

Магистрант. Д. С. Гончарёнок

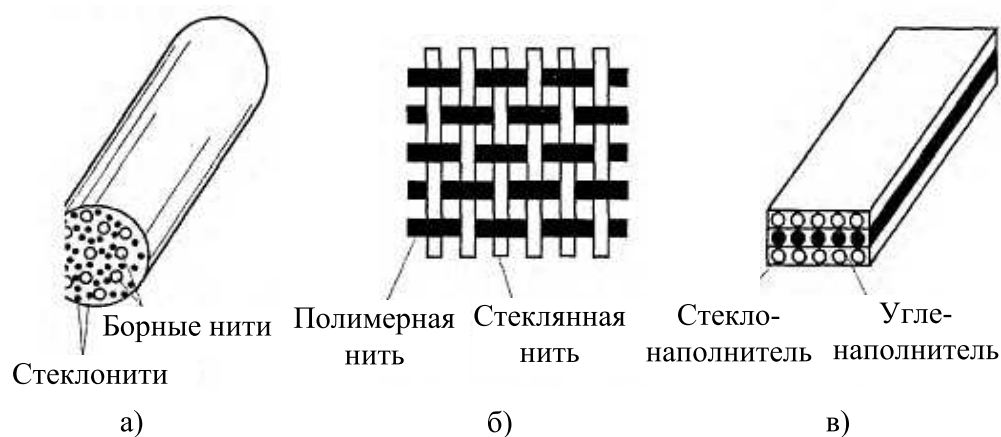
Науч. рук. доц. Е. И. Кордикова

(кафедра механики материалов и конструкций, БГТУ)

## ГИБРИДНЫЕ СТРУКТУРЫ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ СВЯЗУЮЩИХ В НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ

Для расширения областей применения композиционных материалов, снижения стоимости и изменения прочностных свойств в заданных направлениях применяют их гибридизацию.

Свойства в поперечных направлениях возможно повысить гибридизацией структуры, используя стеклянные, углеродные и другие неорганические волокна, нити, ткани (слои), ровинги и т.д (рис. 1).



а – гетероволоконная нить; б – двухкомпонентная ткань;

в – слоистый гибридный композит

**Рис. 1 - Гибридные структуры**

Основная задача гибридизации композиционных материалов – повышение надежности конструкции за счет управления структурой. Следует заметить, что композиционным материалам придаются некоторые дополнительные физические или другие свойства.

Самый распространенный тип гибридизации – внутрислоевой, когда волокна в каждом слое регулярно чередуются. Наиболее просто создать можно гибридную структуру при использовании тканей различного переплетения и различной укладки [1].

Данная работа посвящена исследованию и моделированию гибридных структур композиционного материала на основе стеклотканей и полиэфирного связующего. Гибридные структуры используют для изготовления габаритных изделий с повышенными требованиями к физико-механическим и эксплуатационным свойствам, применяемых

в различных областях техники. Габаритные изделия конструкционного назначения могут изготавливаться методами контактного формования, пропиткой под давлением, вакуумной инфузией.

Исследования свойств наполнителя необходимы для дальнейшего моделирования процесса, что позволяет производить моделирование с более приближенными данными для реальных изделий. При изготовлении вышеуказанными методами ключевым процессом является пропитка. Качество пропитки определяют глубиной проникновения связующего в поровое пространство наполнителя, равномерностью распределения связующего и его содержанием. При процессе пропитки связующее должно заполнить все поровое пространство наполнителя.

Закон течения жидкого связующего описывают различными законами. Одни из которых – закон Дарси и Кармана-Козени, при помощи которых определяют коэффициенты проницаемости наполнителя.

$$K_i = \frac{\mu \cdot v_i \cdot l_i}{\Delta p},$$

где  $\mu$  – вязкость жидкости, Па·с;  $v_i$  – скорость перемещения фронта жидкости;  $l$  – длина участка пропитки;  $\Delta p$  – перепад давлений.

Коэффициенты проницаемости находят экспериментально, используя различные методы, такие как капиллярный, линейный, радиальный и др. В представленной работе коэффициенты проницаемости определяли капиллярным методом, в ходе которого замерялась высота поднятия жидкости за время. Перепад давлений вычисляли по формуле капиллярного поднятия жидкости:

$$\Delta p = -\frac{2 \cdot \sigma \cdot \cos\theta}{r},$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение жидкости;  $\theta$  – краевой угол смачивания;  $r$  – радиус капилляра.

В ходе эксперимента получены значения коэффициентов проницаемости для двух типов тканей, результаты представлены в таблице.

**Таблица – Коэффициенты проницаемости тканей**

Тип ткани	Основа	Уток
T10-80	$2,419 \cdot 10^{-11}$	$1,267 \cdot 10^{-11}$
TP 07	$4,355 \cdot 10^{-12}$	$3,244 \cdot 10^{-12}$

Так как пропитка происходит из-за разности давлений, то следует учесть уплотнения пропитываемого пакета. В следствии его деформации происходит изменение толщины и степени наполнения. Наблюдается следующая степенная зависимость изменения толщины

от приложенного усилия в виде: для ткани Т10-80  $-y = 0,01 x^{20,53}$  и ткани TP-07  $-y = 0,07 x^{8,79}$ .

Моделирование процесса пропитки проводилось в программном продукте PAM-RTM, модуль VARI. Создавали геометрию изделия и расчетную сетку конечных элементов для последующего анализа. При моделировании процесса используется закон сохранения масс. Контроль выполнения закона сохранения массы на каждом шаге по времени обеспечивается за счет сравнения притока и оттока связующего [2].

При моделировании процесса вводят граничные условия процесса: направления основы и утка для каждого слоя, точки впрыска и отвода связующего, величину давления (вакуум) внутри формы и вне ее. Для наполнителя задавали коэффициенты проницаемости для каждого слоя и сжимаемость волокнистого наполнителя, для связующего – реологические свойства. В результате моделирования определяется время пропитки (рис. 2).

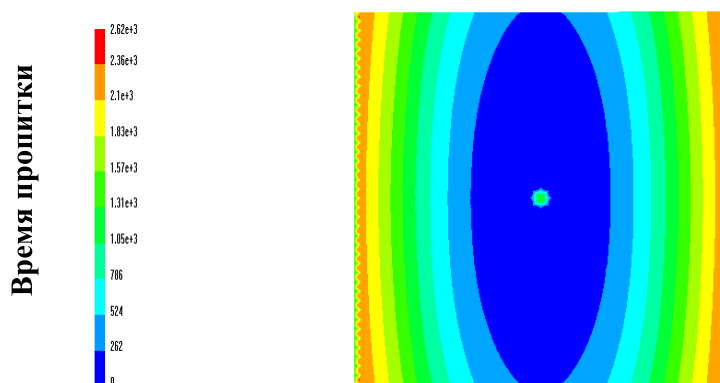


Рис. 2 – Продолжительность пропитки наполнителя

Визуализация процесса пропитки в позволяет анализировать возможность пропитки данной геометрии, время пропитки, распределение давлений, образование непропитанных зон, изменение толщины пропитываемого материала, скорости потоков жидкости.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кербер, М.Л. Полимерные и композиционные материалы: структура, свойство, технология// М.Л. Кербер и др.: под ред. А.А. Берлина. – Спб.: Профессия, 2008. – 560с.

2. Гончаров В. А. Моделирование инфузионных технологий изготовления слоистых полимерных композиционных материалов / В. А. Гончаров, М. Ю. Федотов, А. М. Шиенок, П. В. Зеленский, К. В. Сорокин // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2013. №1. – С. 43 – 50.