

Б.Н. Золотых

## ОБ ОТКРЫТИИ И РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ. К 60-ЛЕТИЮ ОТКРЫТИЯ СПОСОБА

ФГУП «НПО» «ТЕХНОМАШ»

3-й проезд Марьиной рощи, д.40, г. Москва, 127018, Россия

### Краткое предисловие

К числу выдающихся открытий XX века относится изобретение советскими учеными Б.Р. и Н.И. Лазаренко принципиально нового электрического способа обработки металлов, сплавов и других токопроводящих материалов, открывшего новую эру в развитии металлообработки, обеспечившего использование электрической энергии непосредственно для формообразования деталей, упрочнения и легирования их поверхностей из любых токопроводящих материалов независимо от их физико-химических и механических свойств. Первое промышленное применение новый способ обработки металлов получил в 1942 г. на Урале – в грозные годы Великой Отечественной войны (еще до официальной регистрации в патентном ведомстве). С помощью несложной электроискровой установки многие тысячи заготовок для реактивных снарядов "Катюши" из неисправимого брака вернулись в производство.

Приоритет открытия способа советскими учеными подтверждается авторским свидетельством № 70010 от 3 апреля 1943 г. и патентами Франции № 525414 от 18 июня 1946 г., Великобритании № 285822 от 24 сентября 1946 г., США № 692718 от 23 августа 1946 г., Швейцарии № 818177 от 14 июля 1946 г., Швеции № 9992/46 от 1 ноября 1946 г.

В многолетнем соревновании с другими способами металлообработки электроэрозионный способ доказал свою перспективность, чрезвычайную простоту осуществления, малую энергоемкость, практически неограниченную область применения. И несмотря на то, что был открыт более 60-ти лет тому назад, до сих пор принадлежит к числу самых прогрессивных способов, которые с течением времени не только не утратили своего значения, но, наоборот, выявляют все новые и новые возможности и находят все большее применение в различных отраслях промышленности.

### Историческая справка 1941–1965 гг.

В апреле 1943 г. из находившегося в эвакуации в г. Свердловске (ныне Екатеринбург) ВЭИ им. Ленина в Москву в НИИ-627 (ныне НИИ электромеханики) был переведен отдел «Магнитных, проводниковых и контактных материалов», который возглавлял профессор А.С. Займовский (позднее член-корреспондент АН СССР). В составе отдела была лаборатория профессора В.В. Усова, работавшая в области разработки и исследования высокостойких контактных материалов. В ней с 1935 г. работал в должности младшего научного сотрудника выпускник химического факультета Московского государственного университета им. Ломоносова Борис Романович Лазаренко. В 1940–1941 гг. он закончил исследования по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Инверсия электрической эрозии металлов и методы борьбы с разрушением контактов». В дополнении к теме диссертации им отмечено, что эрозионное разрушение можно использовать как средство формообразования деталей из любых токопроводящих материалов.

В июне 1943 г. на Ученом совете Всесоюзного электротехнического института Б.Р. Лазаренко защитил кандидатскую диссертацию. По инициативе заведующего отделом профессора А.С. Займовского из отдела была выделена лаборатория № 7, руководителем которой был назначен Б.Р. Лазаренко. Основным направлением работы лаборатории было исследование и разработка технологии электроэрозионной обработки (ЭЭО) токопроводящих материалов, а также разработка физических основ процесса разрушения материалов импульсным электрическим разрядом.

Отметим, что в коллективе НИИ-627 того времени царила творческая атмосфера, развитию которой способствовали директор института профессор А.Г. Иосифьян и его непосредственные помощники, начальники отделов и лабораторий. Общей чертой была смелость в выборе направлений научных исследований. Примером для всех служил А.Г. Иосифьян – инициативный и талантливый ученый и воспитатель научных кадров, обладающий неисчерпаемой трудоспособностью и энергией.

Высокий научный потенциал НИИ-627 дал путевку в жизнь многим новым научно-техническим направлениям, а тенденция выделения их в самостоятельные организации была многолетней практикой. Таким образом, НИИ-627 под руководством директора, академика, профессора А.Г. Иосифьяна, внес большой вклад в развитие новейших областей науки и техники, в том числе и электроэрозионной обработки. На примере лаборатории электроэрозионной обработки (№ 7) проиллюстрируем справедливость сказанного.

К началу 1945 г. лаборатория Б.Р. Лазаренко по сути превратилась в первый в мире исследовательский центр общегосударственного значения. Были разработаны новые, неизвестные ранее технологические процессы, создан первый образец промышленного электроэрозионного станка. С момента открытия до конца 1945 г. новый метод обработки получил значительное внедрение в различных отраслях промышленности.

По результатам научно-исследовательских и практических работ, выполненных с 1943 по 1945 гг., первооткрыватели электроэрозионной обработки Б.Р. и Н.И. Лазаренко в июне 1946 г. по представлению НИИ-627, Министерство Электропромышленности и научно-технической общественности (НТО Машпром), были удостоены Сталинской премии второй степени.

В середине 1945 г. в НИИ-627 была открыта аспирантура и в лаборатории Б.Р. Лазаренко появился первый аспирант – инженер Б.Н. Золотых, выпускник физического факультета Московского государственного университета, перешедший с авиационного завода № 27. В начале 1948 г. была защищена первая в области изучения физической природы ЭЭО кандидатская диссертация сотрудником лаборатории № 7 Б.Н. Золотых.

В середине 1948 г. Б.Р. Лазаренко защитил в МВТУ им. Баумана докторскую диссертацию. Развитие этих работ, а также их значение для развития машино- и приборостроения в целом потребовали новых организационных форм и возможностей. В 1948 г. была организована в составе НИИ-627 «Центральная научно-исследовательская лаборатория электрических методов обработки материалов» (ЦНИЛ-Электром). Начальником ЦНИЛ-Электром был назначен Б.Р. Лазаренко. Это был период бурного развития и становления принципиально нового направления в науке и практике машиностроения и приборостроения.

В 1947 г. инженерами Е.М. Левинсоном и Е.И. Владимировым при участии Б.Р. Лазаренко был создан копировально-прошивочный станок с автоматическим приводом подачи электрода-инструмента в процессе обработки.

К середине 50-х годов вокруг Бориса Романовича Лазаренко сложился крепкий, профессионально зрелый научно-технический коллектив. Обрела четкие организационные формы ЦНИЛ-Электром. Отдел физики возглавил Борис Никифорович Золотых, отдел технологии – Николай Константинович Фотеев; Иосиф Зиновьевич Могилевский стал руководителем отдела металлографии, Наталья Иоасафовна Лазаренко – заведующей отделом легирования, а отдел новых процессов возглавил Борис Романович Лазаренко. Созданные при лаборатории конструкторское бюро и небольшое экспериментальное производство как бы замкнули цепочку “идея–эксперимент–практика”, обеспечив материализацию идей, которые рождались и вызревали в лаборатории.

ЦНИЛ-Электром стала всесоюзным научным центром. В 1953 г. была выделена в самостоятельную организацию, а в 1955 г. вошла в состав научных учреждений АН СССР.

В начале 50-х годов в Советском Союзе и за рубежом – Швейцарии, Японии, Чехословакии, Германии заявляют о себе научно-инженерные коллективы и фирмы, основой деятельности которых явилось исследование физической природы ЭЭО, исследование и разработка технологических процессов, разработка и создание оборудования для ЭЭО.

В СССР – это ЦНИЛ-Электром АН СССР, крупные отделы в научно-производственном объединении Техномаш, Научно-исследовательском институте авиационной технологии, научно-производственном объединении «Исток», Московском машиностроительном производственном объединении «Салют», Проектном бюро по станкам и оборудованию ОКБСА, Экспериментальном научно-исследовательском институте металлорежущих станков ЭНИМС и ряд научно-технических коллективов в других отраслях промышленности. Эти организации внесли большой вклад в развитие теории и

технологии ЭЭО.

ЦНИЛ-Электром АН СССР вела широкий комплекс фундаментальных исследований в области изучения физической природы ЭЭО и поиска новых направлений развития ее технологии. Результаты ее разработок легли в основу общей физической теории ЭЭО и других методов обработки, основанных на использовании воздействия концентрированных потоков энергии на твердое тело.

В Научно-производственном объединении Техномаш и Научно-исследовательском институте авиационной технологии в этот период был создан ряд уникальных технологических процессов для формообразования сложнофасонных деталей и разработаны многочисленные промышленные модели специальных электроэрозионных станков для обеспечения нужд космической и авиационной техники. Уместно вспомнить о, к сожалению, уже ушедших от нас кандидатов технических наук М.В. Щербака и Д.З. Митяшкина, много лет руководивших отделами ЭФ и ЭХМО в Техномаш и Научно-производственном объединении Техномаш и Научно-исследовательском институте авиационной технологии.

В Научно-производственном объединении «Исток» впервые в мире были разработаны технология и оборудование для прецизионной электроискровой обработки. Именно с этого момента началось триумфальное шествие по всему миру эрозионной обработки проволочным электродом. Благодаря трудам лауреата Ленинской премии Б.И. Ставицкого и его сотрудников это направление выросло в самостоятельную отрасль станкостроения и технологии, Научно-производственном объединении «Исток» и ЦНИЛ-Электром разработали первый в мире промышленный прецизионный электроэрозионный проволочный станок с ЧПУ (мод. 4531).

В Московском машиностроительном производственном объединении «Салют» был разработан и внедрен технологический процесс обработки пера лопатки газовой турбины с применением ЭЭО на специальном станке МЭ-8 и организован производственный участок для реализации этой технологии. В 1961 г. эта работа была удостоена Ленинской премии в области науки и техники. Этот технологический процесс и сейчас широко используется в производстве.

В настоящее время очень остро стоит вопрос о сохранении наукоемких технологий. В России статус научного центра получили ряд отраслевых организаций. Московское машиностроительное производственное объединение «Салют» получил этот статус в области авиадвигателестроения. В 2002 г. коллективом ученых – работников Московского машиностроительного производственного объединения «Салют» был подготовлен и издан научный труд объемом 45 п.л. «Физико-химические методы обработки в производстве газотурбинных двигателей». М., Московское машиностроительное производственное объединение «Салют», 2002. В этой уникальной книге читатель найдет сведения обо всех без исключения электрофизических и электрохимических методах обработки.

Коллективы отделов Проектного бюро по станкам и оборудованию и Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков, входивших в то время в систему Министерства станкостроения, также внесли существенный вклад в развитие технологии электроэрозионной обработки, особенно в области копировально-прошивочных электроэрозионных станков. Они были призваны обеспечивать нужды других отраслей промышленности при обработке крупногабаритных деталей (матрицы ковочных штампов, пресс-форм и т. д.). Уместно вспомнить руководителей этих отделов: ныне здравствующего С.С. Подлазова и покойных А.Л. Лившица и Б.Е. Мечетнера, много сделавших для развития этого направления технологии и оборудования ЭЭО.

В Европе, интерес к электроэрозионной обработке проявили Акционерное общество промышленной электроники AGIE (Лозанна, Швейцария) и Женевское отделение фирмы SCHARMIL. Фирмой AGIE проведены фундаментальные исследования в области технологии и конструирования станков для ЭЭО. В настоящее время эта фирма – одна из ведущих в мире по точности и качеству станков как копировально-прошивочных, так и вырезных (проволочных станков). В Японии в 50-х годах был создан научно-исследовательский институт электроэрозионной обработки (доктор Киоси Иноуэ), затем рядом фирм (Мицубиси, Хитачи и др.) закуплены советские станки (вырезные) и освоен их выпуск, а также созданы собственные модели станков (60 – 70 гг.). Одной из первых среди стран Восточной Европы начала исследования и разработки электроэрозионных станков Чехословакия – научно-исследовательский институт VUMA. В конце 50-х годов в КНР созданы организации, занимавшиеся ЭЭО и для оказания помощи в 1956-1958 г. выезжали: профессор Б.Р. Лазаренко (на срок 2 года), профессор И.Я. Рабинович (на 3 месяца), к.т.н. Б.Н. Золотых (на 3 месяца).

Пик научной деятельности Б. Р. Лазаренко и коллектива ЦНИЛ-Электром в области электроэрозионной обработки приходится на 1955 – 1965 гг. В этот период выполнены фундаментальные исследования природы электрической эрозии металлов, на основе которых была создана общая физическая

теория этого явления, и разработаны методы расчета параметров техпроцесса ЭЭО. Работы, опубликованные в это время, получили международное признание и послужили основой для создания высокопроизводительного и высокоавтоматизированного оборудования как в СССР, так и за рубежом.

В начале 60-х годов возникло и получило развитие международное сотрудничество в области электрических методов обработки – Международный симпозиум по электрическим методам обработки (ISEM), в создание и развитие которого внесли вклад ныне покойные академик Б.Р. Лазаренко (Россия), доктор инженер И. Станек (Словакия), профессор доктор Е. Матиас (Швейцария) и ныне здравствующий доцент М. М. Шушка (Словакия), а также CIRP. ISEM-1 состоялся в июне 1960 г. в Праге (Чехословакия). Встречи на ISEM обеспечили интенсивный обмен опытом, который способствовал бурному развитию научных и практических исследований в области ЭЭО. Очередной ISEM-14 предполагается провести в Эдинбурге в 2004 г.

В конце 60-х годов результаты научных исследований по созданию общей физической (феноменологической) теории электроэрозионной обработки в России дали новый импульс в ее развитии. Реальным стало решение задачи широкой автоматизации процесса ЭЭО и создание гибких технологических процессов ЭЭО, позволяющих удовлетворять широкий диапазон требований потребителя. С начала 70-х годов электроэрозионные станки стали предметом международной торговли и сейчас в мире продается и покупается около 10 тысяч электроэрозионных станков в год.

К началу 60-х годов в СССР и за рубежом были созданы крупные отраслевые научно-исследовательские центры ЭЭО. В СССР координацию и научное руководство осуществляла головная организация ЦНИЛ-Электром АН СССР. Реорганизация сети научных учреждений АН СССР и ее структуры в 1962 г. по указанию вышестоящих организаций привела к тому, что в промышленность были переданы институты и лаборатории, входившие в Отделение технических наук АН СССР, а ОТН было упразднено. В результате реорганизации ЦНИЛ-Электром оказалась подчиненной Комитету автоматизации и станкостроения, что привело к потере большого числа научных кадров и в конечном итоге к тому, что ЦНИЛ-Электром перестала существовать (1965 г.). Центр научных исследований в области новых направлений электрической обработки материалов частично был перенесен в Институт прикладной физики АН Молдавской ССР, директором которого был профессор академии АН МССР Б.Р. Лазаренко. В 1965 г. научные работы и исследования, относящиеся к области физических основ ЭЭО, перенесены в Московский институт электронного машиностроения (МИЭМ) (в настоящее время Московский государственный институт электроники и математики). Так закончилась история ЦНИЛ-Электром.

#### **Пути дальнейшего развития ЭЭО**

За 60 лет развития электроэрозионной обработки определились два основных типа станков: копировально-прошивочные и вырезные с проволочным электродом-инструментом, которые нашли широкое и устойчивое применение в промышленности, их использование позволяет вести обработку всех видов поверхностей, встречающихся в машино- и приборостроении.

Современные электроэрозионные станки имеют автоматизированную систему технологической подготовки процесса ЭЭО и достаточно высокие характеристики как по точности, так и по диапазону форм обрабатываемых поверхностей. Иными словами, они обладают весьма высокой технологической гибкостью в отношении вида и сложности формы обрабатываемых деталей, а также возможностью нормального функционирования в течение длительного времени (1 – 2 смены) без участия оператора за счет использования современных систем управления всеми компонентами технологического процесса ЭЭО. В первую очередь это относится к вырезным электроэрозионным станкам с проволочным электродом, а также к копировально-прошивочным электроэрозионным станкам типа «обрабатывающий центр». И теперь, в XXI веке, после 60 лет работы в области электроэрозионной обработки, можно с удовлетворением сказать, что Россия в лице супругов Лазаренко подарила миру уникальное открытие – электроэрозионную обработку. ЭЭО совместными усилиями ученых и инженеров России, стран СНГ, зарубежных коллег из стран Европы, Америки и Азии превратилась в мощное средство современной металлообработки, заняла прочное место во многих отраслях мировой промышленности (электронной, аэрокосмической, приборостроительной, инструментальной и др.).

Оценивая вероятные направления развития обработки твердых тел, можно утверждать, что в XXI веке требования повышения точности и производительности останутся по-прежнему актуальными. Видимо, это будет уже нанометровая область размеров проникновения в которую, безусловно, вызовет необходимость поиска принципиально новых качественных конструкторских и технологических решений.

Достойное место в будущем займет и решение задачи целенаправленного управления свойствами и качеством поверхностного слоя обрабатываемой ЭЭО детали (твердости, износостойкости и т. п.) как во времени, так и в пространстве.

Можно назвать еще ряд направлений дальнейшего развития технологии и станков ЭЭО, например: совмещение в зоне обработки концентрированных потоков энергии различного происхождения

(искра, лазер и т.п.); целенаправленное управление износом электрода-инструмента (изменение плотности энергии на любом из электродов независимо друг от друга) и т.д. Решение этих задач потребует создания систем комплексной автоматизации всех элементов процесса ЭЭО, которое в свою очередь требует существенного расширения функций системы технологической подготовки ЭЭО (АСТП ЭЭО) за счет расширения числа решаемых ею задач.

Для достижения этой цели необходимо получение новой физико-технологической информации для организации соответствующих банков данных и обеспечения информацией модулей, входящих в АСТП. Решение этих вопросов (технические возможности развития АСТП и т. д.) со всей очевидностью требует организации и проведения широких и планомерных исследований самого технологического процесса электроэрозионной обработки. Этот вывод подтверждается и тем, что за рубежом (США, Япония, Голландия, Франция, Швейцария) ясно заметна названная выше тенденция, иными словами, необходимо срочно разворачивать работы по созданию научных (а не чисто эмпирических) основ технологии ЭЭО.

К сожалению, приходится констатировать, что если в области физических основ рабочего процесса формообразования ЭЭО мы располагаем вполне оформившимися и признанными в мире результатами, имеющими фундаментальное значение, то в области технологии ЭЭО царит эмпирический подход, что не удовлетворяет как современным, так и будущим требованиям развития промышленного производства. Создание научных основ технологии (хотя бы на аксиоматико-логической базе) крайне необходимо для формализации процесса проектирования технологии как основы развития САПР ЭЭО, а также систем управления технологическим процессом (САУТП ЭЭО). Кроме того, необходимо развивать специальную измерительную базу для активного контроля и коррекции технологических процессов и его отдельных элементов, а также создавать и развивать системы обработки текущей информации, действующие на базе систем типа «искусственный интеллект».

Есть еще одна, острая проблема, которая будет существовать и в XXI веке – кадровая. Успешное развитие и полезное использование любых новых технических идей, как известно, в сильной степени зависит от уровня квалификации и того, насколько комплексным мышлением обладает тот или иной специалист. Почти сорокалетний опыт работы в высшей школе автора данной статьи показывает, что мало просто подготовить отлично знающего дело специалиста в области электрофизических методов обработки: технолога, конструктора или инженера-исследователя. Этот специалист должен обладать широким кругозором в области машино- и приборостроения, уметь видеть возможные области использования электрофизических методов обработки сегодня и в перспективе, уметь убеждать своих коллег в инженерной, экономической целесообразности использования ЭЭО в конкретной производственной ситуации. Эти качества должны воспитывать у студента преподаватели вузов. Только такие специалисты найдут себе применение в современных условиях в промышленности.

В заключение следует сказать: весь ход развития электроэрозионной обработки за прошедшие 60 лет подтвердил пророческие слова Б.Р. Лазаренко, которые он произнес на защите докторской диссертации в 1947 г., говоря об ЭЭО; «... не может быть причин, которые бы приостановили развитие и движение этого революционного процесса, ломающего существующие представления об обработке материалов. Ему принадлежит будущее...!».

*Поступила 17.04.03*

### **Summary**

In April 1943 the Russian scientists B.R. Lazarenko and N.I. Lazarenko, the married couple, has made remarkable discovery as to its importance for science and manufacturing engineering practice. Methods of dimensional machining as well as directional change of the current – conducting material surface properties, based on the absolutely new principles, were created. B.R. Lazarenko and N.I. Lazarenko offered to use an effect of electric erosion for removal of allowance from a blank or alloying the surface (a. c. 70010 and others (1943–1945); patents: France (1946), Great Britain (1946), USA (1946), Sweden (1946), Switzerland (1946). During 60 years of electrodischarge machining development, the two main types of machines which found wide and stable application in industry were designed: copying – broaching; cut out with tool – electrode, which permit machining all surface types used in machine building and instrumental production. The modern ED machines have automatic system of EDM process regulation and are characterized by high accuracy and range of machined surface forms. However the requirements for efficiency increase and accuracy are among the main conditions of subsequent progress as they were before. All progress of EDM development during the past 60 years confirmed B.R. Lazarenko's words that he said about EDM during defence of his doctor thesis in 1948 ... «there are no reasons which would stop development and progress of this revolutionary process, which turn upside-down the modern conception of machining materials. Future belongs to it...!»