

Уравнения равновесия i -го кольцевого элемента принимают вид

$$[G_i] \bar{\Delta}_i = \|\theta_i\| \bar{f}_i + \sum_j \sum_s \xi_i^{ijs} [\varphi_i^{ijs}] \bar{p}_i^{ijs} + \sum_j \sum_s \xi_{Ci}^{ijs} [\varphi_{Ci}^{ijs}] \bar{p}_{Ci}^{ijs}.$$

Обобщенные перемещения $\bar{W}_i^{ijs} = [y_{5i}^{ijs} y_{6i}^{ijs} y_{7i}^{ijs} y_{8i}^{ijs}]^T$ оболочечного элемента, примыкающего к i -му узловому элементу, связаны с обобщенными перемещениями $\bar{\Delta}_i$ срединной линии узлового элемента соотношением $\bar{W}_i^{ijs} = [\varphi_i^{ijs}] \bar{\Delta}_i$.

Таким образом, получили разрешающую систему уравнений в $(s + 1)$ -м приближении, описывающую упругопластическое поведение оболочечной конструкции при переменном нагружении:

$$\frac{dY_p^{(s+1)}}{d\alpha_1^p} = \bar{f}^p(\alpha_1^p, \bar{n}^p, Y_p^{(s)}, Y_p^{(s+1)}) + b^p(\alpha_1^p, \bar{n}^p, Y_p^{(s)}), \quad (17)$$

$$[G_i] \bar{\Delta}_i = \|\theta_i\| \bar{f}_i + \sum_j \sum_s \xi_i^{ijs} [\varphi_i^{ijs}] \bar{p}_i^{ijs} + \sum_j \sum_s \xi_{Ci}^{ijs} [\varphi_{Ci}^{ijs}] \bar{p}_{Ci}^{ijs}. \quad (18)$$

Решение системы (17), (18) позволяет определить неизвестные \bar{Y}_p ($p = \overline{1, N_s}$) и $\bar{\Delta}_i$ ($i = \overline{1, N_r}$), а следовательно, и все компоненты НДС оболочечных и кольцевых элементов конструкции при переменном нагружении.

Согласно обобщенному принципу Мазинга после определения величин с чертой искомые решения, например прогиб и напряжение, найдем по формулам [2]

$$W^{(n)} = W' - \sum_{k=2}^n (-1)^k \bar{W}^{(k)}, \quad \sigma_{ij}^{(n)} = \sigma'_{ij} - \sum_{k=2}^n (-1)^k \bar{\sigma}_{ij}^{(k)} \quad (19)$$

здесь величины $\bar{W}^{(k)}$ и $\bar{\sigma}_{ij}^{(k)}$ находятся на основе теоремы о переменном нагружении.

На основе разработанной методики расчета и процедур приводятся решения ряда упругопластических задач при повторном нагружении, анализируется кинетика НДС составных оболочечных конструкций [5]

Список литературы

- 1 Ильюшин, А. А. Пластичность / А. А. Ильюшин. – М. : Гостехиздат, 1948. – 376 с.
- 2 Москвитин, В. В. Циклические нагружения элементов конструкций / В. В. Москвитин. – М. : Наука, 1981. – 344 с.
- 3 Гусенков, А. П. Малоцикловая прочность оболочечных конструкций / А. П. Гусенков, Г. В. Москвитин, В. Н. Хошилов. – М. : Наука, 1989. – 254 с.
- 4 Мяченков, В. И. Методы и алгоритмы расчета пространственных конструкций на ЭВМ / В. И. Мяченков, В. П. Мальцев. – М. : Машиностроение, 1984. – 280 с.
- 5 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругопластических элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.

УДК 539.3.677.021

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ТКАНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ

А. АБДУСАТТАРОВ,

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

А. Д. ДАМИНОВ, Ю. О. МАТНАЗАРОВ

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан

А. А. МУРАДОВ

Наманганский инженерно-технологический институт, Республика Узбекистан

В последние годы интенсивно развивается подход к анализу структуры композитных материалов, основанный на введении макроскопического параметра, характеризующего на макроуровне степень поврежденности материалов. Вопросы прогнозирования деформационных свойств и теоретико-экспериментальные исследования повреждаемости и длительной прочности композиционных материалов, в том числе текстильных, разработка математических моделей и методов расчета с учетом структуры материалов являются актуальной задачей [1–3].

В настоящее время достигнуты значительные успехи в создании композиционных материалов с желаемым комплексом свойств. Особый интерес вызывают конструкционные материалы в виде ориентированных волокнистых слоистых композитов [4, 5]. Строение ткани определяется совокупностью различных факторов, в том числе геометрическими характеристиками взаимного расположения нитей основы и утка с перегибами друг на друга при переходе с одной стороны ткани на другую.

В работе рассмотрены критерии оценки структуры тканых конструкций с использованием арсенала теории узлов. Тканые конструкции широко применяются во многих отраслях техники в качестве как несущих элементов в составе сложных структур, так и самостоятельных структурных единиц. Здесь рассматривается класс однослойных тканей произвольного переплетения из нити основы и утка любого волокнистого состава. Такая конструкция представлена состоящей из элементарных ячеек, в интегрированном виде определяющих ее структурную способность, известных в технологическом обиходе как одиночные ткацкие перекрытия. Отмечено, что в категориях теории узлов перекрытие есть пересечение топологических линий, являющееся переходом или проходом в зависимости от расположения искомой линии по отношению к другой линии на пересечении. Совокупность этих переходов и проходов в пределах раппорта составляет математический узел. Тканям разных переплетений соответствуют узлы разных порядков. В зависимости от этого геометрическая форма топологической линии, соответствующей основе и утку, может представлять собой прямую, полудугу или дугу [5]. Проведенный структурный анализ позволил оценить степень заузленности нитей в ткани по известной формуле.

Для некоторых видов наиболее распространенных переплетений приведем сравнительные численные величины традиционного коэффициента переплетения и его топологического эквивалента – степени заузленности нитей в ткани. Полотняное переплетение в этом смысле представляет собой некий эталон, в котором реализован максимум потенциала взаимной переплетенности нитей двух систем. Все остальные переплетения – отход в той или иной степени от этого максимума, а численные значения их коэффициентов представляют собой, по сути, процент реализации от максимума. И действительно, саржа 1/2 (или саржа 2/1) с коэффициентом 0,67 имеет 67 % от максимума переплетенности нитей в полотняном переплетении, саржа 1/3 (или саржа 3/1) – уже 50 % от полотняного, а рыхлое переплетение – сатин 12/5 – всего 16 %, что весьма логично.

Также экспериментально проанализирован характер изменения исходных свойств нитей и пряжи в ходе ткачества с отбором различных образцов. Изучено влияние фактора скорости на механическое поведение нитей и пряжи. Ввиду нестабильности природы волокнистых текстильных композитных материалов в работах [3, 4] отмечена необходимость привлечения к исследованию проблемы обрывности теории длительной прочности и повреждаемости.

Согласно критерию прочности [1] за характеристику степени накопления повреждений примем следующую функцию:

$$\eta(x_\alpha, t) = \frac{1+m}{B^{m+1}} \int_0^t (t-\tau)^m \sigma^{\alpha(1+m)}(\tau) d\tau. \quad (1)$$

В частности, при $\sigma = \sigma_0 = \text{const}$ из (1) получим следующее выражение для функции повреждаемости:

$$\eta = \frac{t^{m+1} \sigma_0^{(1+m)\alpha}}{B^{1+m}}, \quad (2)$$

а при постоянной скорости нагружения $\sigma = \dot{\sigma} t$,

$$\eta = \frac{1+m}{B^{1+m}} t^{m+1} \dot{\sigma}^{\alpha(1+m)} \frac{\Gamma(1+m)\Gamma(1+\beta)}{\Gamma(2+m+\beta)}, \quad (3)$$

где Γ – гамма-функция, α и β – параметры долговечности [2].

В работах [3] показана исключительная важность анализа причин обрыва нитей и их разрушения в процессе переработки. Развивающийся во времени феноменологический процесс разрушения в указанных работах рассматривается как некоторый процесс накопления повреждений, различных пор и дефектов. Используя критерии повреждаемости [1], разработаны теоретические основы переработки нитей и тканей с учетом вязкоупругих свойств материалов. Приведен обширный экспериментальный материал по изучению свойств ползучести и релаксации для различных текстильных материалов. Для оценки напряженно-деформированного состояния нитей на ткацком станке ис-

пользованы линейно-вязкоупругие соотношения и критерий длительной прочности. Вычислены параметры α , β и m из опытов по определению разрушения нитей и коэффициентов повреждаемости при различных нагрузках и времени (таблица 1). Для определения параметров сингулярного ядра и резольвенты, а также модуля упругости применяется методика расчета [2, 3]. В статье [6] приведены результаты экспериментов ряда авторов. Исходя из этого представим значения вязкоупругих параметров долговечности (таблицы 1, 2).

Таблица 1 – Значения параметров долговечности в зависимости от нагрузки, напряжения и времени нагружения

Вид нити	Нагрузка, Н			Напряжение, Н/мм ²			Время нагружения, с			Параметры долговечности		
	P_1	P_2	P_3	σ_1	σ_2	σ_3	t_1	t_2	t_3	α	β	m
Углерод, 410 текс	50	40	30	17,26	13,81	10,36	93,13	160,90	325,58	2,45	10000	-0,095
Кварц 612 текс	50	40	30	17,97	14,38	10,78	200,68	324,34	64,86	2,15	10000	-0,094

Таблица 2 – Вязкоупругие параметры арамидной пряжи различной линейной плотности

Линейная плотность пряжи, текс	Вязкоупругие параметры			Модуль упругости E , Н/мм ²
	A	β	α	
30×2	0,0227	0,601	0,294	1749
60×2	0,0207	0,493	0,261	1755
83,3×2	0,0223	0,586	0,289	1750

При определении параметров функции влияния используется трехпараметрическое ядро Ржаницына – Колтунова. Отмечается, что вязкоупругие параметры и модуль упругости нитей определяют поведение нитей основы и утка в различных зонах ткацкого станка. Изменение модуля упругости во времени показывает наличие релаксационных процессов, которые положительно влияют на технологический процесс ткачества.

Приведены результаты расчета повреждаемости нитей основы при изготовлении тканей различного переплетения и установлено следующее: если значение коэффициента повреждаемости $\eta < 0,25$ – процесс протекает в спокойных условиях; при $\eta = 0,25 \dots 0,5$ – процесс происходит в довольно напряженных условиях; при $\eta = 0,5 \dots 0,75$ – процесс возможен, но наблюдается увеличение обрывности нитей (примерно в 2 раза); при $\eta = 0,75 \dots 1$ – процесс возможен, но резко увеличивается обрывность нитей (примерно в 5 раз); при $\eta > 1$ – процесс практически невозможен.

Как отмечалось [5–8], в процессе переработки нитей на технологическом оборудовании очень важно понимание причин повреждаемости материала, приводящих к их разрушению, создание моделей и методов решения задач механики композитных элементов при циклических нагружениях.

Таким образом, на основе феноменологической концепции механики с привлечением теории длительной прочности и повреждений изучены проблемы обрывности текстильных нитей и ткани, приведены параметры долговечности с учетом вязкоупругих свойств.

Список литературы

- 1 Москвитин, В. В. Сопротивление вязкоупругих материалов / В. В. Москвитин. – М. : URSS, 2019. – 328 с.
- 2 Абдусаттаров, А. Циклическое деформирование вязкоупругоупругих систем с учетом упрочнения-разупрочнения и накопления повреждений / А. Абдусаттаров, А. Д. Даминов. – Ташкент : Фан, 1996. – 162 с.
- 3 Методы и средства исследования технологических процессов в ткачестве / С. Д. Николаев [и др.]. – М. : МГТУ, 2003, 470 с.
- 4 Механика препрегов – расчет изделий из армированных композиционных материалов / Ю. В. Василевич [и др.]. – Минск : БНТУ, 2016. – 295 с.
- 5 Старовойтов Э. И. Деформирование трехслойных элементов конструкции на упругом основании / Э. И. Старовойтов, А. В. Яровая, Д. В. Леоненко. – М. : Физматлит, 2006. – 379 с.
- 6 Даминов, А. Д. Основы прогнозирования структуры и проектирования текстильных полотен : автореф. ... д-ра техн. наук : 05.19.03 / А. Д. Даманов ; Ташк. ин-т текст. и легк. пром-сти. – Ташкент, 2006. – 42 с.
- 7 Абдусаттаров, А. К определению повреждаемости и длительной прочности нитей и тканей с учетом вязкоупругих свойств / А. Абдусаттаров, Б. Боймуротов, А. Мурадов // Узбекский текстильный журнал. – 2022. – № 3. – С. 40–48.
- 8 Абдусаттаров, А. Деформирование и повреждаемость упругоупругих элементов конструкций при циклических нагружениях / А. Абдусаттаров, Э. И. Старовойтов, Н. Б. Рузиева. – Ташкент : IDEAL PRESS, 2023. – 381 с.