

**Самсонов Г. В. и Лазаренко Б. Р. — основатели нового
научного направления “Материаловедение
электродных материалов для электроэрозионной
обработки”**

А. Д. Верхотуров, И. А. Подчерняева*, Л. А. Коневцов

Институт материаловедения Хабаровского научного центра
Дальневосточного отделения РАН, г. Хабаровск

*Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича
НАН Украины, г. Киев

Представлена история развития материаловедения в области создания электродных материалов разных классов для электроэрозионной обработки металлов. На основе анализа научных трудов Г. В. Самсонова и Б. Р. Лазаренко обосновано новое научное направление — электродное материаловедение для электроэрозионной обработки.

Ключевые слова: *материаловедение, электродные материалы, электроэрозионная обработка*

После создания в 1943 г. в СССР супругами Б. Р. и Н. И. Лазаренко принципиально нового метода обработки материалов — электроэрозионного (ЭЭО) появились новые возможности по формообразованию материалов, их обработке вне зависимости от твёрдости (рис. 1).

На рис. 1 представлена упрощённая схема развития метода обработки материалов резанием с древнейших времён и до наших дней, состоящего из двух этапов. Первый этап механической обработки начался несколько миллионов лет назад и продолжился до 1943 года, когда формообразование деталей осуществлялось преимущественно путём механического воздействия одного материала (инструментального), как правило, более твёрдого, на другой (конструкционный). При этом по мере совершенствования свойств конструкционного материала к свойствам инструментального непрерывно предъявлялись всё более высокие требования. К середине 20 века круг “замкнулся”, возникли непреодолимые трудности при обработке твёрдых и сверхтвёрдых сплавов. Однако его “разомкнули” наши соотечественники, супруги Б. Р. и Н. И. Лазаренко, которые создали принципиально новый метод электроэрозионной обработки материала, используя в качестве режущего инструмента электронный поток, что ознаменовало собой начало второго этапа обработки материалов — концентрированными потоками энергии.

Это эпохальное событие в области технологии обработки металлов резанием сразу было замечено, но в своей стране не получило должного внимания. В текущем году, отмечая 100-летие со дня рождения выдающегося учёного и организатора науки Б. Р. Лазаренко (1910—1979 гг.), мы должны отметить и значительную роль его друга и соратника Г. В. Самсонова (1918—1975 гг.) в формировании нового научного направ-

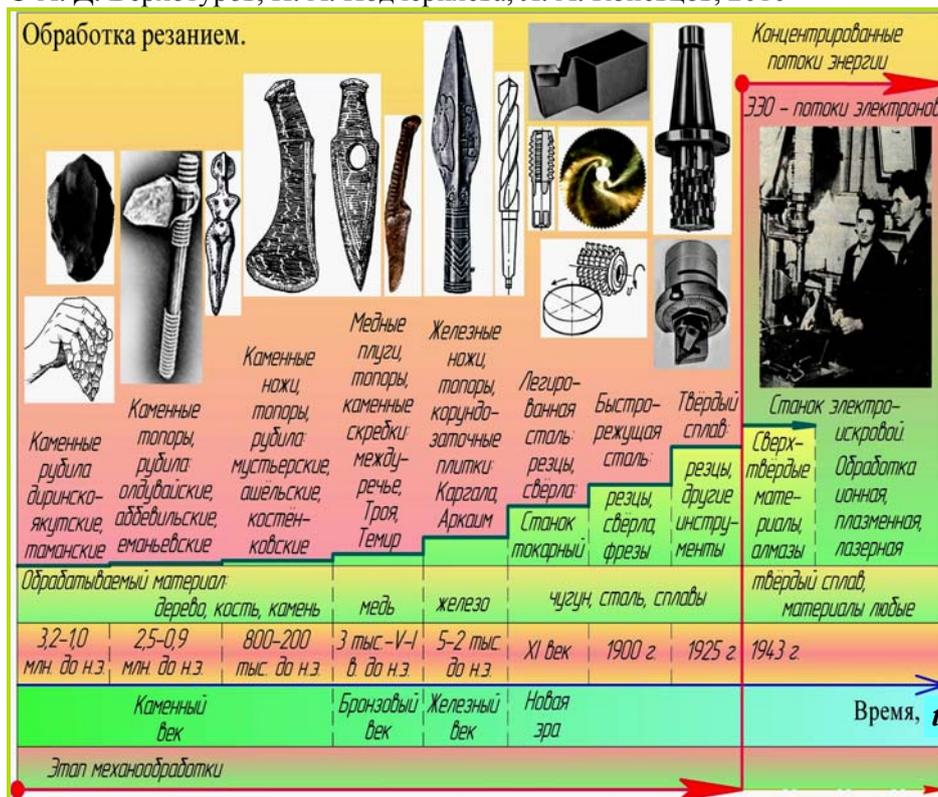


Рис. 1. Этапы обработки материалов с древнейших времён и до наших дней.

ления, связанного с ЭЭО — “Электродного материаловедения”. Как известно, метод ЭЭО имеет три основные области применения с различным его практическим использованием: электроэрозионная размерная обработка (ЭЭРО), электроискровое легирование (ЭИЛ), электроэрозионное диспергирование.

Уже в войну 1941—45 гг. метод ЭЭРО сразу нашёл своё применение при производстве легендарных “Катюш”, а в мирное время стал интенсивно развиваться в связи с его потребностью в промышленности для обработки ряда ответственных деталей из высокопрочных, тугоплавких материалов. Как отметил лауреат Ленинской премии Б. И. Ставицкий (премию он получил за обработку деталей космической техники методом ЭЭО), “...первые десятилетия электроискровых технологий практически все нынешние мировые лидеры только тем и занимались, что изучали советские достижения и пытались их копировать в своих установках. Основных причин ведущего положения СССР было, пожалуй, две: сама технология зародилась в этой стране и была применена для изготовления передовых систем вооружения” [1]. В послевоенные годы центром по исследованию, практическому использованию метода ЭЭО стала лаборатория ЦНИЛ-Электром, созданная и возглавляемая Б. Р. Лазаренко с 1948 по 1961 гг. Первые исследования лаборатории были

направлены на изучение физической сущности ЭЭО (Б. Н. Золотых), создание оборудования, разработку оптимальных техпроцессов ЭЭРО, что нашло отражение в научных трудах [2—5]. Менее интенсивно исследовались изменения исходных свойств материала катода под действием



Рис. 2. Г. В. Самсонов, Б. Р. Лазаренко, А. Б. Артамонов, Б. Н. Золотых.

электрических импульсов, протекающих в газовой среде применительно к ЭИЛ (Н. И. Лазаренко). Выполнялись металлографические исследования поверхностного слоя электродов при ЭЭРО и ЭИЛ (И. З. Могилевский, С. А. Чеповая, Я. Л. Линецкий).

Вопросы создания электродных материалов на первом этапе развития ЭЭРО ещё не обсуждались и большая часть работ лаборатории и других организаций [1] была посвящена технологическим аспектам ЭЭРО, хотя проблема электродных материалов для ЭЭО уже становилась актуальной. Следует отметить, что к проблемам материаловедения применительно к ЭЭО с глубоким интересом относились в первую очередь Б. Р. Лазаренко, Г. В. Самсонов, А. Б. Артамонов, Б. Н. Золотых (рис. 2).

После целенаправленного развала определёнными силами лаборатории ЦНИЛ-Электром в 1961 г. Б. Р. Лазаренко переехал из Москвы в Кишинёв, где стал директором Института энергетики и автоматики, основал Институт прикладной физики АН МССР. В 1965 г. и журнал “Электронная обработка материалов”, в редколлегию которого был введён зав. лабораторией ИПМ АН УССР доктор технических наук А. Я. Артамонов (1908—1967 гг.), работавший в секторе Г. В. Самсонова и защитивший в ИПМ АН УССР первую докторскую диссертацию в области материаловедения с использованием метода ЭЭО.

Можно предполагать, что Б. Р. Лазаренко и Г. В. Самсонов тогда, или даже ранее, договорились о сотрудничестве в области электродного материаловедения. У Г. В. Самсонова и его сотрудников накопилось достаточное количество научных работ по проблеме электродного материаловедения, выполненных в ЦНИЛ-Электроме и других организациях, но к решению этой проблемы подступиться было непросто. Тем не менее, высокая культура научного мышления и методологический подход Г. В. Самсонова позволили ему в короткий срок создать основы электродного материаловедения для ЭЭО.

Первый феномен Самсонова — за короткий период своей жизни (57 лет, из них 7 — на военной службе) он выпустил более 1000 научных статей, более 40 монографий, более 100 кандидатов и 40 докторов наук! Он сотрудничал с многочисленными организациями, встречался и работал со многими крупными учёными мира. Если задаться вопросом, в чём

секрет успешной научной работы Г. В. Самсонова, можно прийти к ответу: это системный подход и методология научного познания. На наш взгляд, работы по созданию электродных материалов для ЭЭО и электрод-

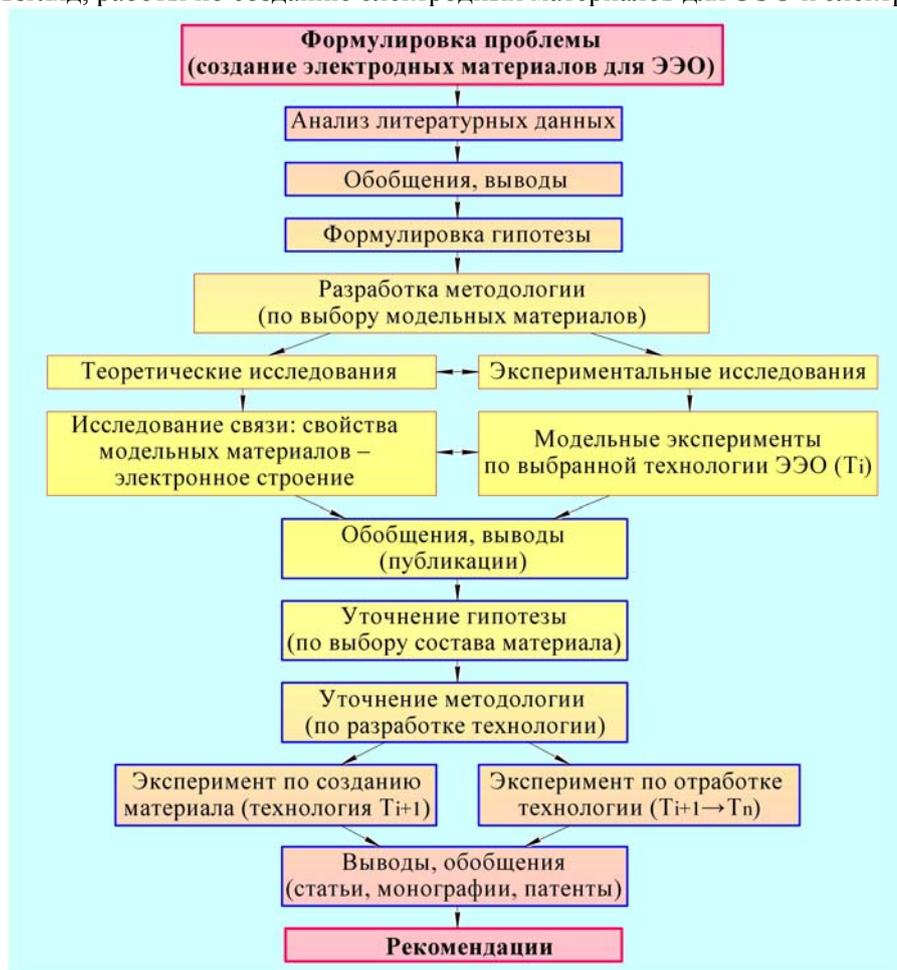


Рис. 3. Методологическая схема создания электродных материалов по Г. В. Самсонову.

ному материаловедению он осуществлял по следующей методологической схеме (рис. 3). Как мы предполагаем, Г. В. Самсонов определил начало своей методологической схемы как “Формулировка проблемы”. Это объясняется многими причинами, одной из которых была связь дальнейшего развития ЭЭО с разработкой электродных материалов, обладающих высокой эрозионной стойкостью [6]. Следовательно, проблема создания электродного материаловедения была поставлена самим ходом научно-технического прогресса и в немалой степени определялась сотрудничеством и дружбой Г. В. Самсонова и Б. Р. Лазаренко.

Касаясь второго этапа методологической схемы Г. В. Самсонова “Анализ литературных данных”, С. Я. Плоткин писал: “...с исключительной педантичностью он следил за отечественной и мировой литературой, строго систематизировал новые сведения и охотно делился ими со

своими учениками и сотрудниками” [7]. Кроме того, он был оппонентом докторских диссертаций Б. Н. Золотых, главного теоретика метода ЭЭО и видного специалиста в этой области К. К. Намитокова. Всё это позволяло Г. В. Самсонову свободно ориентироваться в проблемах ЭЭО. Он понимал,

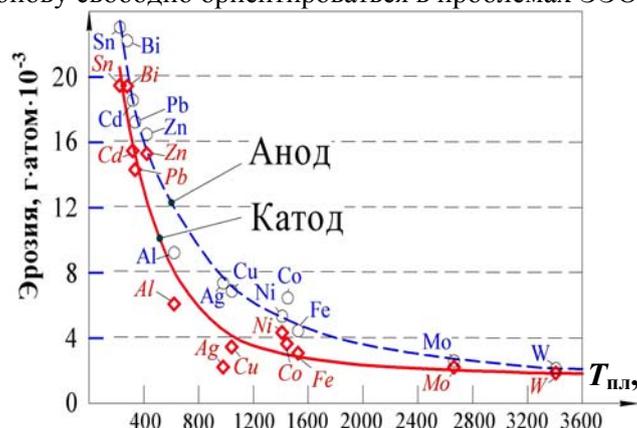


Рис. 4. Зависимость величины эрозии анода и катода (курсив) от температуры плавления материала [9].

что для создания электродных материалов необходимо определить хотя бы начальные критерии, а для этого следует сделать обобщающие выводы по влиянию физико-химических свойств на эрозионную стойкость материалов.

В работах Б. Н. Золотых, и в частности в [8], предпринималась попытка установления связи эрозии с теплофизическими константами материала. Было определено, что величина эрозии имеет тенденцию к снижению по мере роста “полной теплоты плавления массы металла, подвергшейся эрозии”, а также температуры плавления (рис. 4) [9]. Однако Б. Н. Золотых сделал вывод, что установление однозначной функциональной связи “между величиной эрозии и какой-либо одной теплофизической константой материала электрода невозможно, так как величина эрозии зависит не от одной теплофизической характеристики материала, не от одного вида фазовых превращений, а от комплекса величин и процессов” [8].

Ещё ранее (1951 г.) Л. С. Палатник (Харьковский государственный университет) провёл спектральные рентгенографические исследования искрового разряда и превращений в поверхностном слое металлов после его воздействия [10]. Исследования показали, что существует эффект полярности в составе парообразной фазы, то есть связь между концентрацией паров материала электродов и полярностью, при этом концентрация паров материала анода больше, чем катода. Её можно описать соотношением $X_k/X_a = C_a \rho_a \lambda T_{(к,а)}^2 / C_k \rho_k \lambda T_{(к,к)}^2$, где X — концентрация паров; C — теплоёмкость; ρ — плотность; λ — коэффициент теплопроводности; T — температура кипения; а, к — индексы анода и катода соответственно. Палатник Л. С. предположил, что приведенное соотношение можно рассматривать как общий критерий полярности, если заменить температуру кипения в нём температурой плавления. Соотношение $K = C \rho \lambda T^2$ получило название критерия эрозионной стойкости Палатника [9].

Можно полагать, что анализ литературных данных позволил Г. В. Самсонову сделать обобщающие выводы.

1. Электрическая эрозия материала электродов при импульсных разрядах имеет “тепловую природу” [8], то есть он принял теорию Б. Н. Золотых, которая хорошо математически оформлена. Однако последние исследования показали, что электродинамическая теория Б. Р. Лазаренко более актуальна.

2. Удаление материала из электродов происходит в жидкой и паровой фазах [8].

3. Эрозионная стойкость материала электродов определяется комплексом их теплофизических свойств.

4. Механические свойства не оказывают существенного влияния на эрозию материала.

5. Наиболее привлекательным критерием эрозионной стойкости является критерий Палатника. Однако он в некоторых случаях не совпадает с результатами экспериментальных исследований [8, 10].

6. Эрозионностойкими материалами могут быть материалы с высокой температурой плавления и высокой теплопроводностью — композиты на основе тугоплавких соединений. Это была рабочая гипотеза Г. В. Самсонова.

Приведённые выводы чётко формулировались Г. В. Самсоновым в беседах с аспирантами, позволили ему выдвинуть и другую гипотезу: эрозионная стойкость материалов электродов определяется особенностями их электронного строения и существует прямая зависимость эрозии металлов от особенностей их электронного строения, а именно, от статистического веса атомов с устойчивыми конфигурациями (СВАСК) d^5 -атомов. При этом он не отрицал зависимости эрозионной стойкости от ряда теплофизических свойств материалов, заставляя перепроверять достоверность критерия Палатника. Он предполагал, что определение критериев является важным шагом к зависимостям, устанавливающим свойства материалов.

Проверяя гипотезу, Г. В. Самсонов отчётливо представлял методологическую основу выполнения работы. Она базировалась на впервые предложенной концептуальной основе, впоследствии изложенной в его монографии совместно с И. Ф. и Л. Ф. Прядко [11], как исследование взаимосвязи “состав—структура—технология—свойства”, что также является основой парадигмы новой науки о материалах — материалогии, предложенной нами.

Проверялась гипотеза о высокой эрозионной стойкости композита, состоящего из твёрдого сплава с добавками меди и никеля, показана высокая эрозионная стойкость сплава ВКМ-30. Предпринята попытка объяснения повышения эрозионной стойкости с позиций конфигурационной модели вещества. На кафедре порошковой металлургии Киевского политехнического института под руководством Г. В. Самсонова И. М. Мухой, А. Н. Крушинским и другими сотрудниками кафедры были выполнены предварительные исследования эрозионной стойкости электродных материалов. Результаты были опубликованы в журнале “Электронная обработка материалов” [6]. Следует отметить, что первая диссертационная работа по исследованию и созданию электродов для

ЭЭРО на медной основе была выполнена в 1966 году Шмаковым Г. С. [12] и защищена в ИПМ АН УССР.

Как правило, Г. В. Самсонов предлагал начинать исследования с модельных экспериментов, с использования в качестве электродов “чистых” (“модельных”) металлов, а также карбидов, боридов и нитридов переходных металлов. В связи с этим для установления зависимости эрозии от особенностей электронного строения были проведены дополнительные исследования И. М. Мухой, использовавшим “чистые” металлы [13, 14], и А. М. Лемешко, который использовал в качестве электродов карбиды, бориды и нитриды переходных металлов IV—VI групп [15]. Предварительно осуществлялось сопоставление эрозионной стойкости материалов с критерием Палатника. Было установлено, что критерий Палатника можно применять только для некоторых “групп металлов”, то есть он не является всеобщим критерием эрозионной стойкости. При этом постулировалось, что особенности электронного строения, которые представляются конфигурационной моделью вещества, являются всеобщим критерием эрозионной стойкости материала. Представленные зависимости эрозии материала электродов от СВАСК доказывали это утверждение [13, 14]. Но прямая зависимость эрозии от СВАСК наблюдалась только для отдельных групп металлов, при этом И. М. Мухой были установлены аномальные значения эрозии, например для циркония [13]. Потребовалось продолжение теоретических и экспериментальных работ.

Однако на кафедре порошковой металлургии КПИ по причинам, не зависящим от желания исследователей, работы были прекращены. Продолжились исследования процесса ЭЭО в ИПМ АН УССР, возглавляемом И. Н. Францевичем, который направил исследования процесса ЭЭО преимущественно применительно к процессу ЭИЛ. Первые работы по повышению износостойкости металлов при ЭИЛ карбидами, боридами в ИПМ АН УССР были проведены Г. А. Бовкун под руководством А. Я. Артамонова и при содействии Н. И. Лазаренко [16]. Во второй половине 1960-х годов научное направление возглавил Г. В. Самсонов. Под его руководством в соответствии с методологической схемой (рис. 3) были впервые выполнены исследования эрозионной стойкости металлов, тугоплавких соединений, а также процесса формирования легированного слоя (ЛС) и его свойств [17].

Многие известные учёные, например И. Н. Францевич, В. И. Трефилов и их ученики, занимались определением взаимосвязи различных физических и химических параметров, а также разработкой критериев. Так, И. Н. Францевич в книге “Сверхтвёрдые материалы” предпринял попытку установления связи модулей упругости с другими физическими параметрами твёрдого тела по аналогии формул Т. Эндрюса и Т. Ричардса. Были получены своего рода обобщения на достаточно высоком научном уровне. Самсонов Г. В. не отрицал критерии (в том числе и Палатника), но считал, что наиболее высоким обобщением является связь физических параметров, в том числе эрозионной стойкости с электронным строением материала. Всё было бы логично, если бы не выяснилось при исследовании электродных материалов, что эрозия во многих случаях происходит не только в паровой и жидкой фазах, но и в твёрдой фазе.

В связи с этим возникли сложности в установлении связи эрозии с особенностями электронного строения.

На рис. 5 представлены полученные на электронном сканирующем микроскопе изображения продуктов эрозии (Π_3) при ЭИЛ твёрдого сплава ВК8 бориды ZrB_2 , HfB_2 и CrB_2 . Выявлено, что образуются Π_3 трёх

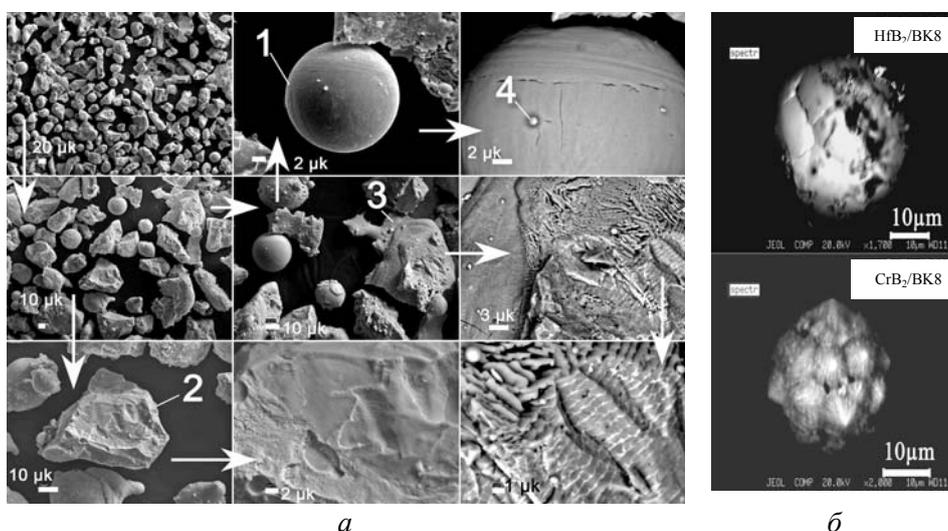


Рис. 5. Продукты эрозии при ЭИЛ твёрдого сплава ВК8 электродными материалами: ZrB_2 (а) (1—4 — исследованные частицы), HfB_2 и CrB_2 (б). групп из твёрдой и жидкой фаз: шаровой формы, неправильной формы хрупкой фазы и неправильной формы со следами оплавления. На шарообразных частицах видны и другие, сферической формы размером $<0,5$ мкм, образовавшиеся из паровой фазы.

На основании изложенных фактов можно сделать вывод, что при ЭИЛ бориды Π_3 по составу образуются не только из Π_3 материала анода, но и катода, а также продуктов их взаимодействия: $\Pi_3 = \Pi_A + \Pi_K + \Pi_{(A+K)}$, где Π_A , Π_K , $\Pi_{(A+K)}$ — продукты эрозии с составом элементов анода, катода и анода + катода соответственно. Так, в процессе эрозии материала ВК8 первоначально имеет место миграция канала разряда по более легкоплавкому токопроводящему металлу (Co) с его испарением.

Уравнение реакции $WC + 3/2 O_2 \xrightarrow{T = 650 \text{ } ^\circ C} WO_3 + CO_2 \uparrow$. На второй стадии кроме испарения легкоплавкого компонента $Co \uparrow$ может происходить термическое разложение карбида вольфрама в атмосферном воздухе по схеме $WC + O_2 \xrightarrow{T = 650 \text{ } ^\circ C} W + CO_2$. В межэлектродном промежутке продукты испарения взаимодействуют с переносимым материалом анода и окружающей средой (рис. б). В связи с этим в Π_3 материала анода (Me—W—O) могут присутствовать W, Co в небольших количествах. На третьей стадии наблюдается хрупкое разрушение ЛС. В составе Π_3 отсутствуют образовавшиеся из жидкой фазы ($WC-Co$, $T = 1340 \text{ } ^\circ C$) Π_3 материала катода (шарообразные WC, Co, W), а присутствуют продукты термодеструкции материала катода в виде оксидных соединений.

Это подтверждает положение миграционной теории эрозии, в соответствии с которой в эрозионном эффекте материала катода главную роль

играют поверхностные процессы испарения вещества. Парообразные продукты шарообразной формы диаметром $d \leq 10^{-4}$ см (рис. 7, а) присутствуют в Π_3 только в виде осаждаемых частиц. Объем частиц из паровой фазы гораздо меньше объема частиц, образованных из жидкой и твердой фаз, то есть $\Pi_{\text{П}} \ll \Pi_{\text{Ж}} + \Pi_{\text{Т}}$; $\Pi_{\text{А}} = \Pi_{\text{П}} + \Pi_{\text{Ж}} + \Pi_{\text{Т}}$; $\Pi_{\text{К}} = [\Pi_{\text{П}} + \Pi_{(\text{А+К})}] \approx \Pi_{(\text{А+К})}$,

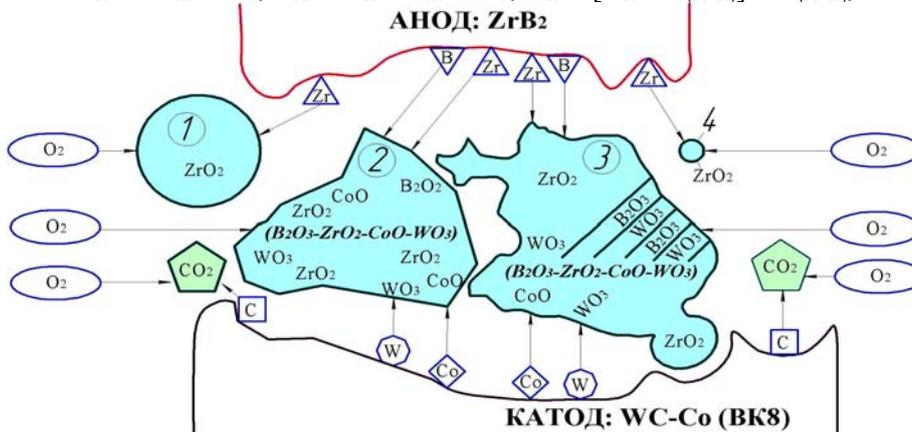


Рис. 6. Схема формирования состава продуктов эрозии при ЭИЛ $\text{ZrB}_2/\text{BK8}$.

где $\Pi_{\text{П}}$, $\Pi_{\text{Ж}}$, $\Pi_{\text{Т}}$ — продукты эрозии из паровой, жидкой, твердой фаз (в том числе оплавленные частицы в твердой фазе) анода и катода соответственно.

Частицы Π_3 из жидкой фазы, как правило, представляют оксиды борообразующего металла (например, ZrO_2 , HfO_2 , CrO_2). Их образование вызвано воздействием искрового разряда в атмосфере воздуха на материал катода с разложением борида: $\text{MeB}_2 + 3/2\text{O}_2 = \text{MeO}_2 + \text{B}_2\text{O}_3$.

На поверхности хрупких частиц, образовавшихся в результате разрушения материала анода (например, ZrB_2), просматриваются оплавленные участки (рис. 7, а). При ЭИЛ различные участки таких частиц, образованных из материала анода в результате взаимодействия с материалом катода, подвергались неодинаковому тепловому воздействию при конвективном перемешивании в микрованне расплава и окислительной газовой среде, что привело к локальному изменению состава. В результате левая часть рассматриваемой частицы 3 (рис. 5, 6) состоит из ZrO_2 , правая, после перекристаллизации, — из соединения с W в виде слоистых структур. Таким образом, при ЭИЛ ВТС боридами образуются Π_3 : шаровые из паровой и жидкой фаз; неправильной формы со сколотыми краями в результате хрупкого разрушения; неправильной формы с оплавленными краями, участками перекристаллизации в результате термомеханического конвективного перемешивания в окислительной среде расплава и термохимических процессов взаимодействия материалов анода и катода. То есть результатами анализа гранулометрического, химического и фазового составов подтверждена гипотеза о термомеханическом характере эрозии материала электродов при ЭИЛ ВТС.

Было установлено, что в общем случае при ЭИЛ (особенно при “грубых режимах”, $I_{\text{к.з.}} > 5$ А) наблюдается зависимость эрозионной стойкости материалов электродов от особенностей их электронного строения, усиливающаяся с повышением СВАСК. Однако и в этом случае имели

место аномально высокие значения эрозии для ряда материалов: Mo, Cr, Zr, ZrC, Cr₃C₂ и аномально низкие для Nb, Ta, Cu, Ag, также наблюдалось изменение эрозионной стойкости ряда материалов от величины $I_{к.з.}$ (таблица) [9].

При “чистовом” ЭИЛ ($I_{к.з.} < 5$ А) замечена общая закономерность уменьшения эрозии материала электродов от повышения СВАСК. Однако

Эрозия ($\Delta a, \cdot 10^{-4}$ см³) переходных металлов для разных видов и режимов ЭИЛ (катод — сталь 45, $t = 1$ мин/см²) [9]

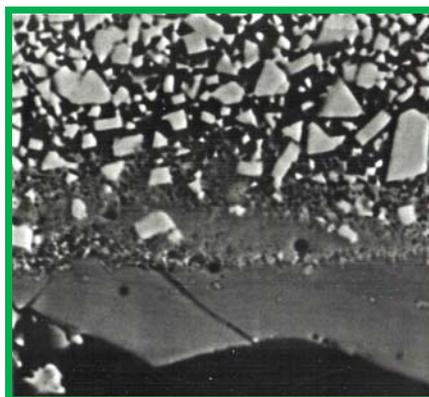
Материал анода	“Чистовое” ЭИЛ, ЭФИ-46А			“Грубое” ЭИЛ, ЭФИ-25М			Механизированное ЭИЛ, ЭФИ-66		
	E, А/Дж								
	86	14	0,8	180	400	600	18	40	60
Ti	13,0	11,7	26,7	28,7	83,0	160,0	0,6	2,4	9,5
Zr	12,0	14,0	21,0	21,0	67,0	135,0	1,4	2,8	8,4
V	0,8	10,9	13,8			130,0	1,6	4,6	
Nb	1,0	7,3	9,9	14,0	18,0	120,0	0,4	1,3	5,1
Ta	0,5	6,1	9,8	12,0	20,0	98,0	0,3	0,9	3,0
Cr	2,1	12,7	20,6	8,7	14,0	188,0	1,2	3,3	8,7
Mo	1,4	8,1	9,8	8,5	18,0	10,0	0,3	0,9	3,0
W	0,9	13,9	15,3	7,6	12,0	31,0	0,5	1,0	3,1

наблюдалось отклонение от линейной зависимости: аномально высокие значения эрозии у Zr, Cr, W, а при безвибрационном механизированном ЭИЛ — у V, Cr. На основании проведённых экспериментов Г. В. Самсоновым была предложена гипотеза о том, что при ЭИЛ эрозия материала электродов происходит не только в паровой и жидких фазах, а на величину эрозии влияют и структурно-чувствительные свойства, в том числе температура перехода в хрупкое состояние [18], приводящая к аномально высокой эрозии ряда металлов.

Исследования П_э при ЭИЛ подтвердили эту гипотезу [9]. Кроме того, установлено, что на закономерности изменения эрозии в зависимости от режимов обработки, состава межэлектродной среды, состава и свойств второго электрода значительное влияние оказывает образование “вторичных” структур и “вторичного” тепла [9] (рис. 7). Самсонов Г. В. полагал, что существует прямая зависимость эрозии от особенностей электронного строения материала при устранении влияния второго электрода, то есть зависимость процесса эрозии и от других концентрированных потоков энергии (лазерной, электронно-лучевой обработки). Что и было экспериментально подтверждено (рис. 8) [9].



a



б

Рис. 7. Образование “вторичных структур” при ЭИЛ стали 45 на аноде: *a* — Zr, x450; *б* — BK20, x300.

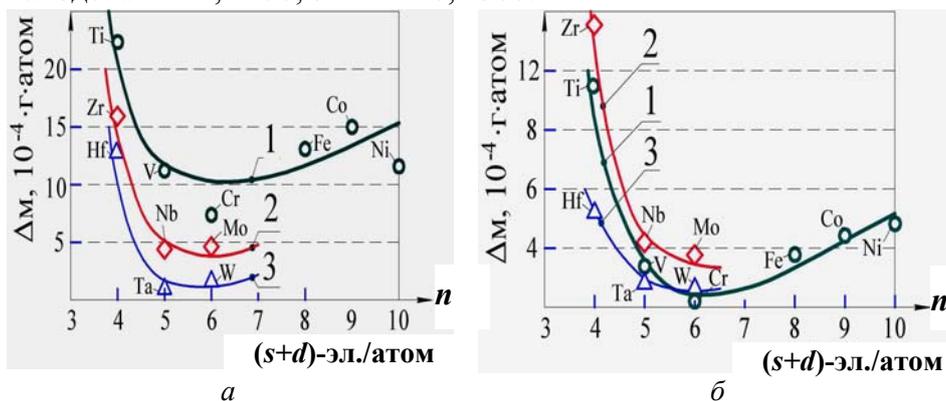


Рис. 8. Зависимость эрозии Δm переходных металлов IV (1), V (2) и VI групп (3) от числа электронов на d -оболочке при лазерной обработке в аргоне (*a*) и на воздухе (*б*).

Параметр эрозионной стойкости материала электродов, тем не менее, является только одним из факторов, определяющих эффективность процесса ЭИЛ, где важнейшим направлением в исследовании является изучение взаимосвязи состав—структура—технология—свойства поверхностных слоёв электродов в зависимости от различных режимов и параметров процесса. В связи с этим аспекты исследования процесса формирования ЛС и его свойств, а также создания электродных материалов являются важнейшими разделами ЭИЛ. Эти и другие вопросы исследований решались в ИПМ и ИПФ при совместном обсуждении результатов и зачастую совместном выполнении экспериментальных работ, которые стимулировались организационной и научной работой Г. В. Самсонова и Б. Р. Лазаренко (рис. 9).

В ИПФ АН Молдавской ССР исследовательские работы были сосредоточены преимущественно на создании и исследовании новых установок, а также на формировании ЛС и его свойств при ЭИЛ сталей, титана и его

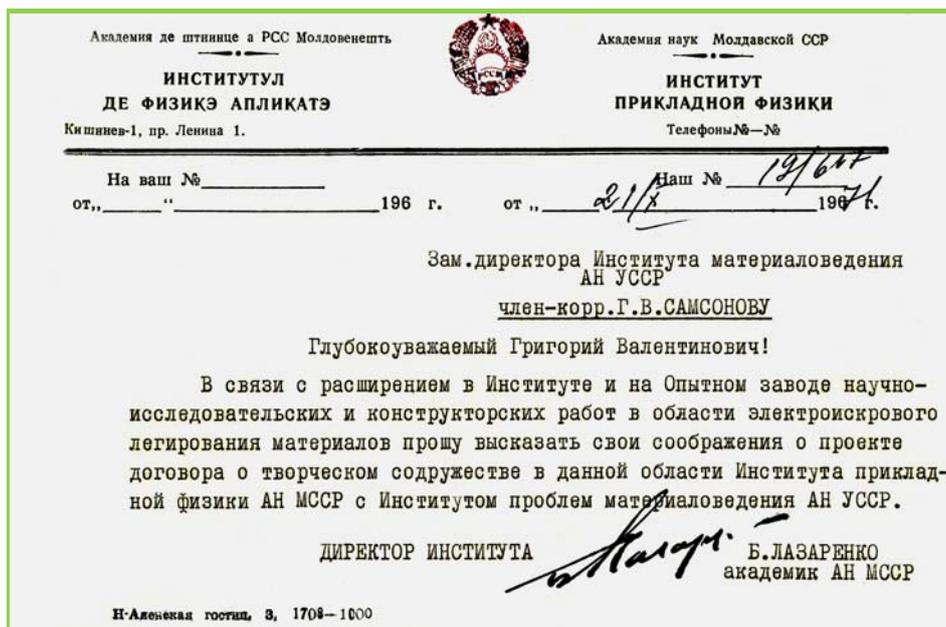


Рис. 9. Письмо академика Б. Р. Лазаренко члену-корреспонденту Г. В. Самсонову.

сплавов. Это работы А. Е. Гитлевича, В. В. Михайлова, А. М. Парамонова, В. И. Иванова, С. З. Бакала, И. И. Сафронова, Е. А. Зайцева и других, которые были защищены в ИПМ АН УССР. В то время в ИПМ выполнялись исследовательские работы в основном по изучению формирования ЛС и его свойств при ЭИЛ тугоплавкими металлами и соединениями (“самсонидами”, как их сейчас называют по предложению академика М. Ристича), а также по созданию электродных материалов. Это работы Г. А. Бовкун, А. Д. Верхотурова, В. С. Сычева, И. А. Подчерняевой, М. С. Ковальченко, Ю. Г. Ткаченко, С. Н. Кириленко, В. И. Новиковой, А. В. Паустовского и других.

Под руководством Г. В. Самсонова и Б. Р. Лазаренко и в результате совместных обсуждений экспериментальных исследований был сформулирован ряд выводов и обобщений, которые послужили основой создания нового научного направления — электродного материаловедения для ЭЭО:

разработана обобщённая модель процесса ЭИЛ с учётом физико-химических явлений в приповерхностном слое анода и катода, которая включает разрушение электродов в жидкой, паровой и твёрдой фазах, формирование “вторичной” структуры на рабочей поверхности анода, ограничение толщины ЛС на катоде за счёт внутренних напряжений и термоусталости, дискретный характер формирования ЛС;

установлены научные принципы создания легирующих композиций на основе тугоплавких соединений, а также металлов, главным из которых является образование неограниченных твёрдых растворов или химических соединений с материалом катода компонентов металлической связки в первом случае и легирующего материала — во втором;

предложен критерий выбора материала легирующего электрода, дана его оценка при ЭИЛ железа наиболее широко применяемыми на практике металлами и карбидами;

решена задача создания методами порошковой металлургии специальных псевдосплавов, электродов для ЭИЛ конструкционных материалов;

разработаны модифицированные твёрдые сплавы, сплавы на основе борида W_2B_5 и безвольфрамовые на основе TiC, ZrC, Mo_2B_5 , TiN, ZrN.

Отмеченные “обобщения” были опубликованы уже в конце жизни Г. В. Самсонова, Б. Р. и Н. И. Лазаренко.

Таким образом, на основе трудов и результатов научной деятельности Г. В. Самсонова с его системным и методологическим подходом, его друга и соратника Б. Р. Лазаренко было обосновано новое научное направление: “Электродное материаловедение для ЭЭО”. Это направление нашло и продолжает своё дальнейшее развитие в ИПМ НАНУ и ИМ ХНЦ ДВО РАН (г. Хабаровск) [19—22].

Авторы благодарят канд. техн. наук Иванова В. И. (ГОСНИТИ, г. Москва) за участие в экспериментах и их обсуждении.

1. *Ставицкий Б. И.* Из истории электроискровой обработки материалов: почему СССР потерял лидерство в электроискровых технологиях // *Металлообработка: Междунар. информ.-техн. журн.* — 2007. — № 4. — С. 52—56.
2. *Электроискровая обработка металлов* // *Труды ЦНИЛ-Электром* / Ред. Б. Р. Лазаренко. — М.: Изд-во АН СССР. — 1957. — Вып. 1. — 228 с.
3. *Электроискровая обработка металлов* // Там же. — 1960. — Вып. 2. — 264 с.
4. *Проблемы электрической обработки материалов* / Ред. Б. Р. Лазаренко. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 248 с.
5. *Проблемы электрической обработки материалов* // *Труды ЦНИЛ-Электром* / Ред. Б. Р. Лазаренко. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 256 с.
6. *О выборе материала электродов для электроискровой обработки* // *Электронная обработка материалов.* — 1966. — № 1. — С. 28—32.
7. *Plotkin S. Ya.* A word about Samsonov // *Science of sintering.* beograd. — 1978. — 10. Special issue. — P. 27—42.
8. *Золотых Б. Н.* О физической природе электронной обработки металлов // *Сб. тр. ЦНИЛ-Электром* / Ред. Б. Р. Лазаренко. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — С. 38—69.
9. *Верхотуров А. Д.* Научные основы формирования легированного слоя при электроискровом легировании: Автореф. ... д-ра техн. наук. — К.: Ин-т пробл. материаловедения АН УССР, 1984. — 54 с.
10. *Палатник Л. С.* Неравновесные и квазиравновесные состояния в сплавах: Автореф. ... д-ра техн. наук. — Харьков: Харьковский гос. ун-т, 1952. — 54 с.
11. *Самсонов Г. В., Прядко И. Ф., Прядко Л. Ф.* Электронная локализация в твёрдом теле. — М.: Наука, 1976. — 338 с.
12. *Шмаков Г. С.* Исследование условий получения и свойств жаропрочных и электроэрозионноустойчивых металлокерамических материалов на медной основе: Автореф. ... канд. техн. наук. — К.: Ин-т пробл. материаловедения АН УССР, 1966. — 32 с.
13. *Самсонов Г. В., Муха И. М.* Анализ данных по износу материала обрабатываемых электродов // *Электронная обработка материалов.* — 1967. — № 3. — С. 3—13.
14. *Самсонов Г. В., Муха И. М.* Закономерности, определяющие износ катода при электроискровой обработке металлов // Там же. — 1961. — № 3. — С. 17—24.

15. Лемешко А. М. Исследование эрозии электродов при электроискровой обработке тугоплавких металлов и их соединений с углеродом, бором и азотом: Автореф. ... канд. техн. наук. — К.: Ин-т пробл. материаловедения АН УССР, 1971. — 24 с.
16. Бовкун Г. А. Исследование сопротивления абразивному изнашиванию тугоплавких соединений: Автореф. ... канд. техн. наук. — К.: Ин-т пробл. материаловедения АН УССР, 1969. — 26 с.
17. Самсонов Г. В., Верхотуров А. Д. Закономерности эрозии катода и анода при электроискровом упрочнении // Электронная обработка материалов. — 1969. — № 1. — С. 25—29.
18. Трефилов В. И., Мильман Ю. В., Фирстов С. А. Физические основы прочности тугоплавких металлов. — К.: Наук. думка, 1975. — 316 с.
19. Верхотуров А. Д., Фадеев В. С. Некоторые вопросы современного состояния и перспективы развития материаловедения. — Владивосток: Дальнаука, 2004. — 320 с.
20. Мулин Ю. И. Технологические и методологические основы формирования функциональных покрытий методом электроискрового легирования с применением электродных материалов из минеральных концентратов Дальнего Востока: Автореф. ... д-ра техн. наук. — Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2007. — 42 с.
21. Химухин С. Н. Разработка научных основ формирования изменённого слоя на металлах и сплавах с заданными свойствами при низковольтной электроискровой обработке: Автореф. ... д-ра техн. наук. — Комсомольск-на-Амуре: КнАГТУ, 2009. — 40 с.
22. Верхотуров А. Д., Николенко С. В. Классификация, разработка и создание электродных материалов для электроискрового легирования // Упрочняющие технологии и покрытия. — 2010. — № 2. — С. 13—22.

Самсонов Г. В. и Лазаренко Б. Р. — засновники нового наукового напрямку “Матеріалознавство електродних матеріалів для електроерозійної обробки”

А. Д. Верхотуров, И. О. Подчерняева, Л. А. Коневцов

Подано історія розвитку матеріалознавства в галузі створення електродних матеріалів різних класів для електроерозійної обробки металів. На основі аналізу наукових праць Г. В. Самсонова та Б. Р. Лазаренка обґрунтовано новий науковий напрямок — “Електродне матеріалознавство для електроерозійної обробки”.

Ключові слова: *матеріалознавство, електродні матеріали, електроерозійна обробка.*

Samsonov G. V. and Lazarenko B. R. are the founders of the novel science trend “Electrode materials science for electroerosion treatment”

A. Verkhoturov, I. Podcherniaeva, L. Konevtsov

The history of the materials science progress in the field of development of different electrode materials presented. Analysis of G. V. Samsonov’s and B. R. Lazarenko’s scientific works demonstrates that Samsonov G. V. and Lazarenko B. R. are the founders of the novel the science trend “Electrode material science for electroerosion treatment”

Keywords: *material science, materials for electrode, electroerosion treatment.*