Энгельсский технологический институт (филиал) федерального
государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

# ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Методические указания
к практическим работам
по курсу «Оборудование машиностроительных производств»
для студентов направления

15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

очной и заочной форм обучения

Энгельс 2024

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Под общим наименованием электроэрозионной обработки объединена группа методов, характеризующаяся тем, что изменение формы, размеров, качества поверхности заготовки происходит под действием электрических разрядов в результате электрической эрозии-разрушения поверхности электродов при прохождении между ними электрических разрядов. В процессах ЭЭО материал заготовки в зоне обработки плавится и (или) испаряется и удаляется в жидком и (или) парообразном состоянии. Удаление обычно носит взрывной (импульсный) характер, протекая в короткий отрезок времени ($10^{-5}$ – $10^{-7}$ с) на небольшом участке поверхности, в месте локализации канала разряда. Канал разряда – это заполненная плазмой цилиндрическая область малого сечения, возникающая между электродами, отстоящими друг от друга на расстояние межэлектродного промежутка. Плазма – нагретый до высокой температуры ионизированный газ – возникает в результате прохождения через межэлектродный промежуток потока электронов в момент, когда напряжение на электродах больше определенного значения (напряжения пробоя).

Результатом пробоя и образования канала разряда является разрушение металла поверхности электродов в местах локализации канала – электрическая эрозия металла. Интенсивность разрушения каждого из электродов различна и при прочих равных условиях зависит от полярности электродов, формы и лительности импульсов разрядного тока. Соответственно обрабатываемая заготовка подключается таким образом, чтобы интенсивность ее разрушения (обработки) всегда была выше интенсивности разрушения (износа) электрода-инструмента.

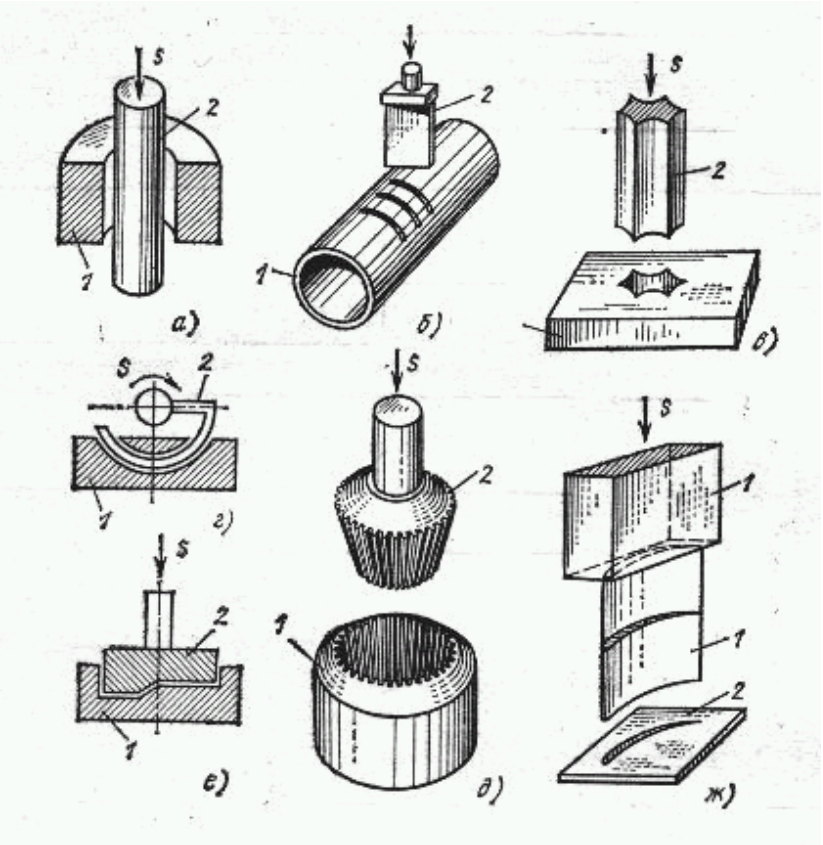



Рис.1 Схемы электроэрозионного формообразования методами прямого и обратного копирования

а – в – прошивка отверстий с прямолинейными осями; г – то же с криволинейной осью, д, е – объемное формообразование полостей, ж – формообразование наружных поверхностей

На характер протекания и результаты процесса электрической эрозии оказывают влияние много различных факторов, напрмер, полярность и материал электродов, характер окружающей среды (состав, свойства) электрические и временные параметры подводимых к электродам импульсов напряжения и тока (форма, частота, скважность, мощность, полярность и др.), конструктивно-технологические особенности электродов. На рис. 1 представлены схемы электроэрозионного формообразования методами прямого и обратного копирования. На рис. 2 показаны схемы различных операций электроэрозионного формообразования при взаимном перемещении электродов.

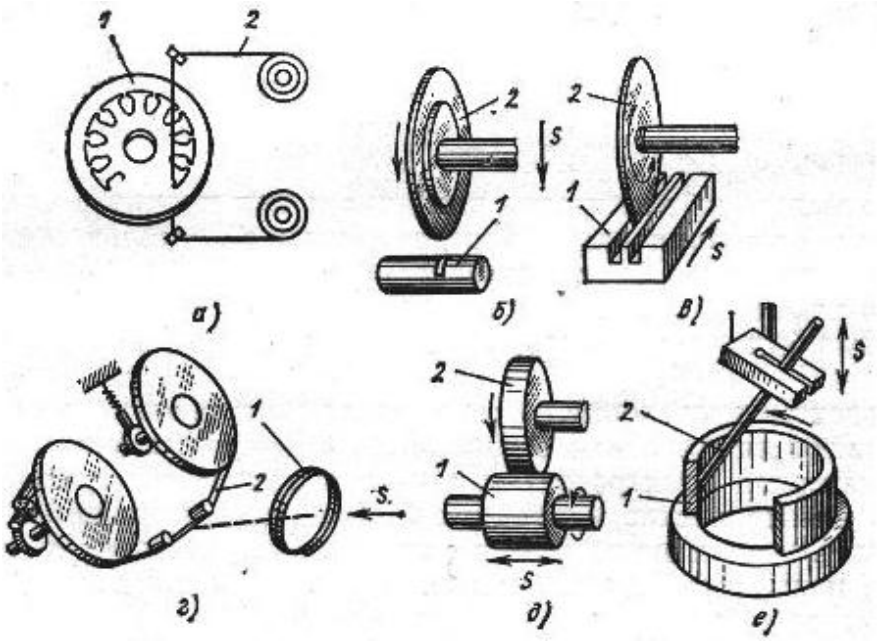



Рис. 2 Схемы различных операций электроэрозионного формообразования при взаимном перемещении заготовок

а – г – вырезание сложнопрофильных деталей и разрезание заготовок непрофилированным электродом инструментом, д, е – шлифование и расточнка стержневыми и дисковыми электродами.

Табл. 1

Типовые операции ЭЭО и достигаемый эффект

| Операция | Вид ЭЭО | Достигаемый эффект | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | снижение трудоемкости | сокращение ручного труда | рост производительности | повышение качества изделия | экономия спец. инструмента | механически невыполнимо | возможность автоматизации |
| Извлечение сломанного инструмента | ЭИМ | + | | | | + | + | + |
| Изготовление матриц и съемников вырубных штампов | ЭИС | + | + | + | | + | | |
| Изготовление кузнечных штампов (стальных) | ЭИМ | + | + | | + | | | + |
| Изготовление твердосплавных штампов | ЭИС | | | | + | | + | |
| Исправление брака стальных закаленных деталей | ЭИМ | + | | | + | + | + | |
| Изготовление сеток электровакуумных приборов | ЭИС | + | + | + | + | + | | + |
| Обработка отверстий и соединительных каналов в деталях гидро- и пневмоаппаратуры | ЭИС | | | | | | | + |
| Прошивание отверстий малого диаметра | ЭИС | + | + | + | | + | | + |
| Прошивание отверстий сложного профиля в тонкостенных деталях | ЭИС | + | + | | + | + | | |

По длительности и характеру импульсов тока, обусловливающих электрическую эрозию условно различают несколько разновидностей ЭЭО. На практике иногда бывает трудно провести между ними четкую границу, однако каждая из этих разновидностей имеет определенную специфику.

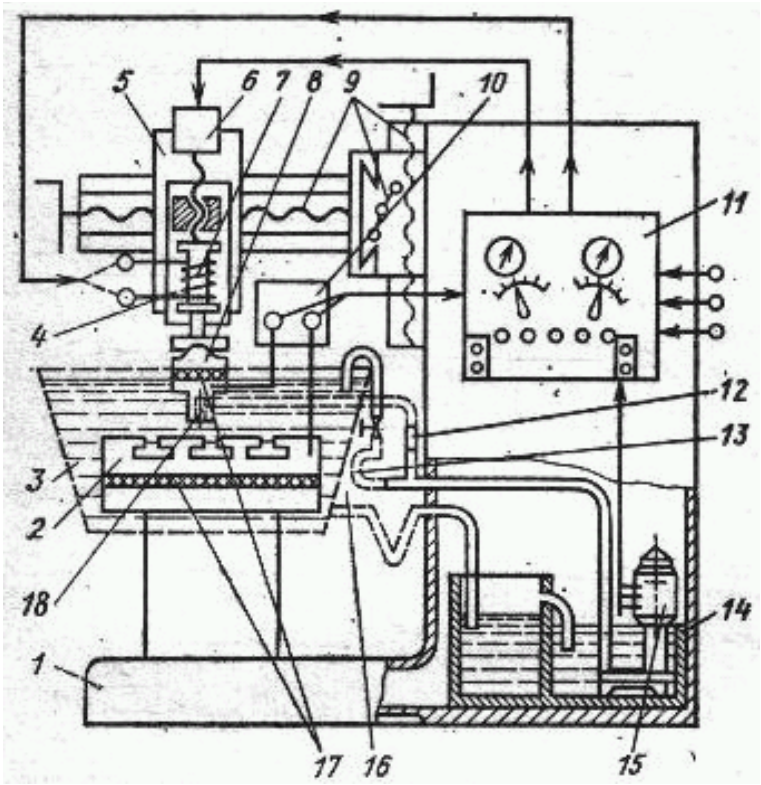



Рис. 3 Электроэрозионный копировально-прошивочный станок.

1 – станина; 2 – рабочий стол для крепления детали; 3 – ванна с рабочей жидкостью, 4 – каретка вертикального перемещения электрода инструмента; 5 – каретка поперечного перемещения электрода инструмента; 6 – двигатель системы регулирования межэлектродного промежутка; 7 – обмотка вибратора электрода инструмента; 8 – устройство для выверки положения электрода относительно детали; 9 – каретка продольного перемещения электрода инструмента; 10 – генератор импульсов; 11 – блок управления станком; 12 – тракт подачи рабочей жидкости через электрод инструмент; 13 – тракт подачи рабочей жидкости в ванну; 14 – бак с арбочей жидкостью; 15 – помпа (насос); 16 – слив из рабочей ванны; 17 – изолирующие прокладки; 18 – электрод-инструмент.

**Электроискровая обработка (ЭИС)** характеризуется короткой длительностью импульсов($10^{-5}$ – $10^{-7}$ с), сравнительно небольшой их энергией, обычно прямой полярностью подключения электродов (заготовка «+», электрод-инструмент «-»), отсутствием механического касания электродов между собой.

**Электроимпульсная обработка (ЭИМ)** – разновидность ЭЭО для которой характерны повышенная длительность импульсов ($10^{-4}$ – $10^{-1}$), повышенная энергия импульсов и обратная полярность подключения электродов, а также отсутствие их механического контакта.

**Электроконтактная обработка (ЭКО)** – также разновидность ЭЭО, но существенно отличающаяся по характеру явлений, протекающих между электродами, которые в течение определенных промежутков времени находятся в соприкосновении друг с другом. Теплота, расплавляющая и (или) испаряющая металл возникает лишь частично за счет прохождения электрического разряда. Определенная доля теплоты вводится при прохождении тока через сопротивление контакта, часть теплоты возникает в результате трения.

Применяемость различных видов ЭЭО, а также возможности получения эффекта от их использования иллюстрируют данные табл. 1.

Методы электроконтактной обработки (ЭКО) могут быть наиболее эффективно применены для решения следующих задач:

- обработка деталей из закаленной стали;
- обработка кромок плоских крупногабаритных деталей;
- прошивание трубчатым электродом цилиндрических отверстий;
- удаление припуска после прокатки прутков из жаропрочных сплавов
- удаление литников отливок из титановых сплавов.

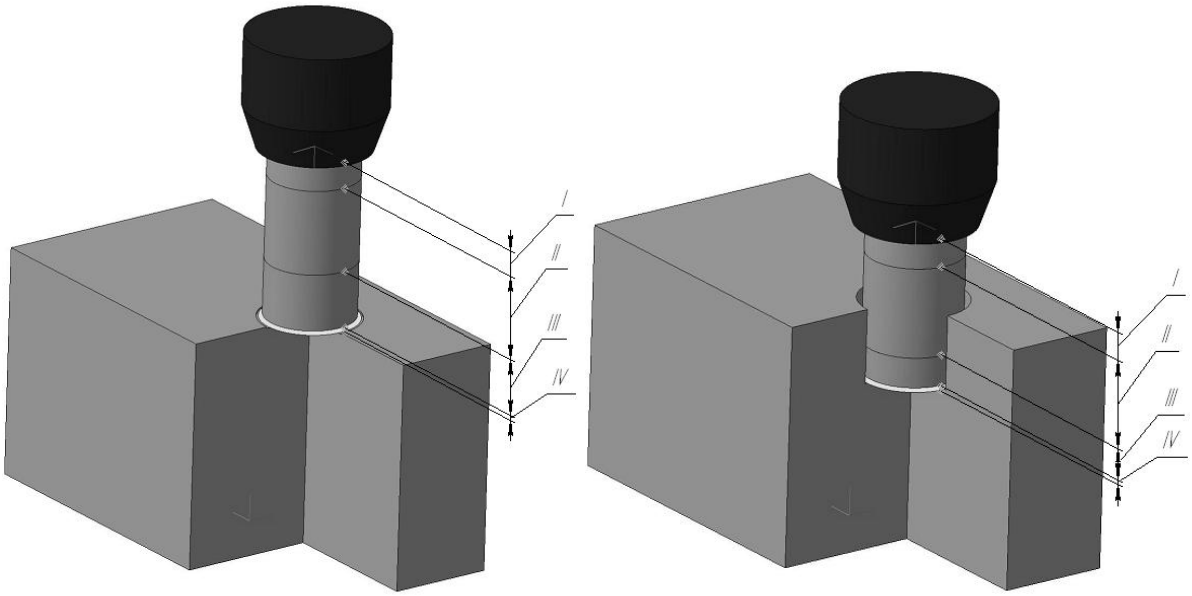
Для всех перечисленных методов при использовании ЭКО наблюдается снижение трудоемкости, повышение производительности и снижение себестоимости. Особенностью оборудования, применяемого для ЭКО является то, что многие процессы могут быть реализованы на обычных универсальных станках, подвергнутых модернизации (токарных, сверлильных, отрезных).

Для реализации методов электроискровой и электроимпульсной обработки требуется специализированное оборудование (копировально-прошивочные, вырезные станки). Типовая схема электроэрозионного копировально-прошивочного станка представлена на рис. 3.

## ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПРИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ И РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЭЛЕКТРОДОВ ИНСТРУМЕНТОВ.

Обрабатываемость материалов электроэрозионным способом включает ряд показателей: производительность обработки (съем материала в минуту), относительный износ электрода инструмента, шероховатость обработанной поверхности, качество поверхностного слоя, точность обработки, стабильность процесса и др. Количественной характеристикой обрабатываемости служит коэффициент, определяющий отношение производительности обработки данного материала к производительности обработки стали 45 при одинаковых условиях работы.

Отличительной особенностью формообразования при ЭЭО является отличие размеров и профиля электрода-инструмента от размеров и профиля обрабатываемой детали, это связано с необходимостью обеспечения зазоров между деталью и инструментом, особенностями формирования разрядных каналов, а также с износом инструмента в процессе обработки, величина которого сопоставима с объемом снимаемого при формообразовании материала.




*а* *б*

Рис. 4 Электрод- инструмент в процессе прошивки полости

I - гарантированное расстояние от детали до держателя электрода; II - длина электрода без учета износа; III - запас длины электрода на износ при обработке, IV - торцевой зазор; а – в начале процесса; б – после частичного съема припуска

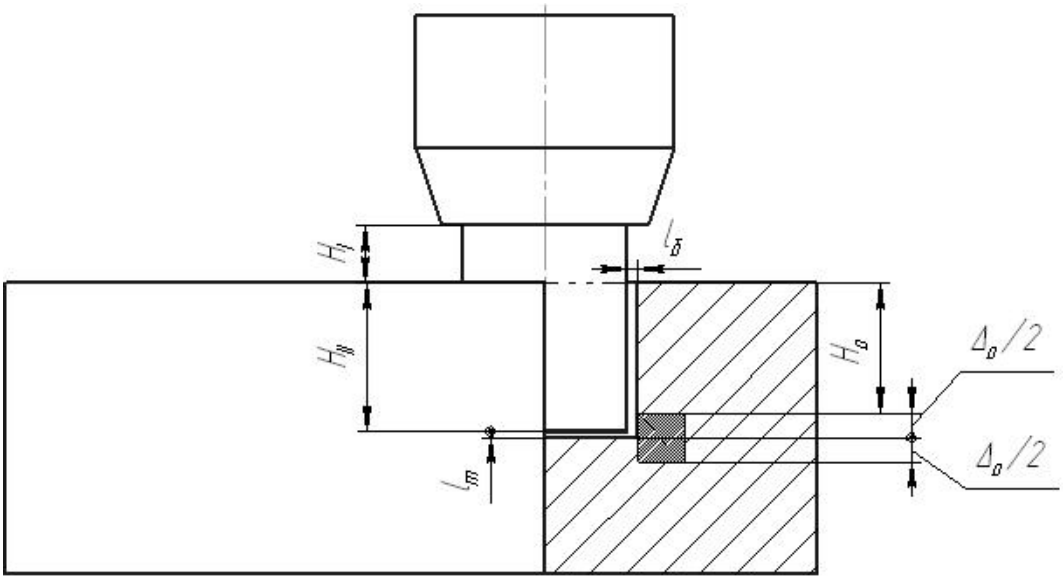



Рис. 5. Расчетная схема для определения размера электрода инструмента по высоте

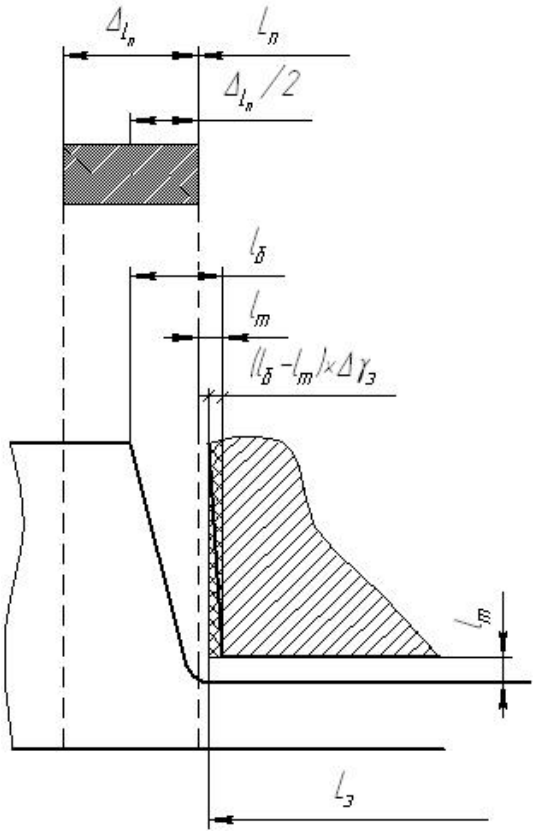



Рис. 6 Расчетная схема для определения поперечных размеров элетрода-инструмента.

При расчете размеров электрода инструмента делается допущение, что износ инструмента по высоте происходит равномерно и определяется величиной относительного объемного износа $\Delta\gamma_э$. В боковом зазоре также наблюдается возникновение разрядных каналов и съем металла как со стенок полости детали, так и с боковых стенок электрода-инструмента. При этом считается, что на участках , где зазор между деталью и инструментом превышает значение $l_б$ разрядные каналы не формируются и съем металла не происходит.

С учетом этих допущений для практических расчетов размеров могут быть использованы формулы [ ]:

Длина рабочего участка (мм) в вертикальном направлении (участки II + III по рис. 4):

$$H_{рэ} = H_{II} + H_{III} = \left(H_0 + \frac{\Delta_{II}}{2}\right)\cdot\left(1+\Delta\gamma_э\right) - l_m$$

где $H_0$ - номинальный размер прошиваемой полости по глубине, мм

$\Delta_{II}$ - допуск на изготовление полости по глубине (рис. 5), мм

$\Delta\gamma_э$ - относительный объемный износ электрода инструмента;

$l_m$ - торцевой зазор, мм

Размеры электрода в поперечном направлении при обработке полости с вертикальными стенками (рис. 6) определяются соответственно формулами для одностороннего зазора (наружная обработка):

$$L_э = L_П + \frac{\Delta_{ПL}}{2} - l_б + \left(l_б - l_m\right)\cdot \Delta\gamma_э$$

для двухстороннего зазора (внутренняя обработка):

$$D_э = D_П + \frac{\Delta_{ПL}}{2} - 2l_б + 2\left(l_б - l_m\right)\cdot \Delta\gamma_э$$

где $\Delta_{ПL}$ - допуск на изготовление полости по поперечному размеру, мм

$l_б$ - боковой зазор, мм

При обработке деталей для достижения высокой чистоты поверхностей необходимо использовать малые величины рабочих токов, при этом производительность обработки будет невысокой, особенно при съеме больших припусков. Поэтому для съема значительных объемов металла используется подход, аналогичный тому, что применяется при механической обработке: основная часть припуска удаляется на высокопроизводительных черновых режимах, а остаточные погрешности (микронеровности, слой со структурными изменениями и т.д.) удаляются на чистовых (финишных) режимах обеспечивающих высокое качество поверхности, но невысокую производительность. Схематично распределение припусков при многопроходной электроэрозионной обработке можно представить в соответствии с рис.7.

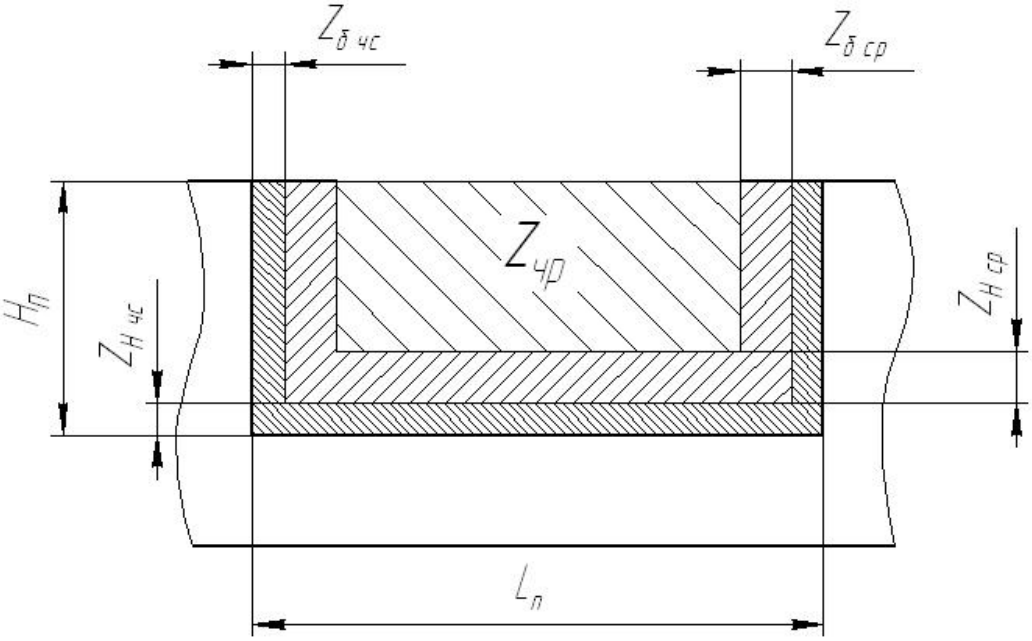



Рис. 7 Схема расположения припусков при обработке полости на трех режимах (черновом, среднем и чистовом)

При практических расчетах толщину слоя, снимаемую на средних режимах можно принять равной суммарной высоте микронеровностей (Rz, мкм) и глубине дефектного слоя (h, мкм) оставшимся от предыдущего прохода:

$$z_{ср} = Rz_{чр} + h_{чр},\ z_{чс} = Rz_{ср} + h_{ср},$$

Размеры электродов-инструментов, рассчитанные без учета их износа, определятся соотношениями:

$$H^0_{эчр} = z_{H\,чр} - l_{тчр},\ H^0_{э\,ср} = z_{H\,чр} + z_{H\,ср} - l_{т\,ср},\ H^0_{э\,чс} = H_П + \left(\Delta_{ПН}/2\right) - l_{т\,чс}$$

Горизонтальные (поперечные) размеры в случае двухсторонних зазоров:

$$L^0_{э\,чр} = L_П + \left(\Delta_{ПL}/2\right) - 2z_{ср} - 2z_{чс} - l_{б\,чр}$$

$$L^0_{э\,ср} = L_П + \left(\Delta_{ПL}/2\right) - 2z_{чс} - l_{б\,ср}$$

$$L^0_{э\,чс} = L_П + \left(\Delta_{ПL}/2\right) - l_{б\,чс}$$

С учетом износа электрода-инструмента его размеры по высоте составят соответственно:

$$H_{э\,чр} = z_{H\,чр}\left(1 + \Delta\gamma_{э\,чр}\right) - l_{т\,чр}$$

$$H_{э\,ср} = z_{H\,чр} + z_{H\,ср}\left(1 + \Delta\gamma_{э\,ср}\right) - l_{т\,ср}$$

$$H_{э\,чс} = z_{H\,чр} + z_{H\,ср} + z_{H\,чс}\left(1 + \Delta\gamma_{э\,чс}\right) - l_{т\,чс}$$

горизонтальные размеры электрода с учетом износа (принимая что за счет разрядов на боковых поверхностях с них удаляется слой металла $l_б - l_т$, соответственно для чернового, среднего и чистового):

$$L_{э\,чр} = L^0_{э\,чр} + 2\Delta\gamma_{э\,чр}\left(l_{б\,чр} - l_{т\,чр}\right)$$

$$L_{э\,ср} = L^0_{э\,ср} + 2\Delta\gamma_{э\,ср}\left(l_{б\,ср} - l_{т\,ср}\right)$$

$$L_{э\,чс} = L^0_{э\,чс} + 2\Delta\gamma_{э\,чс}\left(l_{б\,чс} - l_{т\,чс}\right)$$

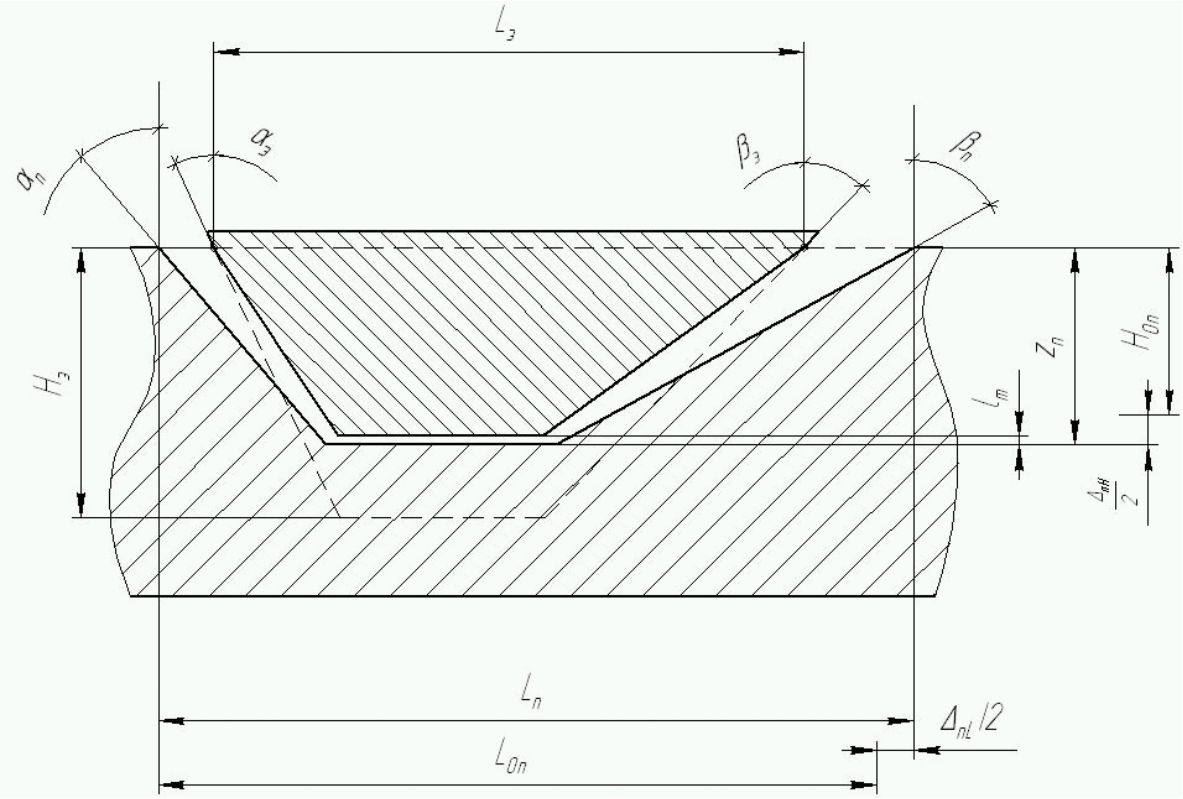



Рис. 8 Обозначения размеров электрода инструмента и детали при обработке фасонных полостей

При обработке по методу прямого копирования полостей с наклонными стенками (фасонных) наблюдается износ как торцевой части электрода инструмента, так и наклонных его стенок, что приводит к одновременному изменению высоты и углов наклона стенок электрода. При этом следует учитывать, что угол наклона стенок обработанной полости будет больше чем угол наклона стенок изношенного электрода инструмента, что объясняется наличием дополнительных разрядов между ними. Условные обозначения, принятые при расчете размеров фасонных электродов приведены на рис. 8.

Для практических расчетов размеров электрода-инструмента могут быть использованы формулы, соответственно для высоты электрода инструмента

$$H_э = (1 + \Delta\gamma_э)\left(H_П + \frac{\Delta_{nH}}{2}\right) - l_m$$

размер электрода в горизонтальной плоскости:

$$L_э = \left(L_П + \frac{\Delta_{ПL}}{2}\right) - l_б(1 - \Delta\gamma_э \cdot \cos\alpha_П) - l_б(1 - \Delta\gamma_э \cdot \cos\beta_П)$$

угол наклона боковой поверхности электрода инструмента:

$$tg\alpha_э = \frac{\left(z_П - l_m + l_б \cdot \sin\alpha_э^{''} \cdot \cos\alpha_э^{''}\right) \cdot tg\alpha_э^{''}}{(1 + \Delta\gamma_э)z_П - l_m + l_б \cdot \sin\alpha_э^{''} \cdot \cos\alpha_э^{''}},$$

где $\alpha_э^{''}$ - угол наклона стенки электрода инструмента, рассчитанный без учета его износа, значение которого может быть определено по формуле:

$$tg\alpha_э^{''} = \frac{\left(z_П - l_m \cdot \left(1 - \frac{1}{\sin\alpha_П}\right)\right) \cdot tg\alpha_П - l_б}{z_П - l_m}$$

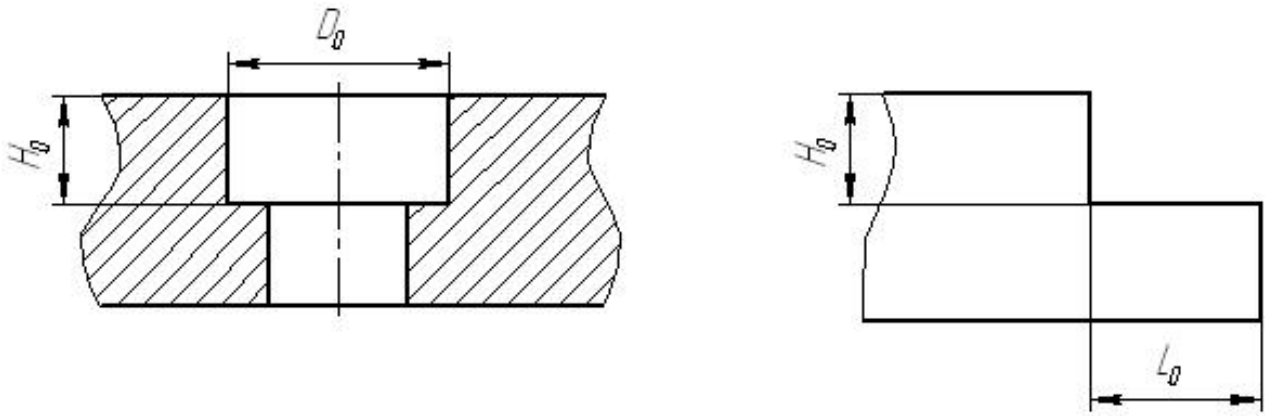
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Обработка полостей методом прямого копирования.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с основными понятиями, связанными с электроэрозионной обработкой и методикой расчета размеров электродов-инструментов для обработки методом прямого копирования.

Порядок выполнения работы:

1. Выполнить в соответствии с индивидуальным заданием эскиз обрабатываемой полости, с указанием размеров и технических требований.
2. Назначить режимы электроэрозионной обработки детали, полученной в качестве задания.
3. Выполнить расчет исполнительных размеров электрода- инструмента с учетом износа по описанной выше методике или рекомендациям литературы [ ].
4. По результатам расчета оформить эскиз конструкции электрода инструмента с указанием размеров и технических требований (материал, шероховатость и т.п.).




а б

Рис. 8 Размеры обрабатываемых поверхностей по методу прямого копирования

| № варианта | Материал детали | $D_0(L_0)$, мм | $H_0$, мм | Шероховатость обр. пов-ти | Рисунок |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Сталь 45 | $30^{+0,3}$ | $50^{+0,25}$ | Rz40 | а |
| 2 | ВК-6 | $12^{+0,1}_{+0,05}$ | $30_{-0,04}$ | Ra2,5 | а |
| 3 | Сталь 40Х | 25±0,3 | 20±0,5 | Rz80 | б |
| 4 | ВК-8 | $16^{+0,03}$ | $40^{+0,12}$ | Rz12,5 | б |
| 5 | 12ХН3А | $24_{-0,12}$ | 30±0,2 | Ra6,3 | а |
| 6 | Т15К6 | $20^{+0,01}_{-0,03}$ | $14_{-0,06}$ | Ra0,8 | а |
| 7 | ШХ15 | $19^{-0,04}_{-0,12}$ | 25±0,03 | Rz20 | б |
| 8 | ВК6ОМ | $12^{+0,09}_{+0,03}$ | $6_{-0,1}$ | Ra1,25 | б |
| 9 | Р6М5 | $22^{+0,05}$ | 30±0,1 | Ra3,2 | а |
| 10 | Т30К4 | $18_{-0,12}$ | $22^{+0,3}$ | Rz20 | а |

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2
Обработка полостей на трех режимах

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с методикой расчета припусков и размеров электродов-инструментов для обработки полостей на черновых, средних и чистовых режимах.

Порядок выполнения работы:

1. Выполнить в соответствии с индивидуальным заданием эскиз обрабатываемой полости, с указанием размеров и технических требований.
2. Назначить режимы электроэрозионной обработки детали, полученной в качестве задания.
3. Определить припуски на обработку на черновом, среднем и чистовом режиме.
4. Выполнить расчет исполнительных размеров электродов-инструментов для всех трех режимов с учетом износа по описанной выше методике или рекомендациям литературы [ ].
5. По результатам расчета оформить эскиз конструкции электродов инструментов с указанием размеров и технических требований (материал, шероховатость и т.п.).

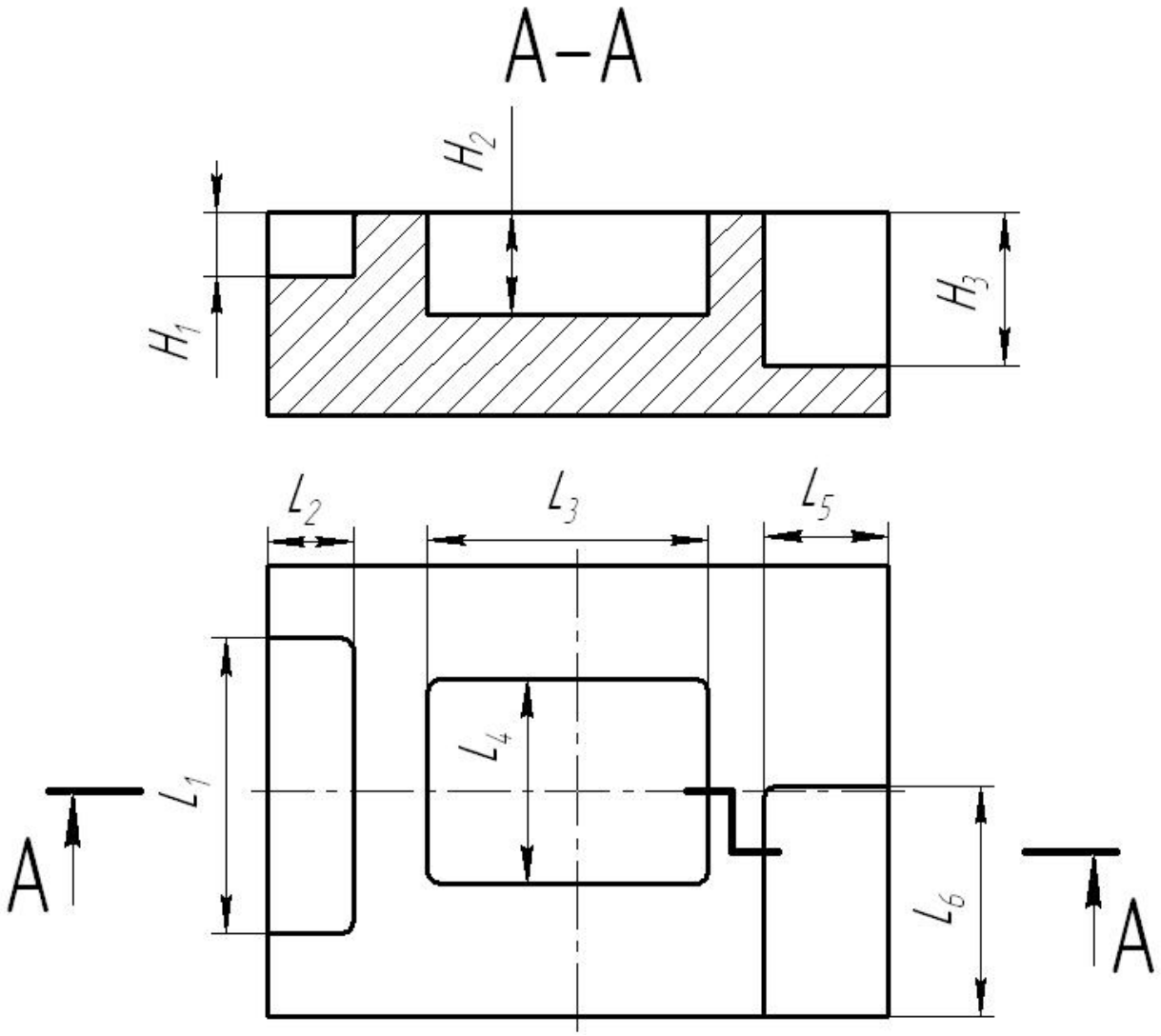



Рис. 9 Размеры полости для обработки на трех режимах

| № вар. | Размеры полости, мм | | | | | | | | | Шеро-хо-ватость | Материал |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $L_1$ | $L_2$ | $H_1$ | $L_3$ | $L_4$ | $H_2$ | $L_5$ | $L_6$ | $H_3$ | | |
| 1 | $14^{+0,03}$ | $18_{-0,12}$ | $22^{+0,3}$ | - | - | - | - | - | - | Ra0,8 | Т15К6 |
| 2 | - | - | - | $40_{-0,06}$ | $22^{+0,05}$ | 30±0,1 | - | - | - | Ra2,5 | ВК-6 |
| 3 | - | - | - | - | - | - | $12^{+0,09}_{+0,03}$ | $23^{+0,1}_{+0,6}$ | $6_{-0,1}$ | Rz20 | Сталь 40Х |
| 4 | $36^{+0,12}$ | $19^{-0,04}_{-0,12}$ | 25±0,03 | - | - | - | - | - | - | Rz12,5 | 12ХН3А |
| 5 | - | - | - | $39^{-0,1}_{-0,12}$ | $20^{+0,01}_{-0,03}$ | $14_{-0,06}$ | - | - | - | Ra0,63 | ВК-8 |
| 6 | - | - | - | - | - | - | $14^{+0,05}$ | $24_{-0,12}$ | 30±0,1 | Ra3,2 | Сталь 45 |
| 7 | $17^{-0,06}_{-0,2}$ | $16^{+0,03}$ | $40^{+0,12}$ | - | - | - | - | - | - | Ra6,3 | ШХ15 |
| 8 | - | - | - | $36^{+0,12}$ | 25±0,3 | 20±0,5 | - | - | - | Ra1,25 | ВК6ОМ |
| 9 | - | - | - | - | - | - | $18_{-0,12}$ | $32^{+0,1}_{+0,05}$ | $30_{-0,04}$ | Ra0,8 | Т30К4 |
| 10 | 20±0,05 | $30^{+0,3}$ | $50^{+0,25}$ | - | - | - | - | - | - | Ra3,2 | Р6М5 |

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3
## Обработка фасонных полостей

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: ознакомиться с основными понятиями, связанными с электроэрозионной обработкой и методикой расчета размеров электродов-инструментов для обработки фасонных полостей.

Порядок выполнения работы:

1. Выполнить в соответствии с индивидуальным заданием эскиз обрабатываемой полости, с указанием размеров и технических требований.
2. Назначить режимы электроэрозионной обработки детали, полученной в качестве задания.
3. Выполнить расчет исполнительных размеров электрода- инструмента с учетом износа по описанной выше методике или рекомендациям литературы [ ].
4. По результатам расчета оформить эскиз конструкции электрода инструмента с указанием размеров и технических требований (материал, шероховатость и т.п.).

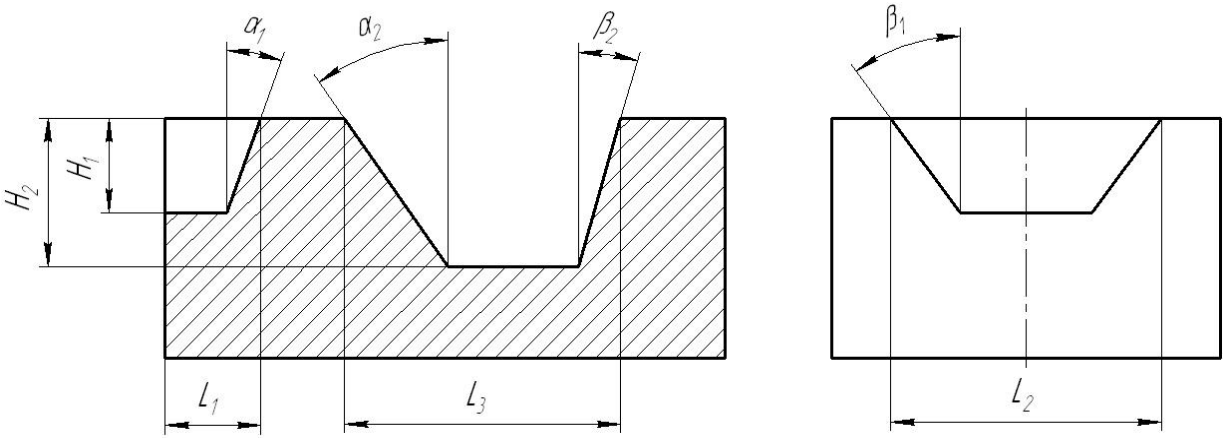



Рис. 10 Размеры фасонных полостей

| № вар. | Размеры полости | | | | | | | | | Шерохо-ватость | Материал |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $L_1$ | $L_2$ | $H_1$ | $\alpha_1$ | $\beta_1$ | $L_3$ | $H_2$ | $\alpha_2$ | $\beta_2$ | | |
| 1 | $14^{+0,03}$ | $18_{-0,12}$ | $22^{+0,3}$ | 5° | 10° | - | - | - | - | Ra0,8 | Т15К6 |
| 2 | - | - | - | - | - | $30^{+0,3}$ | $50^{+0,25}$ | 9° | 7° | Ra2,5 | ВК-6 |
| 3 | - | - | - | - | - | 25±0,3 | 20±0,5 | 6° | 4° | Rz20 | Сталь 40Х |
| 4 | $36^{+0,12}$ | $19^{-0,04}_{-0,12}$ | 25±0,03 | 7° | 12° | - | - | - | - | Rz12,5 | 12ХН3А |
| 5 | - | - | - | - | - | $24_{-0,12}$ | 30±0,2 | 12° | 9° | Ra0,63 | ВК-8 |
| 6 | - | - | - | - | - | | | | | Ra3,2 | Сталь 45 |
| 7 | $17^{-0,06}_{-0,2}$ | $16^{+0,03}$ | $40^{+0,12}$ | 9° | 14° | - | - | - | - | Ra6,3 | ШХ15 |
| 8 | - | - | - | - | - | $20^{+0,01}_{-0,03}$ | $14_{-0,06}$ | 14° | 6° | Ra1,25 | ВК6ОМ |
| 9 | - | - | - | - | - | $19^{-0,04}_{-0,12}$ | 25±0,03 | 10° | 7° | Ra0,8 | Т30К4 |
| 10 | 20±0,05 | $30^{+0,3}$ | $50^{+0,25}$ | 10° | 12° | - | - | - | - | Ra3,2 | Р6М5 |

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Табл. 1

Режимы электроэрозионной обработки при питании от широкодиапазонных генераторов.

| Rz, мкм | Форма импульсов | Характеристика режимов | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Частота, кГц | Скважность | Рабочий ток, А |
| Оработка стали (полярность обратная) | | | | |
| 40 – 80 | Пр | 8 | 1,25 | 35 - 40 |
| 20 – 40 | Гр | 8 | 1,5 | 40 |
| | Пр | 22 – 44 | 1,5 | 30 – 35 |
| | Гр | 44 – 66 | 2 – 3 | 20 – 30 |
| 10 – 20 | Пр | 66 – 100 | 1,25 – 1,5 | 25 – 30 |
| | Гр | 100 | 2 – 3 | 8 – 10 |
| Ra = 1,25 – 2,5 | Пр | 200 | 1,7 – 2 | 12 – 14 |
| | Гр | 200 | 2,5 – 3 | 4 – 5 |
| Ra = 0,63 – 1,25 | Пр | 440 | 3 – 4 | до 4 |
| Обработка твердого сплава (полярность прямая) | | | | |
| 20 – 40 | Пр | 8 | 1,25 | до 50 |
| 10 – 20 | Пр | 22 – 44 | 1,25 | до 45 |
| Ra = 1,25 – 2,5 | Пр | 100 | 1,5 | до 30 |
| Ra = 0,63 – 1,25 | Пр | 200 | 1,7 | до 12 |
| Ra = 0,32 – 1,63 | Пр | 400 | 2,0 | до 4 |

Табл. 2

Значения межэлектродного зазора при электроэрозионной обработке прямоугольными и гребенчатыми импульсами

| Режим обработки | | Межэлектродные зазоры, мм | |
|---|---|---|---|
| Рабочий ток, А | Частота, кГц | торцовый | боковой |
| 50 | 8 | 0,08 | 0,12 |
| 40 | | 0,06 | 0,15 |
| 30 | | 0,05 | 0,12 |
| 20 | | 0,04 | 0,09 |
| 12 | | 0,03 | 0,07 |
| 5 | | 0,02 | 0,05 |
| 50 | 22 | 0,06 | 0,12 |
| 40 | | 0,05 | 0,1 |
| 30 | | 0,04 | 0,08 |
| 20 | | | 0,07 |
| 12 | | 0,03 | 0,06 |
| 5 | | 0,02 | 0,04 |
| 25 | 44 | 0,04 | 0,07 |
| 15 | | 0,03 | 0,06 |
| 7 | | 0,02 | 0,05 |
| 3 | | | 0,04 |
| 20 | 66 | 0,04 | 0,07 |
| 15 | | 0,03 | 0,06 |
| 7 | | 0,02 | 0,05 |
| 3 | | | |

| Режим обработки | | Межэлектродные зазоры, мм | |
|---|---|---|---|
| Рабочий ток, А | Частота, кГц | торцовый | боковой |
| 25 | 88 | 0,04 | 0,07 |
| 15 | | 0,03 | 0,06 |
| 10 | | | 0,05 |
| 5 | | 0,02 | |
| 20 | 100 | 0,04 | 0,06 |
| 15 | | 0,02 | 0,05 |
| 10 | | | 0,04 |
| 3 | | | 0,03 |
| 1 | | 0,01 | 0,02 |

Примечания: Значения зазоров указаны для обработки импульсами прямоугольной формы, при расчетах электродов инструментов для обработки гребенчатыми импульсами значения зазоров увеличить в 2 раза. Для частот до 400 кГц боковой зазор связан с электрическими параметрами соотношением: $l_б = 0{,}0745\left(\frac{I_P}{f}\right)^{0,31}$, торцевой зазор $l_T \approx 0{,}05 l_б$.

Табл.3

Глубина слоя материала со структурными изменениями после электроэрозионной обработки

| Частота, кГц | Рабочий ток, А | Глубина зоны структурных изменений, мкм |
|---|---|---|
| Прямоугольные импульсы | | |
| 8 | 5 | 28-33 |
| | 44 | 92 |
| 22 | 4 – 5 | 10 – 14 |
| | 44 | 69 |
| 44 | 4 | не выявлены |
| 66 | 5 | |
| 88 | 8 | |
| | 30 | 49 |
| 200 | 4 | не выявлены |
| | 12 | 29 |
| | 22 | 49 |
| 400 | 2 | не выявлены |
| | 7 - 8 | 14 – 19,8 |
| Гребенчатые импульсы | | |
| 8 | 15 | 83 |
| | 32 | 140 |
| 22 | 11 | 10 |
| | 42 | 98 |
| 44 | 30 | 83 |
| 66 | 6 | не выявлены |
| 88 | 5 | |
| | 15 | 25 – 30 |
| 200 | 4 | не выявлены |
| | 14 | 19,8 |

Табл. 4

Относительный объемный износ электродов-инструментов при ЭЭО стали, %.

| Частота, кГц | Импульсы | | | |
|---|---|---|---|---|
| | прямоугольные | | гребенчатые | |
| | Электрод-иструмент | | | |
| | медный | графитированный | медный | графитированный |
| 8 | 15 – 40 | 0,6 – 1,0 | 0,3 – 0,5 | - |
| 22 | 25 – 45 | 3,0 – 5,0 | 0,3 – 0,8 | 0,08 – 0,15 |
| 44 | 30 – 50 | 5 – 18 | 0,5 – 1,0 | 0,1 – 0,15 |
| 66 | 35 – 55 | 15 – 25 | 0,8 – 1,2 | 0,12 – 0,15 |
| 88 | 40 – 70 | 30 – 40 | 1,0 – 1,8 | 0,3 – 0,5 |
| 100 | - | - | 1,0 – 2,0 | 0,8 – 1,2 |
| 200 | 45 – 90 | 40 – 70 | - | |
| 440 | 90 - 140 | - | - | |

Табл. 5

Объемный износ (%) электродов-инструментов при обработке твердых сплавов

| Частота, кГц | Материал электрода-инструмента | |
|---|---|---|
| | латунь | медь |
| 8 | 350 – 440 | 180 – 200 (70 – 100) |
| 22 | 380 – 400 | 110 – 140 (100 – 140) |
| 44 | 300 – 350 | 120 – 150 |
| 66 | 250 – 300 | 100 – 120 |
| 88 | 200 – 240 | 100 – 120 |
| 200 | 180 – 200 | 80 – 100 |
| 400 | 100 – 120 | 75 - 90 |

# ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРБОТКИ

Методические указания
к практическим занятиям
по курсу «Оборудование машиностроительных производств»

Составил: СТЕКОЛЬНИКОВ Максим Владимирович
ТИХОНОВ Денис Александрович