

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЫСОКОГО УРОВНЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

© 2006 Г.В. Смирнов, Н.Д. Проничев, В.Г. Смелов, Н.Н. Зинин

Самарский государственный аэрокосмический университет

Статья посвящена актуальной проблеме современного авиадвигателестроения – моделированию течения электролита в МЭЗ при ЭХО заготовок лопаток компрессора. В статье приведены результаты работы по созданию методики моделирования течения электролита в МЭЗ при ЭХО МКЭ в программной среде «FLUENT». Обсуждаются области использования результатов работы.

По сравнению с другими методами обработки металлов электрохимический способ обладает определенными преимуществами: он дает возможность обрабатывать любые металлы и сплавы, независимо от их прочностных свойств, инструмент-катод при этом не изнашивается, а обработка не влечет за собой изменения структуры поверхностного слоя материала.

Насущной проблемой развития и промышленного использования электрохимической размерной обработки (ЭХО) является повышение точности формообразования. Уменьшение межэлектродного зазора повышает точность копирования. Однако вследствие ряда особенностей не удаётся снизить величину рабочих зазоров при двухсторонней ЭХО лопаток КНД меньше 0,25...0,3 мм, для средних лопаток – до 0,15 мм, для малых – до 0,1 мм. Основная причина этого – опасность короткого замыкания между пером лопатки и электродами из-за упругих деформаций, возникающих в заготовке в процессе обработки, в том числе из-за воздействия гидродинамических сил со стороны потока электролита на поверхность пера лопатки.

Первоначально данная задача решалась с помощью МКЭ в «ANSYS», охватывающего широкий спектр задач. Однако при решении гидродинамических задач было отмечено значительное отклонение результатов моделирования от экспериментальных данных. Поэтому было принято решение дальнейшие итерации осуществлять в конечно-элементном комплексе «FLUENT», созданного специально для анализа всевозможных течений и решения задач по гидродинамике.

Условия гидродинамического нагружения выбирались исходя из результатов экспериментальных исследований метода ЭХО в соответствии с режимами обработки. То есть, были известны следующие параметры процесса: давление на входе в МЭЗ (0,3 МПа), давление на выходе из МЭЗ (0,2 МПа), плотность электролита (1017 кг/м<sup>3</sup>), динамическая вязкость электролита (0,00101 кг/(м·с)). Величина зазора в общем случае зависит от распределения неравномерности припуска по перу заготовки, точности изготовления баз, усилия закрепления. В первых итерациях решения величина МЭЗ принималась постоянной по величине канала.

Программа «FLUENT» состоит из двух модулей: проектировочного – «GAMBIT», предназначенного для создания конечно-элементной модели; и расчетного – «FLUENT».

Моделирование сложной пространственной геометрии во «GAMBIT» очень трудоемко, что связано с рядом существенных ограничений встроенных 3D «дизайнеров» и занимает до 80% трудоемкости всего расчета. В связи с этим, моделирование МЭЗ производилось при помощи программы «Solid Edge». Достоинством данного пакета является возможность задания кривой по точкам импортированной из таблицы Excel. Используя данные о геометрии пера лопатки конструкторского чертежа, были построены сечения, образующие перо лопатки (рис. 1).

В плоскостях задания сечений строился эскиз МЭЗ: сплайны корыта и спинки копировались на величину МЭЗ (0,2 мм); достраивались входные и выходные радиусы на поверхностях электродов (рис.2).

Методом протягивания по полученным эскизам создавалось тело, заключающее в своем объеме МЭЗ и перо лопатки (рис.3).

Из полученного объема операцией «вырез» удалялась внутренняя часть (перо лопатки) (рис.4).

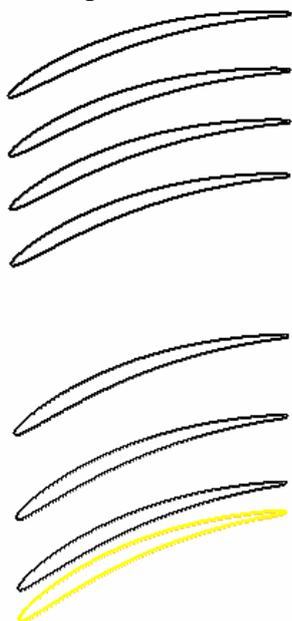


Рис.1. Сечения пера лопатки

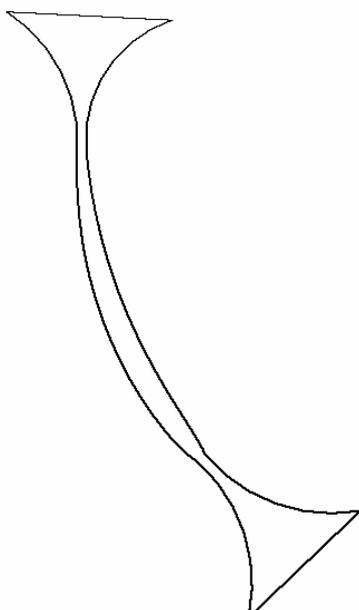


Рис.2. Эскиз сечения межэлектродного канала

Для эффективного и качественного формирования конечно-элементной сетки исходный объем (МЭЗ) посредством булевой операции «деление» разбивался на четыре части: канал над корытом, канал над спинкой, входную и выходную части МЭЗ. Каждый отрезок полученных объемов разбивался на соответствующее количество делений.

После этого осуществлялось разбиение поверхностей и объемов. В результате чего в объеме МЭЗ была сформирована упорядоченная сетка конечных элементов (рис.5).

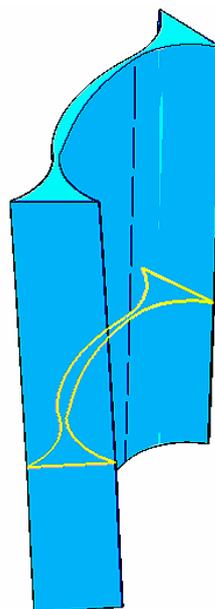


Рис.3. Межэлектродный канал

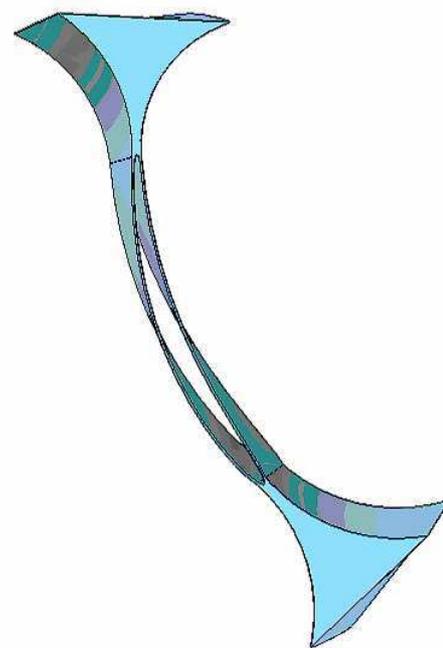


Рис.4. Межэлектродный канал и перо лопатки («Solid Edge»)

На следующем шаге работы с «GAMBIT» назначались граничные условия по стенкам МЭЗ, и формировалась окончательно модель для расчета во «FLUENT». Поверхностям модели присваивались соответствующие имена («перо», «электрод\_1», «электрод\_2»), назначались иницирующие поверхности

(«вход» и «выход»), необходимые для инициализации процесса течения электролита. Далее посредством прямого импорта модель загружалась в модуль решения «FLUENT».

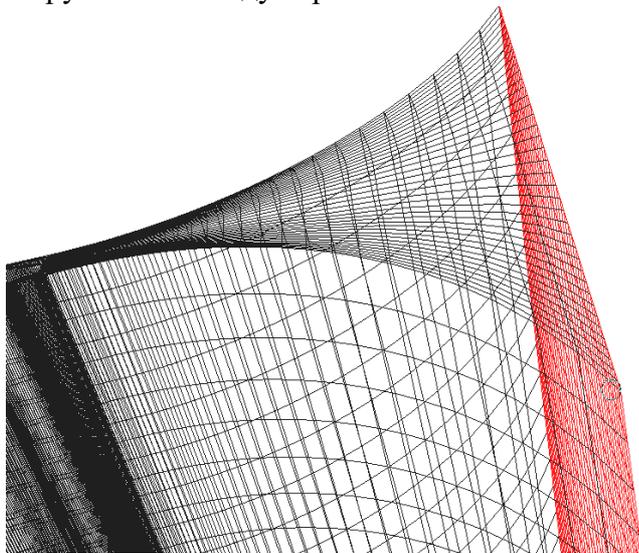


Рис.5. Сетка конечных элементов

Стоит отметить, что геометрия вновь импортированной модели задается в условных единицах, значение которых пользователь определяет самостоятельно. Поэтому следующим шагом было задание размерности модели и соответствующее масштабирование. Далее активировалась функция энергообмена между конечными элементами на основании закона сохранения энергии, и выбиралась модель турбулентности течения. Для адекватного выбора модели турбулентности течения электролита было произведено несколько расчетов с использованием ламинарной и некоторых турбулентных

моделей, которые сравнивались с экспериментальными исследованиями течения в канале. В результате, наиболее соответствующей условиям задачи оказалась турбулентная модель «k- $\omega$ ». В последующем, для достижения большей точности расчетов, необходимо дополнительно просчитать и другие модели турбулентности и сравнить полученные результаты с опытными данными.

На следующем шаге задавались параметры электролита: плотность ( $1017 \text{ кг/м}^3$ ) и динамическая вязкость ( $0,00101 \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ ).

При дальнейшей проработке данной модели имеется возможность учета тепловых нагрузок в МЭЗ. При определении граничных условий на входе в МЭЗ задавалось избыточное давление  $0,3 \text{ МПа}$  и давление на выходе  $0,2 \text{ МПа}$ .

После задания начальных и граничных условий производился расчет.

На рис. 6 выделены характерные зоны МЭЗ (А, В, С). На рис. 7 изображена картина распределения скорости в зоне С. Заметен срыв электролита со спинки и последующее отбегание противоположного электрода.

В связи с воздействием подъемной силы, обусловленной разностью давлений, на корыте и спинке в заготовке возникают упругие деформации. В виду этого, особое внимание необходимо уделить распределению давления в МЭЗ (рис.8).

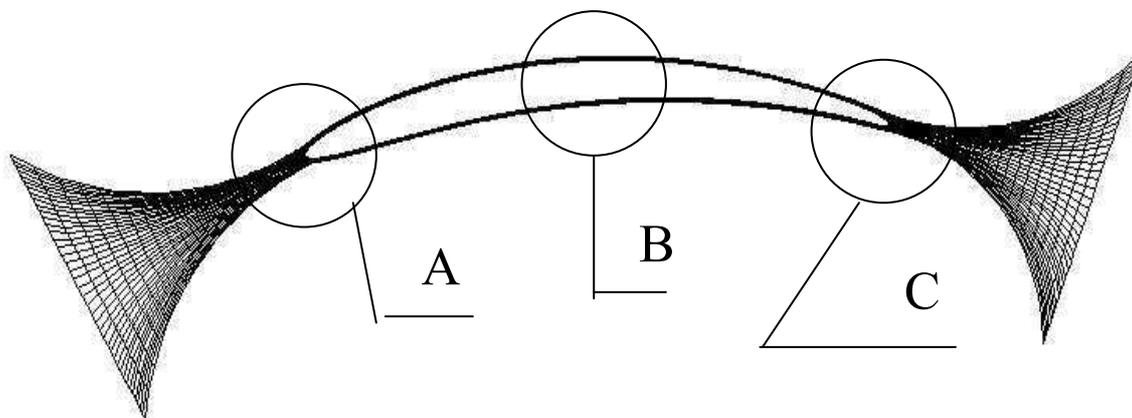


Рис.6. Характерные зоны МЭЗ

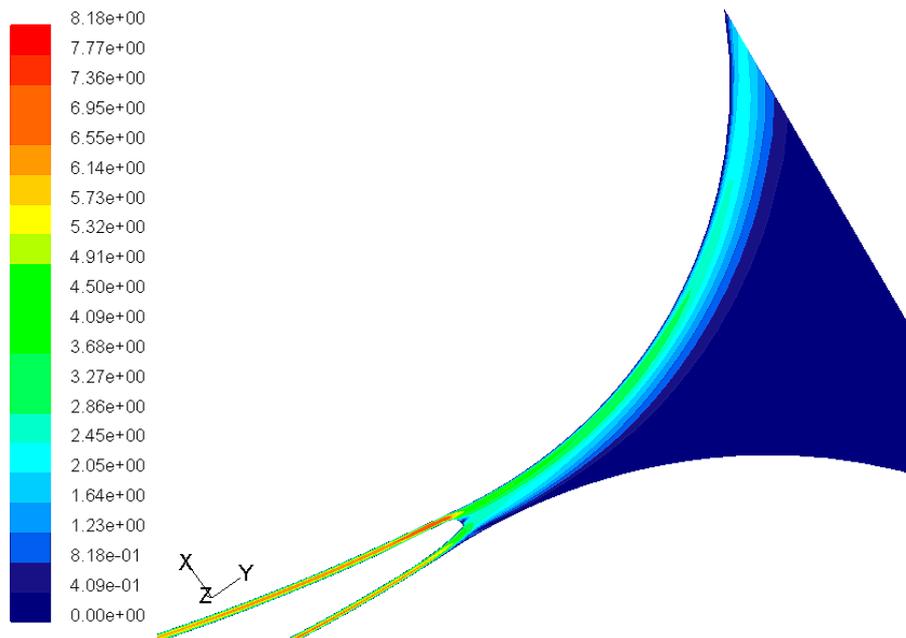


Рис.7. Распределение скорости потока электролита на срезе МЭЗ (С)

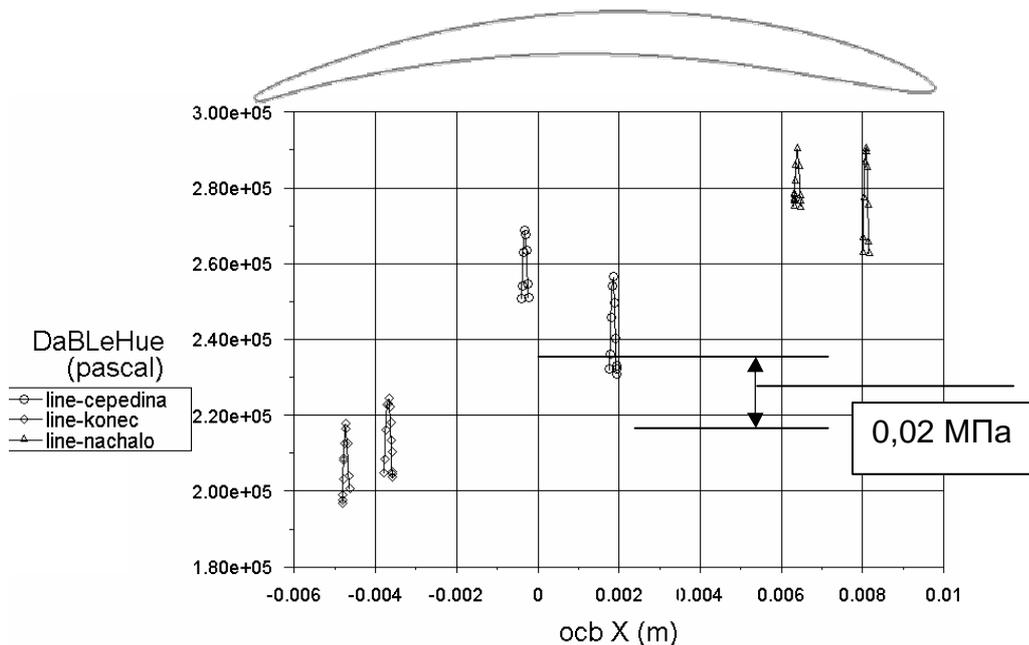


Рис.8. График распределения в давления потока электролита характерных зонах МЭЗ (А, В, С)

На рис. 8 изображена совместная графическая зависимость давления в зонах А, В и С, откуда видно, что наибольшая разность давлений электролита по перу заготовки приходится на область В, расположенную в районе центра тяжести сечения МЭЗ.

Учитывая этот факт, при решении задачи по определению деформации заготовки в первом приближении, перепад давлений был задан лишь в районе центра тяжести сечения МЭЗ. Как видно из рисунка 8 этот перепад

составляет 20000 Па. При этом максимальная деформация пера составит 0,02мм.

Дальнейшая разработка созданной модели МЭЗ связана как с увеличением точности расчета в самой программе (повышение точностных параметров расчета, уточнение модели турбулентности), так и с применением дополнительного пакета МКЭ для определения деформаций пера заготовки на основании данных проведенного гидродинамического расчета. При деформа-

ции пера заготовки, форма МЭЗ изменяется и потребуются дополнительное решение гидродинамической задачи с учетом измененной геометрии МЭЗ. Таким образом, осуществив ряд последовательных итераций, будут получены наиболее точные параметры течения электролита в МЭЗ и величины деформаций пера заготовки.

Решение данной задачи внесет существенный вклад в вопрос об определении оптимального зазора между электрод - инструментом и пером заготовки, а также позволит существенно повысить точность электрохи-

мической обработки и сократить стоимость и сроки доводочных работ на этапе внедрения технологических процессов.

#### **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.

### **MODEL OPERATION OF ELECTROLYTE IN THE SPARK GAP AT THE ELECTROCHEMICAL WORKING COMPRESSOR BLADES WITH USING METHOD OF FINAL ELEMENTS IN THE SOFTWARE ENVIRONMENT "FLUENT"**

© 2006 G.V. Smirnov, N.D. Pronichev, V.G. Smelov, N.N. Zinin

Samara State Aerospace University

The article is devoted to the actual problem of the up-to-date aviation propulsion engineering – the raising of form accuracy at the electrochemical working. In the article the results of the development work with respect to creation methodology of model operation of electrolyte current in the spark gap are presented. Proper models are submitted. Areas of use of results of work are discussed.