

Л. Ф. Головки, О. С. Чумаченко*

Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев

*Кировоградский национальный технический университет, Кировоград

Электроэрозионная обработка фасонных отверстий множественным разрядом

Описана технологическая схема протекания процесса электроэрозионной обработки множественным разрядом отверстий под крепежные элементы, при которой поток рабочей жидкости, управляющий энергетическими параметрами электрических разрядов, имеет оптимальные характеристики, а обработка отличается высоким качеством и производительностью.

Ключевые слова: технология обработки, фасонные отверстия, электроэрозионная обработка, множественный разряд

Фасонные отверстия с углублениями под головки болтов и отверстия с фасками, которые широко используют в деталях машин, обычно изготавливают с использованием процессов обработки резанием и давлением. При высоких механических характеристиках материала заготовки возникают сложности получения таких отверстий. Кроме того, получение отверстия и фаски – это традиционно две операции, которые выполняют на разном оборудовании, в то время как способ электроэрозионной обработки (ЭЭО) множественным разрядом [1] позволяет осуществить обработку за одну операцию и избежать проблем стойкости инструмента. Но требуется доработка технологической схемы протекания такого процесса и оптимизация конструкции рабочего инструмента для достижения высокой производительности и качества обработки.

Примером, когда такой процесс целесообразен, может быть, в частности, изготовление разнообразных фланцев и лап культиваторов – серийных деталей сельскохозяйственной техники, которые работают в сложных условиях под нагрузками. В условиях массового и серийного производства таких деталей применяют листовую сталь марок 45, 65Г, а также СтЗ толщиной преимущественно от 4 до 6 мм. Необходимые механические свойства обеспечивают термообработкой и упрочнением. Детали крепят болтами с квадратными головками, которые не позволяют детали проворачиваться. Под болты изготавливают квадратные отверстия с фасками. Толщина металла на квадрате в самых тонких местах (в зависимости от толщины листового материала и размеров квадрата) обычно не превышает 1,2-1,5 мм.

При термообработке металл в тонких местах может выгорать, и опорная площадь соприкосновения болта со стенками отверстия уменьшается. Если фиксирование под рабочей нагрузкой ненадежно, болты могут проворачиваться, меняя форму отверстия с квадрата на круг. Получить отверстия штамповкой или резанием после термообработки, чтобы обеспечить нужную геометрию отверстий, невозможно. Способ электроэрозионной обработки множественным разрядом позволяет получить такие отверстия после

термообработки заготовок, что обеспечивает прочность стенок квадрата. Кроме того, поверхность полученного отверстия при необходимости может быть упрочнена. При этом глубина зоны термического влияния определяется режимом обработки.

Дополнительные преимущества предложенного способа обработки фасонных отверстий с различным по высоте поперечным сечением состоят в том, что обработка происходит за одну операцию, на одном станке, одним инструментом без переналадки, а при изнашивании инструмент сохраняет рабочую форму и размеры. Формообразующая часть электродов-инструментов (ЭИ) соответствует форме головки крепежного изделия (рис. 1).



Рис. 1. Электроды-инструменты для обработки квадратного отверстия с фаской

В условиях ЭЭО множественным разрядом его энергетические характеристики, а следовательно, качество обработанной поверхности и другие технологические характеристики процесса определяет динамическое давление потока рабочей жидкости в межэлектродном зазоре [2]. В свою очередь, динамическое давление определяется статическим давлением рабочей жидкости на входе в межэлектродный зазор, гидравлическим сопротивлением трассы эвакуации продуктов эрозии в пределах межэлектродного зазора и местными гидравлическими сопротивлениями и является функцией координаты

зоны обработки. Поэтому большое значение имеют исследования гидродинамических характеристик потока в межэлектродном зазоре и выбор оптимальных конструктивных особенностей электрода-инструмента и приспособления. На рис. 2 представлены эпюры скоростей потока в межэлектродном зазоре, которые зависят от конструкции формообразующей части ЭИ.

Статическое давление жидкости в герметизированной камере на входе в зазор частично переходит в динамическое, а частично теряется на преодоление сопротивления зазора: по длине трассы на трение и в местных сопротивлениях [3]. Потери по длине трассы неизбежны, поскольку определяются формой изделия, а величину местных потерь можно корректировать и свести к минимуму. Местные потери давления происходят при местных нарушениях течения, отрыве потока от стенки, образовании вихрей и интенсивном турбулентном перемешивании потока в местах изменения конфигурации русла или обтекании преград

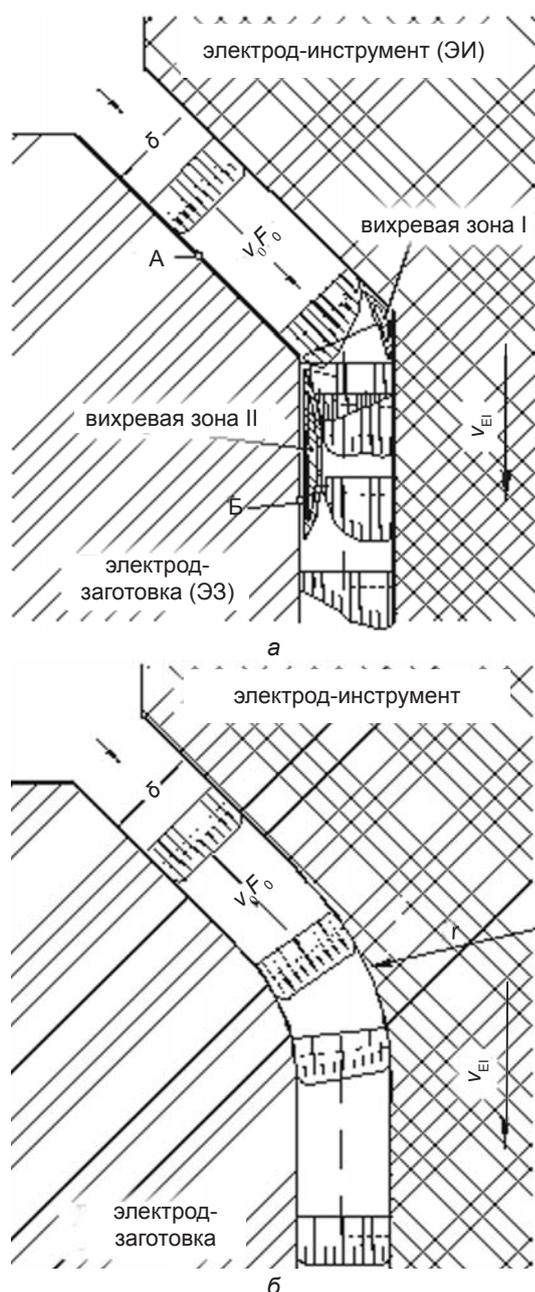


Рис. 2. Эпюры скоростей потока при изменении направления движения: — — эпюра скоростей; - - - - эпюра давлений

(сужение потока при входе жидкости в зазор, изменение направления движения при поворотах, расширение потока при выходе жидкости из зазора).

Следует учитывать, что изменения гидродинамических режимов движения жидкости по высоте межэлектродного зазора и по длине трассы вызывают изменения качественных характеристик источников тепла на электродах, из-за чего качество на разных участках обработанной поверхности неравномерное. Это особенно касается участков, где происходит изменение направления течения рабочей жидкости. Кроме того, стабильность потока нарушается протеканием эрозионных актов сотни раз в секунду. Нарушение течения жидкости дестабилизирует процесс в целом, снижает производительность и качество обработки. Поэтому обеспечение ламинарного и равномерного течения жидкости в зазоре, уменьшение местных потерь давления, организация потока за счет применения соответствующих конструктивных элементов в технологических схемах формообразования и оптимальной формы ЭИ позволит стабилизировать процесс, повысить его эффективность.

При переходе от фаски к вертикальной стенке отверстия происходит изменение направления движения потока, в частности резкий поворот, который сопровождается отрывом потока от стенки и образованием вихревых зон I и II (рис. 2, а) [3]. Это связано с разницей скоростей в поперечном сечении потока. Повышение пульсаций скорости и интенсивное перемешивание частиц наряду с потерями энергии на поддержание существования вихревых зон на поворотах приводят к увеличенным потерям напора на поворотах по сравнению с прямолинейными участками. В условиях ЭЭО множественным разрядом отверстий с фасками поток несет продукты эрозии, которые образуются при формировании фаски (зона А) и должны пройти указанный поворот и прямолинейный участок (зона Б). Значительное сужение сечения потока в результате существования вихревых зон I и II, лобовое сопротивление частиц продуктов эрозии, снижение энергетических характеристик разрядов в вихревых зонах влекут нарушения процесса с короткими замыканиями, снижением производительности и качества обработки, разрушением рабочей части ЭИ в месте сопряжения.

Поэтому место сопряжения поверхностей ЭИ, к которому прилегает вихревая зона I, имеет повышенный износ, а поверхность Б заготовки, к которой прилегает вихревая зона II, отличается низким качеством. Коэффициент сопротивления при этом составляет 0,32 (рис. 3). В таких условиях, как показали эксперименты, невозможно работать на высокопроизводительных режимах, когда за единицу времени образуется значительное количество продуктов эрозии.

Применение сопряжения радиусом 0,25-0,5 мм рабочих поверхностей ЭИ (рис. 2, б) при указанном повороте потока на 45° позволяет уменьшить местное сопротивление почти на порядок: $\xi_m \approx 0,04$.

Коэффициент сопротивления в этом случае определяют по формуле [3]

$$\xi_m \approx A_1 B_1 C_1, \quad (1)$$

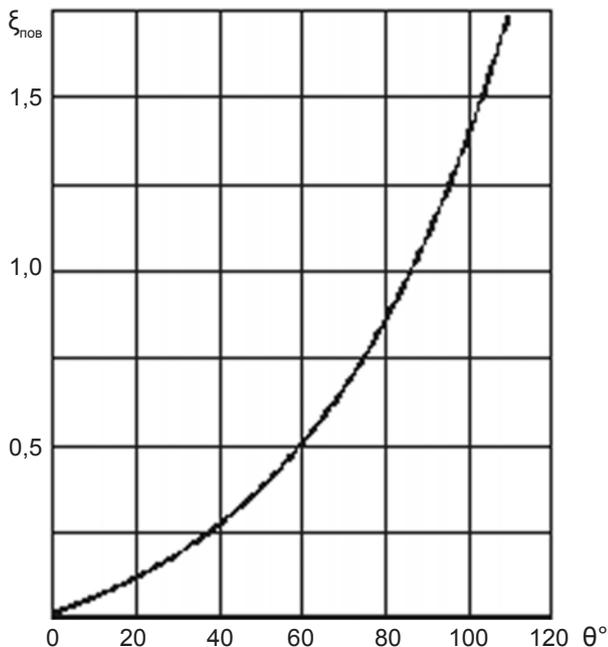


Рис. 3. Зависимость коэффициента сопротивления при повороте без закругления сопрягаемых поверхностей

где A_1 – коэффициент, учитывающий влияние угла поворота θ° (рис. 4, а); B_1 – коэффициент, учитывающий влияние относительного радиуса закругления r/δ (рис. 4, б); C_1 – коэффициент, учитывающий относительное удлинение поперечного сечения (для плоских щелей составляет 1).

Учитывая масштабы поперечного сечения потока, который представляет собой плоскую щель, высота которой равна межэлектродному зазору и находится в пределах 0,04–0,12 мм, радиус закругления такого же порядка практически не влияет на эксплуатационные качества детали, а в некоторых случаях даже целесообразнее, чем острая кромка. Экспериментальные исследования процесса показали высокую

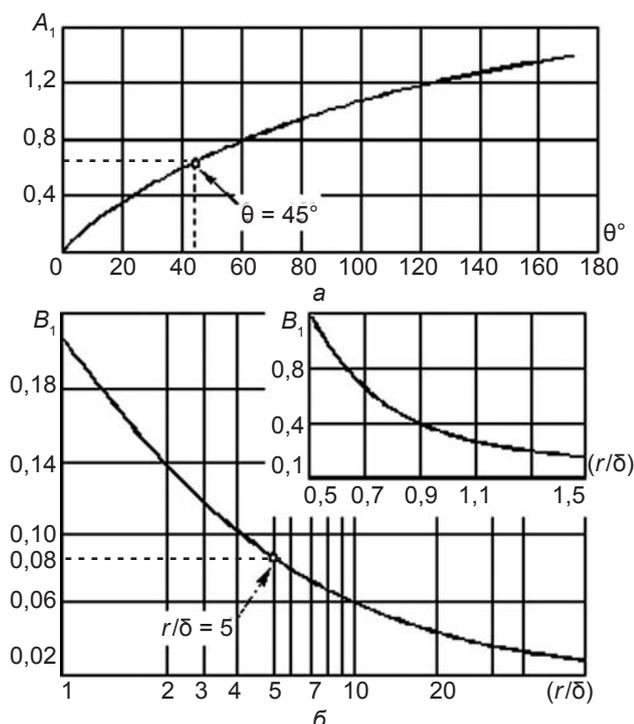


Рис. 4. Графики для определения коэффициента сопротивления поворота с закруглением

устойчивость горения разряда, полное отсутствие нарушений и высокую производительность при реализации предложенной схемы формообразования (рис. 2, б). Обеспечить стойкость процесса при формировании фаски и уменьшить сопротивление поворота позволяет сопряжение радиусом 0,5 мм поверхностей конуса и квадрата на ЭИ. По сравнению с отсутствием радиуса сопротивление уменьшается на порядок. Каждое отверстие получают за 30–40 с при силе тока 150–200 А, рабочем напряжении 30 В и давлении рабочей жидкости 1,2–1,6 МПа. Для полного разрушения брачка первые 5 мм рабочего хода поддерживают напряжение 35–40 В. Во время формирования фаски напряжение снижают до 25–27 В.

При выходе отработанной жидкости из зазора в полость (рис. 5) поток внезапно расширяется, от чего возникают потери на удар. Коэффициент местного сопротивления удара при равномерном распределении скоростей по сечению щели и турбулентном движении зависит только от соотношения площадей узкого и широкого каналов F_0/F_2 и определяется как [3]

$$\xi_m = \left(1 - \frac{F_2}{F_0}\right)^2 \quad (2)$$

В широком сечении при внезапном расширении образуется отделенная от основной среды струя, которая распадается и превращается в мощный водоворот (вихревые зоны). Вся кинетическая энергия жидкости расходуется на образование вихрей, связанных с отрывом потока от стенки, то есть на поддержку непрерывного вращательного движения жидкости, в конечном счете – на внутреннее трение. Скорость потока снижается до нуля.

Способ ЭЭО множественным разрядом осуществляется саморасщепляющимся стационарным электрическим разрядом в поперечном потоке жидкости при динамическом давлении потока больше 0,8 МПа. Основное условие качественной и равномерной обработки – стабильность электрических и гидродинамических характеристик. По толщине заготовки s их можно считать стабильными, поскольку сечение канала (межэлектродного зазора) постоянно. Выход жидкости из зазора в полость характеризуется изменениями потока и соответствующими изменениями структуры и энергетических характеристик электрического разряда, который становится типично дуговым и малоподвижным, длина столба увеличивается, и дуговой разряд начинает гореть по линии наименьшего сопротивления (минимального динамического давления) между нижней поверхностью обработанной заготовки и ЭИ (рис. 5, а).

Разрушается кромка детали (рис. 5, в) и стенка подставки, если расстояние $L - m \leq 20$ мм (L – размер отверстия в подкладной плите; m – соответствующий размер ЭИ). Соответственно, внутренний размер подставки L выполняют большим критического.

Горячие продукты эрозии выносятся потоком из межэлектродного зазора и двигаются по соответствующим закрученным траекториям, приликая к стенке отверстия подкладной плиты (рис. 5, б, в). Продукты эрозии, налипая, могут перекрывать отверстие, через которое отводится жидкость из зоны обработки.

На завершающей стадии обработки, если подкладная плита электрически не изолирована, разряд опрокидывается с торца ЭИ на эти продукты эрозии (рис. 5, б). В этом случае не только неэффективно расходуется энергия на повторное плавление металла, но и в результате малоподвижности разряда интенсивно разрушается рабочая часть ЭИ, что становится причиной дополнительного сопротивления и снижения производительности процесса на начальной стадии обработки.

Если подкладная плита электрически изолирова-

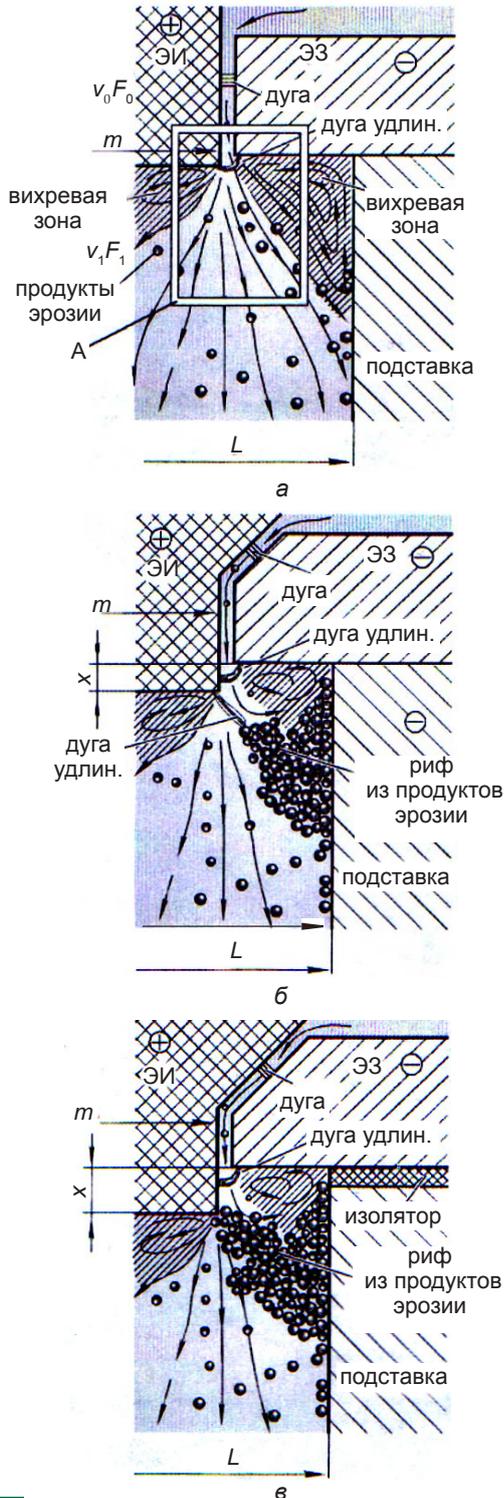


Рис. 5. Внезапное расширение потока при истечении из зазора в полость: а – начальная стадия; б – через несколько циклов обработки при отсутствии изоляции подставки и заготовки; в – через несколько циклов обработки при изоляции подставки

на (рис. 5, в), прилипшие продукты эрозии могут накопиться в таком количестве, что образованное ими отверстие становится меньше внешнего размера ЭИ. Они оставляют царапины на поверхности ЭИ, а в дальнейшем это может привести к сколу и разрушению ЭИ.

Известным способом эффективного уменьшения потерь полного давления при образовании вихревых зон при переходе от малого сечения к большому является установление диффузоров – участков, которые расширяются постепенно [3]. Роль диффузора в устройстве для обработки отверстий с фасками могут выполнять разнообразные резиновые подкладки (рис. 6). Потери в диффузорах зависят от угла, степени расширения и длины участка, который расширяется. Эти величины связаны соотношениями и в определенном диапазоне углов ($6-14^\circ$) общий коэффициент сопротивления диффузора, приведенный к скорости в узком (начальном) зазоре становится меньше, чем для такой же длины участка трубы постоянного сечения с площадью, равной начальной площади диффузора (рис. 7)

Поэтому для сохранения скорости потока и уменьшения сопротивления при выходе жидкости из

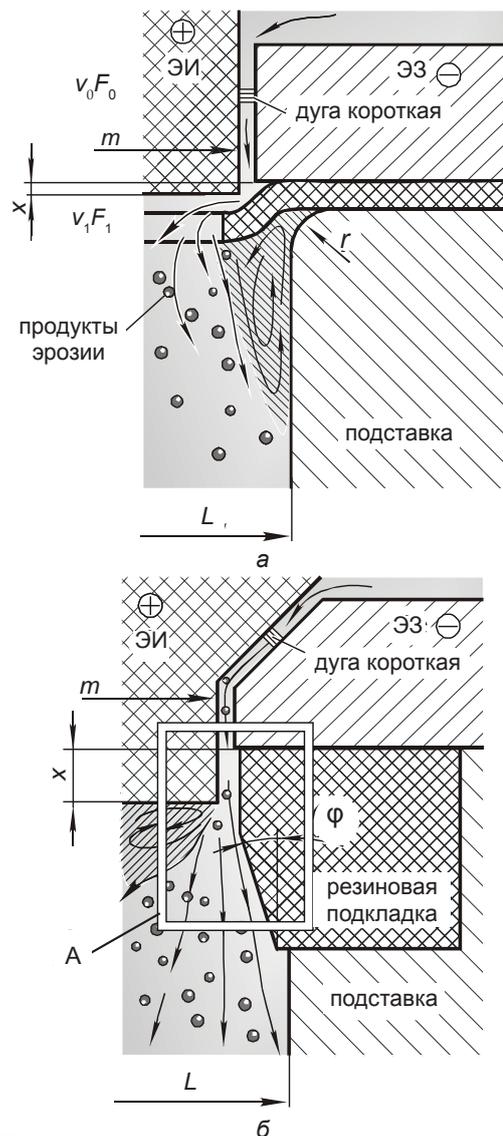


Рис. 6. Выход ЭИ в полость с жидкостью через резиновые подкладки

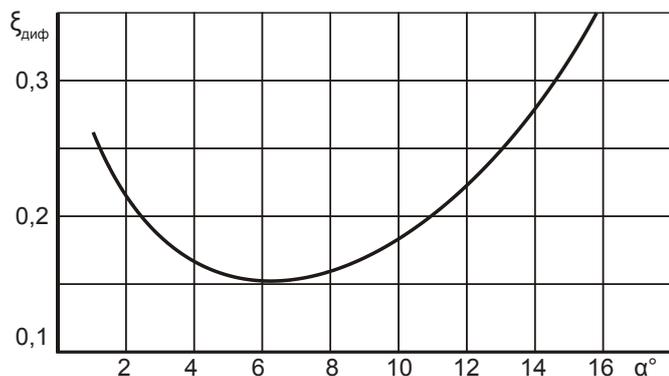


Рис. 7. Зависимость коэффициента сопротивления диффузора от угла расширения α

зазора применяют резиновые подкладки разных конфигураций. В результате сохраняется стабильность процесса при выходе ЭИ из заготовки, прерывается малоподвижный дуговой разряд, качество нижней кромки остается высоким, и предотвращается налипание продуктов эрозии на стенках подставки.

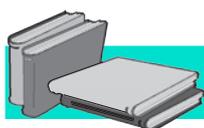
В зависимости от конструкции устройства и конкретной технологии подкладки могут быть двух типов: тонкая листовая резина $\approx 2-3$ мм (рис. 6, а) или толстая резиновая подкладка (10 мм и больше), которая укладывается в соответствующую проточку в подставке (рис. 6, б). Первая имеет упрощенное, обычно круглое отверстие; ее отгибает поток. При этом кромка

подставки должна иметь радиус. Отверстие в толстых подкладках выполняют по контуру обрабатываемого отверстия с зазором 1 мм на сторону. Поток при выходе из зазора (зона А), сформированный такой подкладкой, имеет вид, представленный на рис. 6, б. Как показано, хотя отрыв потока от стенки и имеет место, вихревая зона менее мощная, чем с отсутствием подкладки. Поскольку малоподвижные дуговые разряды при наличии подкладок невозможны, нижняя поверхность обработанной детали или отверстия качественная, а не оплавленная.

Выводы

Процесс электроэрозионной обработки множественным разрядом, полученным в результате саморасщепления стационарной дуги в поперечном потоке жидкости при динамическом давлении больше 1 МПа, является высокоэффективным при получении фасонных отверстий под крепежные болты в серийных деталях.

Предложенные конструктивные элементы ЭИ и технологической оснастки обеспечивают в условиях электроэрозионной обработки множественным разрядом высокую стойкость ЭИ, а также качество и производительность обработки отверстий переменного по высоте поперечного сечения.



ЛИТЕРАТУРА

1. Носуленко В. І., Чумаченко О. С. Якість приелектродних джерел тепла множинного електричного розряду // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – № 1 (49). – С. 32-37.
2. Головка Л. Ф., Чумаченко О. С. Вплив власного магнітного поля на динаміку стаціонарного електричного розряду в поперечному потоці рідини при обробці листового металу // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету ім. М. Остроградського. – 2008. – Ч. 2. – № 1 (48). – С. 32-37.
3. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.

Анотація

Головка Л. Ф., Чумаченко О. С.

Електроерозійна обробка фасонних отворів множинним розрядом

Описано технологічну схему протікання процесу електроерозійної обробки множинним розрядом отворів під монтажні елементи, при якій потік робочої рідини, який керує енергетичними параметрами електричних розрядів, має оптимальні характеристики, а обробка якісна та високопродуктивна.

Ключові слова

технологія обробки, фасонні отвори, електроерозійна обробка, множинний розряд

Summary

Golovko L. F., Chumachenko O. S.

Electrical discharge machining of irregularly shaped holes by multiple discharge

There is described a process flow model of multiple discharge wire erosion of apertures for assembly fixtures at which the stream of operating fluid, that control the power parameters of electric discharges, has best performance, and treatment is highly qualitative and productive.

Keywords

treatment technology, apertures for assembly fixtures, wire erosion, multiple discharge

Поступила 07.03.13