

Определение структурных параметров композита в модифицированном полупетлевом соединении

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

Предложена модель определения структурных параметров композита в модифицированном полупетлевом соединении. На основе рассмотренной модели получены зависимости для прогнозирования величины объемного содержания волокна и изменения углов армирования в двух плоскостях. Выполненные численные исследования подтверждают работоспособность предложенной модели.

Ключевые слова: модифицированное полупетлевое соединение, композиционный материал, структурные параметры, методика, угол армирования.

Одним из основных способов снижения массы и повышения экономической эффективности изделий в аэрокосмической технике является применение композиционных материалов (КМ). Наиболее эффективно высокие прочностные и упругие свойства однонаправленных композиционных материалов реализуются в стержневых системах. Степень полезного использования этих свойств существенно зависит от конструктивно-технологического решения (КТР) соединительного узла. В растянутых стержневых системах из КМ с прямоугольным поперечным сечением широко применяют полупетлевые соединения [1, 2]. Использование этих КТР зарекомендовало себя только для слабо- и средненагруженных конструкций из-за высоких радиальных (надавливающих) напряжений в КМ, невозможности передачи сжимающих и изгибающих сил, неравномерного нагружения слоев КМ по толщине. Для устранения этих недостатков в работе [3] предложено модифицированное полупетлевое соединение для высоконагруженных конструкций. Соединение представляет собой металлическую оребренную втулку (рис. 1), на которую механизированным способом наматывается арматура КМ. Принцип работы данного соединения заключается в том, что нагрузка с ветвей из КМ, равномерно распределяясь между лепестками, передается через склейку на стыковой болт.

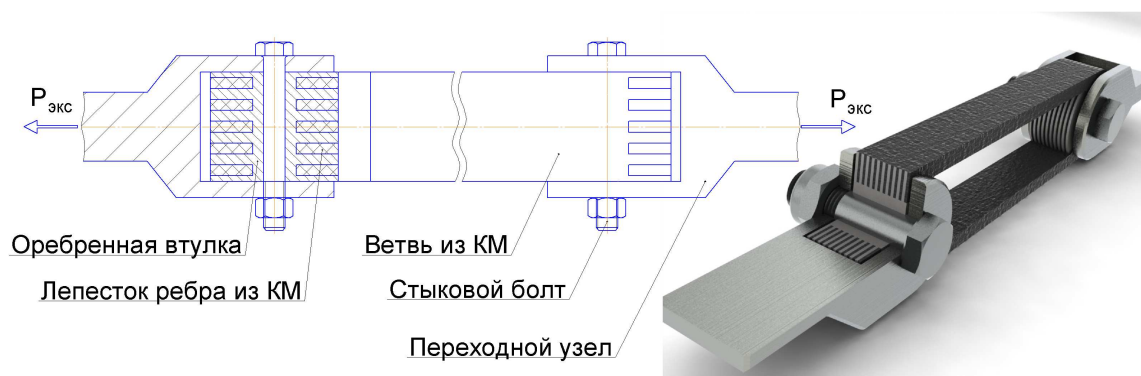


Рис. 1. Модифицированное полупетлевое соединение

Задача определения напряженно-деформированного состояния (НДС) соединительного узла (см. рис. 1) может быть корректно решена на основе трехмерной теории упругости неоднородных систем или методом конечных элементов. Оба этих метода не могут служить инструментарием для проектирования узла или коррекции его конструктивных параметров, поэтому, введя обоснованные допущения, целесообразно разработать упрощенную инженерную методику, позво-

ляющую определять основные параметры оребренной втулки и ветви КМ (рис. 2).

Одной из актуальных проблем этого КТР является прогнозирование свойств КМ между зонами перехода ветви КМ к ребрам втулки, где наблюдается изменение объемного содержания и искривление волокон.

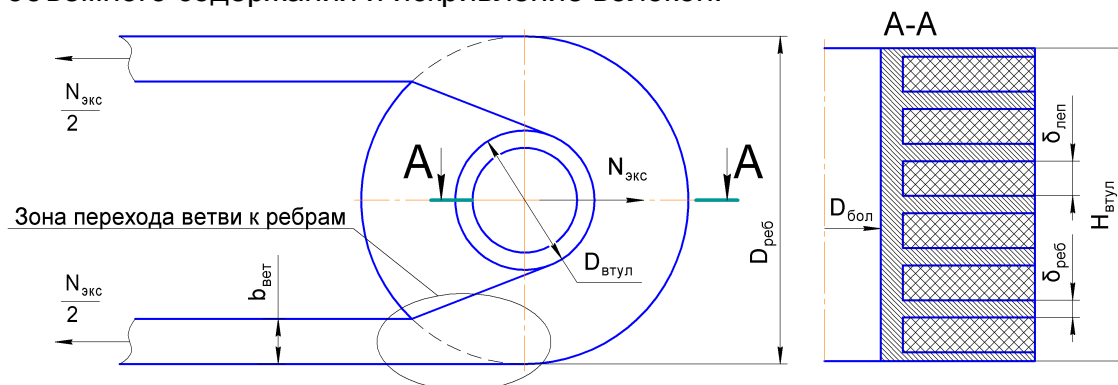


Рис. 2. Конструктивные параметры модифицированного полупетлевого соединения

Изменение объемного содержания происходит в результате обхода тела втулки и внедрения в рабочее сечение ветви металлических ребер, разделяющих ветвь КМ на лепестки. Искривление волокна происходит в двух плоскостях (рис. 3). Во-первых, волокна искривляются в результате обтекания металлических ребер в вертикальной плоскости (см. рис. 3, а). Во-вторых, арматура КМ изменяет свою ориентацию в результате обхода тела втулки в горизонтальной плоскости (см. рис. 3, б).

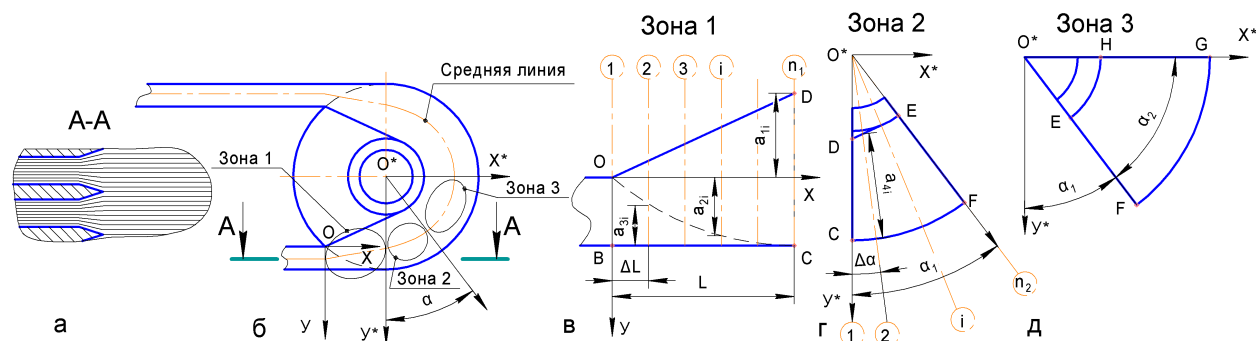


Рис. 3. Поведение арматуры КМ

Для расчета изменения объемного содержания волокон в зоне 1 рассмотрим четырехугольник OBCD (см. рис. 3, в), где отрезок BC определяет длину зоны 1. Разобьем зону 1 на n сечений с равным шагом ΔL , тогда протяженность зоны

$$L = \sqrt{b_{\text{вет}} \cdot (D_{\text{реб}} - b_{\text{вет}})}. \quad (1)$$

Примем, что в каждом рассматриваемом сечении волокна распределены равномерно по элементарному объему лепестка КМ, тогда объемное содержание волокон определяется следующей формулой:

$$\theta_{1i} = \frac{\theta \cdot b_{\text{вет}} \cdot (\delta_{\text{реб}} + \delta_{\text{леп}})}{(a_{1i} + a_{2i}) \cdot \delta_{\text{леп}} + a_{3i} \cdot (\delta_{\text{реб}} + \delta_{\text{леп}})}, \quad (2)$$

где a_{1i} , a_{2i} , a_{3i} рассчитывают по формулам (см. рис. 3, в):

$$a_{1i} = \frac{D_{\text{реб}} - 2 \cdot b_{\text{вет}} - \frac{D_{\text{втул}}}{\cos \alpha_1}}{2 \cdot L} \cdot x_i, \quad (3)$$

$$\alpha_1 = \arccos\left(\frac{D_{\text{втул}}}{D_{\text{реб}}}\right) - \arccos\left(\frac{D_{\text{реб}} - 2 \cdot b_{\text{вет}}}{D_{\text{реб}}}\right), \quad (4)$$

$$a_{2i} = y_0 + \sqrt{\left(\frac{D_{\text{реб}}}{2}\right)^2 - (x_i - x_0)^2}, \quad (5)$$

$$a_{3i} = b_{\text{вет}} - a_{2i}. \quad (6)$$

В формуле (5) обозначено:

$x_0 = L$, $y_0 = -\left(\frac{D_{\text{реб}}}{2} - b_{\text{вет}}\right)$ – координаты окружности относительно $хоу$;

$b_{\text{вет}}$ – ширина ветви КМ;

$x_i = \Delta L \cdot (i - 1)$, $0 \leq x < L$ – расстояние до рассматриваемого сечения;

θ – объемное содержание волокон в ветви КМ.

Для расчета изменения объемного содержания волокон в зоне 2 рассмотрим четырехугольник CDEF, где угол $0 \leq \alpha < \alpha_1$ определяет границы этой зоны (см. рис. 3, г). Объемное содержание волокна в зоне 2 рассчитывают в цилиндрической системе координат $\rho\alpha z$ по следующей формуле:

$$\theta_{2i} = \frac{\theta \cdot b_{\text{вет}} \cdot (\delta_{\text{реб}} + \delta_{\text{леп}})}{\left(\frac{D_{\text{реб}}}{2} - \frac{D_{\text{втул}}}{2 \cdot \cos(\alpha_1 - \alpha_i)}\right) \cdot \delta_{\text{леп}}}. \quad (7)$$

В формуле (7) обозначено:

$\alpha_i = \Delta \alpha \cdot (i - 1)$;

$\Delta \alpha = \frac{\alpha_1}{n - 1}$ – угол между сечениями;

n – количество рассматриваемых сечений.

Объемное содержание волокон в зоне 3 (четыреугольник EFGH), границы которой определяет угол $\alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2$ (см. рис. 3, д), рассчитывают по формуле

$$\theta_3 = \frac{2 \cdot \theta \cdot b_{\text{вет}} \cdot (k + 1)}{D_{\text{реб}} - D_{\text{втул}}}, \quad (8)$$

где $k = \frac{\delta_{\text{реб}}}{\delta_{\text{леп}}}$ – отношение толщины ребра к толщине лепестка КМ.

Координата верхней границы зоны 3 зависит от угла отклонения ветви КМ и вычисляется по формуле

$$\alpha_2 = 90 - \varphi_{\text{вет}} - \alpha_1, \quad (9)$$

где $\varphi_{\text{вет}}$ – угол отклонения ветви КМ.

Задавшись погрешностью $\xi = \theta_3 / \theta$, из формулы (8) выразим наружный диаметр ребер втулки и представим изменение объемного содержания волокна в графическом виде (рис. 4)

$$D_{\text{реб}} = \frac{2 \cdot b_{\text{вет}} \cdot (k + 1) + D_{\text{втул}} \cdot \xi}{\xi}. \quad (10)$$

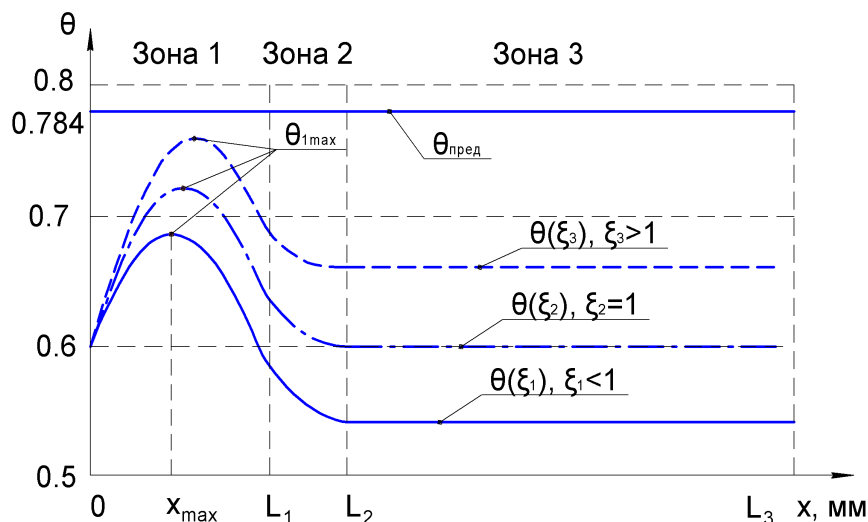


Рис. 4. Изменение объемного содержание волокна

Определим экстремум функции $\theta_1(x)$ в зоне 1, значение которого не должно превышать $\theta_{пред} = 0,784$ (см. рис. 4).

$$x_{max} = L_1 + \frac{D_{реб} \cdot D_{втул} - \cos \alpha_1 \cdot D_{реб}(D_{реб} - 2 \cdot b_{вет})}{4 \cdot \sqrt{s_1 + \cos \alpha_1 \cdot D_{втул} \cdot (b_{вет} - 0,5 \cdot D_{реб}) + 0,25 \cdot D_{втул}^2}}, \quad (11)$$

$$\theta_{1max} = \frac{\theta \cdot b_{вет} \cdot (k + 1)}{(a_1(x_{max}) + a_2(x_{max}) + a_3(x_{max}) \cdot (k + 1))}, \quad (12)$$

где $s_1 = \cos^2 \alpha_1 \cdot [L_1^2 \cdot k^2 + (0,5 \cdot D_{реб} - b_{вет})^2]$.

На обтекание пропитанной арматурой металлических ребер оказывает влияние исполнение торцевой части ребер (фаска, закругление, необработанный торец). Отклонение угла армирования волокна (см. рис. 3, а), возникающее при обтекании металлических ребер, рассчитывают по формуле

$$\varphi_i^* = \frac{1}{4} \cdot \arctg\left(\frac{\delta_{реб} - \Delta_i}{2 \cdot c^*}\right), \quad (13)$$

где $c^* = c \cdot \cos \alpha_1$ – проекция фаски;

Δ_i – коэффициент, зависящий от объемного содержания волокна.

Отклонение угла армирования волокна, возникающее при обходе тела втулки (см. рис. 3, б), определяют по формуле

$$\varphi_{max}^{**} = \arccos\left(\frac{D_{втул}}{D_{реб}}\right) - \arccos\left(\frac{D_{реб} - 2 \cdot b_{вет}}{D_{реб}}\right). \quad (14)$$

Следовательно, зная изменение объемного содержания волокна и истинное отклонение угла армирования по теории прогнозирования физико-механических свойств [4], в местной системе координат можно определить упругие и прочностные характеристики в каждой точке, необходимые для прочностного расчета.

Выводы

Предложена модель определения структурных параметров композита в модифицированном полупетлевом соединении. На основе рассмотренной модели по-

лучены зависимости для прогнозирования величины объемного содержания волокна и изменения углов армирования в двух плоскостях. Выполненные численные исследования подтверждают работоспособность предложенной модели.

Список литературы

1. Ставров В.П. Конструирование и расчет изделий из композиционных материалов [Текст]: учеб. пособие / В.П. Ставров; Белорусский гос. техн. ун-т. – Минск: Изд-во Белорус. гос. техн. ун-та, 1999. – 106 с.
2. Братухин А.Г. Технология производства изделий и интегральных конструкций из композиционных материалов в машиностроении [Текст] / А.Г. Братухин, В.С. Боголюбов, О.С. Сироткин. – М.: Готика, 2003. – 516 с.
3. Карпов Я.С. Соединение деталей и агрегатов из композиционных материалов [Текст] / Я.С. Карпов. – Х: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2006. – 359 с.
4. Я.С. Карпов. Механика композиционных материалов [Текст]: учеб. пособие / Я.С. Карпов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2001. – 122 с.

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. Я.С. Карпов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Поступила в редакцию 04.10.12

Визначення структурних параметрів композита в модифікованому напівпетльовому з'єднанні

Запропоновано модель визначення структурних параметрів композита в модифікованому напівпетльовому з'єднанні. На основі розглянутої моделі отримано залежності для прогнозування величини об'ємного вмісту волокон і зміни кутів армивання у двох площинах. Ці залежності необхідні для визначення в кожній точці у місцевій системі координат пружних і міцнісних характеристик. Виконано числові дослідження, які підтверджують працездатність запропонованої моделі.

Ключові слова: модифіковане напівпетльове з'єднання, композиційний матеріал, структурні параметри, методика, кут армивання.

Determination of the structural parameters of the composite in modified polupetlevom connection

The model for determination structural parameters of composite at the semi-loop joint was suggested. The dependences for prediction of fibers volume fracture and changes of reinforcing material angles in two planes, which is based on this model, were obtained. These dependences are necessary for determination of stress and strain characteristics in each point in the local coordinate system. The efficiency of the proposed model is confirmed by performed numerical calculations (analyses).

Keywords: modified semiloopback connection, composition material, structural parameters, method, corner of re-enforcement.