

ЦИФРОВЫЕ ИННОВАЦИИ – СУЩЕСТВЕННЫЙ ФАКТОР ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ

С. А. Койтов

*доктор технических наук, главный химик, Опытное конструкторское бюро «Новатор»,
г. Екатеринбург, Россия, koytov@inbox.ru*

В современной производственной среде при создании конструкций и изделий из композитных материалов – углепластиков и стеклопластиков, особое внимание уделяется технологии пропитки под давлением ввиду высоких качественных характеристик получаемых деталей и относительно высокой производительности. Для RTM-технологии применяется массивная и дорогостоящая технологическая оснастка из стальных сплавов с хромированной формовочной поверхностью. Цифровое моделирование RTM-технологии формования, оптимизация конструкции и процесса позволяет значительно сократить временные и финансовые затраты компании.

Ключевые слова: оптимизация процессов, композиционные материалы, математическое моделирование, программное обеспечение, формование.

DIGITAL INNOVATION IS A SIGNIFICANT FACTOR IN THE EFFICIENCY OF PRODUCTION RESOURCES

S. A. Koytov

*doctor of technical sciences, chief chemist, JSC "Experimental Design Bureau "Innovator",
Yekaterinburg, Russia, koytov@inbox.ru*

In the modern production environment, when creating structures and products from composite materials – carbon fiber and fiberglass, special attention is paid to pressure impregnation technology due to the high quality characteristics of the resulting parts and relatively high productivity. For RTM technology, massive and expensive technological equipment made of steel alloys with a chrome-plated molding surface is used. Digital modeling of RTM technology molding, optimization of design and process can significantly reduce the time and financial costs of the company.

Keywords: process optimization, composite materials, mathematical modeling, software, molding.

Композиционные материалы на основе объемно-структурированного наполнителя и полимерной матрицы находят все большее применение в изделиях авиационно-космической и ракетной техники. Это не только элементы внутреннего оборудования – кронштейны, держатели, элементы электрооборудования, но и крупногабаритные узлы, такие как корпуса планера аппарата, теплозащитные оболочки, испытывающие в условиях полета экстремальные механические и термодинамические нагрузки.

Патентный ландшафт как фильтрующий инструмент отбора эффективных инноваций в области проектирования и изготовления композиционных материалов позволил выявить компании, обладающие компетенциями в области моделирования процесса формования. Методом бенчмаркинга были изучены результаты применения программных решений ESI Group в компаниях (Aernnova, EUROS, АпАТЭК, ЦАГИ, Pole de Plasturgie), занимающихся производством композиционных деталей. Применение методов численного моделирования процесса с использованием 3D-моделей, построенных в CAD системах позволяет существенно сократить

ресурсные затраты на разработку оснастки и технологии в сравнении с традиционным методом экспериментального подбора оптимальной конструкции оснастки и режимов формования, таким образом улучшить конкурентные преимущества компании [1–4]. Получение требуемых характеристик детали из композиционного материала – механических, теплофизических, технологических, а также и себестоимость изготовления детали во многом зависит от конструкции формообразующей оснастки и проработанности технологического процесса. В RTM технологии – это количество и расположение в оснастке точек входа и выхода связующего, продолжительность пропитки (ограниченная жизнеспособностью связующего) и режим подачи связующего (ступенчатый или непрерывный, давление подачи), локальные изменения структуры и плотности наполнителя. Для работы были выбраны программы ESI PAM-FORM, PAM-RTM.

В данной работе рассмотрен пример математического моделирования процесса пропитки под давлением, его визуализация и параметризация. Данные, полученные в ходе работы, позволяют добиться снижения материалоемкости при проектировании и изготовлении оснастки и получения детального представления о процессе пропитки и прогнозирование возможных дефектов.

Цель работы – разработка модели задачи и различных вариантов пропитки, а также обоснование экономической целесообразности применения программного продукта для моделирования процессов изготовления композиционных деталей на производстве.

В рамках пилотного проекта прорабатывались основные методы и инструментарии моделирования и оптимизации технологического процесса: выбор программного обеспечения и математических моделей проницаемого наполнителя; разработка методики и оборудования для определения проницаемости наполнителя в зависимости от его локальных изменений структуры; моделирование процесса пропитки при различных режимах и оптимизация конструкции пресс-формы.

Объект исследования – Математическая (CAD) модель, её проектирование и анализ задачи пропитки. В процессе работы была создана 3D модель сетки детали и сделана полная постановка процесса пропитки с анализом результатов. Были рассчитаны и проанализированы разнообразные варианты установки штуцеров подачи и отвода связующего, изменялись габариты конструктивных элементов, участвующих в пропитке.

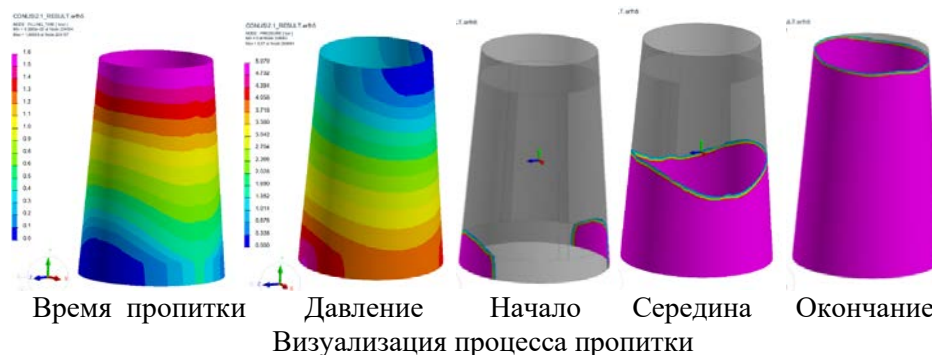
В качестве рекомендаций по внедрению результатов этой работы предлагается использовать указанный подход для проектирования конструктивно подобных образцов с проведением их валидации и финального изделия. Это позволит создать на базе существующих решений ESI Group и разрабатываемых вариантов прикладной программный комплекс. Эффективность подобной работы может быть оценена по сокращению временных затрат на проектирование и отладку технологии производства изделия за счет переноса этих стадий в цифровую модель и за счет этого снизить количество опытных образцов при доводке технологии. Описанная методика и программное обеспечение может применяться для проектирования и разработки технологии производства изделий из композиционных материалов.

Для постановки задачи моделирования, с помощью среды ESI Visual Mesh, была создана 3D сетка модели, на основе предоставленной геометрии CAD. Верхние и нижние области со свободным течением связующего в готовой модели были упрощены в плане геометрии и сделаны в виде отдельных частей.

Для удобства постановки задачи и задания свойств, модель была разбита на 6 частей: зоны свободного течения связующего (Обозначены как PART14 и 15 в модели), швы конуса (Обозначены как PART16, 17 в модели), поверхности конуса (Обозначены как PART18, 19 в модели). Задание свойств материалов это один из самых важных этапов постановки задачи. В данном случае нам требовалось задать 4 материала: полимерное связующее, «фон» армирования МКТ-4,2, «шов» армирования КТ-11-13, зона чистого течения связующего. Реологические свойства в данных областях были определены опытным путем и занесены в базу программы

для расчета. Для выявления возможности улучшения скорости пропитки путём изменения расположения штуцеров подачи и отвода связующего, были проведены расчеты для различных моделей форм.

Расчетное время пропитки в зависимости от конструктивных особенностей варьируется от 2,30 ч. до 1,60 ч. Визуализация времени пропитки и давления показана на (рисунок).



Время пропитки 1,6 ч. совпало с данными реальных испытаний, значения давления и распределение фронта течения связующего в пределах допустимых требований чертежа на форму из алюминиевых сплавов, что допускает их применение. На рис. 3 приведена одна из итераций моделирования пропитки под давлением длительностью 2,3 ч. и в конце процесса пропитки наблюдается дефект - непропитанная зона на меньшем диаметре оболочки. Решением данной проблемы послужило изменение положения, диаметров штуцеров, объема пропиточных колец без армирования и в результате достигнуто более равномерное течение фронта связующего и время пропитки 1,6 ч. Снижение давления формования и внедрение эффективных разделительных составов позволили заменить стальной сплав на алюминиевый, а также исключить хромирование и ввести анодирование. Данные решения значительно сократили расходы на подготовку производства и себестоимость продукции.

Выводы

В результате итераций моделирования процесса была выявлена оптимальная конструкция и технологические параметры формования, достигнуто время пропитки 1,6 ч, с минимальными расходами основных компонентов детали на выходе. Изготовление оснастки в соответствии с выбранным оптимальным конструкторским решением и последующее формование детали, подтвердили сходимость расчетных и практических данных, что существенно снижает стоимость подготовки производства и себестоимость конечных деталей. Применение инновационных цифровых программных решений по моделированию формования композитов в производстве компании обеспечивает достижение целей по улучшению эффективности работы.

Библиографические ссылки

1. Котов В. В. Моделирование производства композиционных материалов – вызов времени // Перспективные материалы для авиакосмической промышленности. 2011. № 1. С. 21–23.
2. Dennis A. Siginer, Sanjay Sharm. Permeability measurement methods in porous media of fiber reinforced composites // Applied Mechanics Reviews. 2010.
3. Swery E. E, Allen T., Comas-Cardona S., Govignon Qu., Hickey Ch., Timms J., Tournier L., Walbran A., Kelly P., Bickerton S. Efficient experimental characterisation of the permeability of fibrous textiles // Journal of Composite Materials. 2016.
4. Chatel S., Maison-le-Poec S., Trochu F., Edu Ruiz, Bréard J., Ouagne P. A Permeability measurement method dedicated to a composite process family // The 9th International Conference on Flow Processes in Composite. 2008.