

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**

Власова В.Н., кандидат технических наук, доцент,

тел. 8(84235)6-09-30, vlasova-va75@mail.ru

Власов С.Н., кандидат технических наук, доцент,

тел. 8(84235)6-09-30, wlasow-stas@mail.ru

Привалов Д.В., ассистент,

тел. 8(84235)6-09-30, p-dmitriy@rambler.ru

Климов А.С., ассистент,

тел. 8 (84235)6-43-76, ask@rusartel.ru

**ПКИУПТ (филиал) ФГБОУ ВО «МГУТУ им.К.Г.Разумовского
(ПКУ)»,**

**Димитровградский инженерно-технологический
институт – филиал ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

***Ключевые слова:** намотка, натяжение нитей, композиционный материал, армирование, прочность, структура, модель формирования намотки*

Работа посвящена вопросам процесса формирования цилиндрических оболочек из композиционных материалов сформированных намоткой. Основными структурными параметрами намотки армирующих нитей являются плотность намотки, характер распределения нитей на поверхности намотки, общая длина нитей, натяжение нитей в намотке и др., которые оказывают влияние на

характеристики последующих технологических процессов формирования композиционного материала.

Введение. В настоящее время широкое распространение в различных областях техники получили цилиндрические оболочки из композиционных материалов. Основными достоинствами таких оболочек является высокая удельная прочность, высокая жесткость, высокая износостойкость, высокая усталостная прочность, малый вес по сравнению с изделиями из конструкционных материалов. К недостаткам следует отнести высокую стоимость, анизотропию свойств и необходимость дорогостоящего оборудования и сырья для производства композитов. Свойство анизотропии композиционных материалов приводит ко многим механизмам разрушения: расслоению, разрыву волокон, разрушению матрицы, а также к сочетанию данных механизмов.

Материалы и методы исследований. Материалом для исследования является процесс формирования равномерно распределенной по структуре и другим свойствам армированных нитей в композиционном материале цилиндрической формы. В работе использованы основные положения динамики технологических систем механической обработки, основные положения теории прочности материалов, методы системного анализа и математической статистики.

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве матрицы в композиционных материалах применяют эпоксидные, полиэфирные, фенолоформальдегидные смолы, полиимиды, кремнийорганические полимеры синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу синтетические полимеры, подвергнутые пиролизу,

и так называемый «пиролитический углерод». В зависимости от композиции свойства меняются. С увеличением предела прочности матрицы прочность композиционного материала увеличивается.

В процессе термического или естественного старения, матрица утрачивает способности перераспределять нагрузки, возникающие от действия внешних сил между армирующими волокнами. Армирующий материал воспринимает основные напряжения, возникающие в композите под действием внешних нагрузок, и обеспечивает жесткость и прочность композиции.

Функциональные зависимости основных физико-механических параметров удобно использовать при решении прикладных инженерных задач применительно к процессу формирования композиционного материала. Для более точного вычисления, можно воспользоваться зависимостями, полученными в работе [3]. В основании определения модуля нормального растяжения лежат работы, [3] согласно которым в каждом элементарном слое расстояния между волокнами по взаимно перпендикулярным осям фиксированы и взаимосвязаны зависимостью:

$$F_V = \frac{\pi}{4(n+1)(m+1)}, \quad (1)$$

где $n = \frac{\delta}{R}$, отношение толщины промежутка связующей смолы между двумя рядами волокон δ , мкм к радиусу волокна R , мкм;

$$m = \frac{\Delta}{2R},$$

отношение толщины промежутка связующего между волокнами ряда Δ , мкм к удвоенному радиусу волокна, R;

F_v - относительное объемное содержание волокна.

Для определения поперечного модуля упругости используем модель Шаффера [3], предложенную для стеклопластиков. Данная модель может быть использована без дополнительных уточнений для композиционных углепластиков, поскольку нами установлено экспериментально при оптическом мониторинге поверхностей, что характер разрушения угольных волокон и волокон стекла одинаков и происходит вдоль слоев намотки ткани. На основании модели и допущений ее использования поперечный модуль упругости можно определить по формуле:

$$E = \frac{1}{1+n} [E_{\text{ЭКВ}} + nE_2], \quad (2)$$

где E - поперечный модуль упругости однонаправленного армированного углепластика, МПа;

$E_{\text{ЭКВ}}$ - модуль упругости эквивалентного бруса, МПа;

E_2 - модуль упругости связующего, МПа.

В работе [3] приведена схема к расчету модуля упругости, и произведен расчет. Согласно схеме (рисунок 1) эквивалентный брус состоит из двух последовательно соединенных брусьев полимерной смолы и волокна. Модуль упругости эквивалентного бруса $E_{\text{эл.экв}}$ может быть определен как интеграл вида

$$E_{\text{эл.экв}} = \int_{-R}^{+R} \frac{E_{\text{ЭКВ}}}{2R} dx, \quad (3)$$

где $E_{\text{эл.экв}}$ - модуль упругости элементарного эквивалентного бруса толщиной dx , МПа.

$$E_{\text{эл.экв}} = \frac{(2R+\Delta)E_2}{\left(\Delta_y + 2R_y \frac{E_2}{E_1}\right)}, \quad (4)$$

где E_1 - модуль отдельного волокна, МПа.

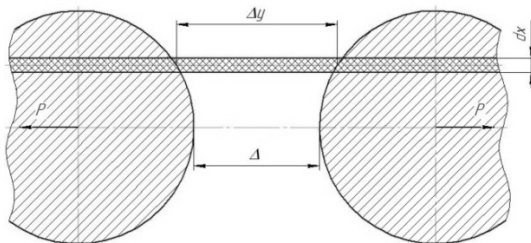


Рисунок 1 – Схема модели эквивалентного бруса, состоящая из двух последовательно соединенных частей: полимера и волокна

После ряда подстановок и преобразований окончательно получена зависимость [3] позволяющая, определять модуль упругости:

$$E = E_2 \frac{1}{1+n} (Q + n), \quad (5)$$

где Q - параметр.

Параметр Q определяется соотношением:

$$Q = \frac{2(1+m)}{1 - \frac{E_2}{E_1}} \left[\sqrt{\frac{1}{1 - \left[\frac{1}{1+m} \left(1 - \frac{E_2}{E_1} \right) \right]}} \arctg \sqrt{\frac{1 + \left[\frac{1}{1+m} \left(1 - \frac{E_2}{E_1} \right) \right]}{1 - \left[\frac{1}{1+m} \left(1 - \frac{E_2}{E_1} \right) \right]}} - \frac{\pi}{4} \right]. \quad (6)$$

Функция Q зависит от ряда параметров, а именно от геометрического отношения промежутка между соседними волокнами и диаметром волокна, а также от модуля упругости полимерного связующего и модуля упругости

отдельного угольного волокна. Значение функции Q представлены ниже (рисунок 3).

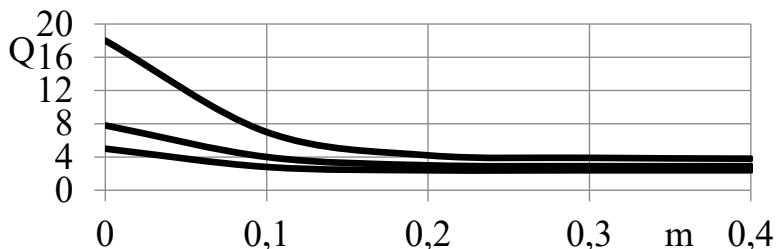


Рисунок 2 – Зависимость Q от геометрических соотношений и модулей упругости волокна и связующего

Для расчетов параметров процесса резания возникает необходимость определить границы области упругой деформации, возникающей при резании лезвийным инструментом композиционных углепластиков. Относительная деформация элементарного эквивалентного бруса может быть определена по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 + 2R_y + \varepsilon_2 + \Delta_y}{2R + \Delta}, \quad (7)$$

где ε_1 - относительная деформация, возникающая в угольном волокне, элементарного эквивалентного бруса;

ε_2 - относительная деформация в связующем элементарного эквивалентного бруса;

$2R + \Delta$ - условная длина эквивалентного бруса;

R_y - удлинение одного конца эквивалентного бруса;

Δ_y - первоначальная длина эквивалентного бруса;

ε - относительная деформация эквивалентного бруса.

Следовательно, относительная деформация в связующем будет определяться:

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon(2R+\Delta)}{\Delta_Y + 2R_Y \frac{E_2}{E_1}}. \quad (8)$$

Максимальные деформации в связующем, превышающие деформацию эквивалентного бруса, возникают при $R_Y = R$.

Напряжение полимерного связующего однонаправленного композиционного углепластика при растяжении нормально волокнам может быть определено из зависимости:

$$\sigma_n = |\varepsilon_2| E_2 = \frac{(Q+n)\left(m + \frac{E_2}{E_1}\right)}{(1+n)(1+m)}, \quad (9)$$

Напряжение полимерного связующего однонаправленного композиционного углепластика при растяжении нормально волокнам зависимости насыщающим образом от величины деформации (рисунок 3).

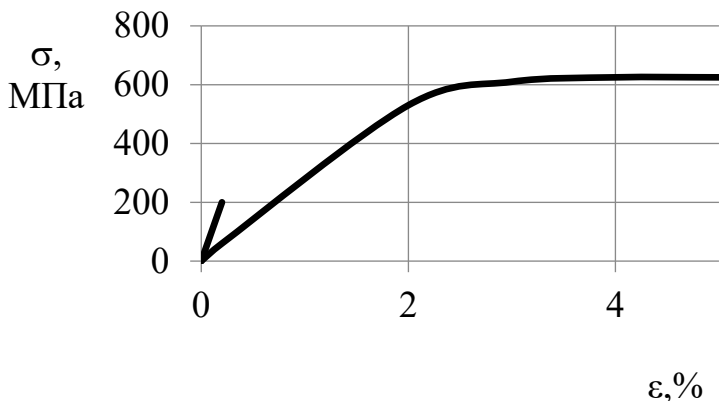


Рисунок 3 – Диаграмма растяжения образцов: 1 - для образца чистого связующего; 2 - для образца армированного связующего

Анализ математических моделей намотки нитей показывает, что параметры намотки нитей, определенные по зависимостям, не учитывающим деформацию нитей, существенно отличаются от параметров намотки, полученным по зависимостям, учитывающим деформацию нитей в намотке.

Заключение. Исходя из вышеизложенного следует отметить, что рассматривать структуру и параметры намотки нитей необходимо с учетом их различной деформации в слоях. Приведенные расчеты показывают, что поперечный модуль упругости композиционного углепластика существенно зависит от структурных параметров материала меняющихся в широких пределах. Однако наибольшее влияние при расчетах на его величину оказывают геометрические параметры: диаметр волокна, плотность расположения армирующего материала, а также межвитковое расстояние.

Библиографический список:

1. Абозин, И.Ю. Некоторые вопросы механической лезвийной обработки углепластиков / И.Ю. Абозин, В.М. Петров // Вопросы материаловедения. Научно-технический журнал. – Санкт-Петербург, 2001. - № 2(26). - С. 86 -93.
2. Братухин, А.Г. Технологии производства изделий и интегрированных конструкций из композиционных материалов в машиностроении / А. Г. Братухин, А.С. Боголюбов, О.С. Сироткин. - М. : Готика, 2003. - 516 с.
3. Петров, В.М. Модель разрушения композиционных углепластиков при обработке лезвийным инструментом / В.М. Петров // Инструмент и технологии. - 2002. - № 9-10. - С. 23 -30.

MODELING THE PROCESS OF FORMATION OF CYLINDRICAL SHELLS FROM COMPOSITE MATERIALS

Vlasova V.N., Vlasov S.N., Privalov D.V., Klimov A.S.

Key words: winding, thread tension, composite material, reinforcement, strength, structure, model of winding formation

The work is devoted to the process of forming cylindrical shells from composite materials formed by winding. The main structural parameters of the winding of reinforcing threads are the winding density, the nature of the distribution of the threads on the winding surface, the total length of the threads, the tension of the threads in the winding, etc., which affect the characteristics of the subsequent technological processes of forming the composite material.