

УДК 629.7.015.4

## ДВУХЭТАПНАЯ ОБРАБОТКА ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА ГТД МЕТОДОМ СУХОГО ЭЛЕКТРОПОЛИРОВАНИЯ

Н.К. Криони<sup>1</sup>, А.Д. Мингажев<sup>2</sup>, А.А. Мингажева<sup>3</sup>, Р.К. Давлеткулов<sup>4</sup>

<sup>1</sup>mad-2007@yandex.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа

Поступила в редакцию 16.08.2023

**Аннотация.** В работе рассмотрена двухэтапная технология сухого электрополирования лопаток ГТД и экспериментальная установка для осуществления этого процесса. Приведены результаты сравнительных испытаний традиционной и разработанной технологий полирования деталей сложной конфигурации, а также сведения о конструкции установки для двухстадийного полирования лопаток ГТД. Показано, что двухэтапная технология обработки пера лопатки позволяет значительно повысить качество и однородность поверхности детали.

**Ключевые слова:** сухое электрополирование, лопатка, двухстадийная обработка, установка для полирования, шероховатость поверхности, однородность, дефекты.

### ВВЕДЕНИЕ

Повышение эксплуатационных характеристик деталей ГТД, работающих в условиях воздействия значительных циклических и статических нагрузок, таких, например, как лопатки компрессора, является одной из важнейших задач современного авиадвигателестроения [1]. Компрессор относится к наиболее сложному узлу ГТД, содержащему большое количество лопаток, относящимися к деталям сложной пространственной формы и определяющим ресурс двигателя в целом [2]. Качество обработки поверхности пера лопаток существенно влияет на их прочностные характеристики, так, например, повышение класса чистоты поверхности способствует увеличению предела выносливости и статической прочности лопаток [3]. Кроме того, развитая шероховатость поверхности лопаток приводит к ухудшению газодинамической устойчивости газотурбинного двигателя, к возрастанию аэродинамических потерь, приводящих к снижению КПД, к потере мощности, росту удельных расходов и к снижению экономичности двигателя или газотурбинной установки [4].

Производство и ремонт деталей газотурбинных двигателей и установок, в связи с высокими требованиями к качеству поверхности лопаток ( $Ra \leq 0,32 \dots 0,16$  мкм), характеризуется значительной трудоемкостью их финишной обработки [5]. Это вызывает проблемы при механической обработке поверхностей деталей турбомашин. В этой связи развитие технологий получения высококачественных поверхностей деталей турбомашин является весьма актуальной задачей.

Наиболее перспективными методами обработки деталей сложной формы, в частности, лопаток турбомашин являются электрохимические методы полирования поверхностей [6], при этом наибольший интерес для рассматриваемой области представляют методы электролитно-плазменного полирования (ЭПП) деталей [7].

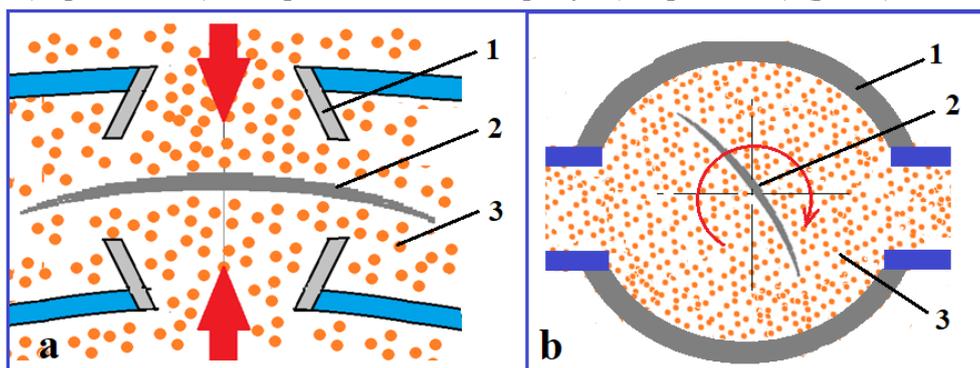
Однако существующие технологии полирования лопаток ГТД, основанные на механических или электрохимических методах обработки, по ряду причин не позволяют получить достаточно однородные параметры качества поверхностного слоя материала деталей сложной формы [8–10].

Появившиеся в последнее время технологии сухого электрополирования (СЭП), основанные на эффекте ионного уноса металла с поверхности детали с удалением микровыступов при подаче противоположного по знаку электрического потенциала на деталь и гранулы-аниониты, обеспечивает достаточно высокое качество обработки поверхности [11]. При этом метод СЭП не исчерпал своего потенциала, и его совершенствование в соответствии с обработкой деталей сложной формы является на сегодняшний день весьма актуальным.

#### ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ДВУХЭТАПНОГО СУХОГО ПОЛИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ГТД

Обработка деталей методом СЭП на установке *DLyte100PRO* (Испания) показала, что дальнейшее совершенствование технологии с целью повышения производительности и качества полирования деталей возможно за счет использования циркуляции потока гранул-анионитов.

В этой связи авторами применительно к лопаткам ГТД была разработана и исследована новая технология и установка СЭП [12]. Поскольку полирование лопатки в среде свободных гранул-анионитов [11] характеризуются наиболее интенсивным уносом материала с входной и выходной кромок пера лопатки, была предложена двухэтапная схема обработки СЭП в потоке гранул (первый этап) и в среде свободных гранул (второй этап) (рис.1).

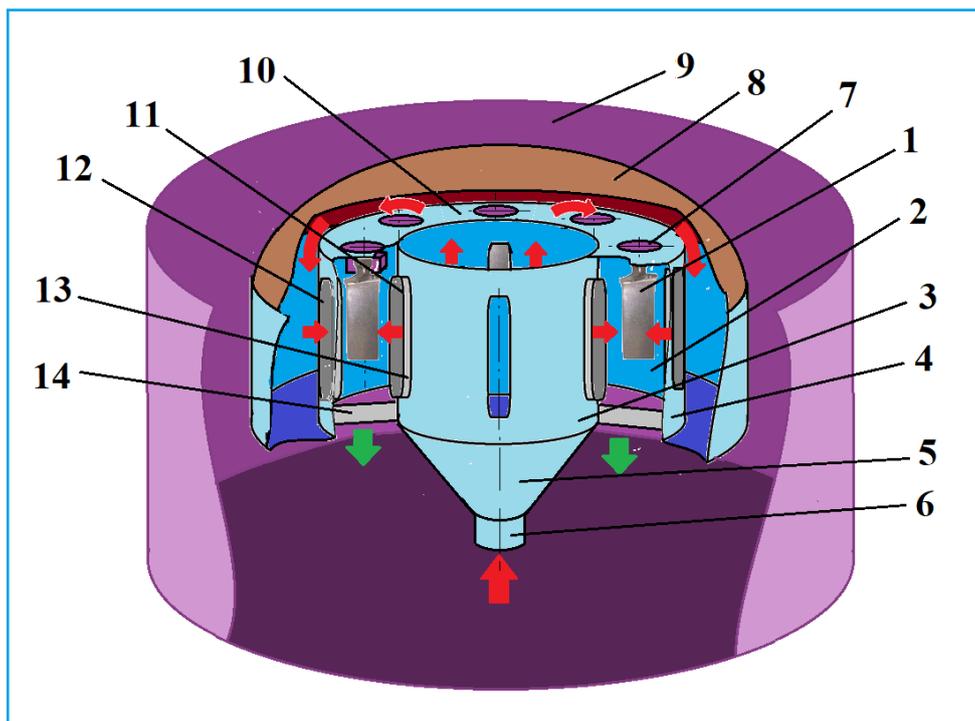


**Рис. 1.** Топливомасляный теплообменник:

*a* – этап струйной обработки корыта и спинки; *b* – этап обработки в свободных гранулах:  
1 – внешний электрод; 2 – лопатка; 3 – гранулы.

Наличие двух этапов обработки пера лопатки обеспечивает более благоприятные условия для протекания процессов электрохимического массообмена, вначале на труднодоступных участках пера лопатки (корыта и спинки), а затем на всей поверхности пера с преимущественной обработкой входной и выходной кромок, что обеспечивает более однородную обработку пера лопатки, а, следовательно, приводит к повышению качества и производительности сухого электрополирования. Этому также способствует близкое расположение внешних электродов к поверхности обрабатываемой лопатки, приводящее к снижению электрического сопротивления системы «электрод-гранулы-лопатка».

Для обеспечения вышеописанного двухэтапного полирования лопатки бала разработана установка СЭП (рис. 2).



б

**Рис. 2.** Схема установки для двухэтапной обработки лопатки ГТД методом СЭП:

1 – лопатка; 2 – рабочая емкость; 3 – внешняя обечайка рабочей емкости; 4 – внутренняя обечайка рабочей емкости; 5 – коллектор; 6 – шнековый щеточный питатель; 7 – держатель изделия; 8 – внешняя крышка рабочей емкости; 9 – основная камера установки; 10 – крышка рабочей емкости; 11 – окна внутренней обечайки; 12 – окна внешней обечайки; 13 – раструб электрод; 14 – опоры.

Работа установки для двухэтапной обработки лопатки ГТД методом СЭП осуществляется следующим образом (рис.2).

На держателе 7, расположенном на крышке рабочей емкости 10, закрепляют обрабатываемую деталь 1 и размещают ее в рабочую емкость 2, образованную в пространстве между двумя концентрично расположенными внутри основной камеры установки 9 обечайками 3 и 4. Для обеспечения попадания гранул-анионитов 15 через окна внешней обечайки 12 зона циркуляции гранул-анионитов 15 закрывается крышкой 8. Запускается шнековый щеточный питатель 6, обеспечивающий циркуляцию гранул-анионитов 15 внутри основной камеры установки 9 и их подачу на перо лопатки 1 через окна 11 и 12. При этом лопатку 1 располагают спинкой и корытом пера лопатки 1 в поперечном направлении к потоку гранул-анионитов 15, поступающих через противоположно расположенные окна 11 и 12. На обрабатываемую лопатку 1 и раструбы-электроды 13 подают электрический потенциал противоположного знака, обеспечивающий процесс полирования пера лопатки 1. Ширину окон 11 и 12 выбирают из условия обеспечения интенсивного полирования спинки и пера лопатки 1 без интенсивной обработки входной и выходной кромок лопатки 1. После окончания полирования спинки и корыта пера лопатки 1 лопатку переводят в зону обработки входной и выходной кромок пера лопатки 1. После размещения лопатки 1 в указанной зоне производят ее вращение относительно ее продольной оси и производят обработку входной и выходной кромок пера лопатки 1. При вращении лопатки 1 в зоне обработки входной и выходной кромок возникает интенсивное перемещение гранул-анионитов 15 относительно друг друга, а также относительно обрабатываемой лопатки 1 с преимущественной обработкой входной и выходной кромок пера. На втором этапе можно осуществлять либо вращение лопатки, либо обеспечивать ее колебание вокруг ее продольной оси, либо одновременно осуществлять ее вращение и колебание в среде гранул-анионитов 15 до получения заданной шероховатости на всей поверхности пера лопатки.

На всех этапах обработки пера лопатки 1 обеспечивают электрический контакт системы «лопатка – гранулы-аниониты – электрод» таким образом, чтобы вся обрабатываемая поверхность лопатки 1 была полностью погружена в рабочую среду из гранул-анионитов 15. В целях экономии материалов и энергии все элементы установки, кроме электродов 13 и 15, а также держателя изделий 7 и токоподводов, могут быть изготовлены из пластмассы. Наличие двух этапов обработки пера лопатки 1 обеспечивает благоприятные условия для протекания процессов электрохимического массобмена вначале на труднодоступных участках пера лопатки (корыта и спинки), а затем на всей поверхности пера с преимущественной обработкой входной и выходной кромок, что обеспечивает однородную обработку пера лопатки 1. Последнее обстоятельство приводит к повышению качества и производительности сухого электрополирования. Этому также способствует близкое расположение электродов 13 и 16 к поверхности обрабатываемой лопатки 1, приводящее к снижению электрического сопротивления системы «электрод-гранулы-лопатка». Шнековый питатель с щеточным шнеком позволяет обеспечить равномерную подачу гранул-анионитов в зону обработки лопатки без их механического повреждения. При циркуляции гранул-анионитов 15 после их выхода из зоны обработки лопатки 1 дополнительно при необходимости можно предусмотреть зону регенерации гранул-анионитов 15 за счет обновления их состава и подачи обратного электрического потенциала.

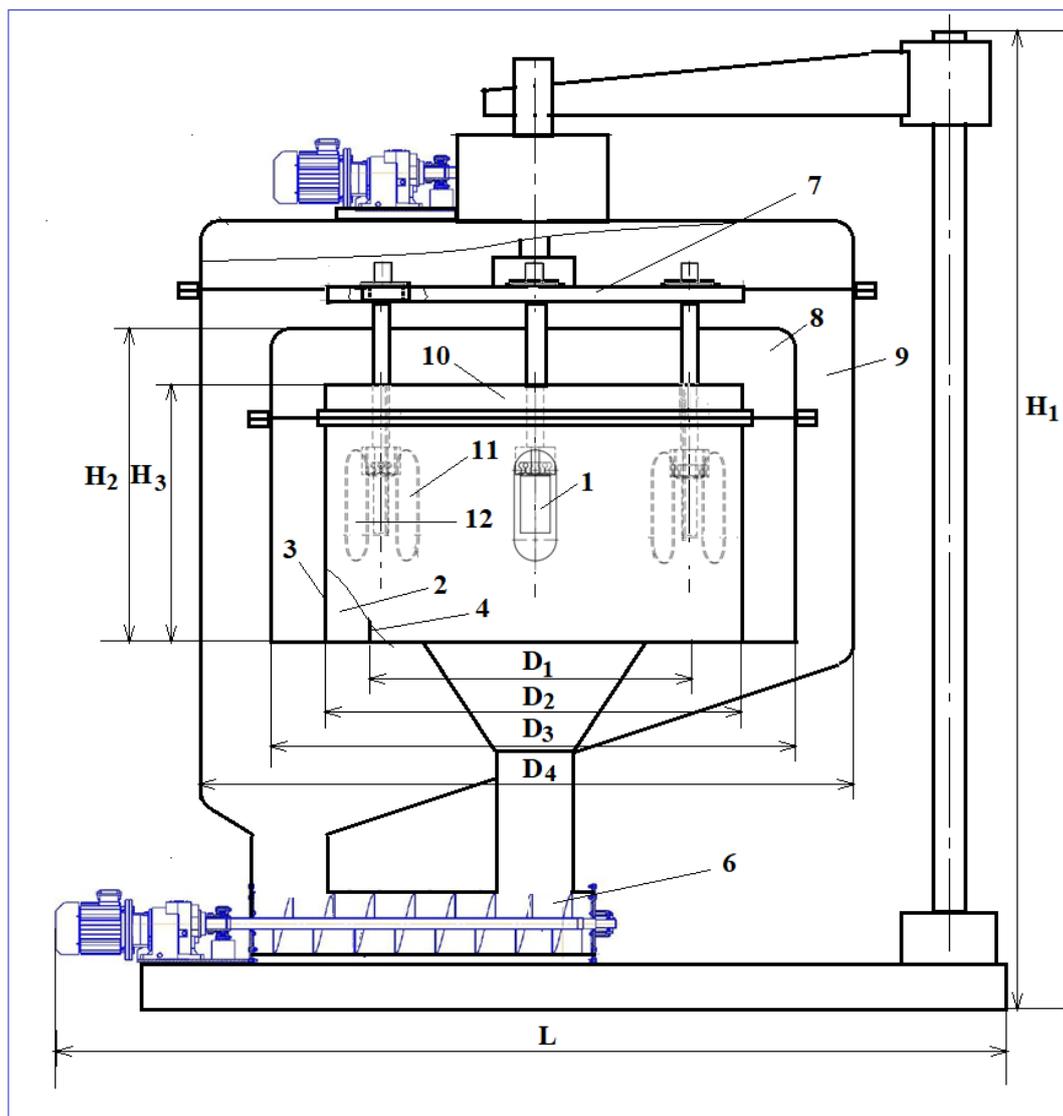
Для повышения однородности обработки, можно также дополнительно воздействовать на систему «электрод-гранулы-лопатка» вибрацией. Вибрационное движение лопатки 1 относительно электродов 13 и 16 можно осуществлять при возвратно-поступательном движении лопатки 1 вдоль ее продольной оси с частотой от 30 до 200 Гц, амплитудой от 0,1 до 5 мм.

Электрополирование лопатки 1 проводят посредством протекания электрохимических процессов (ионного уноса материала детали 1) между лопаткой 1 и электродами 13 или 16 через гранулы-аниониты, пропитанные раствором электролита, обеспечивающего их электропроводность и ионный унос металла с поверхности лопатки 1 с удалением с нее микровыступов.

В качестве гранул-анионитов используют ионообменные смолы, полученные на основе сополимеризации либо полистирола, либо полиакрилата и дивинилбензола. Средние размеры гранул-анионитов выбирают из диапазона от 0,05 до 0,6 мм.

Электрополирование проводят либо подавая на лопатку 1 положительный, а на электроды 13 или 16 отрицательный электрический потенциал величиной от 12 до 35 В, либо в импульсном режиме со сменой полярности при диапазоне частот импульсов от 20 до 100 Гц, периоде импульсов от 50 мкс до 10 мкс, при амплитуде тока положительной полярности во время импульса +50 А и их длительности 0,4 до 0,8 мкс, при амплитуде тока отрицательной полярности во время импульса - 20 А и их длительности 0,2 до 0,4 мкс, при прямоугольной форме выходных импульсов тока и длительности пауз между импульсами от 49,6 мкс до 9,2 мкс.

Процесс полирования осуществляли на экспериментальной установке СЭП (рис. 4). Использовались образцы лопаток из титанового сплава ВТ-6 с габаритами 94 x 46 мм.



**Рис. 3.** Схема экспериментальной установки для двухэтапной обработки лопатки ГТД методом СЭП:

1 – лопатка, 2 – рабочая емкость, 3 – внешняя обечайка рабочей емкости, 4 – внутренняя обечайка рабочей емкости, 5 – коллектор, 6 – шинковый щеточный питатель, 7 – держатель изделия, 8 – внешняя крышка рабочей емкости, 9 – основная камера установки, 10 – крышка рабочей емкости, 11 – окна внутренней обечайки, 12 – окна внешней обечайки.  $D_1$  – диаметр внутренней обечайки рабочей емкости ( $D_1 = 1000$  мм),  $D_2$  – диаметр внешней обечайки рабочей емкости ( $D_2 = 800$  мм),  $D_3$  – диаметр камеры рабочей емкости ( $D_3 = 1160$  мм),  $D_4$  – диаметр основной камеры установки ( $D_4 = 1220$  мм),  $H_1$ ,  $L$  – габариты установки ( $H_1 = 1300$  мм,  $L = 1600$  мм). Примечание: высота  $H_1$  может увеличиваться до  $H_1 = 1800$  мм за счет телескопической стойки при подъеме крышки установки с держателем изделий (7),  $H_2$  – высота камеры рабочей емкости ( $H_2 = 360$  мм),  $H_3$  – высота рабочей емкости ( $H_3 = 300$  мм).

В качестве источника электрического питания для электрополирования в установке использовался электрогенератор с независимыми переключателями, обеспечивающими возможность плавной настройки частоты генерации: в импульсном режиме со сменой полярности при диапазоне частот импульсов от 60 Гц, периоде импульсов 30 мкс, при амплитуде тока положительной полярности во время импульса +50 А и их длительности 0,8 мкс, при амплитуде тока отрицательной полярности во время импульса -20 А и их длительности 0,4 мкс, при прямоугольной форме выходных импульсов тока и длительности пауз между импульсами 49,6 мкс.

Блок управления источником питания включал цифровой делитель частоты, обеспечивающий регулировку длительности импульса выходного сигнала при помощи цифрового переключателя, и блок длительности импульсов с цифровым переключателем, блок электронных ключей, позволяющих включать нагрузку на заданное время (положительное или отрицательное напряжение) с амплитудным значением тока до 50 А. Источник питания подключался к сети 220 В/50 Гц переменного тока. Регулировка выходного положительного и отрицательного напряжения осуществляется с помощью автотрансформатора.

Для осуществления рабочих движений механизмов установки (держателя изделий) использовался планетарный механизм, приводимый в движение электродвигателем через редуктор. Обрабатываемые лопатки закреплялись на держателе изделий через их хвостовики в зажимах, закрепленных на планарном механизме. Держатель изделий осуществлял работу в двух режимах: без вращения лопаток, когда они устанавливались спинкой и корытом перед окнами 11 и 12, и с вращением, когда лопатки 1 приводились во вращательное движение относительно их продольных осей. Держатель изделий был рассчитан на одновременную обработку четырех лопаток и содержал соответственно четыре посадочных места. Для осуществления рабочих движений щеточного шнека 7 использовался электродвигатель с редуктором.

Окна для подачи гранул-анионитов в рабочую емкость на лопатки имели размеры 20 x 100 мм (где 20 мм – ширина окна, 100 мм – длина окна). Каждое окно снабжалось двумя внешними электродами 13 с размерами 6 x 100 мм.

Двухэтапная обработка пера лопатки проводилась следующим образом. Вначале осуществлялась подача потока гранул-анионитов на спинку и корыто пера лопатки при длительности обработки спинки и корыта до получения заданной шероховатости ( $Ra = 0,04$  мкм), затем на втором этапе – полная обработка всей поверхности пера при вращении лопатки вокруг ее продольной оси до достижения шероховатости поверхности  $Ra = 0,02$  мкм (рис. 4, таблица 2). Обороты при вращении лопатки вокруг своей продольной оси в режиме отработки входной и выходной кромок пера лопатки – 20 об/мин, общее время обработки лопатки – 80 мин (60 мин без вращения и 20 мин при вращении), вибрация – осциллирующие движения с частотой 50 Гц и амплитудой 3,5 мм (использовался вибратор с эксцентриком, закрепленный под рабочей емкостью установки).

При обработке по разработанной технологии дефекты в виде необработанных участков или изменение размеров пера лопатки из-за чрезмерного уноса материала с поверхностями входной и выходной кромок не обнаружены, а значения шероховатости колеблются от 0,020 мкм до 0,025 мкм (величина разброса значений шероховатости поверхности составляет  $Ra = 0,005$  мкм, что указывает на более высокую однородность полирования пера лопатки по предлагаемому способу на предлагаемой установке по сравнению с традиционной технологией [WO2017186992, DLyte100PRO]) (таблицы 1 и 2, Рис. 4).

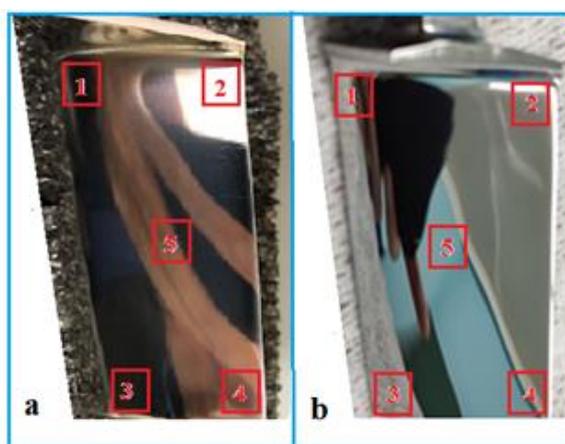


Рис. 4. Схема замера шероховатости поверхности на лопатке, обработанной по традиционной (а) и разработанной (б) технологии.

Таблица 1

**Лопатка, обработанная по традиционной технологии ( $Ra_{исх}=0,32$  мкм)**

№ зоны	Замер №1 $Ra$ , мкм	Замер №2 $Ra$ , мкм	Замер №3 $Ra$ , мкм	Средняя величина	Разброс значений
1	0,036	0,034	0,032	0,034	0,022
2	0,046	0,048	0,044	0,046	
3	0,023	0,025	0,026	0,024	
4	0,028	0,027	0,029	0,028	
5	0,032	0,029	0,031	0,03	

Таблица 1

**Лопатка, обработанная по традиционной технологии ( $Ra_{исх}=0,32$  мкм)**

№ зоны	Замер №1 $Ra$ , мкм	Замер №2 $Ra$ , мкм	Замер №3 $Ra$ , мкм	Средняя величина	Разброс значений
1	0,025	0,023	0,024	0,024	0,005
2	0,026	0,025	0,024	0,025	
3	0,021	0,02	0,02	0,02	
4	0,022	0,021	0,02	0,021	
5	0,024	0,022	0,021	0,022	

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Получившая в последнее десятилетие новая технология СЭП показала явные преимущества по сравнению с известными методами электрохимической обработки. В то же время применительно к деталям сложной конфигурации, таким как лопатки ГТД, традиционная технология СЭП нуждалась в новом подходе, поскольку его использование для обработки деталей ГТД является достаточно востребованным. Предложенная авторами технология и установка для двухэтапной обработки методом СЭП позволила решить существующую проблему обработки этим методом деталей сложной конфигурации, позволила значительно повысить однородность обработки пера лопатки ГТД, обеспечив разброс значений шероховатости поверхности от  $Ra = 0,022$  мкм (для традиционной технологии СЭП) до значений  $Ra = 0,005$  мкм при исходной шероховатости  $Ra_{исх} = 0,32$  мкм.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Петухов А.Н Особенности формирования свойств поверхностного слоя основных деталей ГТД при применении традиционных и современных методов упрочнения // Вестник двигателестроения, 2006. – № 2. – с. 20-24. [A.N. Petukhov. Features of the formation of the properties of the surface layer of the main parts of the gas turbine engine when using traditional and modern methods of hardening. (in Russian), Bulletin of Engine Building, 2006. No. 2. – pp. 20-24]
2. Сазонов М.Б., Соловацкая Л.В. Влияние напряженного состояния поверхностного слоя на выносливость лопаток компрессора газотурбинного двигателя // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2019. т. 18, № 1. с. 109-117. [M.B. Sazonov, I.V. Slovatskaya. The effect of the stressed state of the surface layer on the endurance of the compressor blades of a gas turbine engine. (in Russian), Vestnik of Samara University. Aerospace and mechanical engineering. 2019. vol. 18, no. 1. pp. 109-117.]
3. Макаров В.Ф., Бычина Е.Н., Чуюн А.О. Математическое моделирование процесса полирования лопаток газотурбинных двигателей // Авиационно-космическая техника и технология. №8 (85), 2011, С.11-14. [V.F. Makarov, E.N. Bychina, A.O. Chuyan. Mathematical modeling of the polishing process of gas turbine engine blades. (in Russian), Aerospace Engineering and Technology. No. 8 (85), 2011, pp. 11-14.
4. Хайруллин В.Т., Самохвалов Н.Ю., Тихонов А.С., Сендюрев С.И. Результаты экспериментального исследования лопаток турбин с различной поверхностной шероховатостью // Вестник ПНИПУ. Аэрокосмическая техника. 2015. № 42. с. 20- 33. [V.T. Khairullin, N.Yu. Samokhvalov, A.S.Tikhonov, S.I. Sendyurev. Results of an experimental study of turbine blades with different surface roughness. (in Russian), PNRPU Aerospace Engineering Bulletin. 2015. no. 42. pp. 20- 33.]
5. Петухов А.Н. Требования к свойствам поверхностного слоя деталей ГТД и ЭУ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 10. с. 61-76. [A.N. Petukhov. Requirements to the properties of the surface layer of the parts of the GTE and EC. (in Russian), Mining Informational and Analytical Bulletin. 2016. No. 10. pp. 61-76.]

6. **Грилихес С.Я.** Электрохимическое и химическое полирование: Теория и практика. Влияние на свойства металлов. Л., Машиностроение, 1987. [S.Ya. Griliches. Electrochemical and chemical polishing: Theory and practice. Influence on the properties of metals. (in Russian), Leningrad: Mashinostroyeniye, 1987.]

7. **Куликов И. С., Ващенко С. В., Каменев А. Я.** Электролитно-плазменная обработка материалов. Минск: Беларус. навука, 2010. 232 с. [I.S. Rulikov, S.V. Vashchenko, A.Ya. Kamenev, Electrolytic plasma process for materials, (in Russian). Minsk: Belarus. Navuka, 2010.]

8. **Качан А. Я., Богуслаев В. А., Мозговой В. Ф.** Финишные технологии деталей ГТД // Вестник двигателестроения. 2010. № 1. С. 71-78. [A. Ya. Kachan, V. A. Boguslaev, V. F. Mozgovoy, "Finishing technologies for gas turbine engine parts", (in Russian), in *Visnik Dvigunobuduvannya*, no. 1, pp. 71-78, 2010.]

9. **Долматов А. И., Курин М. А.** Перспективы развития финишных методов обработки в авиадвигателестроении // Авиационно-космическая техника и технология. 2007. № 6 (42). С. 59-62. [A. I. Dolmatov, M. A. Kurin, "Prospects for the development of finishing processing methods in aircraft engines", (in Russian), in *Aviacionno-Kosmicheskaya Tekhnika i Tekhnologiya*, no. 6 (42), pp. 59-62, 2007.]

10. **Павлинич С.П.** Перспективы применения импульсной электрохимической обработки в производстве деталей газотурбинных двигателей // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 11, № 2. С. 105-115. [S. P. Pavlinich, "Prospects for the use of pulsed electrochemical processing in the production of gas turbine engine parts", (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 11, no. 2, pp. 105-115, 2008.]

11. **Способ** выглаживания и полирования металлов посредством переноса ионов с помощью свободных твердых тел и твердые тела для осуществления указанного способа. / С. Миллет // Патент России № 2728367. Опубл. 29.07.2020. Бюл. 22. [S. Millet, "A method for smoothing and polishing metals by ion transfer using free solids and solids for the implementation of this method", (in Russian), Patent of Russia 2728367, 2020.]

12. **Мингажев А.Д., Криони Н.К., Мингажева А.А., Давлеткулов Р.К.** Способ сухого электрополирования лопатки турбомашин и установка для его реализации. // Полож. реш. от 21.05.2023 по заявке на изобретение № 2023103724. [A.D. Mingazhev, N.K. Krioni, A.A. Mingazheva, R.K. Davletkulov. The method of dry electropolishing the blades of a turbomachine and the installation for its implementation. (in Russian), Positive decision dated 21.05.2023 according to application for invention No. 2023103724.]

#### ОБ АВТОРАХ

**КРИОНИ Николай Константинович**, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения УУНиТ. Дипл. инж.-мех. по технол. машиностроения (УАИ, 1976). Д-р техн. наук по трению и износу в машинах (РГУНИГ им. акад. И.М. Губкина, 2005). Иссл. в обл. трибологии, контактного взаимодействия твердых тел, методов обеспечения надежности деталей ГТД и ГТУ.

**МИНГАЖЕВ Аскар Джамилевич**, доцент кафедры технология машиностроения УУНиТ. Дипл. инженер-механик (УНИ, 1977). Кандидат технических наук по жаростойким покрытиям (УАИ, 1987 г). Иссл. в обл. технологического обеспечения эксплуатационных характеристик деталей ГТД и ГТУ.

**МИНГАЖЕВА Алиса Аскарровна**, ассистент кафедры технологии машиностроения УУНиТ. Дипл. инженер-технолог (УГАТУ, 2010). Готовит дис. о повышении износостойкости трибосистем из легированных сталей азотированием при активации поверхностного слоя на основе учета закономерностей изнашивания.

**ДАВЛЕТКУЛОВ Раис Калимуллович**, старший преподаватель кафедры технология машиностроения УУНиТ. Дипл. инженер-механик (УАИ, 1974). Исследования и разработка технологий в области электрохимической обработки и сухого электрополирования изделий аэрокосмической техники.

#### METADATA

**Title:** Two stage processing of GTE compressor blades by dry Intensification of oil cooling by installing an air-oil heat exchanger in the bypass duct of a bypass turbojet engine.

**Authors** N. K. Krioni<sup>1</sup>, A. A. Mingazheva<sup>2</sup>, A. B. Mingazhev<sup>3</sup>, R. K. Davletkulov<sup>4</sup>

**Affiliation:**

Ufa University of Science and Technology (UUST), Russia.

**Email:** mad-20007@yandex.ru

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa University of Science and Technology), vol. 27, no. 3 (101), pp. 73-81, 2023. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** The paper considers a two-stage technology of dry electropolishing of GTE blades and an experimental installation for this process. The results of comparative tests of the traditional and developed technologies for polishing parts of complex configuration, as well as information about the design of the installation for two-stage polishing of the GTE blades are presented. It is shown that the two-stage processing technology of the blade airfoil can significantly improve the quality and uniformity of the surface of the part.

**Key words:** dry electropolishing, blade, two-stage processing, polishing unit, surface roughness, uniformity, defects

**About authors:**

**KRIONI, Nikolay Konstantinovich**, Professor at the Dept. of Mechanical Engineering, UUST. Dipl. of Mechanical Engineer in mechanical engineering (UAI, 1976). Dr. Techn. Sciences in the friction and wear in machines (Gubkin Russian State University of Oil and Gas, 2005). Studies in the area of tribology, contact interaction of solid bodies, methods for ensuring the reliability of gas-turbine engines and plants.

**MINGAZHEV, Askar Dzhamilevich**, Associate Professor at the Department of Mechanical Engineering, UUST. Diploma of Mechanical Engineer (UPI, 1977). Candidate of Technical Sciences in heat-resistant coatings (UAI, 1987). Studies in the field of technological support of the operational characteristics of the parts of gas-turbine engines and plants.

**MINGAZHEVA, Alisa Askarovna**, Assistant Professor at the Dept. of Mechanical Engineering, UUST. Dipl. of Technical Engineer (USATU, 2010). Prepares a dissertation on increasing the wear resistance of tribosystems made of alloyed steels by nitriding when activating the surface layer, based on wear regularities.

**DAVLETKULOV, Rais Kalimullovich**, Senior Lecturer at the Dept. of Mechanical Engineering, UUST. Dipl. of Mechanical Engineer (UAI, 1974). Research and development of technologies in the field of electrochemical processing and dry electropolishing of aerospace products.