

ИНФОРМАЦИЯ



Лазаренко Борис Романович и Наталия Иосафовна в лаборатории легирования ЦНИЛ-Электром АН СССР. 1960 г.

Продолжение, начало см. ЭОМ №1-2010.

Б.И. Ставицкий, к.т.н., с.н.с., лауреат Ленинской премии. Главный конструктор электронского оборудования электронной промышленности, г. Фрязино (Россия)

ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Состояние развития электроискровой обработки металлов за рубежом

Б.Р. Лазаренко в первом выпуске трудов ЦНИЛ-Электром АН СССР в 1957 г. писал², что замечательные свойства, которыми обладает электроискровой способ обработки металлов, не могли не обратить внимания исследователей и промышленников зарубежных

стран. Ведь возможности обрабатывать токопроводящие материалы с любыми физико-химическими свойствами без применения каких-либо режущих инструментов открывали новые, более простые и несравненно менее энергоёмкие, а следовательно, и более экономичные технологические процессы. Со времени первых публикаций Лазаренко об открытии электроискрового способа обработки металлов³ и по настоящее время, количество работ, посвященных изучению процесса и практическому его использованию, стремительно растет.

Приведем несколько характерных высказываний в зарубежной технической печати.

«За последние несколько лет появился новый способ обработки металлов, называемый “электроискровым”, о котором говорят как о чем-то мистическом, вроде летающих блюдечек, и который даже считают лженаучным. Однако само явление электрической эрозии, лежащее в основе электроискрового способа обработки, наблюдалось и было описано в XVIII в. английским учёным Пристли, т.е. оно известно уже более 200 лет. Каким же образом получилось, что инженеры и производственники почти двести лет проходили мимо этого явления. Не попытавшись извлечь из него пользу? Ответ на этот вопрос будет неполным, если не будут приняты во внимание психологические человеческие качества, заставляющие считать нас новым лишь то, что хотя бы один раз мы увидели глазами.

Что же касается явления электроэрозии, приводящей к столкновению электричество с материей, то оно не может быть подведено под какое-либо классическое и общепринятое понятие обработки материалов.

Электроискровая обработка вносит не усовершенствования в существующую технику металлообработки, но представляет совершенно новый способ, основанный на иных принципах и открывающий столь широкие перспективы, что слово «невозможно» должно совершенно исчезнуть из лексикона механиков. Попутно с её развитием эта новая техника — электроискровая обработка — внесет коренные изменения в образ мышления инженеров, проектировщиков и цеховых механиков. Отдельные части машин и моторов будут перепроектированы с целью использования преимуществ, предоставляемых электроискровой обработкой; более того, сама конструкция механических установок (то есть машин и мотора) будет пересмотрена с целью добиться максимального использования твердых сплавов и даже металлических карбидов, которые принято считать не поддающимися механической обработке.

Учитывая увеличение сбыта этих сплавов, промышленники начнут выпускать различные сплавы с всё более ценными механическими свойствами, что в свою очередь должно убедительно подействовать на “отстающих” и заставить их признать достоинства электроискровой обработки. Эта взаимная связь

¹ В первое десятилетие после открытия способа.

² Б.Р. Лазаренко. Состояние развития электроискровой обработки металлов за рубежом, с. 176-225. Электроискровая обработка металлов, Вып. 1. Труды ЦНИЛ-Электром АН СССР, Изд. АН СССР, М. 1957.

³ Авторское свидетельство Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко № 70010 от 3 апреля 1943 г.; Постановления Совнаркома СССР о патентовании способа за границей от 18 июня 1946 г. Приоритет Советского Союза: в Швейцарии № 18177 от 14 декабря 1945 г.; приоритет во Франции № 525414 от 18 июня 1946 г.; в США № 692718 от 13 августа 1946 г.; в Англии № 28582 от 24 сентября 1946 г.; в Швеции № 9992/46 от 14 ноября 1946 г.

интересов и их распространение по всему фронту машиностроительной промышленности несут в себе зародыш цепной реакции, характерной для промышленных революций»⁴.

«Интерес к способам, заменяющим обработку металлов резанием, особенно сильно возрос в связи с развитием реактивной техники, применяющей жаростойкие материалы, которые ранее считалось возможным обрабатывать только алмазными кругами. Было подсчитано, что если бы мы, как нация, в случае молниеносной войны неожиданно столкнулись бы с необходимостью массового производства, то вся мировая добыча промышленных алмазов окажется недостаточной для наших нужд. Это обстоятельство в сочетании с ненадежностью трансокеанской транспортировки алмазов в условиях войны примет характер национальной проблемы»⁵.

«Хотя электроискровой способ обработки металлов ещё очень молод, тем не менее сейчас совершенно очевидно, что этот способ оправдал тот интерес промышленников, который он вызвал в течение последних лет»⁶.

«Прирученный» электрон может так же хорошо обрабатывать металлы, как и передавать звуки и изображения. Электроискровая обработка — это метод, который становится в промышленности обычным и быстро развивается. Сейчас речь идёт об уже начатой промышленной реализации серийного производства установок электроискрового действия»⁷.

Новая природа съема металла заставила исследователей сформулировать требования, которым должна удовлетворять современная электроискровая установка^{8,9,10}.

1. Любая установка электроискрового действия, назначением которой является размерная обработка изделий, состоит из следующих элементов:

а) генератора **униполярных** импульсов электрического тока;

б) станины, на которой устанавливается бак с обрабатываемой деталью и электродом-инструментом;

в) сервомеханизма, автоматически обеспечивающего непрерывность обработки;

г) гидросистемы с циркуляцией и фильтрованием жидкости.

2. Нельзя идти по пути создания электроискровых установок при помощи модернизации существующих типов металлорежущих станков, поскольку в этом случае невозможно использовать электроискровой процесс с максимальной отдачей. Необходимо создавать специальные электроискровые установки. Все попытки осуществить электроискровые процессы при помощи каких-либо вспомогательных устройств обречены на неудачу...»

Представляют интерес некоторые конструкции электроискровых установок, разработанных разными фирмами в первое десятилетие после открытия Лазаренко способа.

Французская фирма «Куалитекс» выпустила электроискровую установку «Узимю».

На рис 37 представлены внешний вид и принципиальная схема выходного каскада этой установки.

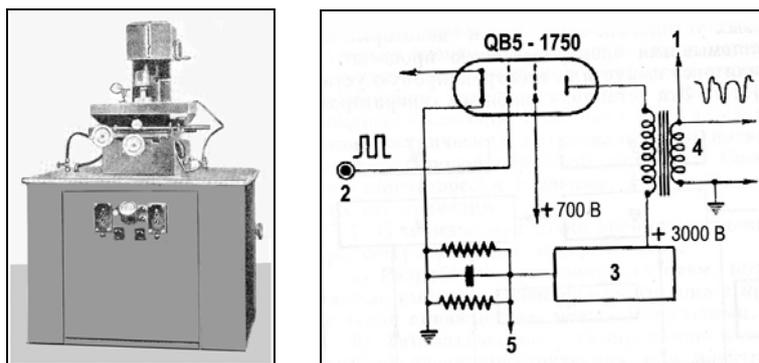


Рис. 37. Внешний вид электроискровой установки «Узимю» французской фирмы Куалитекс и схема выходного каскада её генератора:

1 – к осциллографу; 2 – к управляемому каскаду; 3 – к высоковольтному выпрямителю; 4 – к цепи обработки; 5 – к автоматическому регулированию управляющего каскада

Она снабжена генератором импульсов электрического тока с импульсным трансформатором, снабжённым сердечником из «ферроксуба» с двумя Ш-образными пакетами, собранными из Г-

⁴ «Machine moderne», 1954, Decembre. Серия статей, посвященных электроискровой обработке.

⁵ C. R. Alden. Electrospark Machining. «Mechanical Engineering», 1953, vol. 75, No 9, pp.701-706.

⁶ Porterfield, C. Paul. Electrospark Machining. «Steel Processing», 1954, vol. 40, No 7, pp. 443-446.

⁷ A. Martin. L'usinage par étincelles. «Electronique Industrielle», 1955, Nov.-Dec., pp. 171-176.

⁸ M. Bruma. Aspects scientifiques de L'usinage par étincelles. «Revue Universelle des Mines», 9 Serie, vol. 11, No 11.

⁹ H. Glasny. Die derseitigen elektroerosiven Bearbeitungsmaschinen. «Deutsche Elektrotechnik», 1956, Mai, Heft 5, 10 Jg.

¹⁰ J. Z. Adcock. Electro-Erosion. «Machinery» (London), 1955, vol. 83, No 2127, pp. 355-356.

образных пластин. Цель заряда – управлять электронным прибором. В сборе сердечник весит 15 кг. Вторичная обмотка трансформатора представляет собой трубу, по которой циркулирует охлаждающее её масло.

Генератор состоит из следующих частей: 1) задающего каскада, состоящего из мультивибратора с регулируемой частотой, каскада формирования импульсов, каскада автоматической коррекции этой ширины, выходного каскада для раскачки выходной лампы; 2) выходного каскада, состоящего из лампы типа *QB-5-1670* фирмы «Филипс», выходного трансформатора с сердечником из «феррокскуба» и регулируемым импедансом вторичной обмотки; 3) выпрямительного каскада для питания анодов выходных ламп, состоящего из двух ртутных кенотронов.

На установке можно изготавливать отверстия любого профиля и производить плоское шлифование поверхностей. Указывается, что скорость шлифования при помощи электроискрового способа значительно выше, чем при помощи алмазного круга. Если при шлифовании твердого сплава алмазным кругом за один проход снимается слой толщиной не более 0,02 мм, то электроискровым способом можно снять слой толщиной 0,06 мм, то есть в 4 раза больше.

Американская фирма «Метод X» разработала и выпускает промышленные электроискровые установки различных типов и различной мощности. Эти установки имеют разные схемные решения от обычных релаксационных схем (рис. 38) до датчиков импульсов электрического тока включительно.

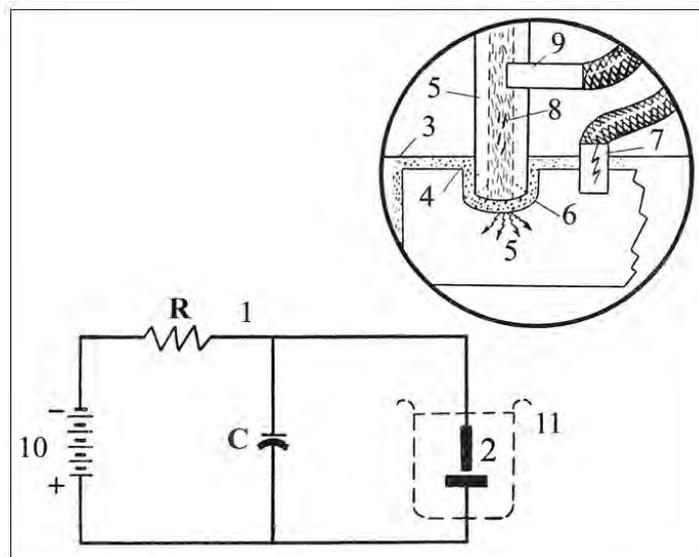


Рис. 38. Основная схема электроискровой обработки по Лазаренко и Тейбнеру:

1 – принципиальная схема; 2 – электрод; 3 – поверхность масла; 4 – выброшенные частицы; 5 – деталь; 6 – искровой промежуток; 7 – положительный провод; 8 – диэлектрическая жидкость; 9 – отрицательный провод; 10 – источник постоянного тока; 11 – ванна с диэлектрической средой

Сообщается¹¹, что фирмой «Метод X» разработана и выпускается промышленная электроискровая установка, в которой максимально учтены электротехнические требования, предъявляемые к таким установкам. Схема предусматривает трехфазный мостовой выпрямитель, подающий через вращающийся искровой прерыватель напряжение 10 кВ на первичную обмотку импульсного трансформатора. Искровой прерыватель коммутирует электрическую цепь мощностью 10 кВт с частотой 2880 Гц. Импульсный трансформатор с масляным принудительным охлаждением имеет коэффициент трансформации 100:1.

Для максимального уменьшения индуктивности вся проводка искроформирующей цепи выполнена из коаксиального кабеля. Для уменьшения величины обратного напряжения, разрушающего электрод-инструмент, применена специальная демпфирующая система из вакуумных приборов и сопротивлений. Оптимальное расстояние между электродами определяется величиной около 0,012 мм, поэтому к конструкции и работе сервомеханизма предъявляются очень высокие требования. Управляющим сигналом является напряжение на рабочем промежутке. Он подается на электромашинный усилитель с коэффициентом усиления 3000-10000, который управляет приводом электрода-инструмента.

¹¹ E. M. Williams, J. Woodford. "Electronic Considerations in the Theory and Design of Electric Spark Machine Tools. "Transactions of the IRE, Industrial Electronics, FGIE". 1955, March.

Установка имеет следующие характеристики: длительность импульса 0,2–50 мксек; частота импульсов 20000 Гц; средняя мощность 15 кВт; ток импульса 3000 А; пиковая импульсная мощность 50000 кВт.

Во Франции была выпущена новая конструкция «Кибернетрон»¹² — автоматически действующая электроискровая установка. Её внешний вид представлен на рис.39.

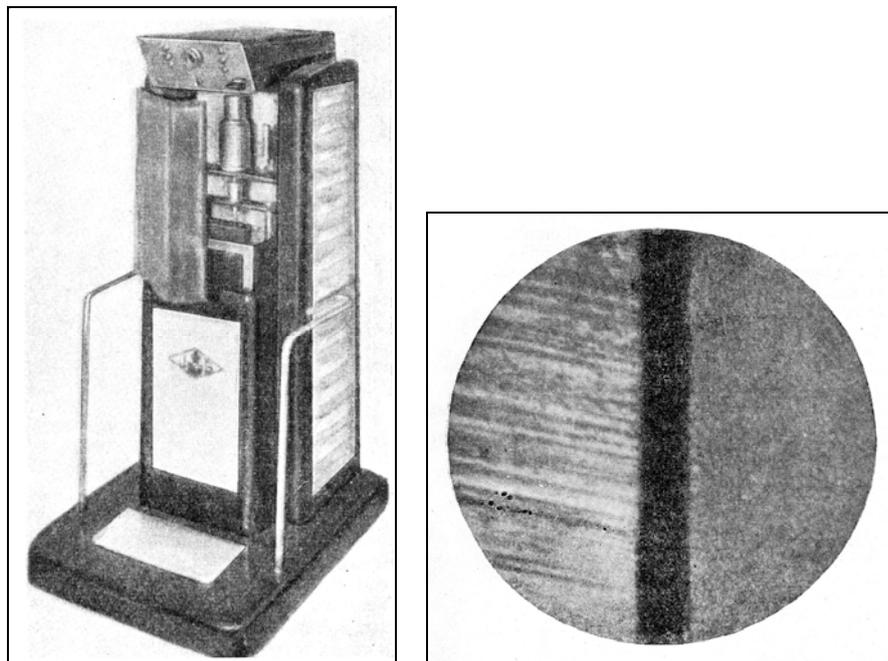


Рис. 39. Внешний вид автоматически действующей электроискровой установки «Кибернетрон» и сравнение качества поверхностей, полученных абразивным шлифованием и на этой установке

Степень отделки на этой установке можно рассмотреть на фотографии справа, где представлены (при очень большом увеличении) два вида отделки поверхности: слева – полученная шлифованием при помощи абразива; справа – полученная электроискровой обработкой, причем качество поверхности при этом выше.

Английская фирма «Викман-Эродоматик» выпустила несколько конструкций электроискровых установок различного назначения. В установке W/SM, 2 кВА электрическая, гидравлическая и механическая части соединены в одно целое (рис. 40). Она специально создана для решения задач,



Рис. 40. Внешний вид электроискровой установки типа W/SM фирмы «Викман-Эродоматик»

которые могут возникнуть как в инструментальных, так и в механических цехах общего назначения. При её разработке особое внимание было обращено на простое выполнение элементов управления и на удобство монтажа. В результате всё управление установкой осуществляется при помощи двух кнопок – «пуск» и «стоп», поворотного переключателя для установки нужной точности отделки и поворотного рычага на три положения для диэлектрической жидкости. Головка, несущая электрод-инструмент, смонтирована на стальной трубчатой колонке и вмещает мотор автоматического управления работой установки и шестерни для перемещения шпинделя. Фрикционная передача исключает всякую опасность повреждения механизма даже в случае длительной подачи электрода. Головку можно перемещать как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении. Основной резервуар с диэлектрической жидкостью находится в нижней части корпуса. Рабочая ванна составляет одно целое с верхней частью корпуса установки, причём стол с желобами расположен внутри ванны.

¹² «Cybernetron». La machine Cybernetique de «cerveau-usinage» par etincelleeectrique. «Machine moderne», 1954, 48, no 539, Avril, pp. 49-50.

На кабельном заводе в Кёпенике (ГДР) был разработан специальный тип электроискровых установок для обработки фильер и волочильных дюз. На рис.41 – внешний вид такой установки. Установка трехшпиндельная, имеет три самостоятельных генератора, собранных по конденсаторной схеме.

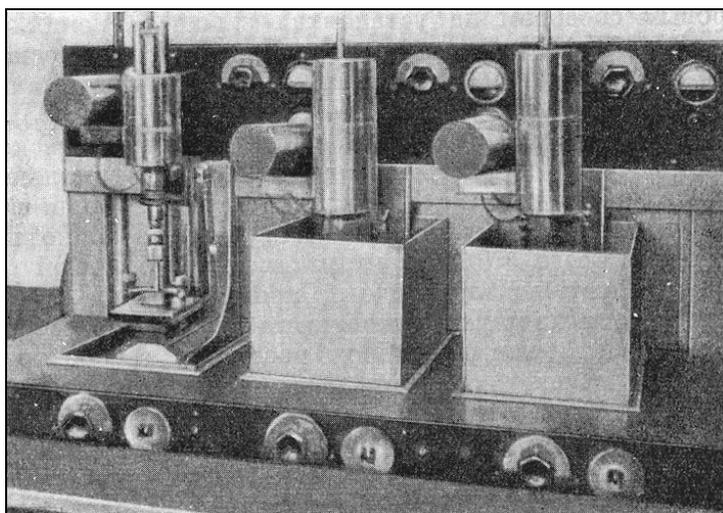


Рис. 41. Внешний вид трехшпиндельной электроискровой установки Кёпеникского кабельного завода (ГДР)

Сообщается, что до последнего времени по экономическим соображениям изготовление фасонных фильер желательного профиля не представлялось возможным. Теперь при помощи электроискрового способа можно получать любые профили в твердом сплаве. Это означает, что предварительное спекание, которое обычно применялось для изготовления наиболее распространенных твердосплавных фильер, уже не является рациональным способом их изготовления.

Электроискровой способ открывает особые возможности для кабельной промышленности, так как благодаря уменьшению диаметра проводов возможно большое снижение себестоимости.

Применяя несложные приспособления, на этой установке можно легко изготавливать резьбу в твердосплавных заготовках и осуществлять т.п. операции.

Швейцарская фирма AGIE разработала и выпускает несколько типов электроискровых установок, имеющих некоторые оригинальные узлы. На рис.42 представлены одна из таких установок «Ажитрон», штамп для корпуса часов и электроды, при помощи которых он изготовлялся.

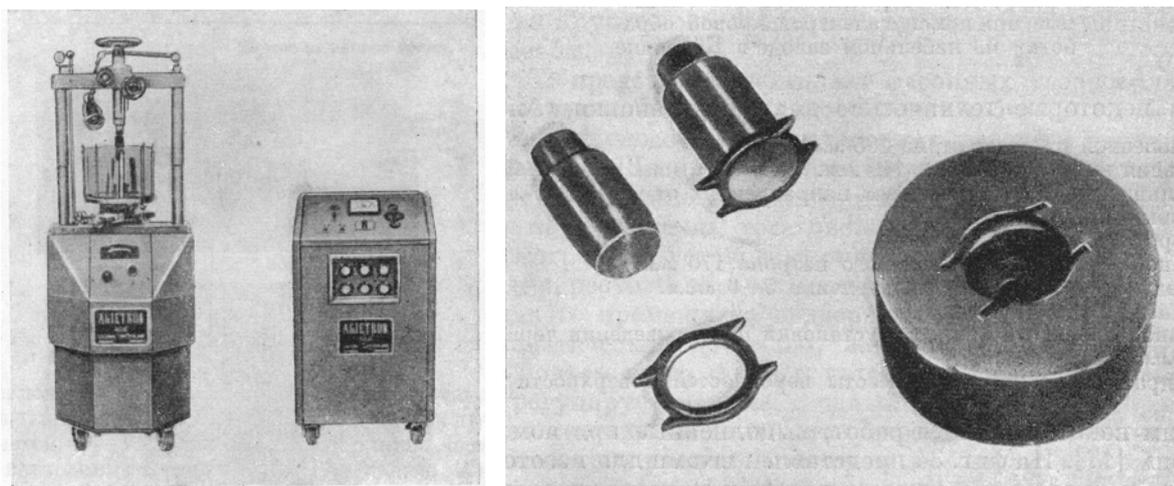


Рис. 42. Внешний вид электроискровой установки «Ажитрон» и изготовленный на этой установке штамп для корпуса часов и электроды, при помощи которых он изготовлялся

Установка состоит из двух электрически связанных устройств – собственно установки и пульта, в последнем помещается генератор импульсов тока. В корпусе машины имеются резервуар с диэлектрической жидкостью и насос, обеспечивающий её циркуляцию из резервуара в съёмную ванну, в которой помещается рабочий стол с установленной на нём обрабатываемой деталью.

В Англии и Северной Ирландии фирма «Бертон Гриффитс энд компании Лимитед» выпустили электроискровую установку «Спаркатрон»¹³. Наиболее интересной особенностью этой конструкции является сервомеханизм, позволяющий поддерживать величину искрового промежутка в пределах $0,013-0,025$ мм. Сервомеханизм связан электронной схемой с цепью искрового разряда и автоматически срабатывает в зависимости от величины тока в цепи разряда. Управляющее напряжение, пропорциональное току разряда, сравнивается с эталонной величиной напряжения, которая выбирается с таким расчётом, что при указанной величине межэлектродного промежутка оба напряжения равны нулю.

На рис. 43 представлена электрическая схема установки «Спаркатрон».

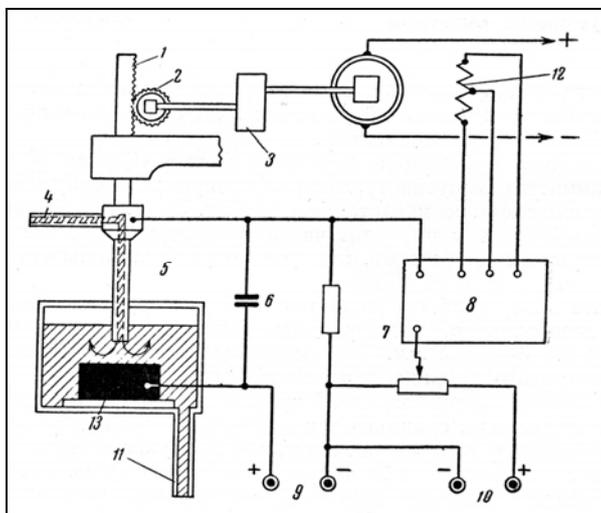


Рис. 43. Принципиальная электрокинематическая схема электроискровой установки «Спаркатрон»

Электрическая часть (трансформаторы, выпрямители, конденсаторы и пр.) вынесена в отдельную установку, электрически связанную с её кинематической частью.

В ЧССР ряд заводов разрабатывает и выпускает электроискровые установки. На рис. 44 приведены внешние виды двух электроискровых установок.

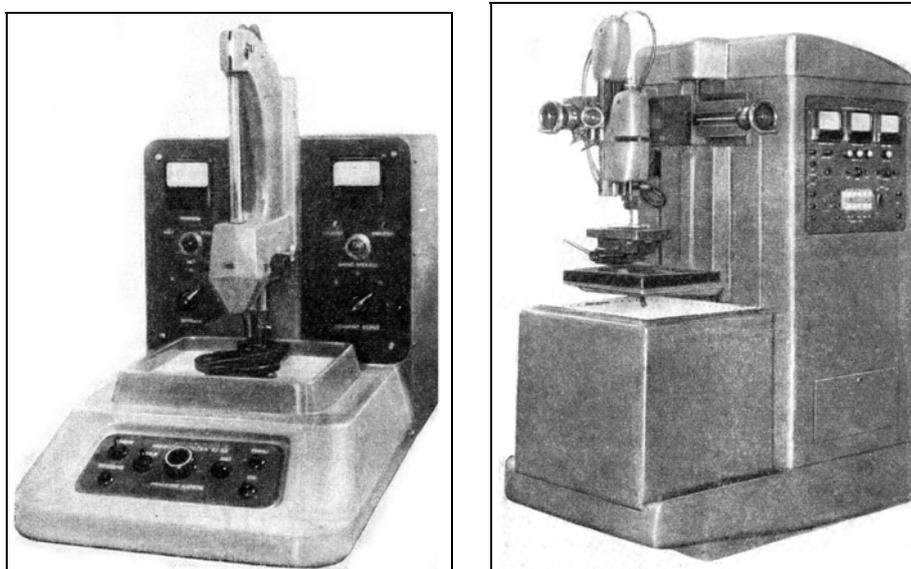


Рис. 44. Внешний вид электроискровой установки для изготовления отверстий малого диаметра (слева) и установка для изготовления крупных деталей (Чехословацкая республика).

Слева – для изготовления отверстий малого диаметра (до 0,5 мм) и справа – более мощная (7 кВА) установка, предназначенная для изготовления отверстий. Как и предыдущая конструкция, она имеет конденсаторную схему питания и сервомеханизм. На ней можно изготавливать детали машин методом трепанации, волокна для сверл, а также пазы в магнитной плите.

¹³ Spark Machining. "Mechanical World", 1954, August.

Кроме того, в Чехословацкой республике выпускается ряд электроискровых приспособлений для вспомогательных работ (например, для удаления из изделий сломанного инструмента и крепежных деталей). Такое приспособление закрепляется в патроне металлорежущего станка и питается от специального электрического пульта.

Японская Фирма «Икегай» разработала и выпускает ряд установок электрического действия. Например, установка *D-5* рассчитана на изготовление отверстий диаметром 0,5–150 мм и глубиной 10–100 мм. Максимальный ход шпинделя 500 мм. Максимальная скорость обработки стали 1,5 г/мин. Более мощная установка *S-12* предназначена для изготовления штампов, в том числе карбидных.

Мы обращаем особое внимание на новое применение искрового электрического разряда, ибо оно означает начало новой важной области электротехники, которую с полным правом можно назвать электрической фотографией.

Английской фирмой «Ронео» была выпущена электронная фотограверная машина, предназначенная для изготовления электроискровым способом трафаретов, используемых для типографского воспроизведения полутоновых оригиналов¹⁴. Блок-схема этой машины и её внешний вид представлены на рис.45.

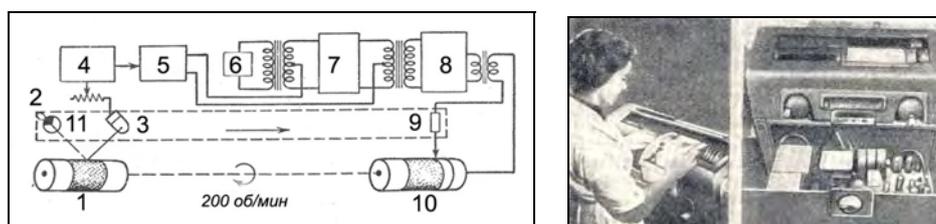


Рис. 45. Блок-схема электроискровой фотограверной установки фирмы «Ронео» и её внешний вид.
1 – оригинал; 2 – источник света; 3 – фотоумножитель; 4 – блок линейной аппроксимации;
5 – инвертор; 6 – гетеродин; 7 – кольцевой модулятор; 8 – двухтактный усилитель (два каскада);
9 – электрод из вольфрамовой проволоки; 10 – трафарет; 11 – линзы

Как следует из представленного рисунка, для получения электроискровым способом типографского трафарета оригинал и специальный трафаретный лист с токопроводящим покрытием закрепляются на двух барабанах, жёстко помещённых на одной оси. Считка оригинала осуществляется при помощи фотоумножителя, смонтированного в подвижной каретке. В этой же каретке установлен и искровой воспроизводящий механизм, создающий трафаретную сетку; управление им производится от фотоумножителя, который считывает изображение через электронную аппаратуру. Чтобы трафарет точно передал на бумаге тональность копируемого изображения, количество отверстий постоянного размера, изготавливаемых электроискровым воспроизводящим механизмом в трафаретном листе в единицу времени, должно быть пропорционально коэффициенту плотности тока копируемого изображения. Так как величина фототока, выдаваемого фотоумножителем копирующей каретки, обратно пропорциональна плотности тока в данной точке копируемого изображения, следовательно, она не может прямо использоваться для управления искровым воспроизводящим механизмом. Специальные электронные устройства аппроксимируют зависимость между величинами тока, его плотности, фототока и инвертируют выходящие сигналы.

Откорректированные и преобразованные колебания фототока подаются на кольцевой модулятор, где они накладываются на несущую частоту (20 кГц), модулируются по амплитуде, усиливаются и подаются на электрод искровоспроизводящего механизма. Таким образом, количество отверстий, изготавливаемых в трафарете, колеблется от одного отверстия в секунду для белого поля и до 12000¹⁵ отверстий в секунду для сплошной чёрной поверхности оригинала, где трафарет должен пропускать максимум краски.

Искровые импульсы вызывают износ острия электрода, сделанного из вольфрама (являющего весьма эрозионноустойчивым материалом) в виде вольфрамовой тонкой проволоки, которая через направляющий капилляр подается по мере износа специальным электрическим устройством.

Вот некоторые данные установки: *скорость вращения барабанов – 200 об/мин; скорость перемещения каретки – 64 мм/мин; время развертки оригинала шириной 20 см – 20 мин. Линейатура раstra – 200 строк/см*

Электроискровой способ воспроизведения полутоновых оригиналов при помощи этой установки имеет следующие преимущества перед ручным или фотохимическим способом:

¹⁴ Photoelectric Printing and Engraving Machines. "Electronics" 1953, vol. 26, No 5, pp. 138-140.

¹⁵ Так как при изготовлении отверстий в трафарете необходимо, чтобы они не сливались в одну линию, т.е. чтобы между отдельными отверстиями оставалась перемычка, несущая частота должна быть (так она и выбрана) примерно в 1,5 раза больше максимальной частоты срабатывания разрядного контура. Разумеется, что размер изготавливаемых отверстий во всех случаях одинаков.

1. Трафарет изготавливается непосредственно с оригинала, без промежуточного фотокопирования.
2. При электроискровом способе время изготовления трафаретов значительно меньше, чем при других известных способах.
3. Качество репродукций столь высоко, что они часто не хуже оригинала.
4. Стоимость изготовления таких трафаретов не зависит от сложности рисунка оригинала, поэтому изготовление трафаретов электроискровым способом часто бывает более дешёвым, чем другими способами.

Электроискровая фотогравировальная машина «Стенофакс» фирмы «Таймс факсимиле Корпорейшн» также предназначена для изготовления трафаретов, используемых при воспроизведении полутоновых оригиналов. Принцип действия этой машины в основном аналогичен принципу действия машины фирмы «Ронео». Однако по своим конструктивным данным эта машина несколько проще: она имеет линейную растраску 55 линий/см, поэтому трафареты, изготовленные машиной «Стенофакс», обеспечивают достаточно хорошее воспроизведение контрастных полутоновых иллюстраций. Внешний вид машины «Стенофакс» – на рис. 46.



Рис. 46. Внешний вид электроискровой фотогравировальной установки «Стенофакс»

Время изготовления одного трафарета не превышает 6 минут. Вспомогательное время (время на установку нового оригинала, нового шаблонного листа и снятие готового трафарета) в сумме не превышает одну минуту. Обращает на себя внимание два сообщения. Во-первых, трафареты изготавливаются из листов специальной виниловой пластмассы, покрытой токопроводящим порошком. Каждый такой трафарет при работе на стандартном оборудовании допускает изготовление 1000 высококачественных оттисков. Во-вторых, когда нужен только один оттиск воспроизводимого оригинала, то, вместо пластмассового листа, используется специальная бумага, и в течение трех минут получается высококачественная копия оригинала.

Быстрое распространение за рубежом электроискровой обработки металлов объясняется тем, что в этой области работает много специалистов самого различного профиля, а также тем, что ряд фирм разрабатывают и серийно выпускают большое количество электроискровых установок. Для научной разработки этого способа создаются специальные институты (например, Японский институт исследования способов обработки металлов электрическими разрядами) и организуются специальные фирмы, разрабатывающие и серийно выпускающие электроискровые установки.

Материал, изложенный в настоящем разделе, является далеко не полным, он лишь частично характеризует состояние развития электроискровой обработки материалов за рубежом в первое десятилетие после открытия способа. Даже из приведенного материала становится очевидным, что электроискровая обработка металлов, как новый электрический процесс, начинает формироваться в самостоятельную очень крупную и новейшую область электротехники.

Закончим этот небольшой раздел мыслью, высказанной инженером фирмы «Викман» Эдкоком в журнале "The Machining" в июле 1955 года в статье J. Z. Adcock. Electro-erosion Machining:

«Среди тех, кто работает над дальнейшим совершенствованием электроискрового способа обработки металлов, широко распространено мнение об огромных возможностях этого процесса. Электроискровой способ не только открывает путь для более гибкого и необычного подхода к конструированию деталей машин и инструмента, чем устраняются серьезные производственные трудности, встречающиеся в настоящее время. Более того, подсчеты показывают, что при помощи этого способа в течение предстоящих 10 лет можно достичь повышения скорости съема металла по сравнению с самыми совершенными другими способами обработки металлов».

⇒ Продолжение следует.