

ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ В СКРЕЩЕННЫХ МАГНИТНЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

В. М. КУТЛУЕВ¹, А. Д. МИНГАЖЕВ², Н. И. ХАЙБУЛЛИНА³

¹ a-vladiclav@mail.ru, ² mad-2007@yandex.ru, ³ nuraniya.manapova@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Аннотация. В статье приведены результаты исследования использования электролитно-плазменной обработки кромок перфорационных отверстий после их лазерного прожига.

Ключевые слова: электролитно-плазменное полирование; перфорация отверстий; лазерная резка; отверстия малого диаметра.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение надежности и долговечности деталей ГТД требует разработки эффективных технологий их обработки. Постоянное ужесточение условий эксплуатации деталей ГТД, усложнение их конструкции, использование для изготовления деталей труднообрабатываемых материалов требует разработки высокоэффективных методов обработки, которые, как правило основываются на использовании новых физических принципов. Формирование требуемого качества поверхностного слоя сложнопрофильных деталей ГТД, предполагает преодолением ряда технологически проблем. Несмотря на существующее мнение о влиянии технологической наследственности на процесс формирования эксплуатационных характеристик деталей [1], тем не менее финишные операции, во всей технологической цепочке, являются наиболее значимыми [2].

Лопатки турбин обладают повышенной чувствительностью к концентраторам напряжения. Поэтому дефекты, образующиеся в процессе изготовления этих деталей, недопустимы, поскольку вызывают возникновение интенсивных процессов разрушения. Это вызывает проблемы при механической обработке поверхностей деталей турбомашин. В этой связи развитие способов получения высококачественных поверхностей деталей турбомашин является

весьма актуальной задачей. Широко известно, [3], что наиболее перспективными методами обработки лопаток турбомашин являются электрохимические методы полирования поверхностей. Технологии полирования металлических поверхностей, включают анодную обработку в электролите [4]. При этом, как показала практика, наибольший интерес для рассматриваемой области представляют методы электролитно-плазменного полирования (ЭПП) деталей, которые были впервые предложены в работе [5].

Технологии ЭПП деталей, включают следующие основные этапы: погружение детали в электролит, формирование вокруг обрабатываемой поверхности детали парогазовой оболочки и зажигание разряда между обрабатываемой деталью и электролитом путем подачи на обрабатываемую деталь электрического потенциала (6). В то же время, перечисленные методы ЭПП не позволяют в достаточной мере для сложнопрофильных деталей и деталей значительных размеров стабилизировать равномерность обработки поверхности детали.

В данной работе предлагается новый способ ЭПП с использованием эффекта скрещивания магнитных и электрических полей [7].

На деталь подают положительный электрический потенциал от 280 до 350 В и используют постоянное магнитное поле

напряженностью 50 - 500 кА /м или переменное магнитное поле напряженностью 50 - 500 кА /м. При обработки деталей из титанового сплава, в качестве электролита используют водный раствор с содержанием от 3 до 7 вес. % гидроксилamina солянокислого с содержанием от 0,7 до 0,8 вес.% NaF или KF, причем обработку детали ведут полированием до обеспечения шероховатости не ниже $Ra=0,08-0,12$ мкм при температуре от 74°C до 86°C. При обработке детали из никелевого или хромоникелевого сплава, в качестве электролита используют 4-8% водный раствор сульфата аммония, а обработку детали ведут полированием до обеспечения шероховатости не ниже $Ra=0,08-0,12$ мкм при температуре от 65°C до 80°C. При этом, магнитное поле создают электромагнитом, обеспечивающим равномерную напряженность магнитного поля по всей обрабатываемой поверхности пера лопатки. Наличие магнитного поля позволяет равномерно распределить заряженные частицы по обрабатываемой поверхности, а также повысить их концентрацию в области обрабатываемой поверхности за счет их «захвата» магнитным полем [8].

При осуществлении способа происходят следующие процессы. Под действием протекающих токов происходит нагрев поверхности детали и образование вокруг нее парогазовой оболочки. Излишняя теплота, возникающая при нагреве детали и электролита, отводится через систему охлаждения. При этом поддерживают заданную температуру процесса. Под действием электрического напряжения (электрического потенциала между деталью и электролитом) в парогазовой оболочке возникает разряд, представляющий из себя ионизированную электролитическую плазму, обеспечивающую протекание интенсивных химических и электрохимических реакций между обрабатываемой деталью и средой парогазовой оболочки. Наличие постоянного магнитного поля позволяет стабилизировать процессы обработки и повысить концентрацию ионов в парогазовой оболочке, что приводит также к повышению производительности процесса обработки.

При подаче положительного потенциала на деталь, в процессе протекания указанных реакций, происходит анодирование поверхности детали с одновременным химическим травлением образующегося окисла. При подаче положительного потенциала на деталь, в процессе протекания указанных реакций происходит анодирование поверхности детали с одновременным химическим травлением образующегося окисла. Причем при анодной поляризации парогазовый слой состоит из паров электролита, анионов и газообразного кислорода. Поскольку травление происходит, в основном, на микронеровностях, где образуется тонкий слой окисла, а процессы анодирования продолжаются, то в результате совместного действия этих факторов происходит уменьшение шероховатости обрабатываемой поверхности и, как следствие, полирование последней. При катодной поляризации парогазовая оболочка вокруг детали состоит из паров электролита, катионов и газообразного водорода, поэтому наряду с химическим взаимодействием катионов с материалом поверхностного слоя детали происходит возникновение в парогазовой оболочке микроискровых разрядов, что приводит к электроэрозионному и кавитационному воздействию на обрабатываемую поверхность.

Предложенный способ был применен для обработки перфорационных отверстий на прототипах лопаток с перфорационными отверстиями.

Для интенсивного охлаждения лопаток турбины на пера лопаток изготавливают значительное количество перфорационных отверстий [9]. Поэтому производительность процесса прошивки отверстий в деталях имеет весьма важное значение.

В настоящее время для обработки отверстий малого диаметра используются, в основном, лазерная или электроэрозионная прошивка, которые обладают высокой производительностью, практически не зависят от физико-механических свойств обрабатываемого материала и позволяют производить обработку жаропрочных сплавов [9 - 11]. Технологии обработки деталей, основанные на лазерном и электроэрозионном

методах характеризуются рядом преимуществ, таких как отсутствие механических усилий при обработке и возможностью автоматизации процесса. Однако при использовании указанных методов, в связи с присущими им высокотемпературными и эрозионными факторами, приводящими к возникновению дефектов в материале поверхностного слоя, возникает необходимость последующей обработки кромок отверстий и повышения качества поверхностного слоя.

Существующие технологии обработки отверстий не обеспечивают достаточно высокого качества материала поверхностного слоя или обладают низкой производительностью, а в ряде случаев являются сложными для обработки множества перфорационных отверстий.

Метод гидроабразивной обработки отверстий [12] хотя и обладают значительной производительностью, но из-за разницы в гидравлическом сопротивлении, расположенных на различных участках пера лопатки и отличающихся друг от друга размерными и геометрическими характеристиками перфорационных отверстий, приводят к неравномерности их обработки.

Метод кавитационной обработки приводит к возникновению дефектов, снижающих усталостные характеристики деталей, а ряд других методов [13] могут использоваться только при последовательной обработке отверстий, что при из значительном количестве [9] резко снижает производительность обработки.

В то же время, электролитно-плазменный метод обработки деталей [14, 15] обладает рядом характеристик, позволяющих использовать его для финишной обработки перфорационных отверстий на лопатках ГТД из жаропрочных сплавов. Это связано с рядом новых возможностей метода электролитно-плазменного полирования (ЭПП) по сравнению с традиционными технологиями электрохимической обработки (ЭХО). Основным отличием метода ЭПП от последнего является наличие парогазовой оболочки (ПГО) вокруг обрабатываемой детали, в которой, кроме химических и электрохимических процессов про-

исходят микродуговые и плазменные процессы [14]. Наличие плазмы в ПГО позволяет использовать магнитные и электрические поля для обработки поверхности детали и, в частности для финишной обработки перфорационных отверстий. В этой связи в настоящей работе была поставлена задача исследования процесса ЭПП поверхностей с перфорационными отверстиями.

Наличие острых кромок в перфорационных отверстиях, образующихся после их лазерной прошивки (рис.1) требует разработки технологий их удаления высокопроизводительными методами.

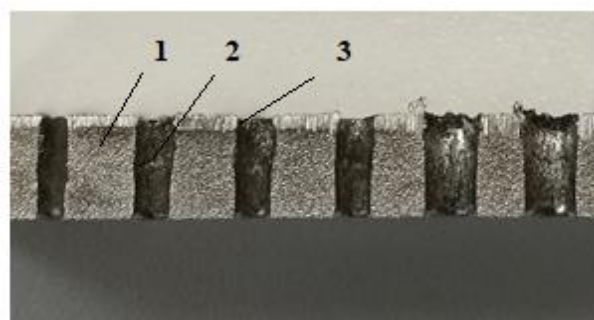


Рис. 1. Перфорационные отверстия, прошитые лазером (1 – пластина с перфорационными отверстиями, 2 перфорационные отверстия, 3 – наплывы на кромках)

Метод ЭПП позволяет производить обработку одновременно всей поверхности. При этом наличие наплывов на кромках отверстий и сами кромки способствуют концентрации электрических и магнитных полей (рис. 2).

В процессе ЭПП происходит интенсивный съем материала с выступающих участков поверхности обрабатываемой детали. В данном случае к таким участкам поверхности относятся кромки отверстий и наплывы на кромках, образованные в результате лазерной обработки.

Далее, в процессе полирования происходит постепенное удаление материала с кромок и их скругление (рис.2). Процесс скругления кромок перфорационных отверстий также объясняется повышенной концентрацией электрического поля на этих участках. По мере обработки, интенсивность электрического поля вокруг обрабатываемой детали с перфорационными отверстиями выравнивается.

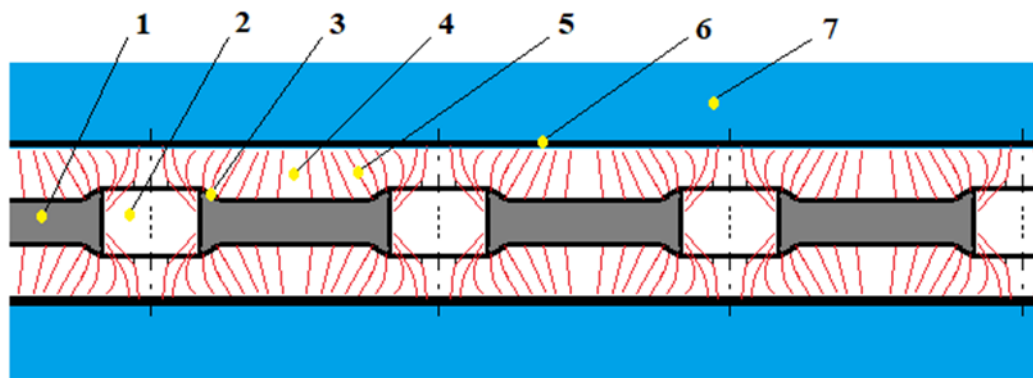


Рис. 2. Схематическая модель распределения электрического поля вокруг пластины с перфорационными отверстиями в процессе ЭПП (1 – пластина с перфорационными отверстиями, 2 – отверстие, 3 – напылы на кромках, 4 – паро-газовая оболочка (ПГО), 5 – электрическое поле, 6 – граница между электролитом и ПГО, 7 – электролит)

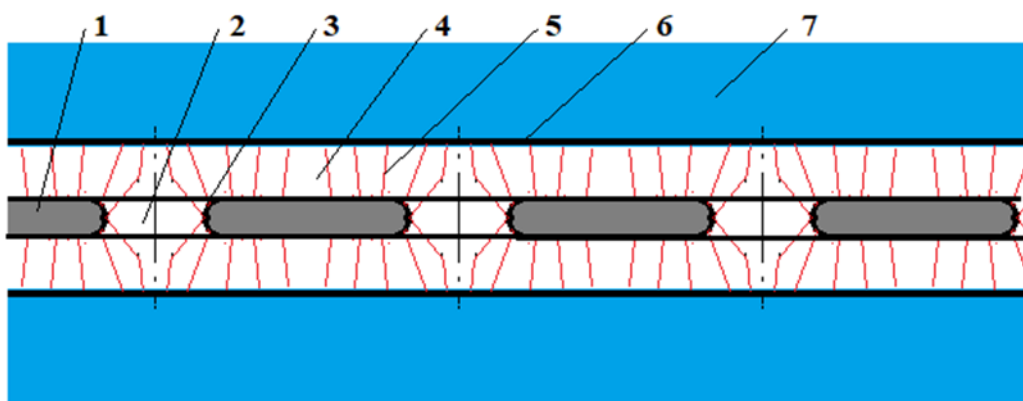


Рис. 3. Схематическая модель распределения электрического поля вокруг пластины с перфорационными отверстиями в процессе ЭПП после скругления краев отверстий (1 – пластина с перфорационными отверстиями, 2 – отверстие, 3 – скругления на кромках, 4 – ПГО, 5 – электрическое поле, 6 – граница между электролитом и ПГО, 7 – электролит)

Для оценки влияния ЭПП на обработку отверстий, были подготовлены образцы-пластины из нержавеющей стали марки X18N10T. В образцах-пластинах толщинами 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм и 8 мм, методом лазерного прожига были выполнены отверстия диаметрами 1 мм, 2 мм, 3 мм, 4 мм и 5 мм. После прожига образцы подвергались ЭПП

по различным режимам. До и после обработки образцы разрезались вдоль перфорационных отверстий и приготавливались шлифы для металлографических исследований.

В результате обработки методом ЭПП, происходило полирование не только кромок, но и их внутренней поверхности (рис. 4).

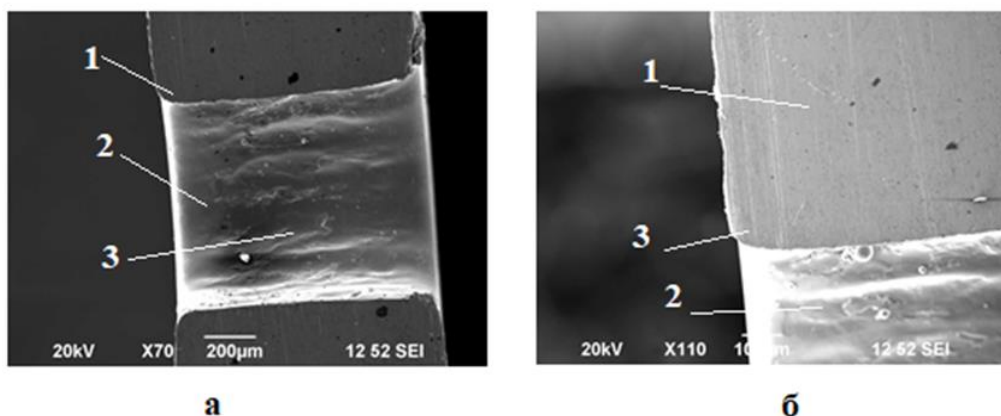


Рис. 4. Микрофотографии шлифов перфорационных отверстий, обработанных ЭПП (1 – образец с перфорационными отверстиями, 2 – перфорационное отверстие, 3 – скругленная кромка перфорационного отверстия)

На микрофотографиях шлифов перфорационных отверстий после их обработки ЭПП (рис. 4) можно наблюдать не только полированную поверхность кромок, но и то, что произошло удаление на них грубых наплывов от лазерного прожига. При этом, часть оставшихся наплывов от лазерного прожига наблюдается во внутренней поверхности перфорационного отверстия (рис. 4, а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Дальский А.М.**, Технологическая наследственность в машиностроительном производстве. Дальский А.М., Базров Б.М., Васильев А.С. и др. — Под ред. А.М. Дальского. Научное издание. — М.: Изд-во МАИ, 2000. — 364 с.: ил [A. M. Dalskey, Technological inheritance in engineering, (in Russian). Moscow: Moscow Aviation Institute "MAI", 2000.]
2. **Естигнеев М. И.**, Технология производства двигателей летательных аппаратов : [Учебник для авиац. спец. вузов] / М. И. Евстигнеев, А. В. Подзей, А. М. Сулима; Под общ. ред. А. В. Подзея. - М. : Машиностроение, 1982. — 263 с. [M. I. Estegneev, Technology for the production of aircraft engines, (in Russian). Moscow: Engineering, 1982.]
3. **Гриликес С.Я.**, Электрохимическое и химическое полирование : Теория и практика. Влияние на свойства металлов / С. Я. Гриликес. - 2-е изд., перераб. и доп. - Л. : Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1987. — 231,[1] с. : ил.; 22 см.; [С. Y. Grelehes, Electrochemical and chemical polishing: Theory and practice. Effect on the properties of metals, (in Russian). Leningrad: Engineering, 1982.]
4. Патент США N 5028304, кл. B23H 3/08, C25F 3/16, C25F 5/00, опубл. 02.07.91. [Patent USA N 5028304; 02.07.1991]
5. Патент ГДР (DD) № 238074 (A1), МПК C25F 3/16, опубл. 06.08.86. [Patent GDR № 238074 (A1); 06.08.1986]
6. Патент РФ № 2357019, МПК C25F 3/16. Опубл.: Бюл. № 15, 2009. [Patent Russian Federation № 2357019; 2009]
7. Заявка № 2019117184. СПОСОБ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ (Мингажев А.Д., Криони Н.К., Кутлуев В.М. и др.) От 03.06.2019 г. [Patent application № 2019117184. Method for electrolytic-plasma processing of parts; A. D. Mingazhev, N. K. Krioni, V. M. Kutluev; 03.06.2019]
8. **Арцимович Л.А.**, Физика плазмы для физиков. / Арцимович Л.А., Сагдеев Р.З., Москва: 1979. [L. A. Arcytmovich, Plasma Physics for Physicists, (in Russian). Moscow, 1979.]
9. **Алтынбаев А. К.**, Электроэрозионные методы обработки глубоких прецизионных отверстий в деталях авиационных двигателей / А. К. Алтынбаев, В. А. Гейкин, НТЦ «НИИД» ФГУП Московское машиностроительное производственное предприятие «Салют»/Металлообработка №6(18), 2003. [A. K. Altynbaev, Electroerosive methods for processing deep precision holes in aircraft engine parts, (in Russian). Moscow: STC "NIID" FSUE Moscow Machine-Building Production Enterprise "Salyut", 2003.]
10. **Елисеев Ю. С.**, Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлениям 652100 "Авиастроение" и 652200 "Двигатели летат. аппаратов" / [Ю.С. Елисеев и др.]; Под ред. Б.П. Саушкина. - М.,

2002. - 654, [1] с. : ил., табл.; 22 см [U. S. Eliseev, Physical and chemical manufacturing methods in production gas-turbine engines, (in Russian). Moscow, 2002.]

11. Патент США № 5,019,683. МПК B23H 1/00 ; B23H 9/14; B23H 9/00. [Patent USA № 5,019,683; Electroerosive drilling of holes with working fluid system. 1992]

12. Патент РФ № 2605402 МПК B24B 31/116 УСТАНОВКА ДЛЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК. Патентообладатель: ООО "Московское машиностроительное предприятие В.В. Чернышёва". 2016 г. [Patent Russian Federation № 2605402; Installation for hydroabrasive processing of workpieces. 2016.]

13. **Саушкин Б. П.**, Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей / Б. П. Саушкин. М.: ООО «Дрофа». 2002. - 655 с. [B. P. Saushkin, Physicochemical processing methods in the production of gas turbine engines, (in Russian). Moscow, 2002.]

14. **Баковец В. В.**, Плазменно-электролитическая анодная обработка металлов / В. В. Баковец, О. В. Поляков, И. П. Долговесова— Новосибирск: Наука. 1991.- 168 с. [V. V. Bakovets, Plasma-electrolytic anode treatment of metals, (in Russian). Novosibirsk: Science, 1991.]

15. **Амирханова Н.А.**, Исследования закономерностей электролитно-плазменного полирования жаропрочного сплава ЭП-718 / Н. А. Амирханова, В. А. Белоногов, Г. У. Белоногова. //Металлообработка-2003. № 6 [N. A. Amirhanova, Studies of the laws of electrolyte-plasma polishing of heat-resistant alloy EP-718, (in Russian). Sankt-Peterburg: Polytehnika, 2003.]

ОБ АВТОРАХ

КУТЛУЕВ Владислав Маратович, маг. каф. СЛАТ УГАТУ.

МИНГАЖЕВ Аскар Джамильевич, канд. техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения.

ХАЙБУЛЛИНА Нуруния Ильфатовна, маг. каф. ТМ УГАТУ.

METADATA

Title: Electrolyte-plasma treatment of parts in crossed magnetic and electric fields.

Authors: V. M. Kutluev¹, A. D. Mingazhev², N. I. Haybullina³.

Affiliation:

^{1,2} Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ¹ a-vladiclav@mail.ru, ² mad-2007@list.ru

Language: Russian.

Source: Molodezhnyj Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), no. 2 (23), pp. 67-71, 2020. ISSN 2225-9309 (Print).

Abstract: The article presents the results of a study of the use of electrolyte-plasma processing of the edges of perforations after their laser piercing.

Key words: Electrolyte-plasma polishing, hole punching, laser cutting, small diameter holes.

About authors:

KUTLUEV, Vladislav Maratovich, graduate student SLAT UGATU

MINGAZHEV, Askar Dzhamilievich, candidate of Technical Science, associate professor of Technology of Mechanical engineering.

HAYBULLINA, Nurania Ilfatovna, graduate student TM UGATU