

СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРМОУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

© 2006 Г.В. Смирнов, Н.Д. Проничев, В.Г. Смелов, А.В. Чекулдов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Статья посвящена актуальной проблеме современного авиадвигателестроения – моделированию термоупругих деформаций при ЭХО заготовок лопаток компрессора. В статье приведены результаты работы по созданию методики теплового нагружения и последующего расчета термоупругих деформаций МКЭ заготовок на операции ЭХО в ANSYS. Обсуждаются области использования результатов работы.

Совершенствование электрофизических и электрохимических методов обработки составляет одно из направлений технического прогресса в современном авиастроении. Необходимость применения данных методов вызывается всё возрастающим использованием жаропрочных, нержавеющей, магнитных и других сталей и сплавов. Обработка подобных материалов резанием ввиду особенностей механических и теплофизических свойств связана с рядом трудностей, малоэффективна, а в некоторых случаях невозможна.

В связи с этим большое распространение находит электрохимический метод размерной обработки деталей в проточном электролите. Обладая высокими технологическими возможностями, этот метод может быть успешно применён для формообразования деталей сложной формы, таких как лопатки компрессоров ГТД.

Однако при обработке лопаток методом ЭХО возникает ряд трудностей, связанных с возникновением погрешностей обработки, вследствие деформаций заготовки одной из причин которых является ее нагрев.

Вопросы деформации лопатки при ЭХО, вызванной нагревом пера сравнительно слабо освещены в научной литературе. В общем случае, основными факторами, влияющими на нагрев лопаток и последующую деформацию можно считать:

- тепловыделение в материале лопатки за счёт падения напряжения при протекании технологического тока;
- выделение тепла в электрическом контакте лопатки с токоподводом;
- выделение тепла на обрабатываемой

поверхности пера вследствие перенапряжения анодной реакции.

В данной работе была решена задача по созданию универсальной методики моделирования тепловых нагрузок и вычисления величин деформации пера, возникающих, в частности, вследствие нагрева заготовки в процессе ЭХО лопаток, методом МКЭ в программном комплексе ANSYS. Данная методика изначально создавалась как универсальная, пригодная для различных типовых размеров лопаток за счет параметризации объекта обработки – лопатки, а также схем теплового нагружения.

Исходя из сложности построения 3D модели в ANSYS, необходимостью интеграции с CAD\CAM пакетами и PDM системами нами было принято решение импортировать в ANSYS модель лопатки, созданную конструктором, с помощью стандарта STEP. Так как данный формат является базовым в ISO 9000, определяющем стандарт качества выпуска продукции.

Для проведения расчётов использовалась модель лопатки первой ступени компрессора двигателя НК14СТ длина лопатки 200 мм, длина хорды поперечного сечения 50мм, материал 13X11H2B2MФ. Модель лопатки была создана с помощью программы твердотельного моделирования Solid Edge 14 (рис.1)

Для проведения расчётов модель разбивалась на конечные элементы (накладывались сетки). На объём пера лопатки накладывали упорядоченную сетку, на замок – свободную. Качество сетки замка роли не играет, так как исходя из условия работы, по замку происходит закрепление лопатки, и деформации в местах заделки отсутствуют.

Сетка пера лопатки напротив должна быть упорядоченной именно это увеличивает точность расчета и приближает математическую модель к реальной структуре материала лопатки.

Для наложения сеток использовались типы конечных элементов **SOLID45** (перо) и **SOLID95** (замок). Модель лопатки разбитая на конечные элементы представлена на рис.2.

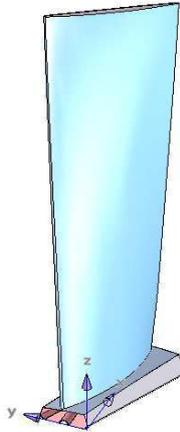


Рис.1. 3D модель лопатки

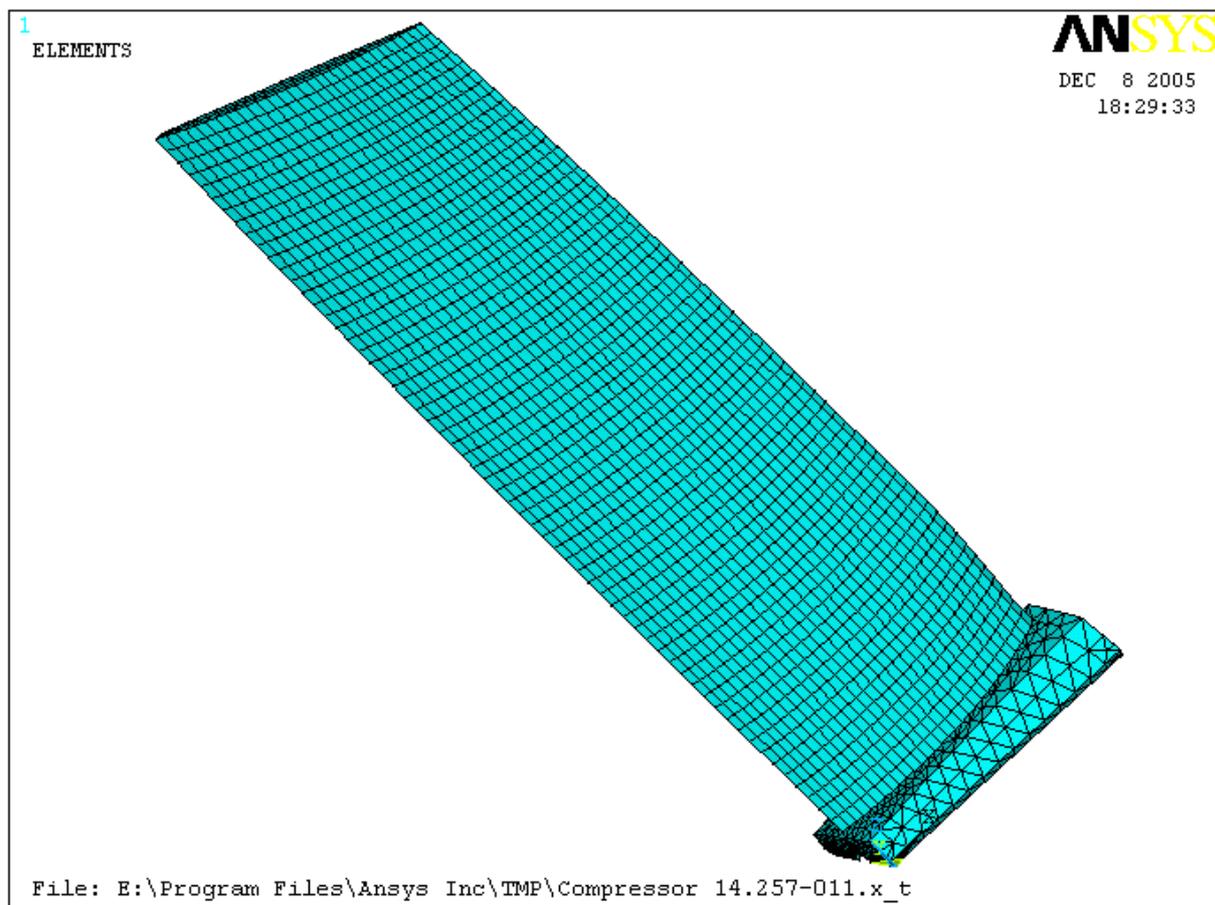


Рис.2. Модель лопатки, разбитая на конечные элементы

Условия теплового нагружения выбирались исходя из результатов экспериментальных исследований метода ЭХО в соответствии с режимами обработки. То есть, была известна теплонапряженность лопатки

в процессе работы за счет следующих факторов: интенсивности тепловыделения в контакте лопатки с токоподводом, тепловыделения на границе раздела фаз – металл-электролит, Джоулева тепловыделения в ме-

талле и конвективного охлаждения обрабатываемых поверхностей электролитом с известным коэффициентом теплообмена. По условиям теплонагружения, в Ansys была создана параметрическая модель, которая адекватно отражает тепловую картину при обработке лопаток и позволяет количественно оценить термоупругие деформации лопатки при ЭХО, используя те или иные режимы обработки, что существенно сократит стоимость и сроки доводочных работ на этапе внедрения технологически процессов (ТП).

Для расчёта термоупругих деформаций пера лопатки был проведен последовательный термоструктурный анализ. В нашей методике расчёт сводится к проведению стационарного теплового анализа и последующего вычисления термоупругих деформаций с помощью структурного (прочностного) расчета. Результаты стационарного теплового анализа (температурный градиент) являются исходными данными для структурного.

Лопатка на операции ЭХО базируется по замку и вспомогательной технологической базе. Токоподвод осуществляется с двух сторон, то есть электроды контактируют с замком и технологической базой. В зонах контакта электродов с лопаткой имеет место выделение тепла. В свою очередь на пере лопатки происходит анодное растворение металла в среде электролита и соответственно процесс теплообмена твёрдое тело - жидкость. В среде Ansys-а этот процесс можно описать заданием температурной нагрузки по поверхностям контакта с электродами и конвективным теплообменом по перу лопатки.

При проведении расчета стационарного теплового анализа температура электролита принималась равной 30°C, а температура в пятнах контакта заготовки с электродами - 200°C. Результаты стационарного теплового анализа представлены на рис.3.

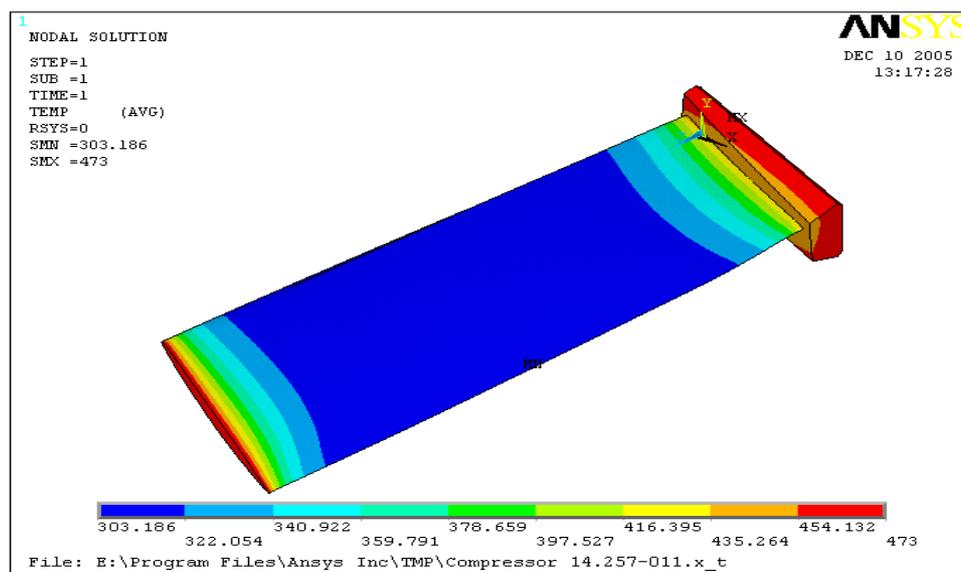


Рис.3. Распределение температуры в лопатке, полученное в результате расчета

Далее с использованием результатов стационарного теплового анализа производился расчёт тепловых деформаций пера лопатки. Для упрощения расчётов задавалась жесткая заделка по замку и технологической базе, при этом предполагалось, что наибольшая величина деформации будет в пере лопатки, а деформации замка и технологической базы относительно малы.

Результаты термоструктурного анализа представлены на рис. 4.

По результатам термоструктурного анализа строились графические зависимости распределения величин деформаций по высоте лопатки (координата Z) для входной и выходной кромок, так как наибольшее смещение профиля наблюдается именно там (рис.4).

Графики деформации входной и выходной кромок представлены на представленные на рис.5 и рис.6.

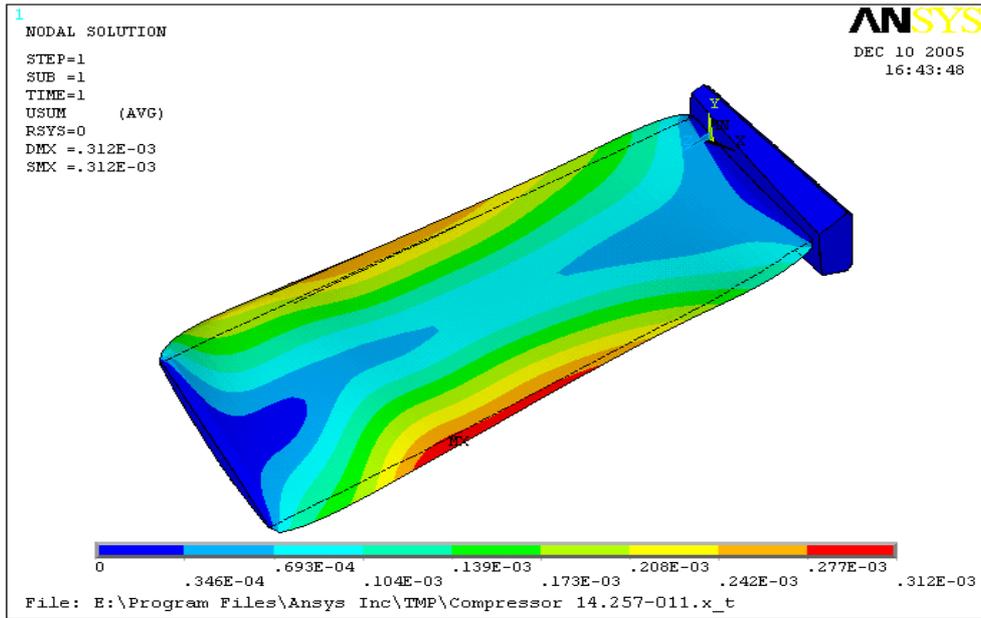


Рис.4. Суммарные деформации модели лопатки

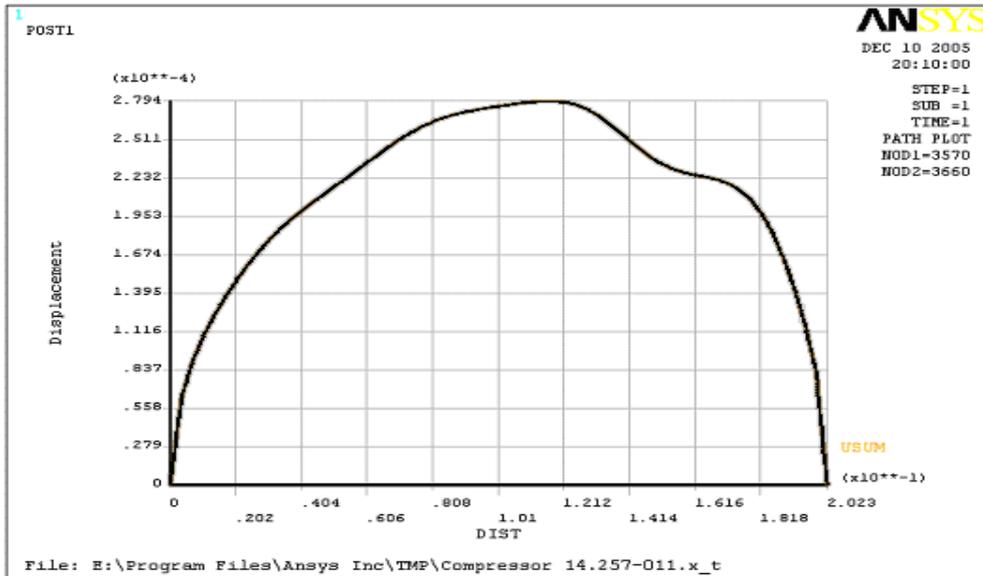


Рис.5. График деформаций пера лопатки по координате Z (входная кромка)

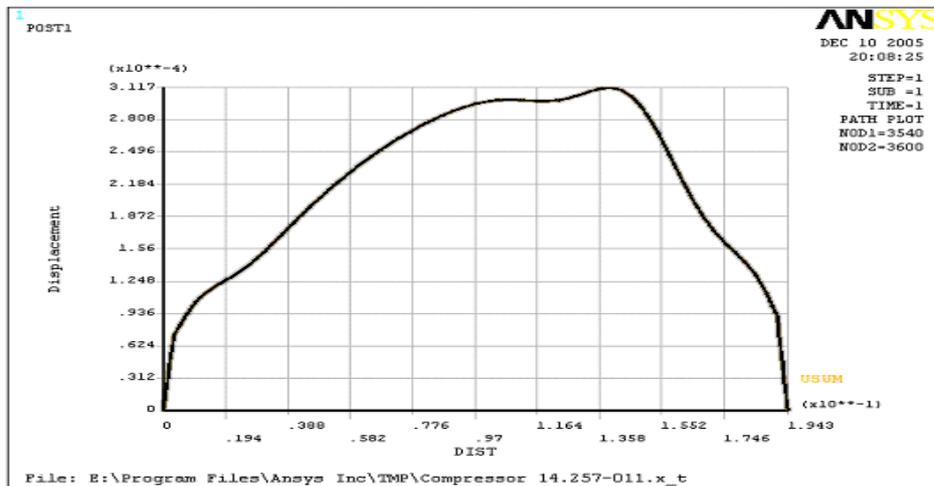


Рис.6. График деформаций пера лопатки по координате Z (выходная кромка)

В результате проведенных расчетов было получено, что в процессе ЭХО происходят значительные термоупругие деформации сечений пера лопаток, и их величина в отдельных точках соизмерима с межэлектродным зазором, что в некоторых случаях может привести к короткому замыканию и браку.

Максимальное смещение пера наблюдается на входной и выходной кромках приблизительно на расстоянии $2/3$ от замка. Деформация пера лопатки в районе центров тяжести поперечных сечений относительно мала, её величина практически на порядок меньше по сравнению с деформацией на входной и выходной кромках. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными по величине деформаций, но отличаются по месту локализации максимальных значений. Прежние модели, используемые авторами не указывали на локализацию максимума, так как перо представлялось в них в виде прямоугольной пластины постоянного сечения. Учет места локализации максимума является существенным шагом, а главное показано, что деформации кромок лопаток

являются в основном результатом термоупругих напряжений. По мере удаления от кромок к оси пера вклад тепловых деформаций в общую деформацию пера в процессе обработки уменьшается. Данные выводы могут способствовать выработке более эффективных решений по управлению деформациями при ЭХО.

Список литературы

1. Смирнов Г.В., Совершенствование окончательной электрохимической размерной обработки лопаток ГТД с учетом технологической наследственности.- Диссертация на соискание учёной степени докт. техн. наук." Самара, 2004, 453 с.
2. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров. Справочное пособие, Изд.: Машиностроение, 2004, 512 с.
3. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах, Изд.: Компьютер-Пресс, 2002, 224 с.
4. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство. Изд.: Едиториал УРСС, 2003, 272 с.

MODEL OPERATION OF THERMO ELASTIC DEFORMATION AT THE ELECTROCHEMICAL WORKING COMPRESSOR BLADES WITH USING METHOD OF FINAL ELEMENTS IN THE SOFTWARE ENVIRONMENT "ANSYS"

© 2006 G.V. Smirnov, N.D. Pronichev, V.G. Smelov, A.V. Chekul'dov

Samara State Aerospace University

The article is devoted to the actual problem of the up-to-date aviation propulsion engineering – the model operation of thermo elastic deformation at the electrochemical working compressor blades. In the article the results of the development work of creation methodology of model operation of thermal load and value calculation of blade deformation by method of final elements in the software environment "Ansys" are presented. Areas of using this method are discussed.