

углеродных тканей (газофазное окисление и специальная обработка с использованием установки для вакуумного напыления).

В работе приведены результаты термогравиметрического анализа, ИК-спектров и структурного анализа, шероховатости, количества аморфной и кристаллической фазы, количества парамагнитных центров для исходных (необработанных) углеродных волокон, а также после их окисления и обработки в установке для вакуумного напыления.

В работе экспериментально проводили определение количества парамагнитных центров на поверхности углеродного волокна и в углепластике до и после их газофазного окисления. Было сделано предположение, что чем больше количество парамагнитных центров находится на углеродном волокне и чем их меньше остается в углепластике, тем выше будет величина адгезионного взаимодействия. Полученные результаты подтвердили справедливость данного предположения. Установлено, что газофазное окисление приводит к увеличению количества парамагнитных центров, что обеспечивает увеличение прочности при межслоевом сдвиге на 20-25%. Также установлено, что газофазное окисление поверхности углеродных волокон приводит к изменению их шероховатости и доли аморфной фазы на их поверхности, что также позволяет повысить значения прочности углепластиков при межслоевом сдвиге. Рассмотрена методика использования установки вакуумного напыления для обработки поверхности углеродных лент и приведены результаты структурного анализа до и после обработки. Установлено, что данный метод позволяет повысить термостойкость углеродных лент.

В результате проведенных исследований предложен комплекс современных методик и методологический подход к оценке состояния поверхности углеродных волокон и лент, их дефектности и количественные критерии для отбора армирующих углеродных волокнистых наполнителей при создании высокопрочных пластиков.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Баурова Н.И., Зори В.А. Применение полимерных композиционных материалов при производстве и ремонте машин / Учебное пособие. М.: МАДИ. – 264 с.
2. Nelyub V.A. Method for assessing chemical reaction between carbon fibre and epoxide binder // Fibre Chemistry. 2015, 47(1), pp.40-42.

УДК 620

### **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССОВ ПРОПИТЫВАНИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **METHODOLOGY OF ESTIMATION THE KINETICS OF PROTECTION PROCESSES IN THE MANUFACTURE POLYMER COMPOSITE MATERIALS**

А.С. Бородулин

A.S. Borodulin

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Bauman Moscow State Technical University

E-mail: [asb@emtc.ru](mailto:asb@emtc.ru)

В настоящее время все более широкое распространение получают прямые методы формования [1], что связано с их низкой себестоимостью. Их отличительной особенностью является совмещение процесса пропитывания ткани связующим и процесса формования готового изделия. К таким технологиям относятся: пропитка под давлением (Resin Transfer

Molding или RTM) и вакуумная инфузия (Vacuum Infusion или VARTM) [2]. Однако при использовании этих технологий оценка качества получаемых материалов на промежуточных операциях изготовления изделий затруднена. Это требует новых подходов к управлению технологией пропитывания наполнителей различной природы и геометрических размеров.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование кинетики процессов пропитывания в режимах смачивания и растекания.

Кинетику пропитывания непрерывных волокон различными жидкостями изучали на специально спроектированной установке, которая позволяла оценивать скорость пропитывания в режиме реального времени в зависимости от величины давления, степени наполнения и свойств используемого связующего и волокна [3].

В качестве объектов исследования в работе использовались: среднепрочные углеродные волокна в виде жгутов и лент марок ВМН-4, ЛУ-3, ЛУП-01, Элур-0,08П (в исходном состоянии и после обработки 50% азотной кислотой при 98°C в течение 0,25÷6 ч), высокопрочное углеродное волокно AS-4 фирмы Сайтек (США), арамидное волокно Армос, стеклоткань Т11. В качестве рабочих жидкостей использовали дибутилфталат, диоктилсебацат, глицерин и эпоксидные связующие марок Этал-Инжект-SL/M, ЭДТ-69Н, ЭНФБ.

Экспериментально были установлены зависимости времени пропитывания от длины пропитанной части волоконного образца. Используя уравнение Уошборна, эти зависимости строились в координатах «длина пропитанного образца- квадратный корень от времени пропитывания». Коэффициент пропитывания, равный тангенсу угла наклона этой прямой, является функцией 4-х переменных: плотности жидкости, эффективного радиуса капилляра, динамическому углу натекания и вязкости жидкости. В отсутствие внешнего давления в системе волокно пропитывается под действием капиллярной силы. При повышении давления до величины  $P_1$  скорость пропитывания скачкообразно уменьшается, что соответствует углу смачивания  $90^\circ$ , и вертикальной форме мениска. При дальнейшем увеличении давления до  $P_2$  обнаруживается второй (критический) излом, когда угол смачивания  $\Theta_2 = 180^\circ$ . В результате проведенных исследований установлено, что для каждой пары волокно-связующее существует критическое давление, при котором происходит изменение кинетики процессов пропитывания и имеет место образование граничного слоя, что существенно замедляет пропитку. Если при динамическом смачивании углеродных волокон простой жидкостью, например, глицерином, образуется один граничный слой, то при смачивании их связующим образуются два слоя. В работе приведены экспериментальные данные, из которых следует, что для оптимальной скорости смачивания преформы эпоксидным связующим величина внешнего давления должна быть больше  $P_2^*$ , при котором граничные слои (и внешний, и внутренний) разрушаются.

В работе экспериментально исследовалось влияние на процессы пропитывания такой характеристики волокна, как удельная поверхность. В работе введена новая характеристика волокон – ретикуляции поверхностной плотности, которая рассчитывается как отношение удельной поверхности к геометрической. Установлено, что по этой величине все исследованные волокна располагаются в следующий ряд в порядке возрастания: Армос < ВМН-4 < ЛУ-3 < AS-4 < Элур-0,08П. Значение ретикуляции поверхностной плотности для Армос составляет 1,1, для Элур-0,08П 17,6. Из полученных результатов следует, что максимальное структурирующее действие на жидкость оказывают волокна с минимальной удельной поверхностью, т.е. идеально гладкие.

В результате всех проведенных исследований показано, что смыкание граничных слоев оказывает резкое отрицательное влияние на процесс пропитывания, для всех исследуемых волокон и связующих определены оптимальные значения давлений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нелюб В.А. Характеристики межфазных слоев полимерных композиционных материалов // Клеи. Герметики. Технологии. 2013. №6. С.23-25.
2. Татарников О.В., Малышева Г.В., Ахметова Э.Ш., Морозов Б.Б. Конечно-элементное моделирование теплового режима автоклавного отверждения трехслойной панели // Клеи. Герметики. Технологии. 2015. №8. С.32-35.
3. Нелюб В.А., Бородулин А.С., Кобец Л.П., Малышева Г.В. Исследование механизма структурообразования связующего в зависимости от микроструктуры поверхности волокна // Клеи. Герметики. Технологии. 2016. №2. С.19-23.

УДК 620.

## ТЕХНОЛОГИИ ПРОШИВКИ УГЛЕРОДНЫХ ТКАНЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕФОРМ

### TECHNOLOGIES OF PURIFICATION OF CARBON TISSUES AT THE MANUFACTURE OF PREFORMS

И.А. Буянов  
I.A. Buyanov

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
Bauman Moscow State Technical University  
Email: ivan.buyanov@emtc.ru

**Приведены результаты моделирования напряженно-деформированного состояния углепластиков, изготовленных с использованием аксиальных тканей. В работе использованы два типа моделей прошивного стежка. Приведены результаты оценки кинетики процесса растворения вспомогательной ткани, используемой для изготовления гибридных преформ и данные структурного анализа, позволяющие оценить качество прошивки и полноту удаления вспомогательной ткани.**

**Ключевые слова:** аксиальная ткань; преформа; прошивка; вспомогательная ткань.

**There are the results of modeling the stress-strain state of carbon plastics produced using axial fabrics are presented. Two types of sewing stitches are used in the work. The results of estimating the kinetics of the dissolution process of auxiliary tissue used for the manufacture of hybrid preforms and data of structural analysis allowing to estimate the quality of the firmware and the completeness of the excision of the auxiliary tissue are given.**

**Key words:** axial fabric; preform; firmware; auxiliary fabric.

Области применения полимерных композиционных материалов постоянно расширяются и большое распространение получили полимерные композиты, в которых в качестве армирующего материала используется ткань [1, с. 120-180]. Для удобства формования, вместо обычных тканей используют аксиальные ткани и преформы. Преимуществами аксиальной тканей являются лучшие (по сравнению с обычными тканями) характеристики драпируемости и детали, изготовленные из полимерных композиционных материалов на основе этих тканей имеют более высокие механические свойства [2, с. 24]. Основным недостатком аксиальных тканей является их малый ассортимент и поэтому производителям изделий из полимерных композитов приходится прошивать имеющиеся в их распоряжении обычные ткани.

Целью настоящей работы является совершенствование технологии прошивки углеродных тканей и преформ.

Работа состояла из теоретической и экспериментальной частей. Первоначально сделали теоретическую часть, в которой моделировали напряженно-деформированное