

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 120 страниц, 27 рисунков, 30 таблиц, 41 источников и 2 приложения.

Ключевые слова: электроэрозионная обработка, электрод – инструмент, межэлектродный промежуток, тугоплавкие металлы и сплавы, разрядный контур,

Объектом исследования является электроэрозионный способ обработки металлов в диэлектрических средах.

Цель работы – разработка и изготовление лабораторного стенда для электроэрозионной обработки металлов. В ходе выполнения работы были рассчитаны параметры контура, осуществлялся выбор элементов и компоновка стенда.

Была изготовлена малогабаритная электроэрозионная установка с питанием от сети 220 В и рабочим током 0,4А. Размер обрабатываемых изделий (15x20x35) мм. Габариты установки (250x110x465) мм.

На установке проведена обработка тугоплавких металлов и сплавов- в образцах были просверлены отверстия диаметром 1 мм.

В работе также рассмотрены вопросы социальной ответственности и ресурсоэффективности, ресурсосбережение.

ABSTRACT

Final qualification work consists of 120 pages, 27 figures, 30 tables, 41 references and 2 attachments.

Keywords: electric erosion machining, an electrode –tool, an interelectrode gap, refractory metals and alloys, discharge circuit.

The object of research is electric erosion machining processing of metals into dielectric liquids.

The purpose of work is development, made and test of laboratory apparatus for electrical discharge machining of metals. Discharge circuit parameters were calculated and design of the apparatus was made.

The supply voltage of apparatus is 220 V, 50 Hz, working current is 0,4 A. Sizes workpieces are 15x20x35 mm. Sizes of apparatus are 250x110x465 mm.

The apparatus was tested for drilling of 1mm diameter holes into refractory metals and alloys.

The problems of social responsibility and resource efficiency, resource conservation were considered in the paper.

Содержание

Введение.....	4
1. Обзор литературы.....	6
1.1 Принцип электроэрозионной обработки металлов	6
1.2 Схемы генерирования импульсов напряжения.....	9
1.3 Требования к электроду-инструменту	13
1.4 Требования к диэлектрической жидкости.....	14
1.5 Выбор электрической схемы	16
2 Постановка задачи работы	18
3 Расчетно-конструкторская часть	19
3.1 Расчет зарядной схемы	19
3.2 Расчет разрядной схемы	24
4 Выбор элементов устройства.....	27
4.1 Выбор конденсаторов	27
4.2 Выбор токоограничивающего резистора.....	29
4.3 Выбор схемы выпрямления	30
4.4 Выбор элементов для подачи электрода.....	32
5 Моделирование электрической схемы.....	35
6 Конструкция установки	37
7 Измерительная цепь	39
8 Экспериментальные данные	43
8.1 Параметры импульсов тока и напряжения.....	43
8.2 Эксперименты по обработке металлов	46
8.3 Эксплуатация электроэрозионной установки	48
Заключение	51

Введение

Развитие науки и техники вызывает необходимость широкого применения новых марок стали и сплавов с высокими механическими свойствами. Применение электроэрозионного способа открыло новые технологические возможности в области обработки металлов и токопроводящих материалов. Технология электроэрозионной обработки развивалась благодаря интенсивному росту выпуска магнетронов. Обработка этих материалов традиционными механическими способами связана с многочисленными технологическими проблемами, а некоторые из них вообще не подвергаются к механическим обработкам.

Основоположниками электроэрозионной обработки является советские ученые Б.Р.Лазаренко и Н.И.Лазаренко, известной сейчас во всем мире как Electro Discharge Machining of Materials. Этими авторами были предложены физические основные метода и дальнейшие развитие технологии. [1]

Этот способ открыл новую эру в развитии металлообработки, обеспечив использование электрической энергии непосредственно для формообразования деталей из любых токопроводящих и полупроводниковых материалов независимо от их физико-химических и механических свойств, а также упрочнения и легирования их поверхностей. Электроэрозионный способ обработки материалов имеет весьма ценные свойства и обладает следующими технологическими возможностями:

1. Отсутствует необходимость в обрабатывающих инструментах более твердых, чем материал. Твердые сплавы и сверхтвердые материалы могут быть обработаны электродами из цветных сплавов, изготовленными на обычных металлорежущих станках; технологические приемы и оборудование относительно несложны.

2. Скорость, качество и производительность обработки не зависят от механических свойств (например твердости) обрабатываемых материалов.

3. Обработка любых материалов, в том числе материалов высокой и сверхвысокой твердости, производится без значительных механических усилий.

4. Легко осуществимы сложные технологические операции (например, получение внутренних криволинейных или спиральных отверстий, пазов, канавок, и т. д.), что невыполнимо механическими методами. Это позволяет значительно повысить технологичность конструкций и качество изделий.

5. Легко осуществить сравнительно полную механизацию и частичную или полную автоматизацию оборудования, а также включение его в поточное производство.

6. Сокращается число операций и переходов при обработке изделий сложных форм.

7. Изменение формы изделия может сочетаться с одновременным изменением свойств его поверхности (например, повышением твердости, коррозионной стойкости, электропроводности и т. п.),

8. При правильном выборе технологического процесса значительно снижается трудоемкость обработки по сравнению с обработкой резанием, повышается производительность и экономическая эффективность. При этом в большинстве случаев существенно уменьшается брак. ,

9. Повышается безопасность работы и улучшаются условия труда по сравнению с механической обработкой. Устраняется тяжелый физический труд при выполнении многих технологических операций.

На современном этапе развития электроэрозионной обработки ее целесообразно применять только в тех случаях, когда механическая обработка неосуществима или весьма затруднительна (особые свойства материала, сложная конфигурация деталей, обработка в малодоступных местах).

1. Обзор литературы

1.1 Принцип электроэрозионной обработки металлов

Простейшая схема удаления металла из области обработки посредством электрической эрозии приведена на рисунке 1.

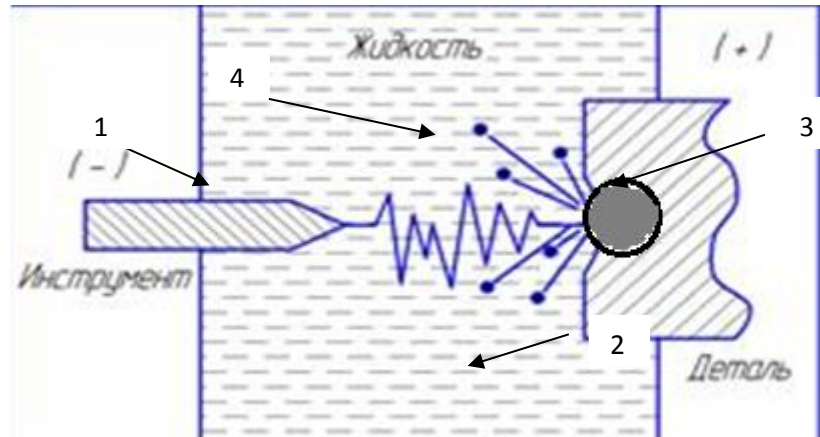


Рисунок 1 – Режим электроэрозионной обработки

1 – электроды, 2 – жидкость, 3 – стальной подшипник, 4 – продукты эрозии.

К электроду 1 подведено напряжение, которое создает электрическое поле в межэлектродном промежутке. При сближении электродов на критическое расстояние, возникает электрический разряд в виде проводящего канала. Для повышения интенсивности разряда электроды погружают в диэлектрическую жидкость 2 (керосин, минеральное масло и др.) На поверхности электродов имеются микронеровности различной величины. Напряженность электрического поля будет наибольшей между двумя наиболее близкими друг к другу выступами на поверхности электродов, поэтому именно здесь возникают проводящие мостики из примесных частиц жидкости. Ток по мостикам нагревает жидкость до испарения и образуется газовый пузырь (4), внутри которого и развивается мощный искровой или дуговой разряд, сопровождающийся ударной волной. Возникают потоки электронов и ионов (положительные и отрицательные стримеры), которые бомбардируют электроды. Образуется плазменный канал

разряда. Благодаря высокой концентрации энергии в зоне разряда температура достигает тысячи и десятков тысяч градусов. Металл на поверхности электродов плавится и испаряется. Капли расплавленного металла в результате движения потока жидкости в рабочей зоне выбрасываются за пределы электродов и застывают в окружающей электродами жидкости в виде мелких частиц сферической формы. От взаимодействия жидкости с участками электродов, нагретых до температуры 1000 – 4000 С, на границах плазменного канала разряда происходит пиролиз диэлектрической жидкости. В результате в жидкости образуются газы, а также асфальтосмолистые вещества. Из газовой среды выделяется углерод, отлагающийся на нагретых поверхностях электродов в виде тонкой пленки кристаллического графита. В месте действия импульса тока на поверхностях электродов остаются небольшие углубления - лунки, образовавшиеся вследствие удаления разрядом некоторого количества металла.

После разряда в течение некоторого времени происходит остывание столба канала и деионизация вещества плазмы в межэлектродном промежутке. Электрическая прочность межэлектродного промежутка восстанавливается. Время деионизации жидкого диэлектрика составляет 10^{-2} – 10^{-6} с. Следующий разряд обычно возникает уже в новом месте, между двумя другими ближайшими точками электродов.

Длительность интервалов между импульсами должна быть достаточной для удаления из зоны разряда продуктов эрозии, а также газового пузыря, являющегося главным препятствием для возникновения следующего разряда. В связи с этим частота разрядов с возрастанием их энергии снижается.

Так происходит до тех пор, пока разряды не удалят с поверхности электродов все участки металла, которые находятся на расстоянии пробоя при величине приложенного напряжения. Когда расстояние между электродами превысит пробивное, для возобновления разрядов электроды должны быть сближены. Обычно электроды сближают в течение всего времени обработки так, чтобы электрические разряды не прекращались [1].

Электроэрозионная обработка по режиму работы делится на два: режим электроискровой обработки и режим электроимпульсной обработки (рисунок 2). Для чистовой и точной обработки используется режим электроискровой обработки. В этом режиме на электрод-инструмент подается отрицательная полярность, а обрабатываемая деталь является анодом. В данном случае деталь обрабатывается электронным потоком, разжигается электронный стример (искра). Для уменьшения износа электрода-инструмента, используются импульсы напряжения с длительностью не более 1 мкс.

В режиме электроимпульсной обработки на электрод-инструмент подается положительная полярность, а обрабатываемая деталь является катодом. В межэлектродном промежутке загорается дуговой разряд. Производительность электроимпульсного режима 8-10 раз выше, чем при электроискровом режиме, но чистота обработки существенно хуже.

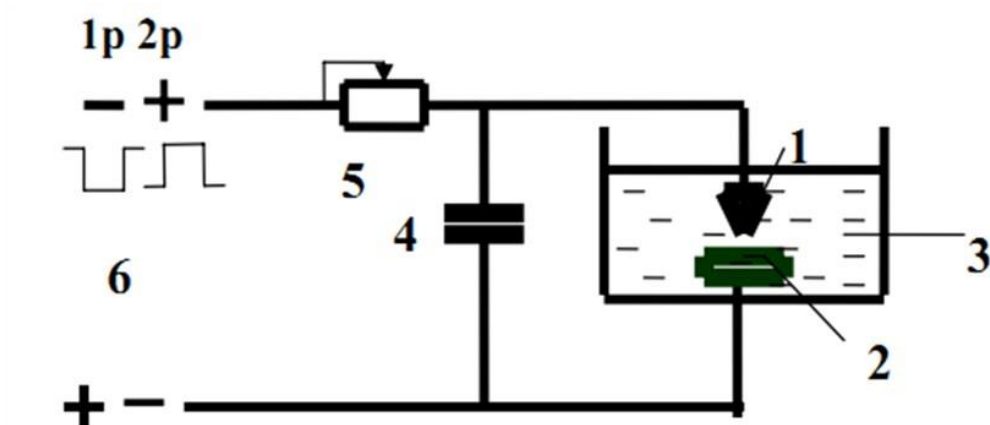


Рисунок 2 – Схема электроэрозионной обработки материалов: 1 - электрод-инструмент, 2 - обрабатываемая деталь, 3 - среда, в которой производится разряд, 4 - конденсатор, 5 - реостат, 6 - источник питания, 1р - режим электроискровой обработки, 2р - режим электроимпульсной обработки

Кроме отличия в полярности электродов, системы электродов инструмента работают по-разному. В электроискровом режиме используются вибрирующий электрод для изменения зазора в межэлектродном промежутке.

Неподвижный электрод-инструмент применяется в электроимпульсном режиме.

Широкое развитие метода обработки выявляло различные точки зрения к механизму процесса выбрасывания металла в результате действия искрового импульса. Группа ученых из США исходит из представления, что отдельная порция металла отделяется от всей массы его в результате действия сил электрического поля, что при этом отрываемая частица даже не расплавляется. Силы, отрывающие частицу от массы металла, развиваются вследствие исключительно высокой плотности тока в точечной зоне поверхности обрабатываемого материала, следовательно, высокого градиента потенциала и силы поля на положительных ионах кристаллической решетки [2].

Авторы [2] объясняют механизм электроискровой обработки возникновением механических усилий. При протекании искрового импульса электрического тока трудно говорить о поддающейся измерению температуре и о каком-либо термическом эффекте в обычном смысле слова, поскольку все происходит мгновенно и слишком концентрированно. По их мнению, правильнее назвать этот процесс «гипертермическим ударом», поскольку речь идет о крайне локализованном механическом воздействии, которое с такой силой потрясает металл, что вызывает вырывание, взрыв или освобождение частиц металла, прежде чем произойдет тепловое распространение разряда на его нижние слои.

В работе [3] описана диффузия электрода в обрабатываемую деталь, которая наблюдалась во время электроискрового сверления.

1.2 Схемы генерирования импульсов напряжения

Основной задачей при проектировании и разработке электроэрозионных установок является выбор электрической схемы. Режимы и виды обработки требуют определенных значений энергии и частоты следования импульсов. В настоящее время существуют многочисленные

схемы генераторов. В работах [7,8] предложена классификация области применения электрических схем генераторов импульсов. Было установлено, что в большинстве схем используется два основных метода генерации импульсов. Первый метод заключается в получении коротких импульсов с большой скважностью, для обработки тугоплавких металлов (ниобий, молибден, тантал, вольфрам, рений, титан и т.д.). При генерировании по первому методу (рис 3 а) энергия от источника питания 1 через резистор 2 запасается в накопителе 3. При этом коммутирующее устройство 4 и межэлектродный зазор должны находиться в непроводящем состоянии.

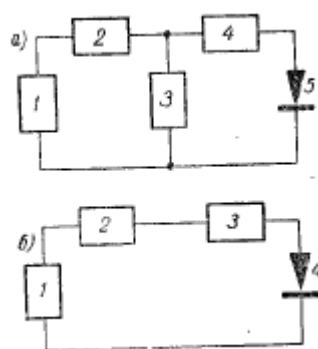


Рисунок 3 – Схемы генерирования импульсов: а) с большой скважностью
б) с малой скважностью

При генерировании импульсов по второму методу (рис 3, б) от источника питания 1 через коммутирующее устройство 2 и резистор 3 в межэлектродный промежуток 4 поступает энергия, когда коммутирующее устройство 2 находится в проводящем состоянии. В межэлектродный промежуток выделяется энергия после его замыкания. В этом методе скважность получаемое невелико, а получение большой скважности неэкономичен [1].

Идея использования искровой коммутации для получения коротких импульсов значительной мощности не является новой электро- и радиотехнике. В электроэрозионной обработке требуется получение большой мощности в межэлектродном промежутке. Поэтому искровые коммутаторы вынуждены работать в весьма тяжелых условиях, особенно если учесть, что они одновременно должны выполнять еще и ряд функций как, заряжать

конденсаторы в период между двумя рабочими импульсами. Одним из достоинств таких схем является высокий к.п.д генератора. Это связано с отсутствием в цепи активного сопротивления. Такие генераторы могут использоваться в высокопроизводительной электроэрозионной обработке сталей и твердосплавных деталей.

В настоящее время электроэрозионных станках применяются схемы на основе RC , RLC , LC , CC пригодные по энергетическим и технологическим показателям. Промышленные производители, варьируя элементами R , C , L , изготавливают станки для различных типов обработки. По мнению авторов, положительным сторонам этих схем относится простота, дешевизна, надёжность [1,11]. Для электроискровой обработки металлических поверхностей наиболее широко применяются зависимые, неразобщенные, релаксационные генераторы импульсов. Разработаны схемы на полупроводниковых основах с униполярными импульсами для повышения производительности.

Основные способы генерирования импульсов электрической энергии [1], применяемые для электроэрозионной обработки, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Способы генерирования импульсов электрической энергии

Наименование	Методы генерирования	Напряжение питания, В	Энергия импульсов, Дж	Длительность импульса, мкс
Релаксационные	Зарядка накопительной емкости через токоограничивающую цепь, самопроизвольная разрядка на межэлектродный промежуток	100-300	0,1-10	0,5-200
С прямой коммутацией	Разрядка управляемая во времени с помощью игнитрона, тиристоры.	100-200	0,1-1	1-50
С	Зарядка накопительной емкости	До 20000	0,01-100	0,5-20

Наименование	Методы генерирования	Напряжение питания, В	Энергия импульсов, Дж	Длительность импульса, мкс
коммутацией на высоком напряжении	через источник высокого напряжения, коммутации с помощью тиратрона, импульсный лампы			
Машинные	Электрической машиной с особой формой индуктора и специальными шагом обмотки	Импульсное 100 (амплитудное) 20-30 (среднее)	50-1	1000-100
Вентильные	Питание межэлектродного промежутка через вентиль	40-80	До 300	5000-250
Ламповые	Пропускание через первичную обмотку импульсного трансформатора импульсов тока от источника постоянного тока через электронную лампу	До 20000	–	0,2-0,5

В настоящее время разрабатываются многочисленные электрические схемы с использованием современных устройств. Авторы статьи Converter With Four Quadrant Switches for EDM Applications [5] предлагают использовать два коммутирующих устройства и трансформатор с отпайкой для подачи импульсов в межэлектродный промежуток. Разработанная схема показана на рисунке 4.



Рисунок 4 – Принципиальная электрическая схема

Схема была разработана для получения высокочастотных импульсов прямоугольной формы. К выводам первичной обмотки должен подключать источник питания собранный по LC схеме и четыре выпрямителя. Недостатком этой схемы является сложная система управления.

1.3 Требования к электроду-инструменту

Рентабельность электроэрозионной обработки в значительной степени зависит от затрат на изготовление электрода–инструмента. Электроды изготавливаются всеми способами обработки материалов. В настоящее время стали развиваться новые прогрессивные методы изготовления электродов – инструментов путем порошковой металлургии, вихревого копирования, металлизации напылением и гальванопластики. В таблице 3 приведены широко применяемые металлы для электрода–инструмента в зависимости от обрабатываемого материала [6].

Таблица 3 – Выбор материала электрода в электроэрозионной обработке [3]

Генераторы	Обрабатываемый материал	Материал электрода - инструмента				
		латунь	медь	алюминий	чугун	графит
RC,RLC,CC	Сталь	+	+	+	—	—
	Твердый сплав	+	+	+	+	—
RCL,RLCL	Сталь	+	+	—	—	—
	Твердый сплав	+	+	—	—	—
Вентильные	Сталь	—	+	+	—	+
	Твердый сплав	—	—	—	—	—
Машинные	Сталь	—	+	+	—	+
	Твердый сплав	—	—	—	—	—

Одной из главных проблем для электрода–инструмента является его износ. Он обусловлен многими факторами, основным из которых является режим обработки, материал и размеры электрода–инструмента [8]. Износ электрода происходит из-за высоких температур при зажигании разряда в межэлектродном промежутке. Износ электрод инструмента оказывает существенное влияние на точность изготавливаемой детали.

Уменьшения износа электродов можно достичь с использованием пологих импульсов тока значительной длительности, так как удлинение импульса при неизменной его энергии приводит к снижению температуры в канале разряда [10]. Применение криогенного охлаждения электрода во время обработки исследовались в [12]. Исследование проводились в различных температурах, охлаждение производилось с помощью дистиллированной воды. Применения криогенного охлаждения дали положительный эффект в обработке сплавов титана.

Компания Sodick разработала электрод-инструмент со сверхнизкой износоспособностью на основе графитовых электродах.. Новая система SGF снизила износ электрода практически до менее 0,06%, а в реальных условиях обработки даже 0,02%. Такие потери достигнуты впервые в отрасли: ранее сверхнизкий износ гарантировался только на медных электродах. [7].

1.4 Требования к диэлектрической жидкости

Жидкая диэлектрическая среда выполняет функции возбуждения электрического разряда между электродами, способствует естественному и принудительному отводу продуктов эрозии из рабочей зоны и охлаждению электрода инструмента и детали. Связи с упомянутыми требованиями рабочая жидкость должны быть маловязкой, с малым коэффициентом поверхностного натяжения. Для работ в черновых режимах можно использовать любые переработанные отходы нефти, так как они пригодны к обработке разных материалов и способствует малому износу электродов [8]. На данное время промышленные производители электроэрозионных станков

дополнительно изготавливают рабочие жидкости. Проводятся работы по дальнейшему совершенствованию рабочих жидкостей с целью повышение их технологических и эксплуатационных показателей. В таблице 4 приведены основные применяемые жидкости для маломощных станков.

Таблица 4 – Применяемые жидкости для маломощных станков [3]

Наименование рабочей жидкости	Поставщик	Станкостроительная Фирма (страна)	Температура вспышки °С
Сырье углеводородное	Салаватский НХК	Россия	64-71
Dielectric 180	U.Petroleum	Agie Швеция	62
Somentor 31	Esso-Standart		80
Genrex 56	Mobil Oil	Elbomat Германия	90
Petrole	–	Charmilles Швейцария	78
Керосин	–	CERMO-CETIM Франция	70-75
Dielectric LEF	–	VEB German Shlimme Германия	104

Одним из способов повышения эффективности электроэрозионной обработки является изучение импульсного пробоя в жидкости, который имеет отличие от пробоя в газовом механизме. [9] Суть исследования заключалась в изменении работы выхода электронов из катода в диэлектрических жидкостях. Результаты исследования влияния материала электродов на импульсную электрическую прочность жидкостей подтверждают тепловую природу разрушения электродов и указывают на важную роль в пробое продуктов разрушения, поступающих в плазму развивающегося разряда. Можно предположить, что пары и макрочастицы металла электрода, имеющие малые, по сравнению с жидкостью, потенциалы ионизации (5-8) эВ, ионизируются в плазме разряда и тем самым увеличивают ее проводимость и облегчают пробой. Все рассмотренные

процессы могут помочь скорректировать теорию электроэрозионной обработки и сделать процесс более устойчивым и производительным, а также позволит получать более качественные поверхности [10].

Многие эксперименты были проведены в технической воде. Основной проблемы экспериментов в воде были проводимость воды электрического тока. Установлено, что для точной обработки электрическим разрядом в воде наиболее подходящие холостые импульсы напряжения по отношению к форме являются биполярные импульсы, которые не содержат постоянную составляющую, и для которых амплитуда положительного импульса не менее чем в два раза больше, амплитуды отрицательной, в то время как длительность импульса находится в диапазоне от 3 до 4 мкс. Рабочие импульсы тока оптимальной формы представляют собой прямоугольные импульсы с длительностью до (3-4) мкс и амплитуд до сотен ампер [9].

На сегодняшний день для обработки материалов электроэрозионным способом существует ряд многочисленных диэлектрических жидкостей, которые легкодоступны, с невысокой стоимостью. К примеру, можно отнести ECOCUT 1520 который по своим характеристикам опережающий вышеперечисленные жидкости [11].

1.5 Выбор электрической схемы

Известные в литературах [12,13,14,16,18] схемы для электроискровой обработки металлов, которые применяются в современных установках не подходят для изучения и исследования студентами процесса обработки материалов. Требования для учебно-исследовательских работ это возможность полного визуального обзора станка и доступность к подключению измерительных приборов в электрическую цепь. Пример учебно-лабораторной установки, используемой для учебных целей, описан в [15].

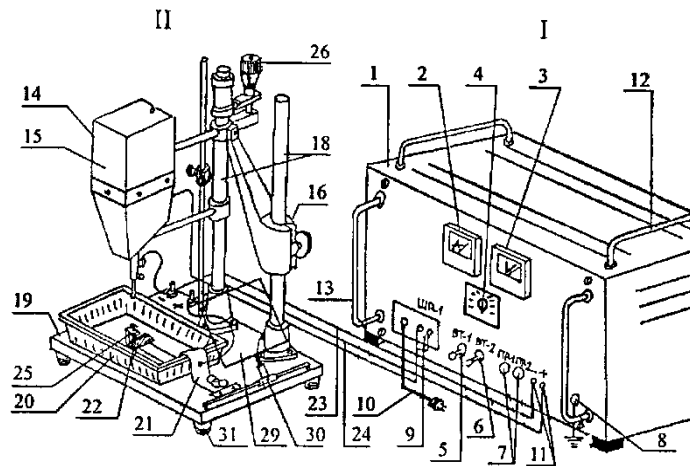


Рисунок 5 – Учебно – лабораторная установка

1-5 – контрольно – измерительные приборы, 6-11 система управления, 14-18 электрод – инструмент, 19-21 – ванна для рабочей жидкости, 22-30 – электроды и их оснастка

Для таких целей с момента открытия метода использовались простейшие по устройству и широко применяемые в промышленности RC схемы с включенным диодным мостом. Для лабораторных установок необходимо предусмотреть регулировку параметров импульсов тока и напряжения, что в RC схемах можно изменять в широких пределах.

Стремление получить наибольшую эффективность работы генератора RC приводит к необходимости достигнуть наибольшей амплитуды тока в разрядной цепи. Для получения наибольшей амплитуды тока необходимо, чтобы сопротивление и индуктивность разрядной цепи были наименьшими. Соединительные провода должны обладать высокой электропроводностью, а конденсатор должен быть выполнен таким образом, чтобы в нем не было больших потерь и индуктивности [3].

2 Постановка задачи работы

Целью выпускной квалификационной работы является разработка и изготовления малогабаритной электроэрозионной установки для проведения лабораторных работ.

Для этого необходимо:

- провести расчет электрической схемы и выбрать элементы схемы;
- разработать узел подачи электрода– инструмента с использованием инструментов для измерения малых линейных величин;
- выполнить монтаж электротехнической и механической части установки;
- разработать схему измерения тока и напряжения;
- провести эксперименты по сверлению тугоплавких металлов.

3 Расчетно-конструкторская часть

3.1 Расчет зарядной схемы

Основными параметрами электрических импульсов, подаваемых на межэлектродный промежуток, являются их частота повторения, длительность, амплитуда и скважность, определяющие максимальную мощность и энергию. Форма и параметры импульсов оказывают существенное влияние на износ электрода-инструмента, производительность и шероховатость обработанной поверхности. Обозначим частоту повторения импульсов, т.е. их число в секунду, через f . Тогда $T = 1/f$ будет являться периодом. Он определяет промежуток времени, через который следует очередной импульс.

Импульс характеризуется амплитудным значением (или амплитудой) напряжения и тока U_m и I_m . Это максимальные значения, которые приобретают напряжение и ток за время импульса. При электроэрозионной обработке амплитуда напряжения изменяется от нескольких вольт до нескольких сотен вольт, а амплитуда тока от доли ампера до десятков тысяч ампер. Диапазон скважностей импульса при электроэрозионной обработке заключен в пределах от 1 до 30.

Для практического осуществления электроискровой обработки необходимо создать такую электрическую цепь, в которой обрабатываемая деталь и обрабатывающий инструмент являлись электродами, между которыми периодически протекал бы импульсный разряд.

В схемах электроискровых станков, работающих на напряжениях от 110 до 220 В, импульсный разряд получают за счет разряда конденсаторов, подключенных параллельно электродам и периодически заряжаемых от источника постоянного тока.

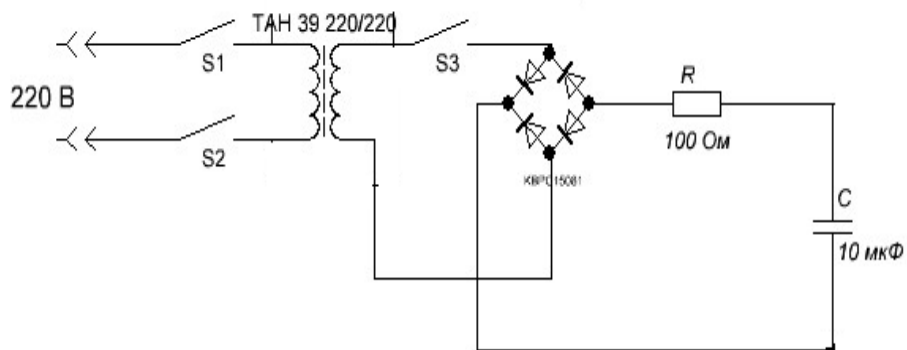


Рисунок 6 – Зарядная схема

Такая схема включает в себя две самостоятельные цепи: зарядный контур (источник тока, зарядное сопротивление R , батарея конденсаторов C) (рисунок 6) и разрядный контур (рисунок 7), состоящий из батареи конденсаторов и электродов. В приведенной схеме батарея конденсаторов является как бы вторичным источником энергии, отдающим ее в процессе разряда в ничтожно короткий промежуток времени, что и обуславливает разрушающий металл электродов импульс тока. Для того чтобы длительность разряда не превысила определенной величины, при которой импульсный («искровой») разряд переходит (инверсирует) в стационарный дуговой разряд, не пригодный для осуществления обработки, величина зарядного тока при заданном емкости ограничивается с помощью зарядного сопротивления.

Частота релаксационных колебаний зависит от напряжения источника питания, величины емкости конденсатора, величины токоограничивающего сопротивления: и напряжения, до которого заряжается конденсатор. Последнее, как упоминалось выше, зависит от расстояния между электродами.

Частота может быть вычислена по следующей формуле:

$$f = \frac{1}{RC \ln \frac{U_{\Pi}}{U_{\Pi} - U_k}} \quad (3.1)$$

Средние данные наиболее часто применяемых режимов генератора RC для обработки различных материалов приведены в таблице 5. В таблице показаны все значения токоограничивающего сопротивления и ёмкости

конденсаторов при сетевом однофазном напряжении. В нашем случае однофазное сетевое напряжения выпрямляется с помощью диодного моста в постоянное.

Диод в выпрямителях является основным элементом, и его параметры во многом определяют основные параметры выпрямителей.

Мостовая схема выпрямителя:

Средне выпрямленное напряжение:

$$U_{cp} = \frac{2U_{2m}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \approx 0,9U \quad (3.2)$$

$$U_{cp} \approx 0,9 \cdot 220 \approx 198V$$

Определив среднее выпрямленное напряжения можем рассчитать мгновенные значения напряжения и зарядный ток конденсатора.

Зарядный ток конденсатора. В момент включения конденсатор еще не заряжен и напряжение на нем $U_k=0$. Падение напряжения на сопротивлении равно напряжению источника, сила тока $i=U/R$. Прохождение тока i сопровождается постепенным накоплением заряда Q на конденсаторе. Создается напряжение $U_k=Q/C$, вследствие чего падение напряжения на резисторе R уменьшается $iR=U-U_k$. Следовательно, сила тока в цепи равна $i=(U-U_k)/R$ и понижается с уменьшением скорости накопления заряда Q . Конденсатор продолжает заряжаться, но заряд и напряжение на нем растут все медленней, а сила тока уменьшается пропорционально разности $U-U_k$.

Через промежуток времени (теоретически бесконечно большой) напряжение на конденсаторе достигнет величины источника питания, а ток станет равным нулю — процесс зарядки конденсатора заканчивается. Процесс зарядки считается законченным, когда ток уменьшился до 1% начального значения или напряжение на конденсаторе достигло 99% напряжения источника питания U . Продолжительность процесса зарядки

конденсатора зависит от сопротивления цепи R , ограничивающей силу тока, и емкости. При большей емкости накапливается больший заряд, скорость протекания процесса характеризуется постоянной времени цепи $\tau=RC$. Через интервал времени τ с момента включения цепи напряжение на конденсаторе достигает примерно 63% напряжения источника U питания, а через интервал 5τ процесс зарядки конденсатора закончится. Напряжение на конденсаторе при зарядке равно $U_C=U-Ue^{-t/\tau}=U(1-e^{-t/\tau})$, т. е. оно равно разности постоянного напряжения источника питания и напряжения $Ue^{-t/\tau}$, убывающего с течением времени по закону показательной функции от значения U до 0. Зарядный ток конденсатора равен величине $i_C=Ue^{-t/\tau}/R=Ie^{-t/\tau}$ и постепенно уменьшается от начального значения $I=U/R$ по закону показательной функции.

Рассчитаем примерное время, за которое должен зарядиться конденсатор.

$$\tau=RC \quad T=5\tau=5RC \quad (3.3)$$

$$T=5 * 100 * 10 * 10^{-6} = 5 * 10^{-3} c = 5мс$$

Закон изменения напряжения на конденсаторе с достаточной для практических расчетов точностью определяется зависимостью:

$$U_k = U_{\pi} \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right) \quad (3.4)$$

где

U_k — мгновенное значения напряжения на конденсаторе, В

U_{π} — напряжения источника питания, В

t — время, прошедшее от начала зарядки, с

$$U_k = 198 \left(1 - e^{-\frac{0,0008}{0,001}} \right) = 109 \text{ В}$$

Зарядный ток конденсатора равен величине

$$i_k = \frac{U}{R} e^{-t/\tau} = \frac{109}{100} e^{-0,0008/0,001} = 0,49 \text{ A}$$

Таблица 5 – Соотношения величин емкости и силы тока [1].

№ пп	1	2	3	4	5	6	7	8
Величина емкости (мкФ)	4	6	10	30	50	100	200	300
Величина тока (А)	0,32	0,4	0,8	2,4	4	8	16	24

Практикой установлены следующие соотношения величин емкости и силы тока, обеспечивающие получение импульсного разряда.

Оптимальный режим работы генератора соответствует наибольшей мощности, выделяемой в межэлектродном промежутке, и определяется некоторым значением степени зарядки k .

Если принять мощность короткого замыкания за 100 %, то при оптимальной степени зарядки конденсатора $k=72\%$ получим следующие значения $P=201,6 \text{ Вт}$ [3] Основные параметры установки приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Основные параметры установки

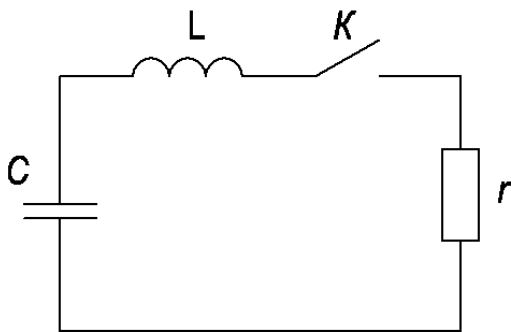
Полезная мощность Вт	0,2	40,3
КПД %	/	0,35
Потребляемая мощность Вт	0,57	115
Среднее напряжения в промежутке В	$0,53U_{\text{п}}$	105

Как видно из расчетных данных КПД генератора чрезвычайно низок даже без учета потерь в разрядном контуре.

3.2 Расчет разрядной схемы

Разрядная схема включает в себя накопительный конденсатор, собственная индуктивность проводов и малое активное сопротивление межэлектродного промежутка. При касании электродов сопротивление межэлектродного промежутка стремится к нулю. Практически это короткое замыкание.

$$U_0 = 198 \text{ В} \quad r = 0.1 \div 0.01 \text{ Ом} [1] \quad C = 10 \text{ мкФ} \quad L = 0.01 \text{ мкГн}$$



Значения тока $i(t)$ и напряжения $U(t)$ в начальный момент времени $t=0$ равны:

$$i_0 = 0, \quad U_0 = U_C = \frac{q_0}{C}$$

Уравнение Кирхгофа для разрядной цепи после замыкания ключа **К**:

Рисунок 7 – Разрядная схема

$$U_L + U_r + U_C = 0$$

Подставив значения напряжений на элементах цепи, запишем:

$$L \frac{di}{dt} + ri + \frac{q}{C} = 0,$$

Взяв производную по времени от этого уравнения, получим:

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + r \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0.$$

Характеристическим уравнением полученного дифференциального уравнения будет уравнение:

$$P^2 + \frac{r}{L}P + \frac{1}{LC} = 0,$$

$$P^2 + \frac{0.1}{0.01 \cdot 10^{-6}}P + \frac{1}{0.01 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 0$$

$$P^2 + 10^6 P + 10 \cdot 10^{12} = 0$$

корни которого имеют вид: $P_{1,2} = -\frac{r}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{r}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$.

$$P_{1,2} = -\frac{0.1}{2 \cdot 0.01 \cdot 10^{-6}} \pm \sqrt{\left(\frac{0.1}{2 \cdot 0.01 \cdot 10^{-6}}\right)^2 - \frac{1}{0.01 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-6}}}$$

$$P_1 = -1130000$$

$$P_2 = -8872983$$

В зависимости от соотношения активного и волнового сопротивления контура (соотношения между параметрами r , L , C), характеристическое уравнение может иметь различные решения (вещественные или комплексные корни).

$r > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$, (или $\left(\frac{r}{2L}\right)^2 > \frac{1}{LC}$), $0.1 > 2\sqrt{\frac{0.01 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}}}$ тогда характеристическое

уравнение имеет два вещественных корня. Ток найдется из уравнения:

$$i = \frac{U_0}{2L\sqrt{\left(\frac{r}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}} (e^{P_1 t} - e^{P_2 t}). \quad (3.5)$$

$$i = \frac{105}{2 \cdot 0.01 \cdot 10^{-6} \sqrt{\left(\frac{0.1}{2 \cdot 0.01 \cdot 10^{-6}}\right)^2 - \frac{1}{0.01 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 10^{-6}}}} (e^{-1130000 \cdot 6.10^{-6}} - e^{-8872983 \cdot 6.10^{-6}}) =$$

$$702,7 \text{ A}$$

Энергия, выделяющаяся в межэлектродном промежутке, зависит от емкости конденсатора и напряжение до которого он зарядился:

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad (3.6)$$

$$W = \frac{10 * 10^{-6} * 198^2}{2} = 0,2 \text{ Дж}$$

где

W - энергия, в Дж или Вт • сек.;

C - емкость, в Ф;

U - напряжение, до которого зарядился конденсатор, В.

Мощность, выделяющаяся в межэлектродном промежутке и определяющая производительность электроэрозионной обработки, равна

$$P = f * A \text{ Вт} \quad (3.7)$$

$$P = 50 * 0,2 = 10 \text{ Вт.}$$

4 Выбор элементов устройства

4.1 Выбор конденсаторов

В качестве накопителя энергии выбран конденсатор МБГП-1 1600В - 10 мкФ предназначены для работы в импульсных режимах и выпускаются в стальных прямоугольных корпусах, герметизированных пайкой, с лепестковыми выводами.

Конденсатор МБГП-1 10 мкФ 1600 В относится к разделу пассивных электронных компонентов и состоит из двух электродов в форме пластин (называемых обкладками), разделённых диэлектриком, толщина которого мала по сравнению с размерами обкладок. Особое применение МБГП-1 получил в колебательных контурах приёмопередающих устройств, блоках питания, фильтрах и в другой радиоэлектронной аппаратуре и приборах. Предназначен для работы в импульсных режимах - для формирования мощных импульсов тока разряда в нагрузке, обладают высокой энергоёмкостью. Параметры конденсатора соответствуют всем требованиям исходных данных и расчетов.



Рисунок 8 – Конденсатор МБГП-1 1600В-10мкФ

Основные технические характеристики и их значение показаны в таблице 7.

Таблица 7 – Технические характеристики конденсатора МБГП-1600В [19]

Рабочее напряжение	1600 В
Номинальная ёмкость	10 мкФ
Допуск ёмкости	$\pm 5, \pm 10, \pm 20 \%$
Тангенс угла потерь (при $f=50\text{Гц}$)	не более 0,01
Постоянная времени	$>1000\text{Мом} \cdot \text{мкФ}$
Сопротивление между выводами и корпусом	$>5000\text{МОм}$
Частота следования импульсов, не более	1,0кГц
Диапазон температур	$-60 \dots +70 \text{C}^\circ$
Климатическое исполнение:	УХЛ 5.1 и В 2.1
Минимальная наработка	10000 ч

4.2 Выбор токоограничивающего резистора

При прохождении электрического тока через сопротивления происходит его нагрев. Если пропускать через сопротивления ток, превышающий заданное значение, то токопроводящее покрытие разогреется настолько, что резистор сгорит. Поэтому существует разделение резисторов по максимальной мощности.

Мощность постоянного тока рассчитывается по простой формуле:

$$P_{(\text{Вт})} = I_{(\text{А})}^2 * R_{(\text{Ом})} \quad (4.1)$$

$$P = 0.49 * 0.49 * 100 = 24 \text{ Вт}$$

Если в схему установить резистор меньшей мощности рассеивания, чем требуется, то резистор будет нагреваться и в результате сгорит. Поэтому, если в схеме нужно установить резистор мощностью 24 Вт, то ставим на 24 Вт и более.

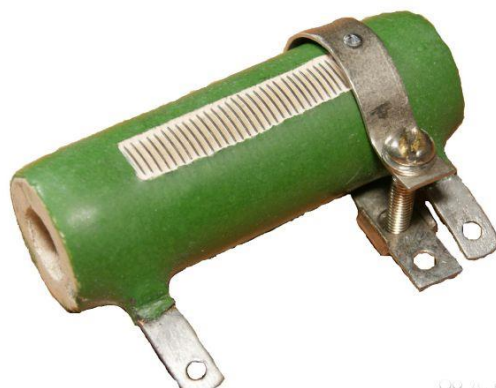


Рисунок 9 – Переменный резистор ПЭВР-25-150

Резисторы ПЭВР-25 постоянные проволочные, нагрузочные, с возможностью регулирования сопротивления перемещением хомутика, для навесного монтажа. Предназначены для работы в цепях постоянного и переменного токов радиоэлектронной аппаратуры. Ряд номинальных сопротивлений - E24.

Основные технические характеристики резисторов ПЭВР-25 [20]

- диапазон номинальных сопротивлений: 10 Ом... 510 Ом
- номинальная мощность: 25 Вт
- предельное напряжение: 1400 В
- допускаемые отклонения сопротивлений: $\pm 5\%$; $\pm 10\%$
- диапазон температур: $-60\ldots +40\text{ }^{\circ}\text{C}$
- минимальная наработка: 15000 ч
- срок сохраняемости: 25 лет

4.3 Выбор схемы выпрямления

При выборе выпрямительных диодов используются максимально допустимые параметры: ток прямой максимально допустимый и напряжение обратное максимально допустимое: $I_{\text{прmax}}$, $U_{\text{обрmax}}$.

Диод в выпрямителях является основным элементом, и его параметры во многом определяют основные параметры выпрямителей.

Мостовая схема выпрямителя

Средне выпрямленное напряжение: $U_{\text{cp}} = \frac{2U_{2m}}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi} \approx 0,9U$

$$U_{\text{cp}} \approx 0,9 \cdot 220 \approx 200\text{ В}$$

$$I_{\text{cp}} = \frac{2\sqrt{2}U}{\pi R}$$

$$I_{\text{диода}} = 2 \cdot I_{\text{cp}}$$

$$I_{\text{диода}} = 2 \cdot 2 = 4\text{ А}$$

Максимальное обратное напряжение на каждом из закрытых диодов имеет такое значение, что и в однополупериодном выпрямителе:

$$U_{2m} = \sqrt{2}U_2; U_{обрmax} = \pi \cdot U_{cp}; U_{обрmax} = \sqrt{2}U_2 = 628B$$

Из расчета схему выпрямление выбрали диодный мост КВРС1508, который подходит по всем параметрам. Достоинством диодного моста является низкая стоимость и малые габариты.



Рисунок 10 – КВРС1508 (МВ158), Диодный мост, 15А 800В

Таблица 8 – Технические параметры диодного моста КВРС1508 [21]

Максимальное постоянное обратное напряжение, В	800
Максимальное импульсное обратное напряжение, В	960
Максимальный прямой(выпрямленный за полупериод) ток, А	15
Максимальный допустимый прямой импульсный ток, А	300
Максимальный обратный ток, мкА	10
Максимальное прямое напряжение, В	1,1
Рабочая температура, С	-55...125
Способ монтажа	клеммы
Корпус	<u>mb-25</u>
Количество фаз	1

Диодные мосты КВРС отличаются высокой импульсной перегрузочной способностью и довольно низким прямым падением напряжения. Материал корпуса преобразователя – негорючий термостойкий пластик или электрически изолированный металл. Внутри корпус полностью капсулируется эпоксидной смолой. Рабочая частота – до 50Гц. Полярность моста указана на корпусе.

4.4 Выбор элементов для подачи электрода

Для улучшения удаления продуктов эрозии из межэлектродного промежутка используют электромагнитные вибраторы. Они служат для придания электроду инструменту возвратно – поступательного движения. В установке был поставлен электромагнитный реле РЭН – 29. Реле РЭН29 – одностабильное, зачехленное, двухпозиционное, с двумя группами контактов на переключение. Предназначено для коммутации электрических цепей постоянного и переменного тока. Должны эксплуатироваться при температуре -60 ... +85°C.



Рисунок 11 – Электромагнитный реле РЭН – 29

По конструктивному исполнению реле РЭН29 классифицируются на два варианта:

- вариант 1 – крепление реле с помощью гайки;
- вариант 2 – крепление реле с помощью винтов.

Питание обмотки – постоянный ток. Сопротивление электрических контактов – 0.2 Ом. Материал контактов – Ср-999. Масса прибора –130 г.

Таблица 9 – Частные характеристики реле РЭН29 [21]

Исполнение	Вариант исполнения	R обмотки, Ом	Ток, мА		Рабочее напряжение, В
			срабатывания, не более	отпускания, не менее	
РФ4.519.063-00	I	$116 \pm 11,6$	130	12	$27 \pm 2,7$
РФ4.519.063-01	II				

Питание электромагнитного вибратора осуществляется с помощью накаливаемых трансформатора ТН36 – 220 - 50. Трансформаторы ТН36-220-50 имеют одну первичную обмотку и такую же нумерацию выводов, как и трансформаторы ТН36-127/220-50, имеющие возможность подключения к сетям 127 Вольт и 220 Вольт. В отличие от трансформаторов ТН36-127/220-50 у трансформаторов ТН36-220-50 сетевая обмотка не имеет многочисленных отводов.

Электрические параметры, габаритные и установочные размеры и масса трансформаторов ТН36 на 220 В точно такие же, как у соответствующих трансформаторов ТН36, рассчитанных на подключение к обоим стандартам сети 127 и 220 Вольт.

Таблица 10 – Электрические параметры трансформаторов ТН36 [22]

Выводы вторичных обмоток	Напряжение, Вольт	Допустимый ток, Ампер
7-8	6,3	1,2
9-10	6,3	1,2
11-12(13)	5(6,3)	1,2
14-15(16)	5(6,3)	1,2

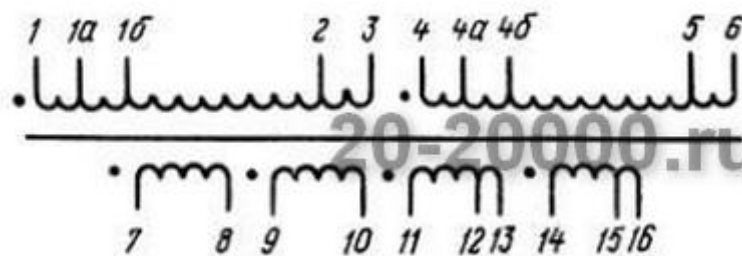


Рисунок 12 – Электрическая схема трансформатора ТН36-127/220-50

В трансформаторах ТН36, как и во всех накалильных трансформаторах серии ТН, возможно параллельное согласное соединение вторичных обмоток для увеличения их нагрузочной способности. Для получения выходных напряжений, больших чем 6,3 Вольт, вторичные накалильные обмотки можно соединять последовательно в согласном включении.



Рисунок 13 – Трансформатор ТН36-220-50

Через выводы обмоток трансформатора максимальное напряжение составляет 6,3 В. Рабочие напряжение электромагнитного реле $27 \pm 2,7$ В. При последовательном соединении вторичных обмоток трансформатора можно получить требуемое значение напряжения. Это последовательное подключение 7-8, 9-10, 11-13, 14-13 в сумме получится 25,2 В.

5 Моделирование электрической схемы

Моделирование электрической схемы осуществлялось с помощью программным средством разработки и моделирования электронных схем MultiSim. Программа позволяет использовать обширную библиотеку компонентов и эмулировать поведение интегральной схемы с помощью стандартного промышленного симулятора SPICE. Простейшие электрические цепи, содержащие один энергоемкий элемент (конденсатор или индуктивность), описываются дифференциальными уравнениями первого порядка и поэтому называются электрическими цепями первого порядка. Цепи первого порядка обладают свойством инерционности, т.е. быстрое изменение приложенного к цепи напряжения независимого источника приводит к плавным изменениям напряжения на емкости. На рисунке – 14 показана смоделированная электрическая схема установки в программе MultiSim.

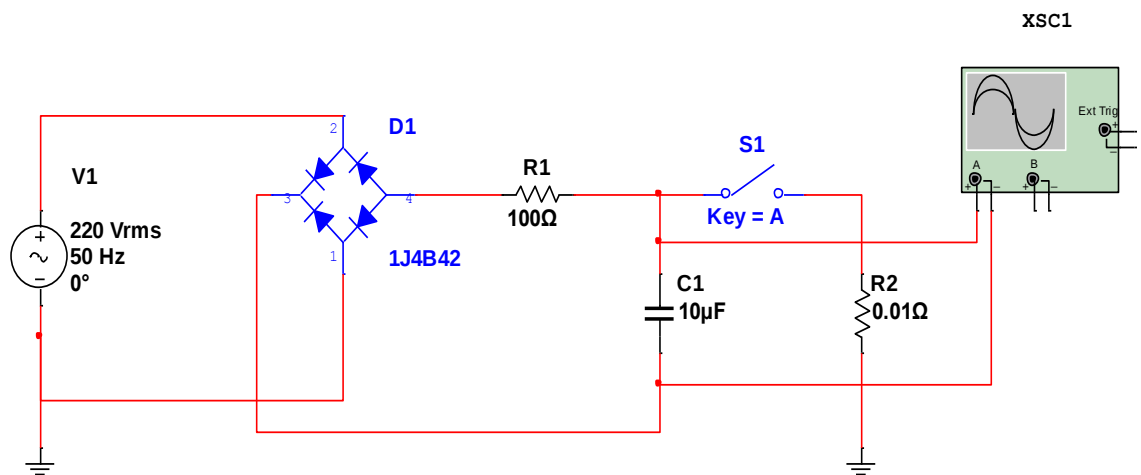


Рисунок 14 – Моделирования в программе MultiSim

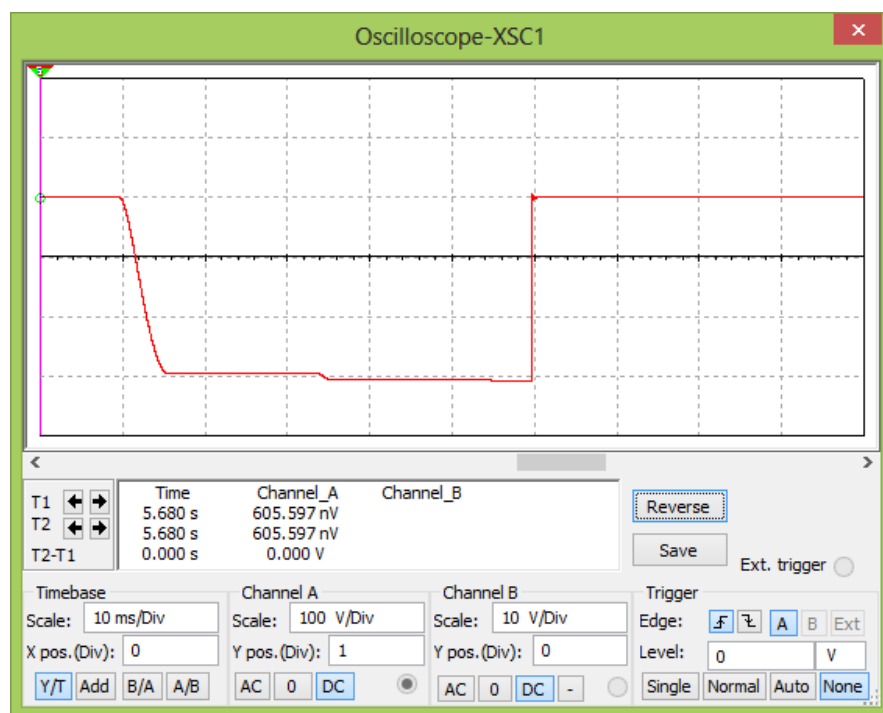


Рисунок – 15 Осциллограмма зарядки конденсатора

Зарядное напряжения конденсатора равен $U = 300 \text{ В}$, время которая зарядиться конденсатор $t = 5 \text{ мс}$

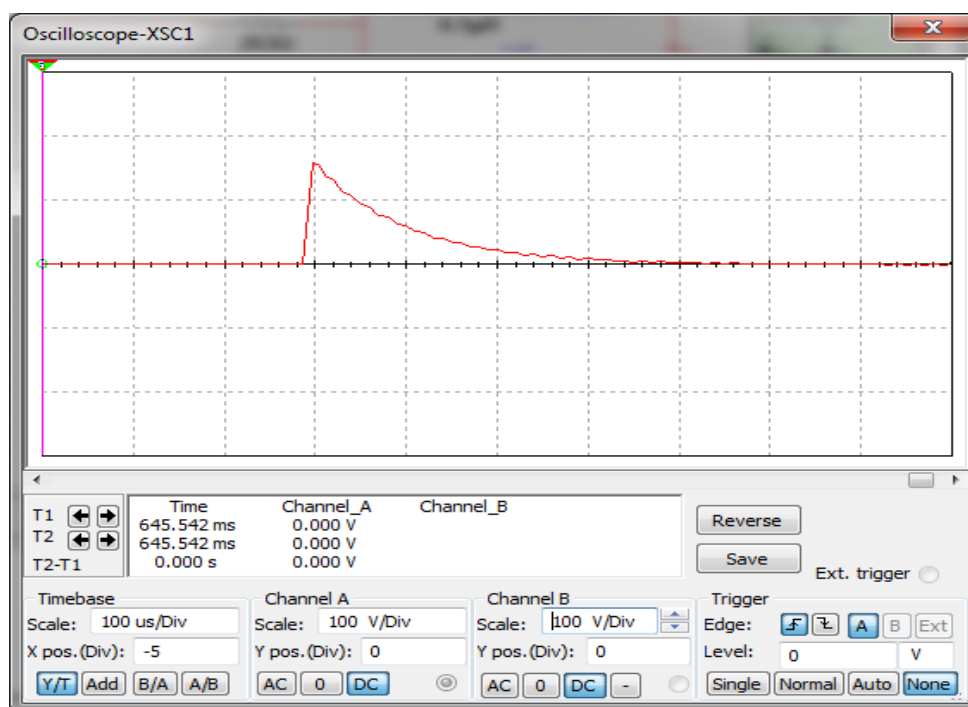


Рисунок – 16 Осциллограмма сигнала на нагрузке

Амплитуда сигнала на нагрузке достигает до 150 В, длительность $t = 100$ мкс.

6 Конструкция установки

Конструкция установки должна обеспечивать механическую жесткость, доступность для осмотра и монтажа элементов, возможность подсоединения дополнительных модулей и соответствовать требованиям электро- и пожаро- безопасности. Внешний вид установки показан на рисунке 17.

Установка состоит из закрытого корпуса, в котором размещена электрическая часть. На передней панели 5 размещены тумблеры для переключения и кнопкой управления электромагнитного вибратора. В панель вставлен вольтметр для измерения значения напряжения на выводах конденсатора. С торца корпуса выведены клеммы для измерения напряжения на выводах конденсатора с помощью цифровыми измерительными приборами. Достоинством такой конструкции является возможность подключения дополнительных конденсаторов для изменения режимов обработки металла.

К корпусу на диэлектрической пластине через механизм вертикального перемещения электрода 3, закреплен электрод – инструмент 2. Механизм дает электроду вертикальное перемещение в интервале $(-3,+3)$ см. Электрод-инструмент изолирован полиэтиленовой трубкой (4). Стержень электрода-инструмента проходит через полиэтиленовую трубку и закрепляется к электромагнитному вибратору 5. Подача электрода на обрабатываемую деталь осуществляется с помощью микрометрического винта 6.

Электроискровая обработка металлов осуществляется в различных диэлектрических средах. Для этого установка оснащена специальной емкостью 7, которая закреплена металлическим хомутом к подъёмному механизму 8.



Рисунок 17 – Малогабаритная электроэрозионная установка

Монтаж соединительных элементов производилось с помощью пайки. Для соединения элементов использовались медные провода разных типов. Все внутренние открытые токопроводящие жилы были изолированы. Для удобной эксплуатации подводящие кабели электродов с обеих сторон нанизаны наконечники. Для удобства ванна для рабочей жидкости закреплена на подъёмник с помощью хомута. Вертикальное перемещение

ванны осуществляется с помощью рычага. Тумблеры расположены так, чтобы нижняя позиция показывало разомкнутое положение. Все размеры элементов установки и чертежи представлены в приложении А1.

7 Измерительная цепь

Регистрация быстро изменяющихся во времени напряжений и токов в электроразрядных технологиях связана с особыми трудностями. Одним из распространённых способов измерения является деление напряжения и использование низкоомных измерительных шунтов.

Токовый шунт это активное сопротивление, включаемое в разрядный контур установки. Ток разряда, протекая по нему, создает падение напряжения на нем, изменение напряжения фиксируется на осциллографе.

$$U_m(t) = I(t) \cdot R_{ш} , \quad (7.2)$$

где $I(t) \cdot R_{ш}$ – активная составляющая напряжения на токовом шунте,

Для измерения амплитудного значения разрядного тока и характера его изменения в установке использовался шунт коаксиальной конструкции сопротивлением 10 мОм (рисунок 18, поз.1).



Рисунок 18 – Подключение контрольно–измерительных приборов:

1 – коаксиальный токовый шунт, 2 – гнезда для измерения напряжения

Измерение напряжения осуществлялась с помощью пробника осциллографа. При измерении использовалась коэффициент деления 1/10. Полученный сигнал $u(t)$, который пропорционален измеряемой величине подводится по кабелю к осциллографу. В качестве осциллографа был использован модель Tektronix TDS 2022с.

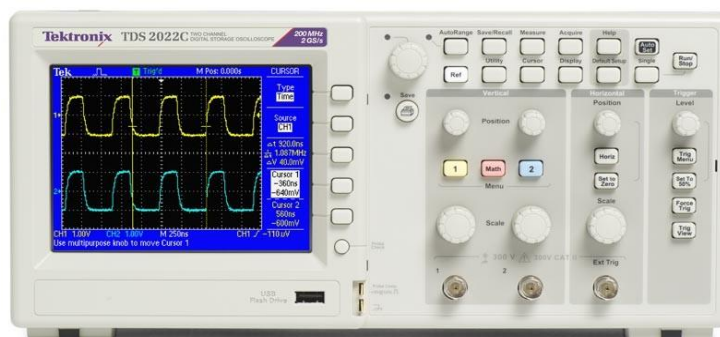


Рисунок 19 – Двухканальный осциллограф Tektronix TDS 2022с

Краткий обзор Tektronix TDS2022C. Полоса пропускания 200 МГц, скорость развертки 2,5 нс - 50 с/дел, частота дискретизации 2 Гвыб/с, длина памяти 2,5 тыс.точек, 2 канала, курсорные измерения [24].

Для контроля уровня зарядного напряжения конденсатора в лицевую панель встроен щитовой вольтметр постоянного тока М4203 на 50 В (рисунок 23).

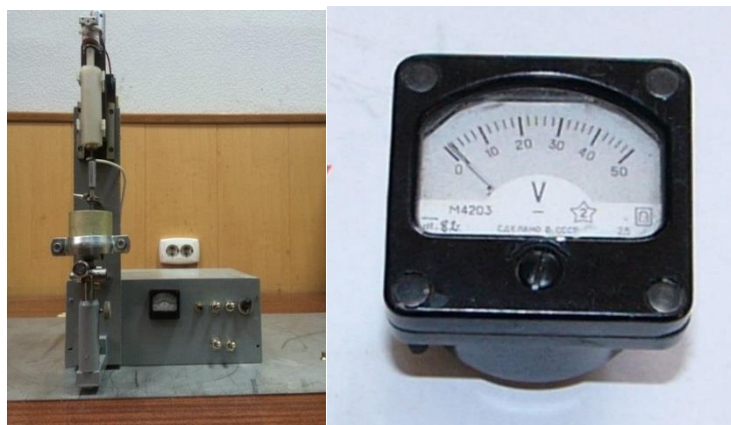


Рисунок 20 – Вольтметр M4203 на 50 В

Прибор представляет собой щитовой малогабаритный вольтметр магнитоэлектрической системы с подвижной рамкой и внутрирамочным магнитом. Измерительный механизм прибора выполнен с креплением подвижной части на кернах. Подключение вольтметра осуществлялось с помощью делителя напряжения, так как максимальный предел измерения составляет 50 В. Амплитуда напряжения на выводах конденсатора равно около 300 В. Простейшая схема делителя напряжения содержит минимум два сопротивления. Если величины сопротивлений одинаковы, то согласно закону Ома, на выходе делителя будет получено напряжение, в два раза меньшее, чем на входе, так как падение напряжений на резисторах будет одинаковым. Для других случаев величина падения напряжений на резисторах делителя определяется по формулам

$$U_{R1} = I \cdot R1; U_{R2} = I \cdot R2 \quad (7.1)$$

где

U_{R1} , U_{R2} - падения напряжения на резисторах R1 и R2 соответственно,

I – ток в цепи.

В схемах делителей выходное напряжение обычно снимают с нижнего по схеме резистора. Сумма падений напряжений U_{R1} , U_{R2} на резисторах равна напряжению источника питания. Ток в цепи будет равен напряжению источника питания, делённому на сумму сопротивлений резисторов R1 и R2.

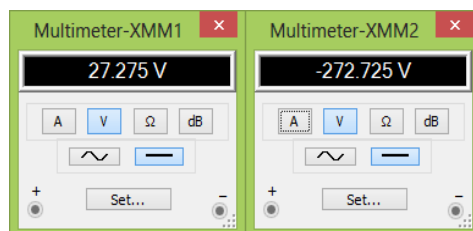
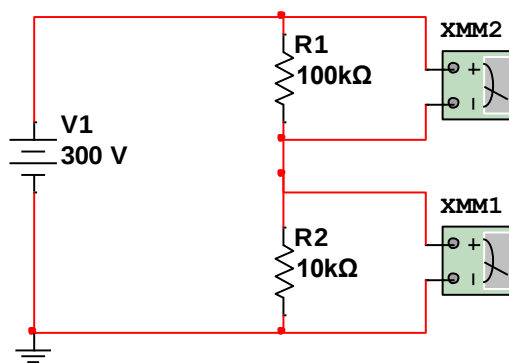


Рисунок 21 – Практическая схема делителя постоянного напряжения

Падение напряжения в резисторе $R_2 = 10 \text{ кОм}$ 10 раз меньше чем в источнике. Это дает нам 10 кратное уменьшение напряжения и предел измерения выбранного вольтметра М4203 соответствует шкале измерения. По расчету показания вольтметра должно быть 30 В. Использование соединительных проводников в свою очередь дает некоторое падение напряжения в активном сопротивлении.

8 Экспериментальные данные

8.1 Параметры импульсов тока и напряжения

Параметры разрядного контура были рассчитаны по осциллограмме тока при замыкании разрядного промежутка в веретенном масле (рисунок 22). Замыкание межэлектродного промежутка можно сравнить с режимом КЗ разрядного контура.

Период колебаний $T \cong 2\pi\sqrt{L_n \cdot C_s}$,

где L_n - индуктивность разрядного контура

$$L_n = \frac{T^2}{4\pi^2 C} = \frac{(20 \cdot 10^{-6})^2}{4 \cdot (3,14)^2 \cdot 10 \cdot 10^{-6}} = 1,014 \cdot 10^{-6} = 1 \text{ мкГн}$$

Рассчитанное значение L сопоставимо с величиной индуктивности, которая использовалась для расчета разрядной схемы и выбора её элементов— 1 мкГн.

Одним из условий напряжения в межэлектродном промежутке является: $U_{\text{дуга}} \leq U_{\text{проб}} \leq U_{\text{ннт}}$ из осциллограммы амплитуда напряжения дуги составляет 0,3 В, что соответствует условию из литературы [1].

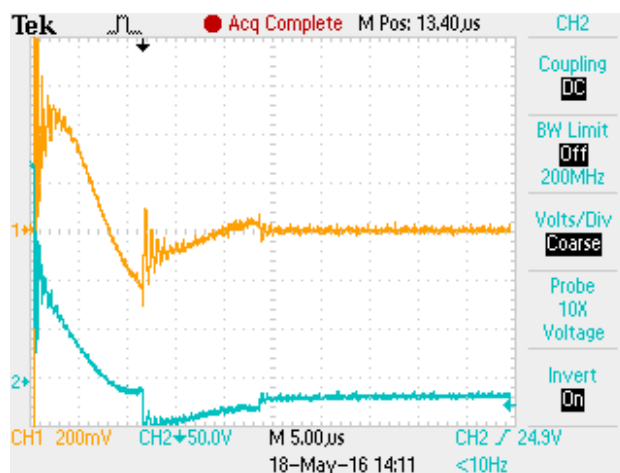
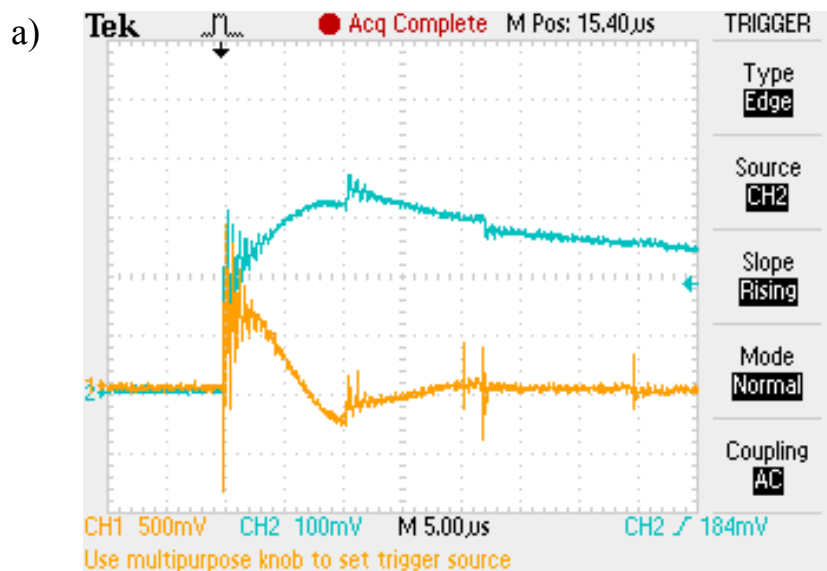


Рисунок 22 – Определение параметров разрядного контура

Электроэрозионная обработка является результатом разрушения обрабатываемой детали воздействием непрерывно повторяющихся импульсов тока, проходящих через межэлектродный промежуток. Эффект эрозии зависит от параметров этих импульсов. На рисунке 23 изображены осциллограммы тока и напряжения в различных средах.



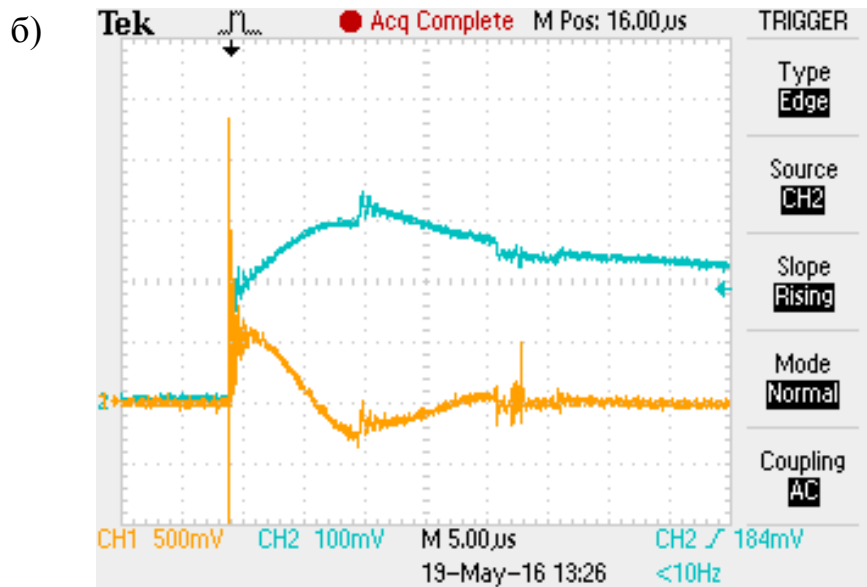


Рисунок 23 – Осциллограммы тока и напряжения:

а) трансформаторное масло, б) дизельное топливо

Из осциллограмм видно, что изменение тока и напряжения не зависит от вида диэлектрической жидкости.

По мере протекания энергии от накопителя к межэлектродному промежутку напряжения на конденсаторе падает. Во время подъема электрода- инструмента в исходное положения загорается дуга, через некоторое время напряжения становится ниже величины $U_{\text{дуги}}$. Следовательно дуга гаснет. Такого напряжения недостаточно для поддержания зазора в проводящем состоянии, сопротивления зазора увеличивается и ток быстро уменьшается, а затем прекращается. В это время начинается зарядка конденсатора.

Параметры тока и напряжения в различных обкатываемых металлах не различается. Эрозия металлов возникает при высоком температурном воздействии электрических разрядов. Температура разряда может достичь до 10000°C производительность эрозии может только зависеть от теплофизических свойств металла.

8.2 Эксперименты по обработке металлов

Целью экспериментов было изготовление отверстий в разных металлах. Для расчета затраченной энергии велся подсчет количество импульсов. В виде образцов выбраны различные металлы, с различными физико-механическими характеристиками.

Таблица 11 – Параметры образцов

Наименование образцов	Толщина мм	Температура плавления °С	Твердость НВ кгс/мм ²
Медная пластина	0,3	1083	50
Полотно от ножовки (сталь марки Р5М6)	0,6	1500	65
Лезвие от ножа (углеродистая сталь)	0,4	1300	65
Нержавеющая сталь	0,8	1800	60
Молибден	2,5	2620	230
Титан ВК8	1,3	1668	100

Электродом-инструментом для просверливания отверстий являлся стальной прут, диаметром 1 мм. Образцы прилеплялись к специальной подложке (положительный электрод). Обработка производилась в веретенном масле. Подача импульсов в межэлектродный промежуток осуществлялась в режиме одиночных импульсов включением электромагнита на передней панели установки. Частота срабатываний в среднем была 80 импульсов в минуту. Для повышения производительности в зарядную цепь параллельно был подключен дополнительный конденсатор *МБГП-1 1600В-10мкФ*. Глубина отверстия контролировалась визуально отпуская ванну в исходное положение. Окончание работы наблюдали

при воздушной обработке, снизу подложки проскакивали искры. Обработанные металлы показаны на рисунке 24.



Рисунок 24 – Образцы экспериментов.

1- медная пластина, 2- сталь марки P5M6, 3- углеродистая сталь, 4- нержавеющая сталь, 5- молибден, 6- титан.

Диаметр полученных отверстий составлял (1-1,3) мм. Увеличение диаметра отверстия от диаметра электрода – инструмента связано с эрозией металла образца при заглублении электрода.

Энергию единичного импульса, пренебрегая потерями в конденсаторе и в проводах разрядного контура, можно считать равной:

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad (8.1)$$

Энергия единичного импульса 0,39 Дж

Таблица 12 – Затраты энергии образцов

Наименование образца	Толщина мм	Время обработки, мин	Количество импульсов	Затраченная энергия, кДж	Удельная энергия кДж/мм
Медная пластина	0,3	10	800	0,31	1,03
Полотно от ножовки (сталь)	0,6	27	2160	0,84	1,4

Наименование образца	Толщина мм	Время обработки, мин	Количес тво импульс ов	Затраченная энергия, кДж	Удельная энергия кДж/мм
марки P5M6)					
Лезвие от ножа (углеродистая сталь)	0,4	15	1500	0,58	1,45
Нержавеющая сталь	0,8	18	1440	0,56	0,7
Молибден	2,5	55	4400	1,7	0,68
Титан ВК8	1,3	32	2560	1	0,77

Зависимость электроэрозионной обрабатываемости различных материалов от их теплофизических констант и параметров импульсов найдена только для весьма ограниченного числа случаев. Обычно это эмпирические зависимости выведены для конкретных пар материалов при определенных размерах электродов. При обработке чистых металлов установлено, что чем выше температура плавления и кипения металла, тем меньше количество металла удаляется единичным импульсом. Вследствие этого тугоплавкие металлы обрабатывается с меньшей производительностью, но поверхность их получается более чистой.

8.3 Эксплуатация электроэрозионной установки

В процессе эксплуатации лабораторного стенда необходимо периодическая проверка его точности и исправности электрооборудования. Точность электроэрозионного оборудования со временем снижается из-за износа подвижных частей и повреждений, могущих произойти в процессе их эксплуатации. Кроме того, возможны нарушения исправности

электрооборудования вследствие проникновения влаги, засорения и т.п. Электроэрозионный станок не крепится к перекрытиям, а своводно устанавливаются на поверхности. Обычно электроэрозионные станки устанавливаются в резиновых прокладках. Прокладки поглощают значительную часть внешних и внутренних вибрации, что благоприятно сказывается на работе станка.

Работа изготовленной установки осуществляется с питанием от сети переменного тока 220В 50Гц. Замыкание тумблер S проводит к питанию обмоток разделительного трансформатора ТАН 39 220/220. Замыкание всех тумблеров соответствует верхнему положению ручки. При замыкание тумблера S4 приводит к питанию трансформатора ТН 36 220/27. Через диодный мост выпрямленный постоянный ток потечет по нормально замкнутому контакту кнопки S5 и питает катушку электромагнитного вибратора. Электромагнит притягивает свой контакт, который образует зазор в межэлектродном промежутке. Исходное положение электродов перед включением устновки – должны быть замкнуты между собой. Это можно добиться при помощи микрометра. Строго запрещается замыкать тумблер S3 без замыкания тумблера S4. После замыкания тумблера S4 можно замкнуть контакт S3, что приведет к зарядке конденсатора. Контроль уровня напряжения на выводах конденсатора осуществляется вольтметром М4203. При нулевом показани вольтметра напряжение на выводах конденсатора можно проверить от выведенных гнезд с торца корпуса мультиметром. Подача импульсов производится при нажатии кнопки S5, которая создает разрыв в цепи питания электромагнита. Электрическая схема изготовленной установки показана на рисунке 25.

Все электроэрозионные станки, независимо от их мощности, конструкции, размеров, должны быть заземлены. Для этого в корпусе установки смонтирована шина из гибкого провода, которая подсоединяется к контуру заземления. Во время измерительных работ один из электродов должен подключаться к земле, для защиты осциллографа. Во избежание пожара неподвижный положительный электрод должен полностью находиться в рабочей жидкости. При больших емкостях конденсаторов ванна должна быть перекрыта листом, для защиты от разбрызгивания рабочей жидкости. Остаточный заряд конденсатора снимается после размыкания тумблера S4, в этот момент тумблер S3 должен быть в разомкнутом состоянии. Дополнительно при малых емкостях конденсаторов межэлектродный промежуток нужно замкнуть ручной закороткой.

Заключение

В ходе выполнения ВКР был разработана и изготовлена малогабаритная электроэрозионная установка проведения для научно – исследовательских и лабораторных работ. В целях наглядного представления работоспособности изготовленной установки проведены эксперименты по сверлению тугоплавких и твердых металлов (молибден и титан). Геометрические формы образцов отличались по толщине. Эксперименты показали, что производительность установки практически не зависит от теплофизических констант обрабатываемой металла. Дальнейшая модернизация установки может привести более точной и чистой обработке материалов. Проблема точности была связана с подвижным электродом – при контакте с обрабатываемой деталью он отклонялся от первоначального места. К тому же дополнительное искрение с торца электрода при углублении лунки приводило к увеличению диаметра отверстия. С помощью безлюфтового крепления электрода – инструмента и с использованием более жёстких металлов для электрода можно увеличить точность обработки. Избежать искрения с торца электрода можно используя электроды меньшим диаметром и более текучие жидкости.

Собранный стенд является работоспособным и удобным при эксплуатации и монтаже. Выведены гнезда для увеличения емкости и измерения параметров напряжения. Модернизация ванной системы позволит обрабатывать различных металлов с более большими габаритами, в т.ч. для собственных нужд кафедры.