

Методика определения структурных параметров композитов, армированных плетеными рукавами

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

Рассмотрена задача определения структурных параметров (углов армирования и объемного содержания) композиционных материалов на основе плетеных рукавов. Синтезирована математическая модель для определения структурных параметров плетеного рукава при его укладке на произвольную поверхность. Эта модель может служить базой для прогнозирования упругих и прочностных свойств на основе какой-либо теории армирования.

Ключевые слова: плетеный рукав, композиционный материал, угол армирования, объемное содержание.

Композиты по своей сути представляют собой объемное сочетание волокон и связующего, но изготовление конструкций из таких компонентов за редким исключением неэффективно. Снижение трудоемкости производства изделий из композиционных материалов (КМ) в значительной степени обеспечивается применением армирующих полуфабрикатов, в которых волокна предварительно образуют некоторый каркас, например, нити, жгуты, ленты, ткани, трикотаж и т.п. [1, 4]. Это позволяет резко сократить время, необходимое для формирования конструкции, поэтому в мире активно ведутся исследования по разработке новых армирующих полуфабрикатов, вплоть до образования всего каркаса агрегата на ткацких станках. Среди всего многообразия армирующих систем особое место занимают плетеные рукава [2], которые позволяют укладывать нити (жгуты) по сложным поверхностям практически без раскройных операций.

Плетеные рукава представляют собой замкнутую тканую структуру в виде цилиндрической поверхности, нити которых образуют структуру $[\pm\varphi]$, т.е. их можно рассматривать как некую ткань, угол между основой и утком которой не является прямым (рис.1). Изменяя ширину сложенного рукава или его условный диаметр, можно в достаточно широких пределах управлять углом армирования композита на основе этого армирующего полуфабриката.

Рассмотрим решение задачи определения структурных параметров (углов армирования и объемного содержания) КМ на основе плетеных рукавов. Анализ схемы деформирования позволяет установить, что стороны образуемого жгутами ромба сохраняют постоянство своей длины при изменении ширины рукава (рис.1). В этом состоит их основное отличие от симметричного армирования лентами $[\pm\varphi]$, где постоянным остается расстояние между нитями (жгутами). Таким образом, геометрию расчетной модели этого специфического армирующего полуфабриката можно представить в виде, показанном на рис. 2, и для нее справедливы следующие зависимости:

$$AB = BC = CD = AD = t = const ; \quad (1)$$

$$AC = \ell_1 = 2t \cos \varphi = var; \quad BD = \ell_2 = 2t \sin \varphi = var ; \quad (2)$$

$$DE = h = t \sin 2\varphi = var . \quad (3)$$

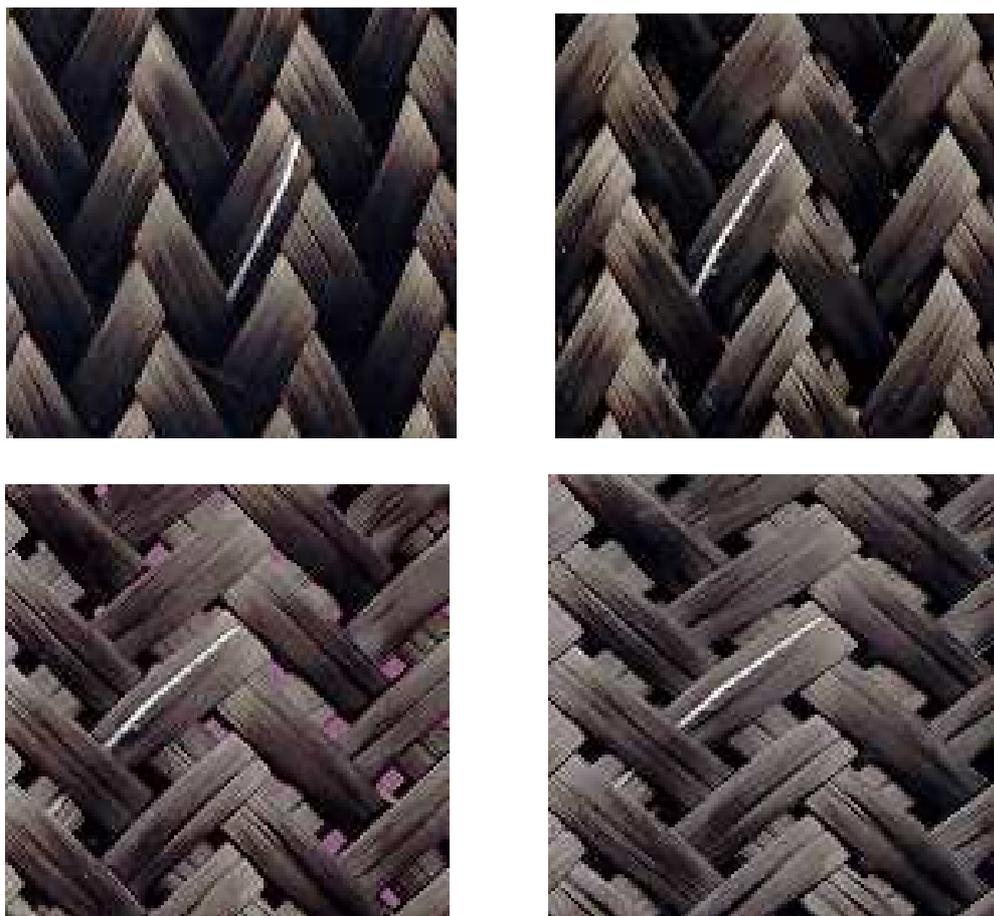


Рис. 1. Общий вид плетеного рукава

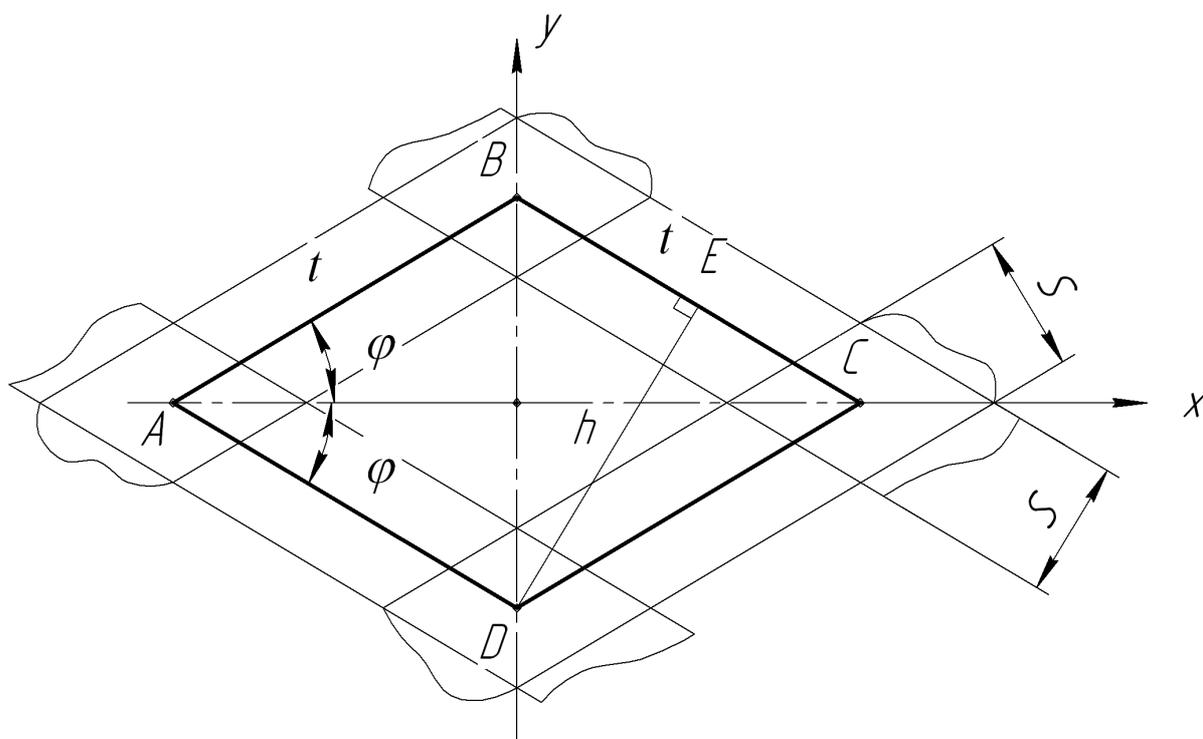


Рис. 2. Расчетная модель плетеного рукава

Зная ширину S армирующего элемента (см. рис.1), можно определить предельные значения угла φ (наибольшее и наименьшее). Из уравнения

$$h = s = t \sin 2\varphi \quad (4)$$

получим

$$\varphi_{min} = \frac{1}{2} \arcsin \frac{s}{t}; \quad \varphi_{max} = \frac{1}{2} (\pi - \arcsin \frac{s}{t}). \quad (5)$$

Эти зависимости подтверждают, что плетеный рукав нельзя рассматривать как двухслойный КМ с армированием $\pm\varphi$, потому что для этих виртуальных слоев принципиально невозможно определить экспериментально привычные фундаментальные физико-механические характеристики E_1, E_2, μ_{12} и т.д.

Пусть рукав образован из нитей (жгутов, ровингов) с линейной плотностью ρ_n , заданной в тексах. Зная плотность материала волокон ρ_m , можно определить площадь поперечного сечений всех волокон, образующих нить (жгут):

$$f = \frac{\rho_n}{\rho_m}. \quad (6)$$

Зависимость (4) и (6) позволяют найти объемное содержание волокон в стенке рукава.

$$\theta = \frac{2f}{\delta h} = \frac{2\rho_n}{\delta\rho_m \sin 2\varphi}, \quad (7)$$

где δ – толщина стенки рукава.

Из этой формулы следует, что объемное содержание волокон зависит от деформированного состояния рукава. При $\varphi = \pi/4$

$$\theta_{min} = \frac{2\rho_n}{\delta\rho_m t}, \quad (8)$$

а при касании жгутов, т.е. при минимальном или максимальном угле φ

$$\theta_{max} = \frac{2\rho_n}{\delta s \rho_m}. \quad (9)$$

Основным достоинством плетеного рукава как армирующей системы является возможность его укладки без складок и разрезов на криволинейную поверхность. Большинство агрегатов летательных аппаратов имеют внешние обводы, образуемые элементами конической поверхности с криволинейной в общем случае образующей. Рассмотрим задачу определения структурных параметров рукава при его укладке на коническую поверхность с ориентацией по нормали к образующей (рис. 3, а, б). В этом случае контур произвольного сечения конуса образуется одинаковым количеством диагоналей BD (см. рис. 3, б). Пусть в сечении с ра-

диусом контура r_1 угол армирования равен φ_1 (рис.3, в). Тогда потребное количество диагоналей m_0 , а значит, и длина рукава, определяется из простых геометрических построений

$$m_0 = \frac{\pi(r_1 - t \cos \varphi_1 \operatorname{tg} \beta)}{t \sin \varphi_1} \approx \frac{\pi r_1}{t \sin \varphi_1}. \quad (10)$$

Угол армирования φ_j в произвольном сечении (см. рис. 3, в) вычисляется по формуле

$$\varphi_j = \varphi_1 - \alpha(j-1), \quad (11)$$

где

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t \sin \varphi_1 \sin \beta}{r_1 - t \cos \varphi_1 \sin \beta}. \quad (12)$$

Для реальных конструкций длина диагонали намного меньше длины контура. Тогда с достаточной точностью в инженерных расчетах можно принять, что $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$. Это позволяет записать формулу (11) в таком виде:

$$\varphi_j = \varphi_1 - (j-1) \frac{t \sin \varphi_1 \sin \beta}{r_1 - t \cos \varphi_1 \sin \beta}. \quad (13)$$

Зная угол армирования, по формуле (7) определяется объемное содержание, которое переменено по длине конуса.

Таким образом, построена модель укладки плетеного рукава на коническую поверхность, причем если образующая криволинейная, то это учитывается соответствующей зависимостью $r(\beta)$. Несмотря на то, что структурные параметры переменны по поверхности, они достаточно строго прогнозируемы, а значит, однозначно определяются и физико-механические характеристики КМ, армированных плетеным рукавом.

Для определения длины отрезка образующей конуса, покрываемой рукавом начальной ширины b_0 , справедлива формула (см. рис. 3)

$$b = 2t \sum_{k=1}^{n_0} \cos \varphi_{2k-1}, \quad (14)$$

где n_0 – количество диагоналей в поперечном направлении сложенного рукава, являющегося его паспортной характеристикой.

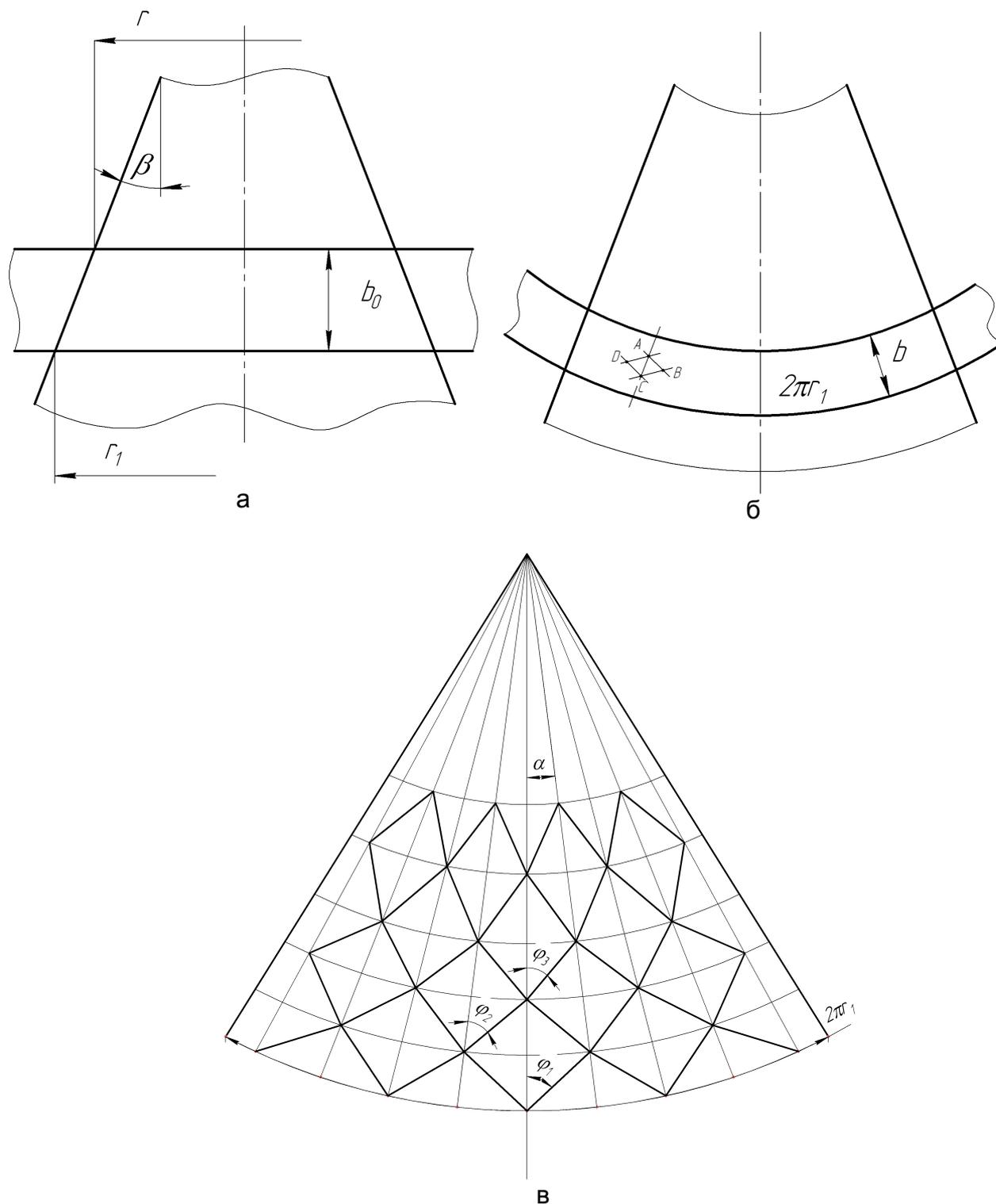


Рис. 3. К определению структурных параметров при укладке плетеного рукава на коническую поверхность

Синтезированная модель определения структурных параметров плетеного рукава при его укладке на произвольную поверхность (текущих значений угла армирования и объемного содержания) служит базой для прогнозирования комплекса упругих и прочностных свойств на основе какой-либо теории армирования КМ.

При необходимости формулу (11) можно представить в виде непрерывной функции от текущей координаты, что может быть полезно при использовании аналитических решений для напряженно-деформированного состояния или при моделировании методом конечных элементов с размерами элементов, не привязанными к геометрии плетения рукава.

Список литературы

1. Справочник по композиционным материалам: в 2 кн. / под ред. Дж Любина; пер. с англ. А.Б. Геллера, М.М. Гельмонта; под ред. Б.Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. Кн.1. – 448 с.
2. Углеродные волокна / под ред. С. Симамуры: пер. с яп. – М.: Мир, 1987. – 304 с.
3. Тарнопольский Ю.М. Пространственно-армированные композиционные материалы: справ. / Ю.М. Тарнопольский, И.Г. Жигун, В.А. Поляков – М.: Машиностроение, 1987. – 224 с.
4. Буланов И.М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: учеб. для вузов / И.М. Буланов, В.В. Воробей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.

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

Поступила в редакцию 09.06.10.

Методика визначення структурних параметрів композитів, армованих плетеними рукавами

Розглянуто задачу визначення структурних параметрів (кута армування та об'ємного вмісту) композиційних матеріалів, армованих плетеними рукавами. Синтезовано математичну модель для визначення структурних параметрів плетеного рукава при його викладанні на довільну поверхню. Ця модель може слугувати базисом для прогнозування комплексу пружних властивостей та властивостей міцності.

Ключові слова: плетений рукав, композиційний матеріал, кут армування, об'ємний вміст.

Technique for determination structural parameters of composites reinforced with braided sleeves

Problem for determination structural parameters (ply orientation angle and volume fraction) of composite materials reinforces with braided sleeves is considered. Mathematical model for determination structural parameters of braided sleeve when it is placed on the arbitrary surface is synthesized. This model could served as basis for prediction of elastic and strength properties.

Keywords: braided sleeve, composite material, ply orientation angle, volume fraction.