



05.02.07 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ РАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ НА КАЧЕСТВО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

✉¹ **Болдырев Александр Иванович**
д.т.н., профессор кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета, (РФ)
e-mail: aiboldyrev@mail.ru

Болдырев Александр Александрович
к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета, (РФ)

Сухоруков Владимир Николаевич
к.т.н., доцент кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета, (РФ)

Стародубцев Игорь Геннадьевич
аспирант кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета, (РФ)

Аннотация.

В работе изложены результаты исследования влияния схем повода и отвода потока электролита и его параметров (давления электролита на входе P_{BX} и перепада давления Δp) на качество электрохимического формообразования отверстий в образцах из нержавеющей и титановых сплавов, применяемых при изготовлении деталей ракетно-космической техники. Показано, что изменение P_{BX} и Δp оказывает существенное влияние на качество формообразования отверстий. Экспериментально установлено, что предпочтительной является схема бокового подвода электролита.

INFLUENCE OF ELECTROLYTE FLOW PARAMETERS AT ELECTROCHEMICAL DIMENSIONAL PROCESSING ON THE QUALITY OF HOLE FORMATION IN PARTS OF ROCKET AND SPACE EQUIPMENT

✉¹ **Boldyrev Alexander Ivanovich**
doctor of technical sciences, professor at the engineering technology chair of the Voronezh state technical university, (RF)
e-mail: aiboldyrev@mail.ru

Boldyrev Alexander Alexandrovich
candidate of technical sciences, associate professor at the engineering technology chair of the Voronezh state technical university, (RF)

Sukhorukov Vladimir Nikolaevich
candidate of technical sciences, associate professor at the engineering technology chair of the Voronezh state technical university, (RF)

Starodubtsev Igor Gennadievich
postgraduate student at the engineering technology chair of the Voronezh state technical university, (RF)

Annotation.

This article presents the results of studying the influence of the circuits for driving and diverting the electrolyte flow and its parameters (electrolyte pressure at the inlet P_{in} and pressure drop Δp) on the quality of electrochemical holes formation in samples of stainless and titanium alloys used in the manufacture of parts for rocket and space equipment. It is shown that a change in P_{in} and Δp has a significant effect on the quality of hole shaping. It has been experimentally found that the scheme with the side electrolyte supply is preferable.

Ключевые слова: ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПРОШИВАНИЕ ОТВЕРСТИЙ, ПОДВОД ПОТОКА ЭЛЕКТРОЛИТА, НЕРЖАВЕЮЩИЕ И ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ.

Key words: ELECTROCHEMICAL HOLE FORMATION, ELECTROLYTE FLOW SUPPLY, STAINLESS AND TITANIUM ALLOYS.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Изделия ракетно-космической техники, как правило, изготавливаются из труднообрабатываемых материалов [1, 2] и характеризуются наличием большого количества разнообразных отверстий различных сечений и глубин, формообразование которых лезвийными металлорежущими инструментами связано с высокой себестоимостью их изготовления. В ряде случаев для формообразования отверстий целесообразно применять электрохимическую размерную обработку [3-5], которая при снижении общей трудоемкости позволяет стабильно получать отверстия требуемых показателей качества, указываемых на чертеже.

Основными физико-химическими параметрами, определяющими формообразование поверхностей при электрохимической размерной обработке, является электрическое поле и гидравлический режим течения электролита в зоне обработки. Ранее уже была обнаружена сложная взаимосвязь электрического поля и гидродинамики потока электролита [6, 7]. Так, изменение скорости циркуляции электролита в некотором диапазоне определяет вид вольт-амперной характеристики [8, 9]. В работах, как отечественных, так и зарубежных ученых, немецких ученых [10-12] приводятся экспериментальные данные о практически 50 %-ном изменении давления в рабочем зазоре при наложении электрического поля.

С режимами течения электролита неразрывно связаны и тепловые явления в межэлектродном промежутке, сопровождающие процесс анодного растворения металла при электрохимической размерной обработке и ведущие к нагреву электролита.

В работе [13], например, отмечается, что тепло образуется в основном за счет прохождения тока. Однако ранее при исследовании гидродинамики потока электролита для случая прошивки отверстий в условиях промышленного производства было установлено, что нагрев электролита происходит еще и за счет его дросселирования [14].

Исследование гидродинамики потока электролита при прошивании отверстий осуществлялось сначала на моделирующей установке без наложения электрического поля. Было установлено, что в результате дросселирования потока электролита в межэлектродном зазоре между электродом-инструментом (ЭИ) и обрабатываемым отверстием детали температура электролита возрастет и может достигать (при отсутствии принудительного охлаждения) температуры кипения.

Большое влияние на гидродинамику потока электролита, а, следовательно, и на протекающие процессы анодного растворения, оказывает способ подвода и отвода электролита в рабочую зону обработки [15]. На практике при формообразовании отверстий в деталях машин применяются два способа [16]: центральный, когда подвод электролита осуществляется через центральное отверстие трубчатого электрода-инструмента, а отвод – через боковой зазор между деталью и электродом-инструментом, и боковой, когда подвод электролита осуществляется через боковой зазор, а отвод – через центральное отверстие электрода-инструмента.

Работ, направленных на изучение вопроса о том, какая из схем обеспечивает более высокую точность и наиболее низкую шероховатость поверхностей отверстий, технологических рекомендаций о применении той или другой схемы недостаточно, что обуславливает проведение дополнительных исследований, направленных на изучение влияния параметров потока электролита при электрохимическом формообразовании отверстий.

2 Материалы и методы

На АО «Конструкторское бюро химавтоматики» (г. Воронеж) и в лаборатории кафедры технологии машиностроения Воронежского государственного технического университета

были проведены исследования по изучению влияния изменения гидравлических параметров потока электролита на формообразование отверстий при центральном и боковом подводе электролита. Комплекс экспериментальных исследований осуществлялся на материалах, применяемых при изготовлении деталей ракетно-космической техники: на нержавеющей сталях X18H9T и X18H10 по ГОСТ 5632-72, титановых сплавах ВТ 9, ВТ 20, ОТ 4-2 по ГОСТ 19807-91.

При обработке образцов из нержавеющей сталей эксперименты проводились при следующих исходных данных [17, 19]: диаметр электрода-инструмента d – 19,2 мм; материал электрода-инструмента и рабочего пояска – латунь ЛС 59-1; материал изоляции – эбонит; рабочее напряжение u – 12 В; межэлектродный зазор h – 0,4 мм; подача электрода-инструмента S – 0,45 мм/мин; электролит – 15 % NaCl + 10 % KNO₃ + 75 % H₂O.

При обработке образцов из титановых сплавов назначались следующие исходные данные [18,19]:

- диаметр электрода-инструмента d – 12 мм;
- материал электрода-инструмента и рабочего пояска – латунь ЛС 59-1;
- материал изоляции – эбонит;
- рабочее напряжение u – 18 В;
- межэлектродный зазор h – 0,4 мм;
- подача электрода-инструмента S – 1,4 мм/мин;
- электролит:
 - для ВТ 9 – (15 ± 1) % NaCl + (10 ± 1) % NH₄NO₃ + (75 ± 2) % H₂O,
 - для ВТ 20 – (17 ± 1) % NaCl + (8 ± 1) % NH₄NO₃ + (75 ± 2) % H₂O,
 - для ОТ 4-2 – (15 ± 1) % NaCl + (10 ± 1) % NH₄NO₃ + (75 ± 2) % H₂O.

Давление электролита на входе $P_{ВХ}$, на выходе $P_{ВЫХ}$ и перепад давления Δp имели значения, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели давлений

$P_{ВХ}$, МПа	$P_{ВЫХ}$, МПа	Δp , МПа	$\frac{P_{ВХ}}{P_{ВЫХ}}$
5,0	4,5	0,5	1,1
3,0	2,5	0,5	1,2
1,0	0,5	0,5	2,0
5,0	3,0	2,0	1,67
4,0	2,0	2,0	2,0
2,5	0,5	2,0	5,0
5,5	1,5	4,0	3,67
5,0	1,0	4,0	5,0
4,5	0,5	4,0	9,0

Исследования выполнялись на экспериментальной установке, состоящей из следующих основных узлов:

- станины, на которой устанавливались салазки, приводы, неподвижный кронштейн для закрепления электрода-инструмента, электроприборы и т.д.;
- подвижных салазок, имеющих ручное и механическое перемещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- шпинделя, расположенного в салазках. К шпинделю крепится трехкулачковый патрон, служащий для закрепления образцов;
- привода, осуществляющего перемещение салазок и вращение шпинделя. Привод состоит из электродвигателя и редуктора;
- неподвижного кронштейна, служащего для крепления электрода-инструмента и

входной камеры для подачи электролита;

- системы подвода и отвода электролита, включающей в себя насос, электромотор, фильтр, манометры, вентиль, емкость для электролита, трубопроводы;
- трубчатого змеевика для охлаждения электролита в емкости (хладоагентом служила вода с $t = 15-20^{\circ}\text{C}$);
- узла электрохимической размерной обработки отверстий.

Электрод-инструмент крепился к камере подвода электролита. Обрабатываемый образец устанавливался в трехкулачковом патроне. Для поддержания постоянной величины давления электролита на входе и его регулирования применялась выходная камера. Электроизоляция и предотвращение утечек электролита между выходной камерой и обрабатываемым образцом достигались установкой резиновых прокладок. Герметичность обеспечивалась посредством тяги прижимных планок.

Исследуемый образец состоял из двух половин (рис. 1), соединяемых по шлифованным поверхностям в обойме. При установке образца в патрон совпадение плоскости разреза образца с осью электрода-инструмента достигалось путем перемещения суппорта.

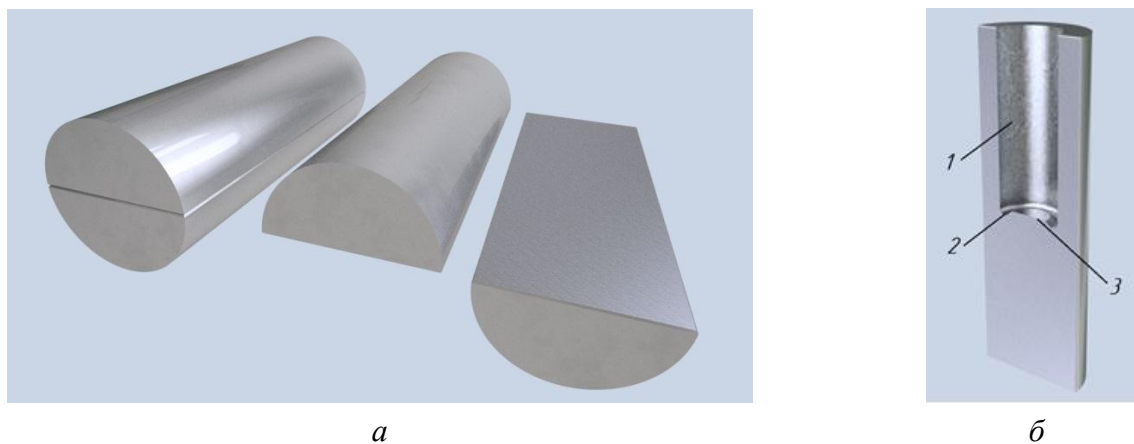


Рисунок 1 – Формообразование отверстий

Источником питания служил выпрямитель постоянного тока ТВ-600-12Т.

Величина давления электролита на входе $P_{ВХ}$ и на выходе $P_{ВЫХ}$ регулировалась вентилями и фиксировалась образцовыми манометрами пружинного типа с пределом измерения до 16 МПа.

Диаметры отверстий, полученных в образцах, замерялись через каждые 2 мм по глубине в интервале глубин 5-25 мм. Измерение диаметров полученных отверстий осуществлялось на универсальном измерительном микроскопе УИМ 21 с точностью 0,01 мм. Несовпадение плоскости разъемов образцов с осью электрода-инструмента контролировалась после обработки индикатором с точностью до 0,01 мм. В случае наличия несовпадения осей в результате замеров диаметра образцов на микроскопе вносились поправки. По полученным данным строились зависимости изменения величины диаметра отверстия по глубине при различных значениях гидравлических параметров потока электролита.

Для оценки шероховатости различных участков отверстий вся поверхность условно была разделена на три части (рис. 1): поверхность 1 – цилиндрический участок отверстия; поверхность 2 – участок перехода от цилиндра ко дну отверстия; поверхность 3 – дно отверстия.

3 Результаты исследований

Анализ шероховатости изготовленных отверстий в образцах из нержавеющей стали позволил установить следующее.

При центральном подводе электролита поверхность 1 образца имела шероховатость $R_a = 1,25-2,5$ мкм, поверхность 2 – $R_a = 0,63-1,25$ мкм, поверхность 3 – $R_a = 0,32-0,63$ мкм.

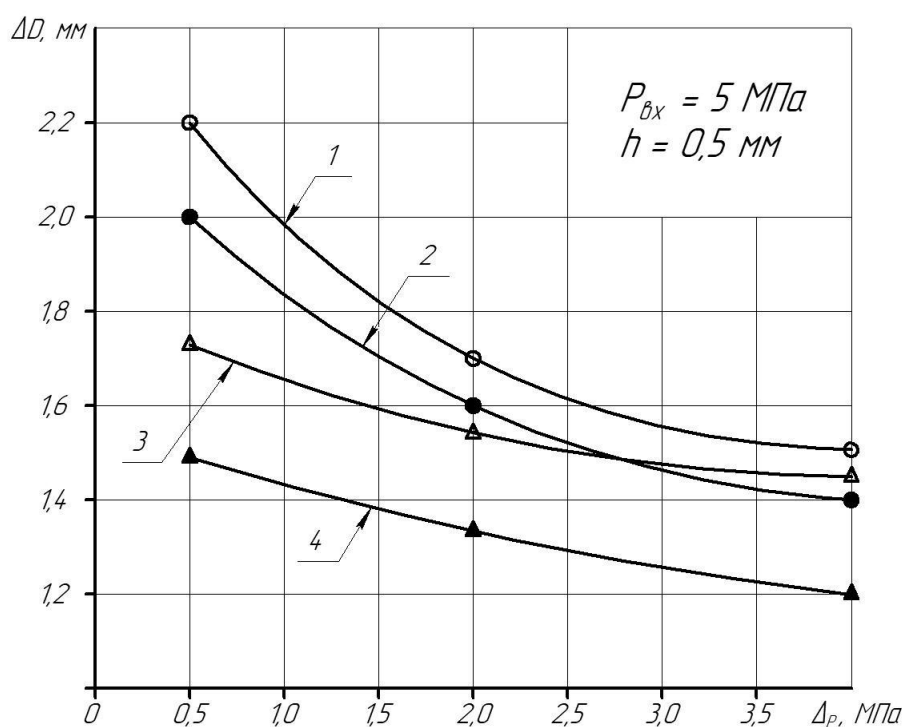
Следы сепарации потока имели место на поверхности 1 образца, на поверхности 2 следы сепарации потока отсутствовали, на поверхности 3 были заметны следы сепарации потока от центра к периферии.

При боковом подводе электролита высота микронеровностей примерно на один класс выше, чем при центральном. На поверхностях 2 и 3 образца заметны следы сепарации потока электролита, а на поверхности 1 они отсутствовали.

У образцов из титановых сплавов высота микронеровностей ниже при боковом подводе электролита и составляет для поверхностей 1, 2 и 3 – $R_a = 2,5$ мкм, $R_a = 1,25-2,5$ мкм, $R_a = 1,25$ мкм, соответственно.

Полученные результаты экспериментов согласуются с результатами исследований ученых Института прикладной физики (г. Кишинев) [20].

Изменение диаметра отверстий ΔD ($\Delta D = D_{\text{отв}} - D_{\text{эи}}$) от перепада давления Δp при центральном и боковом подводе для образцов из стали X18H9T и титанового сплава BT 9 представлено на рисунке 2.



1, 2 – образцы из стали X18H9T; 3, 4 – образцы из сплава BT 9;
1, 3 – центральный подвод электролита; 2, 4 – боковой подвод электролита

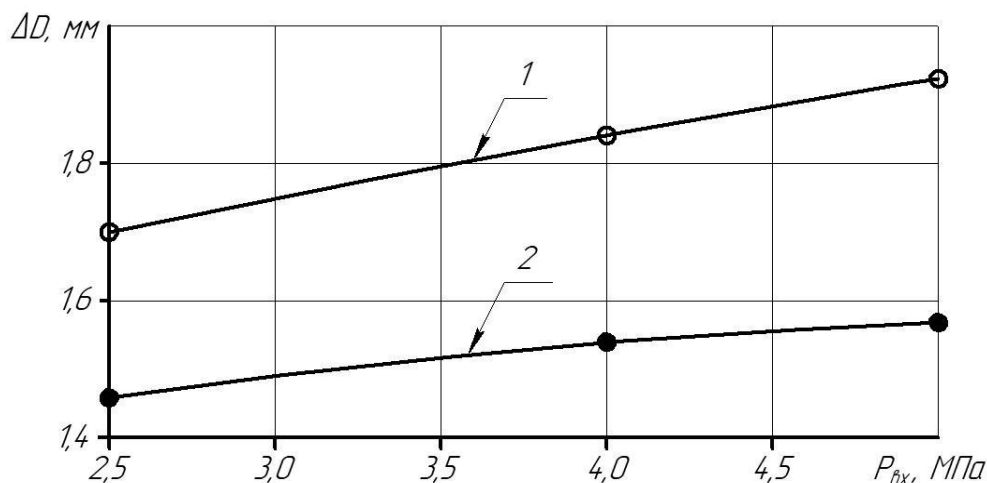
Рисунок 2 – Влияние перепада давления электролита Δp на разбивку отверстий ΔD

Анализ зависимостей показывает, что увеличение перепада давления Δp приводит к уменьшению разбивки ΔD . При малых значениях Δp ($\Delta p < 2,5-3,0$ МПа) его изменение сильнее сказывается на величине разбивки ΔD . Разбивка отверстий ΔD при одних и тех же значениях перепада давления Δp меньше при боковом подводе электролита.

Зависимость разбивки отверстий ΔD от величины давления на входе $P_{\text{вх}}$ при центральном подводе электролита представлена на рисунке 3. Видно, что увеличение давления $P_{\text{вх}}$ приводит к росту разбивки диаметра отверстий ΔD (при $\Delta p = \text{const}$).

Для бокового подвода электролита установлено, что величина ΔD для тех же значений $P_{\text{вх}}$ несколько меньше по сравнению с центральным.

Измерение волнистости поверхностей 1 отверстий показал, что ее величина находится в пределах погрешностей измерений на универсальном измерительном микроскопе УИМ 21.



1 – образцы из стали X18H9T; 2 – образцы из сплава ВТ 9

Рисунок 3 – Влияние величины подводимого давления электролита $P_{вх}$ на разбивку отверстий (центральный подвод)

4 Обсуждение и заключение

Проведенные экспериментальные исследования и анализ полученных результатов позволили сделать следующие выводы:

1 При обработке отверстий предпочтительной является схема бокового подвода электролита, т.к. она обеспечивает меньшую разбивку отверстий ΔD и меньшее поле рассеивания размеров.

2 Изменение гидравлических параметров потока электролита ($P_{вх}$, Δp) оказывает существенное влияние на точность формообразования.

3 Гидравлические параметры потока электролита практически не влияют на высоту микронеровностей отдельных участков поверхности полученных отверстий.

4 Для получения более высокой точности формообразования отверстий необходимо поддерживать постоянными значения $P_{вх}$ и Δp . Величина перепада давления потока электролита должна быть не менее 4 МПа.

Полученные результаты хорошо согласуются с результатами исследований других авторов, выполненных для конструкционных углеродистых сталей и цветных металлов на основе меди [21]. Разработаны технологические рекомендации, которые переданы для внедрения в действующее производство для изготовления деталей ракетно-космической техники.

Список литературы

1 Шаболдо, О. П. Материалы и технологии разработки АО «ЦНИИМ» для изделий авиационной и космической техники / О. П. Шаболдо, С. К. Гордеев, В. Б. Вихман, Д. А. Трубин // Материалы и технологии нового поколения для перспективных изделий авиационной и космической техники : материалы V Всероссийской научно-технической конференции (г. Москва, 19 июля 2021 г.). М. : ВИАМ, 2021. – С. 8-22.

2 Каблов, Е. И. Материалы для авиакосмической техники / Е. И. Каблов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2007, – № 5. – С. 7-27.

3 Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении : учеб. пособие / В. Ф. Безъязычный, М. Л. Кузьменко, В. Н. Крылов и др. : под общей ред. В. Ф. Безъязычного. М. : Машиностроение, 2007. – 539 с.

4 Теория электрических и физико-химических методов обработки. Ч. 1. Обработка материалов с применением инструмента : учеб. пособие / В. П. Смоленцев, А. И. Болдырев, Е. В. Смоленцев и др. : под ред. В. П. Смоленцева. Воронеж : ГОУ ВПО «Воронежский

государственный технический университет», 2008. – 248 с.

5 Современные технологии формообразования / В. А. Лебедев, А. И. Болдырев, М. А. Тамаркин, Ю. П. Анкудимов. М. : ИНФРА-М, 2019. – 320 с.

6 Смоленцев, В. П. Технология электрохимической обработки внутренних поверхностей / В. П. Смоленцев. М. : Машиностроение. 1978. – 176 с.

7 Колотыркин, Я. М. Аномальные явления при растворении металлов / Я. М. Колотыркин, Г. М. Флорианович // Итоги науки. Электрохимия, вып. 7. М. : ВИНТИ, 1981. – С. 5-64.

8 Серебрянникова, Н. В. Вольтамперометрия : учеб. пособие / Н. В. Серебрянникова, Н. В. Иванова. Кемерово : Кузбассвузиздат, 2007. – 81 с.

9 Scholz F. Electroanalytical methods / F. Scholz. Springer, 2002. – 331 p.

10 Де Ретт С. Применение ЭХО для производства прецизионных деталей / С. Де Ретт // Международный симпозиум по электрическим методам обработки. JSEM-8. М. : 1986. – С. 129-138.

11 Хуа Х. М. Исследование анодных процессов при импульсной ЭХО / Х. М. Хуа, З. Х. Лиу, Ю. Ц. Й. // Международный симпозиум по электрическим методам обработки. JSEM-8. М. : 1986. – С. 147-148.

12 Зайдман, Г. Н. Формообразование при электрохимической размерной обработке металлов / Г. Н. Зайдман, Ю. Н. Петров. Кишинев : Штиинца. 1990. – 190 с.

13 Амирханова, Н. А. Электрохимическая размерная обработка материалов в машиностроении : учеб. пособие / Н. А. Амирханова, А. Н. Зайцев, Р. А. Зарипов. Уфа : Уфимск. гос. авиац. ун-т, 2004. – 258 с.

14 Щербак, М. В. Основы теории и практики электрохимической обработки металлов и сплавов / М. В. Щербак, М. А. Толстая, А. П. Анисимов, М. В. Постановов. М. : Машиностроение, 1981. – 263 с.

15 Давыдов, А. Д. Влияние потока электролита на процесс электрохимической размерной обработки металлов / А. Д. Давыдов, В. Д. Кашеев, Б. Н. Кабанов // Физика и химия обработки материалов. 1979, – № 6. – С. 13-17.

16 Зайдман, Г. Н. Влияние гидродинамических условий потока электролита на процесс электрохимической размерной обработки металлов / Г. Н. Зайдман, Г. Л. Мочалова, Ю. Н. Петров // Физика и химия обработки материалов. 1980, – № 1. – С. 36-41.

17 Моница, М. А. Методика выбора электролитов при электрохимической размерной обработке / М. А. Моница, И. И. Мороз, Ю. С. Волков // Электрофизические методы обработки материалов. М. : МДНТП, 1982. – С. 8-12.

18 Саушкин, Б. П. Выбор и применение электролитов для электрохимической обработки металлов / Б. П. Саушкин. М. : ВНИИТЭМР, 1992. – 68 с.

19 Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки / Г. Л. Амитан, И. А. Байсупов, Ю. М. Барон и др. : под общ. ред. В. А. Волосатова. Л. : Машиностроение, 1988. – 719 с.

20 Зайдман, Г. Н. Формирование микрорельефа поверхности при ЭХО жаропрочных никель-хромовых сплавов / Г. Н. Зайдман, А. И. Дикусар, В. И. Петренко, Ю. Н. Петров // Электронная обработка материалов. 1978, – № 2. – С. 17-20.

21 Паршутин, В. В. Техно-экономические вопросы электрохимического формообразования / В. В. Паршутин, В. В. Бородин. Кишинев : Штиинца, 1981. – 128 с.

References

1 Shaboldo O. P. Materials and technologies for the development of JSC "TsNIIM" for products of aviation and space technology / O. P. Shaboldo, S. K. Gordeev, V. B. Vikhman, D. A. Trubin // Materials and technologies of a new generation for advanced products of aviation and space technology: materials of the V All-Russian Scientific and Technical Conference (Moscow,

July 19, 2021). М. : VIAM, 2021. S. 8-22.

2 Kablov E. I. Materials for aerospace engineering / E. I. Kablov // All materials. Encyclopedic reference. 2007, №. 5. S. 7-27.

3 Technological processes of mechanical and physical-chemical processing in aircraft engine building : textbook. allowance / V. F. Bezyazychny, M. L. Kuzmenko, V. N. Krylov and others : under the general editorship of V. F. Languageless. М. : Mashinostroenie, 2007. 539 p.

4 Theory of electrical and physical and chemical processing methods. Part 1. Processing of materials using the tool : textbook. allowance / V. P. Smolentsev, A. I. Boldyrev, E. V. Smolentsev and others : ed. V. P. Smolentsev. Voronezh : GOU VPO "Voronezh State Technical University", 2008. 248 p.

5 Modern technologies of shaping / V. A. Lebedev, A. I. Boldyrev, M. A. Tamarkin, Yu. P. Ankudimov. Moscow : INFRA-M, 2019. 320 p.

6 Smolentsev V. P. Technology of electrochemical treatment of internal surfaces / V. P. Smolentsev. М. : Mechanical engineering. 1978. 176 s.

7 Kolotyrykin Ya. M. Abnormal phenomena during the dissolution of metals / Ya. M. Kolotyrykin, G. M. Florianovich // Results of Science. Electrochemistry, vol. 7. М. : VINITI, 1981. S. 5-64.

8 Serebryannikova N. V. Voltammetry : textbook. allowance / N. V. Serebrennikova, N. V. Ivanova. Kemerovo : Kuzbassvuzizdat, 2007. 81 p.

9 Scholz F. Electroanalytical methods / F. Scholz. Springer, 2002. 331 p.

10 De Regt S. Application of ECHO for the production of precision parts / S. De Regt // International symposium on electrical processing methods. JSEM-8. М. : 1986. S. 129-138.

11 Xya X. M. Investigation of anodic processes during impulse ECHO / Kh. M. Xya, Z. Kh. Liu, Yu. Ts. J. // International Symposium on Electrical Processing Methods. JSEM-8. М. : 1986. S. 147-148.

12 Zaydman G. N. Formation during electrochemical dimensional processing of metals / G. N. Zaidman, Yu. N. Petrov. Chisinau: Shtiintsa. 1990. 190 s.

13 Amirkhanova N. A. Electrochemical dimensional processing of materials in mechanical engineering : textbook. allowance / N. A. Amirkhanova, A. N. Zaitsev, R. A. Zaripov. Ufa : Ufimsk. state Aviation un-t, 2004. 258 s.

14 Shcherbak M. V. Fundamentals of theory and practice of electrochemical processing of metals and alloys / M. V. Shcherbak, M. A. Tolstaya, A. P. Anisimov, M. V. Postanogov. М : Machine building, 1981. 263 s.

15 Davydov A. D. Influence of electrolyte flow on the process of electrochemical size processing of metals / A. D. Davydov, V. D. Kascheev, B. N. Kabanov // Physics and chemistry of material processing. 1979, №. 6. S. 13-17.

16 Zaydman G. N. Influence of hydrodynamic conditions of electrolyte flow on the process of electrochemical dimensional processing of metals / G. N. Zaidman, G. L. Mochalova, Yu. N. Petrov // Physics and chemistry of material processing. 1980, №. 1. S. 36-41.

17 Monina M. A. Methodology for choosing electrolytes in electrochemical dimensional processing / M. A. Monina, I. I. Moroz, Yu. S. Volkov // Electrophysical methods of materials processing. М. : MDNTP, 1982. S. 8-12.

18 Saushkin B. P. Choice and application of electrolytes for electrochemical treatment of metals / B. P. Saushkin. Moscow : VNIITEMR, 1992. 68 p.

19 Handbook of electrochemical and electrophysical processing methods / G. L. Amitan, I. A. Baysupov, Yu. M. Baron and others : under total. ed. V. A. Volosatova. L. : Mashinostroenie, 1988. 719 p.

20 Zaydman G. N. Formation of the surface microrelief during ECHO heat-resistant nickel-chromium alloys / G. N. Zaidman, A. I. Dikusar, V. I. Petrenko, Yu. N. Petrov // Electronic material processing. 1978, №. 2. S. 17-20.

21 Parshutin V. V. Technical and economic issues of electrochemical shaping / V. V. Parshutin, V. V. Borodin. Chisinau : Shtiintsa, 1981. 128 p.