

МЕТОД РАСЧЕТА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТА АРМИРОВАННЫМ ОДНОНАПРАВЛЕННЫМ СЕМЕЙСТВОМ НИТЕЙ С УЧЕТОМ УСАДКИ ЭПОКСИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

Ю.В. ВАСИЛЕВИЧ, С.В. САХОНЕНКО

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

Е.Ю. НЕУМЕРЖИЦКАЯ

Академия образования, г. Минск, Республика Беларусь

Разработан метод расчета остаточных напряжений в конструктивных элементах из композита в виде однонаправленного семейства нитей и эпоксидного связующего.

В [1] описана методика оценки влияния усадки связующего на напряженно-деформированное состояние в намоточных композитных изделиях при их изготовлении. Основным результатом выполненных исследований в данном научном направлении является разработанный метод расчета напряжений и деформаций в изделиях из однонаправленного семейства нитей, между которыми находится эпоксидное связующее. Как отмечено в [2] многие системы волокнистых армированных пластиков относятся к жестким композитам, широко используемых в качестве заменителей металла и дерева. На рисунке показана схема прямоугольного в плане однонаправленного образца из композита.

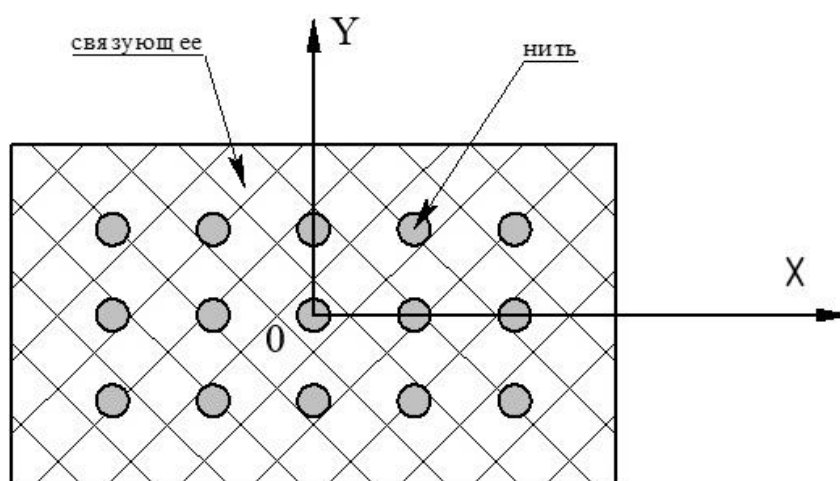


Рисунок 1. – Поперечная структурная схема композита

При выполнении данной работы принято, что изотропные материалы нитей и отвержденного связующего подчиняются закону Гука (1). Связь между осреднёнными напряжениями и деформациями выражается равенствами (2).

По формулам (3) определяются модули Юнга и коэффициенты Пуассона отвержденного композиционного материала при завершении процесса полимеризации эпоксидного связующего.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{1H} &= \frac{1}{E_H}(\sigma_{1H} - \nu_H \sigma_{2H}), & \varepsilon_{2H} &= \frac{1}{E_H}(\sigma_{2H} - \nu_H \sigma_{1H}), \\ \varepsilon_{1c} &= \frac{1}{E_c}(\sigma_{1c} - \nu_c \sigma_{2c}), & \varepsilon_{2c} &= \frac{1}{E_c}(\sigma_{2c} - \nu_c \sigma_{1c}), \\ \varepsilon_1 &= \frac{1}{E_2}(\sigma_1 - \nu_2 \sigma_2), & \varepsilon_2 &= \frac{1}{E_2}(\sigma_2 - \nu_2 \sigma_1).\end{aligned}\quad (1)$$

Здесь E_2 и ν_2 – модуль упругости и коэффициент Пуассона композита;
 E_H, ν_H и E_c, ν_c – модуль упругости и коэффициент Пуассона для нитей и связующего;

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E_1} - \nu_1 \frac{\sigma_2}{E_2}, \quad \varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E_2} - \nu_2 \frac{\sigma_1}{E_1}. \quad (2)$$

$$\begin{aligned}\frac{1}{E_2} &= \frac{m}{E_c} + \frac{1-m}{E_H}, \\ \frac{\nu_2^0}{E_1} &= \frac{m}{E_c} \nu_c + \frac{1-m}{E_H} \nu_H, \\ \nu_1 &= \frac{\frac{m}{E_c} \nu_c^2 + \frac{1-m}{E_H} \nu_H^2}{\frac{m}{E_c} \nu_c + \frac{1-m}{E_H} \nu_H}, \\ \nu_2 &= \frac{\frac{m}{E_c} \nu_c + \frac{1-m}{E_H} \nu_H}{\frac{m}{E_c} + \frac{1-m}{E_H}},\end{aligned}\quad (3)$$

где σ_1, σ_2 и $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – усреднённые напряжения и $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ усреднённые относительные деформации композита в направлениях «1» и «2»; m – относительное содержание связующего в композите.

Направления осей Ox и Oy совпадают с направлениями «1» и «2».

На основе данных таблицы 1 и полученных формул (4) дан расчет напряжений.

Таблица 1. – Модули Юнга и коэффициенты Пуассона для связующего и наполнителя композита

ν_c	E_c , МПа	ν_H	E_H , МПа
0,15	$0,4 \cdot 10^4$	0,24	$7,4 \cdot 10^4$

Напряжения, вызванные усадкой связующего, определяются по формулам (4). Они получены в условиях отсутствия внешней нагрузки к конструкции, выполненной из композита, армированного однонаправленным семейством нитей

$$\sigma_1 = \frac{(AE_1 + \nu_1)b_1}{(AE_1 + \nu_1)b_{11} + b_{12}},$$

$$\sigma_2 = \frac{b_1}{(AE_1 + \nu_1)b_{11} + b_{12}}. \quad (4)$$

где

$$A = \sqrt{\frac{m}{(1-m)E_c E_H}}.$$

Таблица 2. – Данные расчета компонент напряженно-деформированного состояния композита

m	E_1 , МПа	E_2 , МПа	ν_1	ν_2	ε_1	ε_2	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа
0,2	$2,94 \cdot 10^4$	$0,67 \cdot 10^4$	0,1	0,15	-0,0002	-0,00047	-6,4	-7,6
0,3	$1,89 \cdot 10^4$	$0,75 \cdot 10^4$	0,14	0,153	-0,0003	-0,00055	-5,9	-8,0
0,4	$1,33 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	0,17	0,159	-0,0004	-0,00083	-5,6	-8,9

ЛИТЕРАТУРА

1. Василевич, Ю.В. Методика расчета усадки влияния эпоксидного связующего на напряжения в намоточных композитных изделиях / Ю.В. Василевич, Д.А. Федотов, Е.Ю. Неумержицкая // Международная научно-техническая конференция «Инновационные технологии в машиностроении «Ин-нтехмаш-23», Полоцк, 2023, С. 208–210.
2. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 744 с.