

Разработка промышленной технологии производства МПК, модифицированных нанокластерами, для применения в ЛБВ космического назначения

Т.М. Крачковская, А.С. Емельянов, С.Д. Журавлев, Р.Ю. Богачев

АО «НПП «Алмаз»

Аннотация: в работе представлена новая технология изготовления металлопористых катодов (МПК), модифицированных нанокластерными частицами – астраленами, которая позволила сократить цикл изготовления МПК и ручные операции, а также повысить равномерность распределения наночастиц в объеме катодной таблетки, улучшить качество катодного диска и повысить эмиссионные характеристики МПК.

Ключевые слова: металлопористый катод, нанокластер, эмиссия.

Введение

Одним из основных требований, предъявляемых к МПК со стороны ЭВП, таких как лампа бегущей волны (ЛБВ), является повышение плотности отбираемого тока, которое достигается обычно увеличением его рабочей температуры. Однако при этом снижается долговечность работы МПК вследствие высокой скорости испарения активного вещества. Для обеспечения актуальных эмиссионных параметров ЛБВ требуется подбор материалов с достаточно низкой работой выхода и скоростью испарения для изготовления МПК.

В последние несколько лет появились сообщения о попытках улучшения эксплуатационных характеристик МПК с помощью их модификации углеродными наночастицами [1-4]. В работе [2] описан МПК, в котором нанокластерные частицы - углерод и астралены введены в активное вещество и вольфрамовую губку. Такой катод имеет увеличенную эмиссионную способность и повышенную долговечность за счет снижения скорости испарения активного вещества. Ресурсная эмиссионная долговечность таких катодов в составе ЛБВ космического назначения в непрерывном режиме может быть не менее 10^6 часов при плотности тока эмиссии катода до $0,645 \text{ A/cm}^2$ и $2,5 \cdot 10^5$ часов при плотности 2 A/cm^2 [4].

Исследование влияния присадок углеродных нанокластеров в составе традиционной исходной матрицы и активного вещества МПК в различных модификациях с целью снижения работы выхода и скорости испарения активного вещества в настоящее время продолжается. Для серийного применения таких модифицированных МПК требуется отработка технологий производства таких катодов и достаточные испытания на долговечность в составе макетов и приборов.

Целью работы является разработка промышленной технологии производства МПК, модифицированных нанокластерами, для сверхдолговечных ЛБВ космического назначения с ресурсом не менее 200 000 часов.

Результаты исследований

Для отработки технологии и выбора оптимальной конструкции исследованы следующие варианты исполнения катода:

1. Однослойный МПК М-типа, изготовленный из вольфрамового порошка фракции А с добавлением 0,5 % масс. астраленов;

2. Однослойный МПК М-типа, изготовленный из вольфрамового порошка фр.Б с добавлением 0,5 % масс. астраленов;

В работе [1] указано, что для повышения эмиссионных свойств МПК модифицированных нанокремнеземом требуется повышение равномерности распределения астраленов в вольфрамовой губке и улучшение качества структуры диска. Предложенный ранее способ изготовления таких катодов [2] имеет ручную операцию перемешивания порошков и двухступенчатый цикл спекания, что затрудняет их серийное изготовление. Для устранения указанных технологических недостатков предлагается провести совместное перемешивание и отжиг неотожженного вольфрамового порошка и астраленов. Для исследования предложенного способа изготовления катодов экспериментальные работы проведены в следующей последовательности. Сначала подготовили смесь вольфрамового порошка с добавлением порошка полиэдральных наночастиц фуллероидного типа тороидальной формы – астраленов (0,5 % масс.), засыпали в барабан с яшмовыми шарами и перемешали на мельнице в течение 3 часов. Полученную смесь отожгли в водороде при температуре 1625 °С в течение 3 часов, в результате чего произошло прилипание более мелких частиц к крупным (рисунок 1).

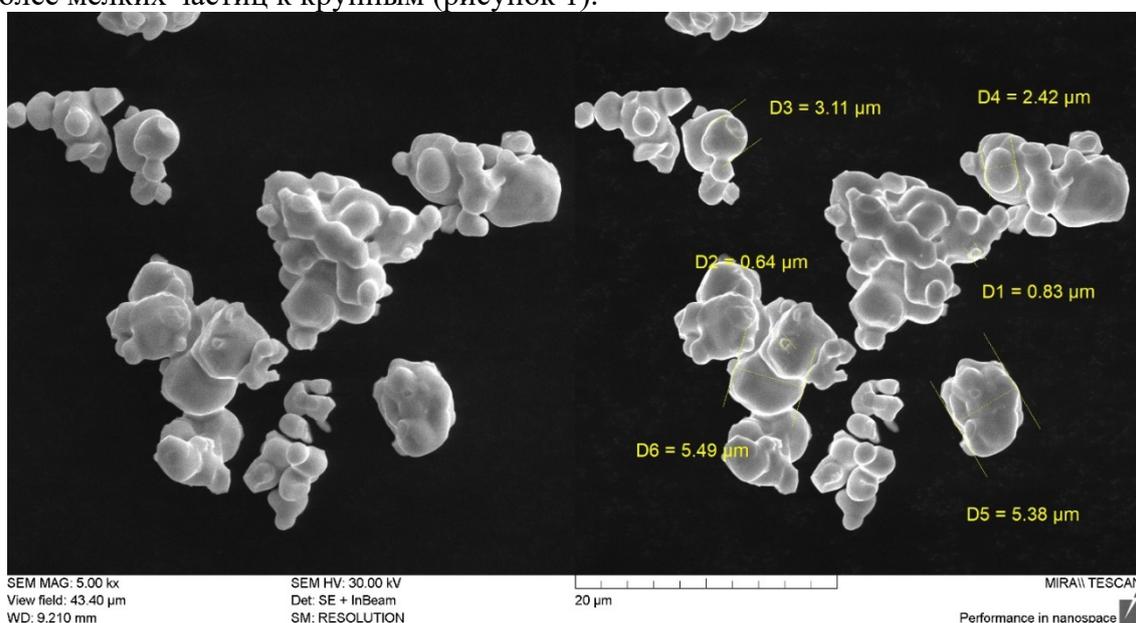


Рисунок 1. Смесь порошков после отжига.

Из полученной смеси спрессовали катодные диски, которые имеют удовлетворительную прочность и отсутствие трещин, поэтому спекание проводили по типовому режиму (для вольфрамовых дисков без модификации астраленами) в водороде при температуре 2000 °С в течение 30 минут. Параметры дисков после спекания соответствуют серийной технологии изготовления катодных таблеток.

Относительно первоначального технологического процесса изготовления дисков с астраленами [2] была усовершенствована технология подготовки смеси порошков, которая позволила уйти от ручной операции перемешивания пестиком, а также сократить время спекания дисков с 8 до 3 часов [5].

Затем диски пропитали активным веществом - алюминатом бария-кальция. На одном образце-свидетеле от каждой пары был выполнен металлографический анализ структуры диска (рисунок 2). Из рисунка 2 видно, что структура дисков, изготовленных по новой технологии, равномерная, уплотнения и трещины отсутствуют, в отличие от образцов, выполненных по первоначальной технологии [2].

С остальными дисками изготовили катоды с ионно-плазменным покрытием Os-Ir-

Al и собрали их в диоды. Для сравнения также были собраны диоды с типовыми катодами без модификации. Эмиссионную способность катодов оценивали при плотности тока 1 A/cm^2 по значению характеристической температуры T_x (норма для МПК М-типа T_x по стандарту АО «НПП «Алмаз» составляет $\leq 900^\circ\text{C}$), при которой режим работы катода переходит из режима ограничения пространственным зарядом в режим температурного ограничения (таблица 1).

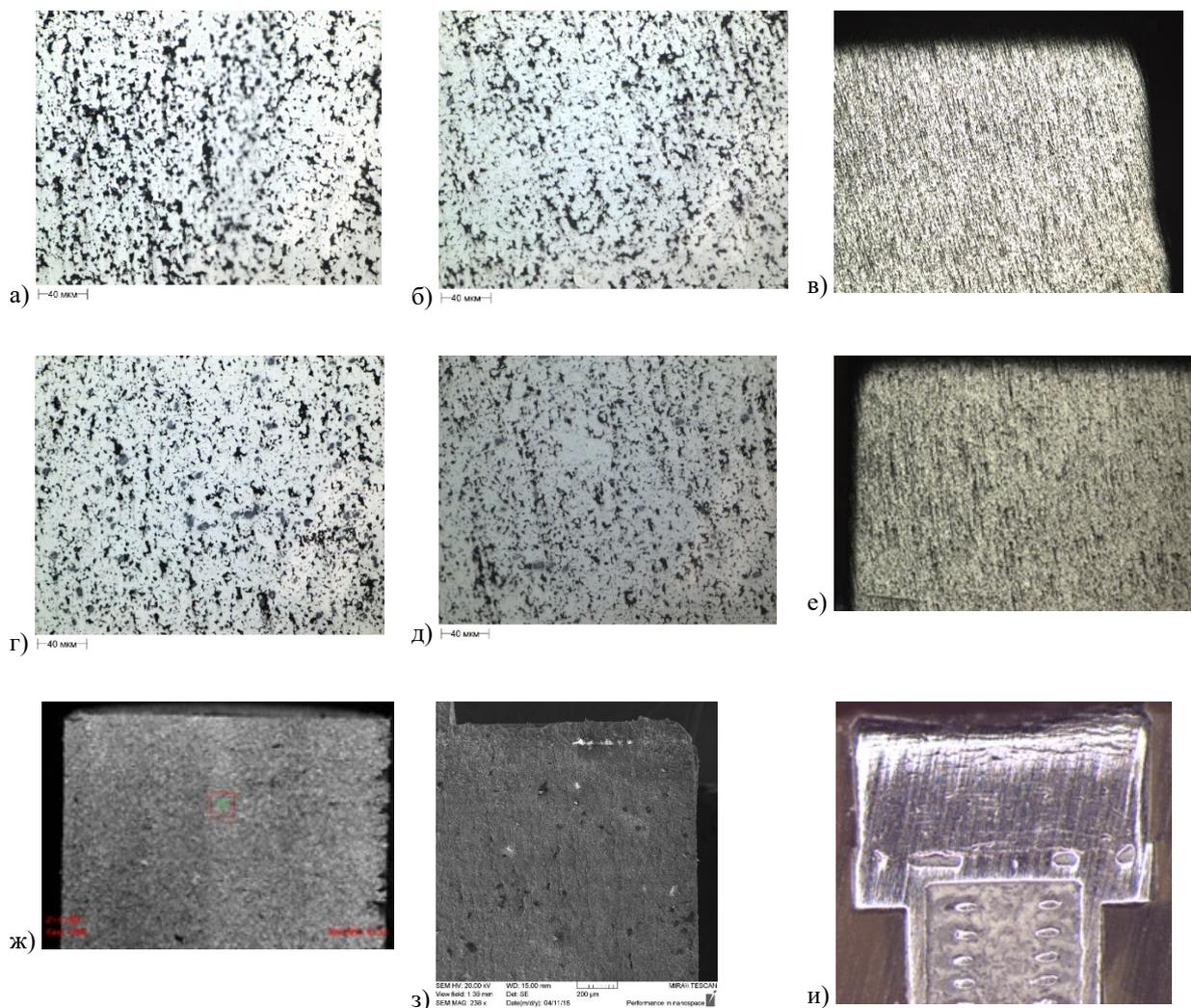


Рисунок 2. Изображение шлифов катодных таблеток, изготовленных по новой технологии: а) 1/3 диска фр.А, б), в) 1/2 диска фр.А, г) 1/3 диска фр.Б, д), е) 1/2 диска фр.Б. Изображение 1/2 диска фр.Б по технологии [2]: ж) срез электроискровой, з) СЭМ изображение среза электроискрового, и) шлиф катода.

Таблица 1. Характеристические температуры катодов

№ п/п	Состав катодной таблетки	$T_x, ^\circ\text{C}$
1	Вольфрамовый порошок фр. А с астраленами - новая технология	830
2	Вольфрамовый порошок фр. А с астраленами - новая технология	850
3	Вольфрамовый порошок фр. Б с астраленами - новая технология	815
4	Вольфрамовый порошок фр. Б с астраленами - новая технология	840
5	Вольфрамовый порошок фр. Б с астраленами - технология [2]	877

6	Вольфрамовый порошок фр. Б с астраленами - технология [2]	840
7	Вольфрамовый порошок фр. Б с астраленами - технология [2]	830
8	Вольфрамовый порошок фр. А - типовая технология	885
9	Вольфрамовый порошок фр. А - типовая технология	850
10	Вольфрамовый порошок фр. А - типовая технология	865

Из таблицы следует, что среднее значение T_x для всех катодов с астраленами № 1-7 ниже, относительно типовых №8-10, что говорит о большей их эмиссионной способности, кроме того, для катодов с астраленами № 1-4, изготовленных по новой технологии, значения T_x ниже, чем для МПК № 5-7, изготовленных по первоначальной технологии.

На следующем этапе МПК, модифицированные астраленами и изготовленные по новой технологии, будут проходить испытания на долговечность, по результатам которых будет выбран оптимальный состав губки катодов и пропитки катодов.

Список литературы

1. Крачковская Т.М., Мельников Л.А. Перспективы применения различных форм наноуглерода в катодных системах // Электронная техника, Сер.1, СВЧ-техника, Вып. 3(542), 2019. С. 20-28.
2. Патент № 2658646 РФ, МПК Н01J9/04. Металлопористый катод и способ его изготовления / Крачковская Т.М., Сахаджи Г.В., Сторублев А.В., Пономарев А.Н.; заявитель и патентообладатель АО «НПП «Алмаз». - №2017122701; заявл. 27.06.2017; опубл. 22.06.2018, Бюл. №18. - 6 с.
3. Шестеркин В.И. и др. Углеродные материалы в теплонагруженных узлах ЛБВ и клистронов / В.И. Шестеркин, Т.М. Крачковская, П.Д. Шалаев, Л.Т. Баймагамбетова, С.Д. Журавлев, Д.И. Кириченко, Р.Ю. Богачев // Радиотехника и электроника №10-2022. С.1-9.
4. Крачковская Т.М. и др. Влияние режимов и времени работы на эмиссионные характеристики катодов М-типа, модифицированных наноуглеродом / Т.М. Крачковская, П.Д. Шалаев, В.И. Шестеркин, Р.Ю. Богачев, Д.А. Тихомиров, Ю.А. Одинцова, Г.Р. Биктимирова // Материалы XXII Координационного науч.-тех. семинара по СВЧ технике. 11-15 сентября 2023 г., г. Нижний Новгород, АО «НПП «Салют». С. 5-7.
5. Крачковская Т.М., Емельянов А.С., Журавлев С.Д. Способ изготовления металлопористого катода. Заявка № 2023125818 от 09.10.2023.