

Памяти Члена-Корреспондента АН Молдовы Александра Ивановича Дикусара 28.08.1942 – 02.09.2023



2 сентября 2023 года ушел из жизни профессор Александр Дикусар – известный деятель в области электрохимии.

Александр Дикусар родился 28 августа 1942 года в селе Верхнее Аблязово (ныне Радищево) Кузнецкого района Пензенской области в семье профессора Московского университета, впоследствии академика АН МССР Ивана Георгиевича Дикусара. Во время войны семья И.Г. Дикусара находилась в Пензенской области в эвакуации, затем вернулась в Москву, а в 1959 году переехала в Кишинев, где Александр поступил на химический факультет Кишиневского университета, который окончил в 1964 году. После службы в армии и работы преподавателем в Кишиневском политехническом институте в 1967 году поступил в аспирантуру КПИ им. С. Лазо и в 1971 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата химических наук.

После окончания аспирантуры поступил на работу в Институт прикладной физики молдавской Академии наук. Под руководством академика Ю.Н. Петрова создается, а впоследствии А.И. Дикусара в Институте прикладной физики развивается научная школа в области высокоскоростных электрохимических процессов и технологии электрохимического формообразования, результатом деятельности которой стало создание теории термокинетических явлений в электрохимических системах при значительном удалении от состояния термодинамического равновесия. В 1988 году защитил

диссертацию на степень доктора хабилитат, а в 1990 году получил звание профессора. Под руководством А.И. Дикусара 20 сотрудников и аспирантов защитили диссертации на соискание ученой степени докторов технических, химических, физико-математических и экономических наук. Сейчас они работают в Институте прикладной физики, на различных предприятиях и в вузах страны, а также за рубежом. На протяжении многих лет проф. А.И. Дикусар читал различные курсы в университетах Молдовы: «Основы электрохимии и электрохимических технологий», «Теоретические основы электрофизических и электрохимических методов обработки материалов», «Физические методы исследования» и др.

А.И. Дикусар – автор и соавтор ряда монографий, более 300 научных работ и изобретений, в том числе около 100 работ в журналах, входящих в мировые базы данных Web of Science и Scopus. Деятельность его научной школы оказала большое влияние на создание на базе ООО Toraz научно-технического кластера Elchim-Moldova, в который входит Лаборатория электрофизических и электрохимических методов обработки материалов им. Б.Р. Лазаренко Института прикладной физики, руководимая проф. А.И. Дикусаром. При непосредственном участии лаборатории создаются станки и технологии электроэрозийных и электрохимических методов обработки материалов.

В 2007 году проф. А.И. Дикусар избирается членом-корреспондентом АН Молдовы по специальности «Электрофизика и электро-технологии».

Проф. А.И. Дикусар с 1997 года являлся заместителем главного редактора и рецензентом журнала «Электронная обработка материалов» Института прикладной физики, англоязычная версия которого Surface Engineering and Applied Electrochemistry входит в различные мировые базы данных. Вел активную работу в области науковедения и наукометрии. Анализируя взаимное влияние процессов социально-экономического и научного развития общества, показал, что существует прямая связь между уровнем научного и социально-экономического развития общества. Статьи и выступления на междуна-родных научных конференциях по этой проблеме всегда вызывали живой интерес.

В последние годы А.И. Дикусар продолжал активную научную деятельность в области применения нанотехнологий и электрофизико-химических методов получения и обработки материалов, будучи научным руководителем ряда международных проектов.

Ушел из жизни известный молдавский ученый и прекрасный педагог. Сейчас в память о нашем коллеге, друге и учителе напомним о наиболее важных его достижениях, поскольку научные исследования всегда являлись приоритетом для Александра Ивановича.

Одним из первых научных направлений, которым потом на протяжении многих лет занимались Александр Иванович и его ученики, являлась электрохимическая размерная обработка. На основе полученных результатов был разработан технологический процесс электрохимической обработки лопаток турбореактивных двигателей, который внедрен на заводе «Топаз».

В качестве нового направления (начиная с 2006 года) группой сотрудников Приднестровского государственного университета им. Т.Г. Шевченко под руководством проф. А. Дикусара начато исследование свойств электроискровых покрытий, получаемых с помощью алюминиевых электродов на алюминиевых сплавах. Опробованы различные методы нанесения были, проанализированы результаты исследований по данному направлению. Изучалась зависимость толщины покрытий от амплитуды колебаний вибратора, энергии импульса, химического состава используемого электрода. Для повышения чистоты эксперимента было разработано устройство автоматического перемещения вибратора с

электродом и проводились опыты с применением электродов иного химического состава.

Результаты опубликованы в различных научных журналах, докладывались на многочисленных международных конференциях.

Был использован химический состав обрабатываемого электрода, при применении которого в покрытии получались нанонити с аномально высокой износостойкостью по сравнению с покрытиями с использованием электродов, имеющих иные соотношения количеств алюминия и олова. Благодаря научному опыту Александра Ивановича был определен механизм получения нанонитей и их химический состав, в результате разработан процесс получения износостойких алюминиево-оловянных наноструктурированных покрытий на алюминиевых поверхностях.

В последнее время научная деятельность Александра Ивановича была ориентирована на исследование электроосаждения сплавов металлов группы железа (Fe, Co, Ni) с тугоплавкими металлами (W, Mo, Re), которые представляют значительный интерес как в плане применения получаемых объемных материалов и структур в качестве упрочняющих, антикоррозионных, магнитных, каталитически активных покрытий и слоев, так и квазиодномерных структур (нанопроволок, нанотрубок, нанолент и т.д.). Подобные исследования, проводимые и другими международными научными группами, входят в перечень актуальных научных векторов развития электрохимии.

Если кратко охарактеризовать главные цели наиболее значимых в представляемом направлении научных исследований, которые осуществлялись Александром Ивановичем, то можно обозначить следующее.

Управление составом и свойствами получаемых материалов и структур, которое представляет значительный интерес в связи с тем, что с точки зрения классических методов управления составом сплавов, получаемых электрохимическим путем, эти процессы относятся к категории аномальных. Электроосаждение подобного рода получило название «индуцированного соосаждения»; иначе – металл, который не может быть осажден из водного раствора, соосаждается в присутствии другого металла, образуя сплав. Именно к категории индуцированного соосаждения относятся процессы получения сплавов металлов группы железа с тугоплавкими металлами.

Для управления составом и свойствами необходимо было объяснить создание структуры покрытий, получаемых методом индуцированного соосаждения. Показано, что все

полезные свойства непосредственно связаны с получаемой структурой и на управление процессами, позволяющими получать данные структуры, и направлены основные усилия исследователей, а механизмы создания этих структур – нанокристаллических являются предметом основных дискуссий.

Среди различных механизмов выделяются две группы. Первая основана на образовании смешанного комплекса, содержащего металл группы железа и тугоплавкий металл в растворе. Электроосаждение сплава происходит из этого комплекса, состав которого определяет соотношение компонентов в сплаве, а, следовательно, и его свойства. В основе другой группы – гипотеза, что прекурсором образования сплава является смешанный поверхностный комплекс, сформированный интермедиатами восстановления двух металлов, составляющих сплав. Обе группы механизмов позволяют объяснить экспериментально наблюдаемые закономерности формирования состава, а, следовательно, и свойства получаемых покрытий, являющихся нанокристаллическими.

Александром Ивановичем объяснено, почему ранее обнаруженные электрохимические покрытия, получаемые индуцированным соосаждением из сплавов металлов группы железа с тугоплавкими металлами (W, Mo, Re), обладают нанокристаллическостью. Объяснены макроскопические размерные эффекты микротвердости и коррозионной стойкости, а также влияние объемной плотности тока на свойства и состав. Из теории следует фрактальность используемых растворов комплексов (цитратных, глюконатных и др.) в сочетании с интенсивным межфазным обменом. Кинетика нанонуклеации в этом случае ограничивает размеры образующихся зародышей сплава, вследствие чего в формировании покрытий участвуют молекулы воды, приводящие к внедрению в состав твердой фазы оксид-гидроксидных включений и наводороживанию.

Коснувшись этой новой теории, отметим основы классической теории нуклеации (КТН), когда справедлива линейная зависимость плотности от координаты и рост образующейся наночастицы следует классической схеме, в соответствии с которой размеры роста не ограничены. Перевалив хаотически через потенциальный барьер, образующаяся частица новой фазы принципиально не имеет пределов увеличения размера. Дальнейший ее рост не ограничивается в рамках КТН. Физически это обосновано тем, что образовавшийся зародыш окружен фрагментами вещества той же природы, что и зародыш. Аналогом применительно к фазообра-

зованию в системе пар–жидкость будет наличие пересыщенного пара над каплей жидкости. Описывать рост частицы можно известным кинетическим уравнением классической теории. Из предложенной нелинейной модели его описания, которая применима к фрактальным системам, следуют две принципиально важных особенности поведения системы нуклеации.

Первая особенность состоит в принципиальном ограничении размеров зародыша, что, очевидно, и является причиной получения нанокристаллических покрытий. Вторая заключается в том, что вследствие ограничения размеров зародышей могут происходить побочные реакции, включение которых обусловлено не чисто электрохимическими причинами, например, медленной кинетикой какой-либо из стадий, а физическими, определяющими рост вновь образующейся фазы. Это равносильно тому, что в состав пересыщенного пара над зародышем входят не только его фрагменты, а иные частицы, из которых наиболее вероятными являются частицы молекул растворителя.

Важно подчеркнуть, что основной причиной нелинейности и, в частности, экспоненциальной зависимости плотности от координаты должна быть высокая скорость распространения фронта кристаллизации, то есть скорость электрохимической реакции (плотность тока), а учитывая описанные выше особенности фрактальной системы, и объемная плотность тока (ОПТ). Нанокристаллическость формируемых покрытий новой фазы и образование наряду с бинарным сплавом Me-W (а также Me-Mo, Me-Re и т.д.) поверхностных композитов, содержащих оксид-гидроксидные включения и абсорбированный водород, при высокой плотности тока (высокой ОПТ) оказываются тесно взаимосвязанными и имеющими одну и ту же природу – высокую скорость распространения фронта кристаллизации.

Это краткое описание вклада Александра Ивановича в теорию электроосаждения сплавов металлов группы железа (Fe, Co, Ni) с тугоплавкими металлами (W, Mo, Re), которая продолжает динамически развиваться и находится на острие современных исследований в области нанотехнологий.

Основные результаты А.И. Дикусара по этой тематике изложены в приведенных публикациях, они отмечены как вехи его научной деятельности.

1. Silkin, S.A., Gotelyak, A.V., Tsyntaru, N., Dikusar, A.I., Size effect of microhardness of nanocrystalline Co-W coatings produced from citrate and gluconate solutions, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2015, vol. 51, no. 3, p. 228.

2. Belevskii, S.S., Bobanova, Zh.I., Buravets, V.A., Gotelyak, A.V., Dikusar, A.I., et al., Electrodeposition of Co-W coatings from boron gluconate electrolyte with soluble Tungsten anode, *Russ. J. Appl. Chem.*, 2016, vol. 89, no 4, p. 1427.
3. Gotelyak, A.V., Silkin, S.A., Yahova, E.A., Dikusar, A.I., Effect of pH and volume current density on deposition rate and microhardness of Co-W coatings electrodeposited from concentrated boron-gluconate electrolyte, *Russ. J. Appl. Chem.*, 2017, vol. 90, no. 4, p. 541.
4. Silkin, S.A., Gotelyak, A.V., Tsunysaru, N., Dikusar, A.I., Electrodeposition of alloys of to the Iron-group metals with Tungsten from citrate and gluconate solutions: Size effect of microhardness, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2017, vol. 53, no. 1, p. 6.
5. Danilchuk, V.V., Silkin, S.A., Gotelyak, A.V., Buravets, V.A. Dikusar, A.I., et al., The microhardness properties and rate of electrodeposition of Co-W alloys from boro-gluconate bath: Impact of anodic processes, *Russ. J. Electrochem*, 2018, vol. 54, no. 11, p. 930.
6. Belevskii, S.S., Gotelyak, A.V., Silkin, S.A., Dikusar, A.I., Macroscopic size effect of the microhardness of electroplated Iron group metal-Tungsten alloy coatings: Impact of electrode potential and oxygen-containing impurities, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2019, vol. 55, no. 1, p. 46.
7. Belevskii, S.S., Danilchuk, V.V., Gotelyak, A.V., Lelis, M., Dikusar, A.I., et al., Electrodeposition of Fe-W alloys from citrate bath: Impact of anode material, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2020, vol. 56, no. 1, p. 1.
8. Myrzak, V., Gotelyak, A.V., Dikusar, A.I., Size effects in the surface properties of electroplated alloys between Iron group metals and Tungsten, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2021, vol. 57, no. 4, p. 1.
9. Belevskii, S.S., Kosova, A.P., Yushchenko, S.P., Yahova, E.A., et al., Changes in the properties of citrate electrolyte used to manufacturing Cobalt-Tungsten Coatings, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2011, vol. 47, no. 1, p. 4.
10. Belevskii, S.S., Yushchenko, S.P., Dikusar, A.I., Anomalous electrodeposition of Co-W coatings from a citrate electrolyte due to the formation on a multinucleareheterometalic complexes in solutions, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2012, vol. 48, p. 97.
11. Belevskii, S.S., Buravets, V.A., Yushchenko, S.P., Zgardan, I.M., Dikusar, A.I., et al., Gel-chromatographic separation of boron-gluconate electrolytefor obtaining nano-crystalline Co-W coatings: Composition and electrochemical activity of components. Part I. Gel-chromatographic study of electrolyte, separation and composition of components, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2016, vol. 52, no. 4, p. 350.
12. Belevskii, S.S, Buravets, V.A., Yushchenko, S.P., Dikusar, A.I., Part II. Electrochemical activity of separation products and their role in processes of manufacturing of alloy, *Surf. Eng. Appl. Electrochem.*, 2016, vol. 52, no. 5, p. 420.
13. Баранов С.А., Дикусар А.И., Кинетика электрохимической нанонуклеации при индуцированном соосаждении металлов группы железа с тугоплавкими металлами (W, Mo, Re), *Электронная обработка материалов*, 2021, т. 57, № 5, с. 1.

Александр Иванович проводил большую работу по популяризации научных достижений, в том числе нашего института. Был глубоко убежден, что наука в современном обществе является фундаментом прогресса. И только на основе этого фундамента разрабатываются новейшие технологии для совершенствования производства, открываются новые пути более экстенсивного роста, а потом процесс повторяется – наука, технология, производство. Был активным организатором и участником научных конференций и семинаров, вовлекал сотрудников лаборатории в этот процесс.

Главной целью научной деятельности Александра Ивановича была подготовка молодых ученых. С одной стороны, проводились научные исследования (вместе с учениками) и впоследствии разрабатывались технологические процессы для практического применения. С другой – осуществлялась подготовка кадров высшей квалификации для высших учебных заведений.

Отличительной чертой его характера являлась интеллигентность в общении с сотрудниками лаборатории и института. Был весьма требовательным, до скрупулёзности, к полученным результатам и к поиску главной научной идеи в исследованиях, что проявлялось и в редакционной деятельности Александра Ивановича.

Коллектив Института прикладной физики глубоко скорбит в связи уходом из жизни Александра Ивановича. Мы всегда высоко ценили его профессионализм, научные достижения и то, каким он был прекрасным коллегой, добрым, отзывчивым, высокообразованным и интеллигентным человеком. Память о нем навсегда сохранится в наших сердцах.

Выражаем глубокие соболезнования родным, близким, друзьям, всем, кто знал и любил Александра Ивановича. Светлая память!

Коллеги, редколлегия ЭОМ