

ВВЕДЕНИЕ

В промышленности получают все большее распространение электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Эти методы обработки разделяют на четыре группы.

К первой группе относятся электроэрозионные (электроискровой и электроимпульсный) методы обработки токопроводящих материалов, основанные на использовании энергии электрических разрядов, разрушающих обрабатываемый материал.

Вторая группа методов охватывает способы обработки токопроводящих материалов концентрированными лучами с высокой плотностью энергии (светолучевая и электронно-лучевая).

Третья группа включает методы импульсного ударного воздействия на заготовку частиц абразива с частотой ударов, соответствующей ультразвуковому диапазону (ультразвуковая обработка).

В четвертую группу входят методы, основанные на явлении анодного растворения, состоящего в том, что обрабатываемая деталь, подключенная к положительному полюсу-аноду, растворяется.

Электрофизическими и электрохимическими методами обрабатывают детали из материалов с низкой обрабатываемостью резанием (твердые и жаропрочные сплавы, молибденовые, титановые, вольфрамовые и др.), а также детали с размерами и формами поверхностей, обработка которых обычными механическими методами затруднительна (детали с малыми и криволинейными отверстиями, узкими прорезями, с углублениями сложных форм и др.).

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Цель работы: 1. Ознакомиться с электрофизическими методами обработки конструкционных материалов.

2. Изучить конструкцию и работу электроискрового станка.

3. Исследовать обрабатываемость ряда конструкционных материалов электроэрозионным методом.

4. Изучить область применения электрофизических методов обработки при эксплуатации и ремонте сельскохозяйственной и автотракторной техники.

Материалы и оборудование: электроискровой станок; заготовки различных материалов (3 шт.): закаленная сталь, алюминий, твердый сплав; электроды-инструменты медные (3 шт.); весы с точностью взвешивания + 0,05 г; инструментальный микроскоп МИМ; секундомер.

На электроискровом станке необходимо провести обработку трех различных конструкционных материалов, оценить производительность процесса обработки этих материалов, изучить и количественно оценить износ электродов-инструментов. Дополнительно определяется относительный износ, т.е. износ, выраженный в процентах к объему материала, снятого с исследуемого образца (детали). Результаты исследований заносятся в протокол измерений и результатов расчетов (табл. 1).

Работу необходимо выполнять в следующей последовательности:

– попарно взвесить образцы и электроды (для последующего определения массовой производительности, г/мин и массового износа инструмента, г/мин);

Таблица 1. Протокол результатов измерений и расчетов

№ п.п.	Обрабатываемый материал	Материал электрода-инструмента	Масса до обработки		Продолжительность обработки, мин	Масса после обработки	
			Заготовка, г	Электрод-инструмент, г		Заготовка, г	Электрод-инструмент, г
1	2	3	4	5	6	7	8

Массовая эрозия			Объемная эрозия		Относительный износ электрода-инструмента	Объемная производительность, мм ³ /мин	Объемный износ электрода-инструмента, мм ³ /мин	Обрабатываемость К ₀
№ п.п.	заготовки γ_a^B, Γ	инструмента γ_k^B, Γ	заготовки $\gamma_a^{об}, \Gamma$	инструмента $\gamma_k^{об}, \Gamma$				
1	9	10	11	12	13	14	15	16

– установив на станке обрабатываемый материал и электрод-инструмент и включив указанный режим, произвести прошивку отверстия, фиксируя по секундомеру продолжительность процесса (начало, конец). Аналогично обработать все предложенные материалы. Продолжительность обработки может быть указана преподавателем;

– произвести протирку ветошью обработанных образцов и электродов-инструментов и выполнить повторное взвешивание. Разность массы до и после обработки позволяет определить массовую эрозию γ_k^B, γ_a^B ;

– расчетным путем вычислить:

γ_k^B – **массовую** эрозию электрода-инструмента (индекс «к» указывает, что электрод-инструмент является катодом);

γ_a^B – **массовую** эрозию электрода-детали (индекс «а» указывает, что деталь является анодом);

$\gamma_a^{об}, \gamma_k^{об}$ – **объемную** эрозию обработанных материалов и электродов-инструментов:

$$\gamma_a^{об} = \frac{\gamma_a^B}{\rho_a} \cdot 1000, \text{ мм}^3;$$

$$\gamma_k^{об} = \frac{\gamma_k^B}{\rho_k} \cdot 1000, \text{ мм}^3,$$

где ρ_k, ρ_a – **плотность** материалов инструмента и образца (катада и анода), г/см³;

– рассчитать производительность для всех обработанных материалов:

$$\Pi_a = \frac{\gamma_a^{об}}{T}, \text{ мм}^3/\text{мин},$$

где T – продолжительность процесса обработки, мин;

– вычислить объемный износ инструмента:

$$\Pi_k = \frac{\gamma_k^{об}}{T}, \text{ мм}^3/\text{мин},$$

где T – время обработки, мин;

– найти для всех обработанных материалов величину относительного износа электрода-инструмента:

$$\Delta\gamma = \frac{\gamma_k^{об}}{\gamma_a^{об}} \cdot 100, \%$$

– определить относительную обрабатываемость K_Q : $K_Q = \Pi_i/\Pi_s$.

Обрабатываемость определяется как отношение производительности исследуемого материала к эталонному. За эталонный материал принимается материал, по которому экспериментально получена наиболее высокая объемная производительность. Для эталонного материала $K_s = 1$;

– осмотреть обработанную поверхность в микроскоп и сделать заключение о характере формообразования поверхности при электроискровой обработке.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННЫХ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ

С явлением электрической эрозии, что в переводе с латинского означает «разъедать», ученые столкнулись уже при появлении первых электрических устройств еще в XVIII веке. Физическая природа электрической эрозии связана с электрическим пробоем в газах. Металл в месте контакта разрушается в результате теплового действия разрядов электрического тока. В начале сороковых годов советские ученые Н.И. и Б.Р. Лазаренко изыскивали возможность защиты электроконтактов от электрической эрозии и установили, что ни один из известных токопроводящих материалов не может противостоять разрушительному действию электрической искры. Тогда у ученых возникла мысль использовать это физическое явление для разрушения материалов. Так, в 1943 году была изобретена электроэрозионная обработка. Она была основана на импульсном подводе к локальным участкам об-

рабатываемой поверхности преобразуемой в тепло электрической энергии с целью придания заготовке заданных размеров и формы.

В зависимости от параметров разрядов (длительности и энергии) различают две основные разновидности электроэрозионной обработки:

- электроискровая обработка, основанная на использовании импульсных искровых разрядов малой длительности (от долей мкс до нескольких сотен мкс) и малой энергии разряда;
- электроимпульсная обработка, основанная на использовании импульсных дуговых (стационарных) разрядов большой длительности (от сотен мкс до десятков тысяч мкс) и большой энергии разряда.

2.1. Электроискровая обработка

На рис. 1 приведена схема электроискрового метода обработки. При соприкосновении электрода-инструмента 3 с контактом 2 конденсатор 4 заряжается от источника тока 1. При перемещении электрода 3 вниз при зазоре 5...100 мкм под действием электрического поля от катода к аноду проскакивают электроны, которые ионизируют молекулы воздуха и тем самым создают узкий канал, проводящий ток. В процессе ионизации возрастающая плотность тока в канале достигает некоторого предела, и при сближении электрода 3 с электродом-деталью 5 до образования зазора 6, измеряемого в микронах (0,1...1 мкм), происходит разрядка конденсатора в виде кратковременной искровой вспышки между электродами. Искровой разряд продолжается всего $10^{-4} \dots 10^{-8}$ секунды, мгновенная температура в канале проводимости поднимается до 6000...10000°C и более, а плотность тока превышает 10000 А/мм².

Под воздействием высокой температуры, создаваемой электрическими разрядами, возникающими при движении электрода вниз, происходит плавление и частичное испарение металла с образованием углубления в обрабатываемой детали. При этом электрод-инструмент, сохраняя межэлектродный промежуток, постепенно углубляется в обрабатываемую деталь и придает ей форму, соответствующую форме электрода-инструмента.

Электроискровую обработку обычно производят в условиях, когда электрод-деталь включен на анод (плюс), а электрод-инструмент – на катод (минус), при этом происходит наиболее быстрое разрушение металла детали. Во избежание переноса расплавленного металла с детали на инструмент процесс обработки производится в диэлектриче-

ской жидкости 7 (керосине, машинном или трансформаторном масле). В этих условиях расплавленные частицы металла, смываясь жидкостью, остывают в ней и в застывшем состоянии в форме мельчайших шариков падают на дно ванны.

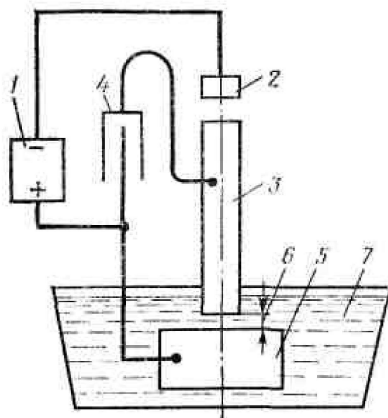


Рис. 1. Принципиальная схема электроискровой обработки.

Электроды-инструменты изготавливают из латуни, медно-графитовой массы, меди и других токопроводящих материалов. Производительность электроискровой и электроимпульсной обработок металлов, шероховатость и точность обработанных поверхностей определяются мощностью и длительностью электрических разрядов, т.е. электрическим режимом работы.

Электроискровую обработку проводят на черновых, чистовых и отделочных режимах. Выбранный режим определяет производительность процесса и шероховатость обработанной поверхности. Рабочее напряжение на электродах составляет 25...200 В. При черновом режиме энергия единичного импульса примерно равна 0,5...5 Дж, сила тока в цепи разряда >100 А, емкость конденсаторов >100 мкф. При отделочном режиме энергия единичного импульса равна 0,005...0,05 Дж, сила тока ниже 10 А, емкость конденсаторов менее 10 мкф. Малая мощность и кратковременность разрядов являются условиями для получения обработанной поверхности до 6...9-го квалитетов точности и

шероховатости ($R_a = 2,5 \dots 0,40$ мкм). При мягком режиме работы уменьшается съём металла. Электроискровым методом можно обрабатывать ограниченную поверхность ($250 \dots 1500$ мм²); производительность процесса составляет $35 \dots 1200$ мм³/мин.

Электроискровым методом (рис. 2) получают сквозные отверстия любой формы поперечного сечения (а), глухие отверстия и полости (б), фасонные отверстия и полости по способу трепанации (в), отверстия с криволинейными осями (г), вырезают заготовки из листа при использовании проволочного или ленточного инструмента электрода (д), выполняют плоское, круглое и внутреннее (е) шлифование, разрезают заготовки, клемят и т. д.

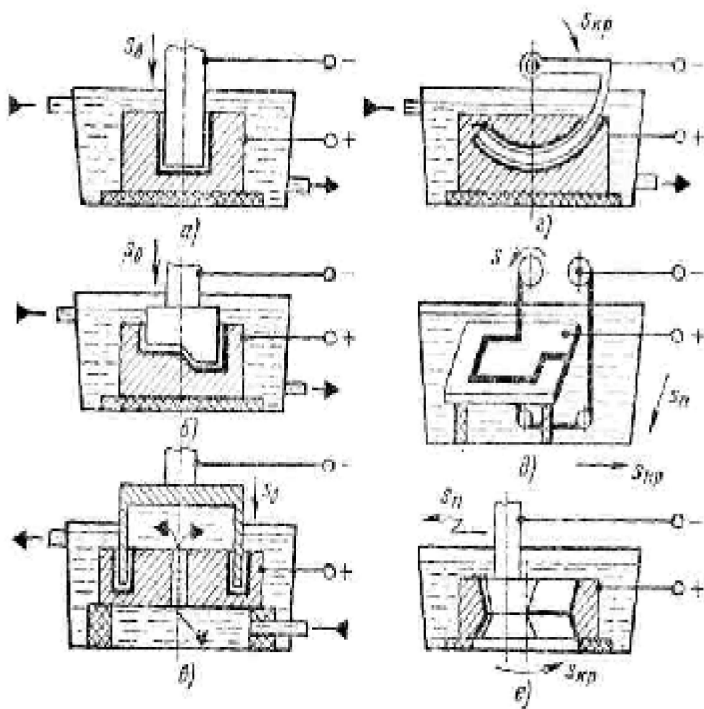


Рис. 2. Схемы электроискровой обработки.

2.2. Электроимпульсная обработка металлов

Электроимпульсная обработка металлов представляет собой разновидность электроэрозионной обработки. По сравнению с электроискровой обработкой процесс характеризуется увеличением мощности единичных разрядов, длительностью импульсов, обратной полярностью (анод-инструмент, катод-заготовка), применением пониженных напряжений и относительно большими значениями средних токов. В результате производительность процесса по сравнению с электроискровой обработкой во многих случаях в 8...10 раз выше. Этот метод позволяет производить обработку на больших площадях (до 240 см^2) с высокой производительностью (до $5000 \text{ мм}^3/\text{мин}$); шероховатость обработанной поверхности на 1...3 класса ниже, чем при обработке электроискровыми методами (рис. 3).

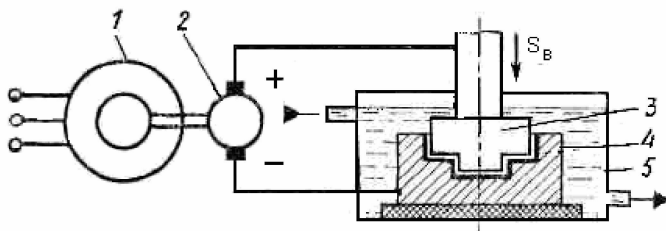


Рис. 3. Схема электроимпульсной обработки.

На рис. 3 приведена одна из схем электроимпульсного метода обработки металлов. Электрод-инструмент 3 и электрод-деталь 4, погруженные в ванну 5 с жидкостью, присоединяются к импульсному генератору постоянного тока 2, приводимому в действие от электродвигателя 1. Жидкой средой служат масла низкой вязкости (индустриальное, трансформаторное), керосин и др. В межэлектродном пространстве возникают электрические разряды определенной длительности, сопровождающиеся выделением теплоты. Под воздействием теплоты происходит разрушение металла на поверхности электродов. Электрические режимы назначают в зависимости от характера обработки и от площади обрабатываемой поверхности. При площади обрабатываемой поверхности $20...240 \text{ см}^2$ черновую обработку осуществляют при токе

50...500 А, а чистовую – при 5...50 А. Верхнее значение напряжения составляет 24...26 В, а нижнее – 11...12 В.

Недостатком электроискрового и электроимпульсного методов обработки является малая стойкость электрода-инструмента, который приходится заменять после обработки 5...10 деталей.

Электроимпульсную обработку проводят на специальных электроимпульсных станках, на которых обрабатывают пресс-формы, вырубные просеченные и чеканочные штампы и прошивают отверстия любой конфигурации в закаленных деталях.

2.3. Ультразвуковая обработка

Ультразвуковая обработка основана на хрупком разрушении материала зерном абразива, которое внедряется в обрабатываемый материал под ударами специального акустического концентратора-инструмента, колеблющегося с частотой 18...30 кГц. Обработка называется ультразвуковой в связи с частотой колебаний концентратора-инструмента, которая лежит в нижней части ультразвукового диапазона частот. Способ обработки был запатентован в Англии Ферером в 1945 году.

Начиная с 1951-1953 гг. начались интенсивные исследования физической сущности процесса ультразвуковой обработки, разработка технологии и создание оборудования.

При ультразвуковом методе обработки материалов инструменту придают колебания вышеуказанной частоты с небольшой амплитудой (0,01...0,06 мм). Жидкость (чаще вода), омывающая инструмент и обрабатываемую деталь, содержит большое количество мелких абразивных зерен зернистостью 150...180 мкм. Массовое соотношение абразива к воде от 1 : 1 до 1 : 2. Эти зерна под воздействием ультразвуковых колебаний попадают в пространство между электродами и осуществляют сьем металла. В качестве абразивных зерен используют абразивные частицы карбида бора, карбида кремния и другие материалы. Инструменты, имеющие форму в соответствии с формой обрабатываемой поверхности, обычно изготавливают из инструментальной стали.

Для получения ультразвуковых колебаний применяют пьезоэлектрические и магнитострикционные преобразователи. Применение пьезоэлектрических преобразователей основано на способности некоторых материалов (кварца, турмалина) изменять свои геометрические размеры (сжиматься и расширяться) под воздействием электрических зарядов. В основу магнитострикционного преобразователя положено использование свойств некоторых материалов (никеля, кобальта, пермалоя и др.)

деформироваться (сжиматься и расширяться) под воздействием магнитного поля. Трубку из указанных материалов помещают в катушку, через которую проходит переменный ток высокой частоты. Под воздействием магнитного поля геометрические размеры трубки меняются с ультразвуковой частотой. Этот метод чаще используют при обработке сверлением и фрезерованием деталей из стекла и кварца, полупроводников, алмазов, реze из твердых сплавов и труднообрабатываемых сталей.

Ультразвуковая обработка стальных деталей обеспечивает получение шероховатости поверхности до 9-го класса ($R_a = 0,32$ мкм) и 6-го квалитета точности.

На рис. 4 приведена схема установки с магнестрикционным преобразователем.

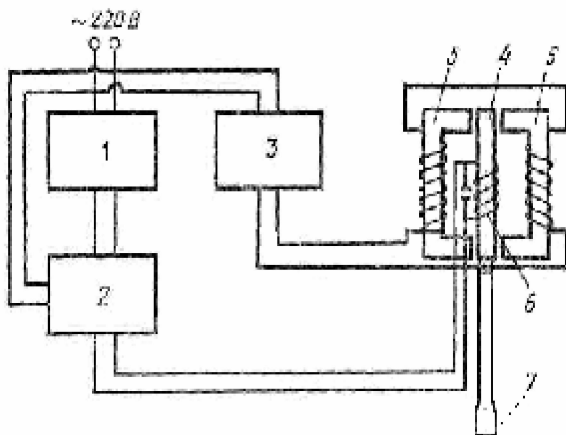


Рис. 4. Схема ультразвуковой установки.

Электрические колебания от звукового генератора 1 усиливаются усилителем 2 и поступают в катушку 6 вибратора 4, который, создавая переменное магнитное поле, заставляет сердечник и инструмент 7 колебаться с высокой частотой. Постоянные магниты 5 получают питание от селенового выпрямителя 3.

Производительность ультразвуковой обработки зависит от обрабатываемого материала и мощности установки. Так, удельная производительность при обработке стекла составляет до 4000, а твердого сплава – до $40 \text{ мм}^3/\text{мин} \cdot \text{кВт}$.

3. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО СТАНКА 57М

Электроэрозионный станок модели 57М (рис. 5) предназначен для электроэрозионной обработки полостей и отверстий в деталях, изготовленных из различных металлов и сплавов.

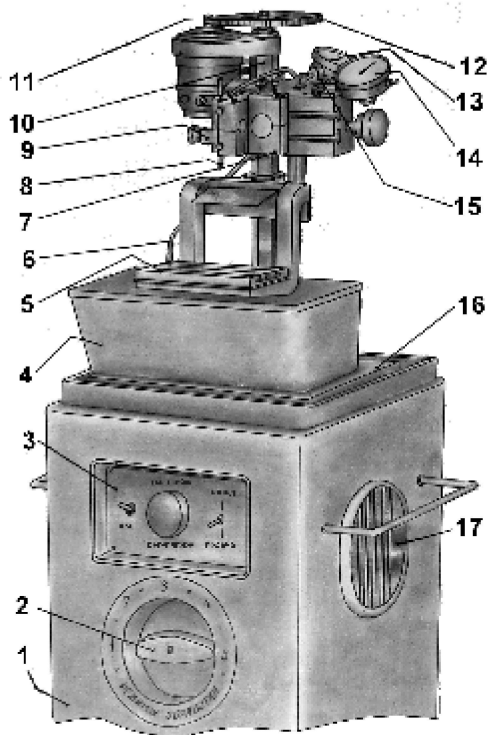


Рис. 5. Общий вид станка: 1 – корпус; 2 – рукоятка переключателя режимов; 3 – щиток управления; 4 – ванна для рабочей жидкости; 5 – стол; 6 – провод; 7 – рабочая головка; 8 – электрод-инструмент; 9 – электрододержатель; 10 – колонка; 11 – шестерня на валу электродвигателя; 12 – зубчатое колесо на винте подачи; 13 – индикатор поперечной подачи; 14 – индикатор продольной подачи; 15 – поперечный суппорт; 16 – плита; 17 – вентиляционная решетка.

Наибольшие размеры обрабатываемых деталей: высота – 25 мм, ширина – 80 мм, и длина – 100 мм.

Станок состоит из корпуса 1, изготовленного из листовой холоднокатаной стали толщиной 1,5 мм, и рабочей головки 7, закрепленной на плите 16. В корпусе расположено электрооборудование станка. На передней панели корпуса имеется углубление для рукоятки переключателя режима работы станка 2. Над переключателем режимов работы станка расположен щиток управления 3 с рукояткой потенциометра, служащего для настройки автоматического регулятора подачи. Рукоятка потенциометра так же, как и переключатель, утоплена в корпус, чем обеспечивается ее защита от механических повреждений. Слева от рукоятки потенциометра расположен главный выключатель станка, справа имеется трехпозиционный тумблер, служащий для поднимания, остановки и опускания каретки рабочей головки. На задней панели корпуса находится щиток для присоединения станка к сети переменного тока 220 или 380 В. Корпус 1 укреплен на чугунном основании, обеспечивающем устойчивость станка.

В правой боковине корпуса имеется решетка 17 для вентиляции. В ее нижней части сделаны жалюзи.

Рабочая головка 7 состоит из шестигранной колонки 10, по которой перемещается каретка с продольным и поперечным 15 суппортами. На поперечном суппорте находится электрододержатель 9, в котором крепится электрод-инструмент 8.

Каретка перемещается при помощи винта, находящегося в отверстии, расточенном в колонке, и гайки, прикрепленной к каретке. Легкость хода и точность перемещения каретки обеспечены четырьмя роликами с шариковыми подшипниками.

Винт, перемещающий каретку, приводится во вращение от электродвигателя-регулятора посредством зубчатой передачи 11 и 12.

Обрабатываемая деталь крепится к столу 5 при помощи зажимов, расположенных в пазах стола.

Стол скреплен с колонкой при помощи двух лап.

Погружение обрабатываемой детали в жидкость производится подъемом ванны 4. Ванна поднимается при помощи ручек. Одна из ручек (правая) стопорит ванну в нужном положении. Ванна устанавливается на столе на штифтах и может быть заменена большей в случае необходимости обработки длинных деталей, не помещающихся в имеющейся ванне.

На станке могут обрабатываться отверстия на расстояниях, расположенных друг от друга с большой точностью. Для этого на каждом из суппортов имеются стойки для крепления индикаторов 13 и 14 и перемещающихся упоров.

3.1. Порядок подготовки станка к работе

На столе 5 крепится металлическая деталь, а в электрододержатель зажимается электрод-инструмент, например, латунный (медный, алюминиевый) стержень диаметром от 2 до 10 мм.

Ванна поднимается, причем уровень жидкости должен быть не менее 15 мм над поверхностью детали.

Крайний правый тумблер панели управления должен находиться в среднем положении. Сначала включается какой-либо режим поворотом рукоятки 3 по часовой стрелке.

Общий (левый) выключатель ставится в положение «ВКЛ.», а тумблер регулятора переключается вниз в положение «ПОДАЧА».

Электродвигатель должен начать вращаться. Каретка будет перемещаться вниз до начала разрядов.

Вращение ручки потенциометра «НАСТРОЙКА РЕГУЛЯТОРА» в ту или иную сторону регулирует стабильность работы станка, которая характеризуется ровным звуком.

Затем включают режим (табл. 2), заданный преподавателем, и проводят эксперимент в соответствии с разделом 3.

Таблица 2. Основные показатели работы станка на следующих режимах его работы

Параметры	Единицы измерения	Режимы				
		1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
Потребляемая мощность	Вт	950	450	260	200	150
Средняя величина тока рабочего контура	А	7	3,8	2,2	1	0,8
Средняя величина твердого сплава	г/мин	0,3	0,15	0,05	0,015	0,01
Шероховатость обработанной поверхности R_z	мкм	40...25	20...10	20...10	10...8	10...8

3.2. Техника безопасности и пожарной безопасности при работе на электроискровом станке 57М

1. Перед заполнением ванны станка рабочей жидкостью следует убедиться в соответствии ее ГОСТу, указанному в формуляре станка, и в первую очередь – в отсутствии в ней легковоспламеняющихся фракций.

2. При работе станка высота рабочей жидкости над поверхностью обрабатываемого изделия должна быть не менее:

15 мм при потребляемой мощности на данном режиме 0,5 кВт;

30 мм при потребляемой мощности на данном режиме 1 кВт;

55 мм при потребляемой мощности на данном режиме 2 кВт;

100 мм при потребляемой мощности на данном режиме 5 кВт.

3. Опускание ванны производить только при выключенном станке.

4. К каждому электроэрозионному станку прилагается металлический щит для накрывания ванны. Щит следует хранить рядом со станком. В случае воспламенения жидкости ванну следует опустить, а затем накрыть щитом. В нерабочем состоянии ванна должна быть опущена и также закрыта щитом.

5. Около электроэрозионных станков должно находиться не менее двух исправных углекислотных огнетушителей.

6. В случае обнаружения течи ванны станок должен быть немедленно отключен и ванна опорожнена.

7. Температура рабочей жидкости (трансформаторное масло) в ванне не должна превышать 60°C. Рабочую жидкость в ванне следует менять по мере загрязнения.

8. Совершенно недопустимо работать, а также находиться около электроэрозионных станков в промасленной спецодежде.

9. При обнаружении какой-либо неисправности в станке, как и возникновении у работника, обслуживающего станок, каких-либо сомнений в его исправности, электроэрозионный станок должен быть немедленно отключен от сети, ванна опущена и накрыта щитом. О случившемся следует немедленно поставить в известность ответственных лиц.

10. Особое внимание следует обращать на надежное закрепление электродов в электрододержателе. Искрение при плохом закреплении электрода может явиться причиной воспламенения рабочей жидкости.

11. Запрещается обработка деталей без их надежного закрепления на столе электроэрозионного станка. Запрещается класть на стол по-

сторонние металлические предметы: ключи, отвертки и др. – это может привести к аварии.

12. Оператору, выполняющему работу на электроэрозионном станке, категорически запрещается отлучаться от работающего станка хотя бы даже на самое непродолжительное время. При необходимости отлучки, а также после окончания работы станок должен быть выключен, ванна опущена и накрыта щитом.

13. При прекращении работы станка из-за перерыва в электроснабжении следует принять меры к недопущению самопроизвольного включения станка. Для этого необходимо проверить отключение станка от сети переменного и постоянного тока.

14. При работе станка запрещается прикосновение руками к токонесущим частям: электрододержателю, электроду, столу, обрабатываемому изделию.

15. На каждом рабочем месте – у электроэрозионного станка, пульта управления, распределительного щита и т.д. – должен быть резиновый коврик.

16. Каждый станок необходимо оборудовать местным освещением. Напряжение освещения должно быть не выше 36 В.

17. Открывать шкаф, производить ремонт электрооборудования станка разрешается только лицам, прошедшим специальное обучение по ремонту электрооборудования с соблюдением всех правил техники безопасности при работе с высоким напряжением.

18. Корпуса электроэрозионных станков должны быть надежно заземлены. Исправность заземления должна периодически, не реже одного раза в месяц, проверяться.

19. В помещении, где производится работа на электроэрозионных станках непрерывно, должно находиться не менее двух человек, подготовленных согласно настоящим правилам.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Современные представления о физике процесса электроэрозионной обработки.

2. Материалы, обрабатываемые электроэрозионным и ультразвуковым способами, область применения ультразвуковой и электроэрозионной обработки.

3. Кинематические схемы электроэрозионной обработки.

4. Правила техники безопасности при работе на электроэрозионных и ультразвуковых станках.

5. От каких физико-химических и механических свойств материала зависит его обрабатываемость электроэрозионным и ультразвуковым способами?

6. Технологические характеристики электроэрозионного и ультразвукового способов обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов, С.С. Обработка материалов резанием / С.С. Некрасов. М.: Агропромиздат, 1988. С. 265–275.

2. Технология конструкционных материалов: учебник для студ. машиностроительных спец. вузов / А.М. Дальский, Т.М. Барсукова, А.Ф. Вязов [и др.]. 6-е изд., испр. и доп. М.: Машиностроение, 2005. С. 470–484.