

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ»

Кафедра АД

Расчетно-графическая работа
по дисциплине «Основы проектирования изделий из композиционных
материалов»
на тему:

«Проектирование 5-слойного композита»

Вариант 11.1.4

Выполнил:
студент гр. ПАД-516
Хайретдинов И.И.

Проверил: Соловьев П.В.

Уфа
2024

Оглавление

Исходные данные	3
1 Определение упругих и прочностных характеристик однонаправленного слоя ...	5
1.1 Модуль упругости в направлении армирования	5
1.2 Поперечный модуль упругости	5
1.3 Модуль сдвига	5
1.4 Коэффициент Пуассона	5
2 Определение упругих характеристик многослойного композита	7
2.1 Вычисление относительных толщин слоев	7
2.2 Вычисление коэффициентов обобщенного закона Гука для пятислойного элемента	7
2.3 Определение упругих характеристик пятислойного композита	8
2.4 Находим коэффициенты Пуассона	8
Вывод	9

<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>		<i>Хайретдинов И.И.</i>			<i>Расчетно-графическая работа</i>		
<i>Пров.</i>		<i>Соловьев П.В.</i>					
<i>Рецен.</i>		<i>ФИО</i>					
<i>Н.контр.</i>		<i>ФИО</i>					
<i>Утв..</i>		<i>ФИО</i>					
					<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
						2	10
					<i>УЧУИТ ПАД-516</i>		

Исходные данные

№ слоя	Толщина (мм) и угол укладки (рад) по отношению к оси X	
1	h_1	0,9
	φ_1/π	4/9
2	h_2	0,9
	φ_2/π	-4/9
3	h_3	0,9
	φ_3/π	0
4	h_4	0,9
	φ_4/π	-4/9
5	h_5	0,9
	φ_5/π	4/9

<i>Упр. и прочн. хар-ки армирующей компоненты</i>	<i>Стеклонитъ</i>	<i>Упр. и прочн. хар-ки матрицы</i>	<i>Фенолформальдегидное связующее</i>
E_{e1} , ГПа	70	E_m , ГПа	3,5
E_{e2} , ГПа	70	G_m , ГПа	1,2
G_{e12} , ГПа	24	ν_m	0,35
ν_{12}	0,22	$\bar{\sigma}_m$, МПа	63
$\bar{\sigma}_{e1}^+$, МПа	700	Пред. удл. ε_m , %	2
Пред. удл. ε_e , %	3	Ψ_m	0,6
Ψ_e	0,4		
ζ_E	2		
ζ_G	1		

Данный материал будет применяться в элементах обтекателя самолета. Обтекатель не предназначен для восприятия нагрузок, поэтому коэффициент армирования, можно снизить (относительно верхней границы), что обеспечит 100% пропитку материала, обеспечивая при этом достаточную прочность и жесткость. Выбран коэффициент армирования равный 0,4.

Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		
					3

Задание:

Спроектировать многослойный композиционный материал и определить его упругие характеристики в направлении осей выбранной системы координат.

Изм.		№ докум.	Подп.	Дата		4

1 Определение упругих и прочностных характеристик однонаправленного слоя

1.1 Модуль упругости в направлении армирования

$$E_1 = E_B \psi + E_M(1 - \psi) = 70 * 0,4 + 3,5 * 0,6 = 30,1 \text{ (ГПа)};$$

1.2 Поперечный модуль упругости

$$\frac{1}{E_2} = \frac{\psi}{E_B} + \frac{1 - \psi}{E_M} = \frac{0,4}{70} + \frac{0,6}{3,5}; E_2 = 5,64 \text{ (ГПа)};$$

По более точной формуле (значение берется для дальнейшего расчета):

$$E_2 = E_M \left[\frac{(1 + \zeta_E \psi_B) E_{B2} + \zeta_E (1 - \psi_B) E_M}{(1 - \psi_B) E_{B2} + (\zeta_E + \psi_B) E_M} \right] =$$
$$= 3,5 \left[\frac{(1 + 2 * 0,4) * 70 + 2 * (1 - 0,4) * 3,5}{(1 - 0,4) * 70 + (2 + 0,4) * 3,5} \right] = 9,04 \text{ (ГПа)};$$

Погрешность $\delta_{E2} = \left| \frac{5,64 - 9,04}{9,04} \right| \cdot 100\% = 37,56\%$;

1.3 Модуль сдвига

$$\frac{1}{G_{12}} = \frac{\psi}{G_B} + \frac{1 - \psi}{G_M} = \frac{0,4}{24} + \frac{0,6}{1,2}; G_{12} = 1,93 \text{ (ГПа)};$$

По более точной формуле (значение берется для дальнейшего расчета):

$$G_{12} = G_M \left[\frac{(1 + \zeta_G \psi_B) G_{B12} + \zeta_G (1 - \psi_B) G_M}{(1 - \psi_B) G_{B12} + (\zeta_G + \psi_B) G_M} \right] =$$
$$= 1,2 \left[\frac{(1 + 0,4) * 24 + 0,6 * 1,2}{0,6 * 24 + (1 + 0,4) * 1,2} \right] = 2,56 \text{ (ГПа)};$$

Погрешность $\delta_{G2} = \left| \frac{1,93 - 2,56}{2,56} \right| \cdot 100\% = 24,43\%$;

1.4 Коэффициент Пуассона

$$\nu_{12} = \nu_B \psi + \nu_M (1 - \psi) = 0,22 * 0,4 + 0,35 * 0,6 = 0,298;$$

$$\nu_{21} = \frac{\nu_{12} E_2}{E_1} = \frac{0,298 * 9,04}{30,1} = 0,089;$$

Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		5

1.5 Предел прочности в направлении армирования

$$\overline{\sigma}_1^+ = \overline{\sigma}_B^+ \left(\psi + \frac{E_M}{E_B} (1 - \psi) \right) = 2500 * \left(0,4 + \frac{70}{3,5} * 0,6 \right) = 1075 \text{ (ГПа)};$$

Изм.		№ докум.	Подп.	Дата		6

2 Определение упругих характеристик многослойного композита

2.1 Вычисление относительных толщин слоев

$$\bar{h}_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5};$$

$$\bar{h}_2 = \frac{h_2}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5};$$

$$\bar{h}_3 = \frac{h_3}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5};$$

$$\bar{h}_4 = \frac{h_4}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5};$$

$$\bar{h}_5 = \frac{h_5}{h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5};$$

Т.к все слои одинаковой толщины, то:

$$\bar{h}_1 = \bar{h}_2 = \bar{h}_3 = \bar{h}_4 = \bar{h}_5 = 0,2;$$

2.2 Вычисление коэффициентов обобщенного закона Гука для пятислойного элемента

Показан расчет для первого слоя:

$$B_{11} = \sum_{i=1}^5 \bar{h}_i \left[\frac{E_1^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \cos^4 \varphi_i + 2 \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^4 \varphi_i + G_{12}^i \sin^2 2\varphi_i \right];$$

$$0,2 \left[\frac{30,1}{1 - 0,298 * 0,089} \cos^4 1,3963 + 2 \frac{30,1 * 0,089}{1 - 0,298 * 0,089} \sin^2 1,3963 * \cos^2 1,3963 + \frac{9,04}{1 - 0,298 * 0,089} \sin^4 1,3963 + 2,56 * \sin^2(2 * 1,3963) \right] = 1,845 \text{ (ГПа)};$$

$$B_{12} = \sum_{i=1}^5 \bar{h}_i \left[\frac{E_1^i + E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} (\sin^4 \varphi_i + \cos^4 \varphi_i) - G_{12}^i \sin^2 2\varphi_i \right];$$

$$0,2 \left[\frac{30,1 + 9,04}{1 - 0,298 * 0,089} \sin^2 1,3963 * \cos^2 1,3963 + \frac{30,1 * 0,089}{1 - 0,298 * 0,089} (\sin^4 1,3963 + \cos^4 1,3963) - 2,56 \sin^2(2 * 1,3963) \right] = 0,6965 \text{ (ГПа)};$$

$$B_{22} = \sum_{i=1}^5 \bar{h}_i \left[\frac{E_1^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^4 \varphi_i + 2 \frac{E_1^i \nu_{21}^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + \frac{E_2^i}{1 - \nu_{12}^i \nu_{21}^i} \cos^4 \varphi_i + G_{12}^i \sin^2 2\varphi_i \right];$$

Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		7

$$0,2 \left[\frac{30,1}{1 - 0,298 * 0,089} \sin^4 1,3963 + 2 \frac{30,1 * 0,089}{1 - 0,298 * 0,089} \sin^2 1,3963 * \cos^2 1,3963 + \frac{9,04}{1 - 0,298 * 0,089} \cos^4 1,3963 + 2,56 * \sin^2(2 * 1,3963) \right] = 5,911 \text{ (ГПа);}$$

$$B_{33} = \sum_{i=1}^5 \bar{h}_i \left[\frac{E_1^i + E_2^i - 2E_1^i v_{21}^i}{1 - v_{12}^i v_{21}^i} \sin^2 \varphi_i \cos^2 \varphi_i + G_{12}^i \cos^2 2\varphi_i \right];$$

$$0,2 \left[\frac{30,1 + 9,04 - 2 * 30,1 * 0,089}{1 - 0,298 * 0,089} \sin^2 1,3963 * \cos^2 1,3963 + 2,56 * \cos^2(2 * 1,3963) \right] =$$

$$= 0,6551 \text{ (ГПа);}$$

Получаем:

$$B_{11} = 13,56 \text{ (ГПа);}$$

$$B_{12} = 3,339 \text{ (ГПа);}$$

$$B_{22} = 25,5 \text{ (ГПа);}$$

$$B_{33} = 3,13 \text{ (ГПа);}$$

2.3 Определение упругих характеристик пятислойного композита

$$E_x = B_{11} - \frac{B_{12}^2}{B_{22}} = 13,56 - \frac{3,339^2}{25,5} = 13,13 \text{ (ГПа);}$$

$$E_y = B_{22} - \frac{B_{12}^2}{B_{11}} = 25,5 - \frac{3,339^2}{13,56} = 24,68 \text{ (ГПа);}$$

$$G_{xy} = B_{33} = 3,13 \text{ (ГПа);}$$

2.4 Находим коэффициенты Пуассона

$$\nu_{xy} = \frac{B_{12}}{B_{22}} = \frac{3,339}{25,5} = 0,131;$$

$$\nu_{yx} = \frac{B_{12}}{B_{11}} = \frac{3,339}{13,56} = 0,24;$$

Изм.	№ докум.	Подп.	Дата		8

Вывод

Спроектированный композит имеет следующие упругие характеристики:

$$E_x = 13,13 \text{ (ГПа);}$$

$$E_y = 24,68 \text{ (ГПа);}$$

$$G_{xy} = 3,13 \text{ (ГПа);}$$

Коэффициенты Пуассона:

$$\nu_{xy} = 0,131;$$

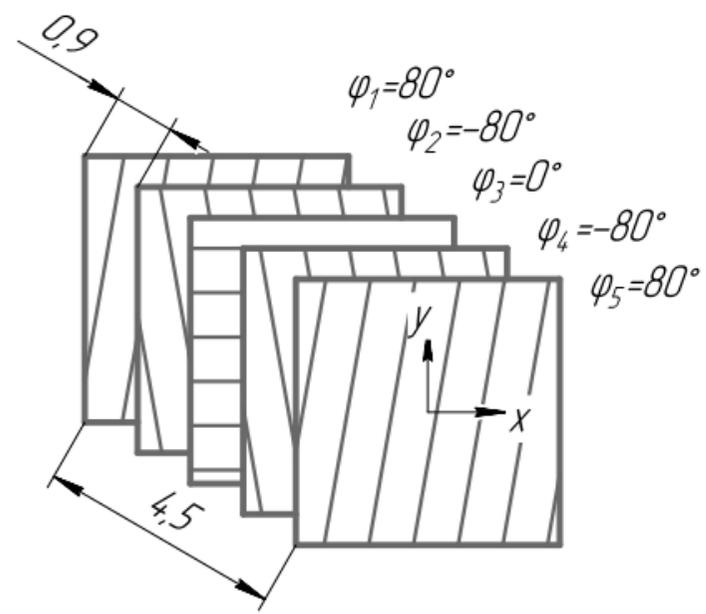
$$\nu_{yx} = 0,24;$$

Изм.		№ докум.	Подп.	Дата		9

Инв. № подл. | Подл. и дата | Инв. № докл. | Подл. и дата | Взам. инв. № | Инв. № докл. | Подл. и дата

№ Слоя	Свойства слоя						
	h, мм	φ, град	E ₁ , ГПа	E ₂ , ГПа	G ₁₂ , ГПа	ν ₁₂	ν ₂₁
1	0,9	80	30,1	9,04	2,56	0,298	0,089
2	0,9	-80					
3	0,9	0					
4	0,9	-80					
5	0,9	80					

Свойства слоистого КМ	
n слоев	5
E _x , ГПа	13,13
E _y , ГПа	24,68
G _{xy} , ГПа	3,13
ν _{xy}	0,13
ν _{yx}	0,24



Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Хайретдинов ИИ		
Проб.	Соловьев П.В		
Т.контр.			
Н.контр.			
Утв.			

Проектирование 5-слойного композита			Лит.	Масса	Масштаб
					1:1
			Лист	Листов	1
			УЧУИТ ПАД-516		