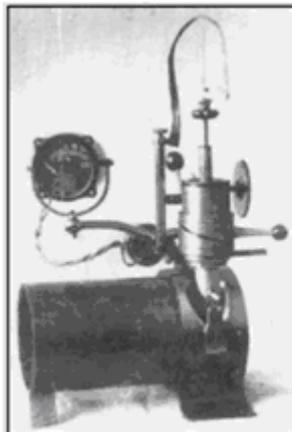


К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ ЛАЗАРЕНКО БОРИСА РОМАНОВИЧА И НАТАЛИИ ИОАСАФОВНЫ – ИЗОБРЕТАТЕЛЕЙ СПОСОБА ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И ДРУГИХ ТОКОПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ



Лазаренко Б.Р. в лаборатории. Кадр из фильма 1950 г. Устройство для извлечения сломанного инструмента в корпусах реактивных снарядов "Катюша" (начало 40-х годов). Авторское свидетельство №700010 Лазаренко Н.И. и Лазаренко Б.Р. на изобретение «Способ обработки металлов и других токопроводящих материалов» от 3 апреля 1943 г.

С Борисом Романовичем Лазаренко судьба свела меня 5 марта 1949 года в Московском авиационном технологическом институте (МАТИ)) на научно-технической конференции студентов, посвященной XI съезду ВЛКСМ, на секции электроискровой обработки, руководителем которой являлся лауреат Государственной премии, доцент, кандидат технических наук Б.Р. ЛАЗАРЕНКО. На секции с докладами выступили студенты-дипломники С.П. Милютин, Ф.Г. Заремба, А.А. Табачникова и Г.Я. Бернштейн.

Мне предстоял последний год учёбы в институте – подготовка и защита дипломной работы, тему последней ещё нужно было выбрать. Поэтому эта конференция оказалась весьма кстати.

Лаборатория электроискровой обработки материалов в МАТИ была организована в конце сороковых годов по инициативе Бориса Романовича. Она была оснащена электроискровыми установками различного назначения: для разрезания металлов, прошивки, круглого шлифования и др., которые создавались преимущественно на базе металлорежущих станков (рис. 1). Директором МАТИ в те годы был Михаил Андреевич Попов¹, который активно поддерживал новые методы обработки материалов и создавал все условия для их развития.



Рис. 1. В лаборатории электроискровой обработки материалов МАТИ. 1948 г.

В это же время началась и подготовка первых специалистов в области электроискровой обработки материалов.

На рис. 2 Б.Р. Лазаренко – среди выпускников МАТИ в лаборатории электроискровой обработки материалов.

¹ После его перевода в МВТУ им. Баумана – А.Н. Журавлев Председатель НТО студентов – д.т.н., профессор Александр Иванович Каширин.



Рис. 2. В лаборатории электроискровой обработки материалов МАТИ. Слева направо: Т.И. Макеева, Д.З. Митяшкин, Б.Р. Лазаренко, А.М. Белов, Б.Н. Лямин. 1948 г.



Рис. 3. Электроискровое круглое шлифование магнитных сплавов

Дмитрий Захарович Митяшкин, стоящий рядом с Борисом Романовичем, в апреле 1963 года был удостоен Ленинской премии за разработку новых методов электрохимического изготовления деталей авиационных моторов².

Татьяна Ивановна Макеева стала активным научным сотрудником ЦНИЛ-Электром, Александр Михайлович Белов – начальником электроискровой лаборатории МАТИ, расположенной в те годы на углу Петровки и бульварного кольца (№ 14–16)³. Рядом с ним – выпускник МАТИ Борис Николаевич Лямин, который позже, после передачи ЦНИЛ-Электром в состав Минстанкопрома, был назначен её директором.

5 марта 1949 года (тогда я учился на 5-м курсе (гр. ТМ-5-25) МАТИ) меня заинтересовала секция электроискровой обработки на конференции студентов и доклады студентов-дипломников. С большим вниманием прослушал выступление Б.Р. Лазаренко, который подвел итоги работы секции. Яркое выступление Бориса Романовича произвело неизгладимое впечатление и возникло неукротимое желание приобщиться к тайнам этого новейшего процесса обработки материалов, которому, по утверждению Бориса Романовича, должно принадлежать ближайшее будущее. Этот революционный процесс ломал все представления об обрабатываемости материалов, его перспективы рисовались поистине безграничными. Я твердо решил предстоящую дипломную работу и жизнь посвятить этому замечательному процессу.

Спустя некоторое время при встрече с Борисом Романовичем проблема выбора темы решилась сама собой. Он предложил провести исследование электроискрового шлифования литых магнитных сплавов типа Алюнико и Магнико, трудно поддающихся механической обработке, и согласился быть моим руководителем. **Эта встреча с Борисом Романовичем Лазаренко по сути дела определила всю мою последующую жизнь.**

Темой моего дипломного проекта было исследование электроискрового шлифования литых магнитов из сплавов типа ЮНДК. Экспериментальные работы предполагалось проводить в электроискровой лаборатории МАТИ на модернизированном круглошлифовальном станке (см. рис. 1, фотография справа). Но случилось непредвиденное событие. Борис Романович, не получив поддержки у нового руководства института (А.Н. Журавлева) в организации подготовки специалистов высшей квалификации по специальности электроискровая обработка материалов в авиастроении (что должно быть указано в дипломе), был вынужден прекратить сотрудничество с МАТИ, и электроискровую лабораторию по сути дела закрыли. Тема моего дипломного проекта оказалась под вопросом, так как формально моим руководителем Борис Романович уже не мог быть. Деканат предлагал выбрать другую тему, от чего я наотрез отказался. Выход из создавшейся ситуации нашел заведующий кафедрой электротехники профессор Сергей Александрович Сеницын, который формальное руководство моим дипломным проектом взял на себя, а Борис Романович любезно предложил мне провести необходимые экспериментальные работы в одной из лабораторий ЦНИЛ-Электром и быть фактическим руководителем диплома.

² Мы с ним тогда встретились в Кремле на церемонии вручения дипломов лауреатов Ленинской премии.

³ В середине сороковых годов группы старших курсов активно участвовали в ремонте этого здания. Наша группа монтировала леса для ремонта фасада.

ЦНИЛ-Электром была создана 16 июня 1948 года Постановлением Правительства СССР, подписанным И.В. Сталиным, а её руководителем был утвержден Б. Р. Лазаренко. На первых этапах она входила в состав НИИ-627 Министерства электротехнической промышленности СССР⁴.

В связи с этим изучение нового электроискрового способа обработки металлов и исследование электроискрового шлифования литых магнитных сплавов проводились мной в одной из лабораторий ЦНИЛ-Электром (рис. 3).

Здесь уместно сделать небольшое отступление и объяснить мотивы моего поступления в авиационный институт. Я верю в свою судьбу. Она, по-видимому, преопределила, что я навсегда свою жизнь должен связать с электроискровой обработкой материалов.

В 1942 году, когда мы жили в Забайкалье (в 6500 км от Москвы, между Шилкой и Нерчинском), а я учился в восьмом классе Холбонской средней школы, был объявлен прием курсантов в Краснодарское военное авиационное училище среди учеников, успешно заканчивающих начальное образование. А тогда, как и у многих мальчишек, у меня была заветная мечта – стать лётчиком!

Однако при подготовке документов возникло неожиданное препятствие – в медицинской справке утверждалось, что я физически здоров, но страдаю близорукостью. Это рушило все мои мечты.

И только в 1943 году, когда я заканчивал девятый класс Салтыковской средней школы, расположенной под Москвой, некоторые московские институты объявили приём учеников, оканчивающих девятый класс, на подготовительные курсы. Среди них оказался и МАТИ. Вместе с Павлом Снегирёвым мы решили воспользоваться этой возможностью и поступили на эти курсы. И, окончив их, осенью 1944 года были зачислены в МАТИ на факультет ТМ – технологии механической обработки металлов в авиастроении. Таким образом я оказался связанным с авиацией.

Между тем 3 апреля 1943 года в Народный Комиссариат авиационной промышленности СССР Н.И. Лазаренко и Б.Р. Лазаренко подали заявку № 8959/321923 на изобретение. Государственный комитет СССР по внедрению передовой техники в народное хозяйство 31 мая 1947 года внес в Государственный реестр изобретений Союза ССР авторское свидетельство № 70010 на изобретение способа обработки металлов, сплавов и других токопроводящих материалов с использованием искровой формы электрического разряда с приоритетом от 3 апреля 1943 года. Его титульный лист показан на фотографии в начале статьи.

Появление новых методов электроискрового изготовления особо точных деталей

Символично, что Постановлением ГК обороны СССР от 4 июля 1943 г. в целях обеспечения новых разработок и серийного производства радиолокаторов современными высококачественными электровакуумными изделиями был создан электровакуумный институт (НИИ-160) с опытным заводом на площадях завода №747 НКЭП (бывший завод «Радиолампа» в посёлке Фрязино).

За 60 лет он развил СВЧ электронику как новейшую область отечественной электроники, предназначенную для решения задач национальной безопасности в части создания радиоэлектронного вооружения различных видов применений.

Среди прочего в НИИ-160 были разработаны: теоретические основы прецизионной электроискровой обработки; новые методы электроискрового изготовления особо точных деталей, удостоенные в 1963 году Ленинской премии; впервые в мире электроискровые установки для изготовления деталей электродом-проволокой диаметром от 10 мкм до 0,2 мм, включая электроискровые обрабатывающие комплексы с УЧПУ на базе микро-ЭВМ. Создано более 100 моделей, выпущено более 3000 единиц оборудования.

Разработка новых методов электроискрового изготовления особо точных деталей связана с именами Мстислава Михайловича Фёдорова – директора НИИ-160 с 1953 по 1961 г. и Б.Р. Лазаренко – руководителя группы аспирантов института (Б. И. Ставицкого, В.Л. Кравченко, Е.В. Холоднова, К.К. Гуларяна, И. И. Сажина).

Благодаря усилиям М. М. Фёдорова и Б. Р. Лазаренко (рис. 4) на середину 1960–1965 годов приходится этап становления и эффективного развития новейших электроискровых технологий, к сожалению, сопровождавшийся постоянным противодействием недоброжелательных сил.

⁴ В 1953 году ЦНИЛ-Электром была выделена в самостоятельную организацию, а в 1955-м – переведена в систему АН СССР.



Рис. 4. Б.Р. Лазаренко и М.М. Федоров

После поступления в аспирантуру фрязинского НИИ-160 у меня состоялась вторая встреча с М. М. Фёдоровым⁵ – уже директором НИИ-160 (вместе с научным руководителем Б.Р. Лазаренко).

Он заинтересовался направленностью диссертационной работы и первыми результатами исследования возможности применения электроискрового способа в производстве электровакуумных приборов СВЧ (клистронов, ЛОВ и магнетронов миллиметрового диапазона длин волн, а также специальных приемно-усилительных ламп).

Поверив в неисчерпаемость возможностей этого способа, Мстислав Михайлович сделал всё зависящее от него: создал лабораторию электроискровой обработки материалов, выделив для её размещения более 500 м² в новом главном корпусе института, обеспечил необходимой для проведения научно-исследовательских работ аппаратурой и направил в лабораторию инженерно-технические кадры.

Это решение было своевременным и совпало с возникновением в начале 1950-х годов проблемы изготовления особо точных деталей приборов СВЧ.

В начале октября 1959 года директор института М.М. Фёдоров представил достижения лаборатории в разработке электроискровых технологий особо точного изготовления деталей электровакуумных приборов первому заместителю министра радиотехнической промышленности СССР Александру Ивановичу Шокину. Тот с большим вниманием выслушал наш доклад, живо поинтересовался новыми возможностями процесса, высоко оценил полученные результаты, рекомендовал распространить их на предприятиях отрасли и пожелал новых успехов в этой области.

С момента создания лаборатории, преобразованной в Отдел электроискровой обработки материалов, Мстислав Михайлович большое внимание уделял развитию этого нового направления, поверив в неисчерпаемость его возможностей в совершенствовании технологических процессов для изготовления электровакуумных приборов. Было важно, что опытно-производственный участок изготавливал важнейшие детали разрабатываемых приборов (сеток клистронов, замедляющих систем ЛОВ сантиметрового и миллиметрового диапазона, разнообразных катодов из тугоплавких и редкоземельных материалов, магнитов и т. п.) для отделов научной части института. Это позволяло не только оперативно совершенствовать технологию их изготовления, но и создавать новое электроискровое оборудование, подобного в стране и даже в мире ещё не было.

Тесная связь с разработчиками важнейших электронных СВЧ приборов, с одной стороны, стимулировала разработки в области электроискровых технологий, а с другой – открывала неисчерпаемые возможности для создания принципиально новых приборов и усовершенствования ранее созданных. В течение десятилетий до начала 1990-х годов отдел активно работал, находясь на передовых позициях в области электроискровой особо точной обработки материалов.

Еще в 1953 году были начаты попытки применения электроискрового способа для изготовления деталей электровакуумных приборов и технологичного инструмента в ряде отделов института, а также в инструментальном цехе опытного завода.

⁵ *Первая встреча с М.М. Фёдоровым (тогда начальником 5-го ГУ МПСС СССР) состоялась в 1950 году. Я обращался к нему с просьбой дать согласие на перевод в создаваемую на заводе им. Серго Орджоникидзе, на ИГУ, электроискровую лабораторию, чтобы продолжить работу в области электроискрового шлифования магнитных сплавов.*

Рождение электроискрового процесса вырезания проволокой $\varnothing 20\text{--}40$ мкм

В НИИ-160 в начале 1954 года впервые в мире электроискровым способом (с помощью медленно перематывающейся вольфрамовой проволоки диаметром 0,02–0,04 мм) стали прорезать узкие пазы шириной 50–60 мкм в торцах электродов-инструментов для одновременной электроискровой «прошивки» 95–200 квадратных отверстий (0,25x0,25 мм) с перемычками между ними (30 мкм) непосредственно в медных диафрагмах клистронов радиорелейных линий связи (рис. 5).

Вольфрамовой проволокой ВА-3 диаметром 30 мкм можно прорезать пазы шириной 45–60 мкм, а проволокой $\varnothing 40$ мкм – шириной 55–70 мкм. Более широкие пазы прорезались за два прохода со смещением проволоки на соответствующую величину.

С этой целью впервые в мире была создана экспериментальная электроискровая установка для изготовления деталей электродом-проволокой диаметром 20–40 мкм (рис. 6).

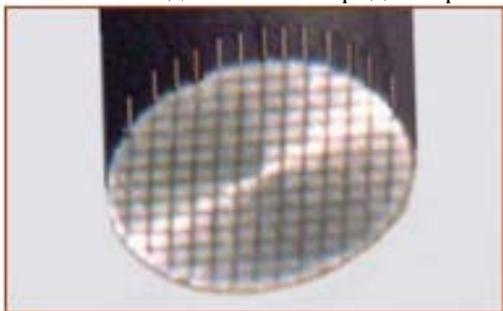


Рис. 5. Электрод $\varnothing 7$ мм, на торце которого прорезано 26 пазов шириной 50 мкм на глубину 2,5 мм

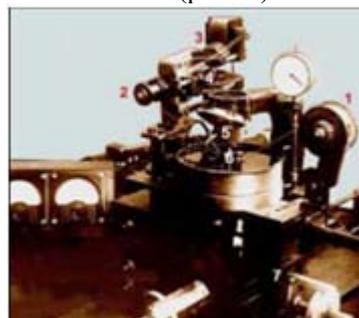


Рис. 6. Первая в мире электроискровая установка с электродом-проволокой $\varnothing 20\text{--}40$ мкм



Рис. 7. Сетка $\varnothing 7$ мм с 152 квадратными отверстиями размером 0,45x0,45 мм и перемычками между ними ≤ 30 мкм, изготовленная в диафрагме клистрона

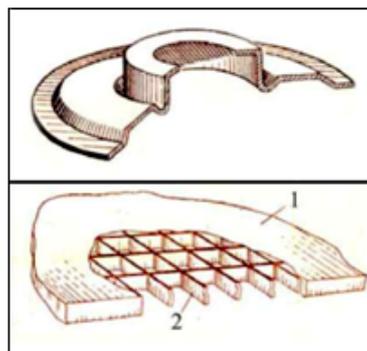


Рис. 8. Диафрагма клистрона с сеткой, изготовленной непосредственно в диафрагме электроискровым методом, и схематическое изображение сетки с высокими перемычками (внизу): 1 – фрагмент диафрагмы, 2 – перемычки сетки

Таким электродом в медной диафрагме клистрона электроискровым способом была «прошита» сетка с 152 квадратными отверстиями размером 0,45x0,45 мм с перемычками между ними до 30 мкм (рис. 7).

Плетеные сетки из вольфрамовой проволоки заменили цельными медными, ширина перемычек последних равна диаметру проволоки (чтобы сохранить прозрачность сеток для электронов), а высота в 5–10 раз больше. Благодаря увеличению сечения перемычек за счет роста их высоты, большей теплопроводности меди, чем вольфрама (примерно в 2 раза), и изготовлению сеток непосредственно в медной диафрагме – в десятки раз увеличивается отвод тепла от сеток (рис. 8). А это в свою очередь неизбежно приводит к значительному повышению долговечности приборов.

Одна работница изготавливала до 6000 сеток в месяц и не менее сотни медных электродов для изготовления сеток. Обычно широко применявшаяся при электроискровой обработке в качестве электродов латунь ЛС-59 при изготовлении деталей электровакуумных приборов не годилась.

К сеткам отражательных клистронов предъявляются очень жесткие требования: допускаяемый разброс ширины перемычек сеток – не более десятой её доли (то есть не должен превышать 0,002 мм)! Шаг расположения перемычек не должен иметь отклонение более 0,005 мм, а шероховатость обработанной поверхности стенок перемычек сеток должна быть $\leq 0,4$ мкм.

Электроискровое изготовление цельных сеток стало возможным благодаря применению специальных электродов-инструментов, обеспечивающих одновременную прошивку всех отверстий сетки. Они представляли собой стержни из меди соответствующего профиля, на торцах которых на глубину 2–2,5 мм (для сеток толщиной несколько десятых долей миллиметра) делались пазы шириной, зависящей от величины перемычек сетки, и с шагом, равным шагу перемычек (обычно 0,2–0,5 мм). Получение таких электродов-инструментов, имеющих узкие пазы на торцах шириной 0,04–0,05 мм с погрешностью не более 0,002 мм и глубиной не менее 2–3 мм, представляло собой определенную техническую проблему.

Ранее не было способов изготовления подобных сеток с сотней квадратных отверстий (размером не более десятых долей миллиметра с перемычками между ними 0,02–0,03 мм) в материалах толщиной не менее 0,1–0,15 мм. Автор подключился к решению этой проблемы, так как возможным способом её решения считал применение электроискровой «прошивки» одновременно всех 100–150 отверстий размером 0,22x0,22 мм электродом-инструментом, на торце которого в двух взаимноперпендикулярных направлениях прорезаны пазы шириной 0,04–0,05 мм на глубину не менее 1,5–2 мм. Для этого изготовили необходимую аппаратуру (на базе биологических микроскопов МБИ) и сборный электрод-инструмент, из пластинок сплава Фени-42 (Fe-Ni) толщиной 20–30 мкм с прокладками между ними из меди, толщина которых меньше отверстия сетки на двойную величину межэлектродного зазора.

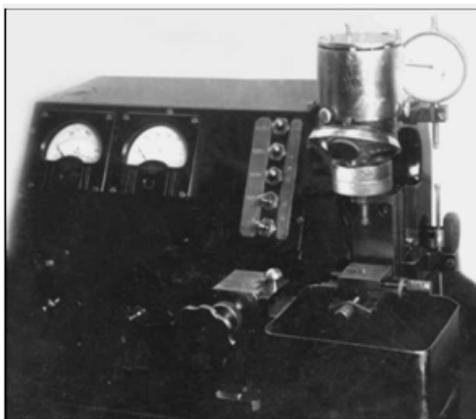


Рис. 9. Первая электроискровая установка ЭПС-2 с блоком питания для изготовления сеток клистронов

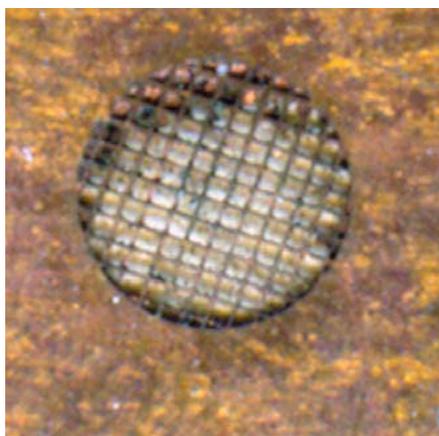


Рис. 10. Сетка \varnothing 3 мм с квадратными отверстиями, «прошитая» в медной пластине толщиной 0,1 мм (из первых проб в среде керосина и без очистки от продуктов эрозии)

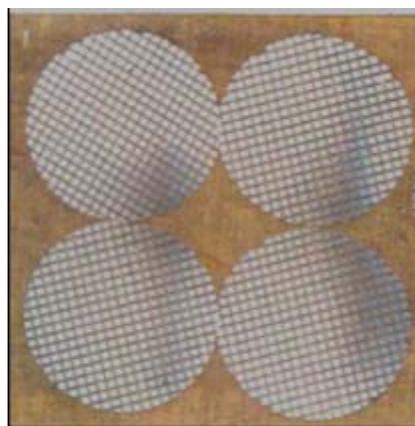


Рис.11. Образцы сеток \varnothing 5 мм, изготовленные в медной пластине толщиной 0,15 мм

С помощью этого электрода предстояло решить проблему прорезания пазов шириной 0,04–0,05 мм на торце электрода. Однако сплав Фени-42 имеет очень большое электрическое сопротивление (почти в 40 раз больше, чем у меди). Одним сборным электродом, используя две его стороны, можно было изготовить только один электрод-инструмент для изготовления сеток из-за большого износа пластин, прорезая пазы на глубину не более 0,5 мм. Попытки применения пластин из других материалов не дали существенно лучших результатов.

В ноябре 1953 года создана первая экспериментальная электроискровая установка ЭПС-2 на базе биологического микроскопа БМИ-1, предназначенная для изготовления сеток клистронов непосредственно в медных диафрагмах с одновременной электроискровой «прошивкой» от десятков до более сотни квадратных отверстий с перемычками 20–30 мкм (рис. 9).

На рис. 10 представлена фотография сетки диаметром 3 мм в медной пластине толщиной 0,1 мм под микроскопом из первых проб. А на рис. 11 – пробные образцы сеток, изготовленные в медной пластине толщиной 0,15 мм. Медный электрод-инструмент (изготовленный электроискровым способом сборным электродом из фольги) подавался на глубину 0,14 мм. Время изготовления сетки – 2,5 мин⁶.

Применение новых электроискровых методов для изготовления магнетронов и амплитронов

Развитие электроискровой прецизионной обработки металлов также стимулировалось за счет интенсивного роста выпуска магнетронов. Способ впервые был применен для изготовления анодных блоков магнетронов миллиметрового диапазона длин волн (лопаточного типа или типа «восходящее солнце») в середине 1950-х годов.

Использовался метод копирования профиля электрода-инструмента и вырезания резонатора проволокой \varnothing 0,03–0,04 мм. При этом наибольший диаметр резонаторов составлял 5–20 мм, высота – 2–5 мм, ширина ламелей – 0,1–0,5 мм. Число резонаторов – 10–80 штук. Время изготовления таких анодных блоков электродом-проволокой на экспериментальной установке без программного управления – 2–6 ч при шероховатости обработанной поверхности $Ra \leq 0,5$ –1,2 мкм. Межэлектродной средой на первых порах служил осветительный керосин.

Для решения возникшей проблемы – изготовления анодных блоков электронных СВЧ-приборов М-типа миллиметрового диапазона длин волн – в 1954 году на базе большого инструментального микроскопа БМИ была создана электроискровая координатная установка ЭКУ-1.

На рис. 12 – первая экспериментальная установка для изготовления анодных блоков приборов М-типа миллиметрового диапазона длин волн и созданная несколько позже электроискровая установка ЭКУ-1 с генераторами РС.



Рис. 12. Первая экспериментальная установка для изготовления анодных блоков приборов М-типа миллиметрового диапазона (слева) и установка ЭКУ-1 (справа) с генераторами РС



Рис. 13. Фрагмент 10-резонаторного блока толщиной 4 мм ($D = 6,7$ мм, $d = 5,4$ мм, ламели: ширина – 0,4 мм, длина – 0,82 мм)

Они изготавливались в середине 1950-х годов на базе микроскопа БМИ-1 (с использованием основания микроскопа с измерительным поворотным столом и фермой, а также набора концевых мер 2-го класса). Заготовка блока помещалась в оправку, которая установлена на кронштейне, закрепленном на поворотном столе микроскопа и обеспечивающем поворот стола с точностью до $\pm 3''$. Координатный стол перемещался микрометрическими винтами с микронной точностью.

⁶ Эти фотографии публикуются впервые.

На рис. 13 изображен фрагмент 10-резонаторного анодного блока магнетрона миллиметрового диапазона длин волн толщиной 4 мм, изготовленного на одной из этих установок.

Первый 20-резонаторный анодный блок был изготовлен 9 февраля 1956 года проволокой из вольфрама ВА-3 диаметром 30 мкм (рис. 14,а).

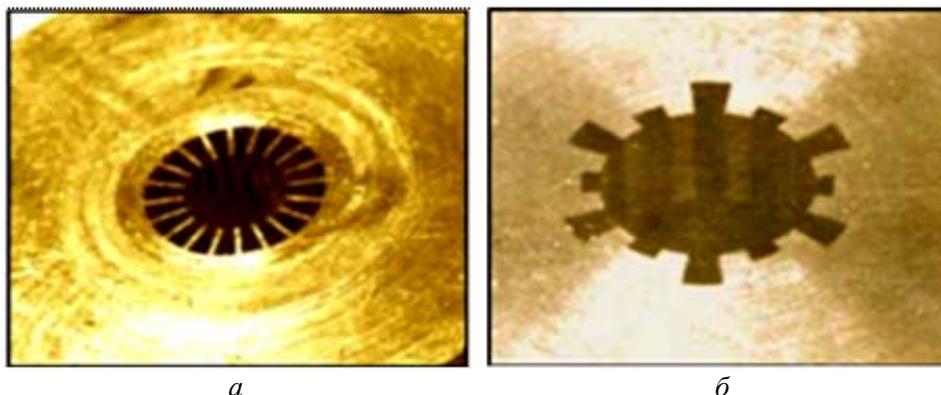


Рис. 14. Примеры миниатюрных анодных блоков магнетронов: 20- (а) и 12-резонаторных (б)

Вскоре, в 1960 году, было образовано Министерство электронной промышленности СССР, а А.И. Шокин назначен министром.

Лаборатория электроискровой обработки материалов НИИ-160 1 декабря 1960 года была преобразована в отдел с лабораториями: технологии (Е.В. Холоднов), источников питания (В.Л. Кравченко), автоматизации (К.К. Гулярян), КБ (Д.К. Дмитров) и опытно-производственными участками – электроискровым и механическим (Ю.А. Шевелев).

В связи с этим отдел электроискровой обработки материалов переместился на новые производственные площади главного корпуса, а в соответствии с приказом министра электронной промышленности СССР стал головным в отрасли в области электроискровой обработки материалов.

Анодные блоки – самые трудоемкие и ответственные детали современных магнетронов и амплитронов. Они изготавливаются преимущественно из бескислородной меди. Иногда их ламели армируются тугоплавкими металлами (вольфрамом или молибденом). Размеры анодных блоков приведены в таблице.

Размеры анодных блоков магнетронов и амплитронов

Наружный диаметр D , мм	20–120
Высота H , мм	20–135
Внутренний диаметр d , мм	3–35
Число резонаторов, шт.	10–80
Диаметр резонатора D_1 , мм	20–80
Высота ламели резонатора, мм	2–115

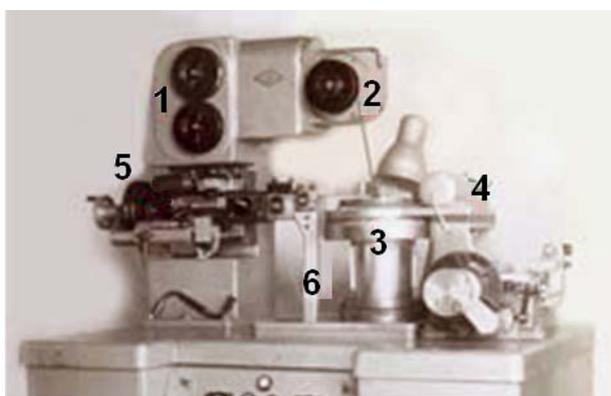


Рис. 15. Электроискровой станок А207.19 для изготовления анодных блоков приборов М-типа двумя проволоками и со встроенным тиратронным генератором импульсов



Рис. 16. Электроискровой станок А207.27 для изготовления анодных блоков приборов М-типа двумя проволоками и со встроенным тиратронным генератором импульсов



Рис.17. Установка А207.33 со встроенным тиратронным генератором импульсов

Для изготовления крупногабаритных анодов были созданы специальные установки – А207.19 (рис. 15) с генератором РС, А207.27 (рис. 16) и А207.33 (рис. 17) со встроенными тиратронными генераторами импульсов, обеспечивающими обработку материала в воде.

Техпроцесс изготовления деталей (см. рис. 14) может осуществляться двумя медными проволоками $\varnothing 0,1-0,2$ мм, направление которым задается твердосплавными вставками, закрепленными на скобе 6 (рис. 15).

Проволока с катушек 1 перематывается на катушку 2. Каждая проволока натягивается независимо друг от друга с помощью соответствующих устройств. Величина натяжения обычно выбирается равной 0,6–0,8 от максимального разрывного усилия проволоки.

Заготовка анодного блока устанавливается на поворотном столе 3 и может поворачиваться с помощью серводвигателя 4.

Скорость перематки проволоки регулируется от 0,12 до 1,5 м/мин. Она значительно ниже, по крайней мере, на порядок, чем у появившихся в середине 1960-х годов зарубежных электроискровых вырезных станков.

Важной особенностью способа было то, что для осуществления удивительной технологии не требовалось изготовления какого-либо сложнопрофильного инструмента, так как это делала тончайшая проволока, диаметр которой меньше толщины волоса белокурого человека. И все названные технологические операции выполняли женщины.

К сожалению, эти процессы осуществлялись в среде осветительного керосина, требовали соблюдения определённых условий противопожарной безопасности и отвода газов из зоны обработки, а также хранения и транспортировки уже готовых изделий на участок очистки в закрытых сосудах с чистым керосином.

Для выяснения возможности замены керосина, используемого при электроискровой обработке деталей ЭВП, на другие межэлектродные среды, содержащие меньше углеводов, штабики из прессованного вольфрама ВТ-15 разрезали электродом-проволокой ВА-3 $\varnothing 0,03$ мм.

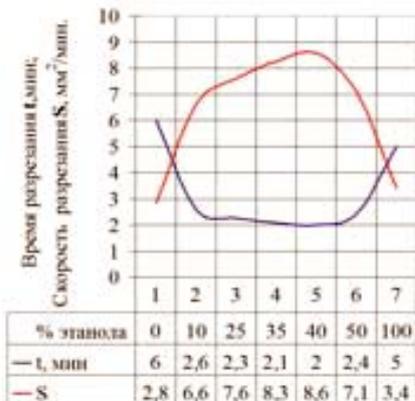


Рис. 18. Разрезание штабиков из прессованного вольфрама ВТ-15 $\varnothing 4,67$ мм (17 мм^2) проволокой ВА-3 $\varnothing 0,03$ мм в воде с этанолом

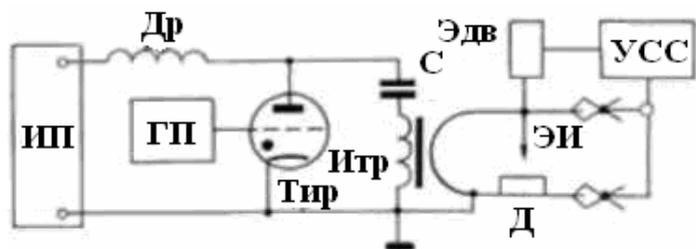


Рис. 19. Принципиальная схема тиратронного генератора импульсов с импульсным трансформатором

Скорость разрезания штабиков из прессованного вольфрама ВТ-15 \varnothing 4,67 мм ($S = 17 \text{ мм}^2$) электродом-проволокой ВА-3 \varnothing 0,03 мм при скорости перемотки проволоки 14 мм/с и расстоянии между токоподводящими роликами 17 мм (при $U_0 = 110 \text{ В}$, и $U_1 = 90 \text{ В}$, $I_{к.з} = 0,45 \text{ А}$) в зависимости от содержания этанола в воде представлена на рис. 18.

Из графиков следует, что с увеличением процентного содержания этанола в воде до 10% скорость разрезания возрастает в 2,36 раза, с 10 до 35% – ещё в 1,26 раза, а при 40% содержании этанола в воде достигает максимума, увеличиваясь по сравнению с разрезанием в воде в 3 раза. Однако с достижением содержания в воде этанола с 40 до 100% – уменьшается в 2,5 раза, превышая скорость разрезания в воде всего на 21%.

И хотя первые анодные блоки, изготовленные электроискровым способом, были миниатюрных размеров, возможность их изготовления предвещала наступление новой эры в производстве деталей электронных приборов.

Было ясно, что необходимо сосредоточить имеющиеся ресурсы в одном месте, не расплывая их по ряду подразделений института. В новую лабораторию было переведено более 20 инженеров и техников, а также рабочих для создаваемого в составе лаборатории опытно-производственного участка. Среди них: К.К. Гуларян, В.Л. Кравченко, И.И. Сажин, Ю.А. Шевелев и др.

М.М. Фёдоров организовал ознакомление председателя ВПК Д.Ф. Устинова с успехами НИИ-160 в разработке новых методов особо точного электроискрового изготовления деталей магнетронов и амплитронов для РЛС наземных, самолетных и корабельных ЗРК. Ему показали оригинальные образцы деталей и технологического инструмента, а также сувениры, демонстрирующие возможности новых методов и их преимущества по сравнению с традиционными способами обработки материалов.

В начале 1960-х годов сотрудниками лаборатории источников питания отдела 62 НИИ-160, возглавляемой В.Л. Кравченко, были созданы экспериментальные тиратронные генераторы с импульсными трансформаторами на базе тиратронов, разработанных в НИИ-160. Они позволили вести электроискровую обработку в обычной воде из водопровода без её очистки и деионизации. Причем электроискровой процесс осуществлялся не только с подачей воды в зону обработки, но и с полным погружением обрабатываемой детали в ванну, без возникновения электрохимических процессов в зоне обработки. Кроме того, оказалось возможным выполнять не только изготовление деталей электродом-проволокой, но и успешно осуществлять операции «прошивки».

На рис. 19 представлена принципиальная схема тиратронного генератора импульсов с импульсным трансформатором.

Конденсатор C заряжается через дроссель Dr от источника высоковольтного питания $ИП$. После этого на сетку тиратрона Tur подается импульс поджига от генератора поджигающих импульсов $ГП$. Тиратрон отпирается, и конденсатор C разряжается на первичную обмотку импульсного трансформатора «Итр». Импульс напряжения, индуцируемый во вторичной обмотке, возбуждает искровой разряд между электродом-инструментом $ЭИ$ и деталью $Д$. Сигнал с искрового промежутка подается на вход усилителя следящей системы $УСС$, с выхода которого напряжение подается на электродвигатель $Эдв$ привода электрода-инструмента.



Рис. 20. Тиратронный генератор (а) и экспериментальная установка для изготовления деталей копированием профиля электрода-инструмента с импульсным трансформатором (б), встроенным в ванну



Рис. 21. Двухпозиционная установка А207.05 (в), одна из головок которой подключена к выводам импульсного трансформатора, встроенного в генератор (а)

На рис. 20 – экспериментальная установка для изготовления деталей копированием профиля электрода-инструмента с импульсным трансформатором, встроенным в ванну (б). Другой импульсный трансформатор встроен в корпус генератора (а). Выводы его вторичной обмотки находятся сверху корпуса генератора, справа.

На рис. 21 – двухпозиционная установка А207.05 (в) для изготовления сеток клистронов, одна из головок подключена к выводам импульсного трансформатора, встроенного в генератор (а).

Группа установок А207.33 со встроенным тиратронным генератором импульсов изображена на рис. 22.



Рис. 22. Группа установок А207.33 со встроенным тиратронным генератором импульсов и сменными приспособлениями для изготовления анодных блоков, катодов и других деталей ЭП

Установки А207.33 оснащены приспособлениями для изготовления анодных блоков и тел вращения (например, катодов) обточкой электродом-проволокой (рис. 22–23).

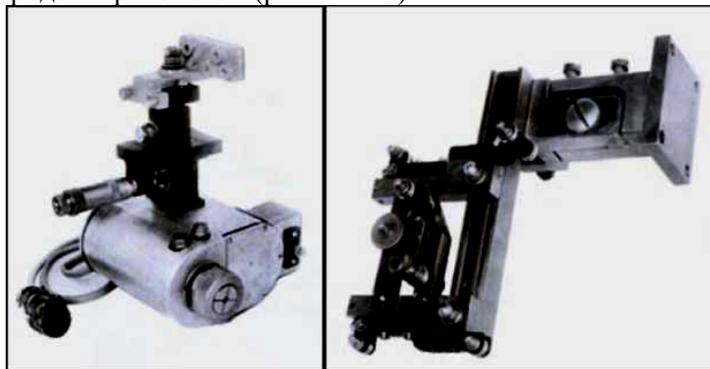
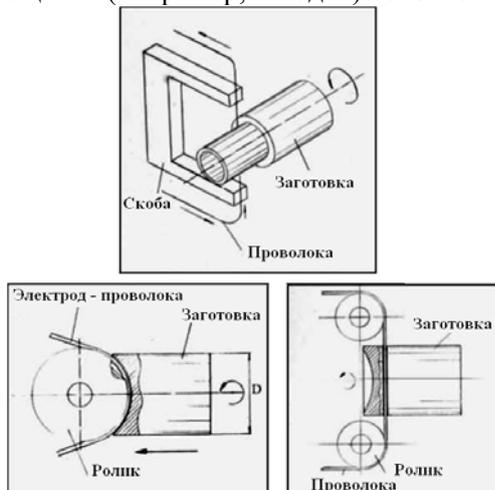


Рис. 22. Формообразование торца катода и отрезка катода после его обработки

Рис. 23. Съемные приспособления к А207.33: для закрепления заготовки при обточке (слева); для направления электрода-проволоки (справа)

Крупногабаритные анодные блоки амплитронов и магнетронов, изготовленные с применением двух проволок, представлены на рис. 24–26.

Фотография анодного блока «Салют» с отходами удаленного материала, расположенными рядом, является убедительным доказательством того, что при формообразовании деталей электродом-проволокой в виде «стружки» удаляется ничтожная часть металла, который, мгновенно расплавляясь, выбрасывается из межэлектродного пространства в виде микронных шариков.

В 9-резонаторном блоке амплитрона (аналоге блока «Салют») представленном на рис. 25, вырезано только 7 резонаторов. На фотографии видны параллельные пазы шириной 0,12 мм, прорезанные двумя проволоками. После последовательного прорезания девяти пар параллельных пазов двумя проволоками (образования 9 ламелей) одна из проволок обрывается. Затем осуществляется последовательное вырезание девяти резонаторов одной проволокой за счет поворота стола с удалением отходов.



Рис. 24. Анодный блок амплитрона «Салют». Ламели: ширина – 4 мм, высота – 12 мм. $D = 62$ мм, $d = 14$ мм. Точность изготовления элементов – 0,01 мм. Справа – отходы



Рис. 25. Анодный блок амплитрона. Высота 50 мм. $D = 62$ мм, $d = 14$ мм. Ламели – 4 мм. Вырезано 7 резонаторов

Применение двух проволок при вырезании ламелей обеспечивает их абсолютную идентичность, наивысшую точность ширины и наилучшую чистоту обработанной поверхности при чрезвычайной простоте осуществления обработки. Точность изготовления элементов – 0,01 мм, а расположения элементов по углу $\pm 6'$. $Ra = 0,8-1,0$ мкм.

На рис. 26 – самый крупный 10-резонаторный анодный блок лопаточного типа. Ламели: ширина – 4 мм, высота – 82 мм, $d = 24$ мм, $D = 68$ мм. Точность расположения элементов по углу $\pm 6'$, шероховатость обработанной поверхности $Ra = 0,8-1,0$ мкм.



Рис. 26. Анодный блок. Ламели: ширина – 4 мм, высота – 82 мм, $d = 24$ мм, $D = 68$ мм



Рис. 27. Анодный блок «Анаконда» со вставкой из молибдена

На рис. 27 – анодный 20-резонаторный блок магнетрона «Анаконда», корпус которого изготовлен из меди МБ со вставкой из молибдена. Внутренний диаметр резонаторов $d = 6$ мм, наружный $D = 10$ мм, высота ламелей – 10 мм, а ширина – 1,5 мм.



Рис. 28. 12-резонаторный анодный блок «Ро-машка»: $d = 0,5$ мм, $D = 2,5$ мм, $h = 6$ мм



Рис. 29. Элементы сборных блоков $D = 20$ мм

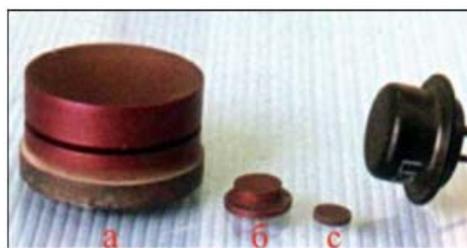


Рис. 30. Катоды из бориды лантана LaB_6 : а) $\varnothing 16$ мм, торец – сферическое углубление на 4,5 мм; $R = 20$ мм; б) $\varnothing 5$ мм, $h = 2,5$ мм, $R = 10$ мм; в) $\varnothing 3$ мм, $h = 1,5$ мм, $R = 6$ мм

На рис. 28 показан оригинальный 12-резонаторный анодный блок «Ромашка» с резонаторами в виде лепестков ромашки. Внутренний диаметр – 0,5 мм, максимальный диаметр – 2,5 мм, а наружный диаметр корпуса – 20 мм.

Сложнопрофильные ажурные элементы миниатюрных деталей электронных приборов М-типа для сборных блоков диаметром 20 мм представлены на рис. 29. Из таких элементов собирались анодные блоки приборов.

На рис. 30 в качестве примера показаны фотографии катодов из борида лантана.

Большие трудности возникли при создании изделий с катодами из таких материалов, как борид лантана (LaB_6) и другие редкоземельные материалы, которые трудно поддаются традиционным методам обработки. Для их изготовления наиболее целесообразным оказалось применение электроискровой обработки движущегося электрода-проволоки с использованием специальной оснастки. Применялись электроискровые процессы формообразования электродом-проволокой: обточка цилиндрических поверхностей; изготовление вогнутых сферических торцов с помощью проволоки, направляемой роликом соответствующего диаметра; отрезка уже изготовленного катода от заготовки.