

УДК 678.5.067.5.057

А.В. ЧЕСНОКОВ

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Украина***ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛЕТЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ**

Обоснована необходимость проведения дополнительных исследований для определения влияния технологических параметров плетения, структур 2D и 3D, на характеристики материала. Определена взаимосвязь геометрических параметров расположения волокон в плетеном слое от технологических параметров плетения и текущего радиуса оплетаемого дорна. Получена зависимость скорости движения дорна от исходных параметров плетения для получения структуры с постоянной и максимальной плотностью. Определена реальная форма оплеточных жгутов и ограничивающие факторы плетения. Проведен анализ влияния структуры армирования, ширины жгута и количества веретен на скорость перемещения дорна на оборот веретен и угол армирования при плетении с максимальной плотностью. Определена максимально достижимая степень наполнения волокном слоя от параметров плетения.

Ключевые слова: углерод-углерод, композиционный материал, параметры плетения, армирующий каркас, степень наполнения.

Введение

Расширение области рационального применения композиционных материалов (КМ) возможно за счет совершенствования высокопроизводительных методов изготовления материалов с заданными прочностными и геометрическими параметрами. Одним из высокопроизводительных способов изготовления армирующих каркасов (АК) является плетение. Процесс плетения КМ с постоянным профилем сечения рассматривался в работах [1, 2], но плетение АК с переменным профилем сечения со специальными требованиями, которые предъявляются к теплозащитным материалам, изучены недостаточно.

В работе [3] отмечаются высокие эксплуатационные показатели сопловых вставок (рис. 1) из углерод-углеродного композиционного материала, полученных плетением, но не приводятся данные по технологическому процессу плетения и параметрам армирующего каркаса.



Рис. 1. Сопловые вставки с плетеной структурой АК

Структура плетеного слоя определяет его эксплуатационные свойства в материале. Основными параметрами слоя является стабильность наполнения волокном, заданная пористость, зернистость и

расположение армирующих волокон. Эти требования можно объединить в основное требование к плетеному слою материала, используемому в качестве теплозащиты – достижение максимальной и сохранение постоянной поверхностной плотности. Исследованию поведения жгутов в процессе плетения посвящена работа [4], в которой основное внимание уделено свободной поверхности жгутов при сходе их с оплеточного устройства, при расчете параметров слоя использовано допущение, что жгуты имеют прямоугольное или полигональное сечение. Эти допущения существенно снижают точность результатов. Полученные зависимости неоправданно сложны и неудобны для практических расчетов и управления технологическим процессом плетения с переменным радиусом дорна.

Целью данной работы является определение взаимосвязи технологических параметров плетения и получаемой структуры для управления плетением структур с заданными характеристиками на дорне с изменяющимся радиусом.

Основной материал

С помощью плетения возможно получать плотняное и саржевое переплетение волокон, а также располагать внутри плетеного слоя осевую арматуру. Для анализа взаимосвязи технологических параметров плетения и получаемой структуры рассмотрим развертку полотняной структуры с осевой арматурой, длина которой равна шагу укладки волокон (рис. 2), эту структуру принято называть 3D.

Угол расположения жгутов к оси оплетаемого дорна определяется как:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2\pi r_T n_{\text{оп}}}{V_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где $n_{\text{оп}}$ – частота вращения оплеточных веретен;

r_T – текущий радиус плетения;

$V_{\text{пр}}$ – скорость перемещения дорна.

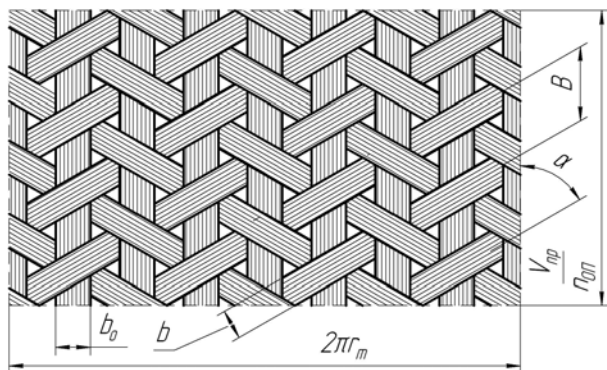


Рис. 2. Развертка 3D структуры плетения
длина которой равна шагу укладки волокон

Конструктивными параметрами плетельной установки является количество веретен каждого направления армирования N и средний диаметр движения веретен. Плетение осуществляется подготовленными жгутами равных параметров, укладываемыми в разных направлениях закрутки. Жгуты представляют собой переплетение волокон и при укладке на поверхность принимают размер, определяемый ограничивающими факторами и предварительным натяжением. Расстояние между центрами уложенных жгутов одного направления определяет параметрами ячейки:

$$B = \frac{2\pi r_T \cos \alpha}{N}. \quad (2)$$

Из условия заданного расположения жгутов при плетении ($B = \text{const}$), т.е. равной поверхностной плотности на оправках с изменяющимся текущим радиусом плетения, получим взаимосвязь скорости перемещения оправки от текущего радиуса плетения на основании зависимостей (1), (2) и, проводя ряд преобразований, получим:

$$V_{\text{пр}} = \frac{2\pi n_{\text{оп}} B N}{\sqrt{(2\pi r_T)^2 - (B N)^2}}. \quad (3)$$

Средний диаметр движения веретен выбирается конструктивно исходя из необходимого количества веретен и их емкости, он всегда значительно больше оплетаемого дорна. В процессе плетения образуется свободная поверхность переплетения жгутов от оплеточного устройства до дорна. В свободной поверхности каждый оплеточный жгут явля-

ется касательной к оплетаемой оправке. Угол наклона жгутов к оси дорна соответствует заданному углу армирования α . В работе [4] определены геометрические параметры свободной поверхности жгутов от конструктивного исполнения установки. Приведенные данные рассматривают идеализированный процесс плетения, не учитывающий способность плетеного слоя к самоукладке. Подобное явление имеет место и при обычной намотке, когда раскладчик отстает от сечения укладки, происходит отжим жгута уложенным слоем. При плетении, если расчетная ширина ленты оказалась меньше фактической, происходит смещение текущего сечения плетения в сторону оплеточного устройства.

Произведем анализ формы оплетающих жгутов для получения ограничивающих параметров слоя максимальной плотности, для этого проведем сечения оплеточного слоя, различной структуры, вдоль волокон одного из направлений армирования (рис. 3.)

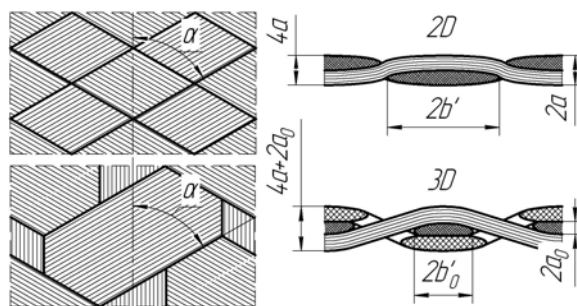


Рис. 3. Форма сечения жгутов
максимальной плотности

На рис. 3 изображена реальная форма сечения армирующих жгутов – это эллипс с диагоналями оплеточных жгутов a и b , осевых a_0 и b_0 , b' и b_0' обозначено увеличение сечения за счет неперпендикулярности плоскости сечения оси жгута. Соотношение диагоналей эллипса изменяется от натяжения жгутов. Определим соотношение диагоналей сечения из условия постоянства площади сечения жгута:

$$4\pi ab = \frac{T_x \cdot 10^{-3}}{0,907\rho}, \quad (4)$$

где T_x – размер в T_x жгута;

ρ – плотность жгута;

0,907 – степень наполнения жгута при гексагональной упаковке.

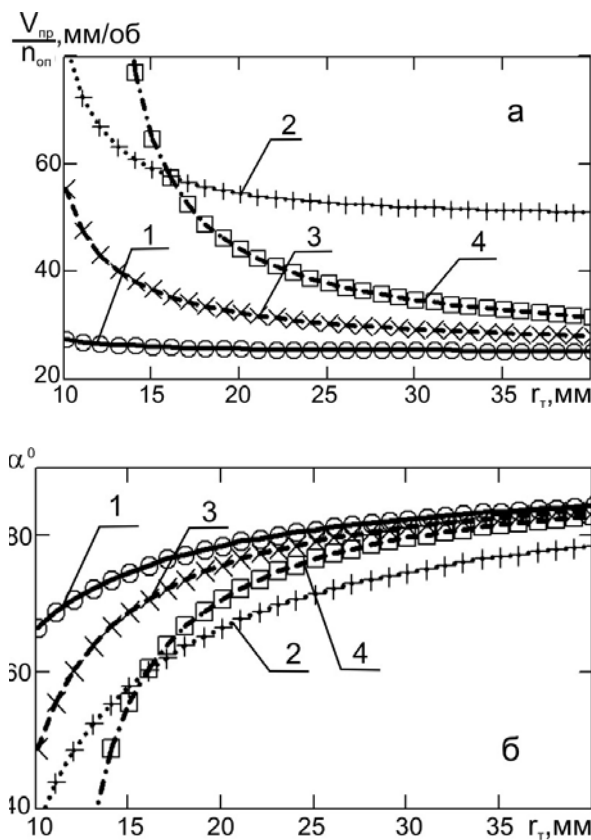
При плетении плотной 2D структуры шаг укладки жгутов должен равняться ширине сечения жгута. Введение жгутов осевой арматуры (3D) приводит к невозможности плотного прилегания жгутов одного направления. Поэтому минимальное расстояние между жгутами одного направления зависит от соотношения ширины осевых жгутов и оплеточных, а также угла армирования. В результате мини-

мальную ширину жгута можно определить:

$$\begin{aligned} B_{2D} &= 2b, \\ B_{3D} &= 2(b + b_0 \cos \alpha). \end{aligned} \quad (5)$$

Из (5) видно, что получить постоянную поверхностную плотность для 3D структуры с переменным радиусом укладки слоев невозможно.

Проведем анализ влияния структуры армирования, ширины жгута и количества веретен каждого направления армирования на скорость перемещения дорна на оборот веретен (рис. 4, а) и на угол оплеточных слоев к оси (рис. 4, б) при плетении с максимальной плотностью. Для структуры 2D варьировалось количество веретен 1 – $N=10$ и 2 – $N=20$, для структуры 3D варьировалось соотношение оплеточных и осевых жгутов 3 – $B_0=B$ и 4 – $B_0=2B$.



для структуры 2D: 1 – $N=10$ и 2 – $N=20$;
для структуры 3D: 3 – $B_0=B$ и 4 – $B_0=2B$

Рис. 4. Влияние структуры, ширины жгута и количества веретен на подачу (а) и угол армирования (б) при плетении с максимальной плотностью

Полученные результаты на рис. 4 показывают практически одинаковый характер изменения подачи и угла армирования при изменении текущего радиуса дорна. Наибольшее влияние оказывают количество веретен и ширина оплеточного жгута, меньшее – структура армирования и параметры осевых жгутов.

Важным параметром армирующего каркаса является степень наполнения волокном. Степень наполнения слоя определим как отношение объема жгута в слое к объему слоя:

$$\begin{aligned} \Phi_{2D} &= \frac{4\pi \cdot n_{i1} \cdot N \cdot T_x \cdot 10^{-3}}{V_{i\delta} \rho \left((r + 4a)^2 - r^2 \right)}; \\ \Phi_{3D} &= \left(\frac{4\pi \cdot n_{i1} \cdot N}{V_{i\delta}} + 1 \right) \frac{N \cdot T_x \cdot 10^{-3}}{\rho \left((r + 4a + 2a_0)^2 - r^2 \right)}. \end{aligned} \quad (6)$$

Результаты расчета представлены на рис. 5. Кривые 1 – 4 соответствуют данным, приведенным ранее.

Для сравнения приведем расчет наполнения слоя 2D структуры по зависимости (2.34), приведенной в [4], которая в принятых обозначениях данной работы будет:

$$\Phi_{[4]} = \frac{0,907 \cdot B}{\frac{2\pi r}{N} \cos \alpha + B}. \quad (7)$$

Кривая 5 вычислена по зависимости (7) с подстановкой данных, аналогичных данным, по которым построена кривая 1.

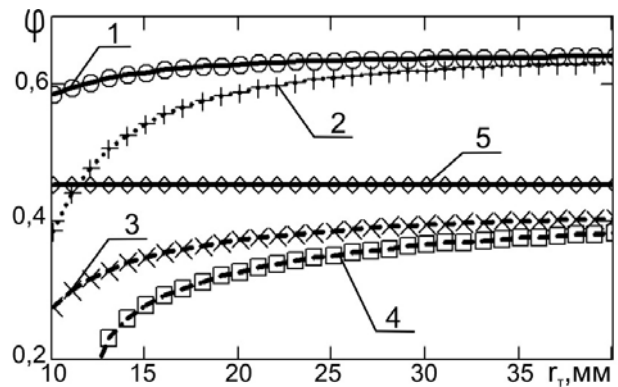


Рис. 5. Степень наполнения слоя волокном

Результаты расчета показывают снижение достижимой степени наполнения слоя волокном при введении осевой арматуры за счет увеличения толщины слоя, остальные варьируемые параметры оказывают влияние только при небольших углах армирования.

Кривая 5 не изменяется при изменении параметров слоя в силу большого количества допущений при ее выводе.

При плетении с максимальной поверхностной плотностью волокна осевого армирования эффективнее располагать под оплеточным слоем.

Полученные теоретические данные наполнения слоя волокном для 3D структуры, армированной одинаковыми жгутами в трех направлениях, хорошо согласуются с экспериментальными данными, при-

веденными в работе [4]. Максимальное расхождение экспериментальных и теоретических результатов составило 5%.

Выводы

На основании полученной взаимосвязи геометрических параметров расположения волокон в плетеном слое от технологических параметров и текущего радиуса оплетаемого дорна получена зависимость скорости движения дорна от параметров плетения для получения структуры с постоянной и максимальной плотностью.

Используя реальную форму сечения оплеточных жгутов, определены ограничивающие факторы плетения.

Полученные данные изменения степени наполнения волокном слоя от параметров плетения показывают предпочтительность использования 2D структуры плетения.

Литература

1. Пилипенко В.Н. Технология непрерывного формования композитных профильных элементов плетельно-пултрузионным методом / В.Н. Пилипенко // Слоистые композиционные материалы: сб. труд. междунар. конф. – Волгоград, 2001. – С. 247-248.
2. Игнатъева В.Б. Формование давлением профильных стержней на основе плетеных композитных структур: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.05 / Виктория Борисовна Игнатъева; Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля. – Луганск, 2002. – 21 с.
3. Fiber Materials, Inc. [Электронный ресурс]: Carbon/Carbon Nozzle Throat Inserts. – Режим доступа: <http://www.fibermaterialsinc.com/frCCcomp.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Фрегер Г.Ю. Основи технології плетельно-пултрузійного формування виробів із полімерних композитів: моногр. / Г.Ю. Фрегер, Є.Є. Бакст, В.М. Пилипенко, Д.Г. Фрегер. – Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2002. – 160 с.

Поступила в редакцию 21.05.2008

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. кафедры В.А. Витренко, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПЛЕТІННЯ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ

О.В. Чесноков

Обґрунтовано необхідність проведення додаткових досліджень для визначення впливу технологічних параметрів плетіння, структур 2D і 3D, на характеристиками матеріалу. Визначений взаємозв'язок геометричних параметрів розташування волокон в плетеному шарі від технологічних параметрів плетіння і поточного радіусу облямовування, що обплітається. Одержана залежність швидкості руху дорну від початкових параметрів плетіння для отримання структури з постійною і максимальною густиною. Визначена реальна форма обплітальних джгутів і обмежуючі чинники плетіння. Проведений аналіз впливу структури армування, ширини джгута і кількості веретен на швидкість переміщення дорну на оборот веретен і кут армування при плетінні з максимальною густиною. Визначений максимально досяжний ступінь наповнення волокном шару від параметрів плетіння.

Ключові слова: вуглець-вуглець, композиційний матеріал, параметри плетіння, армуючий каркас, ступінь наповнення.

RESEARCH OF INFLUENCING OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF WICKERWORK ON THE STRUCTURE OF SUPERFICIAL LAYER

A.V. Chesnokov

The necessity of conducting of additional researches is grounded for determination of influencing of technological parameters of wickerwork, structures 2D and 3D, on by descriptions of material. Intercommunication of geometrical parameters of location of fibres in a wattled layer from the technological parameters of wickerwork and current radius of the strung mounting is certain. Collected dependence of rate of movement of mounting from the initial parameters of wickerwork for the receipt of structure with a permanent and maximal closeness. The real form of plaits and limiting factors of wickerwork is certain. The analysis of influencing of structure of reinforcement, width of plait and amount of spindles on speed of moving of mounting on the turn of spindles and corner of reinforcement at wickerwork with a maximal closeness is conducted. The maximally attainable degree of filling by the fibre of layer from the parameters of wickerwork is certain.

Key words: carbon-carbon, composition material, parameters of wickerwork, reinforcing framework, degree of filling.

Чесноков Алексей Викторович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Луганск, Украина, e-mail: chesnokov@snu.edu.ua.