

УДК 678.01:620.179

## НЕПРЕРЫВНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ МАССОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ПЛЁНОЧНОГО КЛЕЕВОГО СВЯЗУЮЩЕГО В ПРЕПРЕГАХ В ПРОЦЕССЕ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

©2012 В.И. Постнов, О.Л. Бурхан, С.М. Качура, А.Э. Рахматуллин,  
А.В. Самсонов, Р.Р. Ямаев, П. В. Шершак

Ульяновский научно-технологический центр  
Всероссийского института авиационных материалов

Поступила в редакцию 02.11.2012

При изготовлении плёночного клеёвого связующего и препрега на его основе возникает необходимость непрерывного неразрушающего контроля удельной поверхностной массы изготавливаемого плёночного связующего и его массового процентного содержания в препреге при переносе на тканый или ленточный наполнители. Для решения этой задачи разработаны и изготовлены установки автоматизированной системы контроля процентной массы плёнки клеёвого связующего предназначенные для монтажа на промышленных машинах изготовления плёночного связующего различных типов.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы (ПКМ), препреги, методы контроля, рентгенометрический контроль.

При изготовлении плёночного клеёвого связующего и препрега на его основе возникает необходимость непрерывного неразрушающего контроля его удельной поверхностной массы, наносимого на бумажный носитель (подложку), а также массового процентного содержания связующего в препреге при переносе его на тканый или ленточный наполнители.

Технологический неразрушающий контроль основан на низкоэнергетическом рентгенометрическом методе определения содержания связующего в ПКМ, который регистрирует процесс взаимодействия низкоэнергетического рентгеновского излучения с исследуемым веществом [1]. Перспектива развития подобных методов обусловлена созданием новых образцов источников и детекторов низкоэнергетического рентгеновского излучения [2].

В методическом плане наиболее простым является метод сквозного просвечивания, основанный на измерении коэффициента ослабления излучения веществом в соответствии с законом Ламберта

$$J = J_0 \exp(-\lambda h), \quad (1)$$

где интенсивности излучения, прошедшего сквозь материал до пропитки  $J_0$  и после пропитки  $J$ .

Линейный коэффициент ослабления пропорционален плотности вещества

$$\lambda = \mu \rho, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность вещества,  $\mu$  – массовый коэффициент ослабления.

Здесь массовый коэффициент ослабления  $\mu$  зависит от типа излучения и химического состава вещества. Для низкоэнергетического рентгеновского излучения с энергией не выше нескольких десятков кэВ, когда ослабление происходит по механизму фотопоглощения, массовый коэффициент поглощения определяется выражением

$$\mu = c \lambda^3 \sum_i \frac{Z_i^4}{A_i} M_i, \quad (3)$$

где  $c$  – константа приблизительно одна и та же для всех веществ. Здесь суммирование производится по всем химическим элементам, входящим в состав препрега и участвующим в поглощении,  $Z_i$ ,  $A_i$ ,  $M_i$  – порядковый номер, атомарная масса и массовая доля отдельных химических элементов, входящих в состав вещества.

Формулы (3–5) позволяют определить содержание связующего аналитическим методом по измеренной интенсивности излучения. Отличительной особенностью данного метода, обуславливающей его перспективность, является нечувствительность к мешающим факторам, связанным с физико-химическими изменениями, происходящими в препреге при изготовлении. Это объясняется тем фактом, что массовый коэффициент ослабления не зависит от агрегат-

---

*Постнов Вячеслав Иванович, доктор технических наук, заместитель начальника. E-mail: untcviam@gmail.com*

*Бурхан Олег Леондович, начальник сектора.*

*Качура Сергей Михайлович, инженер технолог.*

*Рахматуллин Айрат Эмирович, инженер технолог.*

*Самсонов А.В., ведущий инженер ОАО "НИАТ", г. Москва*

*Ямаев Р.Р., инженер-технолог*

*Шершак П.В., инженер-технолог*

ного состояния вещества, а определяется, согласно выражения (3), общим числом атомов вещества в облучаемом объеме. Поэтому такие сильно мешающие факторы как пористость и степень полимеризации, присущие большинству остальных методов, не искажают результаты измерения содержания связующего.

В работе [3] на основании хорошего соответствия экспериментальных и расчетных данных массового коэффициента ослабления показана возможность использования метода сквозного просвечивания для определения содержания связующего в углепластиках.

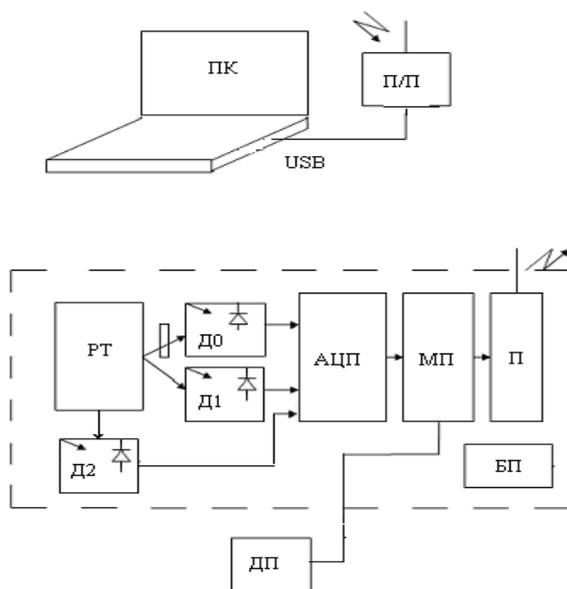
Были проведены исследования применимости данного метода для контроля препрегов. В этом случае выражение (1) может быть переписано в виде

$$J = J_0 \exp[-(\mu_n \sigma_n + \mu_c \sigma_c)]. \quad (4)$$

Тогда массовое содержание связующего определяется по измеренным интенсивностям излучения, прошедшего сквозь препрег до пропитки  $J_0$  и после пропитки  $J$ , из выражения

$$C = 100 \left/ \left[ 1 + \frac{\mu_c}{\mu_n} \frac{\ln(J_0/J_n)}{\ln(J_0/J) - \ln(J_0/J_n)} \right] \right., \% \quad (5)$$

Для решения первой задачи разработана и изготовлена установка автоматизированной системы контроля (АСК-1) удельной массы плёнки клеювого связующего предназначенная для монтажа на промышленных машинах изготовления плёночного связующего различных типов. Структурная схема установки АСК-1 приведена на рис.1. Установка содержит три измеритель-



**Рис. 1.** Структурная схема установки АСК-1 измерения удельной массы плёнки клеювого связующего

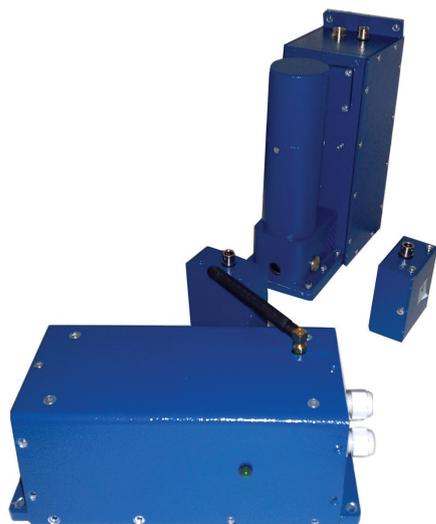
ных канала и обрабатывающего измерительную информацию блока в виде компьютера ПК с радиоканалом для передачи данных П/П (приёмопередатчик) и комплекта фотодатчиков каналов, один из которых Д0 измеряет ослабление мягкого излучения бумажной подложкой перед нанесением связующего (первый канал), а второй Д1 - после нанесения плёночного связующего на бумажной подложке (второй канал). Канал с датчиком Д2 (третий канал) необходим для автоматической корректировки измерения в зависимости от изменения параметров окружающей среды. Кроме этого в систему входит оптический датчик измерения длины ленты, состоящей из связующего и бумажной подложки ДП. Ролик оптического датчика устанавливается на тянущий вал. Измеренные данные от датчиков Д0-Д2 преобразуются из аналогового вида в цифровой для дальнейшей обработки с помощью аналого-цифрового преобразователя АЦП. Первичная обработка данных от датчиков производится микропроцессором МП на основе ПЛИС (программируемой логической интегральной схемы). Затем обработанная информация передаётся с помощью радиопередатчика П в компьютер.

Рентгеновская трубка РТ излучает узкий низкоэнергетический пучок, который, проходя через бумагу-подложку, ослабляется в зависимости от ее удельной поверхностной массы и принимается фотодатчиком Д0. Аналогично измеряется степень ослабления излучения связующим - бумажной подложкой во втором канале Д1. Измеренные данные компьютер сохраняет в памяти и производит привязку места измерения к длине ленты. Затем компьютер производит расчёт текущего значения процентного содержания плёночного связующего в пакете связующее - бумажная подложка после его нанесения на бумажный носитель по заложенной в алгоритме программы методике (4, 5). Текущее значение процентного содержания плёночного связующего в пакете связующее - бумажная подложка выводится в цифровом и графическом виде на экран монитора компьютера.

Внешний вид измерительной части установки представлен на рис. 2.

Применение автоматизированного технологического контроля удельной поверхностной массы плёночного связующего на стадии его изготовления предполагает ведение автоматического регулирования и поддержку оптимальной толщины плёнки связующего в процессе её прокатки по всей длине плёнки.

Вторым неотъемлемым этапом технологического контроля является контроль процента



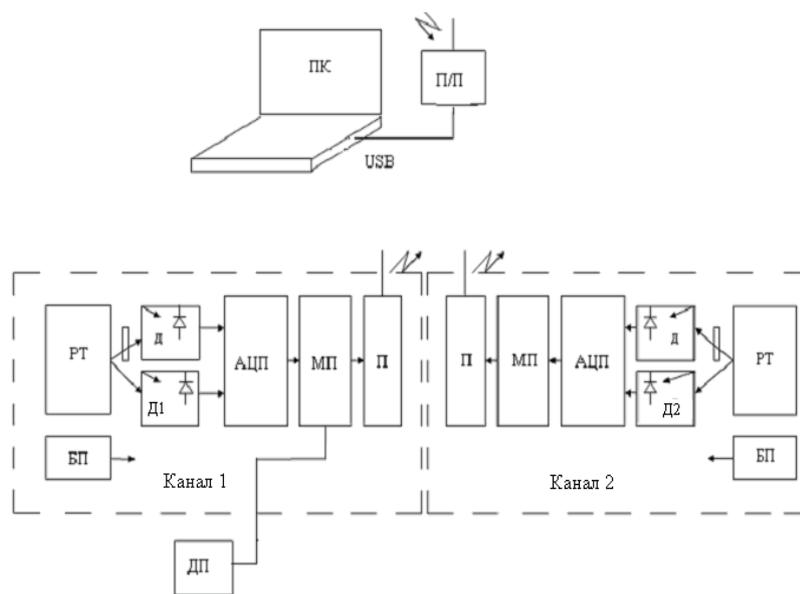
**Рис. 2.** Внешний вид датчиков установки измерения удельной массы плёнки клеяющего

массы плёночного связующего в препреге в процессе нанесения и прокатки его на тканом или ленточном наполнителе. Разработанная и изготовленная для этих целей серия установок автоматизированной системы контроля (АСК-2) массового процентного содержания связующего в препреге в процессе его изготовления предназначена для монтажа на промышленных машинах изготовления препрега различных типов. АСК-2 состоит из компьютерного блока обработки измерительной информации ПК с радиоканалом для передачи данных измерений и двух измерительных каналов датчиками Д1 и Д2 соответственно, первый из которых располагается в зоне “сухого” наполнителя перед его пропиткой (первый канал), а второй на выходе ма-

шины в зоне изготовленного препрега (второй канал). Кроме этого в систему также как и в АСК-1 входит оптический датчик перемещения ДП для измерения длины препрега, ролик которого устанавливается на сухой наполнитель (на тянущий вал). Датчик также как и в первом случае осуществляет привязку точек измерения сухого и пропитанного наполнителя обоих каналов. Структурная схема установки АСК-2 приведена на рис. 3.

Расположенная в первом измерительном канале рентгеновская трубка РТ излучает узкий пучок мягкого рентгеновского излучения, которое, проходя через сухую ткань или углеленту, ослабляется в зависимости от ее удельной массы и принимается фотодатчиком Д1. Аналогично РТ и Д2 измеряется степень ослабления излучения препрегом во втором канале. Погрешность привязки начала измерения на сухом и пропитанном концах углеленты не превышает 20 мм. Согласно закону ослабления излучения коэффициент ослабления излучения препрегом и сухой углелентой прямо пропорционален соответственно их удельным массам (3), что позволяет непосредственно измерять массовое процентное содержание связующего в препреге. После приёма всех измеренных величин, компьютер производит расчёт текущего значения процентного содержания связующего в препреге во время пропитки по заложенным в алгоритме программы методики расчёта величины содержания связующего (5). Внешний вид установки представлен на рис. 4.

Автоматизация технологического контроля массы плёночного связующего в составе препре-



**Рис. 3.** Структурная схема установки АСК-2 массового процентного содержания связующего в препреге



**Рис. 4.** Внешний вид установки автоматизированной системы технологического контроля массового процентного содержания связующего в препреге АСК-2

га на стадии его изготовления предполагает ведение автоматического регулирования и поддержку оптимальной процентной массы связующего в изготавливаемом препреге. При этом средства автоматизированной системы обеспечивают абсолютную погрешность измерения массового содержания связующего в препреге не более  $\pm 1,5\%$  на протяжении всей длины изготовленного препрега, что более чем в два-три раза меньше, чем при традиционных методах с применением взвешивания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рентгенотехника. В 2-х книгах. Кн.1 [под ред. В.В. Клюева]. М: Машиностроение, 1980.431с.
2. Румянцев С.В., Кулиш Е.Е., Борисов О.И. Источники низкоэнергетического излучения в неразрушающем контроле. М.:Атомиздат,1976.128 с.
3. Martin B.G. An analysis of radiographic techniques for measuring resin content in graphite fiber reinforced epoxy resin composites // Materials Evaluation.1977. № 11. Pp. 65-68.

#### CONTINUOUS AUTOMATIC TEST OF THE MASS CONTENTS FILM GLUE BINDING IN PREPREGS DURING THEIR MANUFACTURING

© 2012 V.I. Postnov, O.L. Burkhan, S.M. Kachura, A.E. Rakhmatullin, A.V. Samsonov, R.R. Yamaev, P.V. Shorshak

Ulyanovsk Scientific-Technological Center of the All-Russia Institute of Air Materials

At manufacturing film glue binding and on his(its) basis of a prepreg there is a necessity as continuous control of specific surface weight produced film binding plotted on a paper strip, and his (its) mass contents at detrital deposit on tissue or tape filling materials. For the solution of these problems the Ulyanovsk Scientific - Technological Center of the All-Russia Institute of Air Materials (USTC ARIAM) (USTC ARIAM) are developed and the installations of the automated monitoring system (AMS) of percentage weight glue binding intended for mounting on industrial machines are made.

Keywords: polymer composite materials (ПКМ), prepregs, methods of verification, X-ray the control.

*Vyacheslav Postnov, Doctor of Technical Sciences, Deputy Chief. E-mail: untcviam@gmail.com*

*Oleg Burhan, Chief of Sector.*

*Sergey Kachura, Engineer.*

*Airat Rakhmatullin, Engineer.*

*A. Samsonov, Leading Engineer.*

*R. Yamaev, Engineer.*

*P. Shorshak, Engineer.*