

## БЕЗРАЗМЕРНАЯ СОВМЕЩЕННАЯ ОБРАБОТКА ПЕРА ЛОПАТОК В ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕДАХ

Смирнов Г.В., Проничев Н.Д., Камардина Т.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Лопатки являются наиболее ответственными деталями ГТД по условиям их работы в узлах турбины и компрессора. Поэтому их ресурс в основном определяет ресурс двигателя в целом. Одним из условий повышения ресурса и надежности работы лопатки в узле является применение в технологическом процессе их изготовления методов обработки не вносящих в поверхностный слой существенных отрицательных остаточных напряжений. Одним из наиболее приемлемых методов обработки пера лопатки с этой точки зрения является электрохимическая размерная обработка (ЭХО). Она позволяет вести круговую обработку профиля пера без теплового и силового воздействия на него. Однако, ЭХО является чистой обработкой за которой в большинстве случаев следует отделочная обработка с целью снижения шероховатости поверхностей, в частности, механическое полирование профиля пера. Более предпочтительным вариантом отделочной обработки является безразмерное электрохимическое полирование, исключаящее силовое воздействие на материал.

Для хромоникелевых сплавов, чувствительных к уровню отрицательных остаточных напряжений в поверхностном слое, полирование наиболее эффективно проводить в безводных кислотных электролитах, позволяющих снизить шероховатость до  $Ra \approx 0,2...0,16$  и к тому же частично удалить наследственный измененный слой, что положительно отражается на эксплуатационных характеристиках деталей. Найденное нами соотношение компонентов электролитов способствует эффективному выравниванию скоростей растворения различных компонентов этого сплава.

Величина съема при этом составляет 10...20 мкм, поэтому данный метод можно отнести к прецизионным методам обработки.

Основным недостатком указанного способа является его низкая производительность. Образующаяся на обрабатываемой поверхности пассивирующая пленка окисной или окисно-адсорбционной природы, тормозящая растворение металла, знаменует собой первую начальную фазу процесса электрохимического полирования. Скорости формирования пленки и растворения в электролите близки, поэтому толщина ее мала. Металл переходит в раствор через промежуточную стадию превращения в окисел за счет преимущественного растворения на участках химической, структурной и микрогеометрической неоднородности, где пленка менее совершенна. При сглаживании относительно больших микровыступов основная роль принадлежит неравномерности распределения тока по

микрорельефу анода и концентрационным изменениям в прианодном слое электролита, которые проявляются в образовании солевой пленки с повышенной вязкостью. С уменьшением шероховатости поверхности роль этого механизма ослабевает и возрастает влияние процессов пассивации, адсорбации, что приводит к сглаживанию на уровне субмикрорельефа. Сказанное о механизмах сглаживания микрорельефа позволяет предположить, что введение дополнительного фактора механического разрушения пассивирующих пленок на выступах микрорельефа может резко активизировать его производительность, повысить количество деталей, обработанных в одном электролите. Таким фактором может стать ультразвуковое колебание обрабатываемой детали при модификации электролита в гетерогенную смесь с абразивом, который является одним из главных компонентов при организации совмещенной ультразвуковой и электрохимической обработки [1,2,3]. Нами была предложена математическая модель съема материала при совместном действии механизма электрохимического растворения и ультразвуковых колебаний анода. При этом были приняты следующие допущения:

- электродные потенциалы не изменяются по времени, что характерно для стационарного процесса;
- значение удельной теплопроводности также остается постоянным.

Процесс протекает при низких плотностях электрического тока, поэтому не сопровождается повышением температуры, кроме того УЗ колебания анода снижают возможные градиенты температуры и концентрации по нормали и обрабатываемой поверхности.

Учитывая принятые допущения, можно представить связь между основными параметрами обработки в виде линейного дифференциального уравнения первого порядка:

$$U = iR + Ld_i/d_t + (a + A\sin(\omega t + \psi_0))/S\delta,$$

где  $U$  - напряжение на электродах;  $R$  - активное сопротивление цепи;  $L$  - индуктивность цепи;  $i$  - величина тока в цепи;  $t$  - время;  $\omega$  - круговая частота ультразвуковых колебаний;  $A$  - амплитуда ультразвуковых колебаний;  $\psi_0$  - начальная фаза ультразвуковых колебаний;  $\delta$  - удельная электропроводность электролита;  $S$  - площадь электрода (обрабатываемой поверхности).

Решив данное уравнение, можно представить его в виде бесконечного ряда функций Бесселя. Моделирование процесса обработки на ПЭВМ при различных исходных данных позволило получить предполагаемые оптимальные значения параметров режима. Оптимизация проводилась по максимальной величине съема. Найдено, что наилучшие результаты достигаются при максимально возможной амплитуде системы и

частотном диапазоне 16...18 КГц. Диапазоны плотности тока ограничивались значениями 0,1...0,2 А/см<sup>2</sup> из соображений минимума шероховатости на основании проведенных нами ранее исследований "чистого" полирования. В экспериментальной части настоящих исследований определялось влияние соотношения между твердой и жидкой фазой в пастах - электролитах и шероховатостью получаемой в результате поверхности. Исследования проводились в стеклянном электролизере с двумя симметричными катодами. Анод из хромоникелевого сплава ЭП718ВД устанавливался в съемном держателе и фиксаторе на комкитраторе ультразвукового станка, обеспечивающего вертикальные колебания образца. Из параметров изменялись: время процесса, плотность тока и соотношение между твердой и жидкой фазой абразивно-электролитной пасты. Измерение шероховатости осуществлялось на профилографе-профилометре модели 250.

С целью выявления взаимосвязи между исходным состоянием обрабатываемой поверхности и шероховатостью после обработки контролировались обе стороны образца, предварительно обработанные на наждачной бумаге. Перед обработкой на установке образцы обезжиривались ацетоном, промывались водой, высушивались.

Результаты исследований оценивались на допущенную погрешность. Она складывалась из систематических и случайных ошибок измерения. Для сведения к минимуму систематических ошибок в измерениях использовались приборы, проходившие регулярную проверку.

В процессе эксперимента обеспечивалось постоянство условий по составу электролита (химическому), температуре, плотности тока.

Математическая обработка результатов исследований включала определение следующих характеристик изменений: среднеарифметической, являющейся точечной оценкой вычисляемого значения, погрешности результата серии изменений, показывающего отклонение среднего значения от истинного значения.

Для данного коэффициента надежности находились границы доверительного интервала показания истинного значения измеряемой величины. Точность опыта оценивалась через относительную погрешность результата серии экспериментов, определяемую как отношение отклонения от среднего к среднему.

На рис. 1...3 представлены результаты исследований процесса. Так на рис. 1 приведена зависимость шероховатости образцов от плотности тока при соотношении твердой и жидкой фазой электролита 2:1 (по объему). Как видно на рис. 1, увеличение плотности тока выше оптимального значения (0,16...0,17) ма/мм<sup>2</sup> происходит рост шероховатости по-

верхности образцов после обработки. Дальнейшие исследования процесса проводились в диапазоне плотности тока  $0,16...0,18 \text{ ма/мм}^2$ . Увеличение шероховатости на больших плотностях тока может быть объяснено вероятным снижением пассивирующего эффекта во впадинах микровыступов из-за диффузионных ограничений массопереноса.

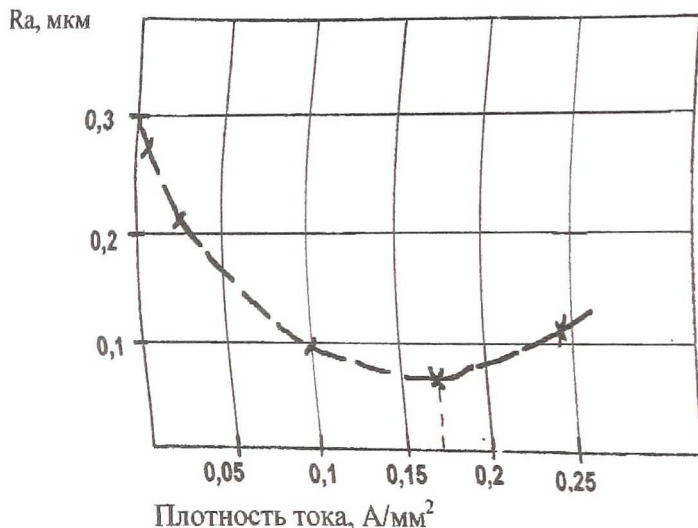


Рисунок 1 - Экспериментальная зависимость шероховатости поверхности образцов из сплава ЭП718ВД от плотности тока после обработки методом (ЭХО+УЗО).

На рис. 2 представлена зависимость изменения шероховатости от времени обработки. Видно, что увеличение времени обработки свыше 18...20 мин практически не изменяет достигнутой шероховатости поверхности. Поэтому время обработки в дальнейшем не превышало указанных значений.

На рис. 3 показаны зависимости изменения шероховатости образцов в зависимости от соотношения между твердой и жидкими фазами пасты для различных типов абразива.

Сравнение зависимостей показывает, что, во-первых, увеличение твердой фазы в составе пасты способствует быстрому достижению полирующего эффекта для различных абразивов (особенно для среднего абразива).



Рисунок 2 - Динамика снижения шероховатости поверхности образцов из сплава ЭП718ВД обработанных методом ЭХО+УЗО.

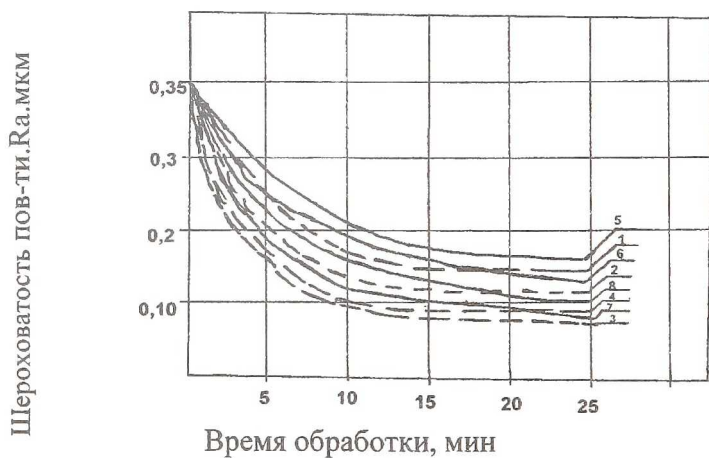


Рисунок 3 - Динамика снижения поверхности образцов из сплава ЭП718ВД, обработанных методом ЭХО+УЗО в пастах на основе мелкого и среднего абразивов при изменении соотношения твердой и жидкой составляющих:

1,2,3,4 - мелкий абразив; 5, 6, 7, 8 – средний абразив. Соотношение между твердой и жидкой фазами: 1,5 - 4:1; 2,6 - 5:1; 4,8 – 7:1.

Во-вторых, начиная с соотношения между твердой и жидкой фазой 5:1 при дальнейшем увеличении соотношения усиление полирующего эффекта ослабевает и при соотношении 7:1 шероховатость начинает снижаться медленнее. Усиление полирующих свойств при увеличении объема твердой фазы в пасте по-видимому можно объяснить увеличением доли абразивного съема, т.е. собственно ультразвуковой обработкой, активизирующей поверхность для электрохимического полирования. Ослабление полирующего эффекта при увеличении доли твердой фазы в пасте сверх 7:1 по объему объясняется, вероятно, ослаблением воздействия механизма электрохимического полирования на процесс. Это хорошо видно как в пастах со средним абразивом, так и с мелким.

Таким образом, исследование процесса электрохимической обработки поверхностей с наложением УЗ колебаний на образцы в абразивно-электролитных пастах на основе смеси  $(A)+H_3PO_4+H_2SO_4+CH_3COOH = 25 : 3 : 1,5 : 1$  (по объему) показали, что шероховатость обработанной поверхности сплава ЭП718BD снижается с значений  $Ra = 0,30$  мкм до  $Ra = 0,08...0,06$  мкм. При этом плотность тока поддерживается в диапазоне  $0,16...0,18$  Ма/мм<sup>2</sup>, частота колебаний концентратора 15...18 КГц, время экспозиции 10...12 мин.

#### Список литературы

1. Иванов Н.И., Рассказов В.П., Седыкин Ф.В. Ультразвуковая интенсификация прошивочных операций размерной электрохимической обработки. Физика и химия обработки материалов. 1969. 1. с. 38 -42.
2. Балезин С.А., Солок А.М. Деполяризующее действие ультразвука при травлении стали в растворах минеральных кислот. В кн.: Новое в электрохимической и электрофизической обработке материалов. Л.: Машиностроение, 1972
3. Электроискровая обработка материалов с наложением ультразвука /О.Н. Ковтарадзе, Е.Ю. Гай. - М.: 1982. - Вып. 3. Сер. Технология, организация производства и оборудования. - 24 с.