

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПЕРА ЛОПАТОК ГТД НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

© 2013 М.В. Нехорошев, Н.Д. Проничев, Г.В. Смирнов

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

Поступила в редакцию 02.12.2013

В данной статье рассмотрена математическая модель электрохимического формообразования, проведен анализ условий компьютерного моделирования.

Ключевые слова: математическая модель, электрохимическое формообразование, компьютерное моделирование.

Электрохимическая обработка (ЭХО) сложнопрофильных деталей из труднообрабатываемых материалов остается перспективным методом в современном аэрокосмическом производстве. Однако для повышения эффективности и конкурентности этого метода необходимо существенно повысить уровень качества при технологической подготовке производства. При проектировании технологии ЭХО лопаток компрессора ГТД необходимо решить следующие основные задачи:

- выбрать состав электролита с учетом требуемой производительности, точности и качества обработанной поверхности;
- выбрать технологическое оборудование исходя из площади обработки, электрических характеристик источника питания, кинематики станка и т.д.;
- назначить режимы обработки с учетом электрохимических характеристик системы материал заготовки - электролит, а также величины и неравномерности припусков на обработку, точности геометрических параметров и т.д.;
- провести профилирование электрода-инструмента (ЭИ) для формообразования трактовых поверхностей лопатки;
- провести размерный анализ технологической системы и выбор установочных баз;
- спроектировать технологическую оснастку с обеспечением защиты от растравливания поверхностей детали.

Все эти задачи могут быть решены лишь на основе системного подхода, они не поддаются теоретическому описанию в полной мере, так как процессы в межэлектродном промежутке являются очень сложными и определяются электрохимической кинетикой на поверхности электродов, гидродинамикой течения электролита в узком канале, тепловыми процессами и газовой выделением на электродах [3, 4].

Накопленный опыт по созданию технологий ЭХО пера лопаток показывает, что расчеты профиля электрода-инструмента не обеспечивают требуемой точности. В процессе обработки конфигурация межэлектродного зазора (МЭЗ) постоянно изменяется, что приводит к изменению электрического поля и картины распределения тока (протяженности линий тока), кроме того изменяется величина электродных потенциалов, выход по току, газонаполнение электролита и др.

На практике электрод-инструмент часто профилируют в процессе его ЭХО при смене полярности электродов. Такое решение оказывается эффективным при условии, если заготовка и электрод-инструмент выполнены из одного материала. В противном случае условия ЭХО при смене полярности очень сильно модифицируются за счет изменения кинетики на границе металл-электролит.

Учитывая все вышесказанное, окончательную доводку операций ЭХО обеспечивают при опытной отработке, т.е. экспериментально дорабатывается профиль электрода-инструмента и корректируются режимы обработки.

Исходя из вышеизложенного, можно заключить, что существующие методы проектирования операций электрохимического формообразования (ЭХФ), характеризуются низким качеством проектных решений, что приводит к необходи-

Нехорошев Максим Владимирович, ассистент.

E-mail: maxnogood@gmail.com

Проничев Николай Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, заместитель заведующего кафедрой производства двигателей летательных аппаратов.

E-mail: pdla@ssau.ru

Смирнов Геннадий Владиславович, доктор технических наук, профессор. E-mail: pdla@ssau.ru

мости выполнения большого объема доводочных работ по корректировке формообразующих поверхностей ЭИ и уточнению режимов обработки и, как следствие, к снижению эффективности операций ЭХФ. В связи с этим, важной и актуальной научной проблемой является повышение эффективности проектирования операций сложного ЭХФ. Решение этой проблемы позволит создать теоретическую базу для интеграции процедур проектирования операций ЭХФ с современными CAD/CAM/CAE системами, такими как Siemens NX, Catia, CREO и др., на основе единых трехмерных геометрических моделей ЭИ и заготовки.

Целью данной работы являлось создание основ проектирования процессов трехмерного электрохимического формообразования для повышения качества проектных решений, сокращения объема доводочных работ, трудоемкости и сроков технологической подготовки производства.

При разработке методики компьютерной автоматизированной отработки технологии ЭХО лопаток ГТД необходимо решить ряд вопросов:

- разработать универсальную компьютерную методику моделирования ЭХФ;
- провести ряд экспериментов по снятию характеристик тока для металлов на разных электролитах;
- создать на основании результатов экспериментов базу данных;
- создать информационную технологическую среду, включающую в себя базу данных физических характеристик при ЭХО по материалам и электролитам;
- интегрировать созданный программный модуль с современными САД-пакетами для автоматизации проектирования моделей электродов-инструментов.

В данной работе рассматриваются вопросы создания и реализации унифицированной методики ЭХФ сложнопрофильных поверхностей деталей ГТД. Следует отметить, что модель компьютерного моделирования электрических полей в электрохимической ячейке методом конечных элементов с использованием программы ANSYS для ЭХО на постоянном токе была разработана ранее. Эта модель является универсальной, позволяет проводить расчет электрического поля в любой труднодоступной зоне и определять фактическую длину линий тока, которая определяет скорость растворения анода [1, 2].

Допущения, принимаемые в теоретической модели:

- электропроводность и температура электролита в МЭЗ постоянны в пространстве и во времени в пределах одной итерации;

- закон Ома справедлив во всем объеме МЭЗ, заполненном электролитом;

- выход по току является функцией плотности тока;

- перенапряжение на аноде и катоде определяются по экспериментальным поляризационным кривым;

- параметры гидродинамического режима считаются оптимальными и не учитываются в модели.

На основании данной модели была разработана методика моделирования формообразования при ЭХО на постоянном токе, основывающаяся на итерационном расчете плотности тока в программе ANSYS. Значения и направления тока, с течением времени, формируют профиль обрабатываемой поверхности. Однако для реализации моделирования ЭХФ на импульсном токе необходимо на каждой итерации расчета знать реальные потенциалы на электродах при заданных зазорах. В связи этим необходимо произвести ряд экспериментов по снятию зависимостей величины тока и напряжения в МЭЗ для металлов на разных электролитах. Полученные зависимости необходимы при определении граничных условий для итерационного расчета электрохимического формообразования.

В прилегающих к электродам тонких слоях электролита распределение ионных концентраций и напряженности электрического поля носит весьма сложный характер. В настоящее время количественное описание массопереноса через эти слои применительно к условиям ЭХО не предоставляется возможным. Поэтому при расчетах процесса ЭХО была проведена экстраполяция закона Ома на весь МЭЗ вплоть до поверхностей электродов. Особенности электродных процессов были приближенно учтены введением соответствующих скачков потенциалов $\varphi_{ЭКВ}$ в граничные условия на электродах. Величина $\varphi_{ЭКВ}$ в пределах пакета импульсов была приведена к среднему значению, которое было согласовано с анодным съемом за указанный временной промежуток. Также было введено условие, что электрическое поле при ЭХО квазистационарно. На изолированных участках поверхности потенциалы равны нулю.

Для решения задачи ЭХФ необходимо выразить потенциалы на катоде (φ_K) и аноде (φ_A). Для этого рассмотрим закон Ома:

$$I = \frac{U_{эл}}{R}, \quad (1)$$

где $U_{эл}$ – напряжение в электролите, В;

I – сила тока в электролите, А;

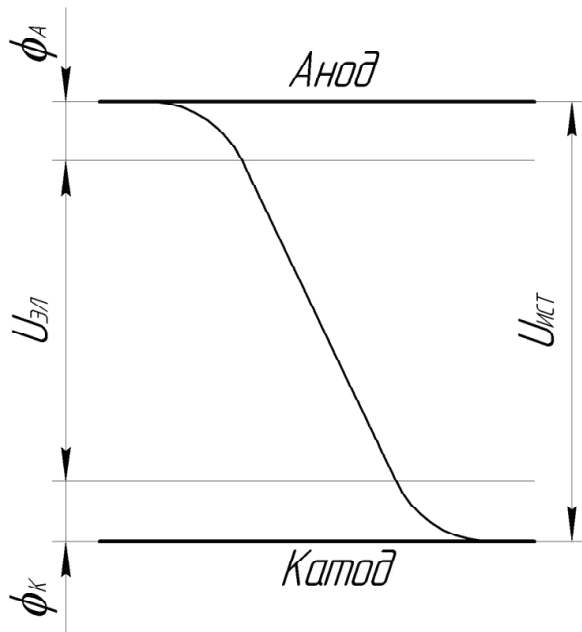


Рис. 1. Падение потенциалов на электродах

R – сопротивление в электролите, Ом.

Тогда выражение 1 согласно рис. 1 примет вид:

$$I = \frac{U_{ИСТ} - (\varphi_A + \varphi_K)}{R} = \frac{U_{ИСТ} - \varphi_{ЭКВ}}{R}, \quad (2)$$

где $U_{ИСТ}$ – напряжение выдаваемое источником, В;
 φ_A – потенциал на аноде, В;
 φ_K – потенциал на катоде, В
 $\varphi_{ЭКВ}$ – эквивалентный потенциал на катоде и аноде, В.

Сопротивление можно записать в виде:

$$R = \frac{\sigma \cdot a}{S}, \quad (3)$$

где σ – удельное сопротивление электролита, Ом/м;

a – длина линии тока, м;

S – площадь поперечного сечения катода-инструмента, м².

Теперь выражение 2 примет вид:

$$I = \frac{U_{ИСТ} - \varphi_{ЭКВ}}{\frac{\sigma \cdot a}{S}}, \quad (4)$$

или

$$j = \frac{U_{ИСТ} - \varphi_{ЭКВ}}{\sigma \cdot a}, \quad (5)$$

где j – плотность тока, А/м².

Отсюда выражается $\varphi_{ЭКВ}$:

$$\varphi_{ЭКВ} = U_{ИСТ} - j \cdot \sigma \cdot a. \quad (6)$$

Из данного выражения следует, что полученные в рассмотренном эксперименте зависимости позволят задать граничные значения потенциалов для катода и анода на итерациях расчета формообразования при импульсной ЭХО. Найденное значение $\varphi_{ЭКВ}$ будет разложено на φ_A и φ_K . φ_K находится через уравнение Тафеля:

$$\varphi_K = A \cdot \ln \left(\frac{j_K}{I_0} \right), \quad (7)$$

где A – коэффициент Тафеля;

j_K – плотность катодного тока, А/м²;

I_0 – ток обмена ионов водорода на данном металле.

Потенциал на аноде будет находиться через выражение:

$$\varphi_A = \varphi_{ЭКВ} - \varphi_K. \quad (8)$$

На основании исследований в программе MS ACCESS будут созданы базы данных физических характеристик импульсной ЭХО для разных авиационных материалов и электролитов. База данных будет входить в программный комплекс по расчету электрохимического формообразования.

Таким образом, в данной работе были заложены принципы для реализации модели электрохимического формообразования применительно к импульсной ЭХО, которые позволят реализовать инженерную методику имитации обработки и профилирование электрода-инструмента в условиях реального производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отработка технологии электрохимической прошивки отверстий с использованием компьютерного моделирования / Н.Д. Проничев, М.В. Нехорошев, В.Г. Смелов и др. // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. выпуск «Актуальные проблемы машиностроения». 2009. С. 221-224.
2. Нехорошев М.В. Компьютерное моделирование процесса электрохимического скругления острых кромок // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. выпуск «Актуальные проблемы машиностроения». 2009. С. 206-209.
3. Разработка имитационной модели процесса электрохимической обработки пера лопаток авиадвигателей / И.Л. Шитарев, Г.В. Смирнов, В.Г. Смелов, М.В. Нехорошев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Спец. выпуск «Актуальные проблемы машиностроения». 2009. С. 248-251.

4. Технология электрохимической обработки деталей в авиадвигателестроении / В.А. Шманев, В.Г. Филимошин, А.Х. Каримов и др. М.: Машиностроение, 1986. 168 с.

**DESIGN AUTOMATION TECHNOLOGIES ELECTROCHEMICAL TREATMENT
OF FEATHER GTE BLADES COMPUTER SIMULATION PROCESSES OF FORMATION**

© 2013 M.V. Nekhoroshev, N.D. Pronichev, G.V. Smirnov

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

In this paper, the mathematical model of electrochemical formation, the analysis simulation conditions.
Keywords: mathematical model, electrochemical shaping, computer simulation.

Maxim Nekhoroshev, Assistant Lecturer.

E-mail: maxnogood@gmail.com

*Nikolai Pronichev, Doctor of Technics, Professor, Deputy Head
at the Production of Aircraft Engines Department.*

E-mail: pdla@ssau.ru

Gennady Smirnov, Doctor of Technics, Professor.

E-mail: pdla@ssau.ru