

УДК 629

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Романов А.Д., Чернышов Е.А., Романова Е.А.**

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева,  
Нижний Новгород, e-mail: taep@nntu.nnov.ru*

В статье показана история и современное состояние технологий и оборудования для создания композиционных материалов. Дана информация по проекту автоматизированного комплекса для создания и контроля изделий из макронеоднородных материалов планируемых к реализации в Нижегородском государственном техническом университете.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, стеклопластик, автоматизированный комплекс

## DEVELOPMENT OF A COMPLEX OF THE AUTOMATED ASSEMBLY OF COMPOSITE PRODUCTS

**Romanov A.D., Tchernyshov E.A., Romanova E.A.**

*The Nizhny Novgorod state technical university of R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,  
e-mail: taep@nntu.nnov.ru*

The history and current state of technologies and the equipment for creation of composite materials is shown in article. Information on the project of the automated complex for creation and control of products from macronon-uniform materials planned to realization at the Nizhny Novgorod state technical university is given.

**Keywords:** composite materials, the fibreglass, the automated complex

Большинство действующих на современных производствах, занимающихся автоматизированным проектированием, технологий в качестве конечного продукта реализуют 2D документацию, как правило, в бумажной форме, которая впоследствии используется для изготовления оснастки, в том числе и на оборудовании с числовым программным управлением. Такое несоответствие принципов автоматизации с реальностью снижает качество продукции и отрицательно влияет на внедрение новых технологий. Реализация принципа сквозного проектирования, являющегося основополагающим при создании цифрового производства, базируется на использовании трехмерных моделей на всех стадиях технологической подготовки. Это позволяет исключить ошибки, неизбежно возникающие при переводе информации из одного формата в другой, и снижает влияние человеческого фактора.

Полимерные композиционные материалы, по сравнению с алюминиевыми сплавами, обладают примерно в 2 раза большей прочностью при растяжении, в 3 раза меньшим модулем и в 1,6 раза меньшей плотностью. Также они обладают высокими теплоизоляционными свойствами, радиопрозрачностью. Композитное изделие – это система поверхностей, образующих объемно-прочную конструкцию. Только после соединения в единое целое они приобретают необходимый набор качеств, каждая из по-

верхностей имеет свой набор механических свойств, причем свойства могут изменяться как по толщине поверхности, так и по ее площади. Учет неравномерности нагрузок позволяет проектировать конструкцию из армированного композита с дифференцированной толщиной, которая может изменяться в десятки раз. Этого можно добиться при использовании комбинаторного подхода, когда изделие с новыми свойствами создается за счет управления интегральным составом компонентов и многослойной макронеоднородной структурой материала в целом. Избирательно комплекс свойств может включать задаваемые уровни абсолютной и удельной жесткости и прочности, динамической прочности, вибродемпферирования, теплоизоляции, огнестойкости, санитарно-химической безопасности [1].

С 50-х годов стеклопластиковое судостроение получило широкое распространение в мире, было построено значительное число яхт, рабочих и спасательных катеров и рыболовецких судов, десантно-высадочных судов и др. [2]. Так же из стеклопластикового материала были разработаны различные элементы для подводных лодок, в частности, обтекатели гидроакустических станций [3]. Впервые композитные материалы в подводном кораблестроении активно применялись в США при переоборудовании подводных лодок по проекту GUPPI (Great Underwater Propulsive Power) и FRAM (Fleet Rehabilitation and Modernization) получи-

ли новые ограждения боевых рубок и выдвижных устройств, изготовленные с применением полиэфирного стеклопластика. В настоящее время в конструкциях ПЛ стеклопластик занимает значительный объем, например, при выполнении элементов конструкции ПЛ пр. 212. Сегодня производство крупных судов из композиционных материалов наиболее развито в Швеции, Италии, Южной Корее. Наибольших успехов добился концерн ThyssenKrupp Marine System, включая Kockums. В настоящий момент в России создан самый крупный корабль из композиционных материалов, проект 12700 (Центральное морское конструкторское бюро «Алмаз»), при этом впервые в мире композиционный корпус имеет высоту борта более 8 метров [4].

В большинстве случаев в качестве связующего наполнителя используется химически отверждаемая термореактивная смола, процесс отверждения характеризуется экзотермической химической реакцией. В основном используются полиэфирные, эпоксидные, фенольные и высокотемпературные смолы. Чаще всего в изготовлении деталей сложной конфигурации применяют технологии, суть которых заключается в выкладке «сухой» основы с последующей пропиткой связующим составом («влажная» формовка, намотка, инъекция, Resin Transfer Molding / RTM) или с поочередной выкладкой «сухой» основы с пленочным клеем (вакуумная пропитка, Resin Film Infusion / RFI). Кроме того широкое распространение получила технология изготовления деталей с использованием препрегов (полуфабрикатов, представляющих собой материал основы, пропитанный связующим составом).

На рынке «технология моделирования композитов» существуют различные программные продукты. Это FiberSim (Vistagy / Siemens PLM Software), Digimat (e-Xstream / MSC Software Corp.), Helius (Firehole Composites / Autodesk), ANSYS Composite PrepPost, ESAComp (Altair Engineering) и др [5]. Практически все специализированное программное обеспечение, применяемое при конструировании армированных композиционных материалов различных компаний, имеет возможность интеграции с системами CAD высокого уровня – Creo Elements/Pro, Siemens NX, CATIA. В целом, работа выглядит следующим образом: выбирается материал слоев, определяются общие параметры пакета слоев, определяется метод формирования слоев. В зависимости от метода производства изделия (ручная выкладка, выкладка ленты, выкладка волокна) осуществляется послойный анализ матери-

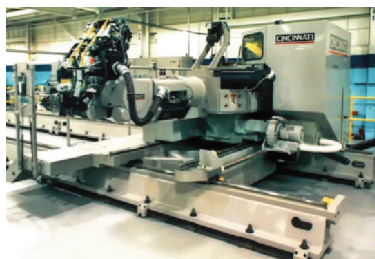
ала на возможные деформации. Состав слоев приводится в соответствие с шириной используемого материала.

В настоящее время на предприятиях применяют в основном ручной труд формовщиков, вследствие чего при расчете изделия необходимо делать запас на возможную ошибку. Кроме того, новые материалы такие как квадроаксиальная ткань, например, обладают другими свойствами в сравнении с биаксиальной. Неточность данных, описывающих ориентации волокон от этапа проектирования до изготовления композиционных деталей включительно, приводит к общему несовершенству конструкции. Для облегчения ручной выкладки ткани и сокращения отходов применяются раскройные машины для автоматической резки ткани/препрега, лазерные проекторы LAP и LPT для контурной проекции при выкладке на технологическую оснастку. Используя модуль лазерного проецирования имеется возможность автоматически генерировать данные для проецирования непосредственно из 3D-модели композитного изделия. Такая схема работы значительно сокращает временные издержки, увеличивает эффективность процесса, снижает вероятность дефектов и ошибок, и делает управление данными проще.

Также прогресс идет по пути автоматизации работы со стеклопластиком. Первым шагом в деле механизации процесса контактного формования явилось использование пропиточных машин, которые помимо пропитки собирают стеклоткани или стеклохолсты в многослойные пакеты общей толщиной 4 – 5 мм. Для увеличения механизации процессов, снижения вероятности ошибки персонала, увеличения производительности применяется, например, метод напыления, с помощью которого можно получать наружную обшивку, полотно переборок и другие конструкции из стеклопластика. Следующий этап развития производства изделий из композитов – это внедрение установки для автоматизированной выкладки углестеклонаполнителей. Впервые в России подобное оборудование внедрено на ОАО «ВАСО», Viper 1200 FPS компании MAG Cincinnati. Данное оборудование позволяет изготавливать композитные детали длиной до 8 м и диаметром до 3 м (рис. 1.).

Основной операцией влияющей на геометрию изделия является создание матрицы. Изготовление мастер-модели из дерева процесс трудоемкий и длительный, для уменьшения времени изготовления матрицы и повышения точности используются: трех/пятиосевые фрезерные станки с ЧПУ,

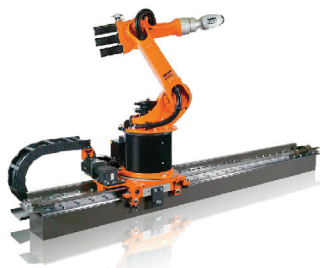
контрольно-измерительные машины или 3D сканеры. Портальный пятиосевой фрезерный станок (рис. 2.) доступен лишь крупным производителям. Небольшие компании используют фрезерные роботизированные комплексы на линейных блоках (linear robot unit) (рис. 3.), либо изготавливают мастер-модели из склеенной заготовки.



*Рис. 1. Станок для автоматизированной выкладки углеволоконных наполнителей Viper 1200 FPS фирмы MAG Cincinnati*



*Рис. 2. Пятикоординатный портальный фрезерный станок MR 125, способен обрабатывать детали размером 15x5 м и высотой до 2,5 м*



*Рис. 3. Фрезерный роботизированный комплекс Kuka на линейном блоке*

При этом обводы изделий часто имеют криволинейные образующие, проверить которые традиционными «плазовыми» методами не представляется возможным. При помощи 3D-сканирования можно определить насколько точно физический образец соответствует компьютерной 3D-модели. Для 3D-сканирования также можно воспользоваться координатно-измерительной машиной типа «рука» или бесконтактной оптической/лазерной системой сканирова-

ния. Однако при использовании бесконтактной системы сканирования, как правило, не могут корректно работать с зеркальными и высокоглянцевыми поверхностями. При использовании «измерительных рук» потребуется несколько последовательных переустановов, поскольку рабочее пространство в силу конструкции измерительных рук ограничено.

Также у стеклопластиковых материалов есть необходимость в контроле внутренней структуры изделия (отсутствие воздушных полостей). Для неразрушающего контроля судовых корпусов из композитов достаточно широко применяют рентген, ультразвуковую дефектоскопию, инфракрасную термографию и др.

В настоящее время в России практически только начинается интенсивное развитие автоматизации сборки композиционных изделий, в том числе оборудование для создания матриц. Чаще всего выполняют только отдельные элементы аэродинамического обвеса для «тюнинга» автомобилей.

В настоящее время в НГТУ им. Р.Е. Алексеева идет работа по созданию универсального комплекса для сборки конструкций из композиционных материалов. Преимуществом разрабатываемого комплекса является точность изготовления за счет того, что роботы работают в едином координатном пространстве с периодическим тестированием точности позиционирования и значительным сокращением ручного труда. Причем, применяемые роботы универсальны: они создают и, в случае необходимости, ремонтируют матрицу, после чего выполняют операции с композитным материалом: наносят разделительный слой, гелькоут, выкладывают препеги и/или напыляют поверхность и средний слой, контролируют геометрию и внутреннюю структуру после операции, выполняют финишную отделку изделия. Причем периодически система сама или с участием оператора проводит тестирование и устранение возможных погрешностей позиционирования. Постоянный контроль геометрии изделия и ее внутренней структуры позволяет выявить брак на ранней стадии и либо исправить его, либо прекратить изготовление, что также позволит снизить издержки.

При этом для обеспечения повышенной точности полная сборка осуществляется на одном рабочем месте. Узкоспециализированное оборудование, несомненно, имеет более высокую производительность, но на универсальном стенде можно изготавливать изделия более широкой номенклатуры. Кроме того, разрабатываемое оборудование можно масштабировать по рабочим местам

для обеспечения создания больших или меньших конструкций, когда над одним изделием работают более 1 робота.

Вся цепочка проектирования изделия и матрицы выполняются на компьютере: 3Д модель – гидро/аэродинамика – прочность изделия и отдельных элементов – задание на создание формы – раскрой листов – выкладка листов – проверка геометрии – проверка структуры – выкладка «среднего» слоя – дообработка фрезером при необходимости и т.п.

Всего предполагается задействовать:

- 2 – 6 роботизированных комплексов (стационарных и на линейных блоках);
- раскройный станок для ткани;
- 1 – 2 лазерных проектора;
- один 3Д сканер / координатно-измерительную машину;
- ультразвуковой дефектоскоп.

Создание стенда будет способствовать значительному улучшению качества изделий из композиционных материалов. Разработка системы автоматизированного изготовления элементов позволит практически полностью исключить влияние человеческого фактора на качество изготавливаемой продукции, создаст возможность экономии расходных материалов. Особенно это актуально для предприятий выпускающих продукцию больших линейных размеров.

Предпосылки для успешного завершения работ является ранее успешно выполнено внедрение систем 3Д сканирования (оптический и лазерный диапазон), 3Д прототипирования (послойное построение, фрезер) для медицинских целей, высокоточного литья и создания композиционных изделий, быстрого прототипирования в машиностроении [6, 7].

### Заключение

После проведения этапа НИОКР планируется внедрение данной технологии для сборки элементов на заводах авиа и судостроительной промышленности. Переход

на современные технологии проектирования и подготовки производства изделий позволяет:

- сократить расход композитных материалов;
- повысить точность геометрии и качество выкладки материала;
- добиться высокого уровня повторяемости изделий;
- сокращение влияния человеческого фактора на качество производимых изделий.

Кроме того данное оборудование будет использоваться для учебных целей, комплексный подход с использованием современного оборудования позволяет подготовить квалифицированных специалистов для промышленности, которые на практике осваивают полный цикл изготовления сложных изделий, способных после окончания института сразу приступить к работе с современным наукоемким оборудованием и передовыми технологиями [8].

### Список литературы

1. Фролов С.Е. Методы создания новых макронеоднородных композиционных материалов и технологические решения при изготовлении из них корпусных конструкций // Судостроение. № 3. 2003. С. 55-58.
2. Конструкция и прочность корпусов судов и кораблей из стеклопластика. Иностранное судостроение в 1965 – 1973 гг. // Судостроение. 1973.
3. Лукьянов Н.П. Обтекатель гидроакустического комплекса из полимерного композиционного материала // Судостроение. № 4. 2006. С. 55-60/
4. Интервью В.А. Середка и А.Ю. Софронова журналу CAD/CAM/CAE Observer #2 (78) / 2013.
5. CAE-технологии в 2012 году: обзор достижений и анализ рынка. CAD/CAM/CAE Observer #4 (80) / 2013.
6. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Повышение качества подготовки кадров металлургической промышленности с использованием новых технологий // Металлург. 2013. № 10. С. 9-11.
7. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Внедрение в учебный процесс подготовки кадров технологий быстрого прототипирования // Литейные процессы. 2012. № 11. С. 280-281.
8. Чернышов Е.А., Романов А.Д. Об опыте обучения студентов инженерных специальностей основам управления проектами // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 1. С. 54-57.