

Студент V курса  
моторостроительного  
факультета ХИИ  
Эмайкин В.

## Электро-искровой способ обработки металлов.

(Доклад на научно-технической  
студенческой конференции)

Электро-искровой или, как его еще называют, электро-эрозионный способ обработки металлов открыт в 1942 году советским ученым Борисом Романовичем Лазаренко. Таким образом, приоритет в деле открытия и дальнейшего развития этого, имеющего очень большие перспективы, нового способа обработки металлов принадлежит полностью советской науке.

В основе этого способа обработки металлов лежит явление электрической эрозии, которое заключается в разрушении и переносе металла под воздействием импульсов электрической энергии. Давно уже было известно явление разрушения-эрозии поверхности электрических выключателей, рубильников и других выключающих устройств. Работая над устранением этого вредного для выключающих устройств явления В.Р. Лазаренко пришел к мысли использовать явление электрической эрозии для обработки металлов.

Этот способ обработки металлов основан на том, что на поверхность металла подлежащей обработке направляются импульсы электрической энергии, которое вырывает частицы (группы молекул) металла из обрабатываемого изделия.

Для обработки металлов электроискровым способом необходимы специальные установки, которые могут накапливать электрическую энергию и выделять ее в виде мгновенных импульсов. Обрабатываемое изделие присоединяется к положительному полюсу (+) этой установки, а инструмент к отрицательному полюсу. При сближении изделия и инструмента (положительного и отрицательного электрода) между ними возникает искровой разряд, который вырывает частицы металла из изделия и переносит на инструмент. Т. К. этот процесс во всех случаях происходит в жидкой среде, то частицы металла не переносятся на инструмент, а остаются в этой жидкой среде.

При электроискровом способе обработки металлов электрическая энергия используется непосредственно для обработки металлов. В то время, как при механической обработке металлов электрическая энергия используется для приведения в действие металлорежущих станков.

Электроискровой способ обработки металлов дает возможность производить обработку металлов любой твердости, чего невозможно достигнуть механической обработкой.

## I Физика электро-искрового способа обработки металлов.

До сих пор еще не имеется разработанной теории, объясняющей все явления, которые происходят при электро-искровой обработке. Надо сказать, что в то время, как в деле практического внедрения этого способа в промышленность, уже имеются значительные успехи, теория разработана еще очень мало.

Существует две формы самостоятельного электрического разряда: дуговая и искровая (о титом разряде речь будет идти дальше.)

Обе эти формы разряда вызывают электрическую эрозию, но различаются между собою, как по внешнему эффекту, так и по физическим процессам протекающим во время разряда.

Дуга представляет собой затяжной по времени электрический разряд, сопровождающийся ярким свечением, высокой температурой и переносом металла с катода на анод. Катод при этом разрушается. Пламя

дуги захватывает значительную часть площади электродов и сильно подогревает электроды, от чего их поверхность сильно окисляется, а металл претерпевает структурные изменения.

Искра представляет собой высокочастотный, колебательный разряд строго локального характера (устраемлен в одну точку) мгновенного действия (порядка  $10^{-6}$  -  $10^{-3}$  сек), а также сопровождается переносом металла с анода на катод. При этом разрушается анод. При разряде сила тока достигает нескольких тысяч ампер. Благодаря этому частички металла анода в точке удара искры расплавляются под действием теплы искры и в результате действия электродинамических сил отрываются от основного металла и выбрасываются в межэлектродное пространство.

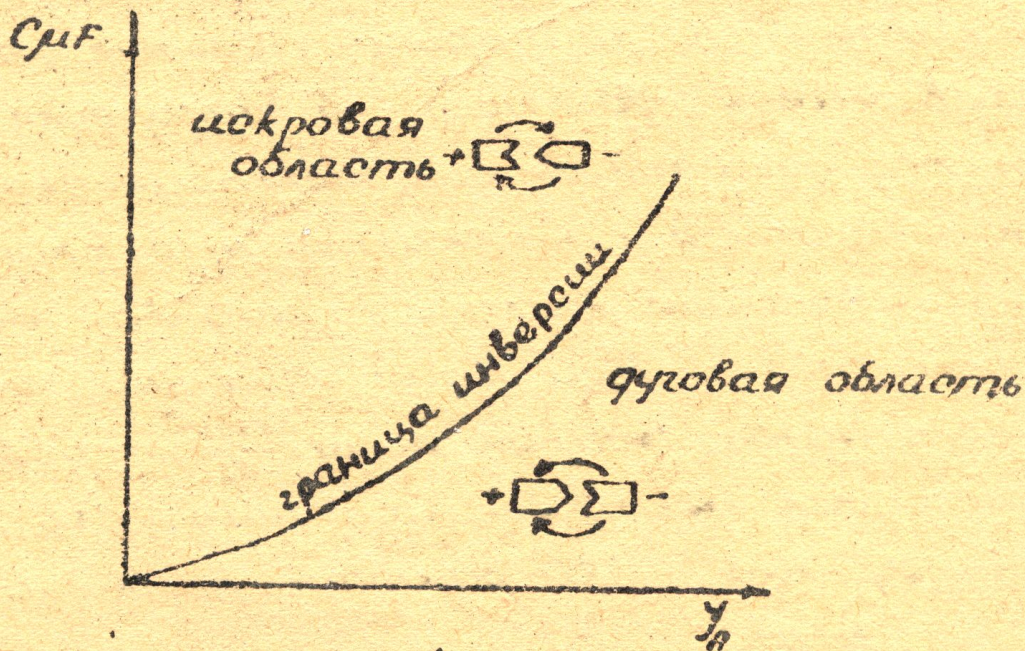
Электроды при искровой форме разряда нагреваются слабо (по всей массе) и материал их не претерпевает таких структурных изменений, как при дуговой форме разряда. Благодаря локальному действию искры, температура, которая в точке действия искры, доходит до  $10000^{\circ}\text{C}$  действует всего на глубину до 20-30 микрон. Это объясняется также кратковременным действием искры.

Дуговая и искровая формы разряда при определенных условиях переходят (инвертируются) одна в другую. Граница перехода носит название границы инверсии

Основными факторами определяющими границу инверсии являются:

1. Электрические параметры схемы;
2. Состав и состояние среды, в которой работают контакты;
3. Состав материалов контактов (электродов).

Если менять только электрические параметры схемы то схема инверсии электрической эрозии изобразится в следующем виде:



При одном и том же количестве электричества переносимое количество металла при искре больше, чем при дуге.

Так как эти две области обладают разными знаками эрозии, то граница инвер-

они обладает практически минимум эрозии. Из приведенных характеристик дуговой и искровой областей ясно, что обработку металла необходимо вести в искровой области. Наиболее полно исследовано явление искрового разряда в газах и в вакууме.

Электропроводность газов зависит от степени ионизации газа.

Согласно выводам Дж. Томсона и Резерфорда диссоциация молекул газа на ионы состоит в отщеплении электрона от нейтральной молекулы.

По теории Мауценда, когда на электродах получается разность потенциалов положительные и отрицательные ионы двигавшиеся до этого в беспорядке начнут под действием сил электрического поля перемещаться (положительные к катоду, отрицательные к аноду), создавая электрический ток. При этом движении ионы приобретают живую силу  $\frac{mv^2}{2}$ , равную работе сил электрического поля  $eU$  ( $e$  - заряд иона ;  $U$  - разность потенциалов)

$$\frac{mv^2}{2} = eU \dots \dots \dots (1)$$

$$v = \sqrt{2 \frac{e}{m} U} \dots \dots \dots (2)$$

где  $v$  - скорость движения ионов.

$\frac{e}{m} = 1,758 \cdot 10^8$  единицы СГСМ есть для всех электронов величина постоянная.

Выразив  $U$  вольтах, получим:

$$V = 5,93 \cdot 10^8 \sqrt{U} \text{ см/сек} \dots \dots (3)$$

Двигаясь с такой огромной скоростью электрон, встречая на своем пути нейтральный атом газа и ударяясь о него, расщепляет (ионизирует) атом. Затем под действием сил электрического поля электрон вновь развивает скорость до нового столкновения и т.д.

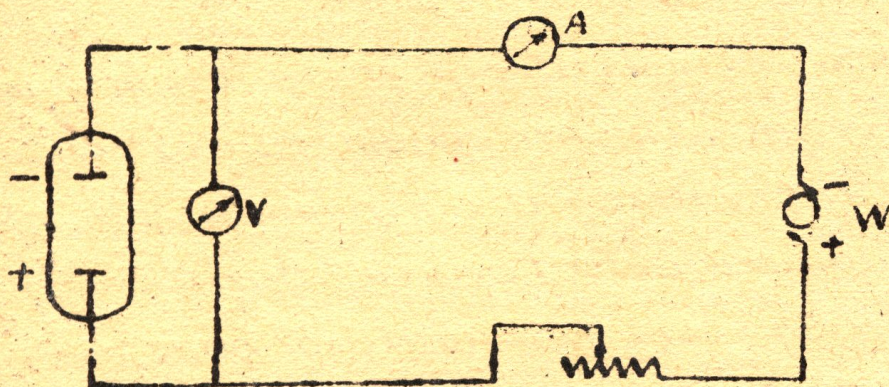
Наименьшая разность потенциалов, при которой возможно расщепление атомов с образованием положительных и отрицательных ионов называется потенциалом ионизации.

Повышая напряжение на электродах мы наблюдаем наступление первой формы самостоятельного электрического разряда в газе, которая сопровождается свечением газа и тихим своеобразным шумом „тихий разряд“.

Рост ударной ионизации газа вызывает появление новой формы электрического разряда — „искрового разряда“.

Появление искрового разряда указывает, что прогрессивное увеличение проводимости среды закончилось нарушением ее электрической прочности. Вследствие этого скачкообразно падает напряжение на электродах и происходит за короткий

промежуток времени резки скачек тока в цепи (фиг. 2).



фиг. 2

Дальнейшее целиком зависит от мощности источника тока ( $W$ ), питающего данную сеть. Если его мощность мала и недостаточна для поддержания этого бурного процесса, то напряжение на электродах упадет. Вместе с этим произойдет резкое увеличение сопротивления среды и падение силы тока.

Разряд прекратится. Однако, поскольку источник тока продолжает действовать, то напряжение на электродах вновь будет подниматься, вследствие чего начнут повторяться описанные выше процессы с несколько повышенной начальной скоростью, т.к. полная рекомбинация ионов не успела произойти. Разбираемая схема (фиг. 2) будет совершать ритмично замкнутый цикл разрядов, т.е. производить импульсную передачу электроэнергии.

Этот цикл разрядов сопровождается



эрозией электродов. В своей книге „Физика искрового способа обработки металлов“

В. Р. Позаренко делает целый ряд обобщений, которые заключаются в следующем:

1. любая самостоятельная форма электрического разряда в газах всегда сопровождается эрозией действующих электродов.
2. при коммутации электрических цепей, прежде чем наступит непосредственное соприкосновение электрических поверхностей электродов, всегда имеет место пробой межэлектродного расстояния.
3. каждой форме самостоятельного электрического разряда соответствует присущая ей полярность электрической эрозии.
4. искровой разряд является типичным электронным процессом.
5. электрическая эрозия — неотъемлемое свойство любых токопроводящих материалов.
6. величина и знак электрической эрозии при прочих равных условиях определяются:
  - а) химическим составом материала электродов;
  - б) химическим составом и состоянием среды, окружающей электроды;
  - в) величиной и соотношением параметров электрической схемы, которую коммутируют электроды;
7. весовое количество материала, выброшен-

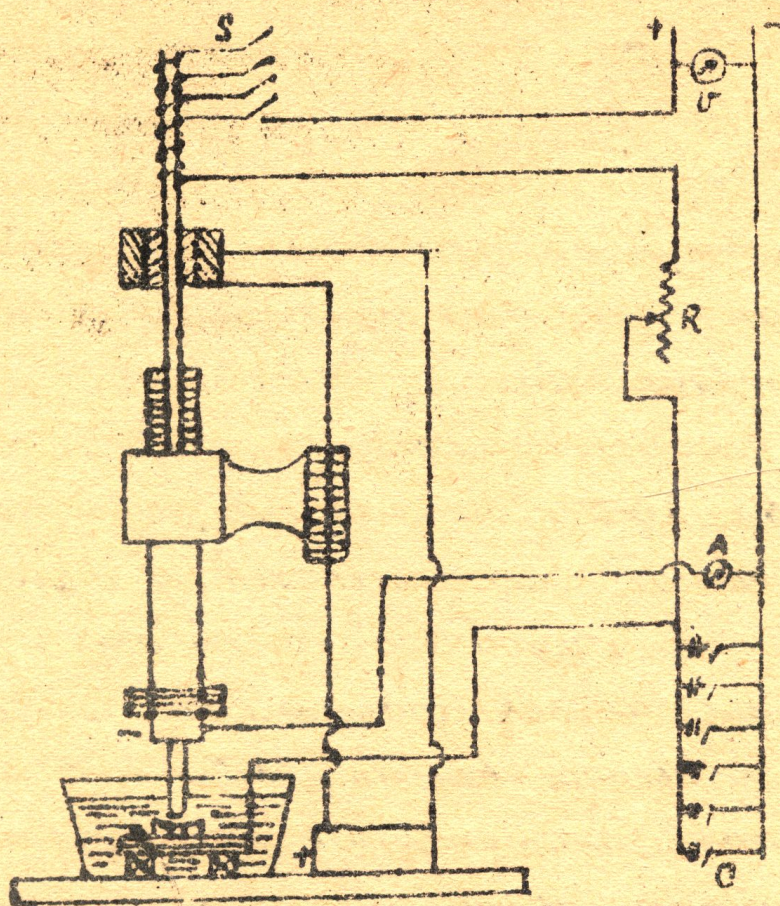
ваемого из электродов в результате действия искрового импульса, при прочих равных условиях, строго пропорционально количеству электричества, протекающего за данный импульс, и зависит от крутизны фронта импульса.

8. При прочих равных условиях одно и то же количество электричества, протекающее за данный импульс, выбрасывает из электродов различные весовые количества материалов в зависимости от химического состава электродов.

9. Основной причиной, направленного выбрасывания металла из анода, являются электродинамические силы, особенно эррективное действие которых может быть получено с помощью искрового - импульсного разряда.

## II Станки для электро- искровой обработки.

На фиг 3. изображена схема станка для прошивки отверстий электро-искровым способом. Для этой цели используется обычный сверлильный станок. На столе станка устанавливается ванна, которая изолируется от станка. В ванне помещается обрабатываемое изделие, которое находится в жидкой среде (керосин, трансформаторное масло).



фиг. 3

Электрод-инструмент, который изготовляется обычно из латуни или из медно графитовой композиции (МГ), изолируется от цилиндра станка.

Подача цилиндра в процессе шлифки осуществляется автоматически благодаря тому, что цилиндр является сердечником соленоида  $S$ . В процессе работы цилиндр станка совершает только поступательное движение и на изделии за счет вырывания частиц металла формируется профиль электрода-инструмента. Таким образом мы можем получить на изделии отверстие любого профиля.

Электрическая часть установки включает мотор-генератор, который является источником электроэнергии, регулируемое сопротивление (реостат)  $R$  и конденсаторы  $C$ , которые запасают электроэнергию и подают ее на электроды в виде коротких электрических импульсов.

Электрическая схема установки включает два контура. Один "рабочий контур" соединяет источник тока с электродами, другой контур соединяет емкость (конденсаторы) с электродами и называется "колебательным контуром".

Воздушный промежуток между телом и инструментом является элементом обоих контуров и одновременно их замыкает. В момент разряда через него проходит как постоянный ток от рабочего контура, так и ток, вызванный высокочастотным (колебательным) разрядом - колебательного контура.

В рабочий контур включен соленоидный привод  $S$ , который осуществляет автоматическую подачу инструмента. Магнитное поле, создаваемое рабочим током, протекающим по виткам соленоида, поддерживает сердечник соленоида (шпиндель станка) с электродом-инструментом в таком же положении, что межэлектродный зазор в процессе работы остается

неизменным. Итеющееся в электрической схеме омическое сопротивление, индуктивность и емкость должны правильно сочетаться друг с другом.

Для других работ применяются электро-цекровые станки другой конструкции.

### III Основные технологические характеристики электро-цекрового способа обработки металлов.

#### 1. Режим обработки.

Этот способ обработки имеет большой и легкоосуществимый диапазон режимов.

Соотношения напряжения, емкости и силы тока электрической цепи определяет режим обработки, которые делятся на 3 группы: жесткие, средние и мягкие.

Стандартные режимы указаны в таблице №1.

Таблица №1

№ режима	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Величина емкости $C$ в $\mu F$	2	4	6	10	30	50	100	200	300	500
ток короткого замыкания $I_{кз}$ в амперах	0,75	0,32	0,4	0,8	2,4	4	8	16	24	40

## 2. Материал электродов.

Материал анода зависит от изделия. Материалом наилучшим для катода (инструмента), как показала практика, являются:

а) меднографитовая композиция; она мало изнашивается, дает наилучшую точность и наибольшую скорость обработки; ее недостаток - хрупкость;

б) латунь, которая уменьшает производительность вдове и обеспечивает меньшую точность обработки, но не создает затруднений при изготовлении и эксплуатации.

## 3. Среда в которой производится обработка.

Процесс происходит гораздо интенсивнее в жидкой среде, чем в газообразной по следующим причинам:

а) лучшие дугогасящие свойства среды, что позволяет работать при более высоких напряжениях;

б) частичка металла анода, раставленная разрядом при соприкосновении с жидкой средой, вызывает взрыв, который помогает электродинамическим силам в выбросе частички металла из зоны обработки, что ускоряет процесс эрозии;

в) по мере углубления инструмента процесс выноса частичек металла затрудняется, а жидкая среда улучшает условия выноса.

г) при наличии жидкой среды между электродами выброшенные из анода частички металла не прилипают к торцу катода, т.к. лишь незначительная часть их достигает катода, имея при этом низкую температуру и малую скорость в результате влияния вязкости жидкости.

#### 4. Скорость обработки.

Время потребное для выбрасывания данного объема (веса) металла не зависит от конфигурации и площади сечения электродов. По электро-эрозионной устойчивости металлы и сплавы располагаются в соответствии с рядом температур плавления (таблица №2).

Таблица №2

№ п/п	материалы	количество выброшенного мат.: вер. в сек.
1	Победит РЭ.8	8.0
2	Сталь Х12М-сырая	14.5
3.	медь	18.0
4	Никель	12.4
5	Алюминий	38.4
6	Цинк	126.0

Скорость прошивки определяется также емкостью, включенной в контур.

### 5. Чистота поверхности.

Поверхность после электро-искровой обработки носит лучный характер, а не гребенчатый как при механической обработке. Чистота зависит от режима. Скорость обработки находится в обратной зависимости от чистоты, поэтому для получения точных отверстий делают два прохода на разных режимах, точность изготовленных отверстий по диаметру доходит до 0,02 мм. В этих пределах наблюдается конусность из-за боковых разрядов

## IV Область применения электро-искрового способа обработки металлов.

Кроме уже указанной прошивки электро-искровой способ применяется для следующих работ:

### 1. Заточка инструмента.

Электродами являются инструмент и латунный диск, ток к которому подводится медно-графитовыми щетками.

### 2. Нанесение покрытий.

Можно наносить победит (режущий инструмент) и другие металлы с целью



## 1. Заточка инструмента.

Электродами являются инструмент и латунный диск, ток к которому подводится медно-графитовыми щетками.

## 2. Резка.

Тонкий рез, который получается при резке электро-искровым способом и возможность резки самых твердых металлов делают электро-искровую резку очень эффективной.

## 3. Удаление сломанного инструмента и сверление по дуге окружности, нарезка резьбы.

Большое применение нашел этот способ обработки в авиационной промышленности, где невозможна обработка жароупорных сталей в закаленном состоянии механическим способом.

Из этого перечня областей применения этого способа видно какое важное значение имеет внедрение электро-искровой обработки в нашу промышленность.

## V Работа, проведенная в институте.

Членами технологического кружка т.т. Эмайкиным, Маевской и Рудановой была смонтирована установка на базе сверлильного станка для сверлильно-прошивочных работ, производимых электро-искровым способом. Испробование установки дало положительные результаты. Несмотря на большие трудности, с которыми мы встретились, главным образом ввиду отсутствия необходимых материалов и аппаратуры, установка вполне пригодна для проведения на ней необходимых работ.

## VI Заключение.

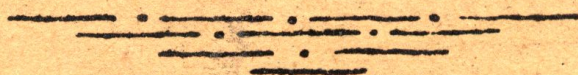
Недавно открытый способ электро-искровой обработки металлов уже завоевал себе право гражданства на наших предприятиях. Везде создаются электро-искровые мастерские, лаборатории и целые цеха. Работают специальные конструкторские бюро по проектированию электро-искровых станков, установок и привода к ним.

Нельзя говорить сейчас о том, что электро-искровая обработка может заменить механическую обработку во всех случаях. Однако, в ряде случаев она заменяет ее и значительно расширяет

технологические возможности наших предприятий.

Два вопроса в области электро-щелевой обработки требуют своего неотложного решения: это устранение большого износа электродов и повышение производительности процесса.

Решение этого вопроса дает очень большие перспективы развития этого вида обработки. Изучение этого нового вида обработки дает целый ряд благодарных тем для исследования и для технологов, и для резальщиков, и для металлургов и для физиков, химиков и целого ряда других специалистов.



Бр. 221/6  
БИБЛИОТЕКА  
ХАРЬКОВСКОГО  
ИНСТИТУТА  
ИМ. ИВАНОВА