СИММЕТРИЯ УПРУГИХ СВОЙСТВ НЕОДНОРОДНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Тамаев С.Т., к.ф.м.н., профессор; Наурызбаев А.Н., к.ф.м.н., доцент
Таразский государственный педагогический институт
г. Тараз, Республика Казахстан

В данной работе исследуется характер симметрии упругих свойств неоднородного композиционного материала.

Бұл жұмыста біртекті емес композициялық материалдардың серпімділік қасиеттерінің симметриясының сипаты зерттеледі.

In this paper we investigate the nature of the symmetry of the elastic properties of an inhomogeneous composite material.

Композиция, адгезия, деформация, анизотропия, компоненты, наполнитель, матрица.

Под композиционном материалам понимают материалы отвечающим следующим требованиям [1]:

1. материал является сочетанием (композицией) двух или более химических разнородных твердых тел с четким пограничным слоем, разделяющим эти компоненты (составляющие);

2. компоненты композиции (сочетаний) заполненной весь объем материала, образуя сплошное тело.

3. никакая из компонент не обладает совокупностью свойств всей композиции.

В композиционным материале исключена возможность полного растворения одной из компонент в другой.

Возникновение спектров сил, обусловленных «дисперсионно – вандер-ваальскими, водородными связями, комплексом с переносом зарядов, типичными химическими силами» и механическими взаимодействием, допускается лишь в области формирование контактного слоя на границе раздела компонент композиции [2].

В ряде работ установлено своеобразие механических, теплофизических и других свойств контактирующего слоя (пограничного).

Композиционный материал являясь сочетанием материала матрицы связывающего вещества и материала наполнителя, представляет широки класс конструкционных материалов.

Номенклатура наполнителей чрезвычайно разнообразно (стекловолокна и их разновидности, различные ткани углеволокон, бороволокон, ткани различного переплетения, бериллевая, стальная, вольфрамовая и другие проволоки, различных окислов, рубленые волокна и т.д.). Они воспринимает и несут в конструкции основную часть механической нагрузки.

Материал матрицы (полимеры, металлы, керамика) соединяет материалы матрицы эти отдельные волокна, частиц, слой тканей в единой монолитный материал и несет важную функцию перераспределение напряжений. Последнее осуществляется через пограничный слой.

Таким образом, структура композиционных материалов является неоднородной, сложной и всякое расчетная модель его деформирования, по возможности одинаково описывающая функциональное назначение компонентов композиции, представляются актуальной.

Используемые на практике конструкционные композиционные материалы (стеклопластики, углепластики, боропластики, дисперсионно – упроченные материалы и т.д.) обладают определенной симметрией упругих свойств. Это обстоятельство существенно упрощает форму уравнений состояния, делая их обозримыми.

Описание различных видов симметрии упругих свойств однородных материалов и соответствующие им параметры обобщенного закона Гука можно найти в [3]. Приминительно к конструкционным композиционным материалам, используемым в авиационной и космической технике, можно ограничиться одним типом симметрии упругих свойств. Пусть компоненты неоднородного материала обладают осью симметрии (для определенности совпадающую с осью( ) такой, что все направления, перпендикулярные к этой оси, эквивалентны в смысле упругих свойств. В пользу использования такого типа симметрии говорит принятая технология изготовления композиционных материалов. Высокая прочность и высокий модуль упругости новых волокон, наполнителе обусловлены направленной ориентацией кристаллической решетки материала волокон. Анизотропия матрицы может быть объяснена технологическими операциями, принятыми в настоящее время для изготовления композиционных материалов. Например, для изготовления боралюминевых композиций используется прокатанный листовой материал-алюминиевая фольга. Если материал обладает указанным выше свойством, то, очевидно, что выражение свободной энергии (1)

$$\Delta f =, \sigma - ij - H1. + \Delta l_{\downarrow} IJ^{\uparrow}H + \sigma_{\downarrow} ij^{\uparrow} M1 [\Delta l] {}_{\downarrow} ij^{\uparrow} M - S^{\uparrow}H1 \Delta T^{\uparrow}H - S^{\uparrow}M1 \Delta T^{\uparrow}M + 1/2 \{[\lambda^{\uparrow}H \delta_{\downarrow} ij \delta_{\downarrow} mn + \mu^{\uparrow}H (\delta_{\downarrow} in \delta_{\downarrow} jm + \delta_{\downarrow} im \delta_{\downarrow} jn)] * \Delta l_{\downarrow} ij^{\uparrow}H \Delta l_{\downarrow} bm^{\uparrow}H + 2[\lambda^{\uparrow}a \delta_{\downarrow} ij \delta_{\downarrow} mn_{+} \ldots\ldots, \quad \mathbf{(1)}$$

должно не измениться при изменении направления оси . Если же изменить знак x_1 на обратный, то изменятся на противоположное знаки лишь компонентов деформации $\Delta e^{H}_{12}, \Delta e^{M}_{12}, \Delta e^{H}_{13}, \Delta e^{M}_{13}$. Поэтому все члены свободной энергии (I.), содержащие указанные компоненты деформации в первой степени, должны исчезнуть. Это возможно только тогда, когда

$$C^{H}_{ij12} = C^{H}_{ij13} = C^{a}_{ij12} = C^{a}_{ij13} = C^{M}_{ij12} = C^{M}_{ij13} \equiv 0, (ij \neq 12, ij \neq 13) \qquad \mathbf{(2)}$$
$$\beta^{H}_{12} = \beta^{H}_{13} = \beta^{1a}_{12} = \beta^{1a}_{13} = \beta^{2a}_{12} = \beta^{2a}_{13} = \beta^{M}_{12} = \beta^{M}_{13} \equiv 0$$

При этом число независисых параметров упругости уменьшится.

Для рассатриваемой среды вид свободной энергии не изменяется, если изменить направление оси на -x_2 (или). При этом в дополнение к условиям (2) можно получить

$$C^{H}_{ij23} = C^{a}_{ij23} = C^{M}_{ij23} \equiv 0 \ (ij \neq 23) \qquad \mathbf{(3)}$$
$$\beta^{H}_{23} = \beta^{1a}_{23} = \beta^{2a}_{23} = \beta^{M}_{23} \equiv 0$$

При этом число упругих постоянных уменьшается на 9.

Так как ось является осью упругой симметрии, то направления x_2 и x_3 в смысле упругих характеристик материала равноправны и поэтому вид выражения свободной энергии не должен изменится при замене осей x_2 на x_3 (и наоборот). Это можно только тогда, когда

$$C^{H}_{2222} = C^{H}_{3333},\ C^{a}_{2222} = C^{a}_{3333},\ C^{M}_{2222} = C^{M}_{3333},$$
$$C^{H}_{1122} = C^{H}_{1133},\ C^{a}_{1122} = C^{a}_{1133},\ C^{M}_{1122} = C^{M}_{1133},$$
$$C^{H}_{1212} = C^{H}_{1313}, = C^{a}_{1313},\ C^{M}_{1212} = C^{M}_{1313}, \qquad \mathbf{(4)}$$
$$C^{H}_{1213} = 0,\ C^{a}_{1213} = 0,\ C^{M}_{1213} = 0,$$
$$\beta^{H}_{22} = \beta^{H}_{33},\ \beta^{a}_{22} = \beta^{a}_{33},\ \beta^{M}_{22} = \beta^{M}_{33}$$

Чило независимых упругих параметров при этом составляет 18.

Наконец, принятый характер симметрии упругих свойств говорит, что в плоскости, перпендикулярной оси симметрии , равноправны не только направления x_2 и x_3, но и любые , x полученные вращением их на угол α.

При таком повороте осей координат направляющие косинусы [4] определяются из таблицы 1.

Направляющие косинусы

таблица 1

	x_1	x_2	x_3
	$l_1 = I$	$m_1 = 0$	$n_1 = 0$
	$l_2 = 0$	$m_2 = cos\alpha$	$n_2 = sin\alpha$
	$l_3 = 0$	$m_3 = -sin\alpha$	$n_3 = cos\alpha$

Компоненты дополнительных деформаций относительно новых осей координат связаны с их значениями в системе координат $x_1x_2x_3$ известными соотношениями

$$
\begin{aligned}
\Delta e_{22} &= m_2^2\Delta e'_{22} + n_2^2\Delta e'_{33} + 2m_2n_2\Delta e'_{23}\\
\Delta e_{33} &= m_3^2\Delta e'_{22} + n_3^2\Delta e'_{33} + 2m_3n_3\Delta e'_{23}\\
\Delta e_{23} &= \left(m_2m_3\Delta e'_{22} + n_2n_3\Delta e'_{33}\right) + (m_2n_3 + m_3n_2)\Delta e'_{23}\\
\Delta e_{13} &= n_3\Delta e'_{13} + m_3\Delta e'_{12}\\
\Delta e'_{12} &= n_2\Delta e'_{13} + m_2\Delta e'_{12}
\end{aligned}
\qquad (5)
$$

Если дополнительные деформации (5) подставить в выражение свободной энергии, записанной с учетом полученных выражений (2)-(4), и потребовать, что форма ее при этом не меняется, то легко получить окончательные ограничения на параметры упругости неоднородного материала.

Они имеют вид

$$
C^{H}_{2233} = C^{H}_{2222} - 2 \quad C^{a}_{2233} = C^{a}_{2222} - 2C^{a}_{2323}
$$

$$
C^{M}_{2233} = C^{M}_{2222} - 2C^{M}_{2323} \qquad (6)
$$

Таким образом, окончательное число независимых упругих параметров равно 15. Ими являются параметры

$$
C^{H}_{1111},\ C^{H}_{2222},,,,
$$

$$
C^{a}_{1111},\ C^{a}_{2222},,,, \qquad (7)
$$

$$
C^{M}_{1111},\ C^{M}_{2222},,,
$$

физический смысл которых выражают характеристику жесткости анизотропного упругого накопителя и анизотропной упругой матрицы соответственно [5].

Литература:

[1] «Современные композиционные материалы» под редакцией Л.Браутмана, Р. Крока.-М.: Издательство «Мир», 1970.

[2] Андреева Н.Г., и др. Адгезионная связь и температурные напряжения на границе раздела наполнитель-полимер в композициях на основе полиэтилена.-М.: Механика полимеров №6, 1970.

[3] Л.Д. Ландау и Е.М. Лифщиц Теория упругости. Теорическая физика.-М.: Издательство «Наука», Том VII, 1965. – 204с.

[4] Дж. Най. Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц.-М.: Издательство иностранной литературы, 1960.-385с.

[5] Тамаев С.Т., Каримбаев Т.Д. Уравнения состояния зависящих от свойств компонентов композиционной среды. // Тезисы докладов 10-ой Межвузовской конференции по математике и механике – Алматы, 2004, -291с.