



Б.Р. Лазаренко среди молодых учёных: В.К. Невежин, Б.Н. Золотых, Е.А. Деев в ЦНИЛ-Электром.

«Мы вместе с Вами поднимаем общее государственное дело, а следовательно, и отношение к нему должно быть государственным, а то что я описал, это порочно и не характерно для нашего стиля работы. Этого не должно быть!»

Эти слова из письма Б. Р. Лазаренко хочется поставить эпиграфом не только к данной публикации. Такое бездарное отношение к передовым разработкам инженеров и ученых в СССР было не единичным, к сожалению. Сегодня ситуация только усугубилась. Но хочется верить, что в наших странах – России, Украине, Беларуси – наконец-то научатся ценить самое важное для любого государственного строя и любой политической эпохи – интеллектуальный потенциал его созидающей элиты...

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

ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ: (К 100-летию Б.Р. Лазаренко) ПОЧЕМУ СССР ПОТЕРЯЛ ЛИДЕРСТВО В ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Glimpses of the History of Electrosark Machining of Materials.
Why the USSR Lost Leadership in Electric-Spark Technologies

ВОЗВРАЩАЯСЬ В ПЕРВОЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вспоминая период, предшествующий открытию электроискрового способа, отметим, что с 1936 г. Б.Р. Лазаренко работал младшим научным сотрудником Всесоюзного электротехнического института им. В.И. Ленина, а в 1938-м в трудах ВЭИ опубликовал первую научную статью «Исследование переноса и коррозии металла под действием электрических разрядов на разрывных контактах», которая и явилась основой для открытия нового электроискрового способа обработки металлов.

28 июня 1943 г. старший научный сотрудник Б. Р. Лазаренко блестяще защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему «Инверсия электрической эрозии металлов и методы борьбы с разрушением электрических контактов».

3 апреля 1943 г. Б.Р. и Н.И. Лазаренко зарегистрировали открытие электроискрового способа обработки металлов, а 12 августа 1945-го вышло в свет постановление Совнаркома СССР о патентовании способа за рубежом. В течение 1946-го этот способ запатентован в ряде стран – Швейцарии, Франции, Великобритании, США и Швеции.

В 1944-1946 гг. в ГЭИ были изданы три монографии Б.Р. и Н.И. Лазаренко – «Электрическая эрозия металлов. Вып. I и Вып. II», а также «Физика электроискрового способа обработки металлов». Вскоре в 7-м томе энциклопедии «Машиностроение» появилась информация о новых методах электрической обработки металлов, написанная лауреатом Сталинской премии Б. Р. Лазаренко.

В 1947 г. на заседании ученого совета МВТУ им. Н. Э. Баумана Б. Р. Лазаренко защитил диссертацию «Электроискровой способ обработки металлов» на соискание ученой степени доктора технических наук. Она была ему присуждена решением ВАК от 26 июня 1949 г.

Обратимся к письму «Этого не должно быть», которое Б.Р. Лазаренко написал 27 апреля 1948 г. – более 60 лет назад:

«Всем известна роль русских электриков в развитии как прикладной, так и теоретической электротехники. Однако особую группу среди них представляют электрики, применившие электрическую энергию для обработки материалов – это электросварка, обработка токами высокой частоты, электроискровая обработка.

Особо показательным в развитии этих способов является то, что русские открытия вначале уходят за границу, где они бурно развиваются, а после этого мы – советские инженеры – оказываемся поставленными перед необходимостью догонять уже опередившую нас зарубежную технику.

Для того чтобы убедиться в этом, рассмотрим эти три открытия, причем по первым двум ограничимся напоминанием лишь некоторых факторов, а на примере электроискровой обработки, поскольку это событие настоящего времени, проследим, почему это происходит и как это делается.

В 1882 г. русский инженер Бенардос открыл способ дуговой электросварки. В 1914 г. США начали широко применять этот способ соединения металлов для восстановления судов. В советской промышленности интерес к «новому» процессу появился лишь около 1923 г. благодаря заграничным командировкам наших инженеров. Резкий перелом в развитии дуговой электросварки в Союзе наступил лишь около 1929–1930 гг., т.е. через 50 лет после открытия способа и на 15 лет позже Америки.

В 1924 г. русский инженер Вологдин открыл способ высокочастотной закалки материалов. В 1930 г. он широко применялся в зарубежной технике. В 1941 г. американцы пишут о русских ученых, «додумавшихся до применения электричества для сушки древесины», и не только широко используют этот способ в промышленном масштабе, но и наладили массовый выпуск высокочастотных (бытовых) аппаратов даже для сушки овощей, сухарей и пр. У нас только налаживается производство машин, в т.ч. ламповых генераторов, а заводы и по настоящий день работают или на кустарных установках с исключительно малым кпд, или на «Аяксах» и трофейном оборудовании.

Спрашивается, где причины, которые допускают такое позорное положение вещей, тормозят развитие советской техники и по существу обуславливают передачу за границу советской техники?

Во всех случаях эти причины - общие. И вот, взяв на проверку хотя бы электроискровой способ обработки металлов, проследим историю его развития.

Первый период развития – 1935–1939 гг. – является периодом первоначального накопления экспериментальных данных, их обобщений, периодом построения рабочих теорий и гипотез (рис.1¹).

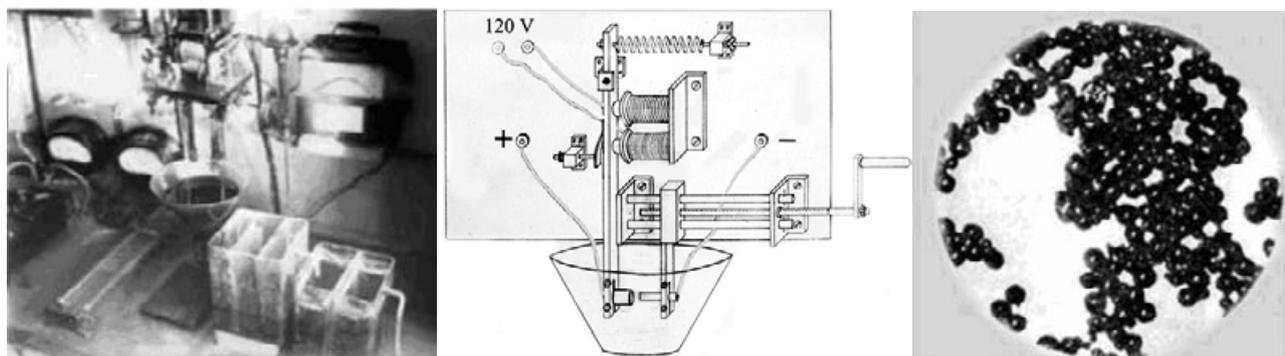


Рис. 1. Первая электроискровая установка для изготовления порошков («воронка»), на которой впервые в мире была открыта возможность применения электроискрового способа для обработки металлов

Отношение к этим работам руководства – умеренное.

Отношение научного мира – снисходительное.

Отношение промышленности – безразличное, поскольку практическая отдача от этих работ равна нулю.

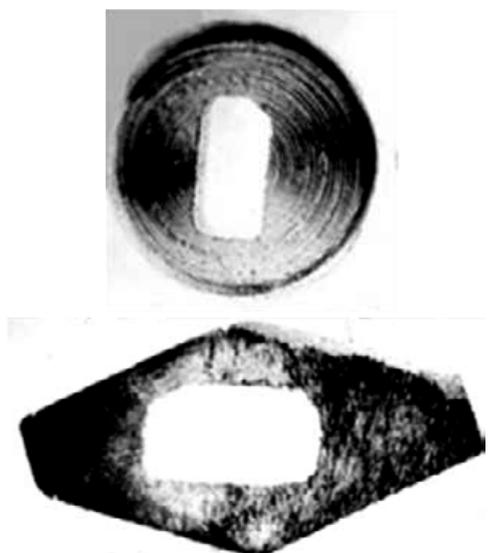
Второй период развития – 1939–1942 гг.

Наметились общие контуры нового способа обработки металлов, когда становится излишним применение какого-либо режущего инструмента и не нужно считаться с твердостью обрабатываемого материала. Началось массовое информирование об этих работах (рис. 2 и 3).

Отношение руководства – умеренное.

¹ Рисунки к письму подобраны мной. – Б.С.

Отношение научного мира (особенно инструментальщиков и технологов) – настороженное.
 Отношение промышленности – требование немедленной выдачи сведений для реализации.



а

б

Рис. 2. Стальная (а) и твердосплавная (б) заготовки, на которых впервые в мире была доказана возможность изготовления с помощью медных электродов электроискровым способом отверстий, повторяющих их профиль

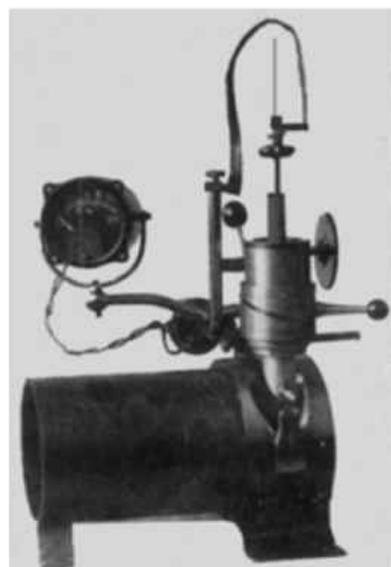


Рис. 3. Устройство для извлечения сломанного инструмента в корпусах ракетных снарядов для ракетных установок «Катюша» (начало 40-х гг.)

Третий период развития – 1943–1946 гг. (рис. 4–11). Отработаны основные технологические процессы, созданы первые конструкции аппаратов электроискрового действия. Найдены основные законы, управляющие процессом. На производствах с большим экономическим эффектом работают станки собственного изготовления электроискрового действия. Широкая информация о способе через печать, кино, радио. Авторам способа присуждается звание лауреатов Сталинской премии. Появляются первые сведения из Америки и Англии (фирмы «Илокс», «Драфто», «Томас»), сообщающие о новом способе обработки металлов, с рекомендацией к станкам, выпускаемым этими фирмами.

Отношение руководства – бюрократически-бездушное.

Отношение научного мира: физики и энергетики – всемерная поддержка.

Специалисты: инструментальщики, технологи, станочники – резко враждебное («Нельзя обрабатывать металл без инструмента», «Все это бред, очковтирательство, закрыть способ»).

Отношение промышленности – всемерная помощь и поддержка. Настойчивые требования о выдаче хотя бы элементарной технической документации, помощи в освоении, консультации. Все эти требования удовлетворяем в небольшой степени из-за отсутствия людей, помещения и средств.



Рис. 4. Первая электроискровая установка с вибратором. 1944 г.



Рис. 5. Электроискровой станок ЭИС-КМП. 1944 г.

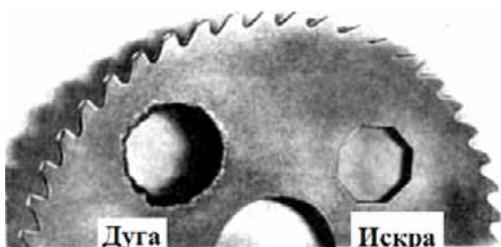


Рис. 6. Отверстия, изготовленные во фрезе при дуговой (слева) и искровой (справа) настройке контура



Рис. 7. Контурное вырезание элемента пилы трепанацией



Рис. 8. Надпись «НАУЧИТЕСЬ ДЕЛАТЬ ЧЕРНУЮ РАБОТУ В НАУКЕ!», выполненная электроискровым способом на стекле



Рис. 9. Портрет В.И. Ленина, выполненный на пластине вороненой стали

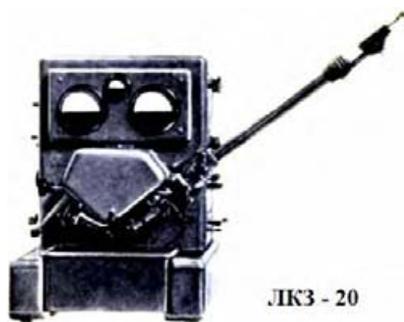


Рис. 10. Электроискровая установка ЛКЗ-20 для изготовления отверстий $0,15^{+0,01}$ мм в распылителях дизельных насос-форсунок. 1957 г.



Рис. 11. Электроискровое шлифование и приработка валков мукомольных. 1960 г.

Четвертый период развития – 1946 г. – 11 ноября 1947 г.

При полном отсутствии приказов со стороны министерств имеет место массовое движение в промышленности по освоению этого способа. Особенно болезненно ощущается наша организационная беспомощность по оказанию совершенно необходимой широкой помощи промышленности. Мы не имеем возможности даже отвечать на письма. Все попытки как-то увеличить мощность лаборатории, хотя бы приемом новых сотрудников, терпят неудачу.

Промышленность кустарничает и проводит процессы электроискровой обработки металлов на недопустимо низком техническом уровне. Государство тратит многие миллионы рублей на развертывание параллельных работ по электроискровой обработке в различных министерствах. Организационный хаос в этом направлении – полнейший.

Исключительно повышенный интерес к этому способу в США. Американцы начали развивать большую активность по использованию «русских эрозионных машин» и уверенно разворачивают это направление работ.

Оспаривая советский приоритет, они тем не менее широко информируют об этом способе, тщательным образом переписывая статьи из русских журналов, порою даже не указывая, откуда заимствуют материал. Все то же отсутствие какой-либо поддержки руководства, начиная от директора института и заканчивая работниками министерства включительно. **Появилась новая крупная опас-**

ность – группа бизнесменов,... которая, руководствуясь лишь корыстными целями и совершенно не интересуясь развитием способа и состоянием дела, стала захламлять промышленность нигде не годными конструкциями. Не имея никакого представления о способе, начали широко информировать промышленность, выдавая элементарно неграмотные сведения о режимах обработки, чем в корне дискредитировали способ. Они не связывают свою судьбу со способом, их не интересует завтрашний день, для них основное сегодня – это источник прибыли, источник легкого существования. Несмотря на нашу крайнюю ограниченность в людях, мы были вынуждены еще часть своих сил отвлечь от выполнения исследовательских работ и бросить их на борьбу с этой халтурой.

Число технологических процессов, выполняемых с помощью электроискрового способа, резко возрастает. В Московском авиационном технологическом институте состоялся первый выпуск инженеров-электроискровиков (рис. 12).

ЦК ВКП/б заинтересовался этим направлением работ и после соответствующего обследования обратился с письмом в Бюро машиностроения Совета Министров СССР с рекомендацией рассмотреть этот вопрос в отношении дальнейшего развития и внедрения электроискрового способа.

11 ноября 1947 г. состоялось заседание Бюро машиностроения, где 7 министров доложили о том, какой эффект уже получает промышленность от применения электроискрового способа обработки металлов, и отметили недопустимый разрыв между требованиями промышленности и сведениями, получаемыми в этом направлении. Было принято решение:

1. Создать мощную научно-исследовательскую организацию по дальнейшему развитию работ, связанных с электроискровой обработкой материалов.
2. Созвать в марте месяце 1948 г. Всесоюзную конференцию по электроискровой обработке металлов для информации о последних достижениях в этой области и обмену опытом.
3. Ввести в учебные планы технических вузов специальные курсы по электроискровой обработке металлов с тем, чтобы обеспечить подготовку необходимых кадров.
4. Создать комиссию из 10 человек (председатель т. Сабуров), которой поручить в месячный срок (то есть к 11 декабря 1947 г.) войти в Правительство с проектом решения о необходимых мероприятиях по развитию и внедрению электроискровой обработки металлов.

Я полагал, что этим предварительным решением уже предрешен дальнейший путь развития этого способа и что совсем уже близко то время, когда в стране от применения этого способа освободятся многие тысячи рабочих и казна получит миллиардные экономии.

На деле оказалось обратное.



Рис. 12. В лаборатории электроискровой обработки материалов ММАТИ. Слева направо: Т.И. Матеева, Д.З. Митяшкин, Б.Р. Лазаренко, А.М. Белов, Б.Н. Лямин. 1948 г.

11 ноября 1947 г. начинается пятый и, пожалуй, самый показательный этап развития.

Элементарная логика вещей подсказывает, что нужно было предпринять, – создать организацию, способную самостоятельно решать любую из поставленных научных и технических задач. Организацию, располагающую широкой производственной базой, выпускающей в металле не только опытные образцы станков электроискрового действия, но и мелкие серии станков, организацию, не только координирующую действия промышленности в этом направлении, но и способную оказать широкую техническую помощь как в освоении способа, так и быстром решении отдельных задач. Наша страна располагает сейчас всеми данными для такого способа решения задач.

Однако я убедился, что такой способ решения задачи - единственно верный способ - не встретил полной поддержки.

Прежде всего, поданный мною в МЭП проект такой организации, весьма скромный по запросам и жесткий по отдаче промышленности, вызвал в министерстве чувство недоумения. Очевидно, вследствие этого проект вначале был сокращен примерно в 10 раз, затем в 2 раза и наконец,... оказался в архивах министерства.

Во-вторых, мне было предложено найти какое-то помещение, где можно было бы разместить эту вновь создаваемую организацию. Несмотря на всю сомнительность такого образа действий, я был

вынужден закрыть часть работ и направить инженеров на поиски подходящих пустых коробок.

С громадными трудностями все же нашли таковые и доказали, что их можно занять, мне тем не менее было вскоре сообщено, что они непригодны, так как «там все же когда-то будут работать организации, на территории которых они расположены».

Лишь через 1,5 месяца собралось первое (и последнее) заседание рабочей подкомиссии, на котором поговорили о необходимости дальнейшего развития электроискрового способа. Характерно, что через 2 дня после этого заседания по Москве (в том числе по телефонам) дискутировалось людьми, не бывшими на заседании, мое сообщение, сделанное там, в том числе о секретном способе обработки металлов на расстоянии (очевидно, в ближайшем будущем о новом средстве вооружения).

Еще более странными оказались следующие события, непосредственно уже направленные на недопущение создания такой организации. Членом Госплана т. Никитиным за визой т. Сабурова (письмо от 17.02.48 г.) было дано указание, по которому Министерство электропромышленности должно заниматься изучением физики электроискрового процесса и отработкой электрических схем питания, а Министерство станкостроения (никогда не строившее электрических установок) должно отрабатывать конструкции установок электроискрового действия и разрабатывать новую технологию электроискровой обработки (!?).

Вскоре выплыли на поверхность и причины, обусловившие появление столь аномального явления (отрыва теоретической базы от конструкторов и технологов). Оказалось, что это результат действия все той же группы бизнесменов, неверно информировавших руководство.

Услышав о создании такой организации, координирующей действия промышленности, и поняв, что с ее появлением раз и навсегда исчезнет всякая халтура, а с нею и длинный рубль, они развили неимоверно бурную деятельность в направлении недопущения создания такой организации.

Первой для них задачей было как-то сохранить возможность проведения комбинаций. Очевидно, что если это будет только электроискровой способ обработки металлов, где все направление предельно ясно, то всякая возможность комбинаций исключается. Следовательно, нужно добиться того, чтобы в постановление Правительства об электроискровой обработке материалов вписать какой-то еще способ электрической обработки материалов, отличающийся хотя бы по названию от электроискрового способа, например анодно-механический. Но ведь такого способа юридически нет. Отсюда возникает вторая задача – оформить юридически этот способ, и притом так, чтобы он дискредитировал электроискровой способ. Для выполнения этой задачи из архивов извлекается неутвержденная заявка 20-летней давности (авторы Гусев и Рыжков), приводится в действие Патентное управление Гостехники. ***Заявке придается название анодно-механический способ обработки, и вопреки действующему законодательству начинает активизироваться вопрос о возможности утверждения задним числом (1928 г.) мифического анодно-механического способа обработки металлов.***

Далее возникает третья задача – доказать, что электроискровой способ обработки металлов нерентабельный и что нужно применять анодно-механический способ. С этой целью во Всесоюзном научно-исследовательском инструментальном институте (директор Надеинская), где не имеется ни одного электроискрового станка, например для заточки инструмента, спешно «доказывается» полная непригодность электроискрового способа для обработки твердых сплавов. Начинается всемерный звон...

Полгода прошло с момента заседания Бюро машиностроения, а уровень организационных форм, на которых мы сейчас находимся, стал еще ниже. Изложенное выше показывает, что для решения организационных вопросов нужны какие-то иные, неведомые мне приемы и действия. И вот, как у своего старшего товарища, я спрашиваю Вас - Что это за приемы? Научите меня им?

Я одиннадцать лет работаю без отпуска и практически без выходных дней. Моя жизнь - это работа, и вот хотя бы этот простой довод дает мне право спросить Вас – почему нам мешают работать? Почему с каждым днем нас все больше и больше отвлекают от нашей работы, вследствие чего мы вынуждены заниматься всякими другими делами, вроде, например, написанием вот таких писем? Разве, в конечном счете, это метод, с помощью которого задерживается развитие важнейшей области нашего народного хозяйства? Мы вместе с Вами поднимаем общее государственное дело, а следовательно, и отношение к нему должно быть государственным, а то, что я описал, это порочно и не характерно для нашего стиля работы. Этого не должно быть!..

*Лауреат Сталинской премии,
кандидат технических наук
Б. Лазаренко».
27 апреля 1948 года*

После событий, описанных в цитированном выше письме Б.Р. Лазаренко, произошло ниже следующее. В июне 1948 г. Постановлением правительства была создана ЦНИЛ-Электром в составе НИИ-627 МЭП СССР во главе с Б.Р. Лазаренко, которая в 1953 г. была выделена в самостоятельную организацию и разместилась на территории Николо-Прервинского монастыря города Люблино.

В середине 1950 г. Госэнергоиздатом была издана книга доктора технических наук Б.Р. Лазаренко и инженера Н.И. Лазаренко «Электроискровая обработка металлов». Она представляла собой конспективное изложение вопросов, связанных с применением электроискровой обработки металлов – метода, к этому времени широко применяемого в промышленности. В книге основное внимание уделяется обзору конструкций установок электроискрового действия, технологическим возможностям способа и описанию отдельных процессов и операций, выполняемых электроискровой обработкой. В заключение отмечается научный и технический уровень развития электроискровой обработки металлов, позволяющий осуществлять все технологические процессы и операции, выполняемые механическим способом.

Казалось, что все шло весьма успешно, нарастала популярность электроискрового способа, но...

В 1955 г. ЦНИЛ-Электром была переведена в систему АН СССР, но какой ценой!

Доктор технических наук, профессор Б. Р. Лазаренко – заместитель академика секретаря Отделения технических наук АН СССР, директор ЦНИЛ-Электром – 16 ноября 1955 г. был командирован в Китайскую Народную Республику советником по науке при президенте АН КНР. Исполнение обязанностей директора ЦНИЛ-Электром – по рекомендации Б.Р. Лазаренко было возложено на Б. Н. Золотых, заведующего отделом физики.

Для АН КНР направление Б.Р. Лазаренко в Китай было подарком, но для развития электроискрового способа в СССР – большим минусом. В КНР ему пришлось участвовать в разработке детального плана развития науки, знакомить инженерно-техническую общественность с возможностями электроискровой техники, оказывать содействие по внедрению её в производство, стимулировать создание Пекинского института электроискровой обработки, обеспечивать связь с АН СССР...

Несмотря на эту командировку в КНР, в конце 1957 г. в Издательстве АН СССР выходит 1-й выпуск Трудов ЦНИЛ-Электром «Электроискровая обработка металлов» под редакцией Б.Р. Лазаренко. В феврале 1958 г. Борис Романович наконец был отозван в Москву – он вернулся к исполнению обязанностей директора ЦНИЛ-Электром АН СССР.

К этому времени в Издательстве АН СССР вышла монография Б.Р. и Н.И. Лазаренко «Электроискровая обработка токопроводящих материалов», рассказывающая об электроискровом способе обработки материалов, открытом в СССР и широко уже применяемом как у нас, так и за рубежом. Изложены физические основы, энергетические характеристики и преимущества этого способа. Даны основные схемы, описаны технологические возможности обработки, принципы конструирования электроискровых установок, а также различные операции, выполняемые этим способом.

В 1960 г. под редакцией Б.Р. Лазаренко в Издательстве АН СССР выходят «Проблемы электрической обработки материалов», затем 2-й выпуск Трудов ЦНИЛ-Электром «Электроискровая обработка металлов», а в 1962 г. - «Проблемы электрической обработки материалов».

В конце 1950-х гг. и в 1960-е гг. в стране активно проводились семинары и совещания по электрическим методам обработки материалов (рис. 13—18).

После состоявшегося в ЦНИЛ-Электром АН СССР выездного заседания Отделения технических наук Президиума АН СССР академик А.А. Благоднаров, который подводил итоги заседания, высказал пожелание о проведении на ВДНХ экспозиции достижений электроискровой обработки материалов с участием ЦНИЛ-Электром и других организаций различных отраслей промышленности.

В 1960 г. такая тематическая выставка была организована в павильоне «Космос» и прошла с большим успехом. Пожалуй, с этого момента и началось триумфальное шествие электроискровой обработки материалов. Это произошло благодаря тому, что к решению важнейших вопросов подключились предприятия оборонных отраслей промышленности, противодействовать которым ЭНИМСу Минстанкопрома было уже труднее. Однако противодействие развитию электроискровой обработке материалов со стороны «пятой колонны» продолжалось. Тем более что работу сотрудников ЭНИМСа и К^о по так называемому электроимпульсному методу выдвинули на соискание Ленинской премии (которая так и не была присуждена)...



Рис. 13. Семинар в Доме научно-технической информации им. Ф.Э. Дзержинского: а) выступает Б.Н. Золотых, б) в зале – А.Л. Лившиц, А.Т. Кравец, Е.В. Холоднов, А.И. Круглов и др.; в) В.Л. Кравченко, М.Н. Улитин и др. 1957 г.



Рис. 14. Совещание по электроискровой обработке металлов в Доме оборонной техники. Ведет его Б.Р. Лазаренко, докладчик – Б.И. Ставицкий. 1958 г.

Всего через три года после возвращения Б.Р. Лазаренко из КНР началась кампания по передаче НИИ и лабораторий технического профиля из системы АН СССР в ведение соответствующих министерств. ЦНИЛ-Электром была передана в состав ЭНИМС ГК СМ СССР по автоматизации и машиностроению (позже Минстанкопрома) – главного организатора многолетней кампании, направленной против электроискрового способа. Таким образом, судьба ЦНИЛ-Электром была решена не в пользу развития электроискровых технологий...



Рис. 15. Прием Б.Р. Лазаренко в ЦНИЛ-Электром делегации КНР. 1958 г.



Рис. 16. Ознакомление участников совещания с электроискровой технологией в ЦНИЛ-Электром. 1958 г.



Рис. 17. Электроискровая координатная установка на базе А207.23 с тиратронным генератором импульсов и СЧПУ на выставке электронной техники в Москве



Рис.18. Космонавт А.Г. Николаев знакомится с электроискровыми технологиями в НИИ-160

Несколько раньше этого события – в начале 1961 г. – у Б.Р. Лазаренко состоялась беседа с председателем Президиума Молдавского филиала АН СССР Я.С. Гросулом и вице-президентом АН СССР А.В. Топчиевым. Они предложили ему возглавить институт энергетики и автоматики создаваемой Академии наук Молдавии.

В августе 1961 г. Б.Р. Лазаренко был избран академиком создаваемой Молдавской АН ССР, а в декабре 1961 г. – назначен директором Института энергетики и автоматики АН МССР, преобразованного в 1965 г. в Институт прикладной физики.

Протесты против передачи ЦНИЛ-Электром АН СССР Минстанкопрому ведущих специалистов, председателя Научного совета АН СССР по проблеме "Новые процессы получения и обработки металлических материалов", президента АН УССР академика Б.Е. Патона, Координационного совета по новым методам обработки материалов оборонных отраслей промышленности и др. были игнорированы.

Противодействие группы ведущих специалистов-станкостроителей развитию электроискрового способа и его авторам, возглавляемой ЭНИМС, непрерывно возрастало еще с момента регистрации способа, и особенно после присуждения Сталинской премии изобретателям способа. Поэтому и решение Бюро машиностроения СМ СССР от 11 ноября 1947 г. о создании мощной научно-исследовательской организации по дальнейшему развитию работ, связанных с электроискровой обработкой материалов, так и не было выполнено по причинам, изложенным в вышеприведенном материале Б. Р. Лазаренко.

Между тем в начале 1950-х гг., то есть спустя 7–10 лет после официальной регистрации электроискрового способа обработки металлов в СССР и патентования его в 1946 г. за границей, появились первые зарубежные фирмы, начавшие разработку и производство электроискрового оборудования.

В 1953 г. К. Иноуэ зарегистрировал первую в Японии и одну из первых в мире Лабораторию электроискровой обработки металлов Jарах – компанию по производству электроискровых станков. Несколько позже разработку и производство электроискрового оборудования начали швейцарские фирмы AGIE (AG furindustrielle Elektronik) и Charmilles. Ведущие специалисты фирмы Jарах в 1976 г. создали компанию FINE Sodick, ставшую в настоящее время мировым лидером в области электроискровой обработки материалов.

К сожалению, десятилетия большое влияние на техническую политику станкостроительной отрасли Советского Союза оказывал головной институт Минстанкопрома – Экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС). Станкостроение – сердцевина машиностроения: от правильной политики этого министерства зависел технический прогресс многих отраслей.

В свое время авторитет ЭНИМСа был высок, исследования его ученых ценились и у нас в стране, и за рубежом, но в то же время известные заводы – ЗИЛ, МЗМА, ВАЗ, КамАЗ и другие – оснащались импортными электроэрозионными (электроискровыми) станками и оборудованием. Это происходило благодаря лоббированию Всесоюзным объединением Станкоимпорт зарубежного электроэрозионного оборудования. Случилось так потому, что политика отдела электрофизических и электрохимических методов обработки ЭНИМСа, который возглавлял доктор технических наук А. Л. Лившиц, привела к тому, что СССР, имевший в этой области долгое время приоритет, с каждым

годом все более терял завоеванные позиции.

Используя авторитет уважаемого головного института станкостроения страны, в основу деятельности названного отдела был положен тезис: «То, что сделано другими, плохо». А раз так, то зеленая улица предоставлялась собственным разработкам, вне зависимости от их качества и новизны решения. Подтверждением сказанному может служить тот факт, что на протяжении десятилетий многие весьма важные для промышленности разработки по тем или иным причинам отклонялись, мягко говоря, без достаточных на то оснований. Так, например, ни одна из моделей прецизионных станков, разработанных в системе Министерства электронной промышленности (а их разработано к середине 1970-х гг. многие десятки), в системе Минстанкопрома не была запущена в производство.

О качестве этих станков можно судить хотя бы по тому, что они неоднократно отмечались золотыми медалями на многих зарубежных выставках и ярмарках уже в 1960-х гг. (рис. 19–20). Более того, эти работы в 1963 г. были удостоены Ленинской премии. А, как известно, Ленинские премии в области науки и техники, так же как в свое время и Сталинские, присуждались за работы, имеющие мировой приоритет.



Рис. 19. На специализированной выставке электронной техники в Будапеште. 1964 г.



Рис. 20. Электроискровая координатная установка А207.23 на юбилейной Лейпцигской ярмарке. 1965 г.

Электроискровое оборудование, выпускаемое Министерством электронной промышленности СССР, поставлялось в промышленно развитые страны (рис. 21). Оно пользовалось большим спросом и внутри страны, но его производство явно было недостаточным. Но наша промышленность такие станки могла иметь в достатке, если бы отдел ЭНИМСа не отгораживался от «чужих» разработок.



Рис. 21. Электроискровые координатные установки А207.23 (вверху) и А207.27 со встроенным титратронным генератором импульсов (внизу) с ЧПУ Olivetti на фирме

На многих всесоюзных конференциях ученые высказывались за воссоздание такого центра, каким была ЦНИЛ-Электром АН СССР. Но, увы, решение межотраслевого вопроса зависело от сотрудников ЭНИМСа, которые не поддерживали эту идею. Куда бы кто ни обращался (например, в Госкомитет по науке и технике), обязательно это предложение попадало на заключение к А.Л.Лившицу как единственному представителю единственной «специализированной» организации. Он был председателем секции электрофизических и электрохимических методов обработки Совета по машиностроению при Госкомитете по науке и технике СССР, а состав совета такой, что он обеспечивал «свое» большинство. **В результате за эту «монополию» СССР расплатился очень дорого, ибо, будучи пионером в области электроискровых технологий, оказался в числе отстающих.**

Газета ЦК КПСС «Социалистическая индустрия» (основанная в 1969 г.) в ноябре 1977 г. под рубрикой «КАК УСКОРИТЬ ВНЕДРЕНИЕ» в статье «СВОИ» и «ЧУЖИЕ» поднимала вопрос об отрицательном отношении отдела электрофизических и электрохимических методов обработки

ЭНИМСа, как головной организации станкостроения, к работам, выполняемым «чужими» организациями.

Вот мнение Е.М. Левинсона, известного учёного и практика, одного из пионеров электроискровой обработки, опубликованное в газете «Социалистическая индустрия» № 25(2627) от 10 февраля 1978 г. в статье корреспондента газеты В. Андриюшка «*Себя хвалить не сложно*»: «*За тридцать лет работы мне неоднократно приходилось сталкиваться с противодействием отдела ЭНИМСа, который возглавляет А. Лившиц, всему, что исходило не от него и его единомышленников. Интересы личные и ведомственные уже много лет сдерживают прогресс в этой области. Именно из-за них важные для народного хозяйства разработки ученых оказываются нереализованными.*»

Мысль о неиспользованных возможностях, локальном применении научных достижений, ведомственной ограниченности и о связанном с этим отставании высказывали в газете доктора технических наук Д. Васильев, Г. Мещеряков и другие. О тревожном положении с координацией работ в этой области речь шла и на расширенном заседании секции электрических методов обработки Научного совета при Госкомитете по науке и технике.

В официальном ответе в редакцию заместителя министра станкостроительной и инструментальной промышленности СССР А. Прокоповича было сказано, что Минстанкопром рассмотрел с участием руководителей технического управления и ЭНИМСа принципиальные положения, затронутые газетой, и дал соответствующие указания подчиненным НИИ об усилении контроля над объективностью принимаемых ими решений. А приложенное к письму «заключение комиссии Научно-технического совета» отвергало критику начисто, доказывая, что созданное в системе Минстанкопрома оборудование электрофизико-химической обработки отвечает высшему уровню качества, что координация работ в этой области осуществляется на должном уровне.

Однако этому противоречат отзывы с заводов: «На станке 4Д721, который по паспорту считается точным, мы ведем только грубую обработку. Мы пытались решить вопрос производства прессформ с использованием станков Минстанкопрома 4Д721 и 4Д722. Однако не достигли успеха, так как эти станки не обеспечили обещанных показателей» - пишут с Московского комбината твердых сплавов».

Комментарии излишни.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ В ВОДЕ

Одна из важнейших проблем повышения качества электроискровой обработки электродом-проволокой - оптимальный выбор материала проволоки и качество её изготовления. Кроме того, как показывают исследования, а также практика производства, на точность и качество формообразования деталей (шероховатость обработанной поверхности, её физико-механические свойства, величину образующихся микрозаусенцев) влияют длительность и интенсивность искровых разрядов, формируемых генераторами импульсов. Установлено, что эффективность искровых разрядов возрастает с уменьшением времени их запаздывания с момента возникновения импульса напряжения. Что в свою очередь обеспечивается стабильностью оптимальной величины межэлектродного расстояния. Кроме того, наиболее эффективно электроискровая обработка осуществляется в воде, что стало возможным благодаря применению новых генераторов биполярных импульсов напряжения микросекундного диапазона длительностей, исключающих протекание электрохимических процессов и позволяющих не только значительно улучшить качество обработанной поверхности, но и увеличить скорость формообразования.

Впервые электроискровая обработка электродом-проволокой $\varnothing < 40$ мкм начала применяться в конце 1953 г. для прорезания узких пазов на торцах электродов-инструментов для изготовления сеток в диафрагмах клистронов.

На рис. 22 – фотография первой в мире электроискровой установки для изготовления электродов-инструментов для электроискрового изготовления сеток с квадратными отверстиями. Перемотка проволоки с катушки с запасом проволоки (от 1500 до 4500 м) на приемную катушку диаметром 25 мм осуществляется электродвигателем СД-2 со скоростью 100–150 мм/мин. Проволока на приемной катушке равномерно раскладывается соответствующим кулачковым механизмом. Направление проволоки осуществляется двумя У-образными полированными роликами, расположенными на дне ванночки с керосином, а ее натяжение – торможением катушки с проволокой плоской пружиной.

Расстояние между роликами было выбрано минимальным с целью уменьшения влияния омического сопротивления проволоки на разрядный контур. Вертикальное перемещение заготовки обрабатываемой детали (электрода-инструмента для изготовления сеток) происходит путем микрометрической подачи микроскопа МБМ-1 с точностью отсчета 0,002 мм по нониусу или 0,01 мм по индикатору.



Рис. 22. Первая в мире электроискровая установка с электродом-проволокой \varnothing 20–40 мкм. НИИ-160, г. Фрязино, Московская область. 1954 г.

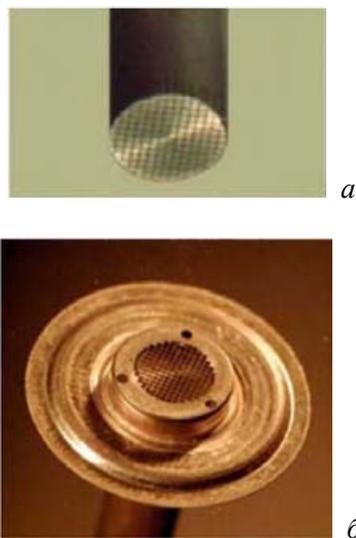


Рис. 23. Электрод \varnothing 7 мм, на торце которого прорезано 26 пазов шириной 50 мкм на глубину 2 мм (а); медная сетка с 152 отверстиями (0,45x0,45 мм) и с перемычками между ними ≤ 30 мкм (б)

На рис. 23,а представлена фотография медного электрода для изготовления сеток \varnothing 7 мм в диафрагмах клистронов. На торцевой поверхности электрода на глубину 2 мм электродом-проволокой ВА-3 \varnothing 30 мкм прорезано 26 пазов шириной 50 мкм в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Этим электродом в диафрагмах клистронов электроискровым способом «прошивались» сетки с 152 квадратными отверстиями (размером 0,45x0,45 мм) и с перемычками между ними < 30 мкм (рис. 23,б).

Зависимость величины зазора a на сторону от напряжения на электродах (U_0) линейна и для случая прорезания пазов в керосине может быть представлена формулой

$$a = 0,125 U_0.$$

Таким образом, вольфрамовой проволокой ВА-3 \varnothing 30 мкм за один проход можно прорезать пазы шириной 45–60 мкм, а проволокой \varnothing 40 мкм – шириной 55–70 мкм (для $U_0 = 60$ –120 В). Более широкие пазы прорезаются за два прохода.

В начале 1955 г. возникли еще две проблемы в изготовлении деталей электровакуумных приборов СВЧ–анодных блоков магнетронов миллиметрового диапазона длин волн и замедляющих систем ламп обратной волны, которые были решены с применением электроискрового способа формообразования тонкой проволокой (ВА-3 или МЧ).

Первые 20-резонаторные анодные блоки магнетронов из бескислородной меди МБ толщиной 3,6 мм двух типоразмеров (1) $d = 6$ мм, $D = 7,58^{+0,02}$ мм с шириной ламелей $0,4^{+0,02}$ мм, расположенных под углом $18^\circ \pm 6'$ и 2) $d = 3,6$ мм, $D = 5,02^{+0,02}$ мм с шириной ламелей $0,24^{+0,02}$ мм); были изготовлены в январе 1956 г. на экспериментальной установке ЭКУ-1, созданной на базе большого измерительного микроскопа БМИ-1. Время изготовления одного блока (без какой-либо автоматизации процесса) 1-го типа – 1,5 часа, а 2-го – 40 минут. Средняя скорость формообразования 3,6 мм²/мин. При $W_0 = 200$ мкДж.

Время электроискрового изготовления анодных блоков 2-го типа «прошивкой» составляло около 50 минут. Кроме того, для этого необходимо предварительное изготовление электрода \varnothing 5 мм электроискровым копированием профиля блока, вырезанного проволокой.

На рис. 24 – силуэт участка одного из анодных блоков магнетронов, изготовленных в марте

1956 г. Число резонаторов – 80. Они расположены равномерно под углом $4^{\circ} 30' \pm 2'$. Ширина ламелей $0,165^{+0,02}$ мм, внутренний диаметр $d = 8,4^{+0,01}$ мм, $D_1 = 10,7^{+0,01}$ мм, $D_2 = 15,2^{+0,01}$ мм, $h = 2,3^{+0,03}$ мм. Периметр контура – более 400 мм. Машинное время вырезания периметра резонатора блока – 4 часа.

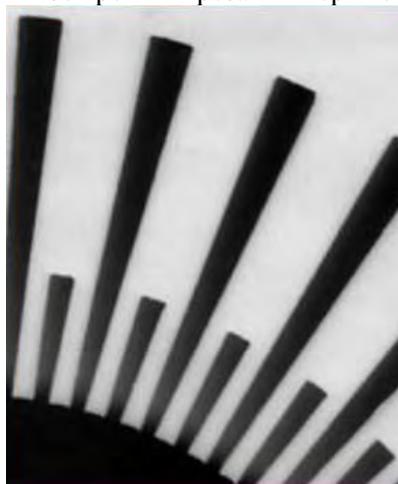


Рис. 24. Силуэт участка 80-резонаторного анодного блока магнетрона

В конце 1950-х гг. в НИИ-160 (позже ГНПП «Исток») появилась информация о применении в Японии электроискрового способа для изготовления анодных блоков магнетронов 3-миллиметрового диапазона длин волн. Это событие сделало возможной публикацию наших работ (они были начаты в начале 1950-х гг.) по исследованию возможности электроискрового изготовления деталей электровакуумных приборов (например, изготовления тонкой вольфрамовой проволокой анодных блоков магнетронов миллиметрового диапазона длин волн), которые не подлежали публикации.

Для сравнения на рис. 25 показан японский медный анодный блок магнетрона 3-миллиметрового диапазона длин волн.

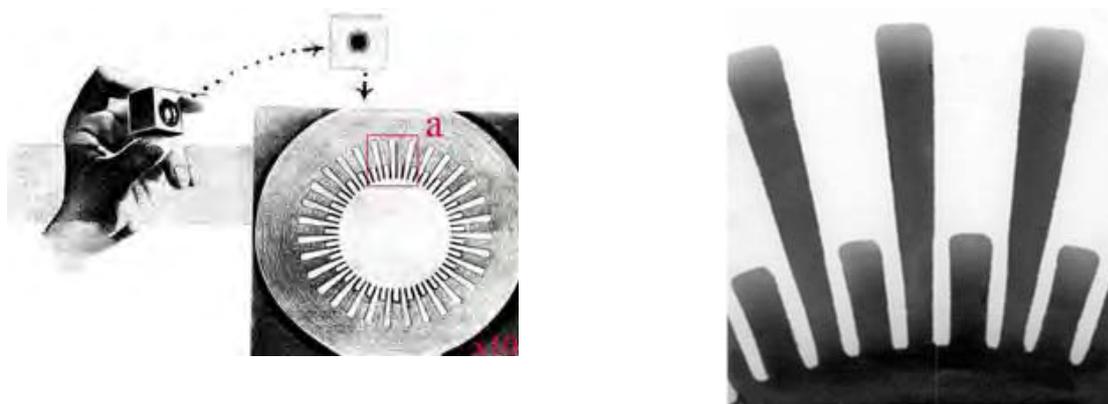


Рис. 25. Японский 62-резонаторный анодный блок, «прошитый» электроискровым способом электродом из прессованного вольфрама, пропитанного серебром, и силуэт его участка (внизу). 1957 г.

Он имеет 62 ламели шириной 0,1 мм под углом $5^{\circ} 48'$. Рядом – увеличенный силуэт его участка (а). Блок изготовлен в 1957 г. на фирме JAPAX электроискровой прошивкой профиля специальным электродом-инструментом из прессованного вольфрама, пропитанного серебром. Время изготовления одного блока – 20 мин.

Преимущества электроискрового формообразования подобных деталей электродом-проволокой $\varnothing < 40$ мкм по сравнению с электроискровой «прошивкой» электродом-инструментом были очевидны, тем более в начале 1960-х гг., в связи с появившейся возможностью применения генераторов биполярных импульсов напряжения, которые обеспечили использование в качестве межэлектродной среды обычной воды. Наличие импульсных трансформаторов исключало при этом опасность поражения операторов электротоком. Появившиеся несколько позже компьютерные системы управления позволяли практически автоматизировать процесс электроискрового формообразования деталей, обеспечивая практическое отсутствие «стружки».

Одновременно с освоением технологии электроискрового изготовления анодных блоков магнетронов проводилась также отработка технологии изготовления замедляющих систем ламп обрат-

ной волны (ЗС ЛОВ) – сантиметрового, миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн. Вначале электродом-проволокой \varnothing 30–60 мкм, а затем и меньших диаметров (от 15 до 6 мкм).

На рис. 26 представлены образцы ЗС ЛОВ: а) силуэт участка замедляющей системы из хромистой меди толщиной 1 мм, вырезанной вольфрамовой проволокой ВА-3 \varnothing 40 мкм. Она имеет 153 штыря шириной 0,4 мм, высотой 5 мм с шагом 0,8 мм. Ширина ЗС 6 мм, длина 123 мм. Средняя скорость формообразования 6 мм²/мин при $W_0 = 500$ мкДж; б) часть отхода, оставшегося после вырезания системы за два прохода.



а



б

Рис. 26. Силуэт участка ЗС из хромистой меди (а) и отход, оставшийся после вырезания системы (б)

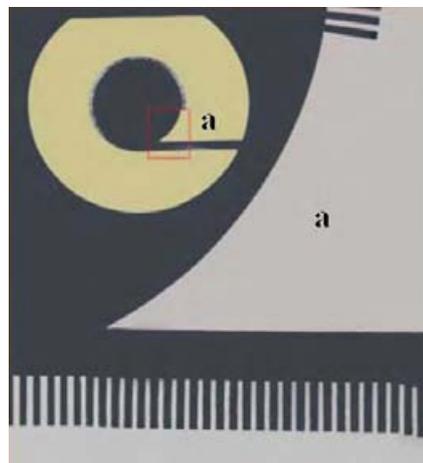


Рис. 27. Медная замедляющая система кольцевого типа и её участок

При изготовлении ажурных элементов замедляющих систем появилась необходимость в снятии внутренних напряжений, которые возникают в заготовках при их изготовлении традиционными способами – отжигом при определенной температуре. Эта необходимость возникла в связи с тем, что при формообразовании штырей ЗС происходило их отклонение в ту или другую сторону за счет имеющихся напряжений в металле, возникших либо при его прокатке, либо после механической обработки заготовки.

На рис. 27 – медная замедляющая система кольцевого типа толщиной 2,5 мм и её участок. Штыри: ширина 0,1 мм, высота 0,9 мм, шаг расположения 0,15 мм.

Вместе с этим при электроискровой обработке в керосине происходит не только интенсивное засорение зоны обработки продуктами его разложения, но и загрязнение образованных поверхностей. Однако химическая очистка поверхностей изготавливаемых деталей (сеток и замедляющих систем), загрязненных продуктами разложения керосина, сопровождалась существенными трудностями и была связана с искажением форм. При этом средняя производительность процесса при обработке в керосине проволокой ВА-3 \varnothing 30–40 мкм меди составляла 4–6 мм²/мин, твердого сплава ВК-11 – 2,2 мм²/мин, вольфрама – 1,6 мм²/мин.

Как оказалось, осуществляя электроискровую обработку в таких жидкостях, как этиловый спирт, дистиллированная или промышленная вода и их смесь с этиловым спиртом, можно не только уменьшить загрязнения, но и повысить скорость обработки меди и её сплавов, а также тугоплавких металлов и сплавов.

На рис. 28 представлен график зависимости скорости обработки S (мм²/мин) вольфрама ВТ-15 от процентного содержания этилового спирта в воде. Максимальная скорость обработки электродом-проволокой ВА-3 \varnothing 30 мкм $S \approx 8$ мм²/мин соответствует содержанию спирта в воде в пределах 30–40 %. Это больше почти в 5 раз по сравнению с обработкой в керосине и в 3 раза, чем в воде и этиловом спирте.

Авторы электроискрового способа еще в своих ранних работах сформулировали требования к межэлектродной среде так:

«Практически далеко не безразличен выбор состава жидкой среды, применяемой при размерной электроискровой обработке металлов. Жидкость, являющаяся межэлектродной средой, должна удовлетворять следующим основным требованиям: иметь незначительную вязкость; не выделять в процессе работы ядовитых паров и газов; быть не горючей, не дорогой, химически нейтральной к материалу электродов и, наконец, не терять во время работы своих основных свойств.»

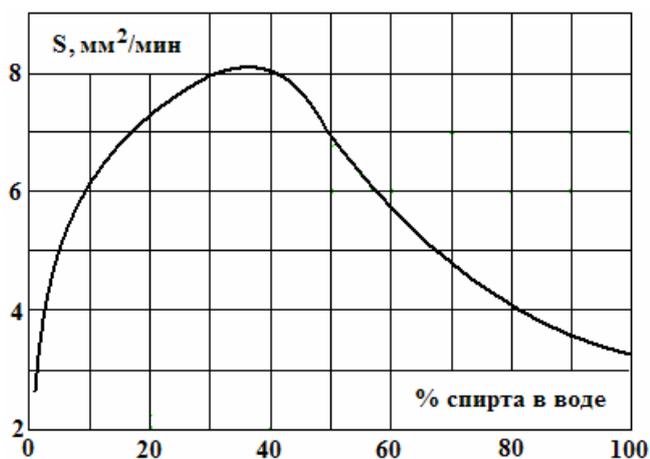


Рис. 28. График зависимости скорости обработки вольфрама VT-15 (S , мм²/мин) от процентного содержания этилового спирта в воде. Электрод-проволока ВА-3 Ø 30 мкм

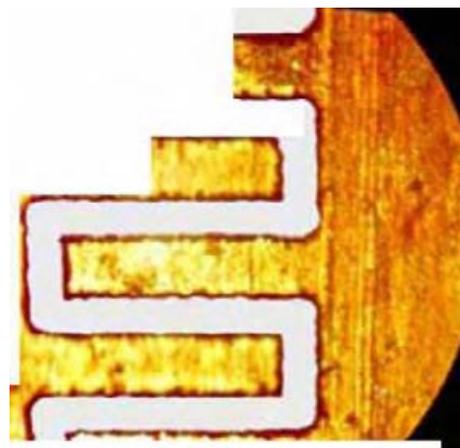


Рис. 29. Участок замедляющей системы ЛОВ, изготовленной электродом-проволокой Ø 15 мкм. Паз 18^{+2} мкм, штыри: ширина 36^{-2} мкм, высота 0,16 мм

Очевидно, что, за исключением особых случаев, все эти свойства в самой большой степени имеет обычная промышленная вода. Она и практически была бы наилучшей межэлектродной средой, если бы были созданы генераторы электрических импульсов, толчком подающие на электроды строго дозированную порцию энергии в заданные интервалы времени, оставляя всё прочее время электроды без напряжения.

Однако поскольку до сих пор такие генераторы электрических импульсов не применяются и, следовательно, электроды во время работы находятся под напряжением, то **проводимость воды отрицательно сказывается на процессе...**

Таковыми генераторами электрических импульсов стали новые транзисторные и тиратронные генераторы биполярных импульсов напряжения, созданные в начале 1960-х гг. в электронной промышленности СССР. Благодаря этому была обеспечена возможность электроискрового прецизионного изготовления деталей в обычной воде, что позволило существенно повысить производительность процесса, его точность, а также улучшить качество обрабатываемой поверхности и условия труда.

От соотношения амплитуд и длительностей импульсов прямой и обратной полярности зависят эффективность процесса и качество изготовления деталей.

Электроискровое изготовление прецизионных деталей в воде с применением генераторов, формирующих униполярные импульсы напряжения даже микросекундной длительности, невозможно без наличия электрохимических процессов и существенного уменьшения точности и качества изготовления деталей.

Создание генераторов биполярных импульсов напряжения микросекундной длительности строго определенной формы позволило практически исключить нежелательные электрохимические процессы.

Отсюда вытекает важная особенность электроискровой прецизионной обработки материалов - использование биполярных импульсов напряжения микросекундной длительности со строго определенными отношениями амплитуд и длительностей импульсов прямой и обратной полярности, что позволяет вести обработку в обычной промышленной воде.

Применение нового электроискрового оборудования с генераторами биполярных импульсов напряжения микросекундной длительности для изготовления ЗС ЛОВ миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн позволило:

- увеличить выход ЗС в два раза;
- снизить высокочастотные потери в системах;
- создать новые низковольтные широкополосные ЛОВ в средней и коротковолновой частях субмиллиметрового диапазона длин волн с характеристиками, превышающими параметры лучших образцов французской фирмы С8Р;
- создать высококачественные, более надежные и долговечные СВЧ приборы с меньшими габаритами и весом и более коротковолновые ЛОВ;
- упростить технологию изготовления низкоомных полупроводниковых материалов, умень-

шив их отходы и обеспечив хорошее качество поверхности, ликвидировав риски, сколы, царапины и механические вкрапления инородных материалов, сделав ненужным глубокое травление кристаллов, а также применение абразивной суспензии и мыльных растворов.

Условия, обеспечивающие электроискровое изготовление деталей в обычной воде

В связи с широким применением электроискрового прецизионного оборудования, оснащенного компьютерными ЧПУ-генераторами, особый интерес для создателей и потребителей этой техники представляет информация о возможности электроискрового изготовления высокоточных деталей в обычной воде из водопровода без ее дополнительной очистки и деионизации.

Тем более что в публикациях зарубежных фирм конца 1990-х гг. появилось утверждение, что точная обработка должна осуществляться в углеводородной жидкости (масле или керосине), а в воде могут производиться только менее точные работы. Более того, по мнению некоторых специалистов, *"вырезка контуров с малыми геометрическими элементами проволокой $\varnothing < 0,1$ мм в воде – технологическая профанация"*. Это утверждение обосновывалось тем, что боковой зазор при резании в воде значительно больше, чем в углеводородной жидкости, и обработка в воде сопровождается возникающими электрохимическими процессами, приводящими к растравливанию обрабатываемых поверхностей и потере точности обработки. Последнее утверждение справедливо при использовании КС-генераторов и генераторов, формирующих импульсы с постоянной составляющей напряжения на электродах. Мнение же о невозможности проведения точных работ в воде вызывает удивление, поскольку в электронной промышленности СССР еще 45 лет назад были разработаны новые методы изготовления особо точных деталей электроискровым способом, в том числе и в воде. Среди них способ изготовления деталей электродом-проволокой $\varnothing < 0,05$ мм и метод последовательного копирования профиля электрода-инструмента. В 1963 г. за разработку этих методов была присуждена Ленинская премия, закрепившая мировой приоритет Советского Союза в создании электроискровых особо точных методов обработки материалов.

Ещё в конце 1950-х гг. для изготовления ЗС ЛОВ субмиллиметрового диапазона длин волн электроискровая обработка начала осуществляться в дистиллированной воде (рис. 29). Причем это было не экзотическое изготовление деталей, а их серийное производство. Количество деталей, изготавливаемых ежегодно в 1961–1962 гг. одним оператором, превышало 1000 шт. Из них более 25% ЗС изготавливалось электродом-проволокой $\varnothing 15$ мкм, а 40% – проволокой $\varnothing 30$ –40 мкм. При этом в зависимости от режима обработки (напряжения на электродах U_0) межэлектродный зазор составлял 1–5 мкм. Для изготовления особо миниатюрных ЗС электронных приборов с 1960 г. стала применяться даже вольфрамовая проволока ВА-3 $\varnothing 6$ –10 мкм. В зависимости от режима обработки (напряжения на электродах U_0) межэлектродный зазор составлял 1–2 мкм, а ширина пазов, прорезаемых такой проволокой в пакетах тонких пластин, – от 8 до 12 мкм.

Отметим, что минимальный диаметр проволоки, применяемой на зарубежном электроискровом оборудовании, – 0,030 мм. При этом ширина паза составляет ≥ 38 мкм, а при четырех проходах – 48 мкм. Таким образом, минимальный зазор на сторону составляет ≥ 4 –9 мкм.

В электронной промышленности при электроискровом изготовлении разнообразных деталей ЭП в качестве межэлектродной среды используется преимущественно чистая вода (дистиллированная или питьевая). Она имеет преимущества перед другими жидкостями не только благодаря меньшей стоимости, невоспламеняемости, но и потому, что при электроискровой обработке в воде нет загрязнения зоны обработки от разложения среды в канале разряда. При этом повышается производительность процесса и улучшается качество обработанной поверхности.

Однако в случае применения генераторов, формирующих холостые импульсы напряжения с постоянной составляющей, то есть униполярные импульсы, наблюдается электролиз воды. При этом появляются и нежелательные электрохимические явления на электродах.

Неуправляемый электрохимический процесс растравливания обрабатываемой поверхности, приводит к потере точности, повышению коррозии и окислению деталей. Становится невозможной обработка молибдена и его сплавов в связи с появлением на их поверхностях диэлектрической окисной пленки.

Для устранения этих недостатков, исходя из общих соображений, известных в электрохимии, в СССР был предложен способ электроискровой обработки с устранением нежелательных электрохимических явлений за счет использования биполярных импульсов напряжения, у которых среднее напряжение последовательности положительных импульсов равно среднему напряжению последовательности отрицательных импульсов.

Позже установлено, что для устранения нежелательных электрохимических явлений при электроискровой обработке в воде достаточно, чтобы последовательность холостых импульсов на-

пряжения не содержала постоянной составляющей. При возникновении искрового разряда между электродами напряжение на межэлектродном промежутке резко уменьшается, весь ток проходит через канал пробоя и концентрируется в рабочей зоне, поэтому электрохимические процессы в окружающей среде практически исчезают. А для обеспечения направленности электроискрового процесса у последовательности биполярных импульсов напряжения амплитуда положительного импульса должна быть значительно больше амплитуды отрицательного.

В этом случае вероятность пробоя промежутка за счет действия положительного импульса напряжения, который прикладывается к детали, значительно больше, чем у отрицательных импульсов. Следовательно, больше и частота следования «прямых» рабочих импульсов тока, за счет которых обеспечивается удаление материала из лунки. Под действием отрицательных импульсов напряжения могут происходить «обратный» пробой среды и образование «обратных» рабочих импульсов тока, являющихся причиной дополнительного износа электрода-инструмента (ЭИ).

Для получения обработанной поверхности с шероховатостью $R_a < 1$ мкм оптимальными являются те токовые импульсы, которые не только удаляют максимальное количество материала за один импульс, но и обеспечивают его удаление в мелкодисперсной фазе, а формируемая поверхность покрывается лунками сферической формы без застывших выплесков жидкого металла. Это возможно при удалении материала в парообразной форме. При уменьшении длительности импульсов тока увеличивается доля энергии импульса, идущая на перегрев и испарение вещества. Как следует из измерений длительностей токовых импульсов в режимах прецизионной обработки при использовании КС схемы с амплитудой импульсов тока до 100–200 А, тиратронного генератора с амплитудой тока до 600–700 А, транзисторного формирователя с амплитудой до 100 А, длительность импульсов в режимах прецизионной обработки не превышает 3–4 мкс.

Анализируя особенности обработки в воде, отметим еще одно важное обстоятельство. Хотя сопротивление воды значительно меньше сопротивления таких жидкостей, как масло или керосин, однако оно составляет величину $\sim 10^4 - 10^6$ Ом·см, что во много раз больше внутреннего сопротивления источника рабочих импульсов. Следовательно, величина тока, протекающего через межэлектродный промежуток в холостом режиме работы, определяется не внутренним сопротивлением источника рабочих токовых импульсов, как при пробое промежутка, а значительным сопротивлением среды.

Для прецизионной электроискровой обработки в воде наиболее приемлемыми по форме холостыми импульсами напряжения являются биполярные импульсы прямоугольной формы, не содержащие постоянной составляющей, у которых амплитуда положительного импульса не менее чем в два раза больше амплитуды отрицательного импульса напряжения, а длительность находится в пределах 3–4 мкс.



Надпись «Прецизионная электроискровая обработка» вырезана в пластине ВК-6 толщиной 6 мм проволокой ВА-3 Ø 0,04 мм. Кадр из фильма 1961 г.

РОЛЬ ЭЛЕКТРОННОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ПРЕЦИЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Еще в годы Великой Отечественной войны началось становление отечественной СВЧ электронной отрасли в составе Наркомата электропромышленности СССР. Ее развитие началось с 1943 г. благодаря НИИ-160 и опытному заводу (созданному на базе фрязинского завода "Радиолампа»), ос-

новным предназначением которого были разработка и выпуск электронных приборов для радиолокационной техники.

С этим событием совпала официальная регистрация выдающегося открытия XX столетия – электроискровой обработки материалов. Символично, что именно фрязинскому НИИ-160 предстояло практически стать ведущей организацией в стране по дальнейшему совершенствованию электроискрового способа обработки материалов, открыть новые горизонты его использования.

Проведенными в течение 1954–1958 гг. в ГС НИИ ГК СМ СССР по радиоэлектронике (НИИ-160) исследованиями была доказана не только возможность, но и целесообразность применения электроискрового способа для изготовления особо точных деталей электровакуумных приборов СВЧ и оригинального инструмента. Было показано, что *ряд электронных СВЧ-приборов невозможно сделать без применения новых методов электроискрового изготовления особо точных деталей.*

Лаборатория электроискровой обработки материалов, созданная в составе ОКБМ НИИ-160 12 марта 1957 г., была преобразована в 1960 г. в отдел электрических методов. В результате их деятельности уже в первое пятилетие появились:

- новые методы изготовления особо точных деталей;
- первые в мире электроискровые установки для изготовления деталей проволокой (\varnothing 30–40 мкм);
- электромеханические системы цифрового программного управления для изготовления замедляющих систем ламп обратной волны (ЛОВ) сантиметрового, миллиметрового и субмиллиметрового диапазона длин волн;
- генераторы биполярных импульсов, позволившие осуществлять изготовление деталей вместо керосина в обычной воде из водопровода без её очистки и деионизации;
- электро- и фотокопировальные системы изготовления деталей сложного профиля по копиру-шаблону и увеличенному чертежу.

Началось широкое применение способа для изготовления особо точных деталей в радиоэлектронной и других оборонных отраслях промышленности. Электронная промышленность к началу 1960-х гг. стала не только самым активным пользователем нового способа обработки материалов. Она была вынуждена сама начать проведение научно-исследовательских и конструкторско-технологических работ по созданию оригинальных методов электроискрового формообразования и принципиально нового электроискрового оборудования и осуществлять его изготовление в необходимых для отрасли количествах, эффективно противодействуя негативному отношению к электроискровому способу ЭНИМС – головной организации Минстанкопрома.

О достижениях электроискровых технологий в изготовлении особо точных деталей и разработке соответствующего оборудования для нужд радиоэлектронной промышленности, а также влиянии их на развитие зарубежных аналогов, достижениях электроискровых технологий в СССР в 1960-х гг. было достаточно подробно описано в международном информационно-техническом журнале «ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ» для профессионалов (СЕРИЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКА) В НОМЕРАХ 2-6/2006² и др.

В аннотации к публикации статьи "Из истории электроискровой обработки" (в №1 (85) за 2007 г.) отмечалось: *«Первые десятилетия развития электроискровых технологий практически все нынешние мировые лидеры только тем и занимались, что изучали советские достижения и пытались их копировать в своих установках. Главных причин ведущего положения СССР было, пожалуй, две: сама технология зародилась именно в этой стране и была применена для изготовления передовых систем вооружения».*

Здесь уместно проанализировать причины торможения развития электроискрового способа в СССР, особенно в новой России, и ответить на вопрос, почему по-настоящему «своей» идея электроискровой обработки оказалась именно за рубежом (прежде всего в Японии), почему Советский Союз и его правопреемница Российская Федерация потеряли лидерство в электроискровых технологиях?

К концу 1970-х – началу 1980-х гг. такого вопроса еще не возникало.

Впервые электроискровые установки для изготовления деталей электродом-проволокой ВА-3

² *Международный информационно-технический журнал «оборудование и инструмент» для профессионалов (серия металлообработка) № 2 (75), с.34–42; 3 (77), с.44–47; 4 (79), с.6–10; 5 (79), с. 26–33; 6 (83) с.28–36 /2006 г.*

Ø 0,03–0,04 мм были показаны в 1960 г. за рубежом (в ЧССР и США) на стендах ЦНИЛ-Электром АН СССР. Вместе с установками экспонировались образцы деталей приборов и инструмента, изделия прикладного искусства, которые демонстрировали возможности новых электроискровых технологий, созданных в НИИ-160, директором которого с 1953 по 1961 г. был М.М. Федоров (рис. 30). Он дал зеленую улицу развитию электроискровой прецизионной обработки материалов не только в возглавляемом им институте, но и в радиоэлектронной промышленности, а также способствовал распространению её в смежных отраслях. Ему по заслугам было присвоено звание лауреата Ленинской премии 1963 г. за разработку новых методов изготовления особо точных деталей. Это было «золотое» время для развития электроискровых технологий.



Рис. 30. М.М. Федоров, лауреат Ленинской премии, директор НИИ-160 в 1953–1961 гг. Портрет вырезан электродом-проволокой в миллиметровой пластине. 1978 г.

В середине 60-х гг. по указанию министра электронной промышленности СССР А.И. Шокина была начата демонстрация достижений предприятий электронной промышленности (в том числе и электроискрового прецизионного оборудования, созданного НИИЭТ) за рубежом:

- В ноябре 1964 г. А207.23 и А207.13/20 – в ВНР (на специализированной выставке электронной техники);
- В марте 1965 г. А207.23 и А207.13/20 – на юбилейной Лейпцигской ярмарке;
- В 1966 г. А207.23 и А207.13 – в Италии и Японии; А207.23 в СФРЮ – в г. Загребе; А207.23 и А207.30 – в ЧССР на международной ярмарке в г. Брно;
- В 1967 г. А207.23 – в Канаде на «ЭКСПО-67» (в течение полугода);
- В 1970 г. А207.23 с пультом ЧПУ – в Японии на «ЭКСПО-70».

Электроискровые установки, созданные в НИИ-160 в 1960 г., превосходя мировой уровень, награждались золотыми медалями на ярмарках – в г. Лейпциге и в г. Загребе, а также многократно на ВДНХ. Успешная демонстрация за рубежом электроискрового прецизионного оборудования стимулировала появление в апреле 1970 г. приказа министра электронной промышленности СССР А.И. Шокина о создании Специального конструкторско-технологического отделения (СКТО) в составе НИИЭТ (НИИ Электронной техники). С целью создания условий для интенсивного развития электроискрового направления приказом была предусмотрена передача строящегося рядом с НИИ-160 корпуса для размещения СКТО с соответствующими лабораториями, конструкторским бюро, электроискровым опытно-производственным участком и машиностроительным цехом.

Однако, как и с решением Бюро машиностроения Совета Министров СССР от 11 ноября 1947 г. о создании мощной научно-исследовательской организации по дальнейшему развитию работ, связанных с электроискровой обработкой материалов, которое так и не было выполнено, история повторилась. Противодействующие этому процессу новые влиятельные силы, как и более 20 лет назад в случае с ЦНИЛ-Электром, сделали все возможное, чтобы этот приказ «замотать» и фактически не выполнить.

После завершения строительства корпуса № 16 для размещения СКТО в него были переведены: машиностроительный цех, КБ электровакуумного откачного оборудования, БТИ, планово-экономический отдел, другие службы НПК СТМ-6 (не имеющие непосредственного отношения к электроискровой обработке материалов) и только частично – отдел 62 электрических методов обработки материалов (КБ и лаборатории). Электроискровой опытно-производственный участок (рис. 31) – полигон отдела для отработки электроискровых технологий и связующее звено с разработчиками электронных приборов – был почти полностью передан в один из цехов завода «Рений» НИИ «Исток».



а



б

Рис. 31. Электроискровой опытно-производственный участок отдела 62. В 1961 г. (а) и 1962 г. (б)

А на опытно-производственном участке отдела не только обрабатывались технологические процессы изготовления деталей электронных приборов, но и осуществлялось изготовление партий деталей, сложнопрофильного инструмента и разнообразных сувениров для рекламы новых электроискровых методов формообразования (рис. 32–33).

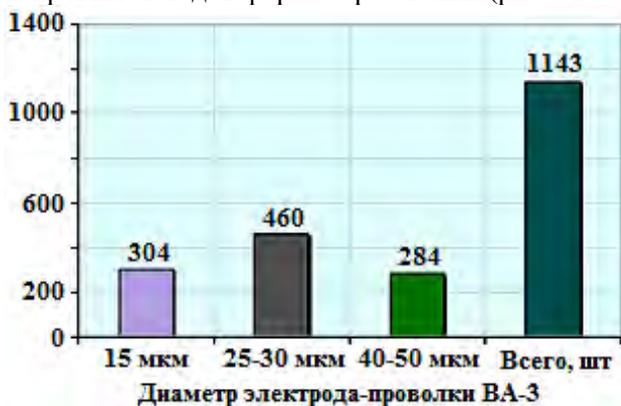


Рис. 32. Количество ЗС ЛОВ, изготовленных в 1962г. электродом-проволокой ВА-3 Ø15–50 мкм. Всего 1143 шт.

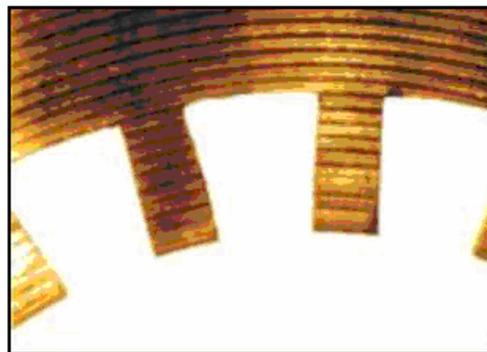


Рис. 33. Фрагмент 10-резонаторного блока. $D = 6,7$ мм, $d = 5,4$ мм. Ламели: - 0,4 мм, длина - 0,82 мм

Было сделано также всё, чтобы начатое с итальянской фирмой “Оливетти” сотрудничество через В/О Техмашэкспорт, и В/О Электронзаг-ранпоставка, и итальянскую фирму СТАНИТАЛЬ-ЯНА по созданию электроискровых комплексов с системами ЧПУ фирмы Olivetti (для широкого применения) было затянуто и практически сведено на нет из-за обилия посредников. Кроме того, всячески тормозилось изготовление установок на экспорт. Предложение фирмы СТАНИТАЛЬ-ЯНА о создании постоянно действующих групп специалистов по продвижению советского электроискрового прецизионного оборудования, созданного в электронной промышленности, на западный рынок не нашло поддержки.

Кроме того, усилия отечественных специалистов по созданию достойных систем программного управления для электроискрового оборудования не увенчались успехом, а предложение фирмы РАТЧИС, которое она сделала в конце 1980 г., оснащать наши установки системами ЧПУ, созданными фирмой, было, к сожалению, проигнорировано. Хотя фирма не возражала против поставки наших комплексов с её СЧПУ на экспорт и гарантировала, при необходимости, их сервисное обслуживание. Возможно, здесь определенную роль сыграло чувство чести мундира чиновников МЭП СССР под влиянием мнения специалистов, разрабатывающих отечественные системы управления. А к этому времени, как известно, фирма FANUC уже выпускала ежемесячно не менее 100 электроискровых проволочно-вырезных установок, оснащенных современными 4-координатными системами ЧПУ. Подобных систем в электронной промышленности, к сожалению, не было, а фирма Olivetti, несмотря на её старание, таких систем для нашего электроискрового оборудования еще не создала.

ТОРМОЖЕНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В 1990-х гг.

До конца 1980-х гг. ежегодный выпуск электроискрового оборудования машиностроительным цехом НПК-СТМ НИИ «Исток» еще возрастал и достиг 185 единиц (рис. 34).

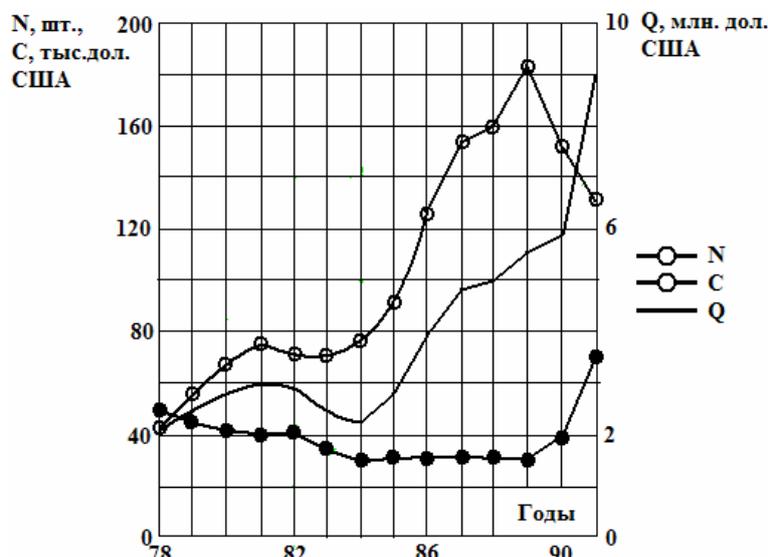


Рис. 34. Выпуск электроискровых станков (N , шт.), средняя их стоимость (C , тыс. \$) и объемы производства (Q , млн \$)

Однако после 1989 г. он стал снижаться в среднем на 20% ежегодно – в стране началось резкое торможение развития предприятий военно-промышленного комплекса, а в связи с этим и уменьшение финансирования работ в области электроискровых технологий. Это привело фактически к прекращению научно-исследовательских работ по совершенствованию этих технологий. Особенно в связи с ликвидацией оборонных министерств, в том числе Министерства электронной промышленности, и, как следствие, – с прекращением финансирования комплексно-целевой программы «Электроника – Искра».

Вместе с этим, к сожалению, так и не были завершены исследования по разработке электроискровых технологий по изготовлению большого количества (от десятков до сотен) малых отверстий (диаметром от 0,4 до 0,2–0,1 мм) в пролетных каналах многолучевых электронных приборов (рис. 35 и 36)³.

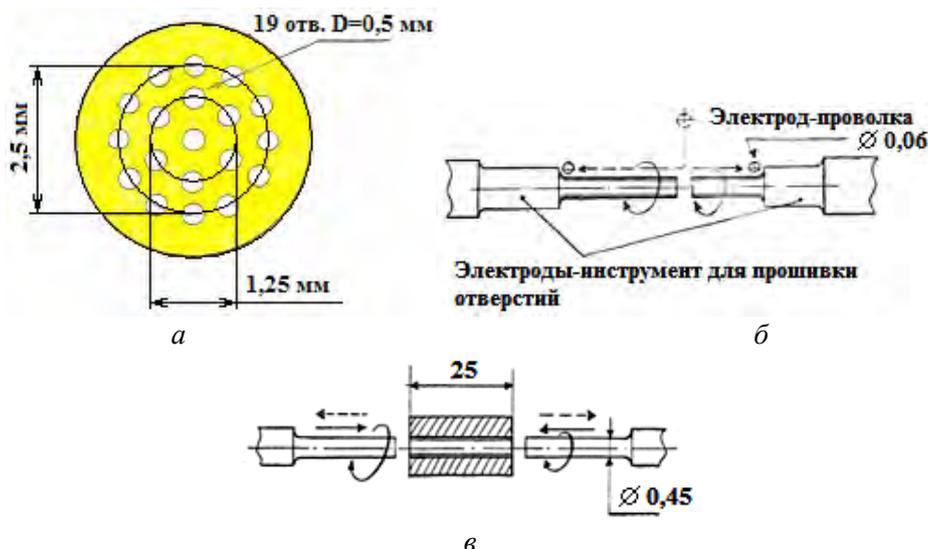


Рис. 35. Сечение 19-пролетных каналов МЛП СВЧ приборов. $L=25$ мм, Φ 0,5 мм (а), схемы обточки электродов (б) и прошивки ими каналов с двух сторон (в)

³ Об одном из вариантов этих технологий см. в международном информационно-техническом журнале «ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ» для профессионалов (СЕРИЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКА) №6/2006.

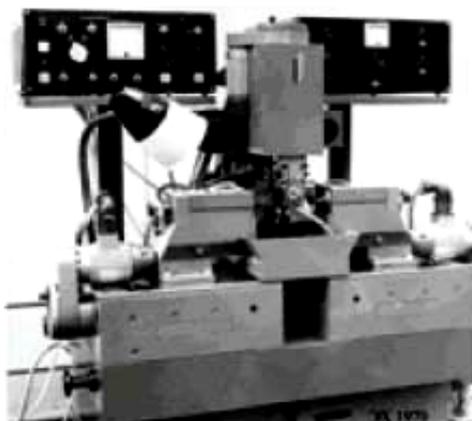


Рис. 36. Комбинированный электроискровой комплекс ЭХ 1970 с СЧПУ 15ИПЧ-3-001 для изготовления пролетных каналов малого диаметра многолучевых СВЧ приборов

Из-за прекращения этих работ, от разработки конструкций перспективных многолучевых приборов с числом пролетных каналов более 50-100, разработчикам МЛП пришлось, к сожалению, отказаться от прогрессивной технологии и смириться с необходимостью применения сборно-паянных конструкций блоков многолучевых приборов и технологией их изготовления середины прошлого столетия.

В конце 1992-го г. работы по совершенствованию электроискровых технологий в НПО «Исток» были фактически прекращены, а в начале 2000-х гг. отдел электроискровой обработки материалов в ФГУП «НПП «ИСТОК» (теперь Российского агентства по системам управления в наукограде Фрязино) прекратил свое существование.

Между тем во Фрязино появилось ООО «НПК «Дельта-Тест», созданное «новыми русскими-бизнесменами», которое по имеющейся рекламе занимается производством электроэрозионного оборудования.

Однако то, что это производство базируется на разработках электроискрового оборудования ГНПП «Исток», умалчивается. Редакция журнала⁴, к сожалению, поторопилась с публикацией анонимной статьи «Новые электроэрозионные станки «АРТА»: произведено в России», разбив продолжение статьи «Из истории электроискровой обработки» на две части и перенеся ее продолжение в следующий номер журнала, чем была нарушена целостность и ценность этой публикации. В рекламной же публикации о станках АРТА нет главного - ссылки на то, что базовые станочные модули были разработаны еще в начале 70-х гг. в НИИЭТ – НИИ «Исток» МЭП СССР (сейчас ФГУП «НПП «ИСТОК»).

На рис. 37–38 сравниваются фотографии электроискровых комплексов А207.79 и А207.93М НПО «Исток» со станками АРТА. Из приведенных фотографий видно явное заимствование стиля электроискрового прецизионного оборудования, созданного НПО «Исток». Этот стиль был зарегистрирован еще в 1970-х гг. в свидетельствах на промышленные образцы и описан в диссертации Н.М. Денисова на соискание ученой степени кандидата искусствоведения.

К сожалению, в публикации (в журнале) есть только второстепенные ссылки, такие как:

- система ЧПУ АРТА-Х.7 создана на базе промышленных компьютеров фирмы Advantech;
- новый узел перемотки/натяжения – на базе двигателя постоянного тока (тайваньского производства) и порошковой тормозной муфты (сделанной в США);
- станция водоподготовки – на базе насосов фирмы Grundfos...

Что касается возможности работы с использованием обычной воды без её деионизации, давно известно и было впервые осуществлено еще в 1960 г. и используется на электроискровом оборудовании НИИ «Исток», на котором обработка осуществляется без растравливания кромок, а оборудование не требует защиты операторов от поражения электротоком и экологически безопасно.

⁴ *Международный информационно-технический журнал «ОБОРУДОВАНИЕ И ИНСТРУМЕНТ» для профессионалов (СЕРИЯ МЕТАЛЛООБРАБОТКА) № 6/2006 (см. № 3 (77) 2006 г., с. 48–49).*



а



б

Рис.37. Электроискровой комплекс А207.79 НПО «ИСТОК» (а) и станок АРТА 320 ООО «ДЕЛЬТА-ТЕСТ» (б)



а



б

Рис. 38. Электроискровой комплекс «Элмур 5-200» модели А207.93М со встроенным генератором импульсов и управлением по пяти осям СЧПУ на базе компьютера (а) и станок А207.86 НПО «Исток» с системой ЧПУ «Арта-2.7» и генератором «Арта-3М» (б)

Оригинальные конструкции исполнительных механизмов (которые упоминаются в этой публикации) – безлюфтовые пары «винт-гайка», V-образные направляющие с крестовым расположением роликов и т.п. «новшества» – также используются уже десятилетия на станочных модулях НИИ «Исток», на которых была предусмотрена и установка в случае необходимости оптических линеек и алмазных направляющих взамен керамических. Увеличение же координатных перемещений по осям никогда не представляло трудностей, а для некомпетентных руководителей всегда было способом отвлечения конструкторских сил от действительно важных разработок.

Достоинство же генератора АРТА-3М-5 на базе MOS-транзисторов – высокая производительность *"даже при работе в обыкновенной водопроводной воде — до 80-90 мм²/мин по стали"* – не впечатляет без указания достигнутой при этом шероховатости обработанной поверхности, а также без упоминания диаметра электрода-проволоки и толщины обрабатываемой детали. Удивление вызывает также значительная шероховатость поверхности (примерно от 17 до 4% ширины пазов) при применении тонких проволок (Ø 12–50 мкм).

Эту публикацию о «новых» станках АРТА было бы целесообразнее поместить позже, например в №6(83) 2006, тогда читатели журнала могли бы сравнить ее с публикацией об электроискровых комплексах нового поколения НИИ «Исток» (опубликованной в №6(83) 2006 на с. 28–36), чтобы убедиться в справедливости вышесказанного.

К сожалению, редакция сопроводила публикацию об «успехах» ООО Дельта-Тест предисловием, которое вызывает удивление, так как утверждение, что **"электроэрозионное оборудование серии АРТА, создаваемое российским предприятием «Дельта-Тест», вполне способно конкурировать с западными аналогами"**. Это не соответствует действительности, так как на вновь создаваемых станках АРТА используются ШВП, применяемые на аналогичном оборудовании большинством производителей электроэрозионных машин, которые существенно отстают от фирмы Sodick – мирового лидера в области электроискрового оборудования. Здесь ООО «Дельта-Тест» сделало шаг назад в «совершенствовании» электроискрового оборудования НИИ «Исток», на котором использовались оригинальные безлюфтовые винтовые пары, обеспечивающие достаточную точность позиционирова-

ния при изготовлении особо точных деталей электронных приборов, но никогда не применялись ШВП!

Кроме того, для проведения научно-исследовательских работ по совершенствованию электроискровых технологий в ООО «Дельта-Тест», как нам известно, нет соответствующих специалистов. С этим связан и применяемый термин «электроэрозионные» вместо «электроискровой», наиболее точно отражающий суть происходящих процессов.

КОГДА И КАК ЯПОНЦЫ И ШВЕЙЦАРЦЫ СТАЛИ ОБГОНЯТЬ СССР В ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Однозначно ответить на вопрос, когда и как японские и швейцарские фирмы стали обгонять СССР (и успели ли обогнать его?) в электроискровых технологиях, нельзя. Этот вопрос очень многогранный, так как включает в себя научные основы способа, разнообразные методики исследования этого чрезвычайно сложного процесса, методы формообразования поверхностей, разнообразные конструкции электроискрового оборудования, его элементов, многочисленных устройств и приспособлений, областей применения этого процесса и многое другое. Это задача отдельного исследования.

Однозначно утверждать об отставании СССР в электроискровых технологиях нет оснований, поскольку многие из тех идей, которые появились в СССР в этой области, еще не были реализованы полностью, а в настоящее время заморожены.

За рубежом до сих пор еще не полностью реализованы возможности электроискровой обработки материалов с использованием в качестве межэлектродной среды обычной воды, в том числе и из водопровода. И не только при изготовлении деталей электродом-проволокой, но и при изготовлении деталей методами копирования профиля электрода-инструмента. Недооценивается зарубежными фирмами также эффективность применения тонких проволок для электроискрового формообразования.

Отставание СССР в электроискровом формообразовании сложнопрофильных деталей проявилось к середине 1970-х гг. не в области электроискровых технологий, а в глобальном отставании страны в процессах компьютеризации производств. Это отставание в последующем так и не удалось полностью ликвидировать из-за начавшейся перестройки народного хозяйства, а главное, из-за отсутствия в стране соответствующей мощной научно-производственной организации, создать которую не хватило жизни изобретателям способа, а также настойчивости, сил и финансовых возможностей их соратников.

Немаловажную роль в возникшем отставании СССР в развитии электроискровых технологий играли и вопросы финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

Так, например, только на исследования (разработки проходят отдельной статьей) одна из ведущих японских фирм ежегодно тратит более 3,5 млн долларов. А на пяти заводах в Японии, в техническом центре и администрации фирмы работает почти 900 человек. Для сравнения, отделу электроискровой обработки материалов НПО «Исток», численность которого вместе с опытно-производственным участком в лучшие времена не превышала 100 человек, на исследования и разработки выделялось, по крайней мере, на порядок меньшие суммы. А хотя бы одного современного завода, выпускавшего электроискровое прецизионное оборудование, к сожалению, не было.

Действительный же уровень электроэрозионного оборудования, выпускавшегося заводами Минстанкопрома, по документации ЭНИМС и СКБ, никогда не был выше уровня оборудования, выпускавшегося другими министерствами.

Таким образом, главная причина отставания СССР в электроискровых технологиях от зарубежных фирм – отрицательное и пренебрежительное отношение влиятельного клана потомственных чиновников всех рангов к становлению в стране отечественной отрасли перспективного направления электроискровой обработки материалов, открывшего неограниченные возможности его эффективно использования в любых отраслях производств...