

ЛИТЕРАТУРА

1. **Черепнин, Н. В.** Сорбционные явления в вакуумной технике / Н. В. Черепнин. – М.: Советское радио. – 1973. – С. 384.
2. **Корепин, Г. Ф.** Исследование динамики запаздывания зажигания разряда встроенного МЭН отпаянного ЭВП / Г. Ф. Корепин // Вакуумная техника и технология-2006: Тезисы докладов Всероссийского семинара. Санкт-Петербург. – 2006. – Том. 16, № 1. – С. 24–27.
3. **Волкова, Н. И.** Особенности запаздывания зажигания разряда миниатюрных магнитных электроразрядных насосов / Н. И. Волкова, Г. Ф. Корепин, И. И. Самарцев // Сборник научных трудов НТС «Вакуумная техника и технология-2009». – Санкт-Петербург. – 2009. – С.27–29.
4. **Корепин, Г. Ф.** Классификация течей ЭВП СВЧ / Г. Ф. Корепин, А. А. Стефаненко // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. Материалы юбилейной научно-технической конференции. – 2003. – № 1. – Часть 1. – С. 45–51.
5. **Корепин, Г. Ф.** Динамика коэффициента компрессии форвакуумного насоса по водороду / Г. Ф. Корепин, А. И. Полевич // Вакуумная техника и технология. – 2004. – Том 14. – № 3. – С. 139–147.
6. **Корепин, Г. Ф.** Определение источника газовой выделенности в процессе высоковольтной тренировки ЭВП / Г. Ф. Корепин, В. И. Пугнин, А. Н. Юнаков // Научно-технические технологии. – 2005. – Том 6. – № 5. – С. 47–50.
7. **Корепин, Г. Ф.** Критическое время обезгаживания ЭВП СВЧ / Г. Ф. Корепин // Вакуумная техника и технология. – 2007. – Том 17. – № 3. – С.167–175.
8. **Корепин, Г. Ф.** Термовакuumная обработка электронной пушки и вероятность электрических пробоев высоковольтных ЭВП / Г. Ф. Корепин // Вакуумная техника и технология. – 2007. – Том 17. – № 2. – С. 123–130.
9. **Корепин, Г. Ф.** Поверхностное газосодержание отпаянных ЭВП / Г. Ф. Корепин // Вакуумная техника и технология. – 2007. – Том 17. – № 4. – С. 285–292.
10. **Корепин, Г. Ф.** Термовакuumная обработка ЭВП / Г. Ф. Корепин // 100 лекций по повышению квалификации ИТР: под ред. А. Н. Королева. – Фрязино, ФГУП «НПП «Исток». – 2005. – Том 1. – Часть 2. – С.169–204.
11. **Корепин, Г. Ф.** Возможность масс-спектрометрии поверхностных газов высоковольтных ЭВП без масс-спектрометра / Г. Ф. Корепин // Вакуумная техника и технология. – 2008. – Том. 18. – № 2. – С.141–148.
12. **Корепин, Г. Ф.** Проблемы откачки металлокерамических ЭВП СВЧ / Г. Ф. Корепин // Электронная техника Сер.1. СВЧ-техника. – 2008. – № 4. – С. 23–46.
13. **Корепин, Г. Ф.** Стоки и истоки поверхностных газов отпаянных ЭВП / Г. Ф. Корепин, А. Н. Юнаков // Вакуумная техника и технология. – 2010. – Том 20. – № 2. – С. 71–76.
14. **Корепин, Г. Ф.** Моделирование процессов термовакuumной обработки мощных СВЧ-приборов с целью повышения их электропрочности / Г. Ф. Корепин, А. Б. Киселев //4 Международная научно-практическая конференция «Участие молодых ученых, инженеров и педагогов в разработке и реализации инновационных технологий». Сб. научных докладов. – М., 2003. – С. 224–232.
15. **Корепин, Г. Ф.** Простой способ откачки натекающих и “газных” ЭВП / Г. Ф. Корепин // Электронная техника. Сер.1. СВЧ-техника. – 1999. – № 2. – С. 42–43.

УДК 621.385.6.029.6

**ПОВЫШЕНИЕ ЭМИССИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕТАЛЛОПОРИСТЫХ КАТОДОВ
ПУТЁМ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ
ЭМИТТЕРОВ С ПОДОГРЕВАТЕЛЬНЫМИ УЗЛАМИ**

И. П. Мельникова, А. В. Лясникова, В. Н. Лясников

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

Показана возможность повышения эмиссионной способности катодов путём снижения температуры пайки эмиттеров с подогревательными узлами. Разработан новый припой на основе кобальта, вольфрама, молибдена.

КС: эмиссионная способность, катод, эмиттер, припой, подогревательный узел, смачивание, испарение

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из проблем, возникающих при изготовлении катодных и катодно-сеточных узлов, является качественное соединение пропитанных активным веществом эмиттеров с подогревательными узлами. Минимальный разброс температуры на эмиттере достигается при использовании для этого пайки. Однако применяемый в настоящее время припой 75 КВ, состоящий из 75 % Со и 25 % W, имеет высокую температуру плавления, $(1500+20)^\circ\text{C}$, при которой происходит испарение активного вещества из пор эмиттера и возможно частичное задержание выплавленного активного вещества припоем. Припой с температурой плавления в диапазоне $1400\dots1450^\circ\text{C}$ содержат в своем составе никель, который имеет высокую скорость испарения при температуре работающего катода [1–3]. Поэтому при использовании такого припоя необходимо применять защитные экраны, препятствующие напылению никеля на управляющие электроды и эмиттирующую таблетку. Это усложняет конструкцию узла. Но даже при использовании защитных экранов применение таких припоев приводит к существенному ограничению долговечности узла, и в связи с этим является актуальной разработка нового припоя, состоящего из элементов с низкой скоростью испарения при температуре работающего катода и имеющего температуру плавления в диапазоне $1400\dots1450^\circ\text{C}$.

2. МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для имитации влияния условий пайки на распыление активного вещества из пор эмиттирующих таблеток они помещались на молибденовые пластины, после чего проводился их отжиг в водороде при температурах от 1400 до 1560°C .

Результаты визуального контроля поверхности пластин приведены в табл. 1.

Таблица 1

Распыление активного вещества из пор таблетки на подложку из молибдена

| Температура отжига пластинок с таблеткой, $^\circ\text{C}_{\text{ярк}}$ | Наличие окисления таблетки | Количество колец напылений разной плотности | Радиус колец напылений, $R \cdot 10^{-3}$ м | | |
|---|---------------------------------|---|---|------------------------|-----------------------|
| | | | 1-е кольцо | 2-е кольцо | 3-е кольцо |
| 1400 | Нет | Нет | – | – | – |
| 1420 | Нет | Нет | – | – | – |
| 1440 | Нет | 1 | 4,0 (прозрачная пленка) | – | – |
| 1470 | Нет | 1 | 5,0 (прозрачная пленка) | – | – |
| 1520 | Нет | 1 | 6,5 (прозрачная пленка) | – | – |
| 1545 | Есть (окислы) | 2 | 4,0 (плотный белый налет) | 6,5 (тонкая пленка) | – |
| 1560 | Есть (окислы фиолетового цвета) | 3 | 4,0 (плотный белый налет) | 8,5 (тонкая пленка) | 13 (тонкая пленка) |

Из этих результатов следует, что при температурах 1440...1520 °С на пластинах наблюдаются следы испарения активного вещества в виде колец разной плотности радиусом от $4 \cdot 10^{-3}$ м при 1440 °С_{ярк} до $6,5 \cdot 10^{-3}$ м при 1520 °С_{ярк}. При температурах выше 1520 °С на пластинах появлялась плотная непрозрачная пленка, состоящая из нескольких слоев, с максимальным радиусом до $13 \cdot 10^{-3}$ м. При этом в процессе отжига таблетки окислялись.

Таким образом, с целью устранения потери активного вещества пайку пропитанных таблеток катода с корпусами целесообразно выполнять припоем, имеющим температуру плавления в диапазоне 1400...1450 °С.

Конструктивные элементы катодных узлов изготавливаются из молибдена, поэтому припой должен удовлетворительно смачивать молибден и растекаться по нему.

Кроме того, припой должен состоять из элементов, которые не отравляют катод и имеют низкую скорость испарения (не выше 10^{-6} кг/(м²·с) при рабочей температуре катода около 1100 °С).

С целью выбора элементов для разработки припоя, соответствующего этим требованиям, были проанализированы скорости испарения элементов при температуре 1100 °С (табл. 2) и диаграммы структуры двойных сплавов [4] (табл. 3). В результате сделан вывод, что целесообразно, чтобы сплавы эвтектического состава с температурой плавления, близкой к необходимой, и низкой скоростью испарения, 10^{-7} кг/(м²·с), при температуре работающего катода содержали Mo, W и Co.

Таблица 2

Скорость испарения элементов при температуре 1100 °С

| Скорость испарения, кг/(м ² ·с) | Элемент |
|--|---|
| 10^{-8} | W, Ta, C, Os, Mo, Jr, Ru, Th, Rh, Pt, Zr, V, Co |
| 10^{-7} | Ti, Pd, Ni |
| 10^{-6} | Si, Fe, Au, Sr, B |

Таблица 3

Результаты анализа диаграмм структуры двойных сплавов

| Элементы | Состав сплава, % | Температура плавления эвтектического состава, °С |
|----------|------------------|--|
| Mo – Ni | 32 Mo – 68 Ni | 1318 |
| Mo – Co | 37 Mo – 63 Co | 1340 |
| Mo – Si | 4 Mo – 96 Si | 1420 |
| W – Ni | 46 W – 54 Ni | 1500 |
| W – Si | 1 W – 99 Si | 1390 |
| W – Co | 45 W – 55 Co | 1480 |
| W – Co | 25W – 75 Co | 1495 |
| Co | 100 Co | 1495 |

Было экспериментально исследовано влияние легирования молибденом сплава 75 % Co – 25 % W взамен вольфрама на температуру плавления припоя (табл. 4), в результате чего был получен искомый состав припоя: 55 % Co – 23...25 % Mo и 20...22 % W – с температурой плавления (1400+20) °С.

Выполнены исследования свойств припоя и испытания его в макетах катодных узлов. Температура плавления припоя и степень растекания припоя по молибдену, оцениваемая коэффициентом растекания, определялись по методике, описанной в [5].

Температура плавления припоев

| Содержание элементов в припое, % | | Температура плавления припоя $T_{пл}, ^\circ\text{С}_{ярк}$ |
|----------------------------------|------|--|
| Со – W | Мо | |
| 75 – 25 | 0 | 1500 |
| 75 – 22 | 3 | 1495 |
| 75 – 20 | 5 | 1495 |
| 75 – 15 | 10 | 1470 |
| 75 – 12,5 | 12,5 | 1470 |
| 55 – 22,5 | 22,5 | 1430 |
| 45 – 27,5 | 27,5 | 1480 |
| 55 – 22 | 23 | 1420 |
| 55 – 20 | 25 | 1400 |

Экспериментальные исследования по изучению растекания вновь разработанного припоя (55 КМВ) по молибдену в диапазоне температур плавления припоя 1400...1480 $^\circ\text{С}_{ярк}$ проводились в сравнении со свойствами известного припоя (75 КВ). Результаты исследований изложены в табл. 5.

Таблица 5

Растекание припоев по молибдену

| Припой 75 КВ | | Припой 55 КМВ | |
|--------------------------------|------------------------|--------------------------------|------------------------|
| $T_{пл}, ^\circ\text{С}_{ярк}$ | Коэффициент растекания | $T_{пл}, ^\circ\text{С}_{ярк}$ | Коэффициент растекания |
| 1500 | 0,091 | 1400 | 0,086 |
| 1520 | 0,080 | 1420 | 0,076 |
| 1540 | 0,055 | 1450 | 0,074 |
| 1560 | 0,043 | 1470 | 0,043 |
| 1570 | 0,033 | 1480 | 0,043 |

Из табл. 5 видно, что припои 75 КВ и 55 КМВ примерно равноценны по растеканию по молибдену в интервалах температур, соответствующих их температурам плавления.

Испытания эмиссионной способности и долговечности катодных узлов, в которых эмитирующая таблетка, пропитанная алюминатом Ва–Са, содержащим 3 % Sc_2O_3 ($5\text{BaO} \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,3\text{Sc}_2\text{O}_3$), припаяна к корпусу разработанным припоем, проводились в диодах. Обработка диода на откачном посту была общепринятой для скандиевых металлопористых катодов ($T_{обезг} = 1150 ^\circ\text{С}_{ярк}$). Активировка катода проводилась при $T = 1050 ^\circ\text{С}_{ярк}$ токоотбором до $1 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$. После активировки и в течение срока службы измерялись накаливающие характеристики.

Определялись характеристическая температура $T_x^{0,8}$, при которой отбираемый с катода ток равен 0,8 от начального (при $1050 ^\circ\text{С}_{ярк}$) при снижении напряжения накала, и спад тока при рабочей температуре. Испытания проводились в форсированном по температуре режиме при $T_\phi = 1085 ^\circ\text{С}_{ярк}$, $j = 2 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2}$.

Расчет долговечности при рабочей температуре по полученной форсированной долговечности осуществлялся по формуле [6]

$$D_p = D_\phi \cdot 6^{\frac{T_\phi - T_p}{50}},$$

где D_p – долговечность при рабочей температуре катода, ч; D_ϕ – долговечность при температуре испытаний, ч; T_p – рабочая температура катода, °С_{ярк}; T_ϕ – температура испытаний, °С_{ярк}.

За информативный параметр испытаний приняты:

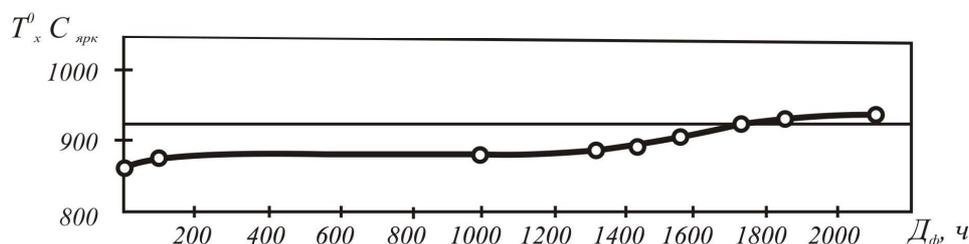
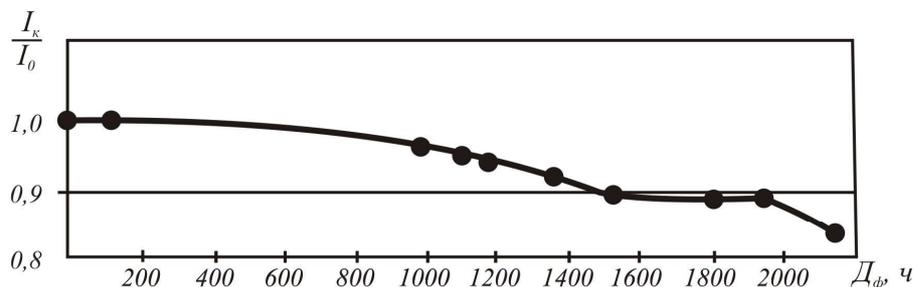
1. Спад катодного тока на 10 % при рабочей температуре.
2. Увеличение T_x до значения $(T_p - 20)$ °С.

Эмиссионная способность катодов находилась на уровне хороших металлопористых катодов с активным веществом, содержащим скандий: $T_x^{0,9} = 830$ °С при $j = 1 \cdot 10^4$ А·м⁻². Долговечность по первому критерию составила 185 тыс. ч, по второму критерию – 211 тыс. ч (рисунки).

Для проверки эмиссионной надежности катодных узлов, паянных вновь разработанным припоем (55 КМВ), изготовили вольфрамовые таблетки диаметром 1,4 мм и высотой 0,6 мм с пористостью 25 %, пропитанные алюминатом $3\text{BaO} \cdot 0,5\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Десять таблеток были припаяны к молибденовым корпусам катодов припоем 75 КВ при температуре пайки $(1500+20)$ °С_{ярк} и 10 таблеток припаяны к корпусам катодов при температурах 1400...1430 °С_{ярк} припоем 55 КМВ.

Катоды были испытаны на эмиссионную способность. Значение характеристической температуры $T_x^{0,9}$ (при которой ток эмиссии равен 0,9 от начального значения при $T = 1050$ °С) для годных катодов не должно было превышать 1000 °С_{ярк} при отборе с катода тока $1 \cdot 10^4$ А·м⁻².

В результате измерений установлено, что 100 % катодов, изготовленных пайкой припоем 55 КМВ, имели характеристическую температуру 970...980 °С_{ярк}, тогда как при использовании припоя 75 КВ разброс характеристической температуры $T_x^{0,9}$ составлял 970...1020 °С_{ярк}, при этом у 20 % катодов $T_x^{0,9}$ превышала норму. При металлографическом анализе в поверхностном слое таблеток последних катодов были обнаружены следы припоя.



Изменение тока I_k/I_0 в рабочем режиме и характеристической температуры T_x катода, паянного припоем 55 КМВ, в процессе испытаний на долговечность в форсированном режиме. Режим испытаний: $T_\phi = 1085$ °С_{ярк} при $j = 2 \cdot 10^4$ А·м⁻², $T_p = 950$ °С_{ярк} при $j = 1 \cdot 10^4$ А·м⁻² [6]. Катод пропитан активным веществом $5\text{BaO} \cdot 3\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,3\text{Sc}_2\text{O}_3$

3. ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате проведенных исследований предложен новый припой для катодов с температурой плавления 1400...1430 °С, состоящий из элементов со скоростью ис-

парения 10^{-7} кг/(м²·с) при температуре работающего катода. Использование этого припоя позволяет повысить эмиссионную надежность катодных узлов и прибора в целом. Разработана технология пайки эмиттеров с подогревательными узлами, обеспечивающая снижение температуры пайки приблизительно на 100 °С и повышение эмиссионных характеристик катодов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 3594885 США. *H 01 j 9/16, H 01 j 9/44*. Desiring ад distributive cathode with a focusing coneave grid / G. Y. Miram, G. E. Kuehne. – Заявл. 16.06.69; опубл. 27.07.71.
2. **Атласман, А. В.** Пайка никелем эмиттера с керном импрегнированного катода / А. В. Атласман, О. П. Огневская, Ю. И. Прибылов, М. Д. Горюшева, Бочаров // *Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-Техника*. – 1978. – № 6 – С. 90–93.
3. А. с. 297083 СССР, *H 01 j 1/88*. Припой для соединения деталей катодного узла / Г. И. Фридгант, Э. В. Овчинников, В. И. Ростачева. – Заявл. 05.05.69; опубл. 02.03.71.
4. **Хансен, И.** Структура двойных сплавов / И. Хансен, К. Андерко // *Справочник*. – М.: Металлургия, 1961.
5. Пат. 2079922 РФ. *6 H 01 j 9/04*. Способ изготовления термокатода для электронного прибора и состав припоя для изготовления / И. П. Мельникова, В. И. Козлов, Д. А. Усанов. – Заявл. 09.06.94; опубл. 20.05.97.
6. А. с. 1743311 SU. *5 H 01 j 1/46*. Сеточный электрод для электронного прибора / И. П. Мельникова, Д. А. Усанов, В. К. Семенов, В. Г. Ворожейкин. – Заявл. 11.09.90; опубл. 08.04. 91.

УДК 621.3.066.6

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА Cr–Cu ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОНТАКТОВ ВАКУУМНО-ДУГОВЫХ КАМЕР

И. П. Мельникова, В. Н. Лясников, А. В. Лясникова

Саратовский государственный технический университет им. Ю. А. Гагарина

Исследованы и обсуждены особенности структуры и ее влияние на электрическое сопротивление композита Cr–Cu. Установлено, что укрупнение частиц порошка хрома, сопровождаемое уменьшением их шероховатости при применении предлагаемой обработки шихты, способствует понижению электрического сопротивления композиционного сплава.

КС: контакты, вакуумно-дуговая камера, композит Cr–Cu, размер частиц, шероховатость, мельница, структура, электрическое сопротивление

1. ВВЕДЕНИЕ

В общем объеме выпуска выключателей для класса средних напряжений (1...36 кВ) и больших токов (свыше 10 кА) доля вакуумных выключателей (ВВ) превышает 80 % в европейских странах, 90 % – для Японии и около 60 % – в США [1, 2].

Одно из направлений, в котором в настоящее время предпринимаются значительные усилия, – это разработка оптимальных составов композиций для изготовления контактов вакуумно-дуговых камер (ВДК).

Все композиции, используемые в качестве контактов ВДК, можно отнести к трем основным группам: 1) на основе тугоплавкого металла или его соединения и электро- и теплопроводного металла (Cr–Cu, WC–Ag, Mo–Cu, W–Cu); 2) композиционные материалы (КМ) на основе железа и меди (Fe–Cu–Bi, Sb и др.); 3) сплавы на основе меди и чистых металлов (Cu–Bi и др.) [3].