петли более 35. Из данного факта неизбежно вытекает вывод о том, что кулирный трикотаж высокой плотности (с модулем петли обычно не более 23), традиционно выпускаемый промышленностью, практически не может упрочнять композит. Этим объясняется тот факт, что до сих пор кулирный трикотаж не применяется в каче-

стве наполнителя композитов: по-видимому, если такие поисковые работы и проводились, то заканчивались неудачей, поскольку в них использовался трикотаж стандартной плотности, высококачественный с точки зрения производства одежды, но непригодный для армирования композита.

Данное предположение было проверено нами экспериментально и сведено в табл. 3 (модуль петли образцов трикотажа переплетения ластик 1+1 и прочность композитов с полипропиленовой матрицей при изгибе). Испытания проводились на измерительном комплексе "Инстрон", где был смоделирован режим изгиба сосредоточенной силой образца, свободно лежащего на двух опорах (ГОСТ 4648–2014; ISO 178:2010).

Таблица 3

Наполнитель	Линейная плотность пряжи, текс	Модуль петли	Разрушающее напряжение, МПа
Без наполнителя	-	-	32
Ластик 1+1	11,8 x 1 x 2	22	45
Ластик 1+1	11,8 x 1 x 2	56	80

В то же время проведенные нами ранее эксперименты показали, что прочность нити существенно влияет на прочность трикотажного композита: армирование кулирным трикотажем из параарамидной комплексной нити "Херакрон" (Корея) 110 текс дает упрочнение исходной пластмассы (эпоксидной смолы) в несколько раз, что наглядно демонстрируют данные, пред-

ставленные в табл. 4 (зависимость прочности при растяжении образцов композита от структуры кулирной глади (трикотажа-наполнителя) из параарамидной нити). Прочность пластмассы без армирования составила 60 МПа. Легко видеть, что рост модуля петли приводит к заметному упрочнению композита.

Таблица 4

Нить	Длина петельной палочки (высота петельного ряда), мм	Модуль петли	Плотность по горизонтали, пет./дм	Разрывная нагрузка композита, Н	Разрушающее напряжение композита, МПа	Коэффициент армирования	Удельная разрывная нагрузка композита, Н/пет.ст
Комплексная нить "Херакрон" 110 текс	2,17	30	36	3176	130	2,2	176
	2,94	36	25	4397	180	3,0	352
	3,03	42	20	4886	200	3,3	489

Учитывая полученные в настоящей работе результаты, можно утверждать, что наиболее эффективное армирование композита кулирным трикотажным полотном можно получить при использовании трико-

тажа разреженной структуры, связанного из высокопрочных нитей.

Конструкционным изделием из композиционного материала на основе трикотажа может быть любой объект сложной формы,

к примеру, труба, которая будет служить в сантехнических, водосточных, вентиляционных или иных подобных системах. Основные преимущества такого изделия перед традиционным (металлическим) – отсутствие швов от сварки, резьбовых соединений, стойкость к коррозии, малый вес. Наполнитель композита можно сделать "трубчатым". В технологии трикотажа даже известна структура, которая так и называется – "трубчатая кулирная гладь". Это обычная кулирная гладь, получаемая на однофонтурной кругловязальной машине, которая всегда вяжет полотно в виде трубки некоторого диаметра. Однако трубка из кулирной глади может быть получена и на двухфонтурной плосковязальной машине: при движении каретки вправо вяжется гладь на передней игольнице, а при движении каретки влево – на задней игольнице. При правильной установке расстояния между игольницами ("зева") будет получена структура, неотличимая от глади, связанной на однофонтурной кругловязальной машине. Такой способ вязания и соответствующий режим работы клиньев могут быть реализованы практически на любой промышленной плосковязальной машине.

Для изготовления образца композитной трубы ("реплики") была выбрана 2-дюймовая (51-мм) металлическая труба ("оригинал"). Ее периметр равен 51π, или 160 мм. Следовательно, ширина сложенной вдвое трикотажной трубки, которой будет обтянут оригинал, должна равняться 80 мм. Если воспользоваться расчетом технологических параметров трикотажа из параарамидной нити "Херакрон" 110 текс с учетом ее жесткости и коэффициента трения, которые приведены в книге [16], получим петельный шаг $A=2,76$ мм. Таким образом, на каждой игольнице двухфонтурной плосковязальной машины должно работать $80:2,76 = 29$ игл.

Для вязания спроектированной трубки был выбран плосковязальный автомат CMS-320.6 ("Штоль", ФРГ) 7 класса. Получение трикотажа с заложенной в расчет длиной нити в петле 10,7 мм (то есть модуль петли 32) было обеспечено установкой "машинной плотности" 15 усл. ед. (задается

в программе вязания). По технологии, описанной в работе [13], была изготовлена композитная труба (матрица – эпоксидная смола, наполнитель – спроектированная кулирная гладь из параарамидной нити). Она изображена на рис. 6. Начальные и конечные ряды из хлопчатобумажной пряжи (нить белого цвета) предусмотрены для облегчения бездефектной заботки края изделия.



Рис. 6

Предложенное решение открывает широкие возможности для изготовления конструкций самого различного назначения. В частности, можно изготавливать недорогие реплики исторических предметов для военно-исторических реконструкций (см. рис. 1) или театральных постановок [17], [18], выполнять строительные и реставрационные работы [19] с получением декоративных поверхностей сложной формы.

ВЫВОДЫ

Из вышеизложенного следует, что кулирный трикотаж позволяет проектировать и создавать реплики самых разнообразных объектов, что было продемонстрировано нами в ряде публикаций по данному вопросу. Существенно, что сложность поверхности не является препятствием для получения бесшовного наполнителя. Этот факт обеспечивает простоту изготовления армирующего каркаса и стабильность толщины получаемого композита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. и др. Композиционные материалы. – М.: Машиностроение, 1990.
2. Агапов В.А., Карасева А.А. Будущее за мультиаксиальным трикотажем // Курьер легкой промышленности. – 2005, № 3. С.12...14.
3. Белозеров Б.П., Гузеев В.В., Перепелкин К.Е. Свойства, технология переработки и применение пластических масс и композиционных материалов. – Томск: Издательство НТЛ, 2004.
4. Торкунова З. А. Испытания трикотажа / 2-е изд., перераб. – М.: Легпромбытиздат, 1985.
5. Peled A., Bentur A. Mechanisms of fabric reinforcement of cement matrices // Beton- und Stahlbetonbau. – Vol. 99, № 6, 2004. P. 456...459.
6. Popescu M., Reiter L., Liew A. et al. Building in concrete with an ultra-leightweight knitted stay-in-place formwork: prototype of a concrete shell bridge // Structures. – № 14, 2018. P. 322...332.
7. Смирнов Л.С., Масленников Ю.И., Яворский В.Ю.. Технология тканевязанных материалов. – Киев: Техника, 1981.
8. Hong H., De Araújo M. D., Fangueiro R., Cibobanu O. Theoretical Analysis of Load-Extension Properties of Plain Weft Knits Made from High Performance Yarns for Composite Reinforcement // Textile Research Journal. – Vol.72, № 11, 2002. P. 991...995.
9. Столяров О. Н. Технология производства вязанных полотен из текстильных нитей с высокими значениями деформационной жесткости // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2008, № 1. С. 49...52.
10. Труевцев А.В., Молоснов К.А., Беляева А.В., Дарвиш Д.М. Влияние вида нитей на механические свойства композитов, армированных трикотажем // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2011, № 1. С. 45...47.
11. Труевцев А.В., Молоснов К.А., Цобкалло Е.С., Макаренко С.В. Анализ влияния растяжимости трикотажа на прочность армируемого им композита // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2015, № 3. С. 80...84.
12. Капринос Д.М., Тучинский Л.И., Вишняков Л.Р. Новые композиционные материалы. – Киев: Вища школа, 1977.
13. Молоснов К. А. Разработка трикотажных полотен для армирования композиционных материалов: Дис. ... канд. техн. наук. – СПб, 2013.
14. Труевцев А.В., Цобкалло Е.С., Москалюк О.А. Квазинепрерывное армирование композита кулирным трикотажем // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2016, № 1. С. 64...67.
15. Далидович А.С. Основы теории вязания. – М.: Легкая индустрия, 1970.
16. Труевцев А. В., Цобкалло Е.С., Москалюк О.А., Молоснов К.А. Полимерные композиты с кулирным трикотажным наполнителем [Электронный ресурс]. – СПб.: СПбГУПТД, 2020.. Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2020157.

17. Куковьякина В.А., Макарова И.С. Применение трикотажа для изготовления реплик исторических предметов / Научн. рук. К. А. Молоснов, А. В. Аранович // Тез. докл. Дсеросс. конф. молодых ученых: Инновации молодежной науки. – СПб.: СПГУТД, 2013. С.177.

18. Молоснов К.А., Аранович А.В., Труевцев А.В. Применение композита, армированного кулирным трикотажем, для создания реплик исторических предметов // Дизайн. Материалы. Технология. – 2013, № 2. С. 62...66.

19. Невтонова А.М., Кравчук Е.А. Трикобетон – альтернативный вариант армирования стройматериалов / Научн. рук. А. В. Труевцев, Н.А. Дромова // Тез. докл. Дсеросс. конф. молодых ученых: Инновации молодежной науки. – СПб.: СПбГУПТД, 2021. С. 560...561.

REFERENCES

1. Vasiliev V.V., Protasov V.D., Bolotin V.V. etc. Composite materials. - M.: Mashinostroenie, 1990.
2. Agapov V.A., Karaseva A.A. The future belongs to multiaxial knitwear // Light Industry Courier. - 2005, No. 3. P.12 ... 14.
3. Belozеров B.P., Guzeev V.V., Perepelkin K.E. Properties, processing technology and application of plastics and composite materials. - Tomsk: NTL Publishing House, 2004.
4. Torkunova Z. A. Testing of knitwear / 2nd ed., revised. – M.: Legprombytizdat, 1985.
5. Peled A., Bentur A. Mechanisms of fabric reinforcement of cement matrices // Beton- und Stahlbetonbau. – Vol. 99, No. 6, 2004. P. 456...459.
6. Popescu M., Reiter L., Liew A. et al. Building in concrete with an ultra-heightweight knitted stay-in-place formwork: prototype of a concrete shell bridge // Structures. – No. 14, 2018. P. 322...332.
7. Smirnov L.S., Maslennikov Yu.I., Yavorsky V.Yu. Technology of fabric knitted materials. - Kiev: Technique, 1981.
8. Hong H., De Araújo M. D., Fangueiro R., Cibobanu O. Theoretical Analysis of Load-Extension Properties of Plain Weft Knits Made from High Performance Yarns for Composite Reinforcement // Textile Research Journal. - Vol.72, No. 11, 2002. P. 991 ... 995.
9. Stolyarov, O.N., Technology for the production of knitted fabrics from textile threads with high values of deformation stiffness // Izv. universities. Light industry technology. - 2008, No. 1. P. 49 ... 52.
10. Truevtsev A.V., Molosnov K.A., Belyaeva A.V., Darvish D.M. Influence of the type of threads on the mechanical properties of composites reinforced with knitwear // Izv. universities. Light industry technology. - 2011, No. 1. P. 45 ... 47.
11. Truevtsev A.V., Molosnov K.A., Tsobkallo E.S., Makarenko S.V. Analysis of the effect of extensibility of knitwear on the strength of the composite reinforced by it. Izv. universities. Light industry technology. – 2015, No. 3. P. 80...84.

12. Kaprinos D.M., Tuchinsky L.I., Vishnyakov L.R. New composite materials. - Kyiv: Vishcha school, 1977.

13. Molosnov K. A. Development of knitted fabrics for reinforcing composite materials: Dis. ... cand. tech. Sciences. - St. Petersburg, 2013.

14. Truevtsev A.V., Tsobkallo E.S., Moskalyuk O.A. Quasi-continuous reinforcement of the composite with knitwear // Izv. universities. Light industry technology. – 2016, No. 1. P. 64...67.

15. Dalidovich A.S. Fundamentals of the theory of knitting. – M.: Light Industry, 1970.

16. Truevtsev A.V., Tsobkallo E.S., Moskalyuk O.A., Molosnov K.A. Polymer composites with knitted filler [Electronic resource]. - St. Petersburg: SPbGUPTD, 2020 .. Access mode: http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2020157.

17. Kukovyakina V.A., Makarova I.S. The use of knitwear for the manufacture of replicas of historical objects / Nauchn. hands K. A. Molosnov, A. V. Aranovich

// Abstracts. report Dseross. conf. young scientists: Innovations of youth science. - St. Petersburg: SPGUTD, 2013. P.177.

18. Molosnov K.A., Aranovich A.V., Truevtsev A.V. The use of a composite reinforced with knitwear to create replicas of historical objects // Design. Materials. Technology. – 2013, No. 2. P. 62...66.

19. Nevtanova A.M., Kravchuk E.A. Tricoconcrete - an alternative reinforcement of building materials / Nauchn. hands A.V. Truevtsev, N.A. Dromova // Proceedings. report Dseross. conf. young scientists: Innovations of youth science. - St. Petersburg: SPbGUPTD, 2021. P. 560 ... 561.

Рекомендована кафедрой технологии и художественного проектирования трикотажа. Поступила 25.10.21.
