

Лабораторная работа №2

Расчет прочностных характеристик однонаправленного слоя композитного материала при нормальной и повышенной температурах

Цель работы: Ознакомиться с основными критериями прочности однонаправленного слоя композитного материала, оценить прочность КМ при нормальной и повышенной температурах по соответствующим критериям, построить поверхность прочности для заданного КМ. Исходные данные по материалу взять из лабораторной работы №1.

Часть 1. Теоретическая часть

1.1 Расчет напряжений при несовпадении осей нагружения и упругости

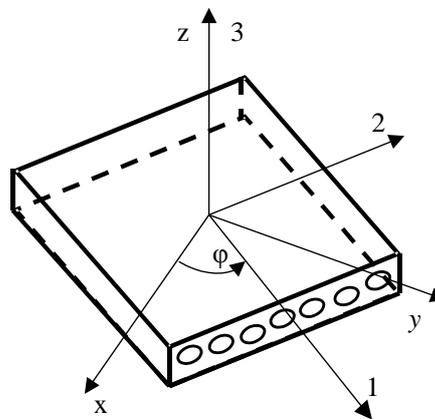


Рис. 1. Оси упругой симметрии (1, 2, 3) и произвольные ортогональные оси x, y, z

Напряжения в главных осях упругой симметрии однонаправленного слоя вычисляются через напряжения в произвольной системе координат xuz по следующим формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_x \cos^2 \varphi + \sigma_y \sin^2 \varphi + \tau_{xy} \sin 2\varphi, \\ \sigma_2 &= \sigma_x \sin^2 \varphi + \sigma_y \cos^2 \varphi - \tau_{xy} \sin 2\varphi, \\ \tau_{12} &= \frac{\sigma_y - \sigma_x}{2} \sin 2\varphi + \tau_{xy} \cos 2\varphi.\end{aligned}\tag{1.1}$$

! по заданным значениям напряжений $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ в системе координат XOY определить значения напряжений $\sigma_{x1}, \sigma_{y1}, \tau_{x1y1}$ в системе координат X1O1Y1, расположенной под углом φ к первой СК.

Значения действующих напряжений

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
σ_x , МПа	200	100	50	300	200	0	250	-100
σ_y , МПа	100	200	-150	100	0	150	50	50
τ_{xy} , МПа	50	50	100	0	50	-100	100	50
φ , °	15	30	45	60	75	90	105	120

1.2 Критерии прочности однонаправленного слоя

Для оценки прочности однонаправленного слоя при плоском напряженном состоянии в качестве критерия прочности на практике в основном используется критерий Хилла:

$$H_{cr} = \left(\frac{\sigma_1}{\bar{\sigma}_1} \right)^2 - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\bar{\sigma}_1 \bar{\sigma}_2} + \left(\frac{\sigma_2}{\bar{\sigma}_2} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{12}}{\bar{\tau}_{12}} \right)^2 = 1, \quad (1.2)$$

где $\bar{\sigma}_1$, $\bar{\sigma}_2$ и $\bar{\tau}_{12}$ – предельные напряжения в слое в направлении параллельно и перпендикулярно волокнам и при сдвиге в плоскости слоя соответственно. В зависимости от того, каков знак действующих напряжений (растяжение или сжатие) в знаменателе должны быть соответственно пределы прочности на растяжение или сжатие.

! построить сечения поверхности прочности для однонаправленного слоя по критерию Хилла при $\tau_{12} = 0$, $\tau_{12} = \frac{1}{3} \cdot \bar{\tau}_{12}$, $\tau_{12} = \frac{2}{3} \cdot \bar{\tau}_{12}$.

1.3 Механические характеристики однонаправленного слоя с учетом температуры

При температуре 177°С типичные механические свойства композиционных материалов на основе полимерных (полиимидных) связующих и углеродных волокон с коэффициентом армирования $\psi_b = 0,65$ соотносятся с данными при $T = 22^\circ\text{C}$ следующим образом:

$$\text{предел прочности при растяжении } \bar{\sigma}_{1p}^{t=177^\circ\text{C}} = 0,9 \bar{\sigma}_{1p}^{t=22^\circ\text{C}};$$

$$\text{модуль упругости при растяжении } E_{1p}^{t=177^\circ\text{C}} = 0,96 E_{1p}^{t=22^\circ\text{C}};$$

$$\text{предел прочности при сжатии } \bar{\sigma}_{1c}^{t=177^\circ\text{C}} = 0,7 \bar{\sigma}_{1c}^{t=22^\circ\text{C}};$$

$$\text{модуль упругости при сжатии } E_{1c}^{t=177^\circ\text{C}} \approx E_{1c}^{t=22^\circ\text{C}};$$

$$\text{предел прочности при изгибе } \bar{\sigma}_{1и}^{t=177^\circ\text{C}} = 0,7 \bar{\sigma}_{1и}^{t=22^\circ\text{C}};$$

$$\text{модуль упругости при изгибе } E_{1и}^{t=177^\circ\text{C}} \approx E_{1и}^{t=22^\circ\text{C}};$$

предел прочности при межслойном сдвиге $\bar{\tau}_{12}^{t=177^{\circ}\text{C}} \approx 0,7\bar{\tau}_{12}^{t=22^{\circ}\text{C}}$;

предел прочности при поперечном растяжении $\bar{\sigma}_{2p}^{t=177^{\circ}\text{C}} \approx \bar{\sigma}_{2p}^{t=22^{\circ}\text{C}}$;

модуль упругости при поперечном растяжении $E_{2p}^{t=177^{\circ}\text{C}} = 0,76E_{2p}^{t=22^{\circ}\text{C}}$;

здесь индексы «р» обозначают растяжение, «с» – сжатие.

Можно предположить о **линейной интерполяции (экстраполяции)** зависимости механических свойств однонаправленного слоя на основе полимерного (полиимидного) связующего и углеволокон от температуры $T_{\text{норм}} = 20^{\circ}\text{C}$ до температур $T_{\text{раб}}^{\text{max}} = 300^{\circ}\text{C}$.

$T_{\text{раб}}^{\text{max}}$ выбирается для каждого композита на основе $T_{\text{раб}}^{\text{max}}$ матричного материала по таблице 2.

Таблица 2

Некоторые свойства связующих

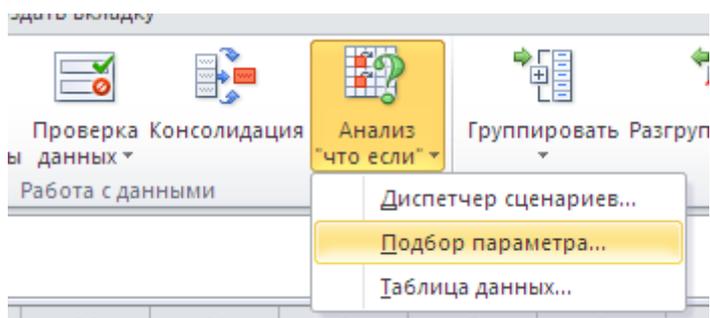
Упругие и прочностные характеристики	Вариант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Полиэфирное связующее	Эпоксидное связующее	Эпоксифенольное связующее	Фенолформальдегидное связующее	Полипропилен	Полиимидное связующее	Алюминиевый сплав	Магний сплав
$T_{\text{раб}}^{\text{max}}, ^{\circ}\text{C}$	120	150	150	180	-	300	-	-
$T_{\text{кр.вр}}^{\text{max}}, ^{\circ}\text{C}$	-	-	-	-	-	350	-	-
$T_{\text{пл}}, ^{\circ}\text{C}$	-	-	-	-	175	-	660	650

Для материалов с не заданной в явном виде $T_{\text{раб}}^{\text{max}}$ в первом приближении можно принять $T_{\text{раб}}^{\text{max}} = (0,8 \div 0,9)T_{\text{пл}}$.

! Необходимо вычислить все механические характеристики с учетом температуры и построить графики зависимости E_1 и $\bar{\sigma}_1^+$ от температуры.

Часть 3. Некоторые тонкости работы в программе Microsoft Excel

1 Подбор параметра в MS Excel позволяет установить в выбранной ячейке заданное пользователем значение, варьируя значением другой ячейки, которая фигурирует в первой в виде формулы.



	A	B	C	D
1	Кол-во книг	3		
2	Цена одной книги	260р.		
3	Процент скидки			
4	Сумма	780р.	=B1*B2*(1-B3)	

Подбор параметра [?] [X]

Установить в ячейке: \$B\$4

Значение: 600

Изменяя значение ячейки: \$B\$3

OK Отмена

	A	B	C	D
1	Кол-во книг	3		
2	Цена одной книги	260р.		
3	Процент скидки	23,08%		
4	Сумма	600р.	=B1*B2*(1-B3)	

Результат подбора параметра [?] [X]

Подбор параметра для ячейки B4.
Решение найдено.

Подбираемое значение: 600

Текущее значение: 600р.

Шаг Пауза

OK Отмена

Таким методом можно решать уравнения с одной неизвестной в программе MS Excel.