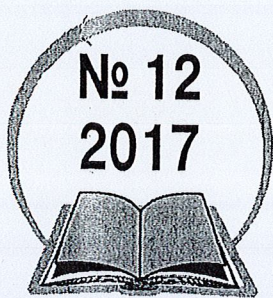


8/11 1



КОММЕНТАРИИ К СТАНДАРТАМ, ТУ, СЕРТИФИКАТАМ

Ежемесячное приложение к журналу
«ВСЕ МАТЕРИАЛЫ. Энциклопедический справочник»

Главный редактор
академик РАН, д-р хим. наук А.А. Берлин

Заместитель главного редактора
проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана
д-р техн. наук Г.В. Мальшева

Редакционный совет

Баннх О.А., академик РАН, д-р техн. наук
Васильев В.В., академик РАН, д-р техн. наук
Каблов Е.Н., академик РАН, д-р техн. наук
Мешалкин В.П., академик РАН, д-р техн. наук
Милехин Ю.М., академик РАН, д-р техн. наук
Новаков И.А., академик РАН, д-р хим. наук
Холькин А.И., академик РАН, д-р хим. наук
Бурханов Г.С., чл.-корр. РАН, д-р техн. наук
Стороженко П.А., чл.-корр. РАН, д-р хим. наук
Гейкин В.А., д-р техн. наук, проф.
Дуб А.В., д-р техн. наук, проф.
Кульков А.А., д-р техн. наук, проф.

Редакционная коллегия

Войтович В.А., канд. техн. наук, доц.
Голубев С.Н., канд. геол.-мин. наук
Голубев С.С., канд. техн. наук
Киселев М.И., д-р физ.-мат. наук, проф.
Ковалевский М.А., канд. эконом. наук
Кравченко И.Н., д-р техн. наук, проф.
Масленков С.Б., д-р техн. наук, проф.
Минаков В.Т., д-р техн. наук, проф.
Петрова А.П., д-р техн. наук, проф.
Русин М.Ю., д-р техн. наук, проф.
Спиридонов О.В., канд. техн. наук, доц.
Стоянов О.В., д-р техн. наук, проф.
Ульянов М.С., д-р техн. наук, проф.
Шевченко Ю.Н., канд. техн. наук
Юрков Г.Ю., д-р техн. наук, проф.

Редактор Кудрина А.В.

Адрес редакции:
105215, Москва,
ул. 9-я Парковая, д. 60
Тел./факс: (495) 988-98-67
E-mail: admin@nait.ru, http://www.nait.ru

Адрес для почтовых отправлений:
105215, Москва,
ул. 9-я Парковая, д. 60

Телефон редакции:
(495) 988-98-67. E-mail: korhimk@nait.ru

За достоверность информации и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели.
При использовании материалов журнала в любой форме ссылка на журнал обязательна.

© ООО «Наука и технологии», 2017

С 2011 г. журнал «Все материалы. Энциклопедический справочник» переводится на английский язык и выпускается издательством "Pleiades Publishing, Ltd" как приложение к журналу "Polymer Science, Series D", распространение которого осуществляет издательство "Springer".

СОДЕРЖАНИЕ

Беляков В.А., Купорова А.В., Пухова О.В. Аналитическая методика расчета планового количества циклов добычи фрезерного торфа 50

Исаев А.Ю., Беседнов К.Л. Методы определения электропроводности полимерных клеев 57

Плетнева Н.П. Сбалансированная система показателей эффективности . . . 63

Скрябин В.А. Методы испытаний токарных станков для обработки колесных пар подвижного состава железнодорожного транспорта 66

Нелюб В.А., Марычева А.Н. Методика оценки кинетики процесса пропитывания углеродных тканей эпоксидным связующим 72

Информация

Содержание журнала «Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам» за 2017 год. 76

УДК 539.4

Методика оценки кинетики процесса пропитывания углеродных тканей эпоксидным связующим

В.А. Нелюб, канд. техн. наук, А.Н. Марычева

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

E-mail: mail@emtc.ru

Приведена методика оценки пористости тканей, значение которой для углеродных тканей разного типа плетения изменялась от 3 до 35%. Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований кинетики процесса пропитывания при использовании эпоксидного связующего в зависимости от пористости.

Ключевые слова: углеродные ткани, пористость, кинетика процесса пропитывания.

Углеродные, стеклянные и органические ткани (ленты, нетканые материалы и др.) получили широкое распространение при производстве изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) [1–3], используемых в различных отраслях народного хозяйства: ракетно-космической технике [4], строительстве, машиностроении, автомобилестроении [5] и др.

Традиционно [6] при производстве изделий из ПКМ, особенно в авиационной промышленности, использовались препреговые технологии. Их отличительной особенностью являлось высокое качество за счет обеспечения точного соотношения компонентов (связующее—наполнитель) и низкой пористости отформованных изделий. Основным недостатком является высокая стоимость препрегов и их малый срок хранения.

В мелкосерийном производстве изделий из ПКМ наблюдается постепенно вытеснение препреговой технологии прямыми методами формования, такими как пропитка под давлением (Resin Transfer Molding, RTM), пропитка под вакуумом (Vacuum Assisted Resin Transfer

Molding, VARTM) и др. Перечисленные методы получают все большее распространение, что обусловлено их экономичностью и высоким качеством изготавливаемых изделий. Однако по сравнению с препреговыми технологиями методы прямого формования не позволяют оценить качество пропитывания волокнистого наполнителя связующим до момента получения готового изделия.

В настоящее время проводятся многочисленные исследования, связанные с разработкой новых и усовершенствованием известных методов исследования межфазной границы волокно — матрица [5, 7–9], основной целью которых является повышение адгезионной прочности. Однако они не позволяют решить проблему гарантированного обеспечения заданного качества и по этой причине при разработке технологии прямого формования чаще всего используют метод «проб и ошибок». Это существенно удлинняет продолжительность разработки и внедрения и увеличивает его стоимость.

Известно, что качество изделий из ПКМ закладывается на самом первом этапе их формо-

1. Основные характеристики углеродных наполнителей

Наименование углеродной ткани	Плотность, г/м ²	Толщина, мм	Коэффициент проницаемости	
			по основе $K_1 \cdot 10^{-10}$	по утку $K_2 \cdot 10^{-10}$
Аспро А-60	62	0,15	3,512	3,512
FibArm 12K 230/300	230	0,15	2,285	0,873
ТВЧ 2/2 312-10	312	0,25	1,665	1,274
ЛУ-П	169	0,12	2,285	0,873
GF 206, Т 700	206	0,2	11,355	8,956
SAATI UT 350	350	0,25	2,512	2,410

вания — на этапе пропитки. Это связано с тем, что при пропитывании волокнистой заготовки непосредственно в процессе смачивания и растекания связующего по поверхности ткани и в микрокапиллярах имеет место образование пор и участков непропитанной поверхности. Эти участки образуют дефекты, снижающие прочность изделия. Количество таких дефектов увеличивается еще больше, если используемая ткань имеет большой допуск по пористости.

Цель настоящей работы состояла в экспериментальном исследовании кинетики процесса пропитывания углеродных тканей разной пористости.

Для оценки кинетики процесса пропитывания были использованы отечественные и импортные углеродные ткани, основные характеристики которых приведены в табл. 1.

Первоначально экспериментально оценивалась величина пористости для каждой ткани. Для оценки пористости из рулонов тканей были вырезаны образцы, которые далее были

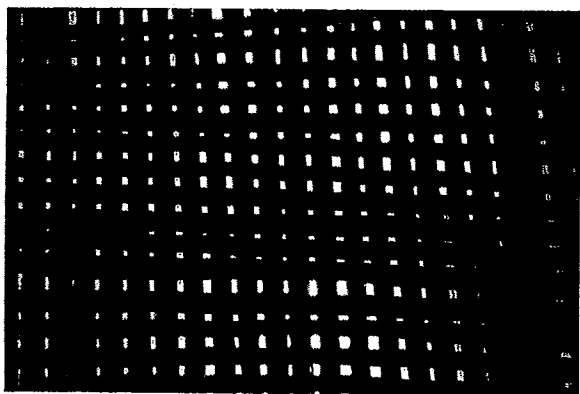


Рис. 1. Фото ткани марки SAATI UT 350 для последующего измерения пористости

помещены на специальный стол с прозрачной верхней поверхностью, снизу подавался луч света, сверху была установлена фотофиксация. Полученные фотографии (рис. 1) обрабатывались в программе IMAGE-J (National Institutes of Health) и подсчитывались площади пустот (пор).

Для пропитывания использовалось эпоксидное связующее на основе смолы марки ЭД-20 и отвердителя (диаминодифенилсульфона). Эпоксидные смолы являются одним из лучших олигомеров для создания связующих, что объясняется их хорошей адгезией к большому числу наполнителей. Разнообразие отечественных эпоксидных смол и отвердителей позволяет получать материалы, отверждение которых можно проводить как при комнатной, так и при повышенной температуре. Кроме этого в процессе химической реакции между эпоксидными смолами и отвердителями не выделяется вода или какие-нибудь летучие вещества, а усадочные явления при отверждении существенно ниже, чем при использовании связующих иной химической природы (фенольных, полиэфирных и др.).

При изготовлении образцов углепластиков использовался метод вакуумной инфузии (VARTM). Суть метода состоит в пропитке связующим ткани (нетканых материалов, лент, преформ) за счет вакуумного давления. На поверхность оснастки наносят все необходимые вспомогательные материалы, выкладывают и фиксируют предварительно раскроенный армирующий материал (300×100 мм), на который накладывается распределительная сетка, устанавливают каналы для подачи связующего, из-

готовавливают вакуумный пакет, который тщательно фиксируют на поверхности оснастки. Для всех исследованных типов тканей пакет собирали из трех слоев, углы армирования для всех слоев составили 0°.

Собранный пакет подключается к вакуумному насосу и проверяется на герметичность. Связующее поступает за счет разницы давлений и равномерно пропитывает армирующий материал. Фото некоторых моментов процесса пропитывания при использовании в качестве армирующего материала ткани марки GF 206, T 700 показаны на рис. 2.

Наряду с экспериментальной оценкой кинетики процесса пропитывания, в работе проводился теоретический расчет с использованием программы PAM-RTM от ESI Group (Франция). Для проведения расчета первоначально в стандартном пакете 3D-графики (Autodesk Inventor) строилась геометрическая модель, которая далее транслировалась в пакет конечно-элементного анализа Visual-Environment, где в модуле Visual-Mesh стандартным образом разбивалась на конечные элементы. При моделировании процессов пропитывания учитывались не только характеристики используемых тканей и связующего, но и схема армирования, количество слоев, порты подачи и отвода связующего, а также давление в вакуумном насосе.

Найденные значения пористости даны в табл. 2, а в табл. 3 — значения времени, которое потребовалось для полного пропитывания исследуемых образцов тканей.

Из приведенных данных (см. табл. 3) следует, что максимальная скорость пропитывания у тканей GF 206, T 700 и SAATI UT 350, которые характеризуются наибольшими значениями пористости, однако прямо пропорциональной зависимости между продолжительностью процесса пропитывания и величиной пористости нет.

При моделировании кинетики процесса пропитывания необходимо учитывать значения пористости тканей, поскольку они оказывают влияние на точность расчетов. Как следует из полученных данных (см. табл. 3), для всех исследованных тканей продолжительность процесса пропитывания с учетом пористости

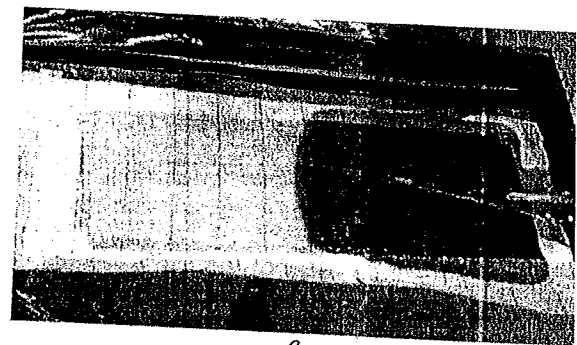
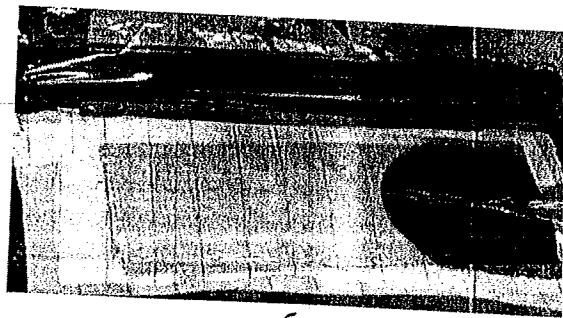
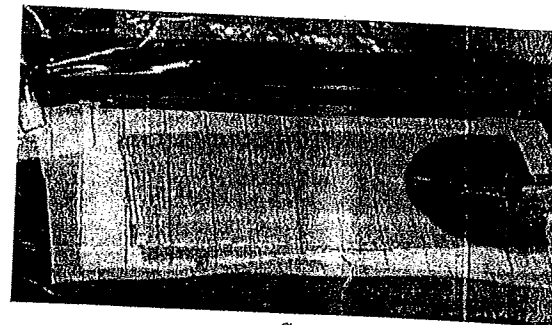


Рис. 2. Фото вакуумного мешка в процессе пропитывания ткани GF 206, T 700 в различные моменты времени с начала подачи связующего: а — на 15-й секунде; б — на 30-й секунде; в — на 65 секунде

больше, чем без. Чем выше значение пористости ткани, тем больше разница между теоретическими и экспериментальными результатами

2. Пористость тканей

Наименование наполнителя	Пористость, %
Аспро А-60	3,2
FibArm 12K 230/300	20,5
ТВЧ 2/2 312-10	31
ЛУ-П	16,9
GF 206, T 700	35,2
SAATI UT 350	27,8

3. Экспериментальные и теоретические значения полного времени пропитывания тканей

Наименование наполнителя	Время полного процесса пропитывания, с		
	Экспериментальное	Теоретическое	
		Без учета пористости	С учетом пористости
Аспро А-60	89	81,3	83,8
FibArm 12K 230/300	82	75,7	84,1
ТВЧ 2/2 312-10	161	149,8	163,2
ЛУ-П	80	70,4	76,8
GF 206, T 700	143	123,1	138,6
SAATI UT 350	141	127,9	137,7

Выводы

Экспериментально определены значения пористости углеродных тканей, величина которых изменяется в диапазоне от 3,2% для ткани марки Аспро А-60 до 35,2% для ткани марки GF 206, T 700.

Исследование кинетики процесса пропитывания при использовании эпоксидного связующего показало, что наименьшее время пропитывания у углеродной ткани марки Аспро А-60 (89 с), а наибольшее — для углеродной ткани марки ТВЧ 2/2312—10 (161 с). Установлено, что при увеличении пористости время пропитывания увеличивается.

В программном комплексе PAM-RTM проведено моделирование процесса пропитывания в зависимости от пористости углеродных тканей. Расхождение между теоретическими и экспериментальными результатами не превышает 5,8%.

Результаты настоящей работы получены в рамках проекта по теме «Научные исследования по разработке композиционных материалов со структурой управляемого хаоса и их применение в высокотехнологичном производстве» по заданию № 11.7291.2017/БЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузева Т.А. Отверждение полимерных связующих с помощью энергии электромагнитных колебаний сверхвысоких частот // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. № 8. С. 30—32.
2. Цибизова Т.Ю., Гузева Т.А. Системы автоматического управления технологическими процессами отверждения изделий из полимерных композиционных материалов // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. № 5. С. 35—40.
3. Буянов И.С., Вдовин Д.С. Разработка метода проектирования и технологии прошивки преформ для изготовления углепластиков // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. № 10. С. 22—24.
4. Резник С.В., Денисов О.В., Нелюб В.А., Бородулин А.С., Буянов И.А., Чуднов И.В. Исследования теплопроводности углепластиков в широком диапазоне эксплуатационных температур с использованием элементов натуральных конструкций // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. № 3. С. 2—6.
5. Баурова Н.И., Зорин В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Учебное пособие. Москва, МАДИ, 2016, 264 с.
6. Баурова Н.И., Зорин В.А. Современные технологии получения препрегов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. № 12. С. 18—22.
7. Нелюб В.А., Бородулин А.С., Кобец Л.П., Малышева Г.В. Исследование механизма структурообразования связующего в зависимости от микрорельефа поверхности углеродного волокна // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. № 2. С. 19—23.
8. Горбаткина Ю.А. О некоторых параметрах, определяющих прочность границы раздела в системах полимер—волокно // Клеи. Герметики. Технологии. 2008. № 10. С. 17—19.
9. Нелюб В.А. Оценка адгезионного взаимодействия между углеродным волокном и эпоксидным связующим // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. № 7. С. 20—22.