

УДК 621.7.073:620.22

А.В. ЧЕСНОКОВ*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Украина***ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ОСНАТКИ ДЛЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ**

Статья посвящена внедрению прогрессивных технологий для снижения длительности производства пространственной формообразующей оснастки для конструкций летательных аппаратов из композитов. Определено значение решенной задачи и проведен анализ последних исследований и публикаций. Определен комплекс методик для проектирования пространственной формообразующей оснастки с применением прогрессивных технологий разогрева изделия при формовании. Описан опыт разработки управляющих программ в среде SpruiCAM для обработки пространственной формообразующей поверхности на оборудовании с ЧПУ. Описано взаимодействие программ для сокращения длительности производства формообразующей оснастки. Предложены методы контроля соответствия полученной поверхности ее модели и оценки остаточного ресурса.

Ключевые слова: композиционный материал, формообразующая оснастка, прогрессивные технологии.

Введение

Все больше элементов конструкций летательных аппаратов изготавливается из композиционных материалов (композитов). Увеличение применения композитов обусловлено выгодным соотношением прочности (жесткости и т.д.) к массе конструкции, тенденцией к снижению стоимости композитов по отношению к металлам, что в комплексе определяет эффективность их применения. Технологические задачи изготовления деталей из композитов многогранны, разработано много материалов для матрицы и наполнителя, схем армирования, технологий формования и отверждения, соединения, термостабилизации и т.д. Весомый вклад в решение технологических задач производства внесла научная школа НАУ им. Жуковского «ХАИ», в результате многолетнего сотрудничества с авиационными предприятиями страны и зарубежья.

Оптимизация конструкций из композитов ведется в направлении совершенства применяемой композиции материалов и в направлении совершенства формы, что иногда приводит к созданию сложных пространственных (переменной или смешанной кривизны) конструкций. Работоспособность авиационной конструкции напрямую зависит от точности изготовления расчетного контура детали и соответствия ее физико-механических характеристик требуемым значениям, что в свою очередь определяет технологической предысторией процесса создания изделия. Ошибка в составе композита, параметрах формования или при проектировании формообразующей оснастки (ФОО) может привести к отбраковке из-за недоотверждения или деструкции свя-

зующего, накоплению остаточных напряжений в изделии и, как следствие, к его короблению и выходу за теоретический контур. Заданную форму контура необходимо обеспечить на этапе изготовления ФОО и поддерживать на протяжении всего срока эксплуатации. ФОО, как правило, является единственной специальной оснасткой для производства заданного изделия и от длительности ее производства зависят сроки изготовления первого изделия, что в условиях конкуренции и стремительного развития техники и технологии является важным фактором.

Целью работы является сокращение длительности проектирования и изготовления пространственной формообразующей оснастки за счет поиска рациональных алгоритмов расчета, программных и технологических решений.

Проектирование формообразующей оснастки

Определение оптимальной конструкции ФОО на этапе проектирования с целью получения качественных изделий при минимальных затратах, сокращении сроков создания, как следует из ряда работ [1], требует комплексного подхода при выборе конструктивно-технологического решения. Это обусловлено тем, что проектирование и изготовление ФОО по трудоемкости занимают 80%, а по длительности – 90 % от общего цикла технологической подготовки производства детали из КМ. Следовательно, автоматизация выбора оптимальной конструкции ФОО для конкретной детали позволяет значительно сократить время и затраты на ее изготовление.

Существует множество вариантов ФОО, определяемых видом изготавливаемого изделия, мето-

дом формования, исходным материалом ее конструктивных элементов, сложностью исполнения, способом изготовления, масштабами производства. Однако любой вид ФОО должен удовлетворять главным требованиям: надежность, эффективность и низкая стоимость [1, 2].

Факторы, отражающие надежность ФОО: геометрической точности, шероховатости и герметичности изделия, максимальный срок службы, ремонтпригодность.

Факторы, отражающие эффективность ФОО: обеспечение регламентированной структуры, свойств, обеспечение равномерного прогрева и минимального теплоотвода, близости КЛТР материалов изделия и ФОО, удобство эксплуатации, транспортировки, подготовки, минимальные затраты энергии на формование, окупаемость.

Факторы, отражающие себестоимость ФОО: трудоемкость изготовления ФОО, стоимость и масса материалов ФОО, универсальность конструкции.

Проектирование конструкции ФОО для изготовления небольших и малоответственных изделий из композитов не представляет особой сложности, в то время как для экономически выгодного производства качественных композитных конструкций больших габаритов – это является трудной задачей. Особенности проектирования ФОО для крупногабаритных изделий посвящен ряд работ [2, 3]. В них предлагаются математические модели и методы автоматизированного проектирования ФОО, параметры которой определяются исходя из уровня допускаемых остаточных напряжений, возникающих в процессе формования детали, а также уровня эксплуатационных и транспортировочных нагрузок, прикладываемых к конструкции ФОО. Для изготовления ФОО применяются различные материалы, металлы, композиты и дерево [4].

Одним из прогрессивных направлений в стабилизации температурного режима изготовления изделия и энергосбережения является изготовление подогреваемой оснастки регламентированного качества [5], за счет отказа от дорогостоящего нагревательного оборудования при сохранении характеристик получаемого композитного изделия и небольшом увеличении стоимости производства ФОО.

Результатом проектирования ФОО является трехмерная модель, передающая форму и взаимное расположение поверхностей, и прилагаемые чертежи и технические требования.

Изготовление формообразующей оснастки

Можно выделить три вида ФОО по виду изготовления: каркасные с формообразующей поверхно-

стью постоянной толщины (рис. 1, а), монолитные (рис. 1, б) и комбинированные.

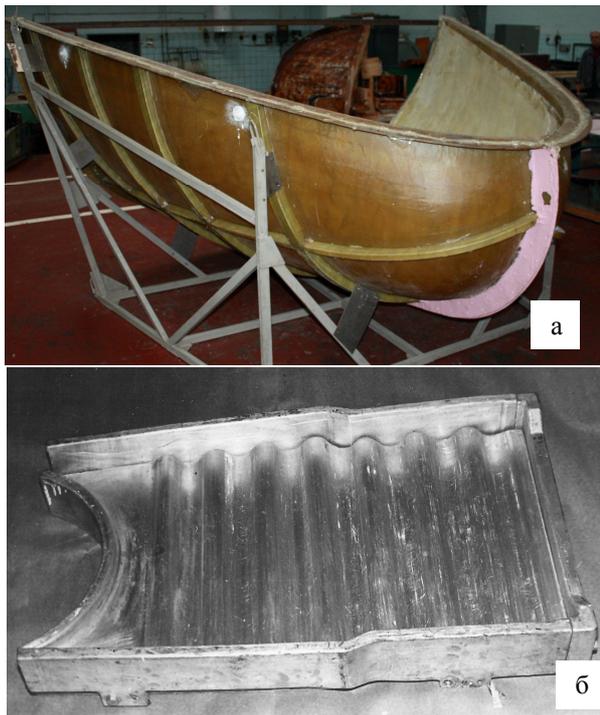


Рис. 1. Подкрепленная (а) и монолитная (б) ФОО

Точность формообразующей поверхности (ФОП), в основном, зависит от операций механической обработки. На современном этапе развития машиностроения пространственные поверхности получают фрезерованием на станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Точность ФОП зависит от точности применяемого оборудования и точности задания формообразующего движения инструмента управляющей программой. Составление управляющих программ для пространственной обработки вручную (без специальных программных средств) длительный и, практически, нереализуемый подход, из-за сложности геометрических расчетов координат опорных точек. Сейчас создано большое количество программ для генерации управляющих программ для оборудования с ЧПУ. Их можно сравнивать по функциональным возможностям, стоимости, удобству интерфейса, простоте освоения и т.д., но получить объективную оценку крайне сложно. Программа SprutCAM российской компании «СПРУТ-Технология», предназначенная для генерации управляющих программ для обработки деталей на многокоординатных фрезерных, токарных, токарно-фрезерных, электроэрозионных станках и обрабатывающих центрах с ЧПУ [6] наиболее удачно подходит для решения описанных задач. Система позволяет создавать управляющие программы для станков с различными кинематическими схемами и может настраиваться на любые типы устройств

ЧПУ. Компания «СПРУТ-Технология» является одним из ведущих российских разработчиков программного обеспечения для автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства, получившая признание в России, СНГ и странах дальнего зарубежья. Лицензионное программное обеспечение компании «СПРУТ-Технология» успешно применяется для подготовки специалистов в ведущих университетах России, Украины, Дании, Германии, Великобритании, США и Японии [6]. НАУ им. Жуковского «ХАИ», ВНУ им. В. Даля и еще 12 вузов Украины имеют лицензию, предоставленную НПП Солис на пакет программных продуктов компании «СПРУТ-Технология» для внедрения в учебный процесс и научную деятельность.

Применение программы SprutCAM позволяет в короткие сроки (до одного рабочего дня) разработать стратегию обработки и получить управляющую программу для определенной системы ЧПУ, имеющейся в организации. Длительность процесса наладки оборудования и обработки ФОО зависит от габаритов, сложности и шероховатости формы.

На кафедре технологии машиностроения и инженерного консалтинга ВНУ им. В. Даля был спроектирован полнофункциональный макет фрезерного станка портального типа с четырьмя управляемыми координатами. Управление перемещением рабочих органов станка осуществляется контроллером системы ЧПУ CNC через микрошаговые драйвера шаговых двигателей. Линейные перемещения реализованы шариковинтовыми парами с перемещением по валам на опоре с шариковыми линейными направляющими. Для отработки управляющих программ и согласованного управления приводами выбрана программа Mach3, бесплатная версия которой вполне удовлетворяет поставленным задачам. Программа Mach3 устанавливается на компьютер и через параллельный порт передает сигналы на контроллер системы ЧПУ. К программе SprutCAM имеется постпроцессор для программы Mach3. Подготовка моделей деталей ведется в программе КОМПАС-3D предоставленной фирмой АСКОН. Комплекс программ и оборудование позволяет проектировать и изготавливать опытные образцы размером блока до 1100x550x250 мм, наглядно демонстрируя возможности и взаимодействие программного обеспечения.

Контроль формообразующей оснастки

Контролировать точность изготовления пространственной ФОО и проверять ее остаточный ресурс (методика проверки изложена в работе 2) рационально применением измерительных средств типа 3D-сканер, контактного или бесконтактного действия или с помощью станка с ЧПУ и тензومت-

рического датчика.

Для программирования измерений и анализа результатов не достаточно только внутренних измерительных циклов станка с ЧПУ. Поэтому компания Delcam plc разработала уникальный, на рынке CAI-систем, продукт PowerINSPECT, позволяющий программировать все основные типы измерительного оборудования: мобильные "руки", стационарные машины, станочное оборудование. Британская компания Delcam plc предоставила 21 вузу Украины полнофункциональное программное обеспечение для учебных и исследовательских целей, ВНУ им. В. Даля является координатором внедрения программ фирмы Delcam plc в учебный процесс [7].

Модуль для работы со станками с ЧПУ называется PowerINSPECT OMV (от английского On-Machine Verification, что означает проверка или контроль на станке). С помощью программы можно проверить истинное положение изделия на станке для компенсации погрешности базирования. Путем измерения текущего положения программа определяет, так называемую, матрицу смещений и поворотов относительно осей X, Y, Z. PowerINSPECT OMV позволяет работать с двумя группами объектов: геометрическими элементами (плоскости, прямые, окружности и т.д.) и произвольными точками на поверхности. С помощью первой группы можно проверять отклонения элементов изделия от формы и расположения, вторая группа помогает осуществлять контроль свободных формообразующих поверхностей. Создание вышеуказанных элементов осуществляется вручную или автоматически с помощью анализатора геометрии. Для элементов, распознанных с помощью данной функции, автоматически создается траектория движения щупа и точки обмера.

Измерения производятся с помощью тензометрических датчиков, например фирмы Renishaw, которая разработала новый тип головок основанных на тензодатчиках. После калибровки точность срабатывания в любом направлении составляет 1 мкм.

Устранить износ ФОО можно нанесением дополнительного слоя стеклопластика и механической обработкой по исходной управляющей программе.

Выводы

Выделены методики для проектирования пространственной формообразующей оснастки. Освоен комплекс программ и спроектировано оборудование с ЧПУ для изготовления пространственной формообразующей поверхности и ее контроля, как на стадии производства, так и для оценки остаточного ресурса.

Литература

1. Гайдачук, В.Е. *Формообразующая оснастка для производства изделий из полимерных композиционных материалов [Текст]: учеб. пособие / В.Е. Гайдачук, В.С. Петропольский, М.А. Шевцова – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2002. – 63 с.*

2. Пургина, С.М. *Проектирование и конструктивно-технологические решения энергосберегающей формообразующей оснастки регламентированного ресурса для производства авиаконструкций из композитов: дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02; защищена 12.03.2011 / Пургина Светлана Михайловна. – Х., 2011. – 161 с.*

3. *Разработка математических моделей и методов проектирования технологической оснастки на точечных опорах [Текст] / В.С. Боголюбов, В.С. Гаврилин, В.И. Костиков и др. // Теория и практика технологий производства изделий из композиционных материалов и новых металлических сплавов (ТПКММ): тр. междунар. конф. 27 – 30 августа*

2003 г. – М.: Знание, 2004. – С. 608 – 617.

4. Валко, В.П. *Совершенствование конструкции и технологии изготовления деревянных мастер-моделей для формования крупногабаритной оснастки из композиционных материалов [Текст] / В.П. Валко, В.С. Петропольский // Конструкции и технологии получения изделий из композиционных материалов: тр. междунар. конф. 7 – 9 октября 2007 г. – К., 2007. – С. 197.*

5. Пургина, С.М. *Подогреваемая формообразующая оснастка регламентированного качества для изготовления композиционных изделий [Текст] / С.М. Пургина // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2010. – № 1 (61). – С. 79 – 85.*

6. СПРУТ-Технология [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sprut.ru>. – 5.12.2012.

7. Центр САД-систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.cad-center.com.ua>. – 5.12.2012.

Поступила в редакцию 05.12.2012, рассмотрена на редколлегии 12.12.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проректор по НР, зав. кафедрой ракетно-космических двигателей и энергоустановок летательных аппаратов А.В. Гайдачук, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков.

ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПРОСТОРОВОГО ФОРМОУТВОРНОГО ОСНАЦЕННЯ ДЛЯ КОНСТРУКЦІЙ З КОМПОЗИТИВ

О.В. Чесноков

Стаття присвячена пошуку напрямків зниження тривалості виробничого циклу виробництва просторового формотворного оснащення для конструкцій літальних апаратів з композитів. Визначено значення вирішеної задачі і проведений аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначено комплекс методик для проектування просторового формотворного оснащення із застосуванням прогресивних технологій розігріву виробу при формуванні. Описаний досвід розробки управляючих програм в середовищі SprutCAM для обробки просторової формотворної поверхні на обладнанні з ЧПУ. Описана взаємодія програм для скорочення тривалості виробництва формотворного оснащення. Запропоновано методи контролю відповідності отриманої поверхні її моделі та оцінки залишкового ресурсу.

Ключові слова: композиційний матеріал, формотворне оснащення, прогресивні технології.

PROGRESSIVE TECHNOLOGIES OF PRODUCTION OF THE SPATIAL SHAPE-GENERATING TOOL FOR CONSTRUCTIONS FROM COMPOSITE

A.V. Chesnokov

The article is devoted the search of directions of decline duration of production cycle of production of the spatial shape-generating tool for the constructions of aircrafts from composite. The value of the decided task is certain and the analysis of the last researches and publications is conducted. The complex of methods is certain for planning of the spatial shape-generating tool with the use of progressive technologies of warming-up of good at shaping. Experience of managing program development is described in the environment of SprutCAM for treatment of spatial shape-generating surface on an equipment with CNC. Co-operation of the programs is described for reduction of duration of production of the shape-generating rigging. The methods of control of accordance the receive supface of its model and estimation of remaining resource are offered.

Key words: composition materials, shape-generating tool, progressive technologies.

Чесноков Алексей Викторович – д-р техн. наук, профессор кафедры технологии машиностроения и инженерного консалтинга, Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля, Луганск, Украина, e-mail: chesnokov@snu.edu.ua.