

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПОРИСТОСТИ ПРЕССОВАННЫХ Pd-Ba КАТОДОВ ДЛЯ МАГНЕТРОНОВ С БЕЗНАКАЛЬНЫМ ЗАПУСКОМ

Н.Е. Харитоновна, И.П. Ли, А.Д. Силаев, В.С. Поляков
Москва, ОАО «Плутон», 105120, ул. Нижняя Сыромятническая, д.11
E-mail: NEKharitonova@mail.ru

1. Актуальность проблемы

Магнетроны импульсного или непрерывного действия благодаря ряду достоинств - высокому КПД, компактности, надёжности, стабильности, и т.д. - нашли широкое применение в радиолокационных и навигационных системах, медицине и в других отраслях народного хозяйства. Стабильность эксплуатационных параметров магнетронов в значительной мере зависят от свойств катодов, поэтому первоочередной задачей при создании надёжных магнетронов является решение целого комплекса катодных проблем. Это связано с тем, что катоды, находясь непосредственно в области взаимодействия электронных потоков и высокочастотных электромагнитных полей, подвергаются дестабилизирующему воздействию ионной и обратной электронной бомбардировок, влияющих как на физико-химические, так и на эмиссионные свойства катодов. Поэтому при выборе конструкции и технологии изготовления катодов необходимо учитывать условия их работы в приборе, которые зависят от мощности и частоты генерируемых колебаний, длительности импульсов, скважности и ряда других электрических параметров магнетронов.

Выпускаемые в настоящее время магнетроны можно условно разбить на две группы: а) магнетроны с накаливаемым термо-вторично-эмиссионным катодом; б) магнетроны с безнакальным запуском.

В магнетронах с накаливаемым катодом иницирование и поддержание генерации обеспечивается нагретым до рабочей температуры термо-вторично-эмиссионным катодом. В этих магнетронах, в зависимости от уровня выходной мощности, используются различные типы эффективных катодов (оксидные, металлопористые и металлосплавные). [1; 2; 3]

Время готовности магнетронов с накаливаемым катодом колеблется от нескольких секунд (прямокальные катоды) до 5 и более минут (катоды с косвенным накалом). В отдельных случаях уменьшение времени готовности магнетронов достигается за счёт кратковременной подачи на подогреватель повышенного напряжения накала (форсированный режим) или за счёт поддержания катода в нагретом состоянии («дежурный» режим).

Однако, как форсированный, так и «дежурный» режимы неблагоприятно сказываются на эксплуатационных параметрах магнетронов: форсированный режим снижает надёжность подогревателей, а «дежурный» режим, вследствие напыления продуктов испарения с катода на элементы приборов, снижает их электрическую прочность, изменяет частоту генерируемых колебаний и др.

Иными тактико-техническими и эксплуатационными характеристиками обладают магнетроны с безнакальным запуском, которые впервые в мировой практике были предложены и разработаны в ОАО «Плутон». Эти магнетроны, благодаря своему быстрдействию, являются наиболее перспективными и востребованными электровакуумными приборами генераторного типа.

2. Экспериментальные работы

Принципиальным отличием магнетронов с безнакальным запуском от магнетронов первой группы является практически мгновенная готовность ($t_{\text{готовности}} \leq 0,5 \text{ с}$), которая достигается за счёт разделения катода на две функциональные части (рис. 1).

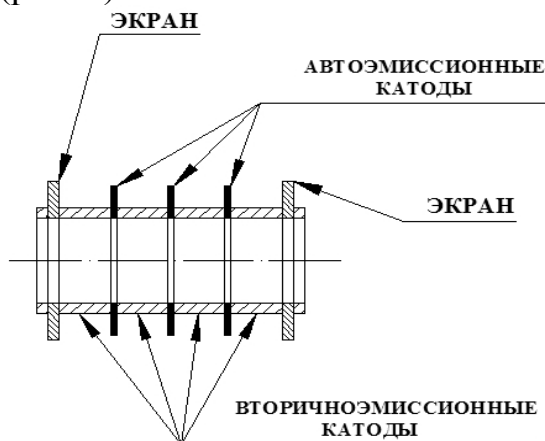


Рис. 1 Конструкция катода «безнакального» магнетрона

Инициирование генерации в таких магнетронах обеспечивается током полевой эмиссии с автоэлектронных катодов (АЭК), а её поддержание, - вторично-эмиссионными катодами (ВЭК). Катоды таких магнетронов состоят из чередующихся АЭК - колец из танталовой фольги толщиной около 4 микрон - и ВЭК - втулок протяжённостью от долей до нескольких миллиметров, изготовленных из материала со стабильными вторично-эмиссионными свойствами. В этих магнетронах особая роль отводится вторично-эмиссионным катодам, которые, с одной стороны, должны сохранять свои свойства при воздействии на них различных дестабилизирующих факторов и, с другой стороны, должны являться стабильными и надёжными активаторами АЭК.

В связи с этим целью настоящей работы являлось проведение комплекса исследований, направленных на создание высокоэффективных вторично-эмиссионных катодов, обеспечивающих высокую стабильность и воспроизводимость электрических параметров магнетронов с безнакальным запуском.

Как показали исследования, такими свойствам в полной мере обладают палладий-бариевые катоды, изготовленные методами порошковой металлургии из смеси порошков палладия и интерметаллида (фазы Pd_5Ba). [4] Важнейшим параметром, определяющим стабильность работы симбиоза АЭК-ВЭК, является пористость вторично-эмиссионного катода.

Это обусловлено тем, что одним из способов увеличения суммарного потока испарённого бария, необходимого для активирования рабочей кромки АЭК,

является перенос веществ из пор ВЭК (Кнудсенский перенос). Количество и размер пор зависят как от гранулометрического состава порошка, так и от удельного давления прессования и режима спекания катодов. Для выбора оптимальной пористости катодов и технологии их изготовления были изготовлены и исследованы 2 пробы шихты (смеси порошков палладия с фазой, взятых, соответственно, в соотношении $\sim 8:1$ (вес.), обеспечивающей концентрацию бария в объёме катода $\sim 1,8-2,0\%$):

- 1) проба 1 с размерами частиц палладия и фазы 20 – 45 мкм;
- 2) проба 2 с размерами частиц палладия и фазы 45 – 63 мкм.

При использовании порошков палладия и фазы с размерами частиц менее 20 мкм и более 63 мкм были получены катоды, отличающиеся значительной неравномерностью распределения активного вещества, что оказывает негативное воздействие на эмиссионные свойства катода, его стабильную работу и долговечность.

Смесь порошков палладия с фазой, после тщательного перемешивания в смесителе типа «Турбула», прессовалась в стальной пресс-форме при удельном давлении прессования в диапазоне $P_{уд.} = 5 \div 12$ (т/см²). После прессования заготовки катодов взвешивались на весах ACCLAB серии ALC-200 и после измерения геометрических размеров спекались в вакуумной печи при температуре $T \sim 1050$ °С при давлении остаточных газов $P \leq 5 \cdot 10^{-3}$ Па в течение $t \sim 60$ минут.

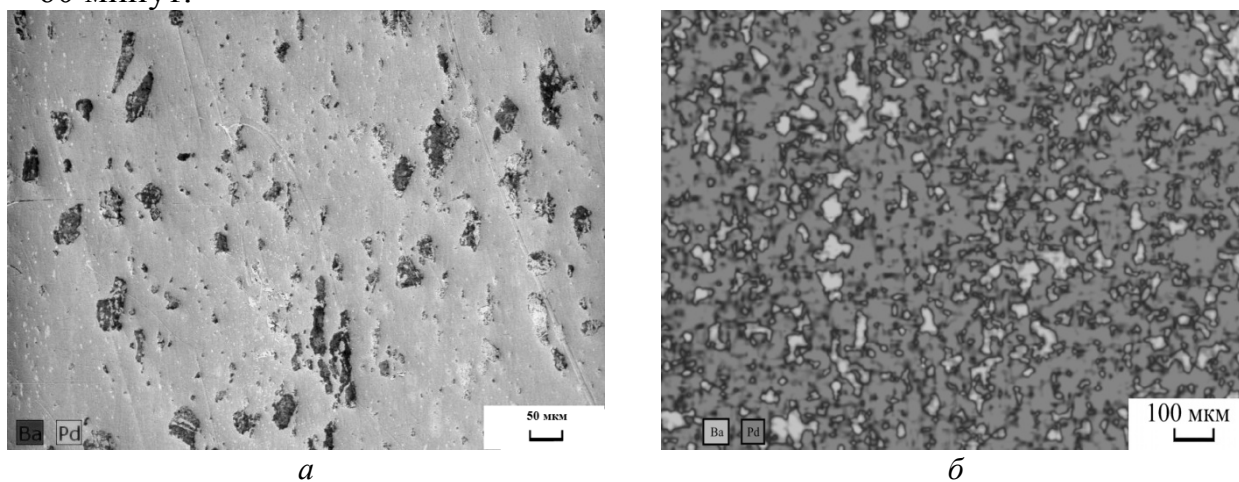


Рис. 2. а) Образец палладий-бариевого эмиттера с фракционным составом исходного порошка 20-45 мкм; б) образец палладий-бариевого эмиттера с фракционным составом исходного порошка 45-63 мкм

На рисунках 2а и 2б представлено распределение компонент Pd и Ba на поверхности палладий-бариевого катода, полученное с помощью растрового электронного микроскопа Zeiss EVO – 40 с рентгеновским микроанализатором Rountec (Германия).

Эмиттеры обладают однородным и равномерным распределением бария на рабочей поверхности катода, а, следовательно, приборы отличаются наилучшими эмиссионными параметрами в процессе активации катода и дальнейшей работы магнетрона.

Пористость заготовки катода до и после спекания рассчитывалась по формуле:

$$\Pi = (1 - \rho_{\text{загот}} / \rho_{\text{компл}}) * 100\%$$

где $\rho_{\text{компл}} = 12 \text{ г/см}^3$ – плотность компактного сплава ПдБ-2;

$\rho_{\text{загот}} = m / V$ – плотность заготовки катода;

m, V – соответственно, масса и объём заготовки.

На рисунках 3; 4 приведены графики зависимости пористости заготовки катодов от удельного давления прессования до и после спекания.

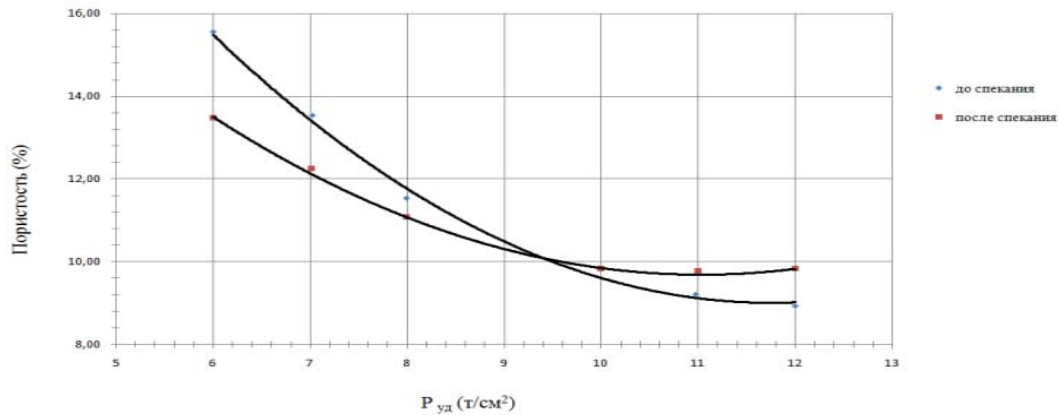


Рис. 3 График зависимости пористости заготовки катода до и после спекания от удельного давления прессования (размеры частиц 20-45 мкм)

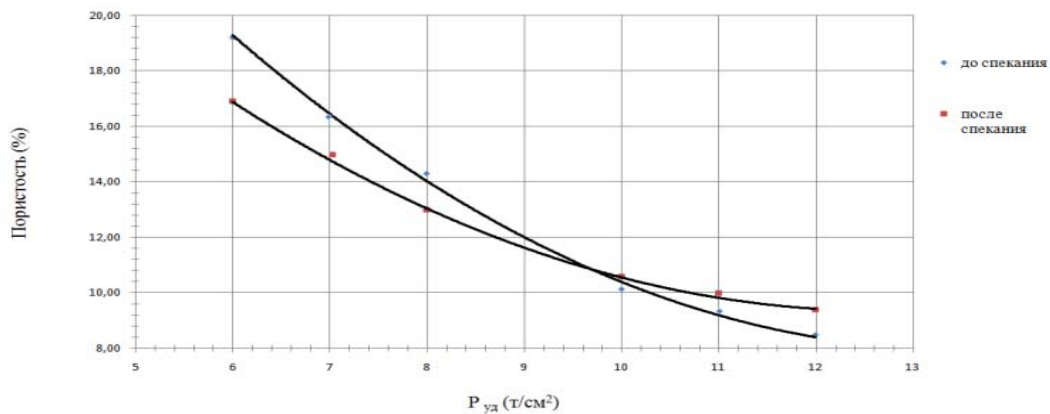


Рис. 4 График зависимости пористости заготовки катода до и после спекания от удельного давления прессования (размеры частиц 45-63 мкм)

Используя полученные зависимости $\Pi = f(R_{\text{уд}})$, были выбраны условия прессования заготовок, при которых не происходит изменения геометрических размеров образцов, то есть пористость постоянна:

- для пресс-порошков фракцией 20-45 мкм $R_{\text{уд. прессования}} \sim 9,4 \text{ т/см}^2$;
- для пресс-порошков фракцией 45-63 мкм $R_{\text{уд. прессования}} \sim 9,8 \text{ т/см}^2$.

Экспериментально установлено, что оптимальная пористость готовых эмиттеров $\Pi = 5 - 6 \%$, поэтому финишное уплотнение заготовки катодов производилось в специальной оснастке при удельном давлении $R_{\text{уд. уплотнения}} \sim 8 \text{ т/см}^2$.

3. Результаты исследований

Исследование эмиссионных свойств прессованных палладий-бариевых катодов и их сравнение с «литыми» катодами, изготовленными из полосы ПдБ-

2 по ЯеО.021.079 ТУ, проводилось в вакуумных диодах и в серийно выпускаемых магнетронах.

В таблицах 1 и 2 приведены результаты исследования различных типов катодов в магнетроне типа МИ-463 с безнакальным запуском.

Таблица 1

Вторично-эмиссионный катод магнетрона МИ - 463	Ток автоэлектронной эмиссии при $T \sim 300^\circ\text{K}$	Длительность тренировки магнетронов (час.)
«Литой» катод из сплава ПдБ-2	$I \sim 0,3 - 3 \text{ мА.}$	$\sim 16 - 24$ (преимущественно с нагревом катода)
Прессованный палладий - бариевый катод.	$I \sim 10 - 15 \text{ мА.}$	$\sim 3 - 4$ (без нагрева катода)

Таблица 2

Вторично-эмиссионный катод магнетрона МИ - 463	Выход годных магнетронов (%)	Срок службы магнетрона (час.)
Из пластины сплава ПдБ-2 ($n_{\text{Ba}} \sim 1,8\%$)	45 - 60	Не менее 5000
Прессованный палладий-бариевый катод ($\Pi \sim 5\%$; $n_{\text{Ba}} \sim 1,8\%$)	70 - 80	Не менее 5000

4. Выводы

1. Экспериментально определена оптимальная пористость прессованных катодов, составляющая величину $\Pi = 5 \div 6\%$, при которой в процессе работы катодных систем в магнетронах с безнакальным запуском обеспечивается постоянное и стабильное активирование автоэлектронных катодов в процессе эксплуатации приборов.

2. Технология изготовления прессованных палладий-бариевых катодов с содержанием бария $1,8 \div 2,0\%$ и пористостью $5 \div 6\%$ внедрена в серийное производство на четырнадцати типах магнетронов с безнакальным запуском.

3. Внедрённая в серийное производство технология изготовления прессованных катодов обеспечивает:

- повышение коэффициента использования материала (КИМ), содержащего 98% палладия, с 15 – 20% при использовании полосы из сплава ПдБ-2 по ЯеО.021.079 ТУ до 70 – 75% при использовании прессованных катодов;

- повышение выхода годных магнетронов с 45 – 60% (при использовании полосы из сплава ПдБ-2) до 75 – 80% (при использовании прессованных палладий-бариевых катодов).

1. Б.П. Никонов. Оксидный катод. Издательство «Энергия», М.1978 г.

2. Г.А. Кудинцева, А.И. Мельников, А.В. Морозов, Б.П. Никонов. Термоэлектронные катоды. Издательство «Энергия», М-Л, 1966г.

3. Е.В. Васильева, Б.Ч. Дюбуа, Л.А. Ермолаев, О.К. Култашев. Эмиссионные свойства сплавов Pt-Ba, Ir-La, Os-La. Радиотехника и электроника, т. 11, вып. 11, стр.1150, 1966г.

4. И.П.Ли, Б.Ч.Дюбуа, Н.В.Каширина, С.В.Комиссарчик, Н.Д.Лифанов, М.Н.Зыбин // Магнетрон с безнакальным запуском. Патент РФ № 2380784. Приоритет с 24.10.2008г.