

O'zbekiston

Kompozitsion **M**ateriallar

Ilmiy-texnikaviy va amaliy jurnali



Узбекский научно-технический и производственный журнал

Композиционные материалы

УДК 539.3

ИЗГИБ АНИЗОТРОПНОЙ АРМИРОВАННОЙ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ КОНСОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ

М. Мирсаидов¹, Б.Х. Эшматов², Р.А. Абдикаримов³

¹АН РУз, НИТУ «ТИИИМСХ», ²Алмалыкского Филиала НИТУ «МИСИС», ³Ташкентского архитектурно-строительного университета

Введение. Использование новых композиционных материалов в инженерной практике, проектирование и создание прочных, легких и надежных конструкций требует совершенствования механических моделей деформируемых тел и разработки математических методов расчета, в которых учитываются реальные свойства указанных материалов.

Рассмотрим прямоугольную композитную армированную пластину, подвергнутую поперечной нагрузке $q = q(x, y)$. Предположим, что одна из сторон пластины жестко закреплена, а остальные свободные (рис.1). В качестве материала пластины выбран эпоксидный графитопластик со следующими механическими характеристиками: $E_1 = 181$ ГПа, $E_2 = 10.3$ ГПа, $G_{12} = 7.17$ ГПа, $\mu_{12} = 0.28$. Подобная конструкция представляет собой профиль крыла самолета и поэтому вопросы исследования их напряженно-деформированного состояния очень актуальны в современном авиастроении.

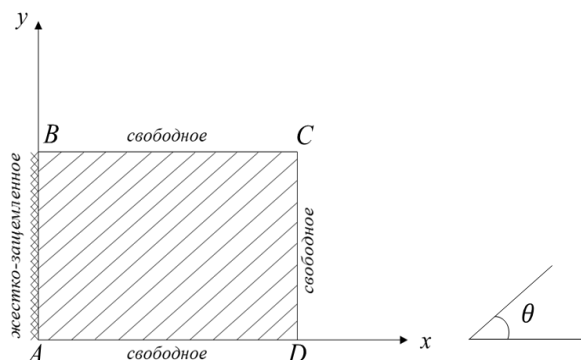


Рис.1. Геометрия анизотропной прямоугольной консольной пластины, армированной волокнами под углом θ градусов

Для решения этой граничной задачи, её решение, удовлетворяющая граничным условиям, будем искать в следующем виде [1]:

$$w(x, y) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N X_m(x) Y_n(y), \quad (1)$$

$$X_m(x) = \frac{\cos \lambda_m + \cosh \lambda_m}{\sin \lambda_m - \sinh \lambda_m} \left(\cos \frac{\lambda_m x}{a} - \cosh \frac{\lambda_m x}{a} \right) + \frac{\sin \frac{\lambda_m x}{a} - \sinh \frac{\lambda_m x}{a}}{\sin \lambda_m - \sinh \lambda_m},$$

$$Y_1(y) = 1, \quad Y_2(y) = 1 - \frac{2y}{b},$$

$$Y_n(y) = \cos \alpha_n \left(\frac{y}{b} - \frac{1}{2} \right) - \frac{\sin(\alpha_n/2)}{\sinh(\alpha_n/2)} \cosh \alpha_n \left(\frac{y}{b} - \frac{1}{2} \right) \quad (n = 3, 5, 7, \dots)$$

$$Y_n(y) = \sin \beta_n \left(\frac{y}{b} - \frac{1}{2} \right) + \frac{\sin(\beta_n/2)}{\sinh(\beta_n/2)} \sinh \alpha_n \left(\frac{y}{b} - \frac{1}{2} \right) \quad (n = 4, 6, 8, \dots)$$

где λ_m , α_n , β_n определяются из трансцендентных уравнений:

$$\begin{aligned} \cos \lambda_m \cosh \lambda_m &= -1, \\ \tan \left(\frac{\alpha_n}{2} \right) + \tanh \left(\frac{\alpha_n}{2} \right) &= 0, \\ \tan \left(\frac{\beta_n}{2} \right) - \tanh \left(\frac{\beta_n}{2} \right) &= 0 \end{aligned}$$

Подставляя (1) в уравнения движения [2,3] и выполняя процедуру Бубнова-Галеркина получим систему дифференциальных уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние анизотропной армированной прямоугольной консольной пластины, аналогичным полученным в работах [4-7].

Рисунки 2-5 иллюстрируют формы прогибов квадратной армированной консольной пластины с различным направлениями волокон при постоянной поперечной нагрузке q . Как и следовало ожидать, в случаях ортотропных пластин (направление волокон 0 и 90 градусов) кромка пластины, находящаяся напротив жестко закрепленной стороны, не скручивается. В этих случаях значения отклонений одинаковы для каждой точки вдоль линий на пересечениях пластины с плоскостью $x = \text{const}$. Прогиб имеет свое максимальное значение в точках на линии, которая является пересечением пластины с плоскостью $x=a$ (на линии CD на рисунке 1). Значение максимального прогиба пластины с направлением волокон 90° больше, чем у пластины с направлением волокон 0° .

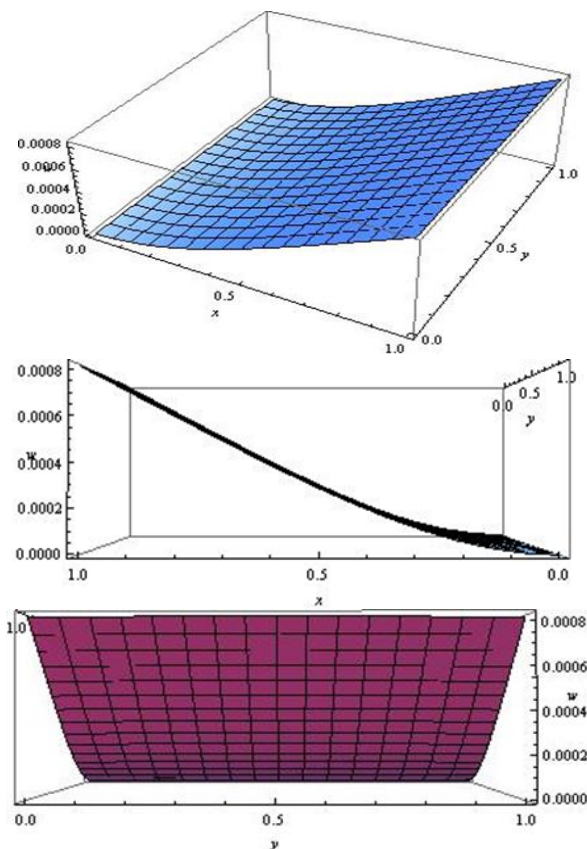


Рис.2. Изгиб ортотропной квадратной армированной консольной пластины (направление армированных волокон 0°)

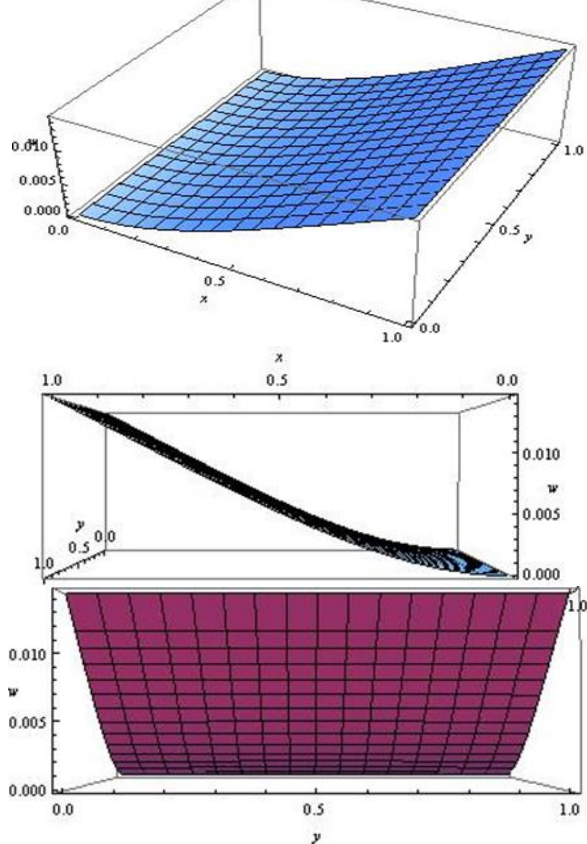


Рис.3. Изгиб ортотропной квадратной армированной консольной пластины (направление армированных волокон 90°)

В отличие от ортотропных пластин, в анизотропных пластинах на кромке, находящейся напротив жестко заземленной стороны, наблюдается скручивание. Здесь значения прогибов не совпадают в точках пересечения пластины с плоскостью $x = \text{const}$. Экстремальные значения прогиба достигаются в точках C и D (рис.1). Более того, результаты показывают, что ребро $x = a$, расположенное напротив зажатого края, имеет форму прямой линии. Это означает, что пластина не имеет “перегиба”.

Кромки при перегибе могут перемещаться в одном и том же или в противоположных направлениях. Перегиб связан с выпуклостью, которая описывает изгибы верхней и нижней поверхностей профиля.

Чтобы проверить сходимость полученных результатов, мы используем результаты прогибов, показанные на рисунках 4 и 5 для квадратной анизотропной пластины с ориентацией волокон $+45^\circ$ и -45° градусов. Сравнивая эти два результата, мы видим, что максимальные прогибы одинаковы, а формы изгиба симметричны относительно плоскости $y = b/2 = 0.5\text{м}$.

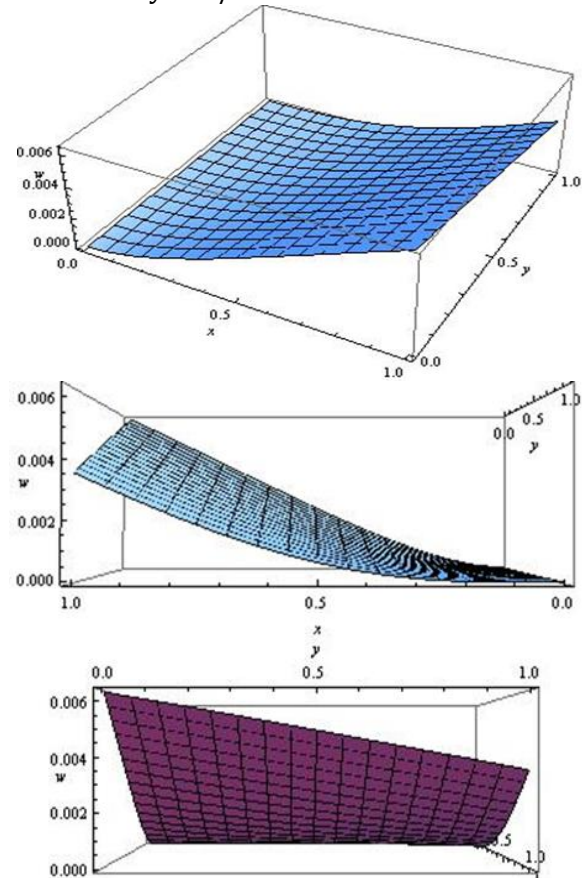


Рис.4. Изгиб ортотропной квадратной армированной консольной пластины (направление армированных волокон 45°)

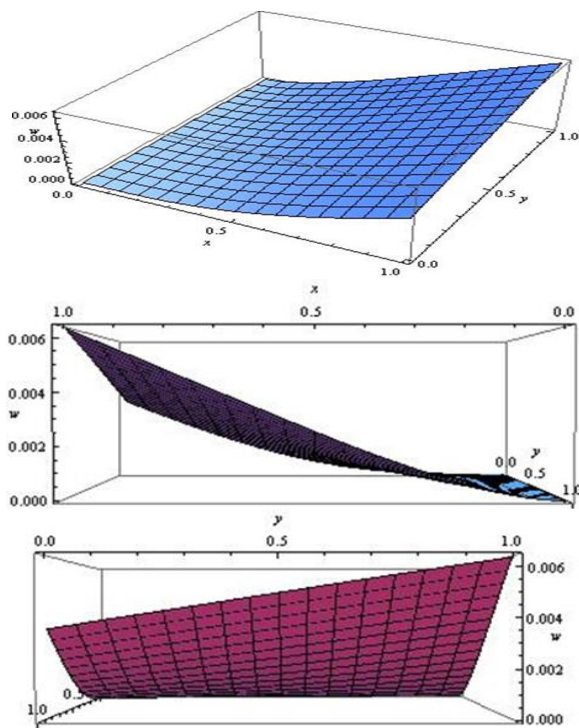


Рис.5. Изгиб ортотропной квадратной армированной консольной пластины (направление армированных волокон -45°)

В этом случае прогиб достигает своих экстремальных значений в точках С и D. Смещение кромки, расположенной напротив зажатой кромки пластин с ориентацией волокон $+45$ и -45 , показывает одинаковую величину смещения при $y = b/2 = 0.5$ м. (от изгиба) и изменение направления наклона (от изгибно-крутильной пары).

Выводы. Направление волокон в армированных конструкциях играют важную роль в исследовании их напряженно-деформированного состояния. Анализ результатов показал, что варьируя направлением армированных волокон можно уменьшить и увеличить изгиб консольной пластины. К примеру, среди квадратных консольных пластин, наименьший изгиб наблюдается у пластин с направлениями волокон перпендикулярных зашечленному контуру.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Leissa A.W. Vibration of Plates. Washington: NASA SP-160, 1969, 353 p.
2. Вольмир А.С. Нелинейная динамика пластин и оболочек. М.: Наука, 1972, 432 с.
3. Ashton J.E., Whitney J.M. Theory of Laminated Plates. Stamford: Technomic publication, 1970, 153 p.
4. Эшматов Б.Х. Нелинейные колебания вязкоупругой анизотропной армированной пластины // Известия РАН. Механика твердого тела – Москва, 2018 - №5 – С. 106-111.
5. Эшматов Б.Х., Эшматов Х., Ходжаев Д.А. Нелинейный флаттер вязкоупругих прямоугольных пластин и цилиндрических панелей из композиционного материала с сосредоточенными массами // Сибирское отделение РАН, «Прикладная механика и техническая физика» – Новосибирск, 2013 – Т.54 - №4 – С. 74-85.
6. Eshmatov B.Kh., Mukherjee S. Nonlinear vibrations of viscoelastic composite cylindrical panels // Journal of Vibration and Acoustics (American Society of Mechanical Engineering) – 2007 - №129 – P.285-296.
7. Eshmatov B.Kh., Mirsaidov M., Abdikarimov R.A. Dynamic buckling of plate made of glass reinforced plastic under rapidly increasing shear load // CONMECHYDRO-2023, E3S Web of Conferences 401, 03009, 2023.

Kalit so'zlar: egilish, to'rtburchakli armirlangan konsolli plastinka, epoksidli grafitoplastik.

To'g'ri to'rtburchakli armirlangan konsolli plastinkaning ko'ndalang statik kuch ta'sirida egilishi masalasi echilgan. Armirlangan to'qimalarning yo'nalishini o'zgarishi kompozit plastinkaning egilishiga ta'siri o'rganilgan.

Ключевые слова: изгиб, прямоугольная консольная армированная пластина, эпоксидный графитопластик.

Решена задача об изгибе прямоугольной армированной консольной пластины под воздействием статической поперечной нагрузки. Исследовано влияние направления армированных волокон на изгиб композитной пластины.

Keywords: bending, rectangular reinforced cantilever plate, graphite epoxy plastic.

The problem of bending a rectangular reinforced cantilever plate under the influence of a static transverse load has been solved. The influence of the direction of reinforced fibers on the bending of a composite plate is investigated.

5. Методы исследования, приборов и оборудования композиционных материалов

B.Sh. Bektemirov, Sh.A. Karimov, M.Kh. Abdurakhmonova. Key requirements on obtaining high-performance aluminum oxide-based ceramics.....	211
С.С. Негматов, Ю.К. Рахимов, Н.Б. Эрннйёзов, М.Э. Икрамова, Х.Ю. Рахимов, Т.О. Камолов, Д.Н. Раупова, Д.К. Рахмонов. Проведение лабораторно-производственных испытаний разработанных композиционных химических флотореагентов-вспенивателей.....	213
T.R. Yuldashev. Tabiiy gazlarni nordon komponentlardan absorbsion usulda tozalanish darajasining gaz va aminning haroratiga bog'liqligini tadqiqotlash.....	217
Ж.Н. Садыков, Л.В. Гальперин, З.Д. Эрматов, Н.С. Дуняшин. Исследование и разработка классификационной схемы компонентов, входящих в состав керамических флюсов для автоматической дуговой сварки.....	221
M.G. Abdukhililova, H.A. Babakhanova. Effect of the composition of the fountain solution on gradation and color coordinates.....	224
H.A. Zikirov, X.Ch. Mirzaqulov, R.Ch. Yorboboyev, G.E. Meyliqulova. Markaziy qizilqum fosforitlaridan nitrat va sulfat kislotali qayta ishlash asosida NPKCa o'g'itini olish jarayoni tadqiqoti.....	227
O'D. Raxmatjanov, X.Ch. Mirzaqulov, R.Ch. Yorboboyev. Natriy sulfat va magniy sulfat tuzlari asosida astraxanit sintezi jarayoni tadqiqoti.....	231
М. Мирсаидов, Б.Х. Эшматов, Р.А. Абдикаримов. Изгиб анизотропной армированной прямоугольной консольной пластины.....	237
B.A. Muratov, X.X. Turaev, I.A. Umbarov. Mass-spektrometrik usul asosida Zn(II) va Co(II) ning atsiklovir (2-amino-((2-gidroksietoksi)metil)-1,9-digidro-6H-purin-6-OH) bilan hosil qilgan kompleks birikmalarini o'rganish.....	240
X.P. Valiev, S.H. Fayzullov, J.B. Gulomov, S.Z. Imomnazarova. Исследование комплексного извлечения ценных компонентов из цинковых кеков аммиачным методам.....	242
С.С. Негматов, К.С. Негматова, Н.С. Абед, Т.У. Улмасов, С.С. Жовлиев, Б.Б. Хаимнов, Ж.Н. Негматов, Ф.М. Наврузов, Р.Х. Пирматов, Б.Б. Эшмуратов. Исследование термодинамических и структурных характеристик взаимопроникающих полимерных сеток-впс на основе термореактивных и термопластичных полимеров.....	245
С.С. Негматов, К.С. Негматова, В.С. Туляганова, Н.Х. Талипов, О.Х. Панжиев, Ж.Н. Негматов, Р.Х. Пирматов, Б.Б. Эшмуратов. Нефть ва газ кудукларини бурғилаш жараёнида деворларни маҳкамлаш мақсадида микрокремнезем ва органоминерал ингредиентлар асосида енгил цементлаштирувчи кукунли композицион материалларни ишлаб чиқишнинг долзарблиги ва уларни амалга ошириш усуллари.....	250
З.З. Яхшиева, Х.Б. Жураев, А.З. Залов, А.А. Бакахонов. Применение цифрового цветометрического анализа в определении ионов кадмия (II).....	253
С.И. Номозова, Н.И. Файзуллаев, Д.Р. Ҳамидов. Пропандан ароматик углеводородлар олиш учун танланган модификацияланган катализаторларнинг текстур ва физик-кимёвий характеристикалари.....	256

6. Проблемные обзоры

Ж.Н. Садыков, Л.В. Гальперин, З.Д. Эрматов, Н.С. Дуняшин. К вопросу разработки математической модели формирования химического состава литого металла шва при автоматической дуговой сварке под слоем керамического флюса.....	259
С.С. Негматов, Б.А. Мамедов, Н.С. Абед, М.Э. Икрамова, Р.Х. Солиев, Ж.Н. Негматов, Р.Х. Пирматов, Б.Б. Эшмуратов. Исследование закономерности формирования эпоксисилоксановых полимерных материалов, применительно в рельефных элементах технологической оснастки железобетонных конструкций и керамзобетонных панелей.....	262
O.A. Mixliyev, X.Ch. Mirzaqulov, R.Ch. Yorboboyev. Dolomit xomashyosini azot kislotali parchalash jarayonida hosil bo'lgan ko'piklanishni bartaraf etish tadqiqoti.....	266
С.С. Негматов, Б.А. Мамедов, Н.С. Абед, К.С. Негматова, М.Э. Икрамова, Р.Х. Солиев, Ж.Н. Негматов, Р.Х. Пирматов, Б.Б. Эшмуратов. Состояние и анализ фазовых структур и физико-механические свойства композиции из смесей эпоксидных и других полимеров и их взаимосвязи.....	269
М.А. Каримов, Р.Р. Ешмуратова, З.А. Мухамедбаева. Применение техногенных отходов для производства портландцемента.....	273

7. Вести из лаборатории

Б.Б. Полатов, К.И. Юнусалиева, М.Ю. Рахимов. Технология получения износостойкого покрытия методом газопламенного напыления.....	276
С.С. Негматов, К.С. Негматова, В.С. Туляганова, Н.Х. Талипов, О.Х. Панжиев, Ж.Н. Негматов, Р.Х. Пирматов, Б.Б. Эшмуратов. Нефть ва газ кудукларини бурғилаш жараёнида деворларни маҳкамлаш мақсадида микрокремнезем ва органоминерал ингредиентлар асосида енгил цементлаштирувчи кукунли композицион материалларни ишлаб чиқишнинг долзарблиги ва уларни амалга ошириш усуллари.....	278
К.С. Негматова, Д.Н. Раупова, З.А. Анварова. Исследование и разработка эффективных и технологически приемлемых катализаторов для получения ацетатов целлюлозы.....	280
К.С. Негматова, Д.Н. Раупова, З.А. Анварова. Разработка эффективной технологии получения композиций и пленочных материалов на основе ацетата целлюлозы.....	282