

УДК 621.9.047

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБЪЁМНОГО И ПЛОСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВУХЭЛЕКТРОДНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКИ В ПРОГРАММЕ ANSYS**

© 2012 М. В. Нехорошев, Н. Д. Проничев, Г. В. Смирнов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

В статье проведено сравнение точности результатов трёхмерного и двухмерного моделирования ЭХО в программе ANSYS на примере процесса скругления кромок штуцера.

*Формообразование, процесс, электрохимия, штуцер, математическая модель.*

Современные авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) являются весьма сложными по конструкции и трудоёмкими в изготовлении. Поэтому при серийном производстве двигателей уделяется большое внимание вопросам снижения трудоёмкости и повышения качества изготовления с целью увеличения надёжности работы и ресурса ГТД. Для решения этих задач на авиадвигателестроительных заводах широко применяются высокопроизводительное оборудование и новые прогрессивные методы обработки при изготовлении деталей. Воздействие научно-технического прогресса в промышленности в первую очередь сказывается в сокращении сферы приложения немеханизированного труда и работ, протекающих в сложных или вредных для здоровья человека условиях. Благодаря техническим решениям уже на современном этапе удалось значительно сократить, а в ряде случаев почти полностью ликвидировать такие работы. Однако ещё сравнительно велика доля ручного труда в общей трудоёмкости изготовления двигателя, причём значительную часть её занимают слесарно-доводочные работы, обеспечивающие надёжность и ресурс современных ГТД.

Традиционное ручное выполнение слесарно-полировальных работ, как правило, не обеспечивает стабильно высокого качества отделки поверхности, не позволяет достигать высокого качества физико-химического состояния поверхностного слоя, что существенно сказывается на надёжности работы и ресурсе высоконагруженных деталей двига-

теля, требует многоступенчатого контроля. Слесарный способ выполнения указанных работ является физически тяжёлым и вредным для здоровья. Поэтому задача механизации выполнения слесарно-полировальных работ, в основном представленных удалением заусенцев, скруглением и полировкой кромок, представляется весьма важной и своевременной.

Теория и практика показали, что для решения данной задачи в производстве наиболее эффективно применять электрохимический метод обработки, не требующий дорогостоящих специализированных установок и дорогостоящего и быстро изнашиваемого инструмента. Однако электрохимическая обработка (ЭХО) ещё недостаточно изучена, а это сдерживает не только область её применения, но и получение более высокого качества обработанных поверхностей деталей.

В данной работе была поставлена задача: сравнить точность результатов трёхмерного и двухмерного моделирования ЭХО в программе ANSYS на примере процесса скругления кромок штуцера. Данная задача возникла из-за необходимости выяснить, насколько точно по сравнению с объёмной моделью ведётся расчёт двухмерной модели в связи с тем, что расчёт трёхмерной модели занимает значительное время.

В качестве прообраза изучаемой модели электрохимической ячейки была взята схема скругления кромок детали электрохимическим методом, как и при исследованиях на электропроводной бумаге.

Если электрод-инструмент рассечь через продольную ось секущей плоскостью, то получится область, заключающая в себе как межэлектродный зазор, так и прилегающую к нему зону, ограниченную участком поверхности анода.

На рис. 1 изображена комплексная схема ЭХО тонкостенной детали с заусенцем. Схеме соответствует поверхность, ограниченная точками 1,2,3,4,5,6,7,8,9. Здесь линии 1-9, 9-8, 8-7, 7-6 – поверхности анода; 3-4 – поверхность катода; область, ограниченная точками (1,2,3,4,5,6,7,8,9) – электропроводящая среда. По линиям 1-9, 9-8, 8-7, 7-6, 3-4 моделируемая область имеет приложенные нагрузки в виде электрического напряжения.

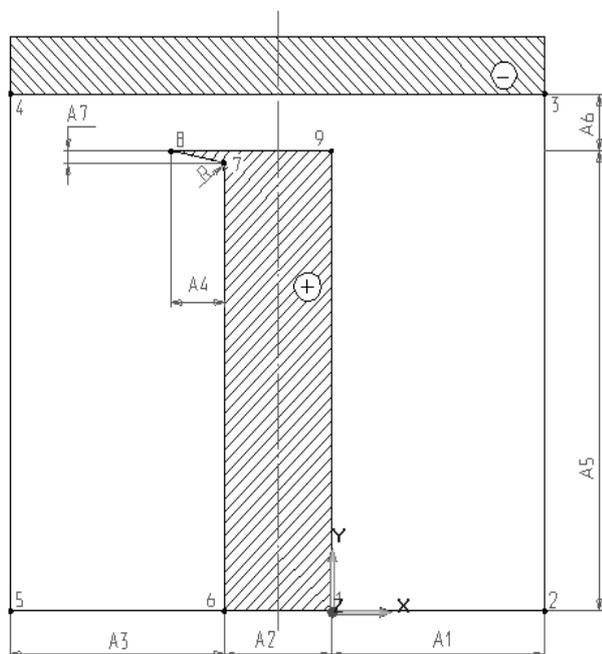


Рис. 1. Схема ЭХО тонкостенной детали с заусенцем

По линиям 1-2, 2-3, 4-5, 5-6 моделируемая область граничит с диэлектриком, следовательно, здесь граничный потенциал не задаётся.

По данной схеме был произведён расчёт распределения электрических полей в программе ANSYS. Полученные результаты показывают высокую сходимость физического и информационного экспериментов (рис. 2).

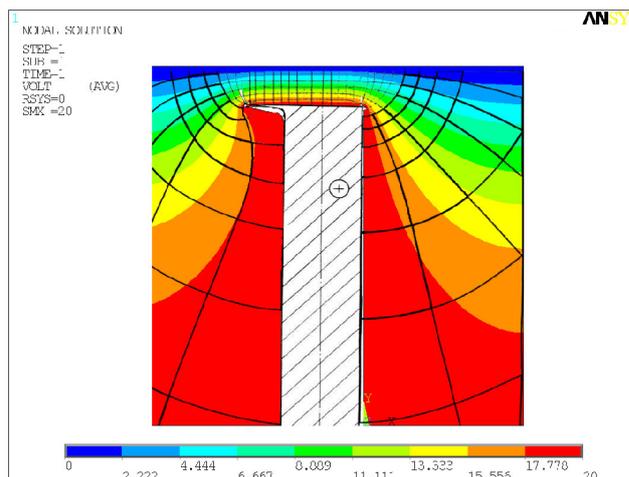


Рис. 2. Сравнение результатов моделирования

Были созданы 3D- и 2D- модели для схемы электрохимического скругления кромок у штуцера (рис. 3).

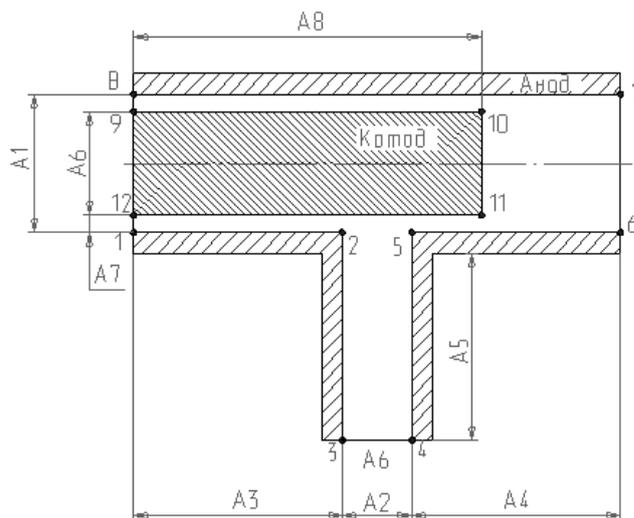


Рис. 3. Схема скругления кромок штуцера

Штуцер имеет сложную форму, получающуюся в результате пересечения двух отверстий. Построение моделей производилось без использования сторонних программ, моделирование производилось средствами ANSYS. Штуцер, являющийся при данной схеме анодом, представляет собой совокупность цилиндров. Электрод, являющийся катодом, подводится в отверстие большего диаметра. Объёмная модель штуцера представлена на рис. 4.

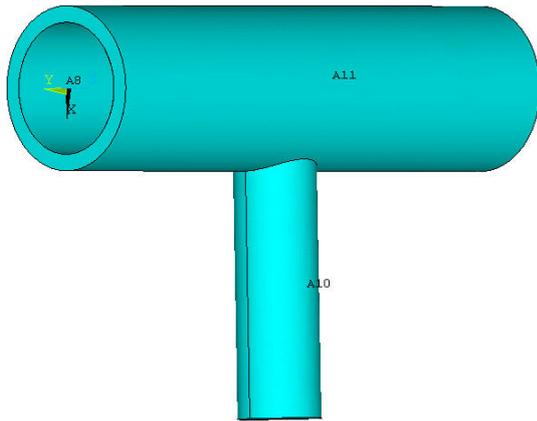


Рис. 4. Объёмная модель штуцера

Для последующего расчёта необходимо смоделировать область, заполненную электролитом.

По характерным поверхностям были приложены граничные условия:

$\varphi = +20 \text{ В}$  – анод (заготовка),

$\varphi = 0 \text{ В}$  – катод (электрод инструмент).

По тем областям, где моделируемая область граничит с диэлектриком, граничный потенциал не задавался, так как в ячейке реализуется условие – ток в направлении границы равен нулю:

$$\frac{d\varphi}{dx} = 0.$$

Кроме того, было задано удельное сопротивление электролита (20% NaCl)  $R_0 = 0,051 \text{ [Ом.м]}$ .

Отсюда следует, что как геометрическое подобие, так и подобие граничных условий двух электрических полей (реального и моделируемого) обеспечивается тем, что сходные параметры в сходственных точках идентичны между собой. Если за параметры электрического поля принять прикладываемые напряжения и межэлектродный промежуток, то картины расположения изопотенциальных линий и линий тока должны быть одинаковы.

Моделируемая область разбивалась на конечные элементы, размер ячейки составил 0,4 мм.

Для объёмной модели применялся тип элемента SOLID231 – объёмный, состоящий из 20 узлов, основанный на токах электрический элемент. Элемент имеет одну степень свободы, напряжение на каждом узле (рис. 5). Для плоской модели использовался элемент PLANE230, использующийся для двухмерных моделей.

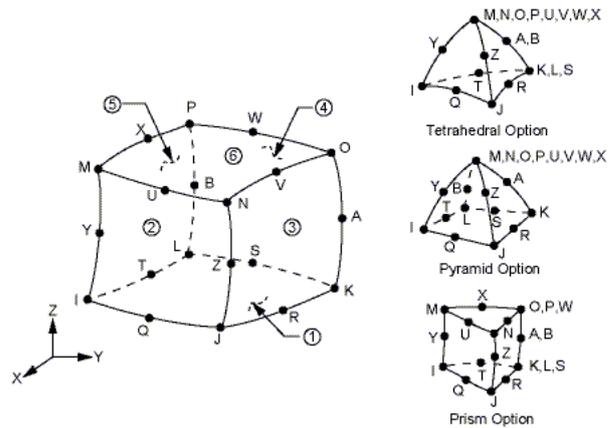


Рис. 5. Геометрия конечного элемента SOLID231

Затем был произведён расчёт двух моделей. По завершении расчёта были получены следующие результаты: картины распределения потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей к нему области, которые изображены на рис. 6–8. Также были получены значения плотностей тока в ключевых точках.

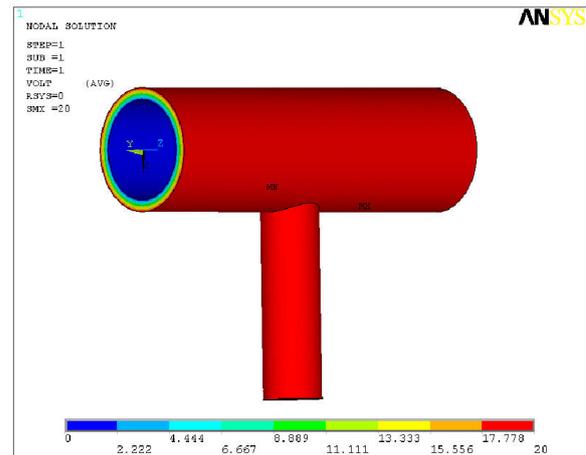


Рис. 6. Распределение потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей области в 3-D - модели

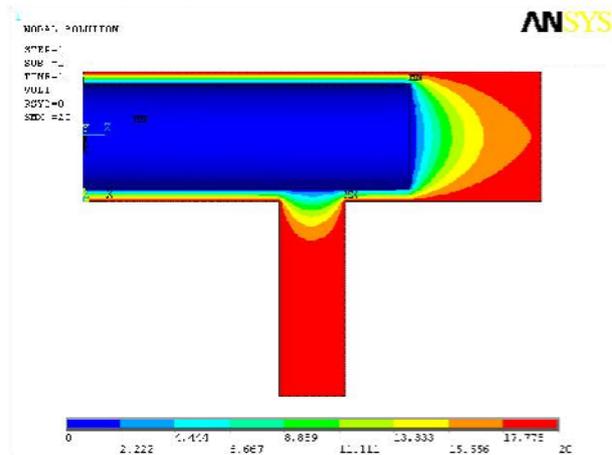


Рис. 7. Распределение потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей области в расчётной 3-D- модели

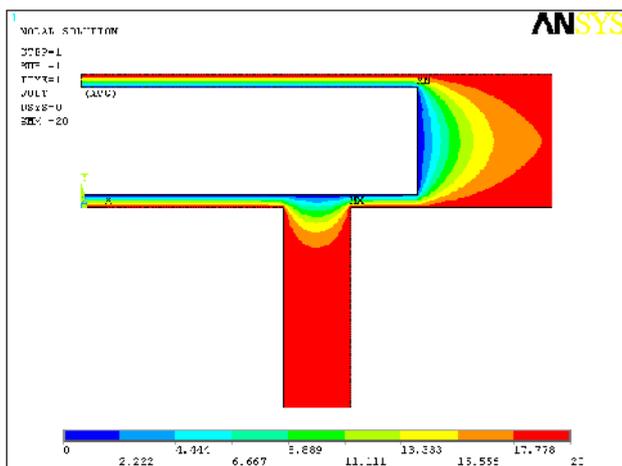


Рис. 8. Распределение потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей области в 2-D- модели

В результате проведённых исследований и сопоставлении полученных результатов были сделаны следующие выводы:

1. Картины распределения потенциалов 2D- и 3D- моделей практически идентичны.

2. Значения плотностей тока в ключевых точках равны:

- 2D: точка 1 –  $i = 10 \text{ A/cm}^2$ ;
- точка 2 –  $i = 16,32 \text{ A/cm}^2$ ;
- 3D: точка 1 –  $i = 10 \text{ A/cm}^2$ ;
- точка 2 –  $i = 16,37 \text{ A/cm}^2$ .

Погрешность 2D -моделирования относительно 3D составляет 0,3%.

3. Вследствие незначительной погрешности целесообразно использовать при моделировании электрохимической ячейки 2D-модель, так как по ней расчёт производится значительно быстрее.

## DOUBLE-ELECTRODE ELECTROCHEMICAL CELL VOLUMETRIC AND FLAT SIMULATION USING ANSYS PROGRAM

© 2012 M. V. Nekhoroshev, N. D. Pronichev, G. V. Smirnov

Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

In this work compared the accuracy of three-dimensional and two-dimensional modeling of the echo in the ANSYS program for the example of rounding edges of the union.

*Modeling, flat simulation, ECHO, three-dimensional and two-dimensional modeling.*

### Информация об авторах

**Нехорошев Максим Владимирович**, ассистент кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [maxnogoood@gmail.com](mailto:maxnogoood@gmail.com). Область научных интересов: технологии авиадвигателестроения.

**Проничев Николай Дмитриевич**, доктор технических наук, профессор кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [pdla@ssau.ru](mailto:pdla@ssau.ru). Область научных интересов: технологии авиадвигателестроения.

**Смирнов Геннадий Владиславович**, доктор технических наук, профессор кафедры производства двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [pdla@ssau.ru](mailto:pdla@ssau.ru). Область научных интересов: технологии авиадвигателестроения, размерная электрохимическая обработка.

**Nekhoroshev Maxim Vladimirovich**, Assistant Professor of Production of aircraft engines Department of Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [maxnogood@gmail.com](mailto:maxnogood@gmail.com). Area of Research: Technology of aeroengine.

**Pronichev Nikolai Dmitrievich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Production of aircraft engines Department of Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [pdla@ssau.ru](mailto:pdla@ssau.ru). Area of research: Technology of aeroengine.

**Smirnov Gennady Vladislavovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of Production of aircraft engines Department of Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [pdla@ssau.ru](mailto:pdla@ssau.ru). Area of research: Technology of aeroengine.