

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р. Сопротивление материалов: Учебное пособие. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
2. Трецалин Ю.М. Анализ внутренних напряжений в волокнах, возникающих в процессе полимеризации связующего при изготовлении композиционных материалов на основе нетканых полотен. Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2012. – № 4 – С. 37-40.
3. Башкова, Г.В. Анизотропия структуры и свойств ниточных наполнителей композитов/ Г.В. Башкова, Г.И. Чистобородов, А.П. Башков, Д.А. Алешина, И.Ю. Натертышев// Изв. вузов. Технол. текст. пром-сти. – 2010. – № 7 – С. 80-84.
4. Энциклопедия полимеров. Т. 3. Под общ. ред. В. А. Кабанова. – М.: Советская Энциклопедия, 1977. – 1152 с.
5. Kononova, O. Mechanical properties of composites reinforced by cotton knitted fabric/ O. Kononova, A. Krasnikovs, K. Dzelzitis, G. Kharkova, A. Vagel, M. Eiduks, 7th International DAAAM Baltic Conference "INDUSTRIAL ENGINEERING" 22-24 April 2010, Tallinn, Estonia, PP. 47-53.

УДК 678

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ ТКАНИ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССА ЕЕ ПРОПИТЫВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКОВ

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF FABRIC ON KINETICS OF THE PROCESS OF ITS PROTECTION AT THE MANUFACTURE OF DETAILS FROM UGLYOPLASTICS

А.Н. Марычева, В.А. Нелюб, Г.В. Мальшева
A.N. Maricheva, V.A. Neluyb, G.V. Malysheva

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Moscow State Technical University named after Bauman
E-mail: man@emtc.ru, admin@emtc.ru, malyin@mail.ru

Приведены данные по экспериментальной оценке пористости углеродных тканей и кинетики их пропитки при изготовлении деталей из углепластиков с использованием эпоксидного связующего по технологии вакуумной инфузии. Приведены результаты численного моделирования общей продолжительности процесса пропитывания в зависимости от пористости тканей и проведено сравнение теоретических и экспериментальных результатов. Приведены результаты определения фазового состава углепластика в зависимости от технологии пропитывания и технологии отверждения.

Ключевые слова: углеродная ткань, вакуумная инфузия, кинетики процесса пропитывания, структура элементарной ячейки ткани.

The data on the experimental evaluation of the porosity of carbon fabrics and the kinetics of their impregnation in the manufacture of carbon fiber reinforced plastic components using an epoxy binder using vacuum infusion technology are presented. The results of numerical simulation of the total duration of the impregnation process as a function of tissue porosity are presented, and a comparison of theoretical and experimental results is made. The results of the determination of the phase composition of CFRP depending on the impregnation technology and the curing technology are presented.

Key words: carbon tissue, vacuum infusion, kinetics of impregnation process, structure of unit cell of tissue.

Для изготовления деталей из полимерных композиционных материалов (ПКМ) методом ручной выкладки в качестве наполнителей используются ткани, различной

химической природы и структуры. Широкое распространение получили углеродные ткани, что связано с очень высокими значениями удельной прочности и жесткости [1, 2].

Известно [3-5], что ткань, используемая в качестве армирующего материала для производства деталей из ПКМ прямыми методами формования, являются характеристики ее линейной и поверхностной плотности, линейного и объемного заполнения, а также величина ее общей пористости. Изготовители технических тканей, таких как углеродные, как правило, ограничиваются данными по геометрическим размерам (длина, ширина, толщина), приводят данные по массе, линейной плотности и основным механическим свойствам. В то же время, при разработке технологического процесса пропитывания, в том числе и по технологии вакуумной инфузии или при подачи связующего под давлением, необходимо знать величину пористости используемой ткани. Эта характеристики относится к числу основных, которые закладываются в качестве исходных данных в процессе моделирования технологии в программе PAM-RTM.

Целью данной работы является экспериментальная оценка пористости углеродных тканей и исследование ее влияния на продолжительность процесса пропитывания при изготовлении деталей из углепластиков по технологии вакуумной инфузии.

В качестве объектов исследования использованы углеродные ткани различных производителей, используемые в нашей стране при производстве деталей из углепластиков (табл. 1).

Таблица 1

Свойства используемых в работе углеродных тканей

Марка армирующих материалов	Вид материала	Плотность, г/м ²
FibaArm	Лента	230
ТВЧ 2/2 312-10, GF 206	Ткань	312
SAAI UT 350		200
		350

Пористость тканей определяли по методике, изложенной в работе [6]. Суть используемого метода состояла в том, что ткань фотографировали таким образом, что бы получать четкие изображения отдельных элементарных ячеек, образованных нитями основы и утка.

Продолжительность процесса пропитывания оценивали по секундомеру с помощью которого измеряли протяженность пропитанных связующим участков ткани и общее время процесса пропитывания. При проведении экспериментальных исследований использовали образцы тканей одинакового размера (150x100 мм) и количества слоев (15 слоев при схеме армирования 0°). Традиционно, при использовании технологии вакуумной инфузии, используют специальную сетку, которая позволяет существенно ускорять фронт распространения связующего [6, 7]. При такой подаче, первоначально связующее двигается только по сетке и верхнему слою ткани. В настоящей работе использовали две технологии сборки вакуумного мешка: с использованием распределительной сетки и без нее. В качестве распределительной сетки использовалась сетка из полиэфира марки CCVM-FM-KNITW-100-1,25. Данная сетка имела повышенную теплостойкость, что позволяло ее использовать при отверждении связующего при температуре 200°С.

В настоящей работе применяли две технологии пропитки: с сеткой (технология №1) и без сетки (технология №2). При использовании технологии №2 продолжительность процесса пропитывания в несколько раз увеличивается, однако мы предполагали, что при таком технологии возможно более точно оценить влияние пористости на кинетику процесса пропитывания.

Теоретически, продолжительность процесса пропитывания определяли с помощью программы PAM-RTM.

Для пропитывания использовалось эпоксидное связующее на основе смолы марки ЭД-20, отвердителя (диаминодифенилсульфон) и активного растворителя, который позволил снизить вязкость готового связующего до 0,05 Па·с. Эпоксидные связующие получили наибольшее распространение при изготовлении деталей из стеклопластиков и углепластиков, что связано с их уникальными технологическими свойствами и высокими механическими характеристиками.

Фазовый состав углепластика определяли методом термогравиметрического анализа на TG 209 F1 Libra.

В табл. 2 приведены экспериментально найденная продолжительность процесса пропитывания по технологиям №1 и №2 и фазовый состав.

Таблица 2

Продолжительность процесса пропитывания и содержание полимерной матрицы в углепластике в зависимости от используемой технологии пропитывания

№	Марка ткани и используемая технология	Продолжительность пропитывания, с	Содержание матрицы, %
1	FibaArm, технология №1	82	33,2
2	FibaArm, технология №2	430	36,4
3	ТВЧ 2/2 312-10, технология №1	161	34,3
4	ТВЧ 2/2 312-10, технология №2	960	36,2
5	GF 206, технология №1	143	34,5
6	GF 206, технология №2	1020	35,3
7	SAAI UT 350, технология №1	141	33,2
8	SAAI UT 350, технология №2	1035	33,9

Значения пористости и результаты теоретических расчетов продолжительности процесса пропитывания приведены в табл. 3.

Таблица 3

Теоретическое и экспериментальное время пропитывания образцов, изготовленных по стандартной технологии вакуумной инфузии

Наименование ткани	Пористость, %	Продолжительность пропитывания образцов тканей, сек		
		Эксперимент	Теория	
			Без учета пористости	С учетом пористости
FibaArm	20,5	82	75,7	84,1
ТВЧ 2/2 312-10	31	161	149,8	163,2
GF 206	35,2	143	123,1	138,6
SAATI GF 206	27,8	141	127,9	137,7

В результате проведенных исследований установлено, что при использовании стандартной технологии вакуумной инфузии (технология №1), наименьшая продолжительность процесса пропитывания у ткани FibaArm, пористость которой составляет 20%. Общая продолжительность процесса пропитывания составила практически одинаковое время для ткани GF 206 (143 с) и для ткани GF 206 (143 с), тогда как величина их пористости отличается между собой и составляет 35,2% для ткани GF 206 и 27,8% для ткани SAATI GF 206. Таким образом, экспериментально установлено, что между величиной пористости и общей продолжительностью процесса пропитывания отсутствует прямая взаимосвязь.

При использовании технологии №2, без распределительной сетки, продолжительность процесса существенно повышается для всех исследованных марок углеродных тканей. Для

ткани FibaArm она увеличивается в 5,2 раза, для ткани ТВЧ 2/2 312-10 – в 5,9 раз, а для ткани SAATI GF 206 – в 7,3 раза.

Содержание полимерной матрицы в углепластике для всех исследованных типов тканей, при использовании технологии №1 (с сеткой) меньше, чем для технологии №2 (без сетки). Таким образом, даже при проведении экспериментальных исследований с целью оценки кинетики процесса пропитывания нет необходимости использовать технологию №2, поскольку она не только занимает существенно большее время, но и приводит к повышенному содержанию полимерной матрицы в углепластике.

Учет величины пористости ткани при проведении теоретических расчетов общей продолжительности процесса пропитывания позволяет повысить точность расчетов. Наибольшая величина погрешности между теорией и экспериментом (при учете пористости) не превышает 5%, тогда как если ее не учитывать, то разница между теоретическими и экспериментальными значениями составляет 14% и более.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Учебное пособие. М. МАДИ, 216. – 264 с.
2. Баурова Н.И., Зорин В.А. Технологическая наследственность при производстве деталей машин из полимерных композиционных материалов: монография. – М.: МАДИ. – 2018. – 220 с.
3. Паталах, И.И. Композиционные материалы на основе углерода, упрочненные углеродным волокном / И.И. Паталах, А.С. Илюхин, Н.В. Аллавердова. – М.: НИИТЭхим, 1991. – 32 с.
4. Михайлин Ю. А. «Конструкционные полимерные композиционные материалы», Санкт-Петербург, «НОТ», 2008. – 820 с.
5. Левит, Р.М. Электропроводящие химические волокна / Р.М. Левит. – М.: Химия., 1986. – 200 с.
6. Марычева А.Н., Нелюб В.А. Методика оценки кинетики процесса пропитывания углеродных тканей эпоксидным связующим // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. - №12. – С.72-75.
7. Малышева Г.В., Гусев С.А. Исследование влияния сетевого угла тканей на кинетику процесса пропитывания при формовании изделий из углепластиков // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. №5. С.2-6.