

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Цель работы – изучение технологических особенностей электроэрозионной обработки металлов; приобретение практических навыков в экспериментальных исследованиях режима электроэрозионной обработки.

6.1 Основные технологические характеристики процесса электроэрозионной обработки металлов

Электроэрозионная (электроискровая) обработка (ЭЭО) основана на явлении эрозии металлов под воздействием электрического тока. Электрические разряды, возникающие между двумя электродами – электродом-инструментом (ЭИ) и электродом-заготовкой (ЭЗ), находящимися на небольшом расстоянии друг от друга, разрушают их поверхности.

Рассмотрим механизм разрушения металла заготовки под воздействием искрового разряда. При сближении ЭИ с ЭЗ, находящимися под напряжением, наступает момент, когда между наиболее сблизившимися выступающими частями их поверхностей создается электрическое поле максимального напряжения (рисунок 6.1).

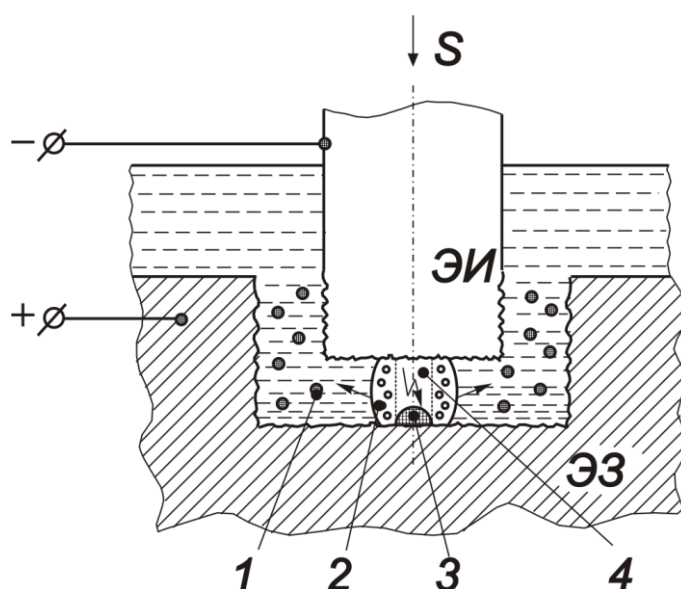


Рисунок 6.1 – Схема процесса разрушения металла при электроэрозионной обработке

Происходит электрический пробой межэлектродного промежутка (МЭП), заполненного жидким диэлектриком (водой, керосином, минеральными маслами и т. п.). В месте пробоя и

локализации искры возникает плазменный канал разряда 1, где протекают процессы нагревания (до 11000 °С) и ионизации вещества рабочей жидкости. Между электродами через канал разряда переносится электрический разряд, в плазме выделяется тепловая энергия, а переход зарядов через границу между плазмой и электродами сопровождается поступлением импульсных тепловых потоков на анод и катод. Материал ЭЗ из лунки 2 в виде жидкой капли выбрасывается в МЭП. Благодаря выделению тепловой энергии канал разряда окружается газообразными продуктами распада рабочей среды – газовыми пузырями 3. Стенки расширяющегося пузыря выталкивают из МЭП рабочую среду, поток которой увлекает частицы 4, ранее выброшенные из лунок, и выводит их из МЭП. Так возникает явление электрической эрозии, которое используется для съема металла с поверхности заготовки.

Таким образом, если в цепи ЭИ-ЭЗ создать условия, при которых периодически происходил бы искровой разряд, то в результате электроискровой обработки профиль ЭИ будет точно воспроизведен на поверхности или в теле заготовки.

Для создания импульсов напряжения, следующих друг за другом через определенные промежутки времени, в электроэрозионном станке предусматриваются генераторы импульсов (ГИ). Импульсы небольшой энергии получают с помощью релаксационных ГИ – RC и RLC, мощные импульсы – с помощью машинных ГИ.

При выполнении лабораторной работы используется электроэрозионный станок модели 183, в котором в качестве ГИ применен релаксационный RC-генератор (рисунок 6.2, а). ГИ состоит из источника электрической энергии постоянного тока U (220 В), кнопки К “Пуск”, токоограничивающего зарядного резистора R и накопительного конденсатора C , подключенного параллельно МЭП.

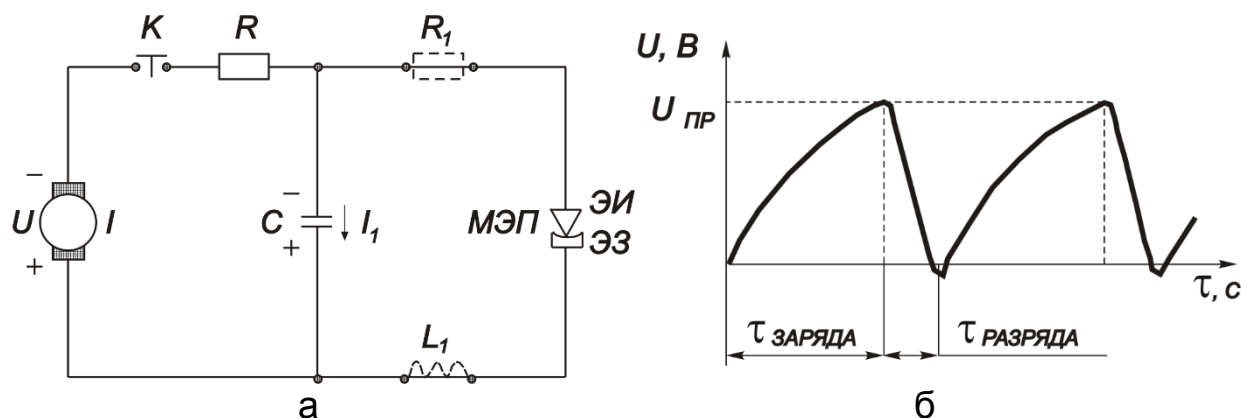


Рисунок 6. 2 – Схема RC-генератора: а – принципиальная электрическая схема; б – график изменения напряжения на

конденсаторе

Элементы $U-R-C$ составляют зарядную цепь, а контур $C-MЭП$ –разрядную цепь.

RC -генератор работает следующим образом. Считаем, что вначале напряжение на конденсаторе C равно нулю. При нажатии кнопки K в цепи $U-R-C$ появляется зарядный ток I , напряжение на конденсаторе и МЭП повышается. При достижении им пробивного значения $U_{пр}$ происходит пробой МЭП. В цепи $C-MЭП$ возникает ток разряда I_1 , при этом энергия импульса, запасенная в конденсаторе, за очень короткое время вводится в МЭП. Так как длительность заряда конденсатора превышает время разряда (рисунок 6.2, б), напряжение на конденсаторе падает и разряд в МЭП прекращается.

Происходит деионизация (восстановление электрической прочности МЭП) вещества канала разряда, и напряжение на конденсаторе снова начинает повышаться вследствие его зарядки от источника U . Так как разрядная цепь обладает некоторой индуктивностью L_1 , то конденсатор перезаряжается в течение разряда до некоторого отрицательного напряжения, что облегчает процесс деионизации. Таким образом, источник униполярных импульсов (импульсов одной полярности) периодически возбуждает кратковременные разряды между ЭИ и ЭЗ и позволяет осуществить процесс избирательной эрозии, т. е. резко ослабить эрозию одного из электродов.

Более интенсивному разрушению подвергается электрод, соединенный с положительной обкладкой конденсатора (анод). Поэтому применяют два способа включения электродов в цепь:

- а) прямую полярность (ЭИ служит катодом, ЭЗ – анодом);
- б) обратную полярность (ЭИ служит анодом, ЭЗ – катодом).

Выбор полярности обусловлен необходимостью максимального удаления металла на заготовке при наименьшем износе ЭИ.

Для повышения интенсивности разрушения металла МЭП заполняют диэлектрической жидкостью, т. е. процесс ЭЭО проводят в ванне, заполненной рабочей средой (керосином, дистиллированной водой, соляровым маслом и т. п.).

Материал ЭИ выбирают в зависимости от материала обрабатываемой заготовки. При обработке стальных заготовок материалами ЭИ могут быть медь, латунь, алюминий, медно-графитовая композиция АРВ, при обработке твердых сплавов – чугуна и алюминия.

При электроэрозионной обработке отсутствует непосредственный контакт ЭИ и ЭЗ.

Основная область применения электроэрозионной обработки

– прошивание отверстий и полостей различной конфигурации в зависимости от формы сечения ЭИ (независимо от твердости и вязкости материала).

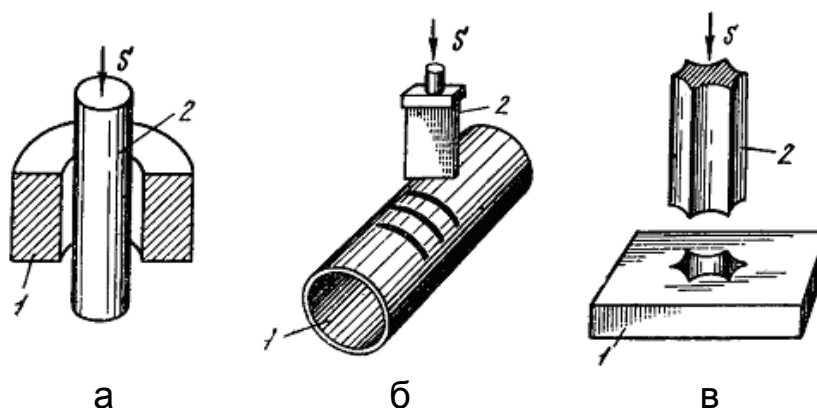
6.2 Технологические схемы ЭЭО

Технологические схемы ЭЭО обеспечивают реализацию требуемой взаимосвязи электрического режима с технологическими показателями процесса. Электроэрозионную обработку выполняют профилированными или непрофилированными ЭИ. Форму и размеры рабочих поверхностей профилированных ЭИ определяют в соответствии с заданной поверхностью изготавливаемой детали, тогда как непрофилированные ЭИ имеют простейшую геометрическую форму – в виде проволоки, стержня или диска.

Формообразование обрабатываемой детали электроэрозионным методом можно осуществлять по двум схемам.

Первая схема – копирование формы ЭИ, т. е. получение в детали полости или выпуклости, являющейся обратным отображением рабочей поверхности ЭИ. Эту операцию, называемую прошиванием, выполняют при одном поступательном движении ЭИ. Частный случай описанного процесса – прошивание различных отверстий в заготовках, при котором лишь копируют форму сечения ЭИ.

На рисунке 6.3 изображены технологические схемы ЭЭО заготовок 1 методами прямого (а – д) и обратного (е) копирования формы профилированными ЭИ 2; прошивка отверстий с прямолинейными (а – в) и криволинейной (г) осями; объемное формообразование полости (д) и наружных поверхностей (е).



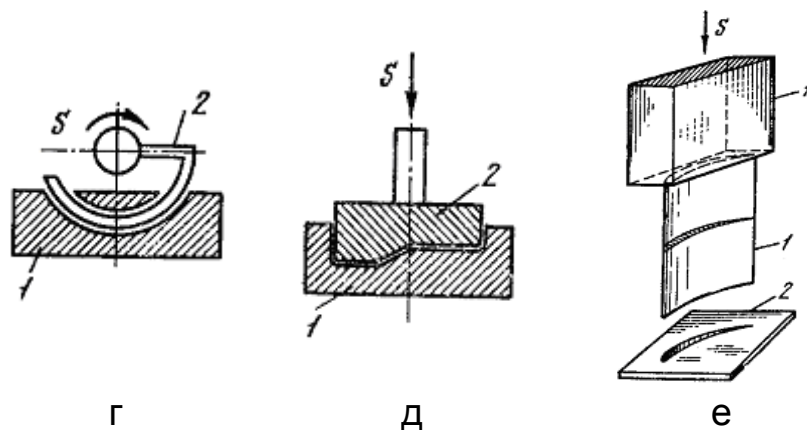


Рисунок 6.3 – Схемы процессов ЭЗО профилированным ЭИ

Вторая схема – взаимное перемещение обрабатываемой детали и непрофилированного ЭИ, при котором материал снимается с поверхности или заготовка разрезается (рисунок 6.4). В этой схеме можно выделить два вида операций: вырезание сложнопрофилированных деталей и разрезание деталей 1 непрофилированным ЭИ 2 (а, б); шлифование и расточка заготовок дисковыми и стержневыми ЭИ (в, г).

Первая технологическая схема ЭЗО профилированным ЭИ наиболее распространена. Форма ЭИ соответствует форме получаемой поверхности.

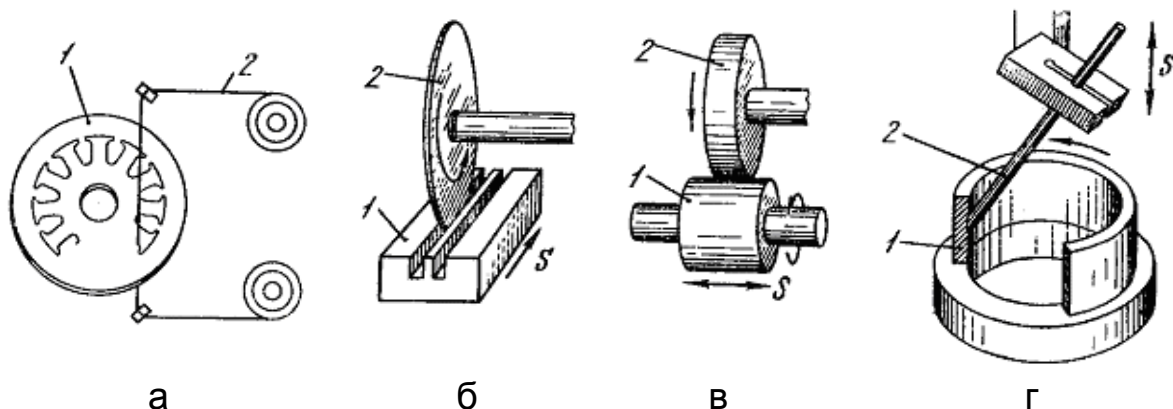


Рисунок 6.4 – Схемы процессов ЭЗО непрофилированным ЭИ

Во второй технологической схеме ЭЗО непрофилированным ЭИ наибольшее распространение получила обработка проволочным ЭИ.

Достоинства данного метода: возможность вырезания сложных контурных листовых деталей высокой точности; доступность и относительная несложность автоматизации движения подачи по заданной программе; простота конструкции станка.

Недостаток этой схемы обработки – возможность ее

использования только при вырезных или обрезающих работах.

6.3 Характеристики режима и технологические показатели ЭЭО

Важной характеристикой режима ЭЭО является энергия импульса, определяющая производительность, точность и качество обработанной поверхности детали.

С увеличением энергии импульсов повышается производительность, но снижается качество обрабатываемой поверхности.

Энергия импульса равна энергии, запасенной в конденсаторе, Дж:

$$A_u = \frac{CU_{np}^2}{2}, \quad (6.1)$$

где C – емкость конденсатора, Ф;

U_{np} – пробивное напряжение, В.

Опытным путем найдено, что в оптимальном режиме конденсатор заряжается до напряжения, составляющего 0,50...0,75 напряжения холостого хода ($U = 180$ В). Таким образом,

$$U_{np} = (0,50...0,75)U.$$

По энергии импульса A_u технологические режимы ЭЭО подразделяют на три основные группы: *жесткие* (5,0...0,5 Дж), *средние* (0,5...0,05 Дж) и *мягкие* (менее 0,05 Дж), что по технологическим показателям соответствует черновым, чистовым и отделочным видам размерной обработки.

Производительность ЭЭО

Производительность ЭЭО определяется объемом (массой) металла обработанной поверхности в единицу времени, мм³/мин (г/мин). Производительность обработки зависит от электроэрозионной обрабатываемости металла, сочетания марок материалов ЭИ и ЭЗ и мощности импульса, реализуемой в МЭП. При постоянной энергии импульса и увеличении площади обработки она уменьшается, что объясняется замедлением скорости удаления продуктов эрозии из МЭП. В этом случае значительная часть разрядов сопровождается не снятием металла, а дроблением частиц, не выведенных из МЭП.

Для стабилизации процесса ЭЭО и повышения его

производительности применяют вращение или вибрацию ЭИ в направлении его подачи и прокачку рабочей жидкости. На технологические показатели ЭЭО существенно влияют виды и состояние рабочей жидкости. Например, при ЭЭО медным ЭИ твердых сплавов и закаленных сталей замена керосина дистиллированной водой снижает ее производительность. В процессе обработки увеличиваются зольность и вязкость рабочей жидкости, поэтому последнюю периодически меняют. Увеличение вязкости рабочей жидкости замедляет выведение из МЭП продуктов эрозии и снижает производительность.

На производительность ЭЭО влияет материал ЭИ, от свойств которого зависят пробивное напряжение и, соответственно, энергия импульсов, характер теплообмена в МЭП, скорость деионизации и др.

Все металлы и сплавы по электроэрозионной обрабатываемости разделяют на три группы:

- а) хорошо обрабатываемые;
- б) поддающиеся обработке в меньшей степени;
- в) слабо разрушающиеся от воздействия разрядов.

Влияние импульсных разрядов на металлы и сплавы определяется их теплофизическими свойствами (температурой плавления и кипения, теплопроводностью и теплоемкостью). Механические свойства (твердость, вязкость) на эффект эрозии влияния не оказывают. Ниже приведена относительная обрабатываемость материалов (при этом обрабатываемость стали условно принята за единицу):

Магниевого сплавы	– 6,0	Стали	– 1,0
Алюминиевые сплавы	– 4,0	Титановые сплавы	– 0,6
Латунные сплавы	– 1,6	Твердые сплавы	– 0,5

Чем выше теплофизические свойства материала ЭИ и шероховатость рабочих поверхностей, тем больше предельная мощность, поскольку теплопроводимость определяет скорость отвода тепла с поверхности ЭИ, а шероховатость – действительную площадь теплопроводящей поверхности. Если шероховатость одинакова, то наибольшая предельная мощность достигается при ЭЭО медными электродами, меньшая – алюминиевыми.

Качество поверхности

При ЭЭО в результате воздействия электрических разрядов обработанная поверхность приобретает характерные неровности, т. е. профиль поверхности представляет собой результат наложения друг на друга огромного количества лунок (рисунок 6.5).

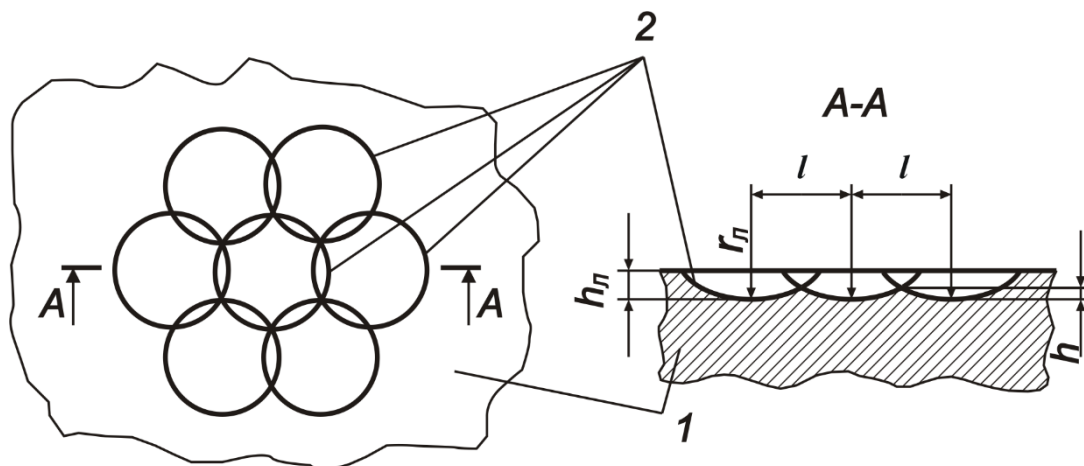


Рисунок 6.5 – Профиль поверхности ЭЗ, обработанной на электроэрозионном станке: 1 – электрод-заготовка; 2 – лунки

Шероховатость обработанной поверхности оценивают высотой бугорков в месте пересечения лунок, образующихся на поверхности детали при электрическом разряде.

Считаем, что дно лунки сферическое с радиусом $r_{л}$, глубиной $h_{л}$, а расстояние между центрами лунок $l = r_{л}$, высота бугорков в месте пересечения лунок $h = R_{z\max}$.

Таким образом, из геометрических расчетов

$$R_{z\max} = h \approx 0,33h_{л}. \quad (6.)$$

2)

Следовательно, шероховатость определяется теми же условиями обработки, что и глубина лунки. Последнюю можно рассчитать с помощью эмпирической зависимости

$$h_{л} = kA_u^n, \quad (6.)$$

3)

где k – коэффициент глубины лунки, зависящий от механических свойств материала заготовки (для сталей $k = 226$ мкм/Дж, для твердых сплавов $k = 120$ мкм/Дж);

n – безразмерный коэффициент (для сталей и твердых сплавов $n = 0,38$).

Тогда шероховатость определяется энергией импульса

$$R_z = \frac{k}{3} (0,5CU_{np}^2)^{0,38}. \quad (6.)$$

4)

Шероховатость обработанной поверхности и производительность ЭЭО уменьшаются при снижении энергии

импульса и соответствуют данным таблицы 6.1.

Таблица 6.1 – Зависимость параметров обработки от режима ЭЭО

Параметры обработки	Обработанный материал							
	Сталь				Твердый сплав			
Номер режима	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Производительность процесса Q , мм ³ /мин	119	66	26	9	59	32	7	5
Шероховатость поверхности R_z , мкм	40...20	20...10	10...5	5...2,5	20...10	10...5	5...2,5	2,5...1,25
Межэлектродный односторонний зазор α , мм	0,15	0,08	0,05	0,03	0,08	0,04	0,03	0,01

Примечание. Рекомендуемые величины межэлектродного зазора α приведены для отверстий глубиной не более 20 мм.

Точность обработки

Точность ЭЭО задается не только факторами, свойственными любому методу размерной обработки, но и факторами, характерными только для ЭЭО.

Эти факторы определяют соответственно первичные погрешности, совокупность которых создает суммарную погрешность Δ .

Первичная погрешность $\Delta_{МЭП}$, возникающая из-за наличия межэлектродного зазора α , наиболее существенна. В общем случае

$$\alpha = \alpha_{np} + \frac{2}{3} R_{z\max} + t, \quad (6.5)$$

где α_{np} – пробивной межэлектродный зазор для чистой рабочей жидкости, зависящий от максимального напряжения генератора импульсов;

$R_{z\max}$ – высота неровностей шероховатости, возрастающий с повышением энергии импульса;

t – суммарная часть межэлектродного зазора, перекрытого продуктами эрозии, которая увеличивается с усилением жесткости режима обработки.

Погрешность формы Δ_{ϕ} оценивается разностью между

верхним $\alpha_{\text{в}}$ и нижним $\alpha_{\text{н}}$ межэлектродными зазорами:

$$\Delta\phi = \alpha_{\text{в}} - \alpha_{\text{н}}.$$

(6.

6)

Для повышения точности ЭЭО необходимо уменьшить разность межэлектродных зазоров, например применением отделочного режима. При прошивании сквозных отверстий погрешность их формы снижают, перемещая ЭИ за пределы нижней поверхности ЭЗ.

6.4 Конструкция копировально-прошивочного электроэрозионного станка модели 183

Конструкция электроэрозионных станков зависит от габаритов, массы заготовок, требований к качеству поверхности, назначения станка. Электроэрозионные станки подразделяют на прошивочные, шлифовальные, для разрезания профильным и непрофильным инструментом. Копировально-прошивочные станки предназначены для получения отверстий любого сечения, полостей, углублений, а также нанесения на заготовки надписей.

В лабораторной работе использован станок копировально-прошивочный электроэрозионный модели 183, в котором механические узлы и электрическое оборудование представляют собой единое целое (рисунок 6.6).

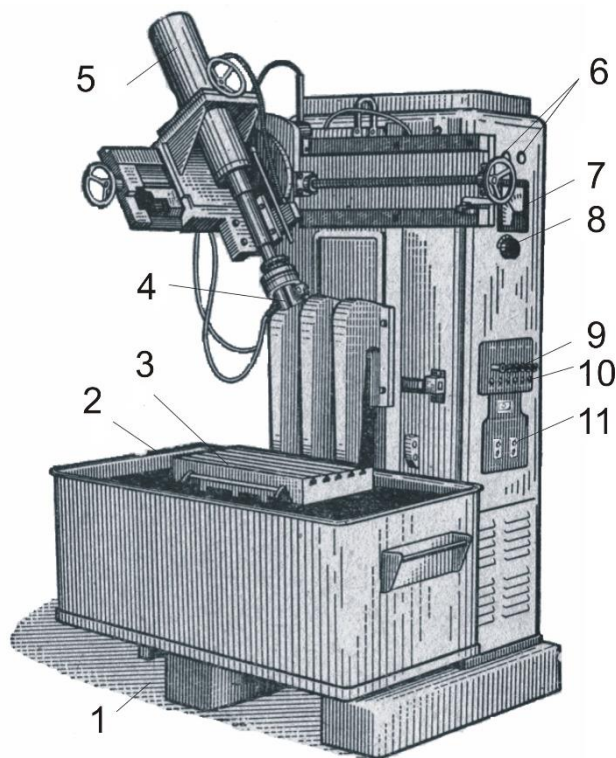


Рисунок 6.6 – Станок электроэрозионный копировально-прошивочный модели 183

Электроизмерительные приборы и системы управления станком расположены на правой панели корпуса: 6 – сигнальные лампы;

7 – вольтметр; 8 – ручка потенциометра настройки регулятора; 9 – нажимные рубильники включения режима обработки; 10 – кнопки выключения режима обработки; 11 – кнопки управления станком.

Станок модели 183 повышенной точности имеет RC-генератор, позволяет обрабатывать заготовки с габаритными размерами 1100x400x120 мм и массой не более 1350 кг. Максимальная производительность станка по стали составляет 115 мм³/мин и по твердому сплаву – 46 мм³/мин, обеспечивая шероховатость поверхности соответственно от 40 до 6,3 мкм и от 2,0 до 1,6 мкм; потребляемая мощность – до 5 кВт.

Корпус станка укреплен на основании 1 коробчатой формы. На подвижной раме станка установлена ванна 2 с рабочей жидкостью. Перемещение ванны происходит с помощью винтовой передачи, имеющей привод от электродвигателя, или вручную съемной рукояткой.

ЭЗ устанавливают на столе 3, ЭИ – в электрододержателе 4. Инструментальную головку 5 перемещают в двух взаимно перпендикулярных направлениях и поворачивают на угол $\pm 90^\circ$

относительно стола вручную.

6.4.1 Техника безопасности при работе на станках электроэрозионной обработки

Наибольшую опасность при обслуживании электроэрозионных станков представляют поражение электрическим током и возгорание рабочей жидкости, приводящие к ожогам и пожару.

При работе на электроэрозионных станках должны соблюдаться следующие общие правила и рекомендации, обеспечивающие пожарную безопасность при работе на таком оборудовании:

1. Запрещается включать станок и работать на нем без разрешения преподавателя или учебного мастера.

2. Станок должен быть заземлен.

3. При обслуживании станка следует стоять на резиновом коврике и пользоваться резиновыми перчатками.

4. При работе станка запрещается прикасаться к токоведущим его частям (электроподдержателю, электродам, столу).

5. ЭИ и ЭЗ должны быть надежно изолированы от корпуса станка и хорошо закреплены. При слабом закреплении может возникнуть искрение, которое будет причиной воспламенения рабочей жидкости.

6. В случае воспламенения жидкости ванну необходимо опустить, а затем накрыть щитом. Щит следует хранить рядом со станком электроэрозионной обработки.

7. Ванну опускают только при выключенном станке.

8. При обслуживании работающего станка следует находиться на достаточном расстоянии от ванны в целях предохранения загрязнения одежды рабочей жидкостью.

9. На участке станков электроэрозионной обработки категорически запрещено курить.

6.5 Комплектование лабораторной работы

1. Станок копировально-прошивочный электроэрозионный модели 183.

2. Микроскоп измерительный МБС-9 (увеличение от 4 до 100).

3. Индикатор измерительный на стойке (абсолютная погрешность измерения – 0,01 мм).

4. Образцы-свидетели из материалов: нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т, титанового сплава марки ВТ20, алюминиевого сплава марки Д16Т и стали марки 40Х.

5. ЭИ из материалов: латунь марки ЛС59, медь марки М1.

6.6 Порядок проведения экспериментальных исследований

1. Ознакомиться с основными технологическими характеристиками процесса электроэрозионной обработки металлов.

2. Изучить правила техники безопасности при работе на станках электроэрозионной обработки.

3. Закрепить в электрододержателе ЭИ, зафиксировать прихватами заготовку на столе станка и погрузить ее в жидкость путем подъема ванны.

4. Включить станок нажатием рубильника 9 для выбранного режима обработки и прошить отверстие.

5. Выключить станок нажатием кнопки 10 для выбранного режима обработки.

6. Выполнить измерение сечений отверстия в образце-свидетеле из стали марки 40Х, вычислить межэлектродный зазор α и занести результаты в протокол № 1.

7. Измерить глубину лунок для образцов-свидетелей из трех материалов, вычислить производительность ЭЭО при заданных режимах и занести результаты в протокол № 2.

8. Оформить отчет о лабораторной работе.

9. Ответить на контрольные вопросы.

6.7 Содержание отчета

1. Краткий конспект, отражающий основные технологические характеристики процесса ЭЭО металлов (подразд. 6.1, рисунок 6.1).

2. Эскизы технологических схем ЭЭО (рисунки 6.3, г и 6.4, а).

3. Эскиз профиля поверхности ЭЗ, обработанной на электроэрозионном станке (рисунок 6.5).

4. Операционные эскизы для обработки поверхностей ЭЗ и ЭИ с исполнительными размерами.

5. Протокол № 1 о результатах зависимости межэлектродного одностороннего зазора α от режима ЭЭО.

6. График зависимости межэлектродного одностороннего зазора α от режима ЭЭО образца-свидетеля из стали 40Х.

7. Протоколы о результатах зависимости производительности ЭЭО от коэффициентов теплоемкости материалов образцов-свидетелей: 1Х18Н9Т, ВТ20 и Д16Т в соответствии с протоколом № 2.

8. Графики зависимости производительности ЭЭО от теплоемкости материалов для образцов-свидетелей, указанных в протоколе № 2, при заданных режиме и времени обработки.

9. Выводы о результатах проведенных экспериментальных исследований на образцах-свидетелях.

ПРОТОКОЛ № 1

Зависимость межэлектродного одностороннего зазора α от режима ЭЭО

1. Образец-свидетель – пластина, материал – сталь марки 40Х, твердость –

от 58 до 63 $HRC_{\text{Э}}$, лист толщиной $S = 5$ мм			
2. ЭИ – пруток		$\frac{\text{ш.Н.М} - 14 \text{ ГОСТ } 8560 - 81}{\text{Латунь ЛС 59 ГОСТ } 2060 - 81}$	(ш – шестигранник, Н – нормальной точности, М – мягкий)
3. Время обработки $\tau =$ мин			
Номер режима (мощность, кВт)	Размеры сечений отверстий, мм		Межэлектродный односторонний зазор α , мм
	верхнего	нижнего	
I (5,0)			
II (3,0)			
III (2,0)			

ПРОТОКОЛ № 2

Зависимость производительности ЭЭО от теплоемкости материала, режима и времени обработки

1. Образец-свидетель – пластина, материал (его теплоемкость, кДж/кг·К) – сталь марки 1Х18Н9Т (450); титановый сплав марки ВТ20-3 (550); алюминиевый сплав марки Д16Т (900)					
2. ЭИ – пруток		$\frac{\text{ш.Н.М} - 14 \text{ ГОСТ } 8560 - 81}{\text{Латунь ЛС 59 ГОСТ } 2060 - 81}$			
Время обработки τ , мин		1,0	1,5	2,0	2,5
Глубина лунки образца-свидетеля h_L , мм					
Номер режима обработки (мощность, кВт)	I (5,0)				
	II (3,0)				
	III (2,0)				
	IV (1,0)				
Производительность ЭЭО при заданном режиме и времени обработки Q , мм ³ /мин	I (5,0)				
	II (3,0)				
	III (2,0)				
	IV (1,0)				

6.8 Контрольные вопросы

1. При каких условиях возникает явление электрической эрозии металла?
2. На какие технологические показатели влияет увеличение энергии импульса?
3. Какое влияние оказывает на шероховатость электроэрозионный режим обработки металлов?
4. От каких факторов в процессе ЭЭО зависит качество обработанной поверхности?
5. Какие факторы в процессе ЭЭО влияют на точность обработки детали?
6. От каких технологических показателей зависит производительность ЭЭО заготовок?
7. Приведите примеры взаимосвязи электрического режима с технологическими показателями процесса ЭЭО.

