

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН МЕМЛЕКЕТТІК ПЕДАГОГИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SOUTH KAZAKHISTAN STATE PEDAGOGICAL UNIVERSITY



Абай Құнанбаевтың 175 жылдығына арналған Байтанаев оқулары-8
«Абай мұрасы – халық қазынасы»
атты халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция жұмысының
ҒЫЛЫМИ МАҚАЛАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ
международной научно-практической конференции
«Наследие Абай – сокровище народа»
Байтанаевские чтения-8, посвящённой 175 юбилею Абая Құнанбаева

A COLLECTION OF SCIENTIFIC ARTICLES
of the international scientific-practical conference
« Abay's legacy is the wealth of the people »
Baitanayev readings-8 dedicated to the 175th anniversary of Abay

II БӨЛІМ

Шымкент – 2020

- Екатеринбург: УрО РАН, 2004. - 172 с.
19. Арзамасцев А.П. Валидация аналитических методов / А.П. Арзамасцев, Н.П. Сартыков, Е.А. Харитонов // Фармация. - 2006. - №4. - С.8-12.
20. Badmiev, V. Vanadium: a review of its' potential role in the fight against diabetes / V. Badmiev, M. Prakash, M. Majeed // J. Altern. Complement Med. - 1999. - Vol. 5, №3. - P.273-91.

УДК 372.8:51

О характеристиках композиционного материала

Жумабаев М.Ж, д.ф.-м.н. Есқараева Б.И. - преподаватель, Мұратбекова У.А. - преподаватель

Түйін

Жұмыста композициялық материал конструкциясының деформациялық моделі ұсынылады. Осы модель негізінде көп қабатты анизотропты материал деформациясының негізгі физикалық тәуелсіздіктері қарастырылған.

Summary

The paper presents a deformation model of the construction of a composite material. On the basis of this model includes the main physical dependence on deformation of a layered anisotropic material.

В конструкциях для получения необходимых прочностных характеристик применяются композиционные материалы, где каждый монослой имеет свой угол армирования. Подбирая монослои с различными углами армирования можно создавать композиционные материалы с заранее определенными

требуемыми свойствами в различных направлениях [1-3]. Многослойная конструкция описывается большим числом упругих характеристик. Число упругих характеристик материала зависит от симметрии внутреннего строения материала. Однако при расчёте напряженно-деформированного состояния конструкций из пакета таких слоёв возникают некоторые трудности. Они связаны с отсутствием простых и достаточно точных аналитических методов определения механических характеристик деформирования таких сложных многокомпонентных систем.

Каждый монослой считается ортропным однородным телом, которое обладает тремя плоскостями упругой симметрии. Обобщенный закон Гука в этом случае будет иметь вид:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= a_{11}\sigma_x + a_{12}\sigma_y + a_{13}\sigma_z, \quad \varepsilon_y = a_{12}\sigma_x + a_{22}\sigma_y + a_{23}\sigma_z \\ \varepsilon_z &= a_{13}\sigma_x + a_{23}\sigma_y + a_{33}\sigma_z, \quad \gamma_{yz} = a_{44}\tau_{yz}, \quad \gamma_{xz} = a_{55}\tau_{xz}, \quad \gamma_{xy} = a_{66}\tau_{xy} \end{aligned}$$

Эти соотношения удобно представить, вводя технические константы, E_i, G_{ij}, ν_{ij} , причем вместо буквенных индексов будем писать численные:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E_1}\sigma_x - \frac{\nu_{21}}{E_2}\sigma_y - \frac{\nu_{31}}{E_3}\sigma_z, \quad \varepsilon_y = -\frac{\nu_{12}}{E_1}\sigma_x + \frac{1}{E_2}\sigma_y + \frac{\nu_{32}}{E_3}\sigma_z, \\ \varepsilon_z &= -\frac{\nu_{13}}{E_1}\sigma_x - \frac{\nu_{23}}{E_2}\sigma_y + \frac{1}{E_3}\sigma_z, \quad \gamma_{yz} = \frac{1}{G_{23}}\tau_{yz}, \quad \gamma_{xz} = \frac{1}{G_{13}}\tau_{xz}, \quad \gamma_{xy} = \frac{1}{G_{12}}\tau_{xy} \end{aligned}$$

В силу симметрии матрицы правой части уравнений обобщенного закона Гука всегда имеют место зависимости:

$$E_1\nu_{21} = E_2\nu_{12}, \quad E_2\nu_{32} = E_3\nu_{23}, \quad E_3\nu_{13} = E_1\nu_{31}$$

В связи этим приведенные соотношения будут представлять инструмент для исследований, если определить девять независимых механических характеристик-три модуля упругости E_1, E_2, E_3 в направлениях осей координат x_i ($i = 1, 2, 3$), три модуля сдвига G_{12}, G_{13}, G_{23} в плоскостях $x_i x_j$ ($i, j = 1, 2, 3$) ($ij=1, 2, 3$) и три коэффициента Пуассона $\nu_{12}, \nu_{13}, \nu_{23}$.

Материал монослоя имеет однонаправленную - армированную структуру. Однако направление армирование не совпадает осями координат x_i , образуя с ним некоторый угол φ . Для аналитического определения механических характеристик такого слоя можно применить метод преобразования системы координат. В теории упругости доказывается, что компоненты или составляющие тензора упругости при изменении системы координат преобразуются по закону:

$$a'_{ij} = a_{mn}q_{im}q_{jn},$$

где, q_{im} и q_{jn} направляющие косинусы.

Соответственно, составляющие тензора напряжений, описывающие одно и тоже напряженное состояние, имеют разные значения в различных системах координат.

Однонаправленное-армированный композиционный материал, который является трансверсально-изотропным телом с пятью упругими характеристиками, при повороте на произвольный угол φ , превращается в

ортотропное тело с девятью независимыми упругими характеристиками. В этом случае упругие характеристики такого материала будут определяться из формул:

$$a'_{11} = \frac{\cos^4 \varphi}{E_1} + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2\nu_{12}}{E_1} \right) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \frac{\sin^4 \varphi}{E_2},$$

$$a'_{12} = \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{2\nu_{12}}{E_1} - \frac{1}{G_{12}} \right) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \frac{2\nu_{12}}{E_1},$$

$$a'_{13} = - \left(\frac{\nu_{23}}{E_2} \sin^2 \varphi - \frac{\nu_{13}}{E_1} \cos^2 \varphi \right),$$

$$a'_{22} = \frac{\sin^4 \varphi}{E_1} + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2\nu_{12}}{E_1} \right) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \frac{\cos^4 \varphi}{E_2},$$

$$a'_{23} = - \left(\frac{\nu_{23}}{E_2} \cos^2 \varphi - \frac{\nu_{13}}{E_1} \sin^2 \varphi \right)$$

$$a'_{33} = \frac{1}{E_2}, \quad a'_{44} = \frac{\cos^2 \varphi}{G_{23}} + \frac{\sin^2 \varphi}{G_{13}}, \quad a'_{55} = \left(\frac{1}{G_{23}} - \frac{1}{G_{13}} \right) \sin \varphi \cos \varphi,$$

$$a'_{66} = 4 \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{2\nu_{12}}{E_1} - \frac{1}{G_{12}} \right) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi - \frac{1}{G_{12}}.$$

Пять механических характеристик трансверсально-изотропных тел определяется на основе ранее разработанных математических моделей. На базе данной модели была создана программа для определения девяти механических характеристик монослоя. Параметры деформирования такого материала определяется с использованием соотношений теории течения. С помощью программы были получены шесть кривых деформирования и три коэффициента Пуассона для монослоя и различных углов армирования $-15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$. Полученные результаты показывает, что с увеличением угла армирования кривая продольной деформации становится более пластичной и при 90° совпадает с кривой деформирования при растяжении, а кривая поперечных, наоборот, совпадает с кривой деформирования при растяжении, что подтверждает правильность выбранной модели.

В настоящее время мало экспериментальных данных по кривым с различными углами армирования, для сравнения с полученными аналитическими данными. Проведены экспериментальные работы по определению механических характеристик однонаправленных-армированных композиционных материалов с различными углами армирования. Для определения всех девяти механических характеристик ортотропного тела необходимо провести, как минимум, шесть независимых испытаний. Для определения упругих характеристик E_1, E_2, G_{12} , а также коэффициентов Пуассона ν_{12}, ν_{23} могут быть использованы экспериментальные методы.

Для определения упругой характеристики E_2 , а также коэффициента Пуассона ν_{13} изготавливают толстые многослойные образцы и растягивают их в направлении, перпендикулярном слоям. Две оставшиеся упругие характеристики G_{13} и G_{23} определяются методами, подобными методу определения G_{12} на образцах из однонаправленно-армированных материалов.

В этом случае образцы, специальным образом вырезанные из монолитного тела, испытываются на кручение.

Полученные экспериментальные данные могут отличаться, а в некоторых случаях существенно, от аналитических полученных кривых. Это связано с более сложным напряженным состоянием в монослое. Одним из главных сложностей заключается в учете такого эффекта как «выпрямление волокна». Эффект заключается в следующем: волокно, армированное под углом α под действием внешней силы, выпрямляется на угол $\Delta\alpha$ и свойства композиционного материала уже будут соответствовать углу армирования $\alpha - \Delta\alpha$. В соотношениях для определения механических характеристик монослоя этот эффект не учтен. В дальнейшем на основе полученных физических соотношений между инвариантами тензоров напряжений и деформацией различных монослоев предполагается создать программу аналитического построения кривых нелинейного деформирования анизотропного многослойного пакета.

Литература

1. Алфутов Н.А., Зиновьев П.А., Попов Б.Г. Расчет многослойных пластин и оболочек из композиционных материалов. -М., Машиностроение, 1984.
2. Белозеров Л.Г., Киреев В.А. К определению несущей способности конструкций из композиционных материалов при интенсивном поверхностном нагреве. Механика полимеров. 1977, №3.
3. Францевич И.Н., Воронов Ф.Ф., Бакута С.А. Упругие постоянные и модели упругости металлов и неметаллов, справочная. Киев: Наукова думка, 1982, 288с.

