

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ

Методические указания

к выполнению практических работ дисциплины

«Технологии физико-технической обработки материалов»

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ..	3
1. ТЕМАТИКА ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ»	4
2. ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ»	6
3. СТРУКТУРА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ»	7
ПРИЛОЖЕНИЯ.	15
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	29

ВВЕДЕНИЕ

Учебная дисциплина «Электрофизические и электрохимические методы обработки» является составной и неотъемлемой частью дисциплины «технология машиностроения» и базируется на ее теоретических положениях.

Решение задачи развития и совершенствования машиностроительного производства неразрывно связано с необходимостью совершенствовании технологии и техники обработки заготовок.

Анализ тенденций развития машиностроения в последнее время свидетельствует о возрастающей роли электрофизических и электрохимических методов обработки (ЭФХМО) как высокоточных, эффективных и экономичных, а нередко и как единственно возможных при обработке сложно профильных заготовок из высокопрочных и труднообрабатываемых материалов.

Основная цель дисциплины «Электрофизические и электрохимические методы обработки»-вооружить студентов знаниями о теоретических основах, технологических возможностях, принципах реализации ЭФХМО в соответствии с информацией о современных научных и технических достижениях отечественного и зарубежного машиностроения в этой области.

Распределение учебных часов для студентов безотрывной формы обучения при изучении дисциплины «Электрофизические и электрохимические методы обработки». лекции (10 часов): лабораторные работы (8 часов), контрольная работа (7 часов), самостоятельная работа (24 часа).

Контрольная работа выполняется в виде пояснительной записки в соответствии с требованиями, изложенными в разделе 3 настоящих методических указаний. Содержание заданий к контрольной работе представлено в приложении 1.

1.ТЕМАТИКА ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ»

Тема 1 Введение. Понятие об электрофизической и электрохимической обработке. Цель и задачи дисциплины

Краткий исторический обзор. Роль ЭФХМО в машиностроительном производстве. Их достоинства и недостатки. Основные понятия и определения. Классификация ЭФХМО. Условные обозначения методов и технологических операций. Классификация ЭФХМО по характеру процессов, развивающихся при воздействии на заготовку электрического тока [1 - 4]

Тема 2. Электроэрозионная обработка

История возникновения электроэрозионной обработки (ЭЭО). Разновидности ЭЭО. Общее описание процесса электроэрозионного разрушения. Основные закономерности процесса ЭЭО. Производительность ЭЭО и факторы, влияющие на это нее. Точность размерной ЭЭО. Качество поверхности и состояние поверхностного слоя. Особенности технологического использования ЭЭО. Электроэрозионные станки, генераторы импульсов (ГИ) [1, 2, 4-7].

Тема 3. Электрохимическая обработка

Краткий исторический обзор. Сущность размерной электрохимической обработки (ЭХО). Ее достоинства и недостатки. Разновидности размерной ЭХО. Съем металла, пассивация обрабатываемой поверхности. Подбор электролита. Точность обработки. Качество поверхности и состояние поверхностного слоя. Производительность ЭХО и факторы, влияющие на нее. Особенности технологического использования размерной ЭХО. Электрохимические станки, источники питания [1, 2, 4].

Тема 4. Магнитно-абразивная обработка

Краткий исторический обзор. Сущность, классификация и кинематика процессов магнитно-абразивной обработки (МАО). Технологические параметры и закономерности МАО. Рабочие среды и смазочные охлаждающие жидкости (СОЖ), Магнитные индукторы. Средства технологического оснащения [4, 8,9].

Распределение часов по курсу лекций представлено в таблице 1.

1. Распределение часов по курсу лекций «Электрофизические и электрохимические методы обработки»

№ темы	Тема лекции	Количество часов
1	Введение. Понятие об электрофизической и электрохимической обработке. Цель и задачи дисциплины	1
2	Электроэрозионная обработка	4
3	Электрохимическая обработка.	3
4	Магнитно-абразивная обработка	2
Итого		10

2. ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

№ ПП	Наименование	Количество часов	Примечание
1	Исследование влияния условий ЭЭ0 на производительность обработки и качество отрезанных пластин (лабораторная работа N 1 по [10])	4	-
2	Исследование влияния элементов режима на износ электрода-проволоки (лабораторная работа №2 по [10])	2	-
3	Исследование влияния условий выполнения операции электро-контактного гравирования на глубину эрозионной лунки (лабораторная работа №3 по [10])	2	-
4	Исследование влияния условий МАО на шероховатость поверхности обработанных заготовок (лабораторная работа №по [10])	4	-
5	Исследование влияния элементов режима ультразвуковой очистки на качество очищенных деталей (лабораторная работа № 8 по [10])	2	Теоретические основы ультразвуковой очистки изучаются в рамках часов, отводимых на самостоятельную работу.
6	Подготовка управляющих программ электроэрозионного вырезания венцов зубчатых изделий на станках с (лабораторная работа № 4 по [11]).	2	-

Примечание суммарное количество часов на одного студента не должно превышать
восьми.

3. СТРУКТУРА КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ»

2.1. Общие положения

Выполнение практикума имеет цель оказать содействие студенту безотрывной формы обучения в освоении необходимых объемов знаний из теоретической части курса и приобретении практических навыков технологической подготовки операций электрофизической и электрохимической размерной обработки заготовок (например, расчета режима обработки, нормирования процесса обработки, выбора технологического оборудования). Эти навыки будут необходимы в практической инженерной деятельности, а также при выполнении соответствующих разделов курсовой работы по технологии машиностроения и дипломного проекта (например, при разработке технологических эскизов размерной обработки заготовок)

В практикум по дисциплине входит решение четырех задач по расчету технологических параметров размерной ЭЭО (задача № 1 и № 2), ЭХО (задача № 3) и МАО (задача № 4) в соответствии с вариантом задания на выполнение работы (приложение 1).

Варианты задания выбирают согласно первой буквы Фамилии студента. Согласно таблицы 1.

Таблица 1

А	Б	В	Г	Д	Е	Ё	Ж	З	И
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Й	К	Л	М	Н	О	П	Р	С	Т
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

У	Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Э	Ю	Я
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Практическую работу оформляют в виде Отчета в формате пояснительной записки (ПЗ) которая должна включать в себя титульный лист (приложение 2), задание на контрольную работу (приложение 3). содержание, введение, основную часть (решение поставленных задач с приведением необходимых пояснений, математических зависимостей, результатов промежуточных и окончательных расчетов с указанием единиц измерения физических величин), заключение, список использованной литературы, оформленный в соответствии с ГОСТ 7.1-84. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления.

Текст ПЗ должен быть написан аккуратно, одним цветом и размещен на обеих сторонах листа белой бумаги формата А4 (210 х 297 мм) Поля оставляют со всех четырех сторон листа: левое 30 мм, правое -10 мм, верхнее и нижнее- 20 мм. ПЗ оформляют в соответствии с ГОСТ 1.32-91. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

3.2. Методика расчета электрических показателей электроэрозионной обработки заготовок

К электрическим показателям ЭЭО относятся энергия импульсов A_u , частота следования импульсов f , емкость зарядного конденсатора C , сила тока короткого замыкания I_K , среднее значение силы тока I_{cp} , длительность импульсов τ_u , период повторения импульсов τ_{np} , скважность импульсов q , напряжение холостого хода U_{xx} , и среднее напряжение пробоя U_{np} .

Для всех способов ЭЭО, в том числе и для ЭЭО проволочным электродом-инструментом (ЭИ) (рис. 1), нашедшей наиболее широкое применение, элементарные профили, получаемых поверхности обрабатываемой заготовки, и их размеры определяются формой и размерами единичных лунок, а также величиной их перекрытия. При этом диаметр D и глубина h , лунки зависят термического режима обработки [12]. Установив функциональную связь электрических показателей обработки с параметрами шероховатости, можно подобрать такой режим ЭЭО, при котором будут обеспечены заданные по рабочему чертежу детали значения высотных параметров шероховатости (R_u, R_z, R_{max}), а также может быть определена толщина дефектного слоя H после ЭЭО.

Согласно [2, 6], высоту микронеровностей по параметру R_u (мкм) можно определить по формуле

$$R_u = \frac{\beta_1^2}{20} * R_u * \sqrt[3]{A_u} \quad (1)$$

где β_1 - коэффициент перекрытия лунок; κ_u экспериментальный коэффициент, учитывающий материал обрабатываемых заготовок, $m/Дж^{0,333}$ A_u — энергия импульсов, Дж. Тогда, решая обратную задачу, получим зависимость для расчета энергии импульсов A_u .

$$A_u = \left(\frac{20 * R_z}{\beta_1^2 * \kappa_u} \right)^3 \quad (2)$$

где R_z , - нормированное значение параметра шероховатости, заданное по рабочему чертежу детали, мкм

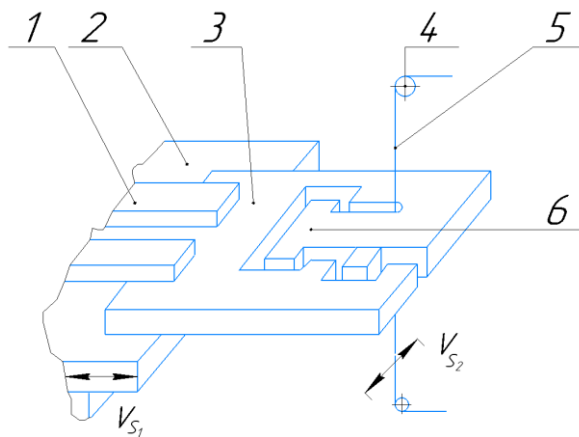


Рис 1 Кинематическая схема ЭЭО проволочным ЭИ

1 - прихват, 2-стол электроэрозионного станка; 3- заготовка (матрица); 4 - направляющий ролик проволочного ЭИ; 5- проволочный ЭИ; 6 - заготовка (пуансон), V_{s1} - движение подачи стола; V_{s2} - движение подачи проволочного ЭИ; ванна с диэлектрической рабочей жидкостью условно не показана.

С учетом того, что большинство вырезных станков оснащено релаксационными ГИ, параметры которых зависят от физического состояния межэлектродного промежутка (МЭП), остальные электрические показатели процесса ЭЭО проволочным ЭИ следует определять через емкость C (Ф) зарядного конденсатора [2]:

$$C = \frac{2 \cdot W}{U_{np}^2}, \quad (3)$$

Где U_{np} - среднее напряжение пробоя, В: $U_{np} \approx (0,50 - 0,75) U_{xx}$, где U_{xx} - напряжение холостого хода, В.

Силу тока короткого замыкания I_k (А) через емкость C (мкФ) определяют по формуле [2]:

$$I_k = 0,2 + 0,8 \cdot C \quad (4)$$

Согласно [2], среднее значение силы тока

$$I_{cp} \approx (0,50 - 0,75) I_k \quad (5)$$

(9) Частоту следования импульсов f (Гц) рассчитывают по зависимости [2]

$$f = \frac{U_{xx} \cdot I_{cp}}{A_u} \quad (6)$$

Далее рассчитывают период повторения τ_{np} (с) и длительность импульсов τ_u (с):

$$\tau_{np} = \frac{1}{f} \quad (7)$$

$$\tau_u = \frac{\tau_{np}}{q} \quad (8)$$

где q - скважность импульсов.

Значение энергии импульсов A_u , (Дж), удовлетворяющее условию обеспечения нормированного значения R_u , используют для определения толщины дефектного слоя H (мкм) [2];

$$H = \frac{3 \cdot \beta_1^2}{4} \cdot \kappa_u \cdot \sqrt[3]{A_u} \quad (9)$$

Величина H характеризует вероятность возникновения микротрещин на отработанной поверхности заготовки. Если $H > 100$ мкм, то, независимо от материала обрабатываемой заготовки, появление микротрещин неизбежно, что в свою очередь может повлиять на прочность и другие эксплуатационные свойства изготовленной с помощью ЭЭО детали.

Таким образом, вышеизложенная методика расчета позволяет определить, необходимые для обеспечения заданного качества обработанной поверхности заготовки показатели электрического режима размерной ЭЭО, который необходимо задать на ГИ вырезного станка.

3.3 Методика расчета технико-экономических показателей электроэрозионной обработки заготовок.

К основным технико-экономическим показателям ЭЭО проволочным ЭИ. относятся производительность Q , основное технологическое время обработки T_0 , суммарные энергозатраты A_Σ , расход проволочного ЭИ по массе M_u

, Производительность Q (мм³/мин) ЭЭО проволочным ЭИ [2, 6]

$$Q = \kappa_2 * \kappa_3 * U_{np} * (d_u + 2 * \delta_{МЭЗ}) * 60 * 10^3 \quad (10)$$

где κ_2 -экспериментальный безразмерный коэффициент, учитывающий диаметр d_u проволочного ЭИ, толщину заготовки, свойства материалов ЭИ и заготовки ; κ_3 - экспериментальный коэффициент; характеризующий свойства различных личных обрабатываемых материалов, м² (с*В* А), $\delta_{МЭЗ}$ -боковой межэлектродный зазор (МЭЗ), мм:

$$\delta_{МЭЗ} = 0,0745 * \left(\frac{I_{cp}}{f}\right)^{0,31}, \quad (11)$$

где f в кГц.

Основное технологическое время T_0 (мин) ЭЭО проволочным ЭИ рассчитывают по следующим зависимостям:

- при обработке по сплошному металлу (несформированной поверхности) или сформированной поверхности, когда $z_{min} > d_u$

$$T_0 = \frac{L * (d_u + 2 * \delta_{МЭЗ}) * b}{Q}, \quad (12)$$

- при обработке сформированной поверхности, когда $z_{min} < d_u$

$$T_0 = \frac{L * (z_{min} + \delta_{МЭЗ}) * b}{Q}, \quad (13)$$

где z_{min} - минимальный припуск на обработку по сформированной поверхности, мм: $z_{min} = R_{max} + H$, где R_{max} - наибольшая высота неровностей профиля, сформированных на предыдущей технологической операции размерной обработки, мм, b

толщина заготовки, мм; L-длина траектории проволочного ЭИ, мм (для упрощения может быть принята равной длине контура формируемой поверхности L_x)

Суммарные энергозатраты A_o . (кВт * ч) рассчитывают по зависимости

$$A_o = \frac{A_u * N_{имп}}{3600 * 10^3}, \quad (14)$$

где $N_{имп}$ - число импульсов, задействованных в электроэрозионном разрушении металла на обрабатываемой поверхности:

$$N_{имп} \approx \frac{T_0 * 60}{\tau_{пр}}$$

где T_0 в мин; $\tau_{пр}$ в с.

Расход M_u , (г) проволочного ЭИ при ЭЭО определяют по формуле

$$M_u = \pi * r_u^2 * v_{пр} * T_0 * \rho * 60 * 10^{-6} \quad (15)$$

Где r_u - радиус ЭИ, мм; $v_{пр}$ скорость перемотки ЭИ, мм/с, T_0 в мин, ρ - плотность материала проволочного ЭИ, кг/м³.
Параметры $A_u, U_{пр}, I_k, I_{ср}, f, \tau_{пр}$ Н определяют по методике, изложенной в п. 3.2 настоящих методических указаний в соответствии с заданием, указанным в табл. П. 1.1. Следовательно, решение задачи № 1 должно предшествовать решению задачи № 2.

Следует отметить, что показатели T_0, A_o, M_u , являются теми факторами влияния, от которых будет зависеть в итоге технологическая себестоимость операции ЭЭО и изделия в целом.

3.4. Методика расчета основных параметров электрохимической обработки

К основным параметрам ЭХО относятся скорость электрохимического анодного растворения металла с поверхности обрабатываемой заготовки v_n время обработки (электролиза) t_o , фактическая масса M_ϕ и объем растворенного металла V_o .

Скорость электрохимического растворения металла с поверхности обрабатываемой электродазаготовки (ЭЗ) v_n (см/мин) с учетом параметров установленного электрического режима, например, на наиболее распространенных операциях размерного электрохимического калибрования (ЭХК), удаления заусенцев (ЭХУЗ), маркирования (ЭХМ), полирования (ЭХП) и объемного копирования (ЭХОК) (рис. 2), можно определить по формуле [4]

$$v_n = \kappa_{v_{снл}} * i_a * \eta_a \quad (16)$$

где $\kappa_{v_{cнл}}$ - объемный электрохимический эквивалент материала ЭЗ, $см^3 / (А \text{ мин})$;
 i_a - плотности тока, $А/см^3$; η_a . коэффициент выхода металла по току.

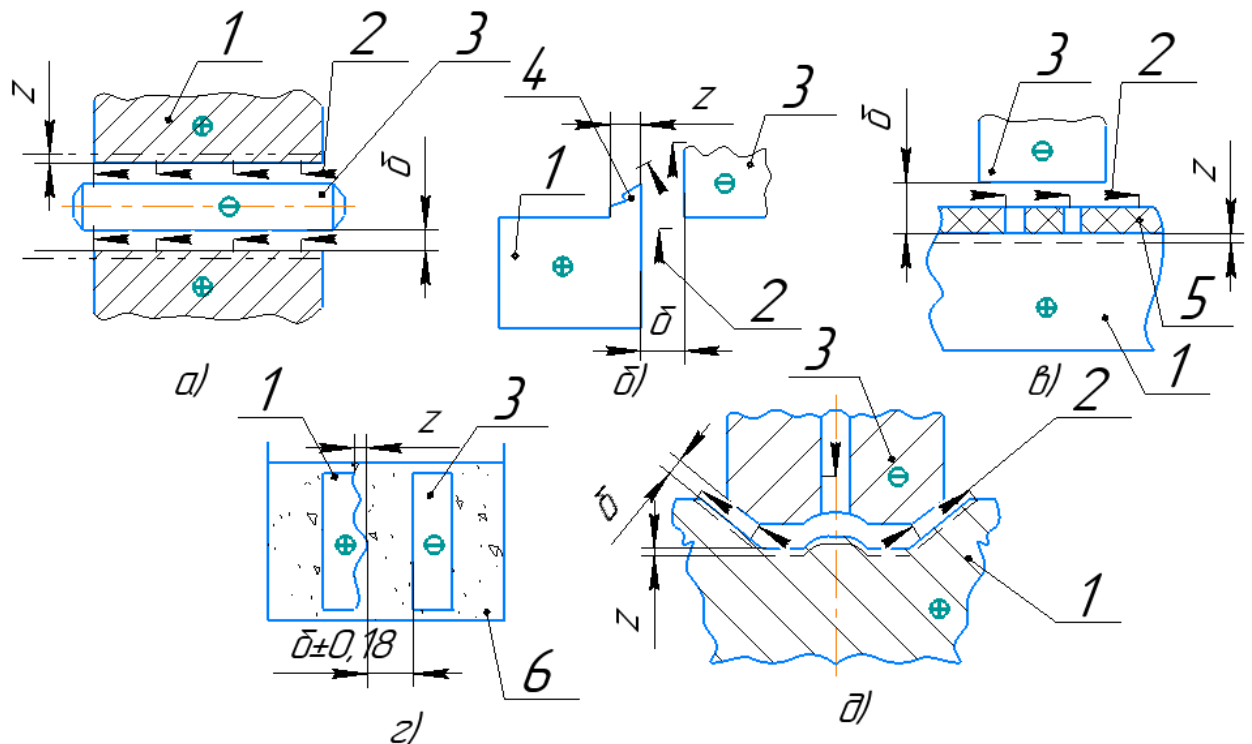


Рис. 2. Кинематические схемы разновидностей ЭХО: а, б, в, г, д - соответственно, электрохимическое калибрование, удаление заусенцев маркирование, полирование, объемное копирование; 1 - ЭЗ; 2 - направление движения электролита; 3-ЭИ; 4 - заусенец па поверхности ЭИ 5 - трафарет из диэлектрического материала; 6-ванна с электролитом; δ - МЭЗ; z - снимаемый припуск.

$$t_3 = \frac{z}{v_n} \quad (17)$$

где z - величина удаляемого припуска, см.

Фактическая масса растворенного металла M_{ϕ} , (г) [4];

$$M_{\phi} = \kappa_{cнл} * I * t_3 * \eta_a \quad (18)$$

где $\kappa_{впя}$ -Электрохимический эквивалент матернала ЭЗ, $г/(А \text{ млин})$; В I - сила тока источника питания электрохимического станка, А

Объем растворенного металла V_0 (см) [4]:

$$V_0 = \kappa_{v_{cнл}} * t_3 * \eta_a \quad (19)$$

Таким образом, параметры v_d , t_3 , M_{ϕ} , и V_0 являются параметрами оценки технико-экономической эффективности, от которых будет зависеть технологическая себестоимость операции размерной ЭХО.

3.5. Методика расчета основных параметров магнитно-абразивной обработки

Одной из наиболее распространенных операций МАО является полирование предварительно обработанных поверхностей заготовок (рис. 3).

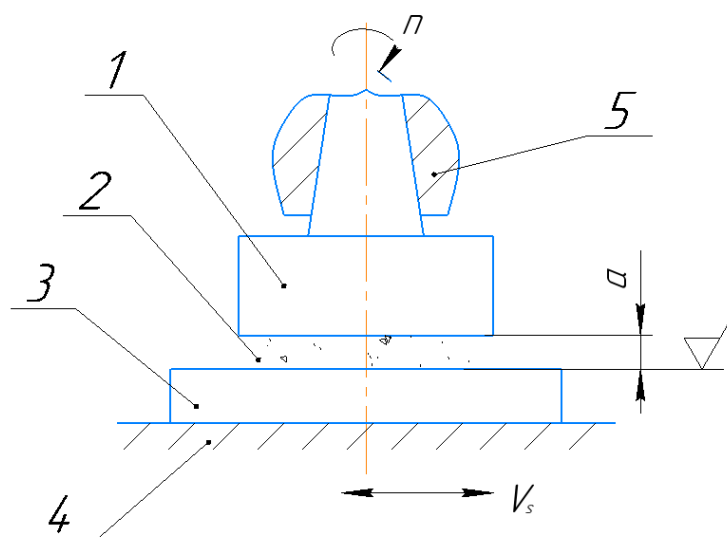


Рис 3 Кинематическая схема магнитно-абразивного полирования: 1-магнитный индуктор; 2- магнитно-абразивный порошок, 3- заготовка; 4 -стол станка; 5-шпиндель станка; n - главное движение (вращение магнитного индуктора с заданной частотой); v_s - движение подачи стола станка; a - рабочий зазор между индуктора и обрабатываемой поверхностью заготовки и поверхностью магнитного индуктора и обрабатываемой поверхностью заготовки.

Операция магнитно-абразивного полирования может быть реализована на станках моделей ЭУ -3, ЭУ -5, АС - 10.008.

К основным параметрам МАО относятся производительность Q , начальная производительность Q_1 производительность на i -м рабочем ходе Q_i . длительность обработки t , период стойкости порции магнитного порошка T .

Производительность Q (мг/см^2) определяют по формуле [4]:

$$Q = Q_1 * t^m \quad (20)$$

где Q_1 - начальная производительность, $\text{мг/}(\text{см}^2 * \text{мин})$; t - длительность обработки, мин; m - показатель степени, характеризующий затухание процесса МАО

Стойкость порции магнитно-абразивного порошка T (мин) рассчитывают по зависимости [4]:

$$T = \sqrt[i-m]{\frac{m * Q_1 * t}{Q_{min}}} \quad (21)$$

где Q_{min} - минимально допустимая производительность МАО, мг/(см²*мин)

При неоднократной замене порции магнитно-абразивного порошка за время t , формула (21) принимает вид

$$T = \frac{L}{v_s} \quad (22)$$

где L - длина поверхности, обработанной за один рабочий ход, на протяжении которой шероховатость не выходит за пределы R_a^{max} , мкм; v_s , скорость подачи заготовки, мм/мин.

Если МАО осуществляется за несколько рабочих ходов с увеличенной скоростью подачи v_s , то

$$T = \frac{L_{px}}{v_s} * \left(\frac{m}{\xi}\right)^{\frac{1}{m-1}}, \quad (23)$$

где L_{px} - длина рабочего хода, мм; ξ - коэффициент допустимого снижения производительности – $\xi = \frac{Q_i}{Q_1}$, где Q_i - производительность на i -м рабочем ходе, мг/(см² мин).

Таким образом, параметры Q , Q_1 , Q_i , t , T - параметры оценки технико-экономической эффективности операции МАО, предопределяющие ее технологическую себестоимость.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица П. 1.1

Варианты заданий к практическим и лабораторным работам

Задача № 1: Определить необходимые для обеспечения заданного качества обработанной поверхности заготовки показатели электрического режима ЭЭО. энергию импульсов $A_{и}$, емкость зарядного конденсатора C ГИ, среднее напряжение пробоя U_{np} , силу тока короткого замыкания I_k , среднее значение силы тока I_{cp} , частоту следования импульсов ГИ f , период повторения импульсов τ_{np} , длительность импульсов $\tau_{и}$, определить ожидаемую толщину дефектного слоя H и дать заключение о вероятности возникновения микротрещин на обработанной поверхности заготовки после ЭЭО.

№ варианта	$R_{a. \text{ Мкм}}$	β_1	$K_{иМ} / ДЖ^{0,333}$	q	U_{xx} В	Вид обработки	Материал заготовки	Модель станка	Модель ГИ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,3	1,5	55	14	110	предварительная	45	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
2	6,3	1,5	55	20	120	предварительная	45	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
3	3,2	1,4	50	10	25	предварительная	20Х	4532Ф3	ГКИ-250
4	3,2	1,4	50	15	40	предварительная	20Х	4532Ф3	ГКИ-250
5	3,2	1,4	70	20	50	предварительная	ХН77ЮР	МА4738Ф3	ГКИ-250
6	6,3	1,5	20	20	140	предварительная	ВК6	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
7	6,3	1,5	20	22	60	предварительная	ВК6	4531П	ГКИ-250
8	6,3	1,5	30	25	150	предварительная	ВК15	4735Ф3	ГКИ-300-200А
9	3,2	1,4	30	30	130	предварительная	ВК15	4732Ф3М	ГКИ-300-200А
10	6,3	1,5	130	17	110	предварительная	АЛ6	СВЭИ-7	ГКИ-300-200А
11	3,2	1,4	130	20	125	предварительная	АЛ6	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
12	6,3	1,5	110	15	55	предварительная	Д1	4532Ф3	ГКИ-250
13	12,5	1,5	110	40	160	предварительная	Д1	СВЭИ-7	ГКИ-300-200А
14	3,2	1,4	70	22	60	предварительная	М1	4532Ф3	ГКИ-250

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

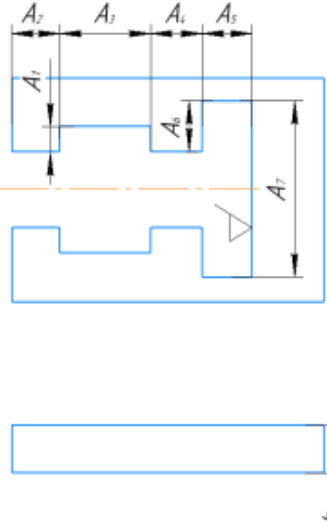
Окончание Табл П. 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	6,3	1,5	65	12	35	предварительная	M2	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
16	1,6	1,3	55	5	175	окончательная	45	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
17	1,6	1,3	55	6	180	окончательная	45	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
18	1,6	1,3	55	7	185	окончательная	45	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
19	3,2	1,3	50	8	190	окончательная	20X	СВЭИ-7	ГКИ-300-200А
20	1,6	1,3	50	9	195	окончательная	20X	СВЭИ-7	ГКИ-300-200А
21	0,8	1,2	50	4	200	окончательная	20X	СВЭИ-7	ГКИ-300-200А
22	0,8	1,2	20	3	175	окончательная	BK6	4532Ф3	ГКИ-300-200А
23	0,8	1,2	20	4	180	окончательная	BK6	4532Ф3	ГКИ-300-200А
24	0,8	1,2	20	5	185	окончательная	BK6	4532Ф3	ГКИ-300-200А
25	0,8	1,2	30	6	190	окончательная	BK15	4735Ф3	ГКИ-300-200А
26	0,4	1,1	30	7	195	окончательная	BK15	4735Ф3	ГКИ-300-200А
27	0,4	1,1	30	8	200	окончательная	BK15	4735Ф3	ГКИ-300-200А
28	0,4	1,1	110	9	180	окончательная	Д1	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
29	0,4	1,1	70	6	185	окончательная	M1	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А
30	0,4	1,1	130	8	200	окончательная	АЛ6	СВЭИ-2	ГКИ-300-200А

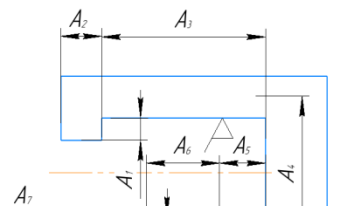
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Таблица П. 1.2

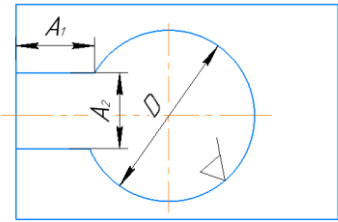
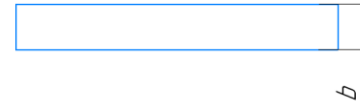
Задача № 2: Определить технико-экономические показатели ЭЭО заготовок: производительность Q , основное технологическое время T_0 , суммарные энергозатраты A_3 , расход ЭИ по массе M_H

№ варианта	K_2	$K_2 \cdot 10^{-10}, / (с \cdot В \cdot A)$	$d_{и}, мм$	$R_{max}, мм$	Вид обработки	$r_{и}$	$v_{пр}$	ρ	Эскиз вырезаемой заготовки (контур внутренний)	Размеры, мм							
										A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	b
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1,02	5,87	0,25	-	Предварительная по сплошному металлу	0,125	25	8440 (Л63)		4	8	12	9	10	7	25	3
2	1,05	5,87	0,30	-		0,15	30	8440 (Л63)		6	10	14	11	12	9	27	5
3	1,02	6,00	0,25	-		0,125	15	8600 (Л63)		8	12	16	13	14	11	29	7
4	1,05	6,00	0,30	-		0,15	20	8600 (Л63)		10	14	18	15	16	13	31	9
5	1,02	5,87	0,25			0,125	15	8440 (Л63)		12	16	20	17	18	15	33	11

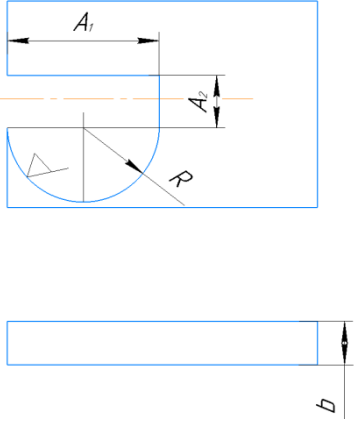
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1
Продолжение Таблица П. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
6	1,05	5,00	0,30	0,07	Предварительная по сформированной поверхности	0,15	30	8600 (Л68)		5	10	30	25	7	15	12	20
7	1,03	5,00	0,25	0,07		0,125	10	8600 (Л68)		7	12	32	27	9	17	14	25
8	1,01	5,23	0,30	0,07		0,15	12	8440 (Л63)		9	14	34	29	11	19	16	30
9	1,00	5,23	0,25	0,07		0,125	15	8440 (Л63)		11	16	36	31	13	21	18	35
10	0,95	4,00	0,30	0,07		0,15	28	8440 (Л68)		13	18	38	33	15	23	20	40

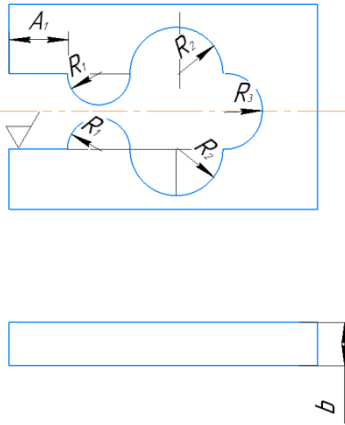
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1
Продолжение Таблица П. 1.2

№ вар иан та	K_2	$K_2 \cdot 10^{-10} / (c \cdot B \cdot A)$	$d_{н'}$ мм	$R_{max'}$ мм	Вид обработки	$r_{н'}$	$v_{пр}$	ρ	Эскиз вырезаемой заготовки (контур внутренний)	Размеры, мм			
										A_1	A_2	D	b
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
11	1,00	4,00	0,30	-	Предвар ительна я по сплошн ому металлу	0,15	30	8440 (Л63)		5	10	30	5
12	1,00	4,00	0,30	-		0,15	20	8440 (Л63)		7	12	32	7
13	1,00	4,00	0,30	-		0,15	25	8440 (Л63)		9	14	34	9
14	1,00	4,00	0,25	-		0,125	25	8600 (Л68)		11	16	36	11
15	1,00	4,00	0,25	-		0,125	28	8600 (Л68)		13	18	38	13

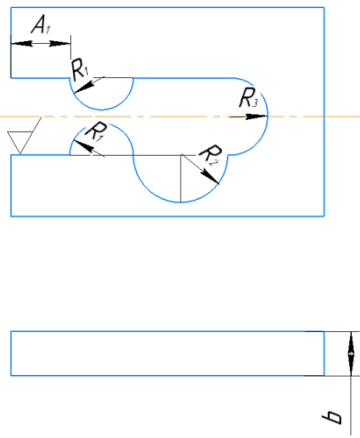
ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1
Продолжение Таблица П. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
16	0,91	5,87	0,1	0,02	Окончат ельная по сформи рованно й поверхн ости	0,05	10	1930 0 (ВА- 1-Т)		30	12	30	20
17	0,94	5,87	0,15	0,02		0,075	10	8440 (Л63)		35	17	35	25
18	0,92	5,87	0,20	0,02		0,10	15	8600 (Л68)		40	22	40	30
19	0,87	6,00	0,05	0,02		0,025	15	1020 0 (ВА- 1-Г)		25	7	25	35
20	0,87	6,00	0,10	0,02		0,005	20	1930 0 (ВА- 1-Т)		20	5	20	35

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1
Продолжение Таблица П. 1.2

№ вар иан та	K_2	K_2 $\cdot 10^{-10}$, /(с * В * А)	$d_{н'}$ мм	$R_{max'}$ мм	Вид обработки	$r_{н'}$	$v_{пр}$	ρ	Эскиз вырезаемой заготовки (контур внутренний)	Размеры, мм				
										A_1	R_1	R_2	R_3	b
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21	0,91	6,00	0,10	-	Окончат ельная по сплошн ому металлу	0,05	8	8440 (Л63)		3	4	7	5	20
22	0,96	4,00	0,15	-		0,075	9	8600 (Л68)		6	5	8	6	25
23	0,98	5,00	0,20	-		0,10	10	8600 (Л68)		9	6	9	7	30
24	0,91	5,00	0,05	-		0,025	11	1930 0 (ВА- 1-Т)		12	7	10	8	35
25	0,95	5,23	0,10	-		0,05	12	1930 0 (ВА- 1-Т)		5	9	12	10	10

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1
Продолжение Таблица П. 1.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
26	0,93	5,23	0,05	0,005	Окончат ельная по сформи рованно й поверхн ости	0,025	14	1020 0 (ВА- 1-Г)		8	11	14	12	15
27	0,95	5,23	0,10	0,005		0,05	15	1020 0 (ВА- 1-Г)		11	13	16	16	20
28	0,97	4,00	0,15	0,005		0,075	5	8600 (Л68)		14	15	18	16	25
29	0,96	4,00	0,15	0,005		0,075	10	8440 (Л63)		6	10	12	11	30
30	0,91	4,00	0,05	0,005		0,025	15	1930 0 (ВА- 1-Т)		9	14	17	35	35

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Продолжение Таблица П. 1.3

Варианты заданий

Задача № 3: Определить основные параметры размерной ЭХО: скорость электролитического растворителя v_d , время обработки t , фактическую массу M_ϕ и объем растворенного металла V_0

№ варианта	Материал ЭЗ (марка стали или сплава)	Электролит	$K_{сп}$ * 10^{-3} , г /(А * мин)	$K_{V_{спл}}$ * 10^{-3} , см ³ /(А * см)	η_a	i_a А/см ³	I, А	Z, см	Вид ЭХО	Модель станка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	45	$NaNO_3$ 30%-й	13,19	1,72	0,775	7	1000	0,01	ЭХУЗ	4406
2	У10(зак)	$NaSO_4$ 30%-й	14,87	1,91	0,377	8	2000	0,02	ЭХУЗ	4407
3	12Х18Н9Т	NaCl 25%-й	16,28	2,16	0,610	9	1600	0,03	ЭХУЗ	Арапат-2
4	30Х10Г10	Na_2SO_4 15%-й	16,33	2,00	0,147	10	320	0,02	ЭХОК	4420ФЦ
5	ШХ15(зак)	$NaNO_3$ 30%-й	15,86	2,03	0,320	11	3000	0,005	ЭХП	ЛЭ - 166
6	5ХНВ(зак)	NaCl 25%-й	17,28	2,20	0,980	12	3000	0,002	ЭХП	ЛЭ - 166
7	35ХГС(зак)	$NaNO_3$ 30%-й	17,27	2,20	0,870	13	3000	0,001	ЭХП	ЛЭ - 166
8	ЭИ958(зак)	Na_2SO_4 15%-й	15,84	1,80	0,095	14	3000	0,003	ЭХП	ЛЭ - 166
9	БрОЦс-6-6-3	NaCl 25%-й	33,68	3,92	0,850	15	100	0,03	ЭХМ	СЭХО - 901
10	Л62	Na_2SO_4 15%-й	26,33	3,19	0,645	7	200	0,04	ЭХМ	СЭХО - 901
11	ВД17	NaCl 25%-й	8,70	3,16	1,660	8	300	0,05	ЭХМ	СЭХО - 901
12	ВТ8	$NaNO_3$ 30%-й	9,48	2,10	0,780	9	400	0,06	ЭХМ	СЭХО - 901
13	ВТЗ-1	Na_2SO_4 15%-й	9,72	2,10	0,001	10	500	0,009	ЭХМ	СЭХО - 901
14	У-10(незак)	NaCl 25%-й	14,87	1,91	0,775	11	600	0,008	ЭХМ	СЭХО - 901
15	ШХ15(зак)	Na_2SO_4 15%-й	15,86	2,03	0,086	12	10	0,001	ЭХМ	МЭ329

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Продолжение Таблица П. 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16	5ХНВ(незак)	$NaNO_3$ 30%-й	17,28	2,20	0,650	13	10	0,0015	ЭХМ	МЭ329
17	35ХГС(незак)	$NaSO_4$ 30%-й	17,27	2,20	0,111	14	10	0,002	ЭХМ	МЭ329
18	ЭИ958(незак)	NaCl 25%-й	15,84	1,80	0,973	15	10	0,003	ЭХМ	МЭ329
19	30Х10Г10	Na_2SO_4 15%-й	13,19	1,72	0,086	14	1000	0,03	ЭХУЗ	4406
20	У-10(зак)	NaCl 25%-й	14,87	1,91	0,860	13	2000	0,04	ЭХУЗ	4407
21	45	$NaNO_3$ 30%-й	13,19	1,72	0,600	12	1600	0,05	ЭХОК	4421
22	30Х10Г10	$NaNO_3$ 30%-й	16,33	2,00	0,480	11	200	0,06	ЭХУЗ	ЛЭ – 142А
23	ШХ15(зак)	NaCl 25%-й	15,86	2,03	0,920	10	10	0,1	ЭХМ	ЭХОК-1
24	Л62	NaCl 25%-й	26,33	3,19	0,835	9	8	0,09	ЭХМ	ЭХОК-1
25	ВД17	$NaNO_3$ 30%-	8,70	3,16	0,136	8	9	0,08	ЭХМ	ЭХОК-1
26	ВТ8	Na_2SO_4 15%-й	9,48	2,10	0,002	10	3200	0,045	ЭХОК	4А423ФЦ
27	ВТЗ-1	NaCl 25%-	9,72	2,10	0,780	12	3000	0,006	ЭХП	ЛЭ – 166
28	Л62	$NaSO_4$ 30%-й	26,33	3,19	0,630	13	3000	0,005	ЭХП	ЛЭ – 166
29	ВД17	Na_2SO_4 15%-й	8,70	3,16	0,029	10	2000	0,0009	ЭХП	ЛЭ – 166
30	У-10(зак)	Na_2SO_4 15%-й	14,87	1,91	0,056	8	2500	0,007	ЭХП	ЛЭ – 166

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Таблица П. 1.4

Варианты заданий

Задача № 4: Определить длительность процесса магнитно-абразивного полирования t

№ варианта	$T, \text{мин}$	$Q_1, \text{мг}/(\text{см}^2 * \text{мин})$	$Q_{\min}, \text{мг}/(\text{см}^2 * \text{мин})$	m
1	10	100	20	0,5
2	5	46	18	0,3
3	20	175	44	0,6
4	3	28	7	0,4
5	14	83	31	0,7
6	10	90	10	0,4

Таблица П. 1.5

Варианты заданий

Задача № 4: Определить период стойкости порции магнитно-абразивного порошка T при числе i рабочих ходов

№ варианта	$L_{p.X}, \text{мм}$	$v_s, \text{мм}/\text{мин}$	$Q, \text{мг}/(\text{см}^2 * \text{мин})$	$Q_i, \text{мг}/(\text{см}^2 * \text{мин})$	m	$t, \text{мин}$
7	200	100	40	10	0,4	10
8	100	150	30	8	0,3	5
9	50	80	76	23	0,5	14
10	400	50	20	5	0,6	20
11	320	200	90	70	0,7	8
12	100	100	30	8	0,3	7
13	300	150	76	23	0,5	20

Таблица П. 1.6

Варианты заданий

Задача № 4: Определить производительность процесса МАО на i -м рабочем ходе Q_i

№ варианта	$Q_{\min}, \text{мг}/(\text{см}^2 * \text{мин})$	m	$Q_1, \text{мг}/(\text{см}^2 * \text{мин})$	$v_s, \text{мм}/\text{мин}$	$L_{p.X}, \text{мм}$	$t, \text{мин}$
14	32	0,7	28	200	420	8
15	17	0,3	49	150	120	5
16	21	0,5	105	80	60	14
17	45	0,6	43	50	480	20
18	8	0,4	8	100	210	10
19	31	0,6	27	150	400	10
20	20	0,4	100	90	70	15
21	7	0,5	7	150	300	5

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ 1

Таблица П. 1.7

Варианты заданий

Задача № 4: Определить начальную производительность процесса МАО Q_1 при неоднократной замене порции магнитно-абразивного порошка за время t

№ варианта	m	Q_{min} , мг/(см ² * мин)	t , МИН	L , ММ	v_s , ММ/МИН
22	0,3	25	7	1000	100
23	0,4	6	16	610	120
24	0,5	20	13	820	75
25	0,6	48	22	1200	40
26	0,7	9	11	450	220
27	0,8	10	15	400	150
28	0,9	15	10	300	200
29	0,3	25	12	100	100
30	0,4	6	10	200	40

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ОТЧЕТА ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального
образования
Тольяттинский государственный университет
Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ ПО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ОБРАБОТКИ ВАРИАНТ № <номер>

Выполнил: <Ф. И. О. студента> <дата> <подпись>
Группа: <номер группы>
Проверил: <Ф. И. О. преподавателя> <дата> <подпись>

Тольятти, 20__

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ ЗАДАНИЯ НА ПРАКТИЧЕСКУЮ РАБОТУ

**ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ
ПО ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ И
ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДАМ ОБРАБОТКИ**

ВАРИАНТ № <номер>

1. Задача № 1 <Исходные данные. Содержание>

Вывод:

2. Задача № 2 <Исходные данные. Содержание>

Вывод:

3. Задача № 3 <Исходные данные. Содержание>

Вывод:

4. Задача № 4 <Исходные данные. Содержание>

Вывод:

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Подураев В. П. Технология физико-химических методов обработкой Машиностроение, 1985. 264 с
2. Артамонов Б. А., Волков Ю. С. Дрожалова В. И. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учебное пособие (в 2-х томах). Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента / Под ред. В. П. Смоленцева. М. Высшая школа, 1983. 247 с.
3. Артамонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: Учебное пособие (в 2-х томах). Т. II Обработка материалов с использованием высококонцентрированных источников энергии / Под ред. В. П. Смоленцева. М.: Высшая школа, 1983, 208 с.
4. 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. Ленингр. отделение, 1988. 719 с.
5. Размерная электрическая обработка металлов: Учебное пособие / Б. А. Артамонов, А. Л. Вишняцкий, Ю. С. Волков, А. В. Глазков; Под ред. А. В. Глазкова. М.: Высшая школа, 1978. 336 с.
6. Немилов Е. Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов. Л.: Машиностроение, 1989. 164 с.
7. Кравченко Д. В. Расчет режимов электроэрозионной обработки заготовок проволочным электродом-инструментом: Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по технологии машиностроения. Ульяновск УЛГТУ, 2000. 27 с.
8. Барон Ю. М. Технология абразивной обработки в магнитном поле. Л. Машиностроение. Ленингр. отделение, 1975. 128 с.
9. Барон Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов. Л.: Машиностроение Ленингр. отделение, 1986. 176 с.
10. Крупенников О. Г. Лабораторные работы по технологии машиностроения Ч. 3. Технология электрофизической и электрохимической обработки: Учебное пособие Под общ. ред. Л. В. Худобина, Ульяновск. УЛГТУ, 2000, 82 с.
11. Кравченко Д. В. Автоматизация технологической подготовки операций электроэрозионного вырезания зубчатых изделий на станках с ЧПУ: Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Электрофизические и электрохимические методы обработки» Ульяновск. УЛГТУ, 2002. 26 с.
12. Ставицкая Н.Б. Изучение эрозионных донок при электроискровой обработке материалов электродом-проволокой И Электронная обработка материалов. 1980. Вып. 6. С. 5-7