

**РАЗВИТИЕ СИСТЕМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
АРМИРУЮЩИХ ТКАНЫХ СТРУКТУР***

**DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF NONDESTRUCTIVE CONTROL
OF REINFORCING WOVEN STRUCTURES**

В.А. ИВАНОВСКИЙ
V.A. IVANOVSKY

(Костромской государственной технологической университет)
(Kostroma State Textile University)
E-mail: info@kstu.edu.ru

Работа посвящена разработке системы технического контроля качества армирующих тканых структур в процессе изготовления композитных материалов. Определен наиболее эффективный метод неразрушающего контроля армирующего полуфабриката. Предложена принципиальная схема алгоритма распознавания его структуры и дефектов.

The article is devoted to development of the system of quality technical control of reinforcing woven structures in the process of composite material manufacturing. The most effective method of nondestructive control of a reinforcing semi-finished product has been determined. The schematic diagram of the algorithm of recognition of its structure and defects has been offered.

Ключевые слова: контроль качества тканых структур, система неразрушающего контроля, компьютерная томография.

Keywords: quality control of woven structures, a nondestructive control system, computer tomography.

Одной из передовых задач современного производства композитных материалов и изделий из них является создание многомерных тканых структур, выполняющих роль армирующих элементов [1]. В частности, потребность в изделиях из композитных материалов с цельноткаными армирующими элементами существует в авиакосмической отрасли [2]. Очевидно, что строжайший контроль качества таких изделий является неотъемлемой частью производства.

Производство подобных деталей имеет две основные стадии – изготовление изделия из армирующих элементов (стекловолокна, углеволокна и др.) и пропитка связующим. Очевидно, что качество изделий закладывается на всех этапах его изготов-

ления. Представляется целесообразным для более эффективного контроля качества готового изделия, а также для уменьшения количества бракованных изделий и экономии дорогостоящего связующего осуществлять контроль структуры армирующих элементов, внешних геометрических параметров и контроль параметров внутренних технологических полостей до пропитки связующим.

На данном этапе производства изделие имеет сложную тканую структуру и геометрию и, следовательно, представляет собой достаточно серьезную задачу для автоматизированного контроля качества. Для решения этой задачи необходимо: осуществить правильный выбор наиболее эффективного метода или комплекса мето-

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук С.Н.Титова.

дов неразрушающего контроля; разработать методику и алгоритмы для анализа структуры и распознавания дефектов. Целью данного исследования является выбор наиболее эффективного метода неразрушающего контроля тканого армирующего полуфабриката.

На сегодняшний день можно выделить следующие основные методы неразрушающего контроля: визуальный, оптический, лазерный, термический, магнитный, электромагнитный, электрический, звуковой, ультразвуковой, сверхвысокочастотный, радиографический [3...5].

Первые два метода (визуальный и оптический) применяются для распознавания видимых характеристик исследуемого объекта: габариты, физическое состояние, характеристики рельефа поверхности, оптически определяемые дефекты (поры, трещины, включение инородных тел и т.д.) [6...10]. Применение эндоскопов позволяет заглянуть и внутрь полостей объекта. Однако данный процесс ограничен технологическими параметрами полостей и отверстий, а также временем анализа.

Данные методы не позволяют определять структуру внутри материала объекта и, следовательно, не могут в полной мере осуществлять технический контроль качества и должны использоваться в совокупности с другими методами неразрушающего контроля.

Одним из развивающихся методов дефектоскопии является применение лазерной техники, при помощи которой получают и исследуют голограммы объектов. При помощи такого метода можно определять вибрацию, внутренние напряжения, изменения размеров объектов, координаты отдельных точек, рельеф, форму. Лазеры для дефектоскопии применяют, в частности, в атомной и аэрокосмической отраслях, где необходима бесконтактность, высокая чувствительность, возможность исследования больших поверхностей, объемность исследуемого образа. К сожалению, данный метод не дает представления о внутренней структуре объекта.

Методы, основанные на проникновении индикаторных жидкостей в поверхностные

дефекты и трещины объекта (капиллярный метод) и сквозные дефекты (метод течеисскания), не подходят для поиска дефектов и определения внутренней структуры в случае промежуточного контроля армирующего тела, так как оно не является герметичным, а, наоборот, представляет собой тканую сетчатую структуру.

Термические (инфракрасные) методы неразрушающего контроля основаны на анализе различий в распространениях тепловых потоков при помощи радиометров. Применяются для определения таких пороков, как поры, пузыри, несплошности. Косвенность методов не позволяет определять непосредственное расположение армирующих элементов внутри объектов контроля. Они применяются для определения областей, содержащих дефект, при этом на точность определения оказывает сильное влияние глубина расположения дефекта. С ростом толщины объекта точность инфракрасных методов падает.

Магнитный метод неразрушающего контроля применяется в основном для материалов из ферромагнитных сплавов. Он основан на исследовании магнитных полей рассеяния намагниченного объекта. Позволяет определять такие дефекты, как поверхностные трещины, непровары, поры и др.

Электромагнитный метод в отличие от магнитного основан на анализе возбуждения вихревых токов, поэтому применяется для различных электропроводящих объектов. Он также эффективен для дефектоскопии на небольших глубинах сканирования.

Электрический метод базируется на исследовании электрических характеристик объекта, поэтому также, в основном, используется для электропроводящих объектов, однако при дефектоскопии исследуемых композитных материалов в качестве характеристик могут быть использованы диэлектрическая постоянная и тангенс угла диэлектрических потерь, которые зависят от степени отверждения связующего.

Магнитный, электромагнитный и электрический методы для дефектоскопии в нашем случае могут подходить только для

углеродных структур, так как в остальных случаях материал не является токопроводящим.

При звуковом методе применяются колебания в диапазоне 10 Гц...20 кГц. Задающий кристалл вызывает колебания всего изделия до наступления резонанса. Данный метод используется для определения больших дефектов и расслоений. По тону звука определяется связанность структуры объекта (звонящий – хорошо связанная структура, глухой – структура с пустотами).

Ультразвуковые методы используют частоты от 20 кГц до 25 МГц. При прохождении через объект исследования энергия излучения уменьшается в результате поглощения в материале и отражения от дефектов. Отражение происходит при достижении границы раздела. Могут применяться для обнаружения малых дефектов, так как с увеличением частоты колебаний увеличивается разрешающая способность сканирования. Эти методы применяются и для измерения размеров объектов.

Сверхвысокочастотные (СВЧ) методы основаны на энергетической оценке отраженного или прошедшего через исследуемый объект излучения сверхвысокой частоты (0,5... 1000 ГГц). Данные методы, как и предыдущие, акустические, в основном применяют для измерения геометрии объекта, поиска малых дефектов, а также содержания влаги, изучения диэлектрических свойств.

Акустические и СВЧ-методы в основном применяют для дефектоскопии полнотелых изделий. Исследуемый же материал имеет тканую сетчатую, следовательно, неплотную пористую структуру, с множеством границ раздела. По этой причине перечисленные методы для решения нашей задачи не являются эффективными.

Радиографические методы основаны на анализе изменения интенсивности ионизирующего излучения ($10^3 \dots 10^8$ эВ), проникающего через объект. Теневое изображение представляется в виде суммы изображений слоев объекта. Данные методы применяются для исследования пор, трещин, расслоений и других подобных дефектов.

Для исследования структуры объекта, в частности, расположения армирующих элементов необходимо изображение каждого слоя объекта без искажений. Данная задача решается одним из самых современных и эффективных радиографических методов – методом рентгеновской компьютерной томографии, применяемым во многих сферах: медицинских, промышленных, в сферах безопасности и т.д. Суть метода заключается в просвечивании объекта под различными углами и реконструкции структуры при помощи математических преобразований Радона.

Рассмотрим применение наиболее распространенных методов неразрушающего контроля на примере ультразвукового исследования и компьютерной томографии.

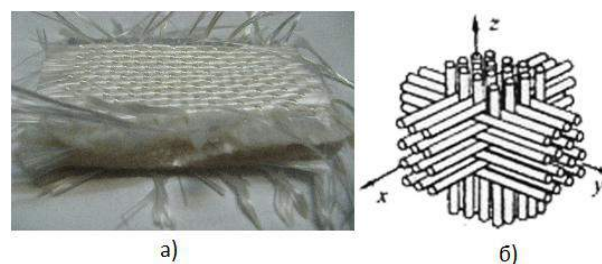


Рис. 1

Для исследования был выбран изотропный тканевый материал (рис.1-а) толщиной 13 мм, условная схема которого представлена на рис. 1-б. Для ультразвукового исследования использовался итальянский аппарат Mylab 70 Esaote со следующими техническими характеристиками: 1) частота датчиков – до 18 МГц, 2) глубина сканирования – до 38 см, 3) zoom – 32-кратный.

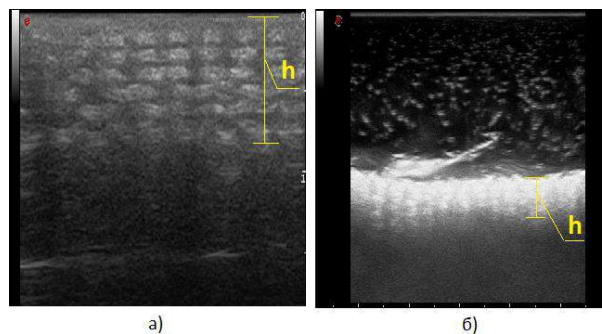


Рис. 2

На рис. 2-а представлены результаты ультразвукового сканирования образца многомерной ткани из кремнезёмных ни-

тей, сканирующий датчик был расположен непосредственно на ткани, при этом ткань была пропитана водой для исключения воздействия воздуха при ультразвуковом контроле. На рис. 2-б ткань была погружена в сосуд с водой, датчик располагался на поверхности воды. Как видно из изображений, ультразвуковое исследование дало неудовлетворительный результат – глубина (h) просвечивания ткани не более 8...9 мм. Также практически неразличима структура ткани и ее отдельные волокна. Очевидно, что для определения внутренней структуры как отдельных волокон, так и технологических полостей в изделиях из этого вида материала ультразвуковой метод исследования не подходит.

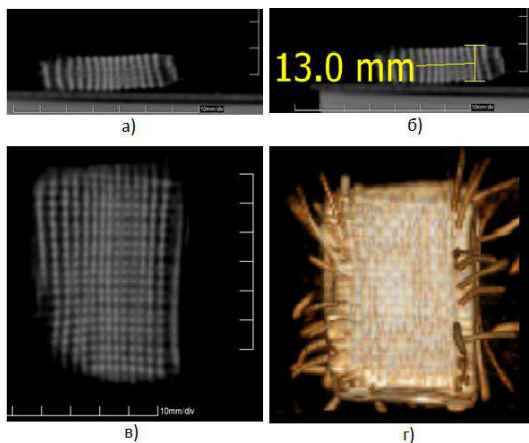


Рис. 3

Рассмотрим применение метода компьютерной томографии. Был применен компьютерный томограф Brilliance 16 СТ фирмы Philips со следующими техническими характеристиками: 1) рентгеновская трубка MRC – 8.0 MHU, 2) генератор – 60 кВт, 3) разрешение – 24 пар линий/см.

На рис. 3-а, б, в изображены проекции срезов ткани, сделанные при помощи компьютерного томографа. На рис. 3-г изображена реконструированная из проекций 3D модель образца ткани. Из рис. 3-а и б видно, что ткань просвечивается полностью и точно определяются размеры ткани ($h=13$ мм). Также видна структура ткани и находящаяся под ней подложка. Следовательно, применение метода компьютерной томографии позволяет определять как тканую структуру в пространственных координатах, так и возможные технологические полости. При данном эксперименте ткань не погружалась в воду, что также является положительным моментом в процессе контроля качества.

На сегодняшний день распознавание образов на томограммах в основном ведется визуальным методом. Для технологического контроля качества в производственной сфере целесообразно данный процесс автоматизировать. Основной частью автоматизированной системы распознавания является программное обеспечение, то есть алгоритм распознавания.

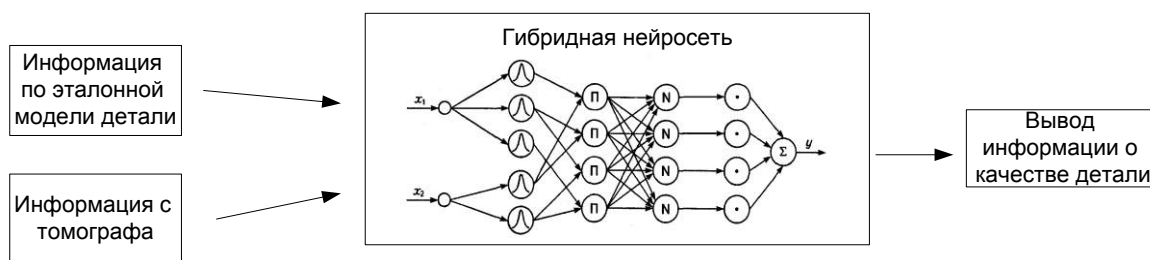


Рис. 4

На рис. 4 предложена принципиальная схема алгоритма распознавания дефектов. Как видно из рис. 4 предлагается применить гибридную нейросетевую модель распознавания, на вход которой подается информация, полученная с томографа, и информация, полученная с эталонной смоделированной компьютерной модели образца.

Таким образом, в рамках данной работы определен наиболее эффективный метод неразрушающего контроля армирующего полуфабриката. Возможности метода компьютерной томографии позволяют контролировать структуру тканых арми-

рующих элементов в процессе изготовления композитных материалов до окончательной пропитки, что позволяет более эффективно использовать дорогостоящие материалы и повышать контроль качества изделий. Предложена принципиальная схема алгоритма распознавания структуры и дефектов полуфабриката, применение которого позволяет автоматизировать процесс распознавания томограмм.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tong L., Mouritz A.P., Bannister M.K.* 3D Fibre Reinforced Polymer Composites // Elsevier. – 2002.
2. *Павлихина И.Ю., Сумарукова Р.И.* Исследование расположения нитей в многослойной ткани облегченного типа // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №4. С.28...31.
3. *Некрасова Н.П.* Анализ существующих методов неразрушающего контроля параметров строения ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №4. С.54...56.
4. *Воробей В.В.* Технология неразрушающего контроля деталей и узлов летательных аппаратов: Учебное пособие. – М.: Изд-во МАИ, 1996.
5. *Любин Дж.* Справочник по композиционным материалам. – В 2-х кн. Кн. 2 / Под ред.

Дж.Любина; Пер. с англ. А.Б. Геллера и др.; Под ред. Б.Э.Гллера. – М.: Машиностроение, 1988.

6. *Сокова Г.Г.* Развитие теории и практики проектирования льняных тканей: Монография. – Кострома: КГТУ, 2007.

7. *Ивановский В.А.* Применение вейвлет-анализа при распознавании дефектов ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С.124...126.

8. *Романов В.В., Ивановский В.А.* Детектирование пороков ткани на основе аппарата нечеткой логики // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №3. С.134...136.

9. *Стенюгина О.В., Коробов Н.А., Гусев Б.Н., Алешина Д.А.* Определение геометрических характеристик петлеобразования трикотажного полотна по компьютерному изображению // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №1. С.134...136.

10. *Волгин А.Б., Рудовский П.Н.* Обработка и распознавание цифрового изображения самокрученных нитей с целью определения значения и направления крутки // Вестник КГТУ. – 2012, №2. С.37...38.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей маши и проектирования технологических машин. Поступила 02.03.13.