

Э.Р. Латыпова, Е.Ф. Нурлыгаянова  
(г. Уфа, Уфимский государственный авиационный технический университет)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ГТД**

*Рассмотрено электрохимическое полирование лопаток ГТД, изготовленных из титановых сплавов. Проанализированы факторы, определяющие качество полировки. Решена задача выбора формы катода для равномерного распределения плотности тока при помощи компьютерного моделирования в программе Elcut.*

*Electrochemical polishing of gas turbine blades made of titanium alloys is considered. The factors determining the quality of polishing are analyzed. The problem of choosing the shape of a cathode for uniform distribution of the current density is solved using computer simulation in the Elcut program.*

*Ключевые слова: электрохимическая обработка, полировка титана, обработка лопаток газотурбинных двигателей, факторы, влияющие на плотность тока при полировании.*

*Keywords: electrochemical treatment, polishing of titanium, processing blades of gas turbine engines, factors affecting the current density during polishing.*

В современном машиностроении в условиях острой конкуренции на мировом рынке особую актуальность для двигателестроительных предприятий имеет проблема выпуска конкурентноспособной продукции. При этом необходимо учитывать качество выпускаемой продукции, сжатые сроки и стоимость изделия.

Одной из важнейших задач совершенствования авиационных двигателей является повышение их надежности и ресурса.

Надежность газотурбинных двигателей в значительной степени зависит от надежности работы лопаток компрессора и турбины, поскольку они являются наиболее нагруженными деталями. Лопатки подвергаются действию статических, динамических и циклических нагрузок, кроме того, лопатки турбины испытывают циклические, термические напряжения, они работают в условиях агрессивной газовой среды при высокой температуре и подвергаются газовой коррозии. Лопатки ГТД имеют сложную пространственную геометрию и изготавливаются из труднодеформируемых материалов: жаропрочных, титановых и алюминиевых сплавов. К ним предъявляются повышенные требования: по структуре металла, его химическому составу, механическим свойствам, геометрическим размерам, исключению дефектов [1].

Именно поэтому полировка лопаток ГТД является важной составной частью технологического процесса. Качество поверхности деталей неразрывно связано с обеспечением определенной шероховатости. Сложность получения низкой шероховатости поверхности состоит в том, что большинство металлов, используемых для изделий специального назначения, является многофазовыми структурами с добавками легирующих элементов, которые обладают различными значениями электрохимической активности. К таким многофазовым и многокомпонентным системам относятся, в частности, титановые сплавы.

Титановые сплавы обладают низким удельным весом и уникальными эксплуатационными свойствами: износостойкостью, усталостной прочностью, коррозионной стойкостью, способностью сохранять прочностные свойства при высоких температурах. Благодаря этому они являются незаменимыми при изготовлении ответственных деталей в самых различных областях промышленности. Большие твердость и вязкость этих конструкционных материалов в ряде случаев затрудняют применение лезвийного инструмента, и альтернативной становится электрохимическая обработка детали (например, получение заданной формы электрохимической размерной обработкой (ЭХРО), электрохимическое полирование) или химическая (химическое полирование) [2].

В ряде случаев наиболее эффективным способом полирования металла является химическая обработка. Она менее трудоемка, более производительна, позволяет обрабатывать изделия различной формы и размеров и не вызывает изменения физико-механических свойств поверхности. Однако промышленное применение химического полирования титана представляет определенные трудности, поскольку практически все полирующие растворы достаточно агрессивны, а их работоспособность невысока. В современных условиях, когда идет непрерывное ужесточение требований, предъявляемых с одной стороны к качеству обработки, с другой - к повышению производительности, снижению себестоимости изготовления изделий и повышению экологической безопасности производства, именно поэтому наиболее эффективным является электрохимическое полирование.

При электрохимическом полировании крайне важно соблюдать некоторые условия, которые увеличивают эффективность полирования. Процесс должен протекать при режимах, приведенных ниже:

- 1) Температура  $T = 70 - 95$  градусов.
- 2) Плотность тока  $J = 2,5 - 10$  А/дм<sup>2</sup> (встречаются до 100 А/дм<sup>2</sup>).
- 3) Напряжение  $U = 7 - 15$  В.

При электрохимическом полировании применяют ток такой плотности, при котором вместе с растворением анода происходит разряд анионов. Таким образом, при меньших плотностях тока металл просто растворяется, а если плотность тока слишком велика, то происходят отрицательные явления: перегрев, бурное выделение газов на аноде, сильное растравливание металла.

Температура электролита – очень важный технологический параметр: если она слишком низкая, то увеличивается вязкость прианодного слоя, при этом ухудшается диффузия через прианодный слой и требуется повышенное напряжение в ванне, а повышение температуры снижает вязкость прианодного слоя, и наблюдается простое травление металла.

Эффективность процесса зависит также и от времени полирования. Увеличение длительности не улучшает качество полировки, а наоборот приводит к растравливанию отдельных участков. Необходимо установить оптимальную длительность процесса полировки, которая зависит от состояния поверхности металла, свойств металла, свойств электролита, от токовых и температурных режимов.

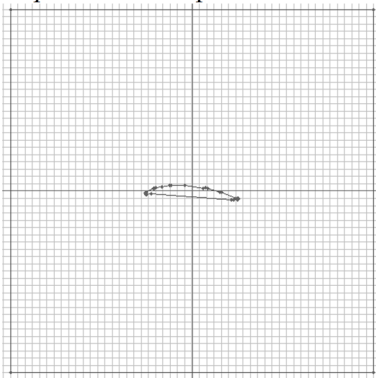
Немаловажным фактором является подбор межэлектродного пространства. Скорость анодного растворения и точность обработки имеет обратную зависимость от величины межэлектродного зазора. Однако со значительным уменьшением зазора усложняется процесс его регулирования, возрастает сопротивление протеканию электролита, может произойти пробой, вызывающий повреждение обрабатываемой поверхности. Из-за увеличения газонаполнения при малых зазорах снижается скорость анодного растворения. Следует выбирать такой размер зазора, при котором достигаются оптимальные скорость съема металла и точность формообразования.

Для процесса важно правильно подобрать размеры, форму и материал катодов, так как именно они напрямую влияют на равномерное распределение плотности тока, которая, в свою очередь, лежит в основе разработки эффективного процесса электрохимического полирования.

Рассмотрим влияние формы катода на равномерное распределение плотности тока при помощи моделирования в программе Elcut.

Были промоделированы два варианта различной формы катода:

1. В первом случае катод представляет собой прямоугольную емкость. На рис. 1 представлена модель расположения лопатки и катода при электрохимическом полировании электрическим полем постоянного тока.



*Рис. 1. Модель с катодом –  
прямоугольная емкость*

В результате моделирования получилась следующая картина распределения плотности тока, которая представлена на рис. 2.

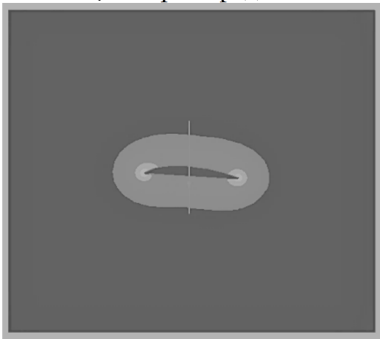


Рис. 2. Результат моделирования

По рисунку видно, что плотность тока практически равномерно распределена вокруг эллиптической лопатки с усилением на ее краях.

Рис. 3 позволяет оценить количественное изменение плотности тока в зависимости от расстояния от катода до лопатки. Разрыв на графике определяет положение самой лопатки. Диапазон скачка от максимального до минимального значения в данном случае составляет около  $200 \text{ A/m}^2$ .

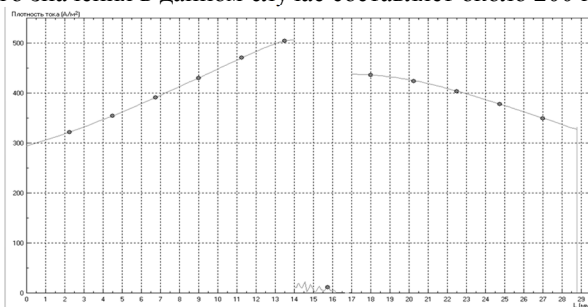


Рис. 3. График распределения плотности тока

2. Во втором случае был рассмотрен катод в форме полуэллипса. Модель представлена на рис. 4.

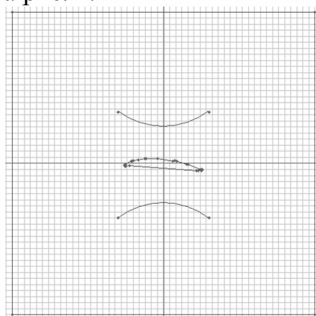


Рис. 4. Модель катод-полуэллипс

Картина плотности тока при катоде-полуэллипсе представлена на рис.5. Видно, что во втором случае плотность тока более равномерно распределена вдоль всей границы лопатки.

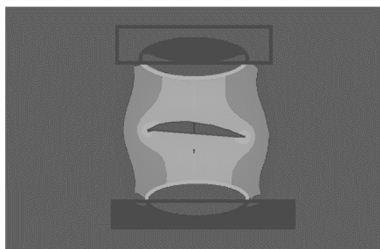


Рис. 5. Результат моделирования

График для анализа распределения плотности тока представлен ниже:

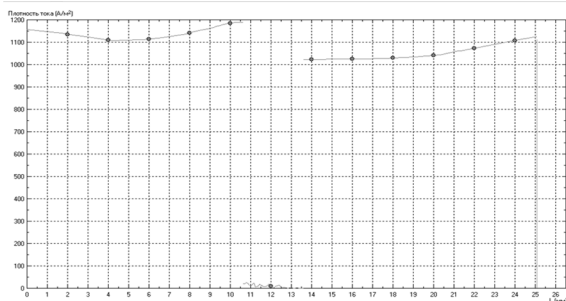


Рис. 1.6. График распределения плотности тока

На графике видно, что диапазон скачка между максимальным и минимальным значениями меньше, чем в первом случае и составляет около  $180 \text{ A/m}^2$ . Соответственно выбор формы катода в виде эллипса показывает более равномерное распределение плотности тока, что однозначно повышает качество электрохимического полирования.

#### Список литературы

1. Донцов, М.Г. Электрохимическое и химическое полирование титановых сплавов / М. Г. Донцов, О. И. Невский, А. В. Балмасов, Е. В. Кузьмичева // Металлообработка. – СПб.: Политехника, 2012. – №2(68). –С.18-22
2. Бартнев, С.С. Детонационные покрытия в машиностроении / С.С. Бартнев, Ю.П. Федько, А.И. Григоров. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1982. – 215 с.

Материал поступил в редколлегию 26.09.18.