

Развитие электроискрового легирования как элемента науки о материалах

* В. И. Иванов^a, ** Л. А. Коневцов^b

^aФедеральный научный агроинженерный центр ВИМ,
г. Москва, 109428, Россия, *e-mail: tehnoinvest-vip@mail.ru

^bИнститут материаловедения Хабаровского научного центра Дальневосточного отделения РАН,
г. Хабаровск, 680042, Россия, **e-mail: konevts@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.03.2020

После доработки 07.04.2020

Принята к публикации 10.04.2020

Проанализировано становление метода электроискрового легирования (ЭИЛ) и отражена основная роль в этом его основателей Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко. Рассмотрено развитие ЭИЛ как одного из методов материаловедения поверхности. Используются ранее опубликованные материалы ученых и специалистов в области электрофизических методов обработки и собственных работ. Описаны характерные этапы этого процесса: начальный период развития метода ЭИЛ; московский послевоенный период; молдавский период возрождения ЭИЛ; постсоветский период. Показана роль ряда руководителей, ученых и специалистов. Отмечена перспектива применения метода ЭИЛ, сформулированы основные задачи его развития.

Ключевые слова: материаловедение поверхности, электроискровое легирование, электрический разряд, технология

УДК 621.9.048

DOI: 10.5281/zenodo.4045905

Электроискровое легирование (ЭИЛ), как один из технологических методов использования электрической искры для обработки токопроводящих материалов, нашло широкое применение в промышленности. Сюда относятся и упрочнение поверхностного слоя деталей, инструментов, различной технологической оснастки, и нанесение на них покрытий с требуемыми другими эксплуатационными свойствами (износо-, жаро-, коррозионная, эрозийная стойкость и др.), что обеспечивает соответствие этих объектов техническим требованиям или способствует увеличению их ресурса. Но метод ЭИЛ также успешно используется при восстановлении размеров и свойств изделий, утраченных в процессе эксплуатации, или устранении производственного брака, связанного с прослаблением размеров деталей при механической обработке.

В настоящее время ЭИЛ применяется во многих технически развитых странах. В первую очередь это касается наукоемких отраслей – авиакосмической промышленности, производства современной военной техники. Ведутся исследования в США [1, 2], Японии [3], Китае [4, 5], Индии [6], европейских странах [7–11], России [12–14], Украине [15] и др.

Статья подготовлена с целью анализа становления метода ЭИЛ и роли его основателей – русского ученого Бориса Романовича Лазаренко, которому в текущем 2020 г. исполняется 110 лет, и его супруги Н.И. Лазаренко.

Появление в науке о материалах нового вида воздействия на них для изменения формы, размеров и свойств – электроискрового метода –

и нового метода формирования поверхностного слоя – ЭИЛ – является выдающимся событием как в развитии производственных технологий, так и в науке о материалах (НМ) и ее подразделе, изучающем создание поверхностей любых средств деятельности. В настоящее время электроискровой обработке нет альтернативы во многих случаях: формообразовании труднообрабатываемых твердых и сверхтвердых токопроводящих материалов, поверхностном упрочнении, диспергировании. Метод, открытый Б.Р. Лазаренко и его супругой Н.И. Лазаренко (рис. 1), явился принципиально новым в обработке токопроводящих материалов, и его следует отнести к числу выдающихся открытий XX века. Б.Р. Лазаренко поистине открыл новую эру в промышленных технологиях, он применил в качестве режущего инструмента вместо традиционного резца поток электронов для формообразования деталей из любых токопроводящих и полупроводниковых материалов, независимо от их твердости, физико-химических и механических свойств, а также для упрочнения и легирования поверхностей, диспергирования металлов [16]. Приоритет в открытии принципиально нового метода обработки материалов был зафиксирован авторским свидетельством № 70010 от 03.04.1943 г., а также патентами других государств (Франция, Великобритания, США, Швейцария, Швеция, др.).

Метод ЭИЛ, 80-летие которого будет отмечаться в 2023 году, прошел трудный путь своего становления и развития, дважды испытав этапы созидания и разрушения (рис. 2) [17].



Рис. 1. Борис Романович и Наталия Иоасафовна Лазаренко и копия авторского свидетельства.

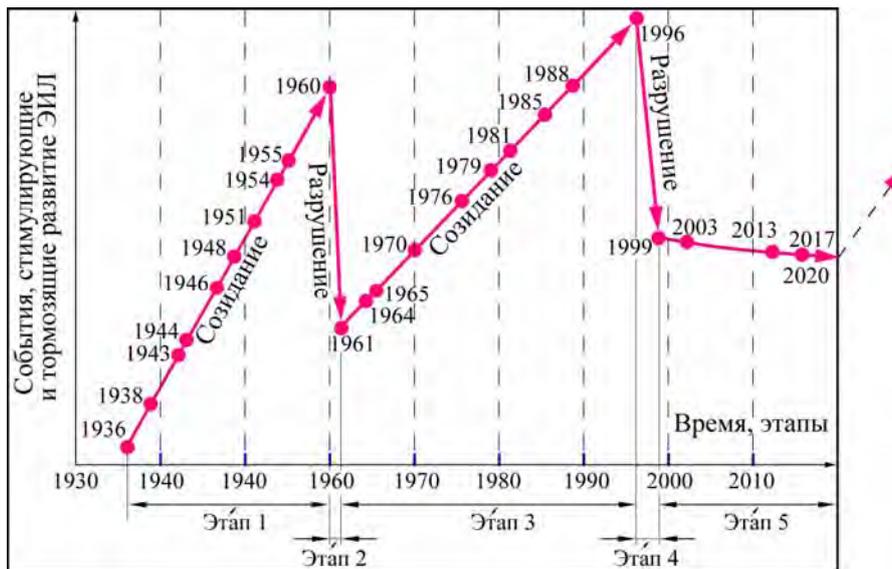


Рис. 2. Этапы изменения вектора развития метода ЭИЛ в Советском Союзе и России с отметками наиболее важных и значимых событий.

К сожалению, в последние годы он не находит должного развития и применения в нашей стране.

Глубоко изучая наследие академика Б.Р. Лазаренко – электроискровой метод обработки токопроводящих материалов (ЭИО) и одно из его направлений – метод ЭИЛ, обобщая труды Б.Р. Лазаренко и анализируя свой опыт работы, его ученик А.Д. Верхотуров обнаружил, что исследования в области формирования поверхности имеют много общих вопросов и закономерностей, подчиненных более общим проблемам науки о материалах – материалогии, как назвал ее А.Д. Верхотуров [18] и, в частности, ее подразделу – материалогии поверхности.

По сути, Б.Р. Лазаренко, направив своего ученика на углубленное изучение законов формирования поверхности, сыграл ключевую роль в появлении нового подраздела НМ. При изучении истории становления и развития науки о материалах учеником Б.Р. Лазаренко А.Д. Верхотуровым в материалогии было выделено несколько важных и взаимосвязанных

подразделов: материалогия поверхности, материалогия минералогическая, энтропийно-экологическая, классическое материаловедение, материалогия производства. Последней А.Д. Верхотуров уделял особое внимание, поскольку в процессе производства материальных благ в ней сходятся результаты труда и познания многих наук, в том числе НМ, полученные в совокупности всех ее подразделов. Было замечено, что закономерности при создании исполнительных поверхностей любых средств деятельности, отвечающих своему функциональному назначению, вытекают из более общих закономерностей материалогии поверхности, чем, по сути, и занимался его учитель и наставник Б.Р. Лазаренко.

НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ МЕТОДА ЭИЛ

Начало развития материалогии поверхности с использованием метода ЭИЛ в СССР можно связать с графиком этапов изменения вектора развития данного метода (рис. 2), на котором

видно, что все этапы созидания являются длительными, а этапы разрушения скоротечными. Создание принципиально нового метода обработки началось в 1936 г., когда Б.Р. Лазаренко приступил к трудовой деятельности во Всесоюзном электротехническом институте (ныне ФГУП ВЭИ).

Профессор В.В. Усов поставил перед своим учеником Б.Р. Лазаренко, на первый взгляд, простую и конкретную задачу: попытаться найти сплав, материал, поверхности которого были бы способны противостоять искре в электрической цепи, содержащей индуктивность, то есть необходимо было подобрать такой материал, который был бы пригоден для изготовления безызносных электрических контактов. После многочисленных экспериментов Б.Р. Лазаренко пришел к выводам: 1) в природе нет материалов, которые бы не подвергались эрозии, и искать их бесполезно; 2) в электрической эрозии следует видеть не только вредное, но и положительное явление.

«Нужно было обладать недюжинным чутьем и богатым воображением, чтобы в этом неутомимом враге электриков – электрической эрозии – разгадать чудодейственного помощника в обработке сверхтвердых материалов, – говорил впоследствии профессор Н.Ф. Казаков, – в самом факте разрушения металла электрической искрой надо искать разгадку положительных качеств явления и использовать их на практике» [19]. Это событие стало «звездным часом» металлообработки. Электрическая искра не просто разрешила противоречия классического метода металлообработки, разрывая логически замкнутое целое, но вывела решение проблемы в новую плоскость, на новый виток спирали научно-технического прогресса в развитии человечества. Вопрос обрабатываемости металла на этом этапе оказался снятым – отныне открывалась возможность обработки любого токопроводящего материала, независимо от его физико-химических свойств, то есть без необходимости иметь более твердый и прочный инструментальный материал по сравнению с обрабатываемым.

В конце 1938 г. в трудах Всесоюзного электротехнического института вышла в свет первая систематизированная работа молодого ученого Б.Р. Лазаренко «Исследование переноса и коррозии металла под действием электрических разрядов на разрывных контактах», где он сделал следующие обобщения:

1. Электрическая эрозия – неотъемлемое свойство любых токопроводящих материалов, то есть нет и не может быть антиэрозионных материалов.

2. Каждой форме самостоятельного электрического разряда соответствует присущая ей поляризация эрозии электродов.

3. Искровая форма электрического разряда сопровождается убылью массы анода. Величина и знак электрической эрозии при прочих равных условиях определяются: химическим составом материала электродов; химическим состоянием и материалом среды, окружающей электроды; величиной и соотношением параметров электрической схемы, которую коммутируют электроды.

4. Переход искровой формы электрического разряда в дуговую и обратно сопровождается инверсией электрической эрозии.

Уже в 1938 г. аспирант Б.Р. Лазаренко был накануне серьезных выводов и осуществления принципиально нового открытия, которое значительно расширило технологические возможности человека в обработке материалов.

Однако началась Великая Отечественная война, и Б.Р. Лазаренко в конце 1941 г. вместе с эвакуированным ФГУП ВЭИ оказался в Свердловске. Он неоднократно требовал отправить его на фронт, но ему отказывали и наставляли на работу, связанную с оборонной тематикой. Здесь Борис Романович, работая вместе с женой, исследовал электрические контакты, имеющие большое значение для оборонной промышленности, а она проводила эксперименты по электроискровой эрозии. В это время они экспериментально определили, что с использованием электрических разрядов можно получать порошки металлов. В Свердловске супруги также экспериментально доказали возможности своего метода, обрабатывая мягкой медью сталь и даже твердый сплав. И 31 мая 1947 г. изобретение Б.Р. и Н.И. Лазаренко было внесено в Государственный реестр открытий СССР с приоритетом от 3 апреля 1943 г. (рис. 1). Б.Р. Лазаренко использовал предложенный метод для прошивки криволинейных отверстий в деталях и обработки снарядов легендарных «Катюш». В 1943 г. Б.Р. Лазаренко защитил кандидатскую диссертацию на тему «Инверсия электрической эрозии металлов и методы борьбы с разрушением электрических контактов». Следует отметить, что в конце протокола Ученого совета Всесоюзного электротехнического института от 28 июня 1943 г. по защите диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Б.Р. Лазаренко появился пункт, одобренный 21 членом совета: «Признать диссертационную работу Б.Р. Лазаренко выдающейся».

К методу искровой обработки начал возникать интерес у многочисленных ученых, инженеров. Этому способствовала изданная



Рис. 3. Удостоверение и медаль лауреата Сталинской (Государственной) премии Б.Р. Лазаренко.

супругами Лазаренко в 1944 г. брошюра «Электрическая эрозия металлов».

МОСКОВСКИЙ ПОСЛЕВОЕННЫЙ ПЕРИОД

После переезда из Свердловска в Москву лабораторию профессора В.В. Усова выделили из состава института и передали одному из московских электротехнических заводов.

Искровой способ совершенно изменил столетиями сложившиеся представления об обработке металлов и сплавов, а это закономерно способствовало улучшению конструкций многих деталей машин, механизмов, аппаратов, приборов с учетом новых технологических возможностей [20]. Несмотря на усложнившиеся условия научной работы, Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко усиленно трудились над усовершенствованием оборудования, разработкой технологии обработки материалов для многочисленных предприятиях машиностроительной промышленности. Их работа оказала большое влияние на прогресс в машиностроении СССР, а затем всех развитых стран мира. В итоге за открытие и разработку этого способа супругам Б.Р. и И.И. Лазаренко в 1946 г. была присуждена Сталинская премия (рис. 3). Имена Б.Р. и Н.И. Лазаренко встали в один ряд с выдающимися учеными страны членами-корреспондентами М.В. Келдышем, Б.М. Вулом, С.А. Христиановичем, И.В. Обреимовым, В.Ю. Визе.

В США, начиная с 1947 года, проявили к этому способу исключительно высокий интерес. Американцы начали развивать большую активность по использованию «русских эрозионных машин» и уверенно развернули это направление работ [20]. «Русский метод», как его называли в Америке и других зарубежных странах, широко шагал по миру.

В 1948 году Б.Р. Лазаренко успешно защитил докторскую диссертацию «Электроискровой способ обработки металлов» в МВТУ им. Н.Э. Баумана. В этом же 1948 году с целью создания более благоприятных условий для развития электроискрового способа обработки материалов в составе Министерства электропромышленности СССР на правах института была создана Центральная научно-исследовательская лаборатория электрической обработки материалов (ЦНИЛ-Электром).

Еще в начале 50-х годов было решено разместить ЦНИЛ-Электром в пустующем Николо-Перервинском монастыре (ул. Шоссейная, 82, район Люблино). А в 1951 году Б.Р. Лазаренко по ходатайству президента АН СССР Н.А. Несмеянова был избран ученым секретарем Президиума АН СССР (по совместительству). К середине 50-х гг. в ЦНИЛ-Электроме сложился благодаря усилиям Б.Р. Лазаренко дружный и сильный коллектив: отдел физики возглавлял видный теоретик Б.Н. Золотых, отдел технологии искровой обработки – Н.К. Фотеев, отдел металлографии – И.З. Могилевский, отдел ЭИЛ – Н.И. Лазаренко, отдел новых процессов – Б.Р. Лазаренко. Следует отметить, что принципиально новым методом обработки материалов заинтересовались, в несколько ином направлении, чиновники Министерства станкоинструментальной промышленности СССР, в частности его головного института – Экспериментального научно-исследовательского института металлорежущих станков (ЭНИМС), основанного в 1933 г. Станкостроение – сердце машиностроения, и от правильной стратегической научно-технической политики этого министерства и его головного института зависел прогресс многих отраслей.

Научно-техническая политика отдельных паразитирующих работников из руководящего состава ЭНИМСа вызывала удивление. Было заметно противодействие развитию электроискрового способа и его авторам со стороны руководителей и ведущих специалистов-станкостроителей, которое обострилось в связи с регистрацией способа Б.Р. Лазаренко и присуждением ему Сталинской премии. Случилось так потому, что политика, не имеющая национальности, группы недоброжелателей отдела электрофизических и электрохимических методов обработки ЭНИМСа, возглавляемого д.т.н. А.Л. Лившицем, привела к тому, что СССР, имевший в области электроискровой обработки приоритет, с каждым годом терял завоеванные позиции [16]. И как следствие, известные заводы – ЗИЛ, АЗЛК, Кировский завод, ГАЗ, ЯМЗ и другие – оснащались импортными электроэрозионными (электроискровыми) станками и оборудованием. Используя авторитет ЭНИМСа и министерства, в основу деятельности отдела электрофизических и электрохимических методов обработки эти работники положили тезис: «То, что сделано не под нашими фамилиями (не нами) – плохо». Поэтому «зеленая улица» предоставлялась разработкам «своего» отдела, вне зависимости от качества и новизны. По мнению Е.М. Левинсона, известного ученого и практика (опубликованному в газете «Социалистическая индустрия» в 1978 г.): «За тридцать лет работы мне неоднократно приходилось сталкиваться с противодействием А.Л. Лившица, руководителя отдела ЭНИМСа, всему, что исходило не от него и его единомышленников. Интересы личные и ведомственные сдерживали прогресс в этой области. Именно из-за них важные для народного хозяйства разработки ученых оказываются нереализованными» [16, 21].

Хотя политика недоброжелателей и завистников Б.Р. Лазаренко и его методу имела определенный успех, Борис Романович по-своему объяснял такое противодействие внедрению нового метода в промышленное производство со стороны руководства Министерства станкоинструментальной промышленности и работников его головного института. «Представьте ситуацию, – говорил он, – сотни ученых, свыше 60 кафедр вузов и четыре крупнейших научно-исследовательских института совершенствуют теорию резания металлов, разрабатывают оптимальную геометрию режущих граней инструмента, создают особо твердые материалы, чтобы в результате этого лучше резать металл, и имеют заслуги в этой области... С другой стороны, два едва оперившихся молодых специалиста

(Н.И. и Б.Р. Лазаренко) доказывают, и главное, показывают, что для громадного большинства случаев режущий инструмент вообще не нужен, так же как не нужны самые современные металлорежущие станки... нетрудно себе представить, какими «розами» был немедленно усыпан наш путь. Это представить! А что было в действительности, известно лишь нам двоим. Было брошено все, чтобы сбивать этот процесс, любым путем скомпрометировать его, а попутно и нас самих. Особенно в этом направлении свирепствовали Научно-исследовательский институт инструмента и экспериментальный научно-исследовательский институт металлорежущих станков (ЭНИМС)» [20].

Однако, несмотря на противодействие работе ЦНИЛ-Электрома со стороны отдельных чиновников министерства и их союзников, благодаря активной деятельности Б.Р. Лазаренко и его сотрудников, а также помощи АН СССР, в 1954 г. (рис. 2) Президиум АН СССР рассмотрел достижения лаборатории и перевел ее в систему академических учреждений. Отделение технических наук АН СССР подготовило проект постановления о переводе ЦНИЛ-Электром в ранг академического института. К концу 50-х годов ЦНИЛ-Электром был основным научным центром СССР и даже, можно сказать, мира, в котором решались научные и прикладные вопросы искровой обработки. В составе ЦНИЛ-Электрома АН СССР был ряд лабораторий, конструкторское бюро и опытно-экспериментальный завод. Готовились научные кадры через аспирантуру, в том числе и для зарубежных стран.

Б.Р. Лазаренко был назначен заместителем академика-секретаря Отделения технических наук в 1955 г. В этом же году он был командирован в КНР советником при Президиуме АН КНР. В Китае об открытии Б.Р. и Н.И. Лазаренко хорошо знали и рассчитывали с его помощью освоить метод искровой обработки на китайских предприятиях. При этом руководство ЦНИЛ-Электромом во время годичной поездки в Китай Б.Р. Лазаренко оставил за собой, а руководство лабораторией в его отсутствие осуществлял Б.Н. Золотых.

После своего возвращения из командировки в начале 1958 года Б.Р. Лазаренко с большим упорством и настойчивостью руководил работами по совершенствованию и внедрению метода искровой обработки в промышленное производство. В это же время у Б.Р. Лазаренко появились новые идеи применения электричества. Так, совместно с академиком Н.Д. Девятковым (рис. 4) было предложено и впоследствии развивалось направление,



Рис. 4. Президент АН СССР академик А.Н. Несмеянов; академики: А.А. Благодравов, А.В. Топчиев, Т.И. Малиновский, Б.Р. Лазаренко и Н.Д. Девятков, М.К. Болога; член-корреспондент А.И. Дикусар; директор НИИ-160 М.М. Федоров; ученые-электроискровики: Б.Н. Золотых, Б.И. Ставицкий; А.Д. Верхотуров, А.Е. Гитлевич, В.В. Михайлов, В.И. Иванов.

связанное с применением электричества в биологии. Эти идеи были также озвучены на выездном заседании бюро Отделения технических наук президиума АН СССР, на котором присутствовали известные академики А.А. Благодравов, С.А. Христианович, Б.С. Стечкин, А.А. Артоболовский, В.А. Трапезников и др. После ознакомления с работами ЦНИЛ-Электрома академики отметили перспективность работ ее сотрудников, необходимость пропаганды деятельности лаборатории. Впоследствии в СССР интерес к методу электроискровой обработки проявили многие ученые, организаторы науки и производства и специалисты, оказавшие влияние на ее становление и развитие (рис. 4).

И все было бы хорошо в становлении и развитии «русского метода», судьбе и жизненном пути супругов Лазаренко. Использование потока электронов в качестве своеобразного «сверхтвердого» режущего инструмента позволило совершенно по-новому решать многие вопросы, связанные с технологией обработки самых различных материалов. Однако в мае 1959 г. в период своего правления СССР Н.С. Хрущев выдвинул предложение о реорганизации АН СССР путем раздробления на несколько академий. В итоге последовала реформа Отделения технических наук и передача части учреждений в систему промышленности.

К этому времени изданные Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко работы стали настольными для тех, кто посвятил себя изучению и исследованию на практике принципиально нового метода обработки материалов [20].

В 1960 году (рис. 2) по работам, посвященным электроискровому методу, была организована тематическая выставка на ВДНХ СССР в павильоне «Космос», которая прошла с большим успехом. Особый научный и практический интерес вызывали книги сотрудников ЦНИЛ-

Электрома, и прежде всего работы [22–29]. В первом сборнике трудов ЦНИЛ-Электрома впервые в мировой науке приведены систематизированные результаты исследований и обобщений в области ЭИО. В сборнике представлены статьи Б.Р. Лазаренко о решении вопросов автоматизации процесса искровой размерной обработки [30] и ЭИЛ [31], где указывается на необходимость дальнейшего исследования физико-химических процессов на поверхности электродов при действии электрических разрядов. Ставилась задача о разработке механизированного, а также бесконтактного ЭИЛ. Следует отметить, что поднятые Н.И. Лазаренко вопросы до сих пор продолжают вызывать научный интерес и являются предметом современных исследований. Также была представлена статья И.З. Могилевского и С.А. Чеповой [32], которая до сих пор служит образцом исследования структуры легированного слоя; в ней впервые показано, что «... между нанесенным покрытием и основой происходит взаимная диффузия компонентов ...». Особый интерес представляла статья Б.Н. Золотых [33]. В ней автор приходит к выводу, что «... в процессе эрозии доминирует нестационарный процесс распространения тепла от плоских источников тепла, образовавшихся под действием разряда на поверхности электродов ...», и предлагает качественную модель механизма процесса эрозии в импульсном разряде. Во втором выпуске результатов исследований сотрудников ЦНИЛ-Электрома обращает внимание статья Н.И. Лазаренко [34], где представлены результаты исследований физико-химических и эксплуатационных свойств материалов после ЭИЛ: твердости, износостойкости, качества поверхности (шероховатости и микрогеометрии), растяжения, прочности слоя, коррозионной стойкости, жаростойкости, электрических

свойств. Показана перспективность применения метода ЭИЛ в народном хозяйстве.

Успехи в освоении нового метода в промышленности СССР, а также признание заслуг Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко и их коллег в развитии искровой обработки в разных странах мира не остались незамеченными. И в 1960 г. АН СССР выдвинула их работу на соискание Ленинской премии. Однако Б.Р. Лазаренко решительно отказался не только возглавить авторский коллектив, но также отклонил свою кандидатуру из состава группы. Он объяснил это тем, что, во-первых, во время командировки в Китай отошел от дел, связанных с этой работой, и, во-вторых, надо давать дорогу молодым. Однако близкие к Б.Р. Лазаренко ученые понимали, что причина была в том, что в составе соискателей значились «свои» люди, которые, наоборот, тормозили развитие метода искровой обработки материалов. С ростом популярности научных и практических работ резко возросло противодействие со стороны сотрудников Минстанкопрома.

Б.Р. Лазаренко и его единомышленники всячески отстаивали преимущества нового метода обработки материалов, знакомили специалистов с результатами научно-исследовательских и прикладных работ, пропагандировали достижения лаборатории ЦНИЛ-Электром. «Но главный удар по ЦНИЛ-Электром и институтам технического профиля был нанесен с самой высокой ступени иерархической лестницы СССР – первым секретарем ЦК КПСС Н.С. Хрущевым», который, как писал член-корреспондент РАН Ю.М. Батулин, обвинил АН, в том, что она стала «плохо управляемой»...

В результате последовал ряд событий, изменивший вектор развития метода ЭИЛ в направлении его разрушения (рис. 2). От академика-секретаря Отделения технических наук А.В. Топчиева Б.Р. Лазаренко узнал о передаче ЦНИЛ-Электрома в Минстанкопром, в состав ЭНИМСа – извечного противника его метода. Протесты председателя Научного совета АН СССР по проблеме «Новые процессы получения и обработки металлических материалов» президента АН СССР академика Б.Е. Патона, а также Координационного совета по новым методам обработки материалов оборонных отраслей промышленности и другие были проигнорированы. И ЦНИЛ-Электром был разрушен в 1960 г. (рис. 2) окончательно. Практически все научные сотрудники отказались переходить в ЭНИМС, в том числе и прежде всего Б.Р. Лазаренко и Н.И. Лазаренко. В этой сложной обстановке ученому помог его давний

товарищ академик А.В. Топчиев, который стал вице-президентом АН СССР. Он предложил при формировании структуры образующейся в Молдавии, в г. Кишиневе, Академии наук создать Институт энергетики и автоматики во главе с Б.Р. Лазаренко. Это был трудный выбор для супругов Лазаренко. Борис Романович понимал, что в сложившейся обстановке иного пути нет и надо продолжать работу на другом месте.

Уже позже Б.Р. Лазаренко на вопрос корреспондента журнала «Изобретатель и рационализатор» говорил: «Всеми странами признается наш приоритет, но мы потеряли превосходство по применению этого процесса. Мы отброшены на 4–5-е место. Вследствие деятельности ЭНИМСа в нашей стране нет современных станков для электроискровой обработки материалов. Мы начали ввозить их из-за рубежа...» [23].

В 1961 г. произошел очередной конфликт и очередная угроза Н.С. Хрущеву – распустить Академию наук. Президент АН СССР академик А.Н. Несмеянов (рис. 4) вынужден был ответить: «Ну что же, Петр Великий открыл академию, а вы ее закрываете» [16]. Итог: великий русский ученый, организатор науки, президент АН СССР, основатель ВИНТИ РАН, академического института ИНЭОС РАН академик А.Н. Несмеянов в этом же году был освобожден от обязанностей президента.

В июне 1961 года в Москве было организовано Всесоюзное совещание по электроискровой обработке металлов. Выступающими учеными были отмечены достижения в этой области, которые не оставили равнодушными А.В. Топчиева – главного ученого секретаря Президиума АН СССР (1949–1959), вице-президента АН СССР (1958–1962) и Я.С. Гросула – председателя Президиума Молдавского филиала Академии наук СССР. Они предложили Борису Романовичу возглавить создаваемый в Молдавии новый академический институт. Борис Романович согласился.

МОЛДАВСКИЙ ПЕРИОД ВОЗРОЖДЕНИЯ ЭИЛ

В этом же 1961 году (рис. 2) состоялось открытие Молдавской Академии наук. Академиками АН Молдавской ССР стал ряд известных ученых, в том числе и Б.Р. Лазаренко. Для Бориса Романовича начался новый этап жизни после разрушения его детища – ЦНИЛ-Электрома – и московского периода жизни. Позже он писал: «Здесь, в Молдавии, меня больше всего привлекает научная молодежь. Люди, поистине жаждущие знаний, преданные

своему делу, с поразительным упорством преодолевающие крутые ступени науки, – они действительно заслужили того, чтобы отдать им без остатка все свои знания, весь свой опыт, все, что честный ученый обязан оставить людям» [16]. После избрания в августе 1961 года Б.Р. Лазаренко академиком АН МССР он был утвержден в декабре директором Института энергетики и автоматики АН МССР. По воспоминаниям сотрудников института, Б.Р. Лазаренко вошел в новый коллектив «...как-то очень органично и удивительно легко...» [16]. Как писал академик АН МССР Т.И. Малиновский: «Огромная заслуга Бориса Романовича Лазаренко состоит именно в том, что он сумел объединить столь разные по своему характеру лаборатории. И не просто объединить, но и организовать работу так, чтобы ученые этих лабораторий постоянно друг друга обогащали, взаимно питали интересными идеями» [16].

Вторая важная задача Бориса Романовича состояла в формировании опытного завода с целью создания уникальных научных приборов, которые не выпускаются ни в СССР, ни за рубежом (в этом деле Борис Романович был блестящим асом и новатором), а также установок для ЭИЛ. Кроме того, завод должен был выпускать задуманные учеными опытно-промышленные образцы новой техники. В конце концов, Б.Р. Лазаренко создал Опытный завод и при нем конструкторское бюро. Это хорошо известное в Советском Союзе предприятие конструировало и выпускало новые установки для ЭИЛ.

Удивительно, в некогда отсталой в техническом и научном плане республике по инициативе академика Я.С. Гросула и других ученых появился Институт энергетики и автоматики, который впоследствии получил не только общесоюзную известность, но и международную. В короткий срок был совершен скачок к вершинам науки, ее достижения передавались в промышленность и сельское хозяйство. Вокруг Б.Р. Лазаренко образовалась группа единомышленников: академики М.К. Болога, Т.И. Малиновский, Д.В. Гицу, В.А. Коварский, А.М. Андриеш, С.И. Радауцан, член-корреспондент А.И. Дикусар и ряд других известных ученых и специалистов: А.В. Рыбалко, А.Е. Гитлевич, В.В. Михайлов, С.П. Фурсов, А.М. Парамонов, А.А. Мамаков, В.И. Иванов, А.И. Михайлюк, И.Т. Гроза (рис. 4). В конце 1964 года (рис. 2) в Кишиневе состоялась первая Всесоюзная конференция по электроискровой обработке металлов, в которой участвовали представители 192 организаций из 60 городов России и других республик СССР. Присутствовали главный теоретик искровой обработки

Б.Н. Золотых (рис. 4), а также известные ученые А.Н. Меркурьев, А.И. Круглов и др. Выводы многих ученых – научный центр по ЭИЛ переместился в Кишинев.

Программа работ Института постепенно вызревала, ее стержнем стали области новых применений электричества. В связи с этим в 1965 году Институт энергетики и автоматики был преобразован в Институт прикладной физики, а Борис Романович был утвержден его директором. В этом же году под редакцией Б.Р. Лазаренко вышел в свет первый номер научного и производственно-технического журнала АН МССР «Электронная обработка материалов», который вскоре стал популярным не только в СССР, но и за рубежом.

Благодаря усилиям Н.И. Лазаренко, Б.И. Ставицкого, поддержке академика А.А. Благоднарова, директора НИИ-160 М.М. Федорова до 1965 г. (рис. 2) был этап становления и интенсивного развития в СССР новейших электроискровых технологий, «... который, однако, сопровождался постоянным противодействием «недоброжелательных сил» ...» [21].

Борис Романович способствовал развитию электродного материаловедения, которое развивалось в г. Киеве под руководством члена-корреспондента Г.В. Самсонова, с которым он встречался неоднократно, и на этом поприще они стали единомышленниками после одной из встреч в Киеве в 1970 г.

В 1976 году (рис. 2) Б.Р. Лазаренко организовал и провел первую конференцию по ЭИЛ, на которой была принята развернутая программа по дальнейшему развитию и внедрению метода. В 1977 году в Швейцарии состоялся международный симпозиум по электроискровой обработке. Б.Р. Лазаренко не хотел ехать на конференцию, но президент АН МССР академик Я.С. Гросул настоял на его поездке. В составе делегации были также Н.И. Лазаренко и Б.Н. Золотых. В своем докладе Б.Р. Лазаренко, который синхронно переводился на ряд языков, отмечал, что в области электроэрозионной обработки сделаны лишь первые шаги. «Он побывал на заводах, выпускающих электроискровые станки, которые поставляют «практически вся Европа, Австралия, Америка, – так сказал представитель фирмы, – короче, и старый, и новый свет». При этой встрече он был взволнован и с трудом сдерживал возбуждение. Мысли уходили в далекую пору, в заснеженный Свердловск, в крохотную лабораторию, которая подарила миру то, без чего не мыслят созидать ни старый, ни новый свет» [16]. Он всегда был недоволен тем, что наши ученые разрабатывают

новые технологии, которые либо не внедряются в производство, либо внедряются с большим трудом: «Парадокс получается, друзья мои. Там принимают, как говорится, на «ура», а мы бьемся над проблемой внедрения. Вернемся – непременно в Комитет по науке и технике пойду!» [16].

Новый 1979 год Б.Р. Лазаренко встречал в Москве. Он еще раз побывал в Президиуме АН СССР, Госкомитете по науке и технике. А в августе 1979 года не стало Б.Р. Лазаренко, организатора науки и великого человека... Но созданный Б.Р. Лазаренко в 1964 году Институт прикладной физики АН Молдовы (рис. 5), в основе деятельности которого были его идеи, постулаты и наставления, продолжает успешно работать.



Рис. 5. Здание Института прикладной физики АН Молдовы с барельефом основателя института и метода ЭИЛ академика Б.Р. Лазаренко.

В ноябре 1985 года в Кишиневе состоялась Всесоюзная научная конференция, посвященная 75-летию со дня рождения Б.Р. Лазаренко. Участвовали в ней советские и зарубежные ученые многих научных центров. Выступая на конференции, М.К. Болога, директор Института прикладной физики АН МССР, отметил: «... Оригинальность и зоркость мысли – именно эти ярко выраженные качества характеризуют Б.Р. Лазаренко, прежде всего – ученого». М.К. Болога отметил основной постулат Бориса Романовича: «Нет физических явлений вредных, а есть недостаточно изученные», что послужило открытием принципиально нового метода обработки металлов. Именно этот постулат привел ученого к его замечательному открытию, именно такой тип научного мышления обеспечил использование электричества в принципиально новом качестве и в новых областях [21].

Несмотря на то, что основной центр исследований и разработок новой техники ЭИЛ переместился в Молдавию, определенные исследовательские работы по применению этого метода

выполнялись отраслевыми НИИ и научно-производственными объединениями. В тот период д.т.н. Н.И. Лазаренко успешно осуществила в ВИАМе (г. Москва) легирование трущихся пар для луноходов. Проведенные исследования показали, что только пары, обработанные электрическими искровыми разрядами, работают с гарантированной надежностью и долговечностью. Таким образом, на Луне с 17.11.1970 находятся изделия «Луноход-1» Н.И. Лазаренко, О.М. Еган, В.П. Разумова, детали которых изготовлены с применением ЭИЛ (рис. 6а). Метод электроискровой обработки также нашел успешное применение на Комсомольском-на-Амуре авиационном заводе им. Ю.А. Гагарина (КнААЗ ПАО Компании «Сухой») (рис. 6б).

Еще один центр по внедрению ЭИЛ в авиационные и космические технологии функционировал в Научно-исследовательском институте авиационной технологии (НИИАТ). Здесь под руководством В.А. Снежкова были развернуты исследования и разработаны технологии для упрочнения и восстановления деталей авиационных агрегатов методом ЭИЛ, создавалось универсальное и специализированное автоматизированное оборудование для осуществления этих технологий. Поверхности ряда деталей космической техники подвергались нанесению электроискровых покрытий. Примером служат детали космического корабля «Буран», совершившего 15.11.1988 свой первый и единственный космический полет (рис. 6в).

ПОСТСОВЕТСКИЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ ЭИЛ

Очевидно, что созидательная деятельность Бориса Романовича была успешной для страны. Но получилось так, что электроискровому методу обработки материалов Б.Р. Лазаренко и его идеям использования электричества не стало места на постсоветском пространстве. Если метод ЭИЛ был предложен и разработан в Советском Союзе, в России, интенсивно развивался в Советской Молдавии, то сегодня центры по его изучению, использованию и развитию переместились в другие технически развитые страны мира. А в постсоветских государствах это направление исследований практически не развивается, чему причиной является развал науки и промышленности. Снижение темпа развития исследований по электрофизическим методам обработки привело к тому, что Россия в настоящее время закупает оборудование, созданное на основе метода Б.Р. и Н.И. Лазаренко, за рубежом.

Итоги этапов развития ЭИЛ (рис. 2) показывают, что процесс созидания долгий, а разру-



(а)



(б)



(в)

Рис. 6. Примеры авиакосмической техники, отдельные детали которой были изготовлены с использованием метода ЭИЛ: «Луноход-1», 1970 г. (а); самолет компании «Сухой» (б); многоразовый орбитальный корабль «Буран», 1988 г. (в).

шения – скоротечный, хотя и имеет свою длительную предысторию. На графике (рис. 2) отмечены пять этапов изменения вектора развития «метода Лазаренко»: 1) Рождение метода ЭИЛ, его развитие, создание академического центра в России – ЦНИЛ-Электрома. 2) Административный удар по ЭИЛ. Перевод ЦНИЛ-Электрома в промышленность. 3) Второй период развития метода ЭИЛ. Рождение в СССР нового научного центра с опытным производством по ЭИЛ в Кишиневе, разработка и выпуск установок ЭИЛ, создание академического журнала. 4) Государственное разрушение. Снижение финансирования науки в России и бывших советских республиках, уничтожение всесоюзного центра по ЭИ обработке. Осталось несколько лабораторий по исследованию метода. 5) Развитие в условиях реструктуризации науки.

График изменения вектора развития метода ЭИЛ в РФ (рис. 2) отражает отношение власти имущих к науке, к открытиям и изобретениям выдающихся ученых. К открытиям и изобретениям в России, которые не получили должного применения и развития, можно отнести не только открытие Б.Р. Лазаренко, но и другие: сварку, порошковую металлургию, метод КИБ и т.д.

Тем не менее, в России основаны и работают три школы электроискровой обработки материалов.

Одна из них была создана д.т.н. профессором Ф.Х. Бурумкуловым на базе Государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинотракторного парка» (ныне ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Москва). Им с сотрудниками и коллегами подготовлена монография [35], которая основана на результатах обобщения существующего опыта и собственных исследований и является до настоящего времени настольной книгой для многих исследователей и специалистов. Помимо развития ЭИ технологий и подготовки молодого пополнения в московской лаборатории, Ф.Х. Бурумкулов руководил и принимал непосредственное участие в организации,

создании и деятельности Учебно-научно-производственного центра при Институте механики и энергетики Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева (г. Саранск); более 10 его учеников стали кандидатами, а С.А. Величко – доктором технических наук.

Вторая школа образована д.т.н. профессором Е.А. Левашовым и действует на базе Московского института сталей и сплавов. Основная ее деятельность, хорошо известная специалистам в России и за рубежом, связана с созданием и исследованием новых материалов путем применения самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (метод СВС) и покрытий с уникальными свойствами, а также применением этих материалов.

Третья школа стала формироваться на Дальнем Востоке с 1990-х годов, которую основал ученик и последователь Б.Р. Лазаренко д.т.н. профессор А.Д. Верхотуров. Переехав из Киева, где он работал в Институте материаловедения Национальной Академии наук Украины, на Дальний Восток в г. Хабаровск, А.Д. Верхотуров основал вначале отдел физико-химии неорганических материалов (ОФХНМ), потом Институт машиноведения и металлургии, а позже – академический Институт материаловедения ХНЦ ДВО РАН. Этим он заложил фундамент для продолжения изучения и развития метода ЭИЛ в дальневосточном регионе – школу для воспитания поколения новых ученых в области электроискровой обработки. Под его руководством были защищены 20 кандидатских и семь докторских диссертаций, научные исследования которых отражают фундаментальную и прикладную сущность метода электроискровой обработки металлов и сплавов и создания новых материалов.

В настоящее время Дальний Восток становится площадкой развития стратегически важных отраслей России, местом развития ее приоритетных направлений от недр земли до космоса: авиа- и судостроение, строительство крупнейших в мире газоперерабатывающего комплекса и космического центра – космодром

«Восточный». В этой связи одной из первоочередных фундаментально-прикладных задач ЭИЛ является повышение надежности работы деталей машин, узлов и механизмов новой и сложной техники, особенно космической, условия эксплуатации которой предъявляют жесткие требования к новым материалам.

Метод ЭИЛ привлекает все большее внимание и является предметом исследования во многих НИИ и вузах России (рис. 2). Можно прогнозировать, что дальнейшее развитие метода ЭИЛ будет связано с решением ряда следующих задач: 1) Упрочнение деталей авиационно-космической техники в эпоху информационно-космической цивилизации, ЭИЛ в космосе. 2) Создание банка данных по ЭИЛ. 3) Создание механизированного оборудования, испытательных стендов ЭИЛ. 4) ЭИЛ в вакууме, азоте, инертных газах. 5) Создание ЭИ покрытий с градиентным распределением свойств, в том числе послойных, комбинированных. 6) Разработка новых электродных материалов. 7) Изучение физической сущности, разработка физико-технологических основ ЭИЛ, и в первую очередь, Fe, Ti, Al и их сплавов, тугоплавких соединений. 8) Автоматизация, компьютеризация, моделирование процесса ЭИЛ. 9) Организация академического центра по ЭИЛ.

Решение этих и других задач потребует проведения научных исследований не только на Земле, но и в космическом пространстве, что может и должно стать новым этапом в развитии и возрождении, вероятнее всего, на Дальнем Востоке учения об электроискровой обработке материалов поколением учеников и последователей выдающегося ученого Б.Р. Лазаренко. Для этого требуется при поддержке Академии наук организовать общероссийский центр, объединяющий специалистов и исследователей и координирующий их деятельность по созданию новой техники и материалов для ЭИЛ, подготовке специалистов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод электроискрового легирования занимает определенную нишу в материаловедении поверхности. Его основателями являются советские ученые Б.Р. Лазаренко и его супруга Н.И. Лазаренко. Метод ЭИЛ нашел широкое применение в машиностроительном и ремонтном производстве, со времени его создания с ним связан труд многих миллионов людей в России и за рубежом. В Советском Союзе и на постсоветском пространстве его развитие можно разделить на циклы, включающие этапы интенсивного созидания и резкого разрушения. Существует необходимость повышения надежности

работы современной техники, особенно работающей в критических условиях, выполнения требований по улучшению эксплуатационных свойств поверхностных слоев деталей и применения для этого эффективных методов обработки. К ним в полной мере можно отнести электроискровое легирование – «русский метод», метод Б.Р. Лазаренко.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Electrospark deposition for the repair of army main battle tank components*. Victor Champagne, Marc Pepi, Brian Edwards. Army Research Laboratory. Aberdeen Proving Ground, MD 210055069. 2006. <https://www.researchgate.net/publication/>
2. Hasanabadi F.M., Ghaini M.F., Ebrahimnia M., Shahverdi H.R. *Surf Coat Technol.* 2015, **270**, 95–101.
3. *Оборудование тупа «Depo»*. <http://www.technocoat.co.jp/english/deposeries/dp02>.
4. Chen Z., Zhou Y. *Surf Coat Technol.* 2006, **201**, 1503–1510.
5. Chang-bin T., Dao-xin L., Zhan, W., Yang G. *Appl Surf Sci.* 2011, **257**, 6364–6371.
6. Raju S., Faisal N.H., Rao S., Joshi S.V. and Sundararajan G. *Surf Coat Technol.* 2008, **202**(9), 1636–1644. doi:10.1016/j.surfcoat.2007.07.084
7. Norbert R. *Adv Manuf Sci Technol.* 2011, **35**(2), 59–71.
8. Verbitchi V., Ciuca C., Cojocaru R. *Nonconv Technol Rev.* 2011, (1), 57–62.
9. Leo P.; Renna, G.; Casalino, G. *Appl Sci.* 2017, **7**, 945. <https://www.researchgate.net/publication/319853788>.
10. Tušek J., Kosec L., Lešnjak A., Muhič T. *Metalurgija.* 2012, **51**, 17–20.
11. Адамчук Ю.О., Богуславский П.З., Синчук А.В. *ЭОМ.* 2017, **53**(6), 1–7.
12. Николенко С.В., Бурков А.А., Дворник М.И., Зайцев А.В. и др. *ЭОМ.* 2018, **54**(2), 1–8.
13. Кудряшов А.Е., Замулаева Е.И., Левашов Е.А., Кирюханцев-Корнеев Ф.В. и др. *ЭОМ.* 2019, **55**(2), 10–22.
14. Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Прядко Л.Ф., Коневцов Л.А. *Труды ГОСНИТИ.* 2018, **131**, 209–222.
15. Подчерняева И.А., Верхотуров А.Д., Панашенко В.М., Коневцов Л.А. *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета.* 2014, **1**(1), 73–87.
16. Беленький Б.А. *И повторить себя в учениках*. Под ред. М.К. Болога. Кишинев: Штиинца, 1988. 253 с.
17. Верхотуров А.Д., Козырь А.В., Коневцов Л.А., Глабец Т.В. *Вестник Амурского Госуниверситета.* 2016, **75**, 140–150.
18. Верхотуров А.Д., Шпилев А.М., Евстигнеев Е.И. *Основы материаловедения*. Том 1. Владивосток: Дальнаука, 2012. 270 с.

19. Голованов А.В. *Соперники резца*. М.: Машиностроение, 1973. 144 с.
20. Верхотуров А.Д., Гордиенко П.Г., Достовалов В.А., Коневцов Л.А., и др. *Высокоэнергетическое локальное воздействие на вольфрамсодержащие материалы и металлы (к 100-летию со дня рождения Б.Р. Лазаренко)*. Владивосток: Изд-во ДФУ, 2012. 472 с.
21. Ставицкий Б.И. *Из истории электроискровой обработки материалов*. Харьков: ЧФ «ЦентрИнформ»; ПРАТ «Полиграфсервис», 2013. 104 с.
22. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. *Электрическая эрозия металлов*. Вып. 1. М.: Госэнергоиздат, 1944. 28 с.
23. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. *Физика электроискрового способа обработки металлов*. Вып. 1. М.: ЦБТИ; МЭП СССР, 1946. 70 с.
24. Лазаренко Б.Р. *Вестник АН СССР*. 1959, (6), 49–56.
25. Золотых Б.Н. Физические основы электроискровой обработки металлов, Гостехтеориздат, 1953. 108 с.
26. *Электроискровая обработка металлов*. Вып. 1. Под ред. Б.Р. Лазаренко. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 228 с.
27. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. *Электроискровая обработка токопроводящих материалов*. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 184 с.
28. *Проблемы электрической обработки материалов*. Под ред. Б.Р. Лазаренко. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 248 с.
29. *Электроискровая обработка металлов*. Вып. 2. Под ред. Б.Р. Лазаренко. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 264 с.
30. Лазаренко Н.И. *ЭОМ*. 1967, (5), 46–58.
31. Лазаренко Н.И. *Электроискровая обработка металлов*. М.: Изд-во АН СССР, 1957. с. 70–94.
32. Могилевский И.З., Чеповая С.А. *Электроискровая обработка металлов*. М.: Изд-во АН СССР. 1960. с. 86–97.
33. Золотых Б.Н. *Электроискровая обработка металлов*. М.: Изд-во АН СССР, 1957. вып. 1. с. 38–69.
34. Лазаренко Н.И. *Электроискровая обработка металлов*. М.: Изд-во АН СССР, 1957. с. 70–94.
35. Бурумкулов Ф.Х., Лезин П.П., Сенин П.В., Иванов В.И., и др. *Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика)*. Саранск: Красный Октябрь, 2003. 504 с.

Summary

The article was prepared with the aim of analyzing the appearance of the method of electrospark alloying (ESA) and reflecting the main role of its founders B.R. Lazarenko and N.I. Lazarenko. It considers the development of ESA as one of the methods of surface materialology. Earlier published materials of other scientists and specialists in the field of electrophysical processing methods and the authors' works are used. The characteristic stages of this process are described: the initial period of development of the ESA method; the Moscow post-war period; the Moldavian period of the revival of the ESA; the post-Soviet period, and the role of a number of leaders, scientists, and specialists is shown. The prospects of applying the ESA method are noted, the main tasks of its development are formulated.

Keywords: surface materialology, electrospark alloying, electric discharge, technology