

*МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЁВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»*

***ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ  
СЪЕМА МЕТАЛЛА С ЭЛЕКТРОДОВ  
И ДИАМЕТРА ПРОШИТОГО  
ОТВЕРСТИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИ-  
ОННОЙ ОБРАБОТКИ  
ОТ ЧАСТОТЫ И СКВАЖНОСТИ  
ИМПУЛЬСОВ ТОКА***

*методические указания  
к лабораторной работе*

САМАРА  
2011

Составитель: *Нехорошев М.В.*

Рецензент: д-р техн. наук, проф., *М а т в е е в В.Н.*

*Исследование зависимостей съема металла с электродов и диаметра прошитого отверстия при электроэрозионной обработки от частоты и скважности импульсов тока: метод. указания / Сост.: М.В. Нехорошев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 10 с.*

В практикум вошла лабораторная работа, посвященная исследованию основных параметров влияющих на электроэрозионную обработку.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальности: 151900 - Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств, изучающих курс «Электрофизическая и электрохимическая обработка материалов».

Учебное пособие разработано на кафедре производства двигателей летательных аппаратов.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2011

## Лабораторная работа

### Исследование зависимостей съема металла с электродов и диаметра прошитого отверстия при электроэрозионной обработке от частоты и скважности импульсов тока

Цель работы: исследование влияния электрических режимов процесса на производительность, точность и чистоту поверхности. Параллельно с этим студенты знакомятся с конструкцией и принципиальной электрической схемой электроискровой установки ЛКЗ-18.

#### ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СУЩНОСТИ ПРОЦЕССА И СПОСОБЕ ОБРАБОТКИ

В основе электроискрового способа обработки токопроводящих материалов лежит явление электрической эрозии, т.е. разрушение поверхности материала под действием электрических разрядов.

Механизм прохождения электрического тока через жидкий диэлектрик начинается с того, что при нарастании электрического поля частички, взвешенные в жидкости, втягиваются действием поля в область наибольшей напряженности. При достижении напряженности определенной величины между наиболее выступающими элементами поверхности происходит пробой промежутка. После пробоя в межэлектродном зазоре находятся пар, газ, плазма и электронный пучок. Температура начала разряда порядка  $10000^{\circ}\text{C}$ . Процесс разряда занимает  $10^{-7} + 10^{-8}$  сек. и, следовательно, носит взрывной характер. В жидкости возникает и начинает распространяться взрывная волна. В результате удара электронного пучка и действия высокой температуры на поверхности анода появляется кратерообразное углубление - лунка (рис. 1), а в межэлектродном промежутке пары и капли взорвавшегося металла.

Перемещаясь в газовом пространстве, пары и капли попадают в жидкость, охлаждаются и падают на дно сосуда. При этом, поскольку действуют силы поверхностного натяжения, все фракции диспергированных частиц примут наименьшую поверхность, т.е. шарообразную форму.

Ввиду того, что раскаленное дно образовавшейся лунки окружено массой холодного металла и омывается холодной жидкостью, металлическая поверхность будет очень быстро охлаждаться, что приведет к

изменению структуры металла.

При повторных разрядах будут образовываться новые лунки, т.е. с поверхности электрода каждым следующим разрядом будут удаляться новые порции металла. Если одному электроду, например подвижному, придать форму стержня того или иного профиля, а второй, неподвижный электрод изготовить в виде пластинки, то в результате большого количества разрядов между этими электродами в пластинке образуется отверстие, форма которого будет соответствовать форме подвижного электрода. Непрерывный процесс электроэрозионной обработки основан на использовании повторяющихся импульсных разрядов, следующих друг за другом с некоторым интервалом.

В зависимости от технологического назначения процесса используются импульсные разряды различной длительности и различного запаса энергии. Пауза между импульсами также может изменяться в широких пределах.

Для осуществления процесса электроэрозионной обработки служат разнообразие устройства, выполненные по той или иной схеме, основой которых являются генераторы импульсов. Схемы генераторов импульсов весьма разнообразны. Они отличаются друг от друга методом формирования и послыки импульсов в межэлектродный промежуток. Для электроискрового способа обработки из многочисленных схем генераторов импульсов в настоящее время широкое применение получил релаксационный генератор импульсов, выполненный по схеме  $RC$ . Электрическая схема этого генератора импульсов приведена на рис. 2. Генератор импульсов состоит из источника питания постоянного тока, токоограничивающего (балластного) сопротивления, конденсатора и электродов, между которыми происходят повторяющиеся разряды.

Процесс преобразования постоянного тока в импульсный происходит следующим образом. Электрическая энергия, поступающая от источника питания, постепенно накапливается в конденсаторе. Спустя некоторое время после начала заряда, напряжение на конденсаторе возрастает до величины, при которой нарушается прочность межэлектродного промежутка. Последний пробивается, и через образовавшийся канал проводимости

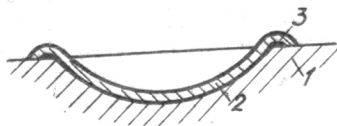


Рис. 1. Единичная лунка

- 1 - основной металл;
- 2 - слой металла застывшего на дне лунки;
- 3 - валик застывшего металла по краям лунки



происходит разряд конденсатора. В процессе разряда напряжение на конденсаторе и электродах падает, разряд прекращается и электрическая прочность промежутка восстанавливается. Так как источник питания продолжает действовать, то все рассмотренные явления возобновляются и протекают до тех пор, пока в результате эрозии расстояние между электродами не увеличится настолько, что напряжение источника питания окажется недостаточным для пробоя.

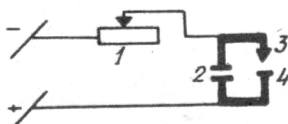


Рис. 2. Схема генератора импульсов RC

1 - балластное сопротивление; 2 - конденсатор, 3 - электрод-инструмент, 4 - обрабатываемая деталь

При сближении электродов процесс снова возобновляется. Графики изменения напряжения на электродах и импульсов тока, протекающих через разрядный канал, представлены на рис. 3.

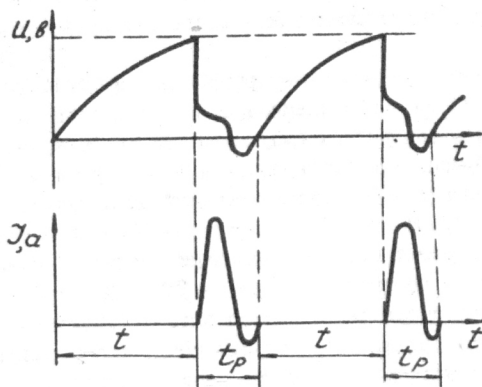


Рис. 3. График изменения напряжения на электродах и импульсов тока, протекающих в процессе работы установки (без соблюдения масштаба времени):

$t$  - время заряда и  
 $t_p$  - разряда конденсатора

Описание принципиальной схемы электроискрового станка ЛКЗ-18

Станок ЛКЗ-18 (рис. 4) состоит из механических узлов и электрического оборудования. Электрическое оборудование находится внутри станины станка. Такое расположение создает компактность и удобство для монтажа и обслуживания.

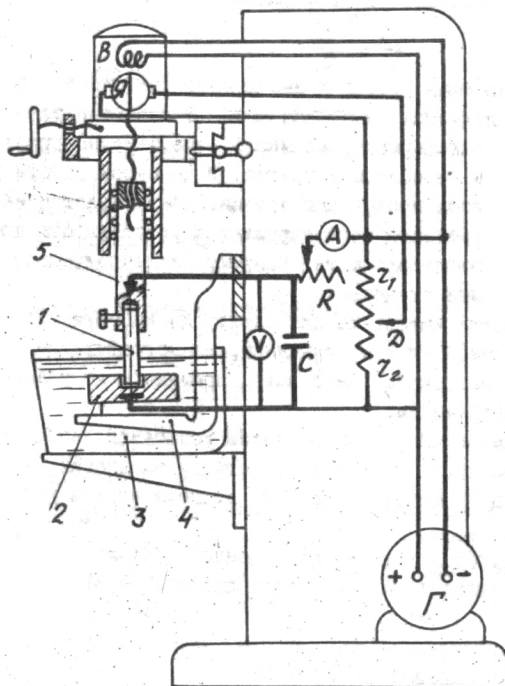


Рис. 4. Принципиальная схема станка ЛКЗ-18

- Г - генератор постоянного тока ( $U_0 = 220$  в);  
 R - балластное сопротивление; C - батарея конденсаторов ( $C = 1, 4, 12, 90$  и  $210$  мкф);  
 $Z_1, Z_2$  - сопротивления плеч моста; Я - движок;  
 B - обмотка возбуждения электродвигателя типа СЛ, Я - якорь;  
 I - электрод-инструмент; 2 - обрабатываемая деталь; 3 - диэлектрическая жидкость; 4 - стол;  
 5 - шпиндель с шариковыми направляющими

Обрабатываемая деталь 2 и электрод-инструмент I подключены к генератору импульсов RC. В процессе работы между поверхностью обрабатываемой детали и поверхностью электрода-инструмента автоматически поддерживается зазор. Величина межэлектродного зазора, а следовательно и значение среднего напряжения на промежутке, устанавливается положением движка  $\mathcal{D}$ , т.е. соотношением сопротивлений плеч моста регулятора межэлектродного зазора

$$\frac{U_{\text{ср}}}{U_0} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Обрабатываемая деталь и инструмент находятся в рабочей жидкости, которая является диэлектриком. В качестве рабочей жидкости применяются: трансформаторное масло, смесь трансформаторного масла с осветительным керосином и другие. В процессе работы рабочая жидкость загрязняется продуктами эрозии, увеличивается её зольность и вязкость, в результате чего нарушается устойчивость процесса и резко падает производительность. Поэтому диэлектрическая жидкость периодически должна сменяться.

В качестве материала для электрода-инструмента можно применять латунь, медь, чугуны, алюминий, меднографитовые композиции, графит и другие материалы. Чаще всего применяют латунные и медные электроды-инструменты.

Электрический режим обработки устанавливается величинами ёмкости конденсатора C, тока короткого замыкания  $I_k$  и среднего напряжения на промежутке  $U_{\text{ср}}$  или степени заряда конденсатора  $\alpha = U_{\text{ср}}/U_0$ .

Для осуществления релаксационного режима работы генератора RC, обеспечивающего максимальную производительность процесса, между значениями - тока  $I_k$  и ёмкости конденсатора C должна быть выдержана определенная зависимость. У станка ЛКЗ-18 эта зависимость выражается следующими значениями:

C мкф	I	4	12	90	219
$I_k, \text{a}$	I	2	8	12	18

#### Технологические характеристики процесса

Производительность (интенсивность) процесса электроискрового способа размерной обработки выражается величиной эрозии, полученной в результате действия серии импульсов в единицу времени

$$V = f \cdot \gamma, \quad \text{г/сек, мм}^3/\text{сек, или } V = f \cdot \gamma$$

где  $\gamma$  - величина эрозии серии единичных импульсов, г; мм<sup>3</sup>  
 $f$  - частота следования импульсов, 1/сек.

Результат действия серии импульсов (интегральная величина эрозии) представляет собой сумму величины эрозии единичных импульсов

$$\Gamma = \sum_{i=1}^N \gamma_i \quad \text{г, мм}^3,$$

где  $N$  - число импульсов

$\gamma$  - величина эрозии одного импульса, г, мм<sup>3</sup>.

Величина эрозии единичного импульса

$$\gamma = KW \quad \text{г, мм}^3,$$

где  $K$  - коэффициент пропорциональности, определяемый физическими константами материала электродов, составом среды, полярностью и длительностью импульса, г/вт сек;

$W$  - энергия единичного импульса, вт. сек.

Энергия единичного импульса, накопленная в конденсаторе,

$$W = \frac{C U_{np}^2}{2}, \quad \text{вт. сек.}$$

где  $C$  - ёмкость конденсатора, ф;

$U_{np}$  - напряжение пробоя, в.

В реальных условиях электроискровой обработки всегда существует значительный разброс значений пробивных напряжений и вероятность возникновения пауз ожидания  $t_0$  и коротких замыканий  $t_k$ . Тогда в общем случае частота следования импульсов будет равна

$$f = \frac{1}{t + t_p + t_k + t_0}, \quad \frac{1}{\text{сек.}}$$

При изменении среднего значения напряжения на промежутке (степень заряда конденсатора) меняется энергия серии единичных импульсов и частота следования их, а, следовательно, и производительность процесса.

Точность обработки. При электроискровой обработке рассеивание размеров обрабатываемой поверхности зависит от колебания межэлектродного зазора, геометрической неточности станка, точности изготовления и величины износа электрода-инструмента и др. факторов. В свою очередь каждый из этих факторов определяется рядом параметров. Так, величина межэлектродного зазора зависит от электрических режимов обработки, геометрическая неточность станка от точности его

изготовления, износ инструмента от теплофизических свойств материала электрода, диэлектрических свойств жидкости и пр.

В данной работе рассматривается влияние ёмкости конденсатора на величину межэлектродного зазора. Эксперимент поставлен таким образом, что влиянием остальных факторов можно пренебречь.

Шероховатость поверхности. Поверхность, обработанная электроискровым способом, специфичная и представляет микрорельеф образованный лунками различной величины, распределенными по поверхности с перекрытием.

Глубина лунки от единичного импульса пропорциональна корню третьей степени от энергии импульса

$$h = K \cdot W^{0.33}, \text{ мкм.}$$

Поскольку импульсы с равной энергией способны вырвать из разного материала различные его порции, то очевидно, что каждый режим обработки будет давать различную шероховатость поверхности.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В соответствии с поставленными в работе задачами рассматриваются следующие характеристики процесса:

1. Определяется степень заряда конденсатора ( $\alpha$ ), обеспечивающая максимальную производительность ( $V_{max}$ ), и при данном значении  $\alpha$  устанавливается зависимость производительности процесса от ёмкости конденсатора. Для этого в пластине толщиной  $S$  обрабатываются сквозные отверстия диаметром  $d_0$ . Обработка отверстий производится в два этапа. В первом, при постоянном значении ёмкости  $C$ , меняется степень заряда:  $\alpha = 0,5; 0,7; 0,9$ . Во втором  $\alpha = const$  (при  $V_{max}$ ),  $C = 4,12$  и  $90$  мкф.

Производительность подсчитывается по формуле

$$v = \frac{\pi d_0^2 S}{4t} \text{ мм}^3/\text{мин},$$

где  $t$  - время обработки в мин.

2. Определяется влияние ёмкости конденсатора на величину межэлектродного зазора.

В качестве оценочного параметра принимается отклонение полученного диаметра отверстия  $d_0$  от диаметра электрода  $d_3$ .

3. Чистота поверхности оценивается визуально сравнением полученной шероховатости с эталонами классов чистоты.

$$\Delta = d_0 - d_3.$$

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить методику проведения работы
2. Изучить конструкцию и принципиальную электрическую схему электроискровой установки ЛКЗ-18.
3. Произвести обработку отверстий в пластине при различных значениях степени заряда и величины ёмкости конденсатора.
4. Перед обработкой измерить диаметр электрода-инструмента.
5. Время обработки отверстий и измеренные размеры полученных отверстий занести в таблицу отчета.
6. По экспериментальным данным рассчитать производительность процесса и погрешность обработки. Полученные данные занести в отчет.
7. Построить графики зависимостей производительности процесса, величины межэлектродного зазора и погрешности обработки от степени заряда и величины ёмкости конденсатора:  
$$v=f(\alpha); v=f(C); \Delta=f(\alpha) \text{ и } \Delta=f(C).$$
8. Оценить шероховатость обработанной поверхности образцов.
9. Оформить отчет.

Оборудование и инструмент, необходимые для работы

1. Электроискровой станок ЛКЗ-18.
2. Секундомер.
3. Штангенциркуль 150 мм (ГОСТ 164-41).
4. Электрод-инструмент диаметром 5+10 мм.
5. Образцы: пластины из стали толщиной 2+5 мм.
6. Эталонные классы чистоты поверхности.

## О Т Ч Е Т

1. Принципиальная схема станка ЛКЗ-18.
2. Результаты замеров, расчетов и оценки производительности процесса, точности обработки и шероховатости поверхности.
3. Графики зависимостей  $v=f(\alpha, C)$  и  $\Delta=f(C)$
4. Выводы.

В выводах должно быть показано:

Значение величины степени заряда конденсатора, обеспечивающей максимальную производительность процесса;

Влияние степени заряда и величины ёмкости конденсатора на шероховатость поверхности.