

СОЗДАНИЕ МЕТОДИКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ПЕРА ЛОПАТКИ И РАСЧЕТ ДЕФОРМАЦИИ ПЕРА ЛОПАТКИ ПОСЛЕ СНЯТИЯ СЛОЯ С ОСТАТОЧНЫМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ

© 2006 Г.В. Смирнов, М.В. Демин, В.Г. Смелов, М.Ю. Артамонов

Самарский государственный аэрокосмический университет

Статья посвящена актуальной проблеме современного авиадвигателестроения – моделированию остаточных деформаций при ЭХО заготовок лопаток компрессора. В статье приведены результаты работы по созданию методики моделирования деформаций заготовок при электрохимической обработке (ЭХО) МКЭ, возникающих под действием остаточных напряжений. Обсуждаются области использования результатов работы.

Одной из причин суммарных остаточных деформаций пера лопаток ГТД после ЭХО является удаление с поверхности профиля слоя металла с необратимыми изменениями линейных размеров, которые наследовались с предшествующих ЭХО этапов обработки. Деформирование деталей после удаления поверхностных слоев связано с перераспределением остаточных напряжений.

Одним из методов, позволяющим установить взаимосвязь между остаточной деформацией пера лопатки и характером предшествующей обработки остается экспериментальный метод. Однако проведение экспериментальных исследований на натуральных лопатках в современной ситуации затруднено по следующим причинам: - во-первых, для этого требуется большое количество дорогостоящих лопаток, а во-вторых, в процессе экспериментов невозможно было бы исключить влияние термоупругих деформаций, силовое воздействие электролита.

Альтернативным способом исследования деформаций лопаток от наследственных остаточных напряжений является использование метода конечных элементов (МКЭ) в программе ANSYS, который позволяет существенно снизить затраты на исследование, и ускорить процесс подбора оптимальных режимов обработки.

Целью поставленной задачи является - оценка деформации пера лопатки после снятия поверхностного слоя с остаточными напряжениями. Данная задача была сведена к решению двух основных подзадач: приложения заданного поля распределения оста-

точных напряжений и расчет деформации пера после снятия поверхностного слоя.

Одним из способов задать в модели остаточные напряжения (например, технологические растягивающие остаточные напряжения в поверхностном слое) это с помощью Initial Stress Loading (Нагружение Начальными Напряжениями). Знак остаточных напряжений, вид кривой, величина и глубина залегания получаются экспериментальным путем на образцах. Формирование заданной эпюры остаточных напряжений в поверхностном слое производилось на плоской КЭ модели пластины (SOLID42) толщиной 3,5 мм, высотой 139,9 мм, шириной 35 мм, которая соответствует осредненным параметрам лопатки.

Последовательность операций обработки образцов соответствуют этапам обработки в реальных ТП лопаток, предшествующим ЭХО. В качестве свойств материала задаются – Модуль упругости, коэффициент Пуассона и плотность (задание плотности необходимо лишь для расчета массы модели). Причем перечисленные механические характеристики задаются в соответствии с рабочей температурой модели. На следующем этапе осуществлялось решение задачи о деформации оси пера лопатки после снятия слоя с остаточными напряжениями. Была создана конечно-элементная модель пера лопатки, состоящая из КЭ SOLID185 (рис.3). КЭ модель ориентировалась так, чтобы ось Y глобальной системы координат совпадала с прямой, проведенной через центр тяжести корневого и периферийного сечения пера.

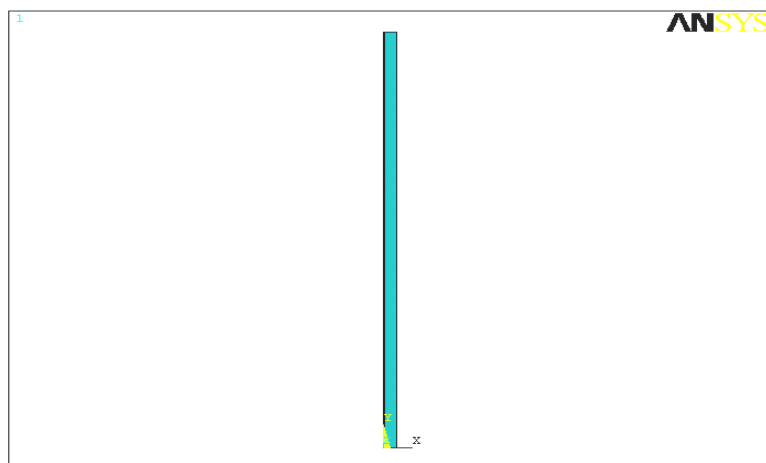


Рис.1. Пластина- образец нагружения

Для формирования и последующего считывания файла начальных напряжений были созданы три выборки элементов, каждая из которых содержала соответствующий слой элементов. Для записи трех файлов (по количеству слоев, в которых задавались начальные напряжения), содержащих номера конечных элементов запускался макрос. Для записи файла InitStr.txt, в котором последовательно записываются начальные напряжения для элементов, содержащихся в выборках, запускалась программа InitStr.exe.

Результатом ее выполнения явился текстовый файл начальных напряжений, пригодный для считывания. Считывание осуществлялось путем выборки, содержащей только слои, в которых задаются начальные на-

пряжения. С помощью команды ISFILE, READ In.Str.txt..0 считывался файл начальных напряжений, который находился в рабочей директории. Перед запуском на решение включается возможность записи файла начальных напряжений с именем Jobname.ist; как результатов решения структурного анализа с помощью команды ISWRITE, on. Решение задачи – эпюра распределения напряжений по глубине поверхностного слоя представлена на рис.2. Незначительная разница эпюр за счет сжимающих реактивных напряжений в сердцевине пластины несущественна, т.к. их доля составляет только 5 процентов от растягивающих в поверхностном слое.

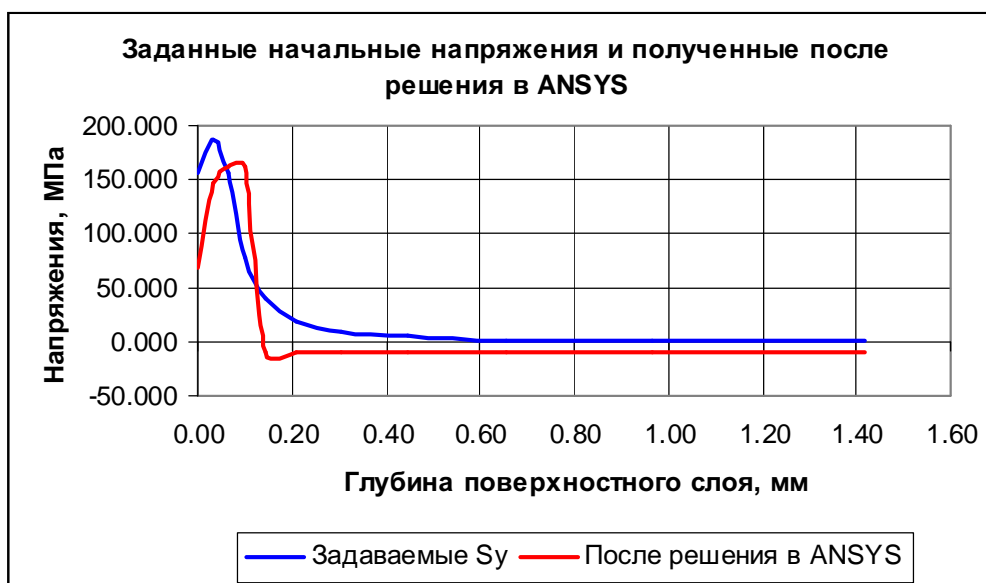
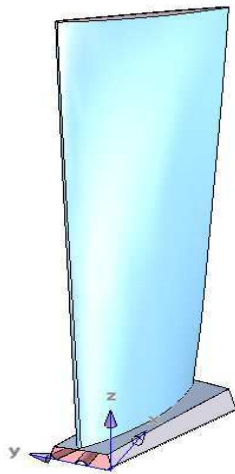
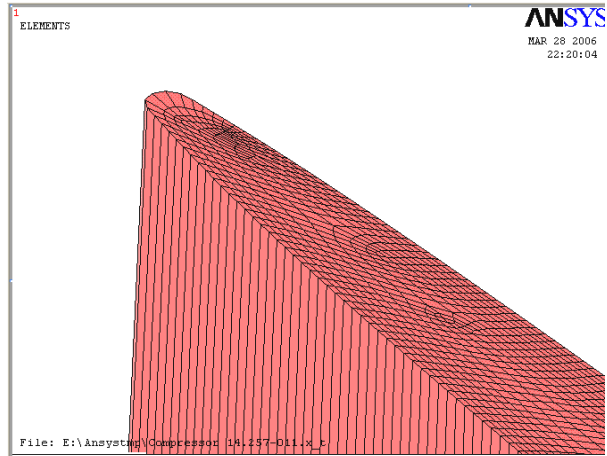


Рис.2. Распределение напряжений по глубине поверхностного слоя в пластине и лопатке задаваемые и после решения упругой задачи в ANSYS



a



б

Рис.3. Конечно – элементная модель компрессорной лопатки (КЭ SOLID 185):
a - общий вид; *б* – увеличенный вид

Для получения заданного поля остаточных напряжений на глубине поверхностного слоя 0,1 мм было сформировано три слоя КЭ. Нагружение действующими остаточными напряжениями в перо производи-

лось в соответствии с методикой для пластины. Т.е. были заданы начальные напряжения в трех поверхностных слоях в соответствии с действующими остаточными напряжениями (рис.2).

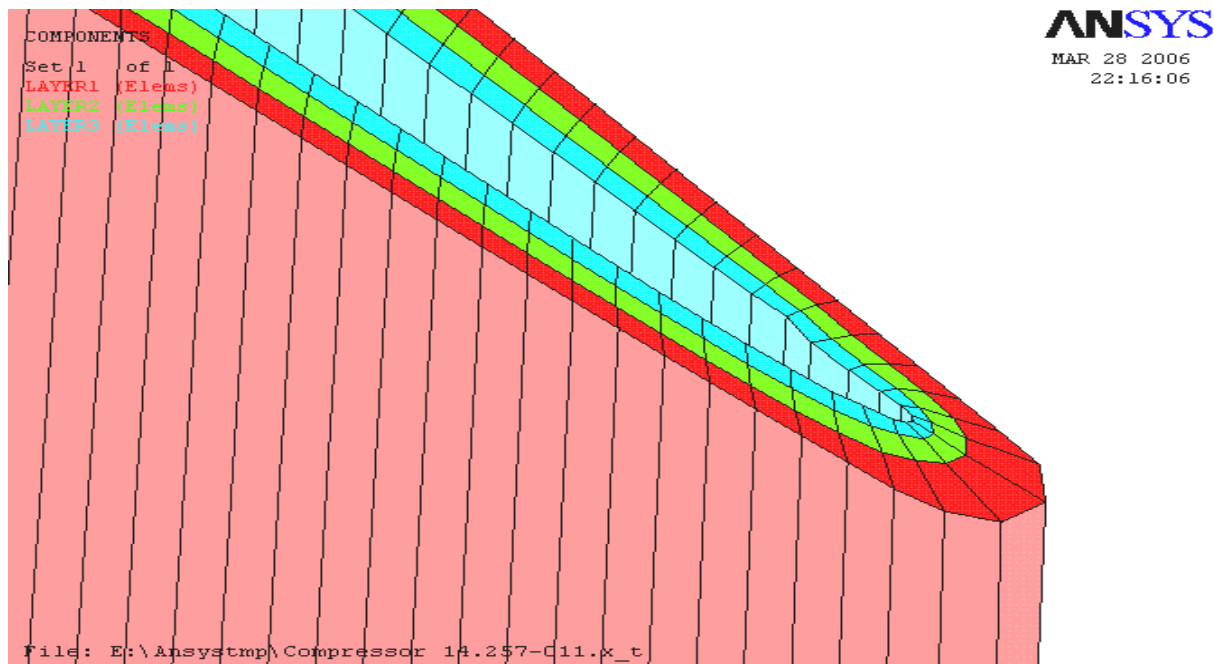
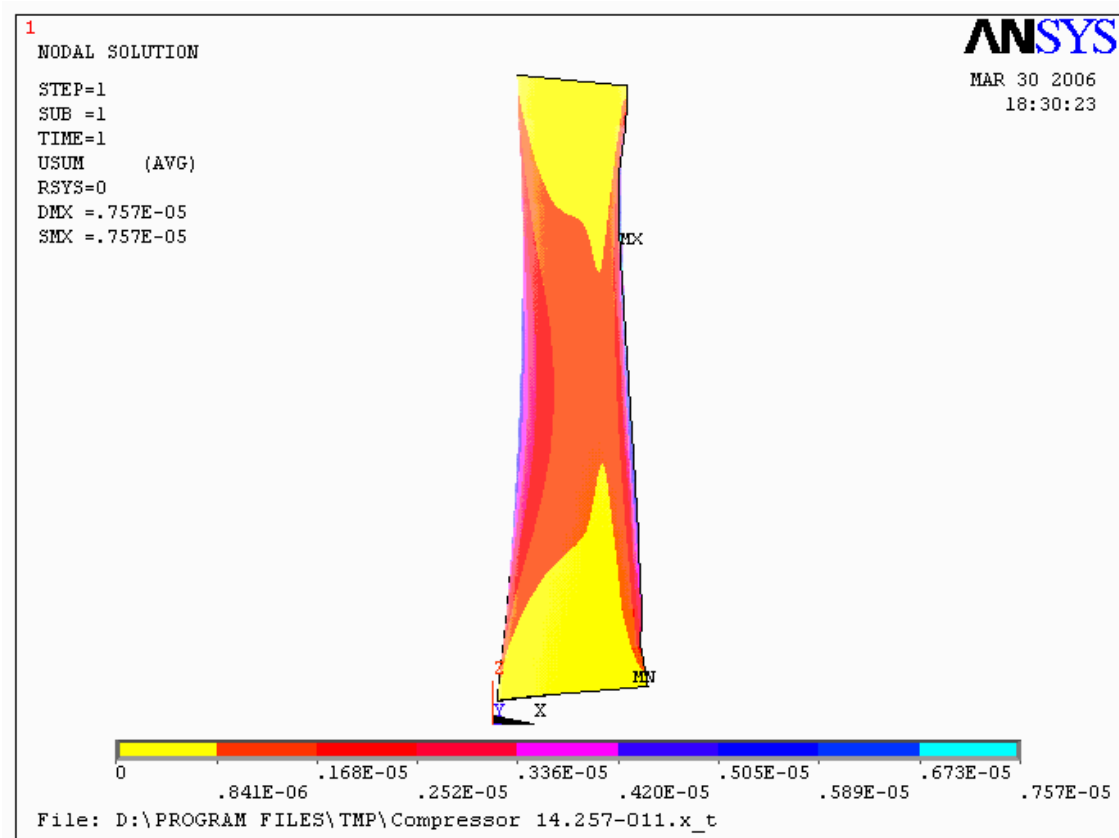


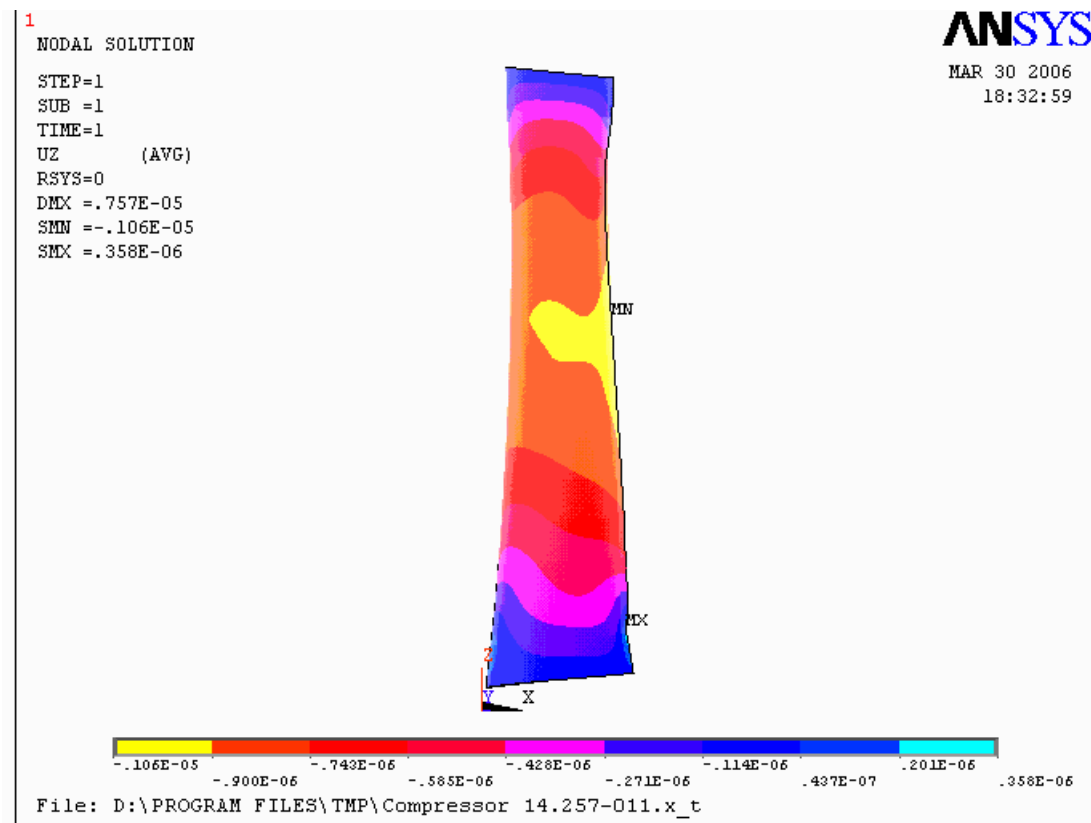
Рис.4. Снимаемые поверхностные слои

После решения упругой задачи в ANSYSe было получено распределение остаточных напряжений в перо лопатки (рис.2). Для моделирования съема слоя материала с поверхности пера делалась выборка элементов и узлов, принадлежащих объему сердце-

вины пера после съема поверхностного слоя (или можно сделать элементы и узлы поверхностного слоя неактивными). Задача запускалась на решение, после ее завершения производилась необходимая постпроцессорная обработка результатов.

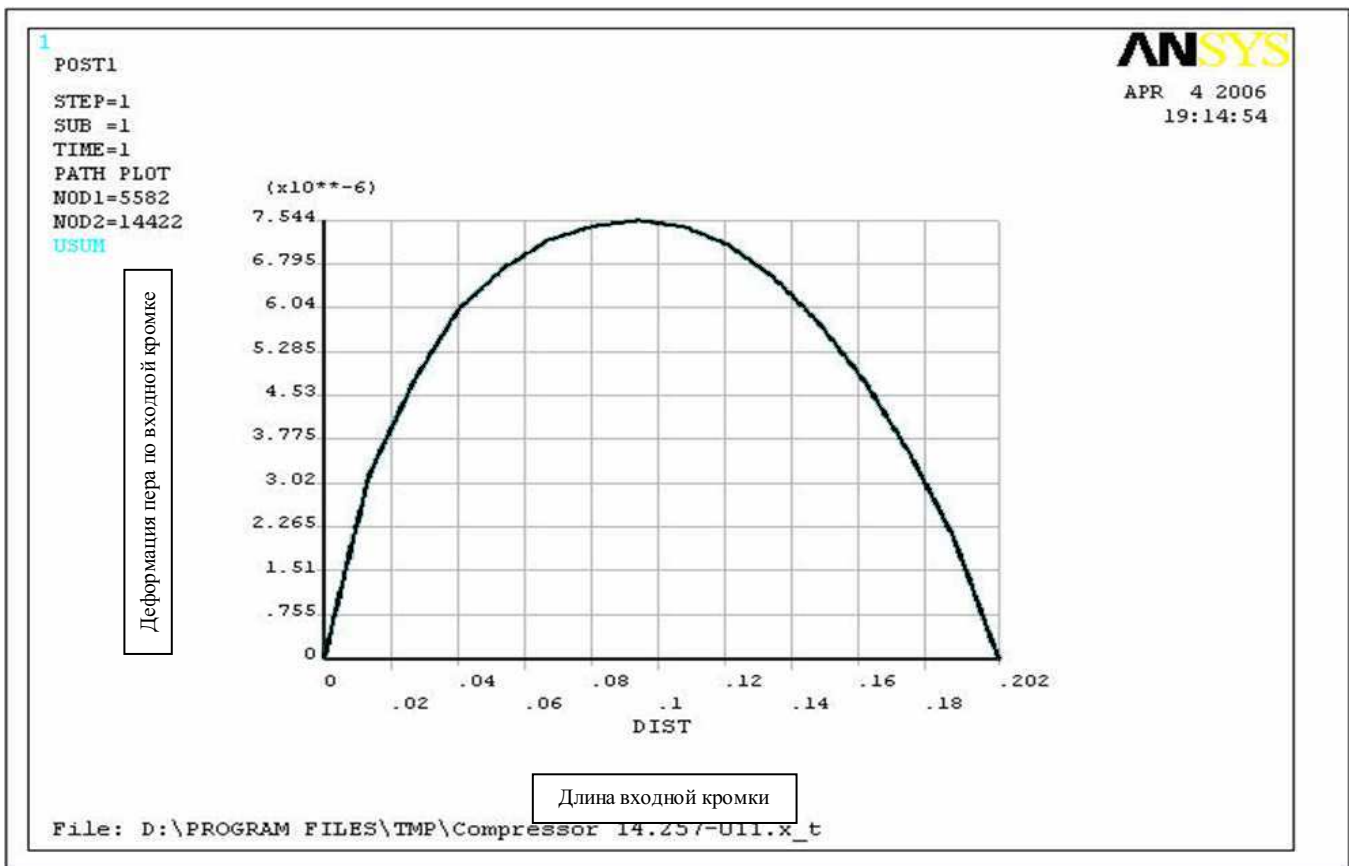


a

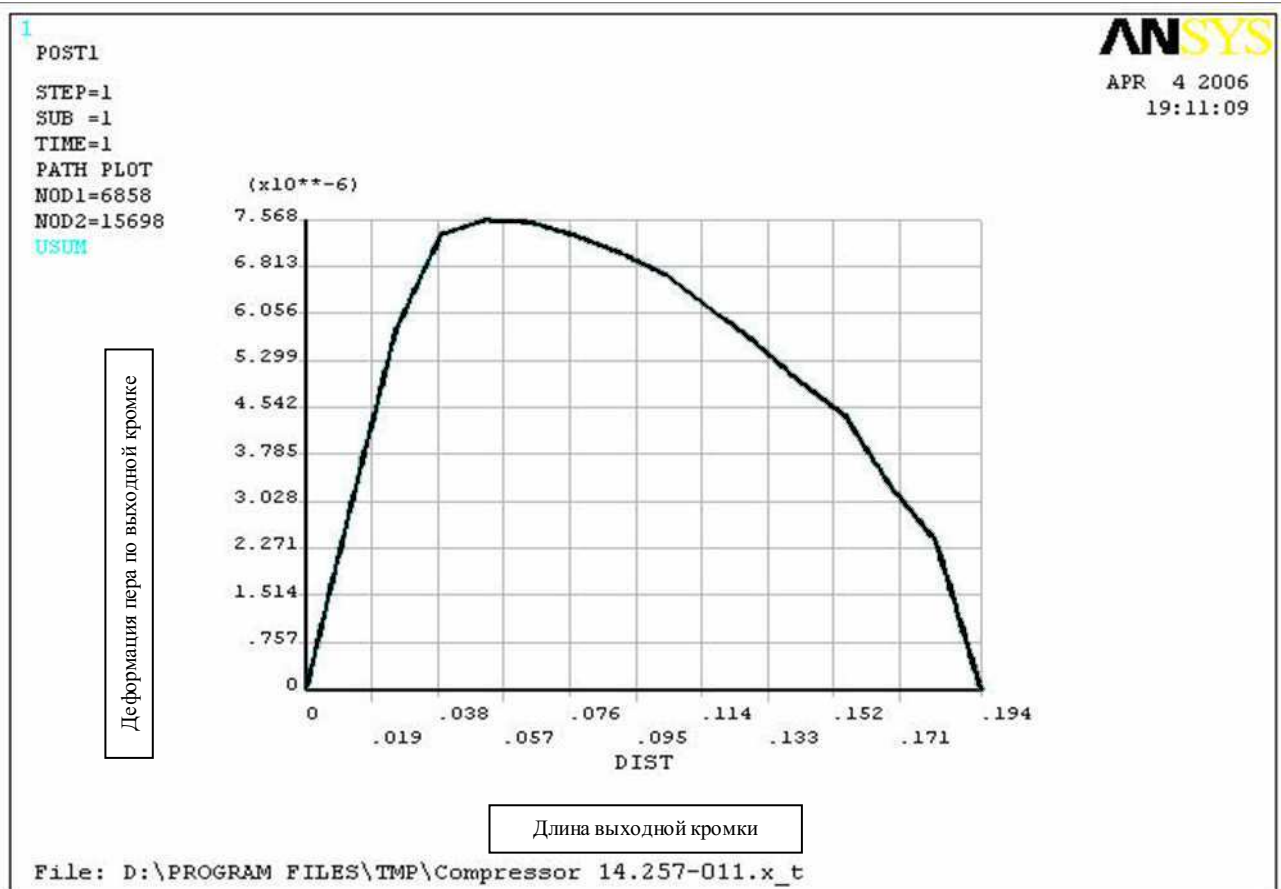


б

Рис.5. Перемещения центров тяжести профилей пера лопатки в зависимости от высоты лопатки:
a – суммарные; *б* – по оси *Z*



a



б

Рис.6. Зависимости деформации пера от высоты пера лопатки для входной (а) и выходной (б) кромок

В результате были получены деформации пера лопатки в виде перемещений центра тяжести профиля пера по высоте лопатки (рис.5) Было установлено, что суммарные максимальные перемещения по оси z пера лопатки составляет около 0.12 мм и наибольшая величина перемещения наблюдается в периферийном сечении пера лопатки. Данная ситуация приводит перераспределению межэлектродных зазоров, и как следствие появлению гидравлических сил, что существенно осложняет процесс ЭХО. Полученные результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными по величине деформаций. Данная методика позволит учесть деформации от остаточных напряжений при проектировании операции ЭХО и существенно сократить время доводочных работ.

Подводя итоги, видно, что с точки зрения практического использования конкретной задачи, можно отметить, что для КЭ моделей, состоящих из большого числа объемных элементов метод с использованием начальных напряжений является наиболее быстрым, а часто и единственно возможным. Дело в том, что при проведении структурного анализа модели, состоящей более чем из 200...250000 КЭ.

Деформаций после снятия слоя с остаточными напряжениями вносят существенный вклад в деформации вблизи оси пера в суммарные деформации вблизи оси пера в процессе обработки (20-25%).

Результаты моделирования съема поверхностного слоя с остаточными напряжениями показали, что деформационные кривые хорошо согласуются с экспериментальными данными.

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 PERMANENT DEFORMATION ON THE SURFACE OF THE GAS-TURBINE ENGINE BLADES AND DETERMINATION OF BLADE DEFORMATION AFTER REMOVAL THE SURFACE WITH TEMPERS

© 2006 G.V. Smirnov, M.V. Demin, V.G. Smelov, M.Y. Artamonov

Samara State Aerospace University

The article is devoted to the actual problem of the up-to-date aviation propulsion engineering – the problem of occurrence of permanent deformation on the surface of the blades of gas-turbine engine. In the article the results of the development work creation models, which permit to discount the permanent deformation during the operation designing electrochemical processing (ECM) and allow reducing time of the lapping operation. Areas of use this models are discussed.