

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ЯЧЕЙКЕ В УСЛОВИЯХ ЭХО СРЕДСТВАМИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «ANSYS»

© 2006 Н.Д. Проничев, С.В. Палютин, М.В. Нехорошев

Самарский государственный аэрокосмический университет

В данной работе проводились исследования по изучению одного из методов локализации токов рассеяния, а именно метода катодной защиты. Была отработана методика использования программного комплекса ANSYS для моделирования электрических полей в двух- и трехэлектродных ячейках.

Развитие специальных отраслей машиностроения обусловило значительный рост потребления жаропрочных сталей и сплавов, обработка которых классическими методами резания связана с большими трудностями, а в некоторых случаях практически невозможна. Обработка таких материалов успешно осуществляется электрическими методами.

Из весьма перспективных и ускоренно развивающихся направлений в электротехнологических процессах значительное применение получил метод электрохимической обработки (ЭХО) металлов.

Однако невысокая точность электрохимического формообразования и растравливание необрабатываемых поверхностей являются одними из основных недостатков метода. Причиной этому служит низкая степень локализации процесса анодного растворения металла при ЭХО в проточном электролите. Например, у отверстий и пазов, полученных электрохимическим методом наблюдается погрешность формы в виде конусности, образование значительных радиусов на входной кромке, питтинговое растравливание поверхностей, не подлежащих обработке. Кроме того, у таких полостей чистота поверхности боковых стенок всегда ниже чистоты поверхности дна. Эти недостатки снижают эффективность электрохимической размерной обработки, а в некоторых случаях делают применение ее нецелесообразной.

В производстве растравливание необрабатываемых поверхностей устраняют с помощью применения оснастки, исключающей проникновение электролита под изоляцию, применения жидких диэлектриков и изыскания электролитов с более высокой локализационной способностью. Однако все эти методы решают проблему частично.

В данной работе проводились исследования по изучению одного из методов локализации токов рассеяния, а именно метода катодной защиты. Была изучена возможность использования программного комплекса ANSYS для моделирования электрических полей в двух- и трехэлектродных ячейках, и разработана методика.

В качестве прообраза изучаемой модели электрохимической ячейки была взята реальная схема прошивки отверстий электрохимическим методом (см. рис.1). Для определения адекватности электронной модели ее необходимо сравнить с данными физического эксперимента. Такие эксперименты для первичного распределения потенциалов проводились на электропроводной бумаге.

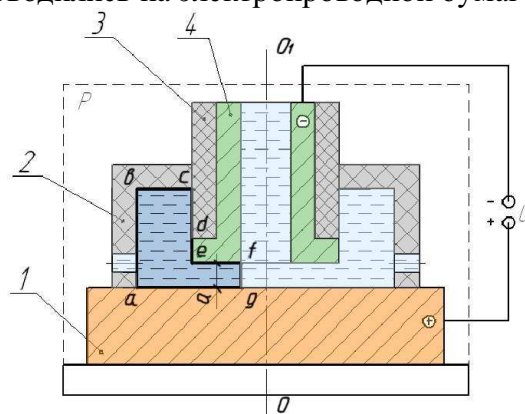


Рис.1. Принципиальная схема прошивки отверстия

Если электрод-инструмент 4 рассечь через продольную ось  $O_1O_2$  секущей плоскостью  $P$  и в этой плоскости заштриховать участок ограниченный точками  $abcdefg$ , то получим область заключающую в себе как межэлектродный зазор –  $a$ , так и прилегающую к нему зону ограниченную участком поверхности анода  $ag$  и стенками изолятора  $abc$ . Такой прием позволяет перейти от объемного трехмерного электрического поля к плоскому, двумерному и дает возможность

существенно упростить схему моделирования. Исследуемое электрическое поле создавалось на модели принципиальная схема которой, показана на рис.2.

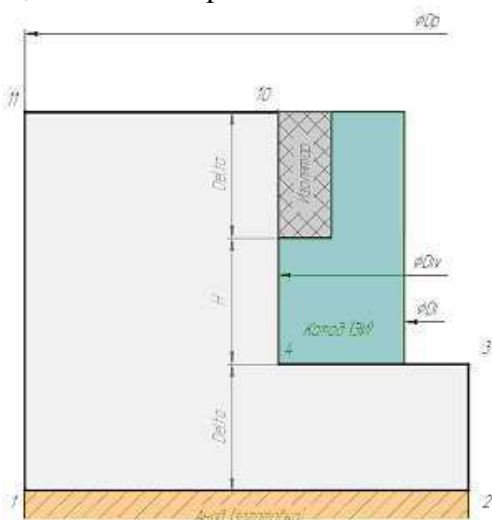


Рис. 2 – Исходная схема для расчета потенциалов в программе ANSYS

Здесь линии 4-12, 4-9 – поверхности катода, 1-2 – поверхность анода, область, ограниченная точками (1,2,3,4,10,11) – электропроводящая среда (в реальной ЭХО-электролит, в настоящей модели область, подвергается разбиению на конечные элементы), 9-10, 10-11, 11-1 – поверхности изолятора. По линиям 1-2, 4-12, 4-9 – моделируемая область имеет приложенные нагрузки в виде электрического напряжения, поэтому граничный потенциал вдоль этих линий будет равен:

$\varphi_{1-2} = +16 \text{ В}$  – анод (заготовка),

$\varphi_{4-12} = \varphi_{4-9} = 0 \text{ В}$  – катод (электрод инструмент)

По линиям 9-10, 10-11, 11-1 моделируемая область граничит с диэлектриком, следовательно, здесь граничный потенциал не задан. Просто область заканчивается. Т.е. ток в направлении границы равен нулю.

Также в программе ANSYS необходимо произвести выбор типа элемента для конечно-элементного разбиения расчетной области модели.

Ясно, что для нашей модели необходим плоский, т.е. 2-D элемент. Из множества элементов относящихся к магнитно-электрическому анализу к плоским элементам относятся лишь *Plane53*, *Plane121*, *Plane230*.

Для наших моделей электролитических ячеек элемент *Plane230* наиболее пригодный,

поэтому во всех последующих экспериментах будет использоваться данный тип элемента.

В расчетном комплексе ANSYS был написан макрос, который позволяет производить моделирование, как двухэлектродной ячейки, так и трехэлектродной (см. рисунок б). Зависит это от величины приложенного напряжения на протекторе. Если напряжение на протекторе задать равным 0 В, то созданная модель будет соответствовать двухэлектродной ячейке, в противном же случае модель будет трехэлектродной с заданным значением напряжения на протекторе.

Программа работает следующим образом:

- вручную вводятся исходные данные для создания модели электрохимической ячейки;
- автоматически строятся ключевые точки в заданных координатах.
- выбираются тип элемента и задаются свойства электролита
- производится разбиение области, состоящей из множества четырехугольников, на конечные элементы
- производится задание граничных условий, т.е. наложение нагрузок в виде потенциалов;
- производится расчет.

В завершении расчета были получены следующие результаты: картина распределения потенциалов (см. рис.3) и картина силовых линий (см. рис.4) электрического тока в межэлектродном зазоре и прилегающей к нему области.

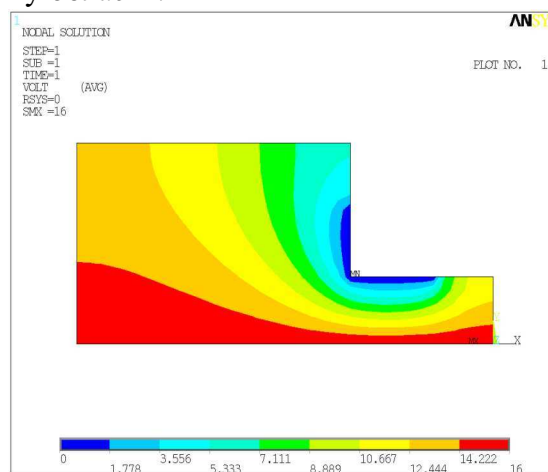


Рис.3. Распределение потенциалов в межэлектродном зазоре и прилегающей области

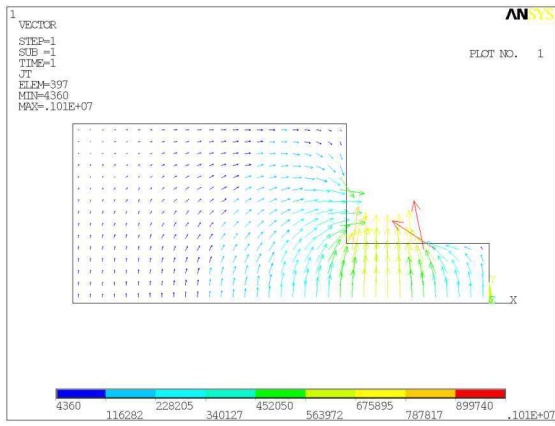


Рис.4. Силовые линии электрического тока

Из картины распределения потенциалов видно, что изопотенциальные линии имеют криволинейный вид, шаг их увеличивается к периферии.

Это говорит о том, что здесь имеется наличие токов рассеяния, которые и приводят к появлению растравливания необрабатываемых поверхностей в реальных условиях электрохимической обработки.

Также следует отметить, что аналогичная схема была смоделирована на электропроводной бумаге.

Результаты такого моделирования (см. рис.5) показывают адекватность разработанной теоретической модели в программе ANSYS. А неточности при сравнении картин распределения электрического поля можно отнести к неточности построения картины электрического поля на экспериментальной модели, т.к. измерения производились вручную.

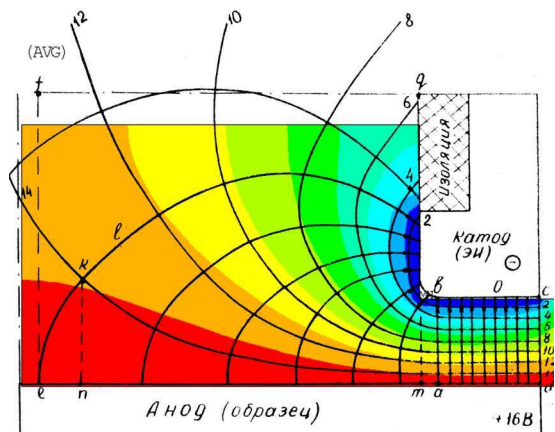


Рис.5. Строение электрического поля на электропроводной бумаге в двухэлектродной ячейке

Существует ряд методов локализации токов рассеяния. Один из них, метод катодной защиты. Данный метод получил свое на-

звание, благодаря введению в стандартную схему электрохимической обработки, состоящую из катода (электрод инструмент) и анода (заготовка), дополнительного электрода – протектора.

Как говорилось выше, модель трехэлектродной электрохимической ячейки получается тем же макросом (см. рис.6), что и модель двухэлектродной ячейки, только необходимо при вводе начальных данных значение напряжения на протекторе сделать отличным от нуля.

При этом макрос в соответствии со схемой (см. рис.7) позволяет автоматически смоделировать геометрическую модель. В отличие от схемы, представленной на рис.2, в неё включен третий электрод, названный протектором, на который подается положительный потенциал. Далее все идет, как было описано выше, за исключением того, что к созданным нагрузкам по поверхности анода и катода добавляются нагрузки (граничные условия) по линиям 5-6, 5-8 в виде напряжения равного  $P\_Volt$ . Во всем остальном работа макроса ничем не отличается от режима работы при моделировании двухэлектродной ячейки.

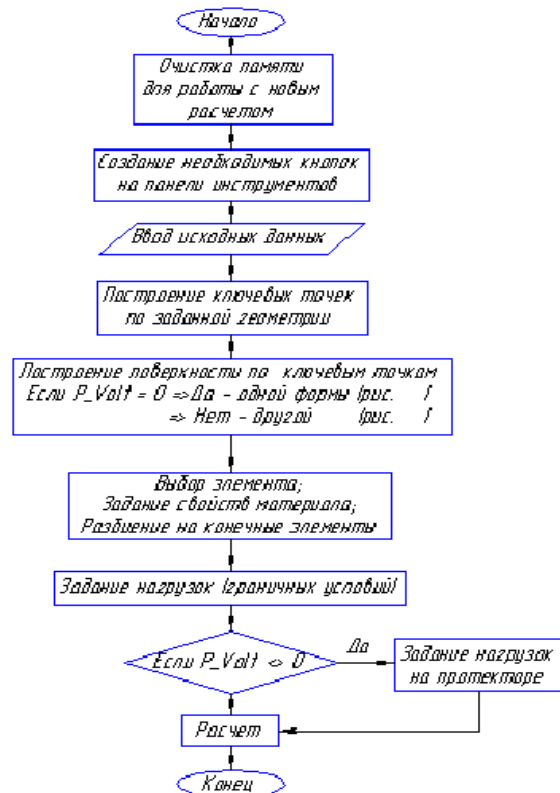


Рис.6. Блок-схема макроса для моделирования электрического поля в двухэлектродной и трехэлектродной ячейке

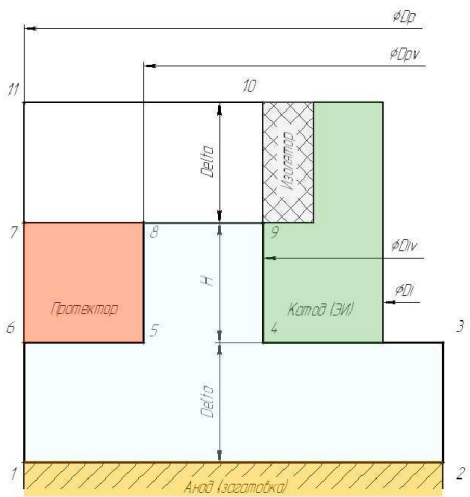


Рис.7. Схема для расчета потенциалов в ANSYS с использованием протектора

Расчет электрического поля на модели выполнялся для двух вариантов: при приложенном на протектор напряжении 3 В и 6 В. Полученные картины электрических полей показаны на рис. 8 - 11.

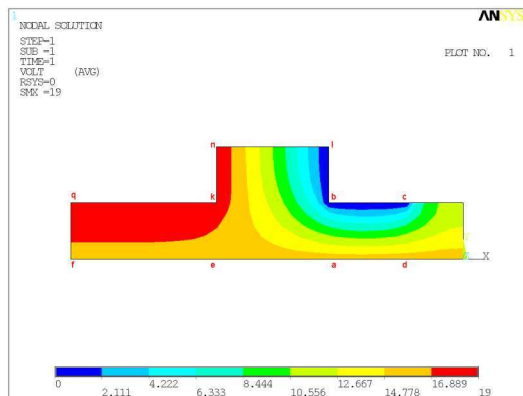


Рис.8. Распределение потенциалов в трехэлектродной электрохимической ячейке при потенциале протектора 19В

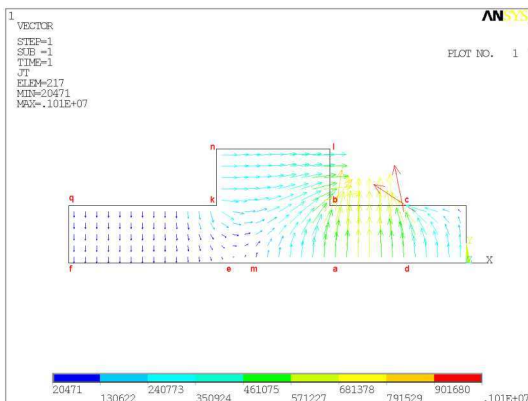


Рис.9. Силовые линии электрического поля трехэлектродной электрохимической ячейке при потенциале протектора 19В

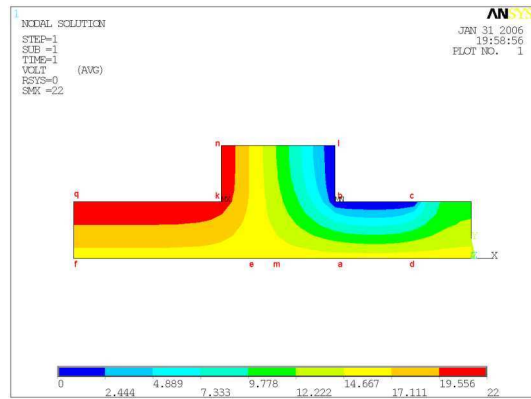


Рис.10. Распределение потенциалов в трехэлектродной электрохимической ячейке при потенциале протектора 22 В

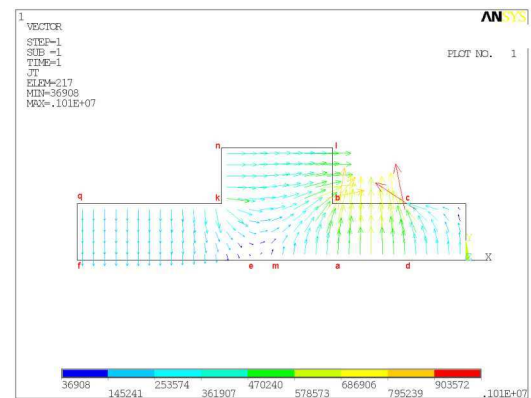


Рис.11. Силовые линии электрического поля трехэлектродной электрохимической ячейке при потенциале протектора 22В

При анализе этих картин было установлено, что протектор, помещенный в область, прилегающую к межэлектродному промежутку при приложении к нему положительного потенциала искажает первоначальное электрическое поле. Видно, что направление линий тока по поверхности анода при движении к периферии от подкатодной области меняется на противоположное. Соответственно процессы протекающие на аноде меняются с анодных на катодные. На периферии, где силовые линии направлены в сторону анода, поверхность надежно защищена. При увеличении подаваемого потенциала на протектор точка границы зоны растравливания сдвигается в сторону уменьшения зоны растравливания. Таким образом, увеличивая потенциал на протекторе, мы можем увеличивать защищенную от растравливания поверхность. Эти результаты моделирования также сравнивались с экспериментами на электропроводной бумаге.

В результате проведенных расчетов были сделаны следующие выводы:

1. В программе ANSYS можно проводить расчеты электрических полей в электрохимической ячейке в условиях ЭХО.
2. Проведенные эксперименты в программе ANSYS подтвердили результаты, полученные на электропроводной бумаге, и показали, что компьютерная модель полностью отражает закон распределения потенциалов (токов) в электрохимической ячейке.
3. Внесение в прилегающую к межэлектродному промежутку область третьего электрода-протектора, и приложение к нему потенциала от дополнительного источника существенно «искажает» первоначальное электрическое поле.
4. Установлено, что наряду с положительными качествами способа катодной защиты имеется недостаток, заключающийся в «износе» материала самого протектора.
5. Чем больше напряжение, поданное на протектор, тем надежнее обеспечивается защита.
6. Разработанная методика моделирования электрических полей в условиях ЭХО позволяет существенно сократить время

и затраты при разработке новых технологических процессов.

#### Список литературы

1. Седыкин Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин. Москва, «Машиностроение», 1976.
2. Петров Ю.Н. и др. Основы повышения точности электрохимического формообразования, Кишенев, «Штиинца», 1977.
3. Гнусин Н.П., Поддубный Н.П., Маслий А.И. Физическая и математическая постановка задачи об электрических полях в электролитах. В сб. «Основы теории расчета и моделирования электрических полей в электролитах». Новосибирск, «Наука». 1972.
4. Гродзинский Э.Я., Стебаев А.И. Катодная активация металлов. «Электрохимическая обработка металлов». «Штиинца». Кишинев, 1971.
5. Сенина О.А. и др. Исследование обрабатываемости титанового сплава ВТ9. Тезисы докл. научно-техн. конф. «Электрохимические методы обработки и упрочнения рабочих поверхностей деталей машин», Тюмень, 1976, 24.

### MODELING OF ELECTRIC FIELDS IN AN ELECTROCHEMICAL CELL IN CONDITIONS OF ELECTROCHEMICAL PROCESSING BY MEANS OF PROGRAM ANSYS

© 2006 N.D. Pronichev, S.V. Palyutin, M.V. Nehoroshev

Samara State Aerospace University

Researches were carried out in the given work on studying one of methods of localization of currents of dispersion, namely a method of cathodic protection. The technique of use of program complex ANSYS for modeling electric fields in two and three electrode cells has been fulfilled.