

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Левченко Д.А.^{1,2}, Рязанцев А.Ю.^{1,2}

¹АО «Конструкторское бюро химавтоматики», г. Воронеж, dima160201lev@mail.ru

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж

Ключевые слова: двигательные установки, лопатки, формообразование, качество поверхности, электрохимическая обработка.

Лопатки турбин ключевые элементы двигательных установок, работающие в экстремальных условиях высоких температур, динамических нагрузок и агрессивных сред. Качество поверхностного слоя этих деталей напрямую определяет их надёжность, ресурс и эффективность работы всей установки. Традиционные методы механической обработки такие как шлифование, полирование, часто не позволяют достичь требуемых параметров из-за сложной геометрии лопаток и высокой твердости материалов [1].

На машиностроительном предприятии разработан способ высокопроизводительной финишной обработки заготовок электрохимическим способом, основанном на анодном растворении металла в электролите под действием электрического тока, рис. 1. Заготовку лопатки 1 устанавливают между двумя профилированными электродами 2. Инструменты 2 и заготовку 1 подключают к источнику постоянного тока. В течении всего процесса между поверхностями электрода выдерживают зазор h , через который прокачивают электролит под давлением 3.

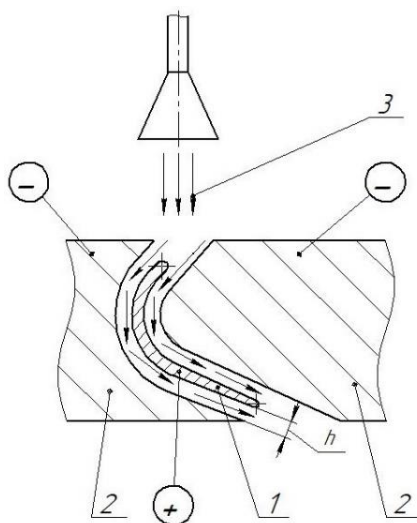


Рис. 1 – Схема электрохимической обработки:

1 – заготовка лопатки; 2 – профилированный электрод; 3 – электролит, h – зазор

Профилированные электроды, повторяющие внешние и внутренние контуры лопатки, при подаче тока обеспечивают формообразование профиля пера лопатки. Обработка осуществляется без контакта заготовки инструмента, что исключает появление микротрещин, прожигов, остаточных растягивающих напряжений. Способ обладает возможностью формообразования сложных профилей с точностью до $\pm 0,05$ мм, в следствии чего достигаются заданные аэродинамические свойства [2].

Основные этапы технологического процесса:

1. Подготовка поверхности, очистка от загрязнений, обезжиривание.
2. Выбор электролита, для никелевых сплавов применяют растворы NaCl, NaNO₂, Na₂SO₄.
3. Настройка параметров обработки.

4. Обработка, прохождение тока между инструментом-катодом и деталью-анодом в потоке электролита.

5. Промывка и нейтрализация, удаление остатков электролита, предотвращение коррозии.

6. Контроль качества поверхностного слоя, проверка шероховатости, геометрии, отсутствия дефектов

Преимуществами рассмотренного метода является обеспечение высокой точности обработки, минимальное изменение структуры материала детали, табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение методов чистовой обработки

Метод	Шероховатость Ra, мкм	Точность, мм	Влияние на структуру	Производительность
Шлифование	0,4-1,6	$\pm 0,02$	Прожиги, растягивающие напряжения	Средняя
Полирование	0,1-0,4	Зависит от формы	Минимальное	Низкая
Лазерная обработка	0,3-1,0	$\pm 0,1$	Термическое влияние	Высокая
Электрохимическая обработка	0,1-0,3	$\pm 0,05$	Отсутствуют	Высокая

Предложенный способ обработки лопаток турбин подходит для обработки жаропрочных сплавов на основе никеля, титановых сплавов и других труднообрабатываемых материалов, при этом обеспечивается равномерность обработки по всей поверхности независимо от сложности профиля детали.

Внедрение электрохимической обработки лопаток турбин позволяет:

- Снизить шероховатость на 30-50% по сравнению с шлифованием;
- Увеличить усталостную прочность на 15-25% за счет отсутствия растягивающих напряжений;

- Повысить ресурс лопаток на 20-40%;

- Сократить время финишной обработки на 30-60% для сложных профилей;

- Обрабатывать труднодоступные зоны без дополнительных операций.

Применение высокопроизводительного способа финишной обработки позволяет достичь высокой точности геометрических размеров, минимальной шероховатости и оптимальных механических свойств детали без негативного воздействия на структуру материала. Внедрение электрохимической обработки способствует повышению надежности и ресурса турбинных лопаток, что особенно важно для авиационных и энергетических установок. Дальнейшее развитие технологии открывает новые возможности для совершенствования процессов финишной обработки ответственных сложно-профильных деталей.

Список литературы

1. Рязанцев А.Ю., Юхневич С.С., Подшибякина В.А., Устинов К.А., Ломакин И.В. Разработка специальной технологии и средств технологического оснащения для изготовления лопаток турбин турбонасосного агрегата электрохимическим способом // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2025. – № 8. – С. 49-56.

2. Комбинированный метод обработки повысил качество лопаток для турбин ракетных двигателей (Пресс-служба РНФ). URL: <https://escf.ru/news/release/kombinirovannyu-metod-obrabotki-povysil-kachestvo-lopatok-dlya-turbin-raketnykh-dvigatelay-/?ysclid=mhafwwcwt3334408286>

Сведения об авторах

«Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-29-00085, <https://rscf.ru/project/25-29-00085/>»

Рязанцев Александр Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, начальник конструкторского отдела проектирования средств технологического оснащения АО «КБХА», доцент кафедры технологии машиностроения. ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (394006, Российская Федерация, ул. 20-летия Октября, 84, e-mail: ryazantsev86@rambler.ru).

Левченко Дмитрий Алексеевич – аспирант очного отделения Воронежского государственного технического университета, кафедра технологии машиностроения, инженер-конструктор акционерного общества «Конструкторское бюро хим. Автоматики» (394006, г. Воронеж ул. Ворошилова, 20, e-mail: dima160201lev@mail.ru)

ENSURING THE QUALITY OF THE SURFACE LAYER OF COMPLEX-SHAPED ENGINE COMPONENTS

Levchenko D.A.^{1,2}, Ryazantsev A.Yu.^{1,2}

¹Joint Stock Company «Konstruktorskoe Buro Khimavtomatiki», Voronezh,
dima160201lev@mail.ru

²Voronezh State Technical University

Keywords: propulsion systems, blades, shaping, surface quality, electrochemical processing

A high-performance method of processing the blades of engine turbine units based on anodic expansion without disrupting the metal structure is considered.