

Барышников М.П., Чукин М.В., Бойко А.Б.

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Изложены результаты исследования программных комплексов для расчета механических свойств материалов, выявлены основные особенности моделирования условий напряженно-деформированного состояния для программных комплексов.

Ключевые слова: программные комплексы, моделирование, механические свойства, композиционные материалы, ANSYS, CompositePro, ABAQUS, Nastran, DEFORM-3D.

The results of research software systems to calculate the mechanical properties of materials, determined the basic laws of behavior patterns in different conditions of stress-strain state.

Keywords: software systems, modeling, mechanical properties, composite materials, ANSYS, CompositePro, ABAQUS, Nastran, DEFORM-3D.

Создание конструкций из композиционных материалов является сложной инженерной задачей. Поскольку структура и характеристики композиционных материалов достаточно сложны, создание адекватной расчетной модели является актуальной задачей. Композиционные материалы обладают трансверсально-изотропными, ортотропными, анизотропными характеристиками, в связи с чем их часто применяют при решении специфических конструкторских задач [1]. Эффективность применения современных средств компьютерного моделирования на стадиях разработки, проектирования и изготовления сложных технических систем уже ни у кого не вызывает сомнения. Различные системы автоматизированного проектирования CAD/CAE сейчас широко используются в научно-исследовательских, проектных и производственных организациях практически всех отраслей промышленности. Следует отметить, что системы типа CAE делятся на узкоспециализированные (например, Deform и Qform) и ориентированные на решение широкого спектра задач, такие как программные комплексы ANSYS, ABAQUS, Nastran [2]. Далее представлен обзор наиболее известных программ для моделирования и анализа напряженно-деформированного состояния конструкций из композиционных материалов [3].

ANSYS Composite PrepPost (ASP) обеспечивает создание моделей конструкций из композиционных материалов. Этот специализированный пре/постпроцессор позволяет обмениваться данными с другими программными продуктами ANSYS. Для анализа результатов решения в модуле реализована возможность комплексной оценки модели по нескольким критериям разрушения. В результате выводятся данные по самым проблемным зонам модели и вариантам нагружения (рис. 1). Модуль АСП полностью интегрирован в среду ANSYS Workbench и при необходимости запускается из специального меню в расчетном модуле Workbench.

В удобном объектно-ориентированном графическом интерфейсе можно управлять расчетной моделью в структурированной древообразной схеме. Каждый слой может быть изготовлен из собственного композиционного материала, и ориентация каждого главного направления может быть различной. Для слоистого композита

направление волокон определяет схема армирования каждого слоя. Для определения конфигурации слоев существуют два метода: определение свойств каждого слоя непосредственно или ввод определяющих матриц, которые задают соотношения между силами/моментами и общими деформациями/кривизной [4].

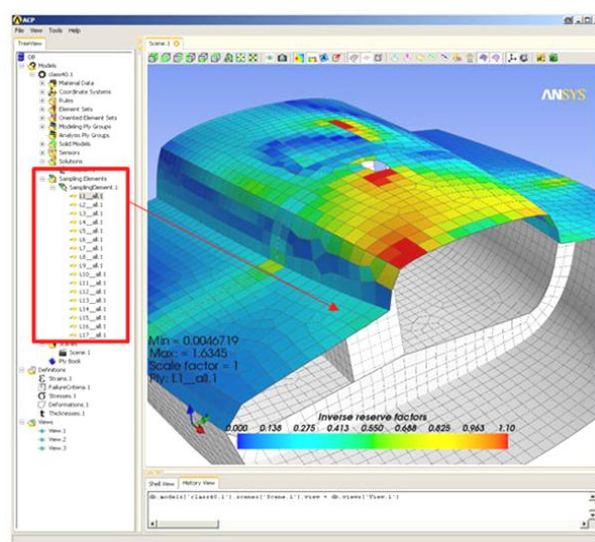


Рис. 1. Анализ результатов решения в ANSYS Composite PrepPost [1]

Helius: CompositePro является «настольным» инструментом, предоставляющим доступ к основным методам анализа композитов как на микроуровне, так и на основе классической теории многослойных стержней и пластин, сэндвич-панелей.

Функции, реализованные в Helius: CompositePro, являются связующим звеном между «ручными» расчетами и полномасштабным конечно-элементным анализом, позволяя сэкономить время, затрачиваемое на проектирование изделий из композитов (рис. 2).

Композитные материалы имеют гораздо более сложные свойства, чем традиционные материалы, такие как сталь. В данном программном обеспечении учитываются дополнительные сложности этих материалов и предлагаются значительные возможности для моделирования композитов, таких как слоистые оболоч-

чечные элементы и слоистые элементы сплошной среды, обобщенное определение сечения для свойств композитного слоя и ориентации, расширенные критерии разрушения, и модели материалов для связующей зоны для изучения расслаивания (деламинации) композитной структуры. Благодаря сотрудничеству ANSYS с Firehole, возможно выполнять анализ композитов с гораздо большей точностью и проводить глубокие исследования поведения материалов на микроуровне [5].

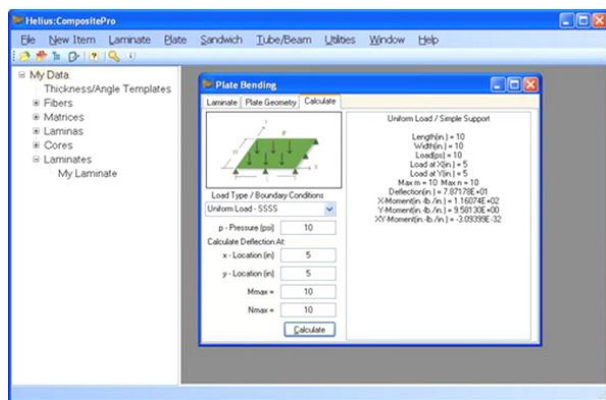


Рис. 2. Рабочее окно Helius: CompositePro

ABAQUS – программный комплекс для прочностного конечноэлементного анализа сложных линейных и нелинейных инженерных проблем. Данный продукт позволяет рассчитывать сложное нелинейное напряженно-деформированное состояние сооружений и оценивать их прочность и устойчивость с учетом многофакторного нагружения. Моделирование может производиться с учетом влияния предварительного нагруженных элементов с одновременным расчетом оснований и сочетаний нагрузок, с контактными взаимодействиями и моделированием разрушений.

С помощью имеющихся в программе средств моделирования может быть решен широкий спектр прикладных задач. Типы анализа в ABAQUS могут быть объединены в любой физически разумной форме. Например, один расчет может объединять нелинейный статический анализ и следующий за ним нелинейный динамический анализ, в котором результат статического анализа обеспечивает начальные условия для определения динамического отклика. Пользователь разбивает историю нагружения на шаги, основываясь исключительно на удобстве. Для чисто линейного анализа каждый шаг является, по существу, случаем нагружения. В случае нелинейного анализа каждый шаг – это одна ступень в общей истории нагружения. Тип анализа задается внутри каждого шага. В нелинейном анализе начальными условиями для каждого шага является состояние модели в конце предыдущего шага. Такая зависимость обеспечивает удобство при анализе сложных историй нагружения, таких как технологический процесс. Каждый шаг разделяется на приращения; в каждом приращении ABAQUS производит итерации для определения равновесного состояния, используя в большинстве случаев полный метод Ньютона. Критерий сходимости ABAQUS определяет автоматически, хотя пользователь может вручную откорректировать эти величины [6].

К преимуществам данного программного комплекса относится также наличие большого количества

нелинейных моделей материалов, что позволяет эффективно и с большой точностью решать задачи с учетом реологических свойств материалов. Отличительной особенностью ABAQUS является возможность использования собственных подпрограмм, что позволяет создавать свои модели поведения различных материалов, конечные элементы и типы нагрузок. ABAQUS включает в себя проверенную библиотеку современных элементов для высокой эффективности и точности вычислений. Все элементы пригодны для линейного или нелинейного анализа. Гибкие возможности рестарта обеспечивают защиту против внезапной аварийной остановки расчета. Использование пользовательских подпрограмм дает дополнительную гибкость в продвинутых приложениях [7].

Программные продукты MSC, в основе которых лежит метод конечных элементов, позволяют моделировать сложные физические процессы, решать задачи штамповки,ковки и других технологических процессов.

Системы, разработанные MSC Software Corporation, гарантируют получение надежных результатов и высокую экономическую эффективность, без которых невозможен успех в условиях рыночной экономики. Они применяются на всех стадиях жизненного цикла изделий – при проектировании, в процессе производства и эксплуатации.

Программы MSC отвечают практически всем потребностям в области проектирования конструкций или инженерных расчетов. Разные уровни программных пакетов можно использовать на различных платформах – от персональных компьютеров до рабочих станций и суперкомпьютеров. Гибкая модульная структура продуктов MSC позволяет сформировать оптимальный пакет программных средств, реализующих самые передовые компьютерные технологии и учитывающих специфику конкретного предприятия.

Программное обеспечение MSC Nastran обеспечивает полный набор расчетов, включая расчет напряженно-деформированного состояния, запасов прочности, собственных частот и форм колебаний, анализ устойчивости, исследование установившихся и неустановившихся динамических процессов, решение задач теплопередачи, акустических явлений, нелинейных статических и нелинейных переходных процессов, анализ сложного контактного взаимодействия, расчет критических частот и вибраций роторных машин, анализ частотных характеристик при воздействии случайных нагрузок и импульсного широкополосного воздействия, исследование аэроупругости на дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Предусмотрена возможность моделирования практически всех типов материалов, включая композитные и гиперупругие. В состав расширенных функций входит технология суперэлементов (подконструкций), включая продвинутые методы динамических конденсаций, модальный синтез и развитые методы анализа динамики сложных структур на основе суперэлементов и формулировок метода Крейга-Бемптона [8].

DEFORM-3D – мощная система моделирования технологических процессов, предназначенная для анализа трехмерного (3D) поведения металла при различных процессах обработки давлением. DEFORM-3D предоставляет важную информацию о течении материала

ла в штампе и распределении температур во время процесса деформирования. С помощью данного пакета программ возможно моделирование таких процессов, как: ковка, горячая, полугорячая и холодная штамповка, прессование, прокатка, вытяжка и многие другие процессы. DEFORM-3D имеет простой и удобный русифицированный Windows-интерфейс, не требующий длительного изучения (рис 3). Специальные шаблоны облегчают новичкам работу с системой и помогают быстро задавать несложные процессы и запускать их на счет [9].

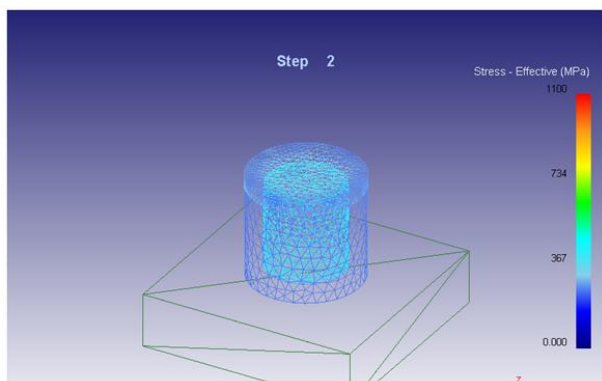


Рис. 3. Графическое отображение результатов моделирования в DEFORM-3D

Автоматический сеточный генератор DEFORM-3D строит оптимизированную конечно-элементную сетку, сгущая её в наиболее критичных зонах. Благодаря этому с системой могут работать даже пользователи без опыта работы с конечно-элементными системами. Кроме того, пользователь имеет возможность самостоятельно настраивать плотность сетки, распределение ее элементов по сечению и параметры ее автоматического перестроения.

К достоинству DEFORM-3D можно отнести сравнительно небольшие затраты времени на изучение данного программного комплекса, что обусловлено его специализацией на процессах обработки металлов давлением, однако подобная направленность не позволяет отнести DEFORM-3D к универсальным программным комплексам.

В результате проведенного анализа программных продуктов для расчета механических свойств композиционных материалов выделены три наиболее подходящих для данной задачи пакета программ: ANSYS, ABAQUS, MSC Nastran, поскольку они являются универсальными программами, позволяющими решать широкий спектр задач. Они имеют большую всемирную базу клиентов и постоянно интенсивно используются при решении широкого спектра задач. Программные комплексы обладают модульной структурой, позволяющей задавать исходные данные расчета в текущем модуле, что облегчает работу с данной программой и представляет более удобный интерфейс. Техническая поддержка данных комплексов на начальном этапе изучения программ позволяет установить и освоить программу в максимально короткие сроки, а также обеспечивает взаимодействие с пользователями на протяжении всего периода действия лицензии. Пред-

ставленные программные комплексы позволяют проводить сложные линейные и нелинейные расчеты и моделирование поведения трехмерных объектов в сжатые сроки, сравнимые по временным затратам с использованием инженерных методов для двухмерных задач. В экономическом аспекте наиболее доступными являются пакеты программ ABAQUS, MSC Nastran, Deform-3D. Следует отметить отсутствие академической версии ANSYS Composite PrePost в доступном ценовом сегменте для вузов. Представленные программы имеют документацию как в печатном, так и в электронном виде. Программные комплексы работают на всех основных платформах и операционных системах. В результате проведенного анализа программных комплексов поставленным критериям наиболее полно соответствует универсальный программный комплекс ABAQUS, позволяющий моделировать широкий спектр задач, в том числе деформацию и разрушение конструкций из композиционных материалов, Deform-3D целесообразно использовать для специализированных задач обработки давлением компактных материалов.

Список литературы

1. NanoWeek, № 87, 2009 [Электронный ресурс] / ANSYS Composite PrePost 12.0 – создание моделей конструкций из композиционных материалов. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/nanoweek/87>, свободный.
2. Институт космических исследований [Электронный ресурс] / Е.Н. Чумаченко, Т.В. Полякова, С.А. Аксенов, С.А. Бобер, И.В. Логашина, В.Н. Корзо, О.С. Ерохина. Математическое моделирование в нелинейной механике. М., 2009. URL: <http://www.iki.rssi.ru/books/2009chumachenko.pdf>
3. Алешин В., Кобыakov В., Селезнев В. Анализ прочности промышленных трубопроводов в ANSYS и ABAQUS // САПР и графика. 2004. №7
4. ANSYS [Электронный ресурс] / ANSYS Composite PrePost. URL: <http://ansys.soften.com.ua/the-decisions/103-ansys-composite-prepost.html>, свободный.
5. CompMechLab [Электронный ресурс] / Доступна новая версия программы Helius: CompositePro™ Version 4.0. от Firehole Technologies, Inc. URL: <http://www.fea.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=1666>.
6. ProCAE.ru [Электронный ресурс] / Обзор программных продуктов, реализующих CAD, CAE-технологии. URL: <http://www.procae.ru/articles/15/13.html>.
7. Граблин И.П. Моделирование упругих элементов в средах компьютерного инжиниринга // Сборник материалов III Всеукраинской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 16-18 апреля 2012, Донецк. Донецк, 2012.
8. CADmaster журнал для профессионалов в области САПР [Электронный ресурс] / Комп. технологии инженерного анализа в новом тысячелетии. URL: http://www.cadmater.ru/magazin/articles/cm_15_msc_software.html.
9. Тесис [Электронный ресурс] / Deform. URL: <http://www.thesis.com.ru>.

Bibliography

1. NanoWeek, № 87, 2009 [electronic resource] / ANSYS Composite PrePost 12.0 – model building structures made of composite materials. URL: <http://www.nanonewsnet.ru/nanoweek/87>.
2. Space Research Institute [electronic resource] / E. Chumachenko, TV Polyakov, SA Aksenov, SA Beaver, IV Logashina, VN Korzo, O.S.Erohin. Mathematical modeling of non-linear mechanics. M., 2009. URL: <http://www.iki.rssi.ru/books/2009chumachenko.pdf>, free..
3. Aleshin V., Kobayakov V., Seleznev V., Analysis of the strength of industrial pipelines in the ANSYS and ABAQUS // CAD and graphics. 2004. № 7.
4. ANSYS [electronic resource] / ANSYS Composite PrePost. URL: <http://ansys.soften.com.ua/the-decisions/103-ansys-composite-prepost.html>.
5. CompMechLab [electronic resource] / There is a new version of Helius: CompositePro™ Version 4.0. by Firehole Technologies, Inc. URL: <http://www.fea.ru/modules.php?name=News&file=print&sid=1666>.
6. ProCAE.ru [electronic resource] / Overview of software products implement CAD, CAE-technologies. URL: <http://www.procae.ru/articles/15/13.html>.
7. Tines IP Simulation of elastic elements in the environment of computer engineering / Materials III All-Ukrainian scientific-technical conference of students and young scientists, 16-18 April 2012, Donetsk. Donetsk, 2012.
8. CADmaster magazine for professionals in the field of CAD [electronic resource] / computer technology engineering analysis in the new millennium. URL: http://www.cadmater.ru/magazin/articles/cm_15_msc_software.html.
9. Tesis [electronic resource] / Deform. URL: <http://www.thesis.com.ru>.