

УДК 65.011.56

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.И. Яблочников, С.Д. Васильков, Ю.Н. Фомина

Обоснована необходимость создания информационно-телекоммуникационной платформы для решения задач по выбору и проектированию новых полимерных композиционных материалов в сфере приборостроения. Определены программные системы для проектирования новых материалов и структурного анализа изделий с учетом технологий их изготовления. Представлена функциональная схема комплексного решения задачи. В качестве базовой технологии изготовления изделий рассматривается инжекционное литье. Определены требования к информационному обеспечению информационно-телекоммуникационной платформы с учетом использования базы данных материалов, как пользователями, так и программными системами.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, информационно-телекоммуникационные системы, САЕ-системы, автоматизация процессов проектирования изделия, база данных материалов.

Введение

Одной из тенденций развития промышленного производства является все более активное использование полимерных композиционных материалов (ПКМ). Исследования в области разработки и применения ПКМ проводятся в авиационной, космической, автомобильной, судостроительной и других отраслях. При разработке изделий приборостроения в центре внимания, наряду с их конструктивными особенностями, также всегда находится исходный материал, который должен подвергаться обработке с использованием определенных технологий и с обеспечением заданных параметров изготавливаемого изделия. Например, в работе [1] приведены результаты исследования интегрированных процессов проектирования и производства оптических изделий с применением ПКМ. Характерной особенностью проектирования изделий из ПКМ является параллельное принятие решений как о применяемых материалах, так и о конструктивных параметрах изделий, и при этом необходимо учитывать технологии их изготовления. В связи с этим требуется создание интегрированной автоматизированной системы, включающей как отдельные системы проектирования и производства изделий из ПКМ, так и актуальную базу данных ПКМ. Исходя из проведенного анализа научно-технического развития в области разработки и использования ПКМ, задача разработки комплекса базовых технологических решений для создания нового поколения приборов, а также новых подходов к моделированию технологических процессов и проектированию изделий с применением ПКМ является весьма актуальной.

Создание информационно-телекоммуникационной платформы

Одним из основных подходов, обеспечивающих выполнение поставленных задач, является переход к компьютерному автоматизированному проектированию материалов, когда становится возможным использовать сложные модели ПКМ, учитывать физические, химические характеристики, особенности и требования процессов производства, а также возможное поведение материала при эксплуатации изделий из ПКМ. Проведенный анализ позволил установить, что при имеющемся многообразии направлений разработки новых ПКМ существует слабая связь разработчиков материалов с проектантами новых приборов. Моделирование материалов невозможно осуществлять без понимания областей их применения и прогнозирования перспектив использования в конкретных изделиях или функциональных системах.

Следует также отметить, что в нашей стране практически не используются системы автоматизированного проектирования ПКМ, а такие системы в настоящее время становятся базовыми в ведущих исследовательских центрах [2]. Низкий уровень автоматизации в этой сфере приводит к более трудоемкому и длительному процессу проектирования ПКМ и изделий из них. Однако, в то же время, отечественные предприятия активно используют САЕ-системы для инженерного анализа и оптимизации параметров изделий, что можно считать хорошей предпосылкой для последующего распространения систем автоматизированного проектирования ПКМ.

Таким образом, необходимо создание интегрированной среды (информационно-телекоммуникационной платформы (ИТП)) для постоянного информационного взаимодействия между организациями-разработчиками и потребителями ПКМ, для доступа к общим программным и информационным ресурсам, для эффективного использования вычислительных мощностей, необходимых при выполнении такого рода задач.

Определены приоритеты, соответствующие мировым тенденциям в области развития систем моделирования жизненного цикла материалов [3]:

- создание интегрированной системы моделирования как распределенной виртуальной среды;
- акцент на создание и встраивание различных прикладных программ и библиотек, которые применяются для широкого спектра моделирования новых ПКМ;
- интеграция с системой прогнозирования применения новых материалов в конечных изделиях и приборах на начальном этапе формирования системы;
- обеспечение интеграции комплекса программных продуктов, поддерживающих методологию PLM (Product Lifecycle Management – управление жизненным циклом изделия);
- использование технологии облачных web-сервисов для доступа к ресурсам ИТП;
- формирование новых образовательных программ, ориентированных на разработчиков и пользователей информационных технологий в этой сфере.

Важно отметить, что многообразие ПКМ по составу и свойствам привело на практике к созданию многих локальных баз данных, а сложности формирования материалов и разработки технологий их изготовления (в контексте проектирования конкретных изделий) привели к созданию многочисленных программ моделирования на базе математических моделей. Это позволяет индивидуализировать и оптимизировать процессы создания новых ПКМ в рамках создания ИТП.

Авторский коллектив имеет опыт проведения исследований и разработки автоматизированных систем в данном направлении. В Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики создана интегрированная распределенная система проектирования, прототипирования и подготовки производства изделий на базе PDM-системы ENOVIA SmarTeam [4]. Разработка выполнена в интересах предприятий полимерного кластера Санкт-Петербурга. Система поддерживает основные бизнес-процессы центра прототипирования (структурное подразделение полимерного кластера), связанные с проектированием изделий из полимерных материалов, производством их образцов, подготовкой опытной и промышленной серий. Промышленное производство изделий из полимерных материалов производится предприятиями кластера на термопластавтоматах, что требует расчета и проектирования отливок, пресс-форм и глубокого понимания процессов литья. Потенциал развития полимерного кластера – в использовании специализированных систем моделирования литейных процессов, в том числе и особенностей литья ПКМ, а также инженерного анализа изделий из ПКМ.

Программные системы для проектирования новых ПКМ

Для разработки новых ПКМ требуются новые технологии моделирования материалов, анализа состава и свойств, формирования различных вариантов реализации ПКМ и выбора наиболее подходящего с учетом требований. На основании проведенного анализа для создания экспериментального образца ИТП были выбраны следующие системы: Moldex3D (компания CoreTech System, <http://www.moldex3d.com>), Samcef (компания Samtech, <http://www.samtech.com>) и Digimat (компания e-Xstream engineering, <http://www.e-xstream.com>).

Основными критериями для выбора систем являлись следующие:

- область применения (возможность применения программного обеспечения для различных видов анализа материалов и изделий из ПКМ);
- типы материалов, для которых может применяться рассматриваемое программное обеспечение, возможность учета состава и микроструктуры материала;
- возможность решения междисциплинарных задач, позволяющих анализировать характеристики конструкций с учетом одновременно механического, теплового, электромагнитного, виброакустического и других полей;
- возможность анализа технологических процессов при различных видах литья изделий на термопластавтоматах;
- наличие информационных интерфейсов для построения интегрированных процессов (технология – материал – конструкция);
- коммерциализация программного обеспечения (возможность распространения на коммерческой или другой основе).

Кратко охарактеризовать системы можно следующим образом.

- Система Digimat – программный комплекс для многоуровневого нелинейного моделирования материалов. Позволяет осуществлять разработки многокомпонентных материалов, в том числе ПКМ. На сегодняшний день это базовая система для проектирования композиционных материалов во многих передовых промышленных компаниях.
- Система Samcef – CAE-система, предназначенная для инженерного анализа и виртуального моделирования изделий на основе конечно-элементного анализа. С использованием данной системы проводится инженерный анализ изделий, создаваемых из композиционных материалов. Важным достоинством в контексте данной работы является то, что компания Samtech представляет специальные подсистемы для проведения многостороннего моделирования различных классов приборов.

- Система Moldex3D предназначена для моделирования литья пластмасс под давлением и позволяет моделировать процессы заливки пресс-формы, выдержки под давлением, охлаждения детали, усадки и коробления, имеет специальный модуль для моделирования процессов изготовления деталей методом инжекционного литья из полимерных композиционных материалов (модуль eDesign-Fiber), а также интерфейсы со всеми основными САЕ-системами.

Следует отметить, что в зависимости от типа изделий и технологий изготовления, наличия систем и опыта использования у разработчиков отдельные компоненты могут быть заменены на другие известные и широко применяемые на практике системы.

В целом представленная совокупность систем позволяет построить интегрированную среду для решения задач по проектированию изделий из новых ПКМ с учетом анализа конструкций изделий и технологий изготовления. Указанные системы имеют интерфейсы для обмена данными, могут работать на единой аппаратной платформе. При этом в нашей стране по всем указанным системам обеспечивается как поддержка пользователей систем со стороны российских компаний-представителей, так и подготовка специалистов в технических университетах.

Функциональная схема выбора и проектирования ПКМ предусматривает решение следующих основных задач (рисунок):

- автоматизация сбора и классификация требований к приборам и материалам, создание базы данных для хранения, поиска, идентификации ПКМ и их компонентов, формирование единой среды для поддержки процессов разработки новых ПКМ и изделий на их основе с обеспечением безопасного обмена математическими моделями материалов между поставщиками и потребителями (ПС1). Здесь и далее ПС означает подсистемы;
- расчет усредненных механических, тепловых, электрических и других характеристик многофазных и многокомпонентных ПКМ в зависимости от характеристик компонентов, в том числе связующего и армирующих материалов, функциональных включений, микроструктурной морфологии ПКМ; выполнение процессов реверс-инжиниринга материалов (ПС2);
- детальное исследование поведения ПКМ в реальных условиях эксплуатации с учетом его микро- и макроструктуры с применением технологий конечно-элементного анализа (ПС3);
- автоматизация процессов комплексного анализа характеристик изделий, выполненных на основе новых ПКМ, с учетом влияния параметров и режимов технологического процесса изготовления изделий (ПС4).



Рисунок. Схема разработки ПКМ

Решение указанных задач позволяет реализовать трехуровневую методику выбора материала:

- уровень 1 – поиск материала, отвечающего требованиям к изделию, в созданной базе данных материалов с применением ПС1;
- уровень 2 – предварительный выбор состава и микро-, макроструктуры ПКМ на основе компонентов, представленных в базе данных, и уточнение его характеристик в ПС2 (на данном этапе применяются аналитические методы расчета характеристик ПКМ, что позволяет существенно ускорить процесс выбора наиболее оптимального состава и характеристик микро- и макроструктуры ПКМ);
- уровень 3 – детальное исследование поведения ПКМ и его характеристик с применением технологий конечно-элементного анализа в ПС3. На этом уровне используются предварительно выбранный на предыдущем уровне состав и характеристики микро- и макроструктуры ПКМ.

В качестве примера приведем последовательность шагов, которые необходимо выполнить при проектировании корпуса прибора из термопластов, армированных короткими углеродными волокнами.

1. Осуществляется поиск материала, соответствующий требованиям к изделию. При отсутствии в базе данных материала определяются структура и характеристики нового материала в системе Digimat.
2. Создается трехмерная модель изделия и литниковая система, устанавливаются давление, температура, определяются свойства смолы (вязкость, сжимаемость, удельная теплоемкость, температуропроводность) и волокна (доля объема или массы, соотношение сторон, удельная теплоемкость, температуропроводность, эластичность) [5], строится конечно-элементная сетка.
3. Моделируется процесс литья в системе Moldex3D, что позволяет получить набор ориентационных тензоров в соответствии с конечно-элементной сеткой.
4. Сопоставляются конечно-элементная сетка, полученная после анализа процесса литья, и сетка, построенная для структурного анализа с помощью системы Digimat.
5. Моделируются нагрузки на изделие с учетом свойств структуры материала (ориентационные тензоры) с помощью системы Samcef.

Таким образом, предлагаемая концепция создания нового ПКМ не ограничивается его выбором на основе анализа свойств материалов из созданной базы данных, а предполагает его моделирование на различных уровнях с прогнозированием областей применения данного материала, что позволяет проследить полный цикл создания и использования данного материала в конечном продукте.

Рассмотренная схема решения задачи определяет также ряд общих требований к информационному обеспечению системы:

- возможность хранения разнородных данных, представленных в текстовой, табличной, графической формах и описывающих с требуемой степенью полноты информацию о материалах, изделиях, технологиях, производителях и потребителях;
- наличие эргономичного интерфейса для всех пользователей системы;
- обеспечение быстрого и удобного поиска информации по разным критериям;
- доступность информации и сервисов интегрированной системы через Интернет;
- обеспечение аутентификации пользователей и защиты информации.

В соответствии с этим разработка информационного обеспечения и выбор соответствующих программно-аппаратных средств является одной из ключевых задач как с точки зрения технической реализации, так и с позиций дальнейшего коммерческого использования продукта.

В настоящее время существуют достаточно большое количество коммерческих систем для поиска полимерных материалов. Однако эти решения предоставляют возможность лишь для хранения и поиска информации, а рассматриваемая постановка задачи предполагает интеграцию поисковых систем в среду разработки новых материалов и изделий. База данных ПКМ должна содержать не только те характеристики ПКМ, которые интересны потребителю материалов, но и дополнительные данные, которые необходимы для проектирования ПКМ, расчета и анализа конструкций и технологий в приведенных выше специализированных САЕ-системах.

Заключение

Ключевым современным трендом в разработке материалов является переход от эмпирических подходов к компьютерному моделированию материалов, при котором используются сложные математические модели материалов, учитываются особенности и требования процессов производства, возможное поведение материала и конструкций при эксплуатации и утилизации. Анализ задач, решаемых при автоматизированном проектировании новых ПКМ, позволил определить состав и структуру программного обеспечения, а также требования к созданию информационного обеспечения межотраслевой информационно-телекоммуникационной платформы. Реализация такой платформы позволит интегрировать специалистов различных дисциплин (конструкторов, материаловедов, технологов) при выполнении НИОКР, связанных с исследованиями и разработкой изделий с применением новых полимерных композиционных материалов.

Исследования проводились в области информационно-телекоммуникационных систем для решения задач технологической платформы «Новые полимерные композиционные материалы и технологии» по заказу Министерства образования и науки Российской Федерации (государственный контракт № 07.514.12.4015 на выполнение научно-исследовательских работ от 06.10.2011).

Литература

1. Тинель П., Люк А., Милич И. и др. Игра со светом // Полимерные материалы. – 2011. – № 9. – С. 10–19.
2. Maréchal E. SAMCEF/Digimat based Numerical simulation of short fibers reinforced thermoplastics in aircraft engine applications // 12th SAMTECH conference. – Belgium, 2011. – P. 2–23.
3. Jovanovic A., etc. Roadmap of the European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies // EuMaT Members Version 27. – 2006. – P. 147.
4. Зильбербург Л.И., Молочник В.И., Яблочников Е.И. Информационные технологии в проектировании и производстве. – СПб: Политехника, 2008. – 304 с.
5. Каллистер У.Д., Ретвич Д.Дж. Материаловедение: от технологии к применению (металлы, керамика, полимеры) / Под ред. А.Я. Малкина. – СПб: Научные основы и технологии, 2011. – 896 с.

- Яблочников Евгений Иванович** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой, eugenyu@bee-pitron.spb.su
- Васильков Сергей Дмитриевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, vasilkovsd@mail.ru
- Фомина Юлия Николаевна** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук, доцент, yuli-fomina@yandex.ru