

На правах рукописи

МЕДУНЕЦКИЙ Виталий Викторович

**Исследование качества электроэродированных поверхностей
с использованием непараметрических
критериев**

Специальность 05.11.14 – Технология приборостроения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2013

Работа выполнена на кафедре Технологии приборостроения Санкт-Петербургского национального университета информационных технологий, механики и оптики.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Валетов Вячеслав Алексеевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор БГТУ
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова
Васильков Дмитрий Витальевич

кандидат технических наук, Генеральный
директор ООО «Балт-Систем»
Жигалёв Николай Николаевич

Ведущая организация: ЗАО «Диаконт», 195274, Россия,
Санкт-Петербург, ул.Учительская, д.2

Защита состоится «16» апреля 2013г. в 15-30 на заседании диссертационного совета Д212.227.04 при Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики по адресу: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49, ауд.206.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского национального университета информационных технологий, механики и оптики.

Автореферат разослан « » _____ 2013г.

Ваши отзывы и замечания по автореферату (в двух экземплярах), заверенные печатью, просим направлять по адресу университета: 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., д.49, учёному секретарю диссертационного совета Д212.227.04.

Учёный секретарь диссертационного совета Д212.227.04, кандидат технических наук, доцент



Киселёв С.С.

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Актуальность проблемы заключается в том, что традиционные способы повышения качества изделий во многом исчерпаны и их стоимость значительно увеличивается, а такой очевидный способ, как оптимизация микрогеометрии поверхностей деталей для их конкретных функциональных свойств остается неиспользованным из-за непригодности параметрических стандартов на шероховатость поверхностей. За счет оптимизации микрогеометрии функциональных поверхностей можно существенно улучшить функциональные свойства многих изделий, так как известно, что микрогеометрия поверхностей деталей существенно влияет на два десятка их эксплуатационных свойств [1]. Современные приборостроительные и машиностроительные предприятия неизбежно сталкиваются с проблемой изготовления геометрически сложной формообразующей оснастки. К такой оснастке предъявляются высокие требования по её эксплуатационным свойствам, таким как высокая твёрдость материала, износостойкость, а также шероховатость поверхности, от которой существенно зависят многие показатели качества получаемого изделия.

В настоящее время для получения функциональных поверхностей формообразующей оснастки активно применяется электроэрозионная обработка (ЭЭО). Она позволяет обеспечить не только необходимую геометрическую точность обработки заготовки, но и практически любую изотропную шероховатость обработанной поверхности. Для получения требуемой шероховатости поверхности, которая обеспечит заданное функциональное свойство, необходимо управлять электроэрозионным процессом, т.е. знать степень влияния параметров электроэрозионного процесса на качество обработанной поверхности. Сейчас данная степень влияния досконально не изучена, как и не установлен полный перечень параметров, влияющих на шероховатость обработанных поверхностей.

Необходимо разработать методики определения влияния параметров электроэрозионного процесса на шероховатость обработанных поверхностей. Для этого вида обработки впервые использованы, наряду со стандартными, непараметрические критерии оценки и контроля микрогеометрии поверхностей. Проверена адекватность разработанных методик на обеспечении требуемых свойств функциональных поверхностей имитатора звездного неба.

Целью диссертационной работы являются экспериментальные исследования качества электроэродированных поверхностей с использованием, прежде всего, непараметрических критериев оценки и контроля их микрогеометрии.

Задачи исследования. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие основные задачи:

- исследовать влияния параметров электроэрозионного процесса на шероховатость обработанных поверхностей;
- исследовать изменение микрогеометрии обрабатываемых поверхностей в процессе электроэрозионной обработки;
- разработать методику получения требуемой микрогеометрии функциональных поверхностей деталей имитатора звездного неба.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались основные положения теории планирования эксперимента. Обработка полученных результатов исследований производилась при помощи методов математической статистики в программной среде Excel, а также в оригинальной программе построения кривых плотностей распределения Лемминг. Техническая реализация исследований основывается на научных положениях теории технологии приборостроения.

Научная новизна.

- Разработаны методики для качественной и количественной оценки влияния параметров ЭЭО на микрогеометрию обработанных поверхностей при помощи непараметрических критериев.
- Впервые установлено изменение микрогеометрии поверхности от длительности процесса ЭЭО.
- Впервые установлено влияние исходной шероховатости электрода-инструмента на производительность процесса.
- Разработана методика обеспечения заданной микрогеометрии поверхности для обеспечения её конкретного функционального свойства, показанная на примере изготовления функциональных поверхностей основных элементов имитатора звездного неба.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Экспериментальные исследования влияния энергетических параметров электроэрозионного процесса на микрогеометрию обработанных поверхностей.
2. Экспериментальные исследования изменения микрогеометрии обработанной поверхности в процессе ЭЭО.
3. Экспериментальные исследования влияния инструментальной шероховатости электрода на производительность электроэрозионного процесса.
4. Обоснование достоверности проведенных исследований.
5. Применение разработанных методик для обеспечения заданных свойств функциональных поверхностей деталей конкретного изделия.

Достоверность результатов работы подтверждается корректным использованием основных положений теории технологии приборостроения и применяемых математических методов. Планирование экспериментов осуществлялось в соответствии с основными положениями теории планирования экспериментов. Полученные в ходе исследования результаты и выводы соответствуют экспериментальным данным. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на различных межвузовских и международных конференциях, имеются публикации материалов в виде научных статей и тезисов докладов.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

- Проверена и подтверждена методика определения влияния микрогеометрии поверхностей на функциональные свойства деталей приборов и машин,

основанная на непараметрическом подходе к оценке и контролю шероховатости поверхности.

- Предложена и реализована методика качественной и количественной оценки влияния параметров ЭЭО на микрогеометрию обработанных поверхностей при помощи непараметрических критериев.
- Доказано изменение микрогеометрии поверхности от длительности процесса ЭЭО.
- Доказано влияние исходной шероховатости электрода-инструмента на производительность процесса.
- Предложена методика обеспечения конкретного функционального свойства поверхности, полученной методом ЭЭО.

Результаты работы нашли применение в учебном процессе СПб НИУ ИТМО на кафедре «Технологии приборостроения» и на предприятии ОАО «РИРВ».

Апробация работы.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых (Санкт-Петербург, 2012 г.); на XL, XLI и XLII научных и учебно-методических конференциях СПб НИУ ИТМО (Санкт-Петербург, 2011-2013 гг.); на десятой сессии международной научной школы «Фундаментальные и прикладные проблемы надежности и диагностики машин и механизмов» ИПМАШ РАН (Санкт-Петербург, 2011 г.); на V научно-технической конференции молодых специалистов по радиоэлектронике (Санкт-Петербург, Авангард, 2012г.).

Публикации.

По теме диссертации опубликованы 8 печатных работ, из которых 3 в журналах из перечня ВАК, 2 – в рецензируемых научных изданиях.

Структура и объём диссертации.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 67 наименований и приложения. Основной текст работы изложен на 120 страницах, включает в себя 48 таблиц и 55 рисунков.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой темы, сформулированы цель и задачи исследований.

В первой главе рассмотрены современные тенденции в области электроэрозионной обработки, основные виды электроэрозионного оборудования и методы, реализуемые на них. Кратко рассмотрена физика электроэрозионного процесса, а также методика применения электроэрозионного оборудования для получения точных поверхностей с заданной шероховатостью. Указаны основные недостатки применяемой оценки микрогеометрии обработанных поверхностей методом ЭЭО.

Отмечается, что современные предприятия, ориентированные на серийный выпуск своей продукции, неизбежно сталкиваются с проблемой изготовления формообразующей оснастки. Имеется тенденция к значительному усложнению её геометрии. Наибольшее распространение в качестве материала конструктивных

деталей приборов получают различные пластмассы и полимерные композиционные материалы, обработка резанием которых представляет собой очень трудоёмкий и длительный процесс, а в случае серийного производства, и вовсе экономически не эффективна. В подобных случаях производители вынуждены обращаться к литьевому методу получения заготовок и, соответственно, предъявлять высокие требования к уровню качества формообразующей оснастки.

Помимо требований, предъявляемых к отливкам, (усадка, коробление заготовки и др.), появляются новые требования, обусловленные функциональными свойствами получаемых изделий, в частности, к шероховатости поверхностей. Поэтому, ставится задача получения необходимого качества поверхности изделий без последующей их обработки. В настоящее время, для решения подобных задач изготовления формообразующей оснастки, активно применяется электроэрозионная обработка, которая позволяет не только обеспечить необходимую геометрическую точность изделий, но и обеспечить требуемое качество их поверхностей по всей площади обработки. Преимущество данной обработки перед традиционной обработкой резанием заключается в практическом отсутствии силы резания, а, следовательно, и отсутствии связанных с ней различных факторов, таких как силовые упругие деформации и т.п., что значительно расширяет область применения ЭЭО [5].

Во второй части первой главы приведен пример изготовления элемента формообразующей литьевой матрицы на электроэрозионном координатно-прошивном станке Form20. На этом примере рассмотрена методика применения электроэрозионного оборудования и показаны существующие недостатки параметрического контроля микрогеометрии изготавливаемых поверхностей.

На электроэрозионном оборудовании можно получить практически любое требуемое качество обработанной поверхности за счет изменения различных факторов. Влияние этих факторов на качество получаемых поверхностей недостаточно изучено, как и не установлен полный список этих факторов. ЭЭО применяется для получения функциональных поверхностей с определёнными физическими свойствами, будь то оптические, механические или какие-либо другие свойства. Отсюда вытекают выше приведенные задачи исследования.

Во второй главе рассмотрено влияние энергетических параметров электроэрозионного процесса на микрогеометрию обработанных поверхностей как по первому уровню оценки (параметрический подход), так и по второму (непараметрический подход).

При решении задач оптимизации электроэрозионного процесса, как по производительности, так и для получения требуемого качества получаемой поверхности, необходимо знать степень влияния параметров самого процесса на объект оптимизации. Также необходимо установить полный перечень этих параметров. Исходя из физики электроэрозионного процесса, основное влияние оказывают энергетические параметры, такие как: пиковый ток, напряжение, длительность импульса и длительность паузы.

В первом параграфе второй главы описан ряд однофакторных экспериментов для определения степени влияния исследуемых энергетических параметров на шероховатость обработанных поверхностей. Статистический анализ полученных

данных по параметру Ra производился по методу наименьших квадратов (МНК) [6]. Этот метод позволил построить адекватные уравнения регрессий, определяющие зависимость изменения шероховатости поверхности от изменения значения исследуемого фактора (таблица 1).

Таблица 1.

Исследуемый параметр	Уравнение регрессии
Пиковый ток, А	$y = 8,2 + 0,26x_1$
Длительность импульса, мкс	$y = 7,95 - 0,009x_1$
Напряжение, В	$y = 5,63 + 0,017x_1$
Длительность паузы, мкс	$y = 7,7 + 0,036x_1$

Весовые коэффициенты исследуемых факторов определены по следующим формулам 1 и 2:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_{1i}^2 - \sum_{i=1}^N y_i x_{1i} \sum_{i=1}^N x_{1i}}{N \sum_{i=1}^N x_{1i}^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_{1i} \right)^2}, \quad (1)$$

$$b_1 = \frac{N \sum_{i=1}^N y_i x_{1i} - \sum_{i=1}^N y_i \sum_{i=1}^N x_{1i}}{N \sum_{i=1}^N x_{1i}^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_{1i} \right)^2}, \quad (2)$$

где N – количество опытов, x_{1i} – значение i -го влияющего фактора, y_i – значение i -го параметра оптимизации.

Адекватность построенных уравнений регрессии проверена с помощью критерия Фишера (формула 3). Проверка полученных в ходе экспериментов данных, значения которых может быть поставлено под сомнение, проведена по критерию Кохрена (формула 4) [7].

$$F_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_y^2}, \quad (3)$$

где $S_{\text{ад}}^2$ – остаточная дисперсия или дисперсия адекватности, S_y^2 – дисперсия воспроизводимости.

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{N \sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (4)$$

где S_{max}^2 – максимальное значение дисперсии, S_i^2 – дисперсия i -го опыта.

Установлено, что пиковый ток оказывает большее влияние на шероховатость получаемой поверхности, чем остальные энергетические параметры. При увеличении значения этого параметра происходит увеличение шероховатости обработанной поверхности. Увеличение длительности импульса приводит к уменьшению шероховатости поверхностей. Увеличение значений напряжения и длительности паузы приводит к повышению шероховатости поверхности, при этом,

длительность паузы оказывает большее влияние, чем напряжение, ввиду большего диапазона ее значений.

Используя данные, полученные от профилографа Hommel Tester, построены плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона исследуемых профилей в программе для исследования микрогеометрии поверхности Лемминг.

Качественная оценка сравнения кривых распределений также показала влияние энергетических параметров на шероховатость получаемых поверхностей. Она позволяет более точно охарактеризовать данное изменение. Например, увеличение напряжения не приводит к изменению островершинности микрорельефа (рисунок 1), или, при увеличении длительности паузы происходит циклическое изменение асимметрии плотности распределения ординат профиля относительно нуля.

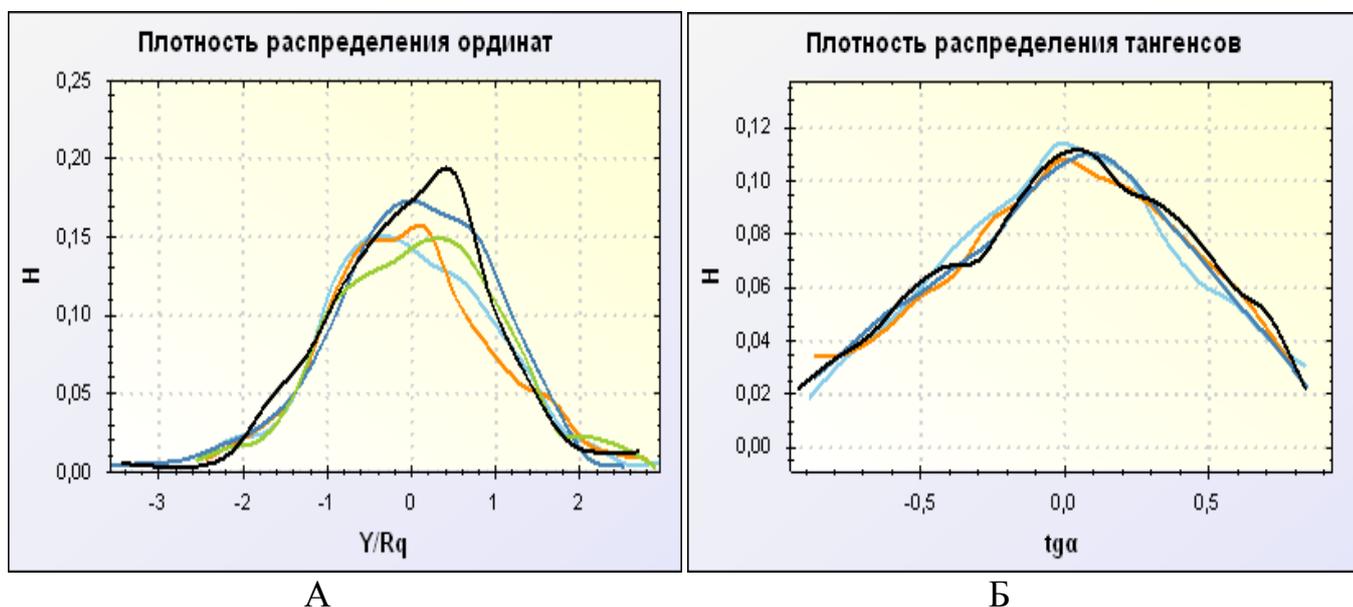


Рисунок 1. А - плотности распределения ординат (ось абсцисс – отношение значения ординат и параметра Rq ; ось ординат – вероятностная характеристика появления данной ординаты) и Б - тангенсов углов наклона профилей (ось абсцисс – значение тангенса угла наклона профиля в радианах). Цвета кривых соответствуют различным значениям напряжения.

Показана методика количественной оценки изменения кривых распределений при помощи коэффициентов асимметрии (5) и эксцесса (6) [8]:

$$As X = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M(X))^3 P_i}{\sigma^3}, \quad (5)$$

$$Ex X = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - M(X))^4 P_i}{\sigma^4} - 3, \quad (6)$$

где x_i – значение i -й случайной величины (СВ), $M(X)$ – математическое ожидание СВ, P_i – вероятность появления значения i -й СВ, σ – среднее квадратичное отклонение СВ.

Количественная оценка этих кривых позволяет построить математическую модель процесса. Таким образом, можно прогнозировать изменение кривой распределения от влияющего на неё фактора. Эта зависимость носит нелинейный характер, а в большинстве случаев, имеет циклический характер. Данное утверждение было подтверждено не только качественной оценкой изменения кривых плотностей распределения, но и выражено количественно при помощи коэффициентов асимметрии и эксцесса. Важно отметить, что каждой исследуемой поверхности соответствуют свои кривые распределения, тем самым связывая их с функциональным свойством поверхности. Методика оценки этих кривых может быть использована при решении задач оптимизации шероховатости поверхности для конкретных ее функциональных свойств.

Третья глава содержит экспериментальные исследования изменения микрогеометрии поверхности, получаемой в процессе ЭЭО. В первой части главы рассмотрено изменение микрогеометрии обработанной поверхности заготовки, во второй – влияние исходной шероховатости рабочей поверхности электрода на электроэрозионный процесс.

При оптимизации процесса производитель стремится снизить стоимость изготовления путём уменьшения времени самой обработки при сохранении качества выпускаемого изделия. Контроль обработанных поверхностей осуществляется в соответствии с действующим ГОСТ2789-73. При контроле поверхностей, полученных на одних и тех же режимах ЭЭО, но за разное время обработки, было выявлено, что при постоянных значениях параметров Ra и Rz функциональные свойства поверхностей различны. Основываясь на этих фактах, возникла задача исследования изменения микрогеометрии получаемых поверхностей в процессе ЭЭО.

Был проведен ряд однофакторных экспериментов для определения степени влияния длительности обработки на одном и том же режиме одним и тем же электродом на шероховатость обработанной поверхности. Оценка шероховатости производилась по первому уровню оценки (параметр Ra) и по второму – при помощи плотностей распределения ординат и тангенсов углов наклона исследуемого профиля. Планирование экспериментов осуществлялось в соответствии с основными положениями теории планирования экспериментов, статистический анализ полученных данных и их интерпретация проводились по ранее описанной методике.

Анализ микрогеометрии исследуемых поверхностей по параметру Ra не выявил изменение микрорельефа поверхности в зависимости от длительности обработки. Оценка микрорельефа при помощи непараметрических критериев, наоборот, выявила, что в процессе ЭЭО на одном и том же режиме обработки одним и тем же электродом шероховатость получаемой поверхности не приходит к установившемуся значению, а постоянно изменяется. Изменение микрогеометрии объясняет различие в функциональных свойствах получаемых поверхностей. На рисунке 2 представлены кривые плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей, подтверждающие изменение микрорельефа от длительности обработки.

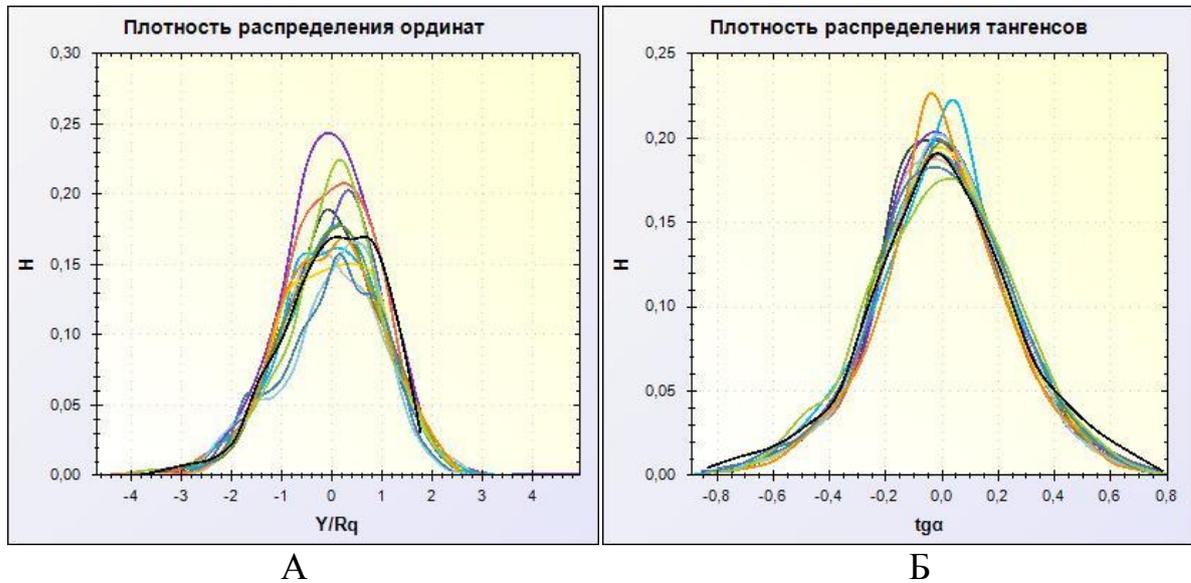


Рисунок 2. А - плотности распределения ординат (ось абсцисс – отношение значения ординат и параметра Rq ; ось ординат – вероятностная характеристика появления данной ординаты) и Б - тангенсов углов наклона профилей исследуемых поверхностей для всего времени обработки (ось абсцисс – значение тангенса угла наклона профиля в радианах).

Статистический анализ кривых плотности распределения при помощи параметров асимметрии и эксцесса показал постоянное изменение этих кривых, а, следовательно, и изменение микрогеометрии этих поверхностей. Следует отметить циклическое изменение рассматриваемых характеристик, что в явном виде представлено на графиках (рисунок 3, 4). Методом наименьших квадратов построено уравнение регрессии для характеристик асимметрии и эксцесса в зависимости от времени ЭЭО. Величина весового коэффициента незначительна, поэтому можно сделать вывод, что рассматриваемое циклическое изменение не является затухающим. Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. Микрогеометрия поверхности в процессе ЭЭО не приходит к установившемуся значению, а постоянно изменяется, причём, данное изменение носит циклический характер. Острровершинный микрорельеф с течением времени переходит в плосковершинный и наоборот.

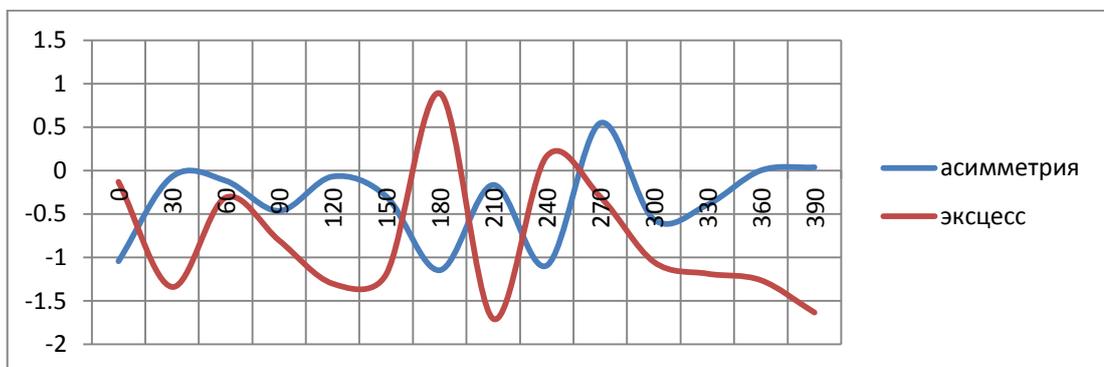


Рисунок 3. График изменения асимметрии и эксцесса для кривых плотностей распределения ординат профиля (ось абсцисс – время обработки, мин; ось ординат – величина асимметрии и эксцесса).

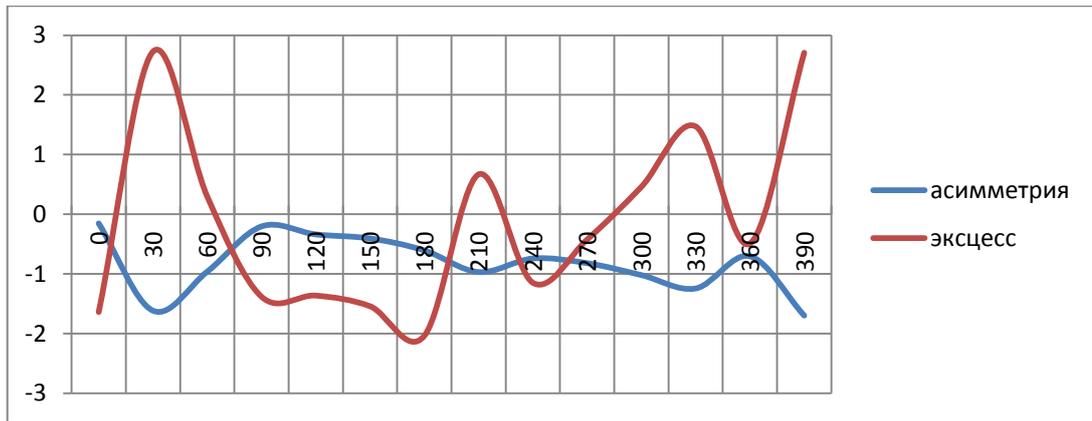
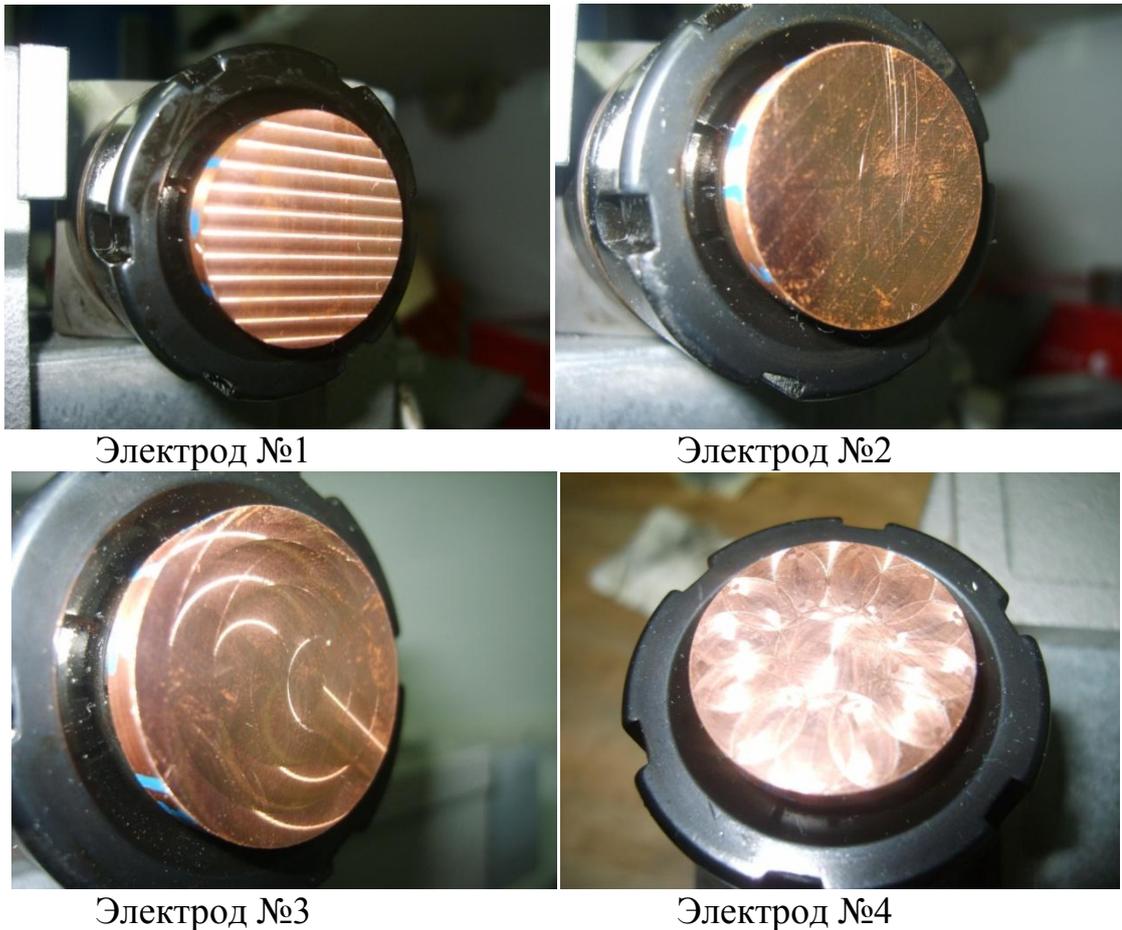


Рисунок 4. График изменения асимметрии и эксцесса для кривых плотностей распределения тангенсов углов наклона профиля (ось абсцисс – время обработки, мин; ось ординат – величина асимметрии и эксцесса).

Операция ЭЭО зачастую является финишной операцией в технологическом процессе изготовления формообразующей оснастки. Основным недостатком ЭЭО является её низкая производительность. Для повышения производительности процесса можно варьировать значения энергетических параметров, тем самым оптимизируя процесс при сохранении точности изготавливаемой формы, а также шероховатости обработанной поверхности. Такой способ оптимизации достаточно ограничен. Это ограничение связано с техническими характеристиками энергетической установки (генератором импульсов) электроэрозионного оборудования. Опытным путем было выявлено, что исходная шероховатость поверхности электрода-инструмента непосредственно влияет на износ самого инструмента, а также влияет на производительность процесса при сохранении требуемой геометрической формы и качества изготавливаемой поверхности. Предложена и экспериментально подтверждена гипотеза о том, что исходная шероховатость поверхности электрода может быть одним из влияющих факторов на процесс электроэрозии. Следует отметить, что ранее этот фактор не рассматривался и степень его влияния на электроэрозионный процесс не изучена.

Проведен ряд однофакторных экспериментов, который выявил влияние исходной микрогеометрии электрода-инструмента на производительность электроэрозионного процесса. Под производительностью ЭЭ процесса следует понимать объём снимаемого материала с заготовки в единицу времени. Исходную шероховатость поверхности электрода-инструмента целесообразно назвать инструментальной шероховатостью.

Было изготовлено 4 электрода с различной инструментальной шероховатостью (рисунок 5). Первый электрод получен продольным фрезерованием в одном направлении, второй – встречным фрезерованием, третий – спиральной траекторией движения фрезы от центра к краям, четвёртый – фрезерованием от центра к краям с постоянным смещением по углу в полярной системе координат.



Электрод №1

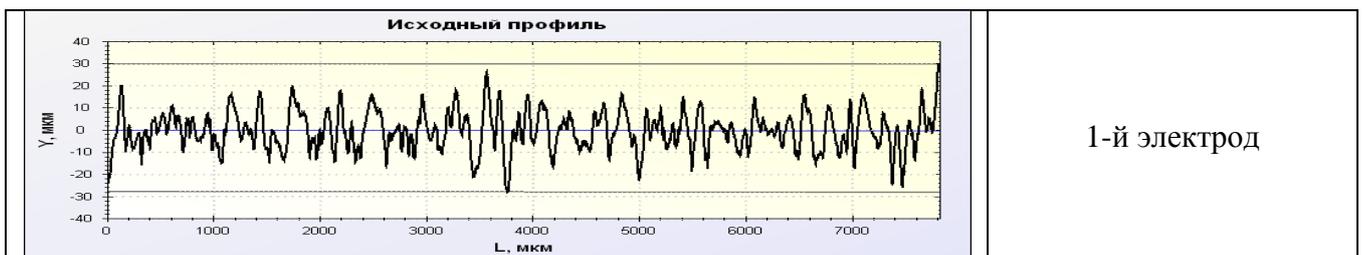
Электрод №2

Электрод №3

Электрод №4

Рисунок 5. Фотографии рабочих поверхностей электродов, выполненных на одном и том же оборудовании, на одних и тех же режимах обработки, одним и тем же режущим инструментом, с одинаковой шероховатостью по Ra, но по различной траектории движения инструмента.

Шероховатость поверхности данных электродов была оценена как по первому уровню, при помощи параметра Ra, так и по второму, при помощи плотностей распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей. Важно отметить, что параметр Ra для каждого из исследуемых поверхностей электродов был равен 0,7. Визуальная оценка этих поверхностей показывает обратное, что микрогеометрия различна. То же самое подтверждает визуальная оценка профилограмм (рисунок 6). Для доказательства различия микрогеометрии рассматриваемых поверхностей были построены плотности распределения для каждой исследуемой поверхности (рисунок 7). Эти кривые однозначно доказывают различие микрогеометрии рабочей части электродов.



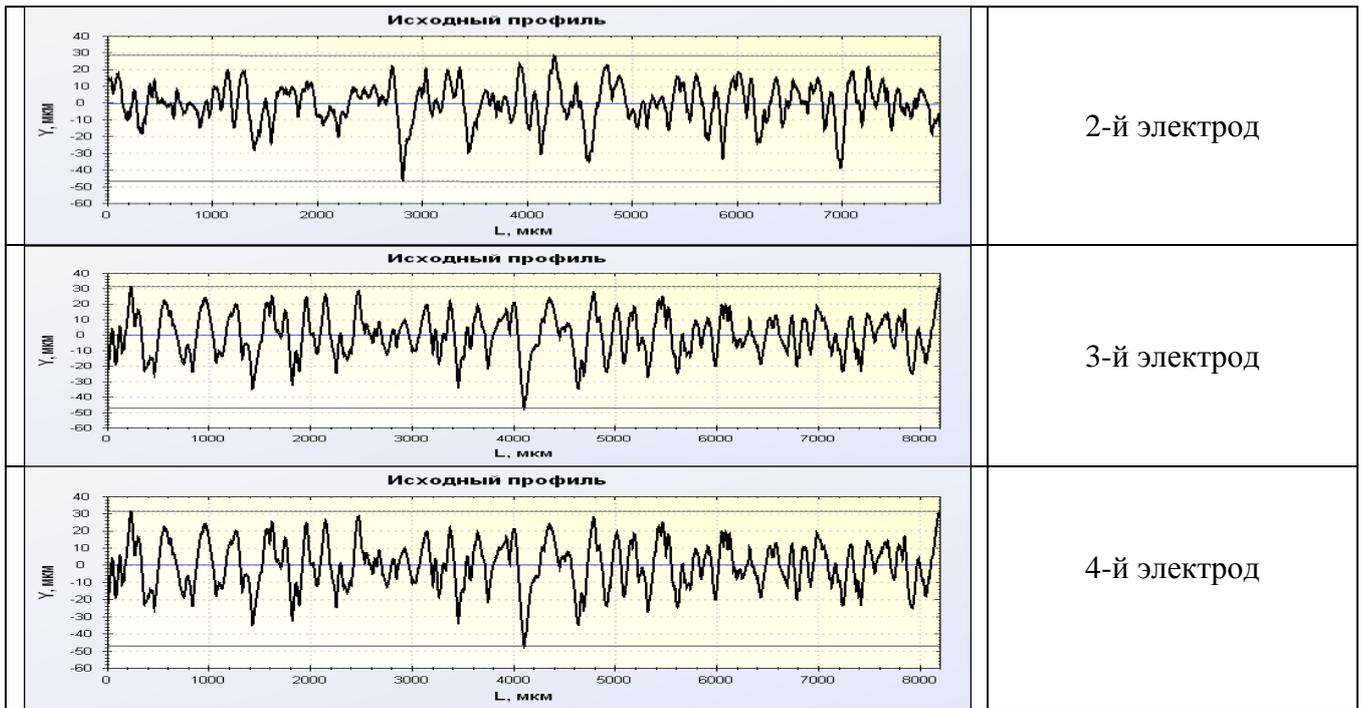
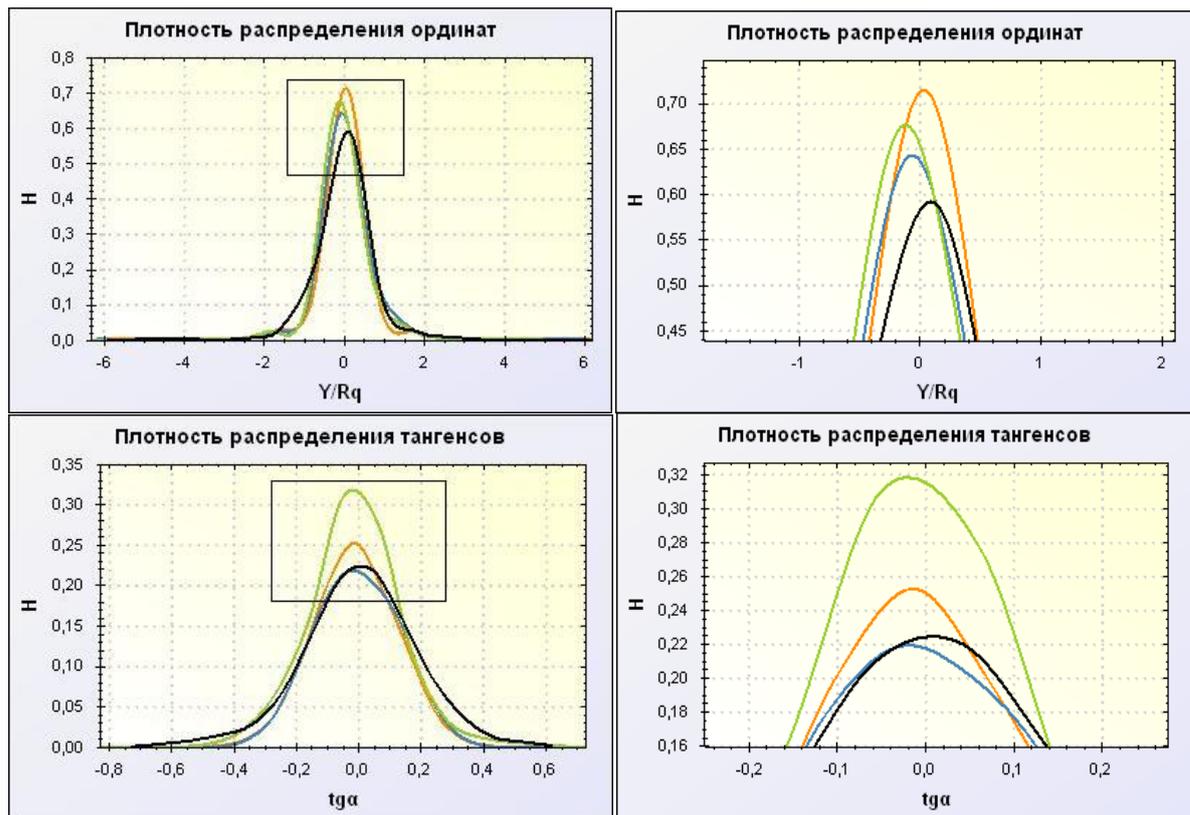


Рисунок 6. Профилограммы поверхностей рассматриваемых электродов.



1-й электрод 2-й электрод 3-й электрод 4-й электрод

Рисунок 7. Плотности распределения ординат (ось абсцисс – отношение значения ординат и параметра Rq ; ось ординат – вероятностная характеристика появления данной ординаты) и тангенсов углов наклона профилей исследуемых поверхностей (ось абсцисс – значение тангенса угла наклона профиля в радианах). Цвета графиков соответствуют номерам исследуемых электродов.

Каждым из этих электродов были обработаны поверхности на одном и том же финишном режиме обработки. Результатом эксперимента являются 4 поверхности, одинаковые по своим геометрическим параметрам, выполненные электродами с разной инструментальной шероховатостью за разное время обработки (таблица 3).

Таблица 3. Время обработки электродами с различной инструментальной шероховатостью.

	Электрод №1	Электрод №2	Электрод №3	Электрод №4
Глубина обработки, мм	0,5	0,5	0,5	0,5
Время обработки, мин	640	597	565	626

Шероховатость полученных поверхностей была измерена на профилографе и оценена по параметру Ra. Параметр Ra для каждой обработанной поверхности составил 1,4.

Проведённый эксперимент выявил новый фактор, влияющий на производительность электроэрозионного процесса. Этим фактором является исходная шероховатость рабочей части электрода инструмента, названная инструментальной шероховатостью. Представленное явление не могло быть сделано без оценки микрогеометрии инструментальной шероховатости по второму уровню, при помощи плотностей распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей.

Эксперимент показал зависимость времени обработки от исходной шероховатости поверхности. Это означает, что, зная оптимальную шероховатость электрода для данного процесса и умея её воспроизводить, можно значительно уменьшить время обработки. В случае обработки поверхностей, площадь которых больше, чем была в данном эксперименте, разница по времени составит в десятки часов, что, несомненно, позволит получить значительный экономический эффект. Достоверность полученных результатов была проверена математически и подтверждена последующими экспериментами.

В четвёртой главе предложена методика получения требуемой микрогеометрии методом электроэрозии на примере изготовления рабочей поверхности пуансона, с помощью которого получают функциональную поверхность конструктивных элементов имитатора звёздного неба.

Имитатор звёздного неба (ИЗН) представляет собой сферическую конструкцию, выполненную из составных пластин (элементов), которые обеспечивают в каждой точке поверхности коэффициент отражения 0,7. Для обеспечения отражения лазерного луча от функциональной поверхности необходимо на всей внутренней поверхности сферы воспроизвести регулярный рельеф, состоящий из «лунок». Экспериментально был определён оптимальный размер «лунок», а также их оптимальное расположение на функциональной поверхности элементов имитатора звёздного неба. На рисунке 8 приведена 3-D модель функциональной поверхности каждого элемента ИЗН.

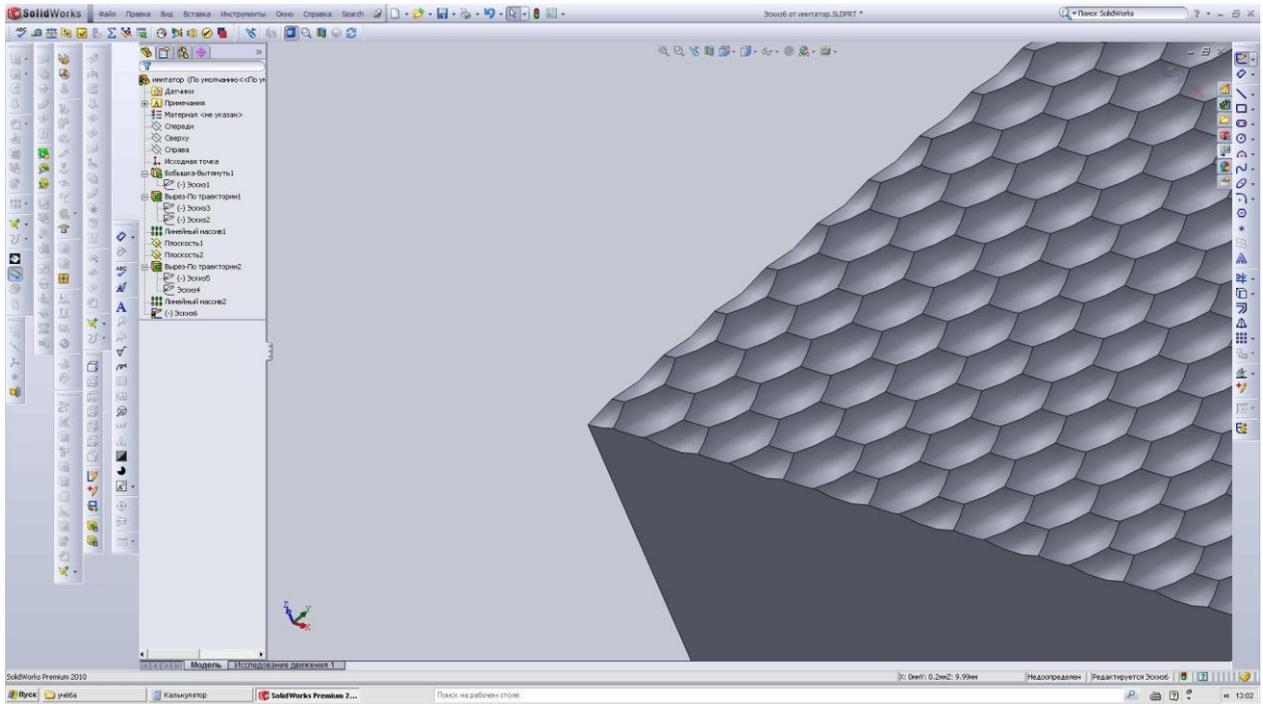


Рисунок 8. 3-D модель функциональной поверхности элемента имитатора звездного неба.

Эталонная (образцовая) поверхность получена методом вибронакатывания на специальном приспособлении с помощью металлических шариков диаметром 1,6 мм, расположенных друг относительно друга по оси абсцисс на расстоянии 0,692 мм, а по оси ординат – 0,4 мм. Недостатком обработки вибронакатыванием является не обеспечение повторяемости по всей площади поверхности. Это связано с погрешностью позиционирования заготовки относительно приспособления. Для минимизации погрешности необходимо применять оснастку для крепления заготовки на станке, что значительно уменьшает номенклатуру применяемых типоразмеров заготовки для данной оснастки. Также стоит отметить высокую трудоёмкость настройки на размер, поскольку ручным инструментом получаемую поверхность не измерить, что приводит к снятию заготовки с оснастки для измерения с последующей установкой её обратно, что, в свою очередь, приводит к погрешности установки. Кроме этого, ресурс давящих шариков невелик из-за невысокой твёрдости их материала, поэтому требуется периодическая замена самих шариков в приспособлении, с последующей перенастройкой оборудования.

Исходя из выше указанного, был предложен и реализован альтернативный метод получения функциональной поверхности элементов ИЗН.

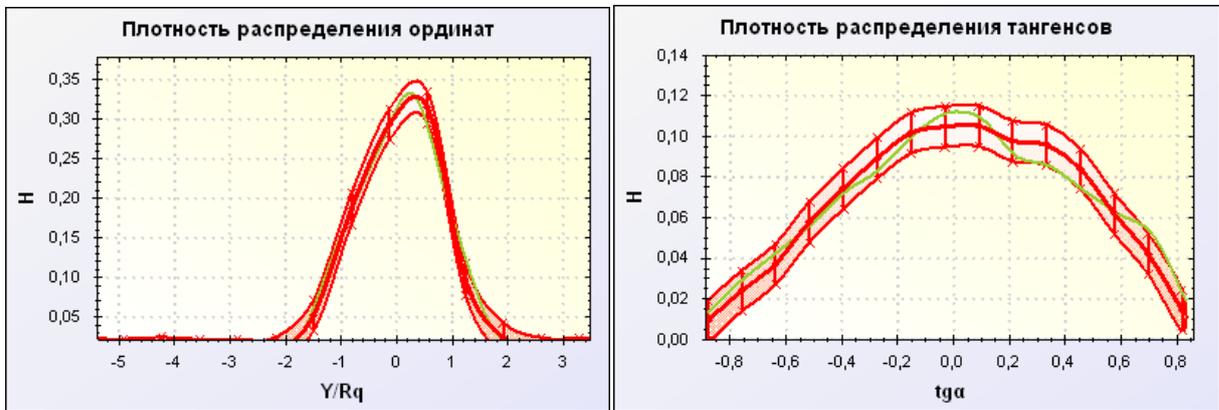
Определено, что такие элементы ИЗН целесообразно получать методом давления поверхности специальным пуансоном, а рабочую поверхность пуансона изготовить методом электроэрозионной обработки. Рабочая поверхность пуансона должна представлять собой зеркальное отображение эталонной поверхности элемента ИЗН, шероховатость поверхности должна соответствовать шероховатости эталонного инструмента (металлических шариков).

Исследование эталонной поверхности инструмента с помощью непараметрических критериев позволило определить микрорельеф поверхности,

который следует воспроизвести методом ЭЭО. Режим обработки подобран таким образом, чтобы получившаяся поверхность пуансона соответствовала поверхности эталонных шариков, т.е. кривые плотностей распределения профилей изготовленной поверхности лежали бы в поле допуска эталонной. В таком варианте изготовленный пуансон соответствует тем требованиям, при которых его оттиск аналогичен функциональной поверхности эталона элемента ИЗН.

Решена задача оптимизации параметров режимов обработки, для получения заданного качества обработанной поверхности на основе теории планирования экспериментов. Помимо энергетических параметров ЭЭО, была учтена длительность обработки (время выхаживания).

Таким образом, были выбраны соответствующие режимы обработки и изготовлена рабочая поверхность пуансона, микрогеометрия рабочей части которого характеризуется кривыми плотностей распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей (рисунок 9).



А

Б

Рисунок 9. А - графики плотностей распределения ординат (ось абсцисс – отношение значения ординат и параметра Rq ; ось ординат – вероятностная характеристика появления данной ординаты) и Б - тангенсов углов наклона профилей (ось абсцисс – значение тангенса угла наклона профиля в радианах) обработанной поверхности пуансона (зелёные кривые) и эталонной поверхности инструмента (красные кривые) с полем допуска 5%.

Изготовленным пуансоном получен ряд оттисков, которые проверены на соответствие геометрии формы и шероховатости, а также была измерена отражательная способность полученной поверхности. Проведённые измерения показали соответствие воспроизводимых оттисков заданным требованиям.

В приложении к диссертационной работе приведены: таблицы режимов обработки, используемых в ходе экспериментов; методика разработки управляющей программы для электроэрозионного станка Form20; акт об использовании результатов диссертационной работы в учебный процесс на кафедре технологии приборостроения СПб НИУ ИТМО.

Заключение.

В процессе выполнения диссертационной работы получены следующие основные результаты.

1. Установлено влияние энергетических параметров (пиковый ток, напряжение, длительность импульса и паузы) на шероховатость получаемых поверхностей в процессе ЭЭО. Построены адекватные математические модели (уравнения регрессии) процесса, позволяющие прогнозировать результаты исследования. Адекватность моделей позволяет судить о достаточности количества проведённых опытов. Эти математические модели могут быть использованы в задачах оптимизации шероховатости поверхности.
2. Проведена оценка электроэродированных поверхностей по второму уровню, т.е. при помощи плотностей распределения ординат и тангенсов углов наклона профилей. Разработана методика количественной оценки изменения кривых распределений при помощи коэффициентов асимметрии и эксцесса. Количественная оценка этих кривых позволяет построить их математическую модель, что позволяет прогнозировать изменение кривой распределения от влияющего на неё фактора.
3. Установлено, что во время ЭЭО на одном и том же режиме, микрогеометрия обрабатываемой поверхности не приходит к установившемуся значению, а постоянно изменяется, причём данное изменение носит циклический характер.
4. Проведённые эксперименты выявили новый влияющий фактор на производительность электроэрозионного процесса, названный в данной работе инструментальной шероховатостью, что дает возможность установить наиболее выгодную шероховатость электрода-инструмента для увеличения производительности электроэрозионного процесса.
5. Разработана методика использования непараметрических критериев для оценки и контроля микрогеометрии изготавливаемых функциональных поверхностей методом ЭЭО.
6. Разработана методика оптимизации электроэрозионного процесса для получения требуемой микрогеометрии обработанной поверхности. В числе влияющих факторов на процесс получения требуемой микрогеометрии методом ЭЭО рассмотрен новый фактор – длительность обработки (время выхаживания), а параметр оптимизации выражен при помощи непараметрических критериев оценки шероховатости поверхности. В частности, в качестве рекомендации можно внести в технологические таблицы подбора режимов ЭЭО графу, содержащую кривые плотности распределения ординат и тангенсов углов наклона профиля микрогеометрии обрабатываемой поверхности на конкретном режиме, что позволит значительно упростить решение задачи оптимизации шероховатости поверхности.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих печатных научно-технических изданиях:

из перечня ВАК

1. Валетов В.А., Медунецкий В.В. Обеспечение качества поверхностей деталей на электроэрозионном оборудовании. Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики, №2(78) - 2012, стр. 113-117.
2. Андреев Ю.С. , Медунецкий В.В. Исследования изменения микрорельефа поверхностей в процессе их трения скольжения. Известия вузов «Приборостроение», СПб, №9 – 2012, стр. 30-34.
3. Валетов В.А., Медунецкий В.В. Экспериментальные исследования получения микрогеометрии функциональных поверхностей деталей методом электроэрозионной обработки. Научно-производственный журнал «Металлообработка», СПб, №3(69) - 2012г, стр. 19-23.

в рецензируемых изданиях

4. Медунецкий В.В. Поиск и исследование новых свойств микрогеометрии поверхностей деталей. Журнал «Труды нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.Алексеева». Нижний Новгород, изд-во НГТУ, №4 2010, стр. 316-321.
5. Валетов В.А., Медунецкий В.В. Характерные особенности формирования функциональных поверхностей пресс-форм на электроэрозионном оборудовании для изготовления конструктивных элементов приборов. Журнал «Труды нижегородского государственного технического университета им. Р.Е.Алексеева». Нижний Новгород, изд-во НГТУ, № 2012, стр. 342-347.

публикации в других изданиях

6. Валетов В.А., Медунецкий В.В. Исследования микрогеометрии функциональных поверхностей деталей, полученных методом электроэрозионной обработки. Сборник докладов V научно-технической конференции молодых специалистов по радиоэлектронике, СПб, Авангард, 2012г., стр 55-57.
7. Медунецкий В.В. Применение электроэрозионной обработки для изготовления деталей приборов. Сборник докладов XLI научной и учебно-методической конференции СПб НИУ ИТМО, 2012г., стр. 143-146.
8. Медунецкий В.В. Исследование изменения микрогеометрии в процессе трения скольжения поверхностей деталей приборов. Аннотации студенческих выпускных квалификационных работ. СПб, изд-во СПбГУ ИТМО, 2010 г., стр.33.

Список цитируемой литературы:

1. Валетов В.А., Юльметова О.Ю., Микрогеометрия поверхности и её функциональные свойства. СПб.: Научно-технический вестник ИТМО, 2008г.

2. Валетов В.А. О практической пригодности некоторых критериев для оценки шероховатости поверхности. В кн.: Технология корпусостроения, судового машиностроения и сварки в судостроении. Л.: ЛКИ, 1978, с. 62-65.
3. Валетов В.А., Андреев Ю.С., Цимбал И.Р. Исследование микрогеометрии трущихся поверхностей // Трибология и надежность №10: Сборник научных трудов X Международной конференции. - СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2010, с. 85-92.
4. Мусалимов В.М., Валетов В.А. Динамика фрикционного взаимодействия – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006,с. 191.
5. Немилов Е.Ф. «Электроэрозионная обработка материалов», Л., изд-во «Машиностроение», 1989г.
6. Длин А.М. Математическая статистика в технике. М.: изд-во «Советская наука», 1958.
7. Монтгомери Д.К. Планирование экспериментов и анализ данных: Пер с англ. – Л.: Судостроение, 1980.
8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006 – 816с.

Корректор Валетов В.А.

Подп. в печать 11.03.2013. Формат 60*90 1/16 Усл.печ.л.1. Тираж 100 экз.

Учреждение «Университетские Телекоммуникации»,

199034, СПб, В.О., Биржевая линия, д. 14-16,

Тел. +7(812)915-14-54, e-mail: zakaz@TiBir.ru