

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МЕХАНИЗМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ CAD/CAE-СИСТЕМ

Терлецкая А.М., Даненова Г.Т., Лимарева И.Г., Сайлауқызы Ж.С.

РГКП «Карагандинский государственный технический университет», Караганда, e-mail: ternast@mail.ru

В статье представлена разработанная методика и рассматривается возможность применения современных систем автоматизированного инженерного анализа для проведения кинематического, динамического и прочностного анализов. Данная методика комплексного автоматизированного анализа позволяет провести анализ сложных механизмов с большой точностью в более короткие сроки. На основе разработанной методики проведены исследования в области пространственных механизмов, возникновения контактных напряжений, проблемы механики разрушения сварных конструкций.

Ключевые слова: автоматизированный анализ, моделирование, механические системы, контактные напряжения

COMPLEX TECHNIQUE AUTOMATED ANALYSIS ELEMENTS OF SPATIAL MECHANISMS, USING CAD/CAE-SYSTEMS

Terletskaya A.M., Danenova G.T., Limareva I.G., Sailaukyzy Z.S.

RGKP «Karaganda State Technical University», Karaganda, e-mail: ternast@mail.ru

In article the developed technique is presented and possibility of application of modern CAE-systems for carrying out kinematic, dynamic and strength analyses is considered. The given technique of the complex automated analysis allows to carry out the analysis of difficult mechanisms with the big accuracy in shorter terms. On the basis of the developed technique researches in the field of spatial mechanisms, occurrence of contact pressure, problems of mechanics of destruction of welded designs are conducted.

Keywords: computer-aided analysis, modeling, mechanical systems, contact stresses

Для получения надежных и экономичных несущих конструкций машин и механизмов необходима разработка прогрессивных методов расчета с учетом использования новейших вычислительных и программных средств.

Наличие на сегодняшний день на рынке программных продуктов коммерческих версий систем автоматизированного проектирования (AutoCAD, CATIA, ProEngineering и др.) и анализа (ADAMS, Cosmos/M, ANSYS, NASTRAN и др.) требует их обоснованного выбора для решения конкретной проблемы, а также создания гибкого интерфейса между двумя указанными классами программного обеспечения [1].

Предлагается новый системный подход на основе поэтапного использования CAD/CAE/CAM – систем, в рамках которого предложены процедуры: проектирования с использованием геометрического моделирования; прочностного анализа на основе концепции «соответствие назначению»; эскизного проектирования и выработки рекомендаций для построения технологических процессов.

Развитие средств вычислительной техники стимулировало распространение инженерного анализа практически на все этапы проектирования машиностроительных

технологий и изделий. Многообразие физических процессов в наукоемких изделиях, субъективность в постановке задач анализа, выбор методов решения и многие другие причины привели к огромному числу методик, алгоритмов и программ, предназначенных для решения задач анализа машиностроительных изделий [2].

Основные положения предлагаемого подхода:

1. Определение ожидаемых нагрузок на узлы и элементы осуществляются на основе макроанализа конструкции пространственного манипулятора, представленной как система с дискретно-распределенными параметрами.

2. Учет технологических факторов реализуется на микроуровне путем описания реальной геометрии соединений элементов манипулятора и конкретной технологии их исполнения (сварки и т.п.).

3. Конструкционное соответствие реального изделия и его модели реализуется на основе применения численных методов анализа.

4. Предельное состояние в момент исчерпания несущей способности при действии статических и динамических нагрузок оценивается на основе многопараметрических критериев прочности.



Рис. 1. Блочно-иерархический подход

Кинематический и динамический анализ манипулятора с использованием системы ADAMS

На первом этапе создается модель манипулятора в модуле ADAMS/View.

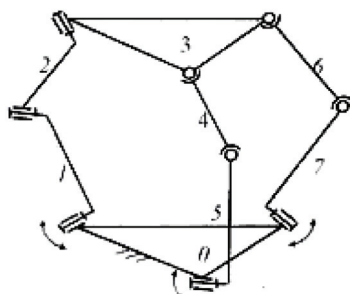


Рис. 2. Схема манипулятора

Last_Run Time= 0.0000 Frame=1

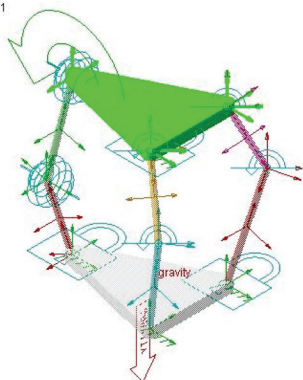


Рис. 3. Модель манипулятора, построенная в системе ADAMS

ADAMS предоставляет возможность получения значений кинематических и динамических характеристик, таких как скорость, ускорение, угловая скорость, угловое ускорение, кинетическая и потенциальная энергии, силы, моменты, общую силу на точку и т.д.

Взаимодействие пакетов макро-микроанализа

Несмотря на множество достоинств ADAMS имеет небольшой недостаток, все элементы анализируемых моделей являются жесткими. Однако для решения этой проблемы, система предоставляет возможность обмениваться данными с конечно-элементными системами. Система ANSYS позволяет создавать *.mnf файл (modal neutral file), который в дальнейшем импортируется в ADAMS.

Этапы взаимодействия ANSYS-ADAMS:

1. Построение модели (возможно как непосредственно в системе ANSYS, так и в системе ADAMS с дальнейшим экспортом

модели). ADAMS предоставляет возможность экспорта модели или элементов модели в различные форматы, поддерживаемые конечно-элементными системами (IGES, SAT, Parasolid, STEP и т.д.)

2. Моделирование необходимых точек

3. Экспорт в ADAMS (создание .mnf файла)

4. Проведение анализа в ADAMS с использованием .mnf файла.

5. Передача результирующих данных из ADAMS в ANSYS, проведение статического анализа.

При создании модели, которая будет в дальнейшем экспортироваться в ADAMS, необходимо большое внимание уделить созданию и выбору узлов (точек), так как в ADAMS силы прикладываются к точкам структуры, а также шарниры закрепляются в указанных точках.

Поскольку алгоритм основан на методе синтеза мод компонента, или «динамическом подструктурировании» рассматриваются только линейные свойства. ADAMS использует «подход Крейга Бемптона» с некоторыми модификациями[1].

Все геометрические и физические нелинейности игнорируются. Если в модели присутствуют существенные геометрические нелинейные эффекты, необходимо разбить компонент на несколько небольших и рассматривать каждую часть отдельно. Затем можно собрать подразделенные компоненты в ADAMS, чтобы сформировать гибкий компонент с геометрической нелинейностью.

Был произведен экспорт элементов модели манипулятора в формат Parasolid для передачи в систему ANSYS. После импорта твердотельного элемента в конечно-элементную систему была создана деформируемая модель элемента конструкции (элемент разбит на конечные элементы Solid45, Beam4).

Используя средства передачи данных обратно в систему ADAMS была подготовлена модель и создан соответствующий mnf файл. С помощью также встроенных средств деформируемые элементы были вновь импортированы в ADAMS для повторного проведения динамического, кинематического анализов и уточнения расчетного случая и усилий.

Контактные напряжения в элементах пространственных шарнирных узлов

Шарнирные узлы, как правило, являются наиболее ответственными и наименее долговечными элементами конструкции. Основным критическим элементом шарнирного узла является проушина, имею-

щая очень низкий предел выносливости по сравнению с пределом выносливости самого материала. Природа этого явления заключается в высоком уровне концентрации напряжений около нагруженного отверстия, где в зоне максимальных окружных напряжений имеет место коррозия трения (фреттинг-коррозия), связанная с механическим истиранием поверхностей [2].

Решение задачи проводилось в уточненной нелинейной постановке с учетом

упругопластического деформирования материала и контактного взаимодействия поверхностей деталей. Решение нелинейных задач осуществляется шагово-итерационным методом последовательных нагружений. Для описания пластического поведения использовалась билинейная модель с кинематическим упрочнением, которая справедлива для большинства металлов в случае небольших пластических деформаций [3].

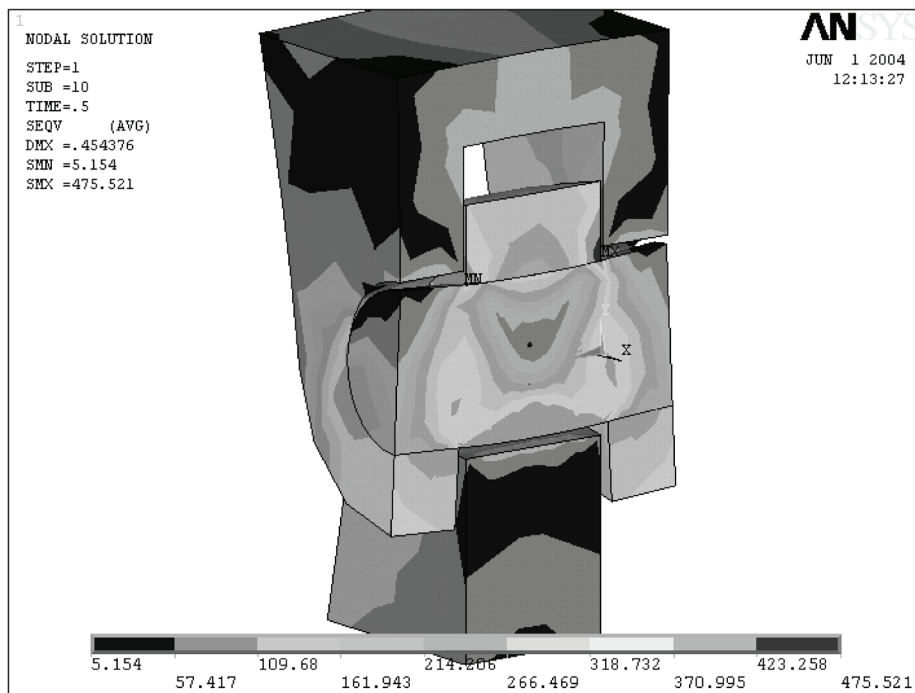


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние модели

Можно наблюдать изгиб оси, который влечет за собой сложную деформацию вилчатой проушины и контактную деформацию смятия центральной проушины. Максимальные напряжения растяжения, равные 429 МПа, наблюдаются в нижней части оси и вызваны изгибающим моментом.

Результаты проведенных исследований показали, что даже при приложении небольшой нагрузки в зоне отверстий проушин возникают значительные напряжения, превышающие предел допустимых. Также были рассмотрены способы уменьшения величины контактных напряжений с использованием технологических факторов (посадка оси с натягом, установка вилчатой проушины под углом к центральной проушине).

Эта технология найдет применение на всех стадиях жизненного цикла изделий – в проектировании, в производстве и эксплуатации, для изучения предельных воз-

можностей машин, обеспечения ресурса и безопасности конструкции и обеспечит экономическую эффективность, без которой невозможен успех в новых условиях рыночной экономики.

Задачи механики разрушения сварных конструкций

Значительная часть повреждений несущих металлоконструкций манипулятора обусловлена усталостью сварных соединений. Стремление к наиболее полному использованию прочностных свойств материалов и соединений привело к тому, что сварные конструкции по сопротивлению усталости стали приближаться к предельным состояниям, а в ряде случаев превышают их.

Использование современных методов автоматизированного анализа для решения задач механики разрушения позволяет комплексно учесть целый ряд факторов, спо-

собных существенно повлиять на результаты анализа[4].

Были рассмотрены образцы, моделирующие поведение основных типов сварных соединений. Используя программу ANSYS, получены значения коэффициента интенсивности напряжений. С помощью программного пакета нетрадиционного математического моделирования многомерных зависимостей ANETR определены регрессионные зависимости и статистические характеристики.

Влияния остаточных напряжений на величину коэффициента интенсивности напряжений в сварных соединениях, вы-

полненных короткими швами, оценивается с помощью полученных регрессионных зависимостей. При определении регрессионных зависимостей коэффициента интенсивности остаточных напряжений использовались три фактора: α – коэффициент, оценивающий уровень остаточных напряжений, где $\alpha = \sigma_{\text{ост}} / \sigma_T$, $\sigma_{\text{ост}}$ – остаточные нерелаксированные усредненные напряжения, нормальные к берегу трещины при ее отсутствии; $l_{\text{тр}} / l_{\text{ш}}$ – отношение длины трещины к длине шва; $l_{\text{ш}} / b_n$ – отношение длины шва к ширине зоны, нагреваемой до температуры, при которой предел текучести металла близок к нулю.

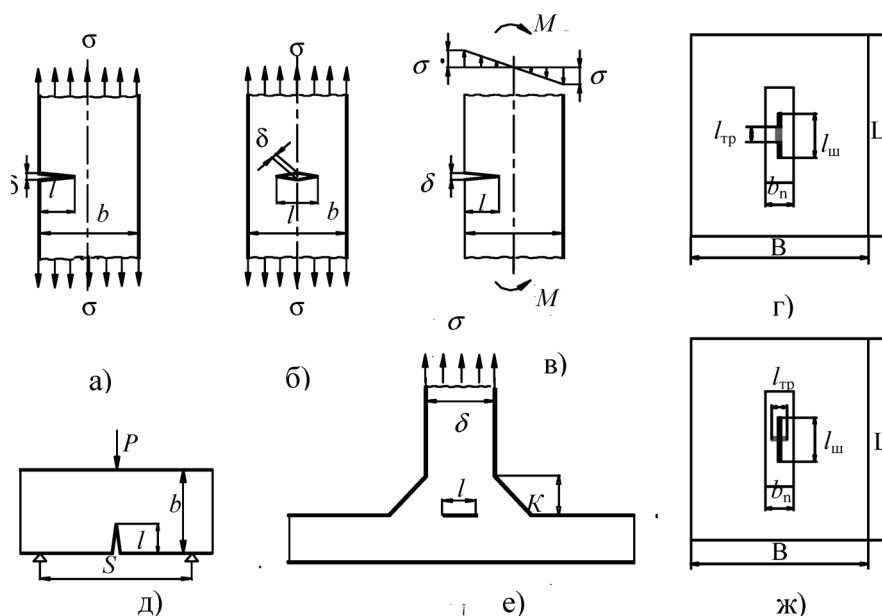


Рис. 5. Расчетные схемы стандартных образцов:

а – образец с одной краевой трещиной; б – образец с центральной трещиной; в – чистый изгиб полосы с краевой трещиной; г – центральная симметричная продольная трещина в шве; д – трехточечный изгиб полосы с краевой трещиной; е – тавровый образец; ж – центральная симметричная поперечная трещина в шве

На основе численного эксперимента получены регрессионные зависимости для J-интеграла для образцов с краевой и центральной трещинами. Были рассмотрены семь типов материалов. С помощью программного пакета нетрадиционного математического моделирования многомерных зависимостей определены регрессионные зависимости и статистические характеристики для J_r-интеграла.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках гранта мол_ин_нр 13-08-90907.

Список литературы

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М.: изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 336 с.
2. Норенков И.П., Нургужин М.Р. Информационная поддержка машиностроительных изделий // Сборник трудов Международного симпозиума Информационные и системные технологии в индустрии, образовании и науке, посвященной 50-летию КарГТУ. (Караганда, 24-25 сентября 2003 г.). Караганда: КарГТУ, 2003. – С.16-18.
3. Степанов П.Б., Нургужин М.Р., Альтер И.М. Основы автоматизированного расчета деталей методом конечных элементов. Караганда: КарПТИ, 1988. – 93 с.
4. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. Под общ. ред. Д.Г. Красковского – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.