

УДК 537.533.2.

ОСТРИЙНЫЕ АВТОКАТОДЫ НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА

Корзинов Владимир Викторович, Тренин Александр Владимирович

Студент 5 курса, студент 5 курса,

Кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: Беликов А.И.,

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Введение

Автоэмиссионные устройства могут применяться в различных электронных приборах, использующих высокоинтенсивный электронный зонд малого диаметра.

В промышленных электронных микроскопах известно использование острижных вольфрамовых автоэмиссионных катодов, имеющих радиус эмитирующего острия 0,01 мкм и менее. Для обеспечения устойчивой работы такого катода необходимо поддержание в прикатодной области вакуума 10^{-10} мм рт.ст.

Существенным преимуществом автоэмиссионных катодов из материалов на основе углерода является их устойчивая работоспособность в вакууме $10^{-7} - 10^{-6}$ мм рт.ст.

Описание типов острижных автокатодов

Известны автоэмиссионные катоды из углеродных нитей диаметром 5-8 мкм. эмитирующей поверхностью которых служит поверхность слома волокна без дополнительной обработки. Однако из-за множественности центров эмиссии катоды такой конструкции не обладают необходимой воспроизводимостью и стабильностью эмиссионных характеристик.

Повышение стабильности и воспроизводимости эмиссионных характеристик достигнуто в конструкции катодов из углеродных волокон с заостренными вершинами. Одним из типов острижных автокатодов является автоэмиссионный катод из углеродного волокна, эмитирующее окончание которого имеет коническую форму с малым радиусом кривизны вершины 0.2-0.5 мкм и менее, закрепленного на металлическом держателе, выполненном в виде дужки из проволоки.

Автоэмиссионные катоды, имеющие такую форму эмитирующего окончания волокна, формируют расходящийся электронный поток с

телесным углом, превосходящим 60° и, следовательно, их электронно-оптическая яркость относительно невысока. Кроме того, при такой форме эмитирующего окончания волокна углеродные катоды характеризуются множественностью центров эмиссии и их последовательной работой, что приводит к "мерцанию" электронного пятна, и, наконец, такой катод имеет ограниченный срок службы из-за разрушения острия под действием электронной бомбардировки.

Вместе с тем для радикального улучшения основных параметров приборов, применяющихся при исследовании и обработке поверхности, таких как разрешающая способность, контрастность изображения и быстродействие, необходимы катоды, формирующие электронные потоки, локализованные в сравнительно малом телесном угле и обладающие высокой электронно-оптической яркостью, постоянным свечением электронного пятна и повышенной долговечностью.

В другом автоэмиссионном катоде, содержащем эмиттер из углеродного волокна конической формы, закрепленного на металлическом держателе, на вершине углеродного волокна вдоль его продольной оси выполнено углубление диаметром, выбранным в диапазоне 0.1-0,4 мкм, что обеспечивает повышение электронно-оптической яркости автоэмиссионного катода, однородности эмиссии и долговечности.

Эффект повышения электронно-оптической яркости автоэмиссионного катода связан с локализацией эмиссии в малом телесном угле и объясняется фокусирующим действием кромок и стенок углубления. В результате чего основная часть траекторий электронов проходит в приосевой области, формируя электронный поток высокой интенсивности, малого поперечного сечения, локализованный в малом телесном угле.

В данной конструкции в приосевую область сводится интегральный электронный поток и таким образом усредняется эмиссия множества центров и устраняется мерцание электронного пятна. Предлагаемая форма эмитирующей поверхности под действием ионной бомбардировки практически не изменяется, что обуславливает высокую долговечность работы катода.

Отличие двух конструкций описанных катодных узлов состоит в форме эмитирующей поверхности: в первом это острие с малым радиусом кривизны, а во втором - на вершине заточенного волокна по его оси имеется углубление, осуществляющее сведение электронного луча в однородный поток высокой интенсивности с малым поперечным сечением.

На рис.1 изображен автоэмиссионный катод, в котором углеродное волокно 1. являющееся собственно эмиттером, закреплено на вольфрамовой дужке-держателе 2.

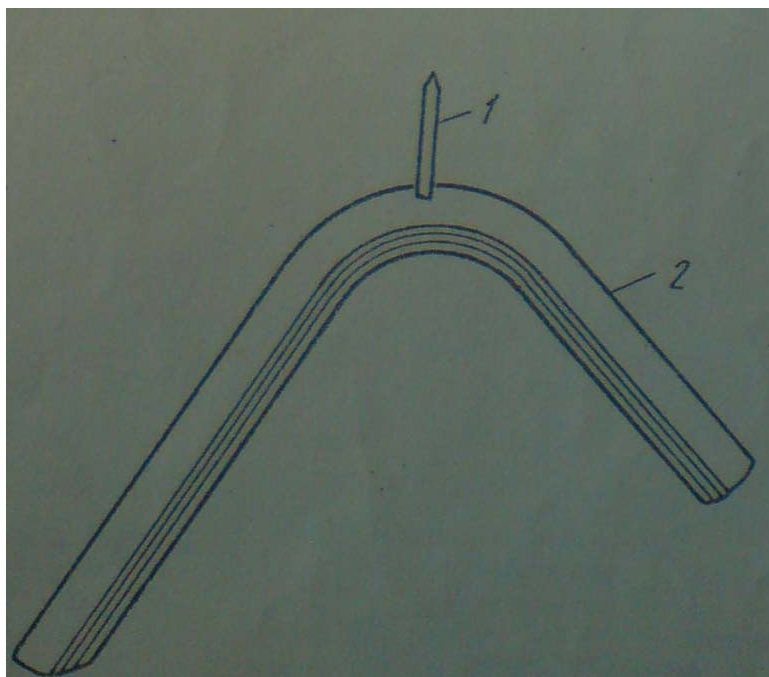


Рис. 1. Автоэмиссионный катод

На рис. 2. приведена электронно-микроскопическая фотография окончания заостренного углеродного волокна с углублением на вершине оси (увеличение 50000 X). Конфигурация углубления (цилиндрическая, коническая либо полусферическая), а также его высота на сходимость электронного пучка и электронно-оптическую яркость не сказывается, поскольку из-за резкого спада электрического поля по высоте углубления эффективно работает лишь кольцо, высотой, не превосходящей его диаметр, прилежащее к кромке углубления.



Рис. 2. Фотография эмитирующей поверхности

С целью проведения работ по исследованию эмиссионных свойств и наблюдения картины эмиссии углеродного волокна (УВ) были разработаны два варианта конструкции катодного узла (КУ): с охранным кольцом и с

вытягивающим электродом (ВЭ), показанные на рис.3а и рис.3б. Оба варианта КУ построены на основе общей катодной ножки, изображенной на фото рис.3в, и отличаются наличием съемного охрannого кольца или узла ВЭ соответственно. В данной работе рассмотрен катод с охранным кольцом.

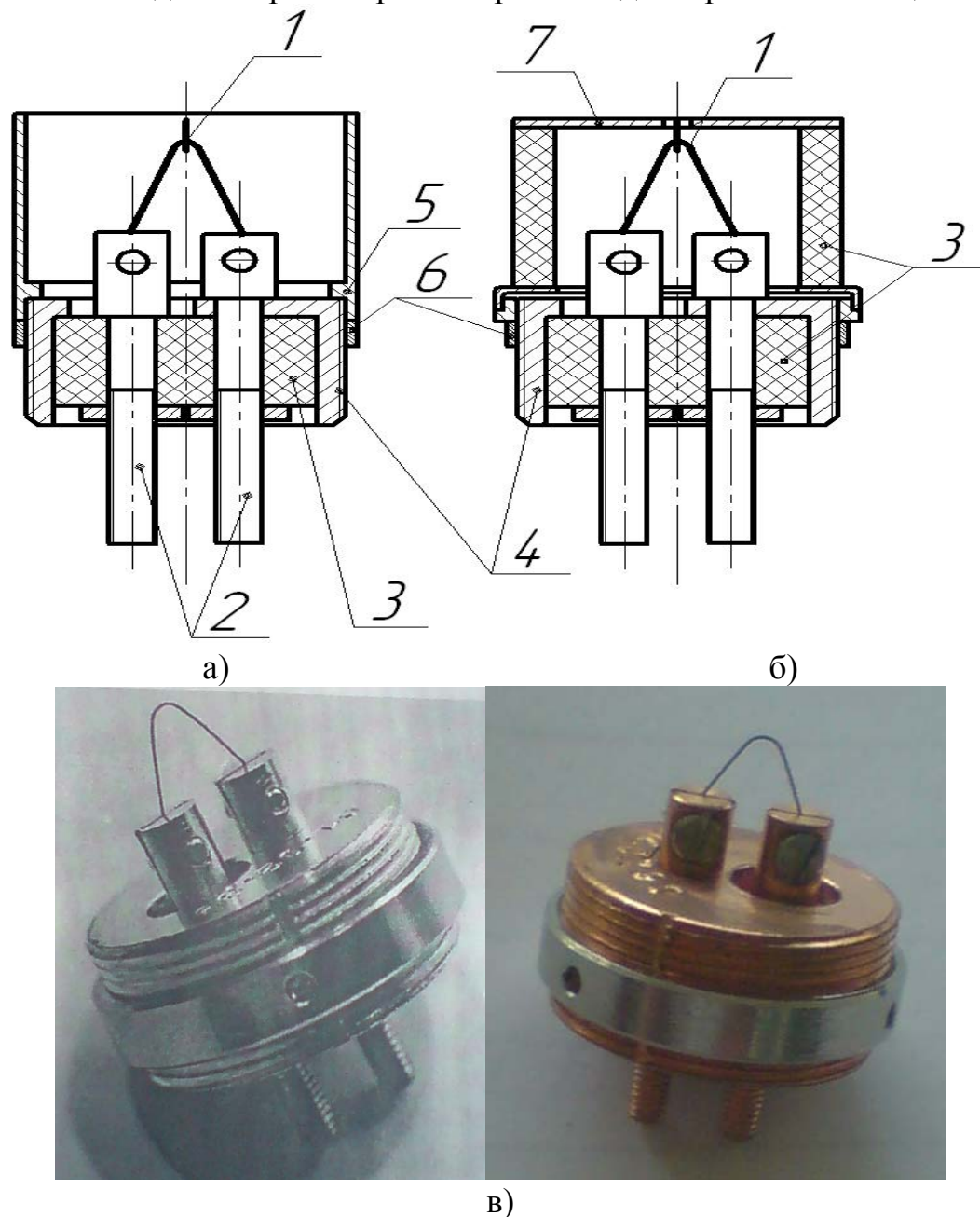


Рис. 3. Схема 2-х вариантов катодного узла с автокатодом а) - с охранным кольцом; б) - с вытягивающим электродом; в) - фото катодной ножки для вариантов (а) и (б).

1 - дужка с автокатодом; 2 - винты; 3 - керамический изолятор; 4 - колпачок; 5 - охрannое кольцо; 6 - контргайка; 7 - вытягивающий электрод.

Сборка катодного узла

Сборку катодного узла можно разделить на несколько основных этапов:

1. Установка и фиксация волокна в дужке-держателе;

2. Установка дужки (с закрепленным на ней волокном) в корпус катодного узла;

3. Заточка волокна.

Затем катодный узел подвергают испытаниям. Наиболее интересными являются этапы установки и фиксации, заточки волокна.

Установка и фиксация волокна в дужке-держателе выполняется в специальной оснастке рис. 4.

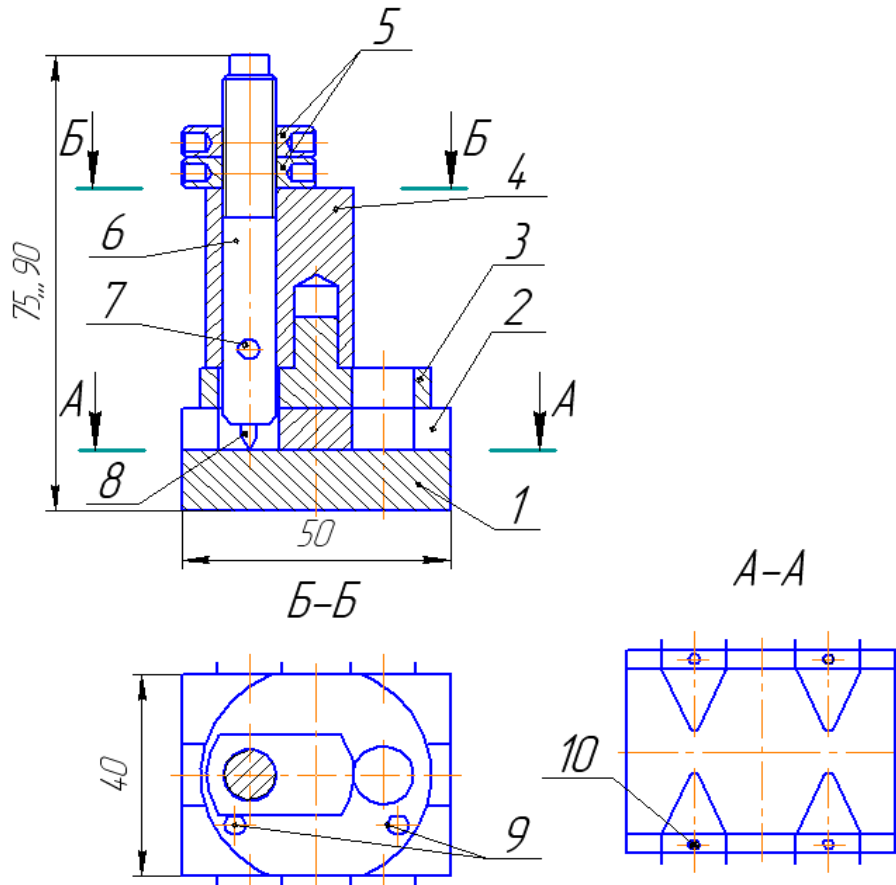


Рис. 4. Оснастка сборки и пайки УВ с дужкой

Оснастка (рис.4) применяется для сборки и пайки углеродного волокна с дужкой-держателем. Устанавливаем дужки (4 шт.) на столик 1 затем устанавливаем по направляющим штифтам 10 прижим 2, который фиксирует положение дужки. После чего устанавливаем поворотный элемент конструкции, который состоит из поворотного столика 3, корпуса 4, регулирующих гаек 5, пуансона 6 и резца 8, и при помощи ручного пресса изготавливаем паз в первой паре дужек-держателей, затем меняем позицию пуансона, фиксируя его положение штифтами 9, и изготавливаем паз во второй паре. После этого снимаем поворотный механизм и под микроскопом устанавливаем волокно (диаметр 7 мкм) в только что изготовленные пазы, затем помещаем припой (в экспериментальных целях используем аквадаг) и вместе с элементами оснастки 1 и 2 помещаем в вакуумную печь и производим пайку. Далее извлекаем оснастку из печи, разрезаем волокно лезвием.

На рис. 5 приведена фотография разработанной оснастки.

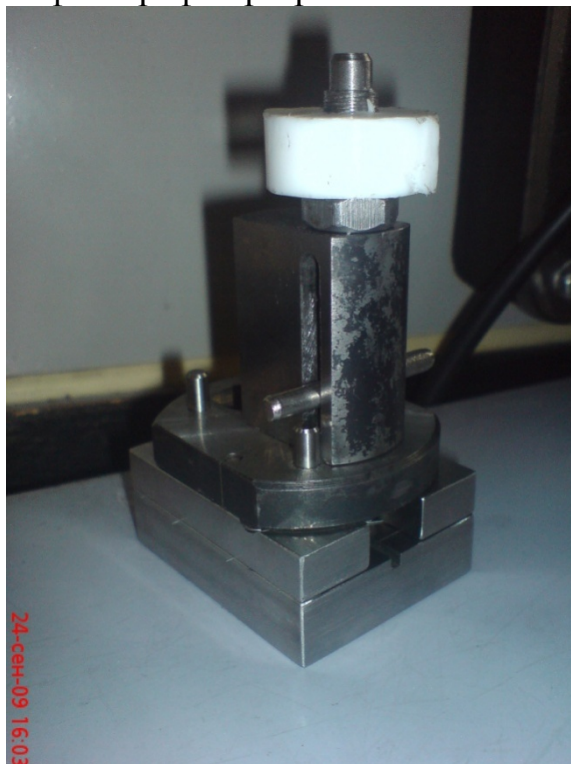


Рис. 5. Оснастка сборки и пайки УВ с дужкой-держателем



Рис. 6. Сборка дужки с острием

После изготовления прорезей в дужках, под микроскопом устанавливается и приклеивается аквадагом волокно (рис. 6). После этой операции дужка с острием устанавливается в корпус катода и происходит заточка волокна.

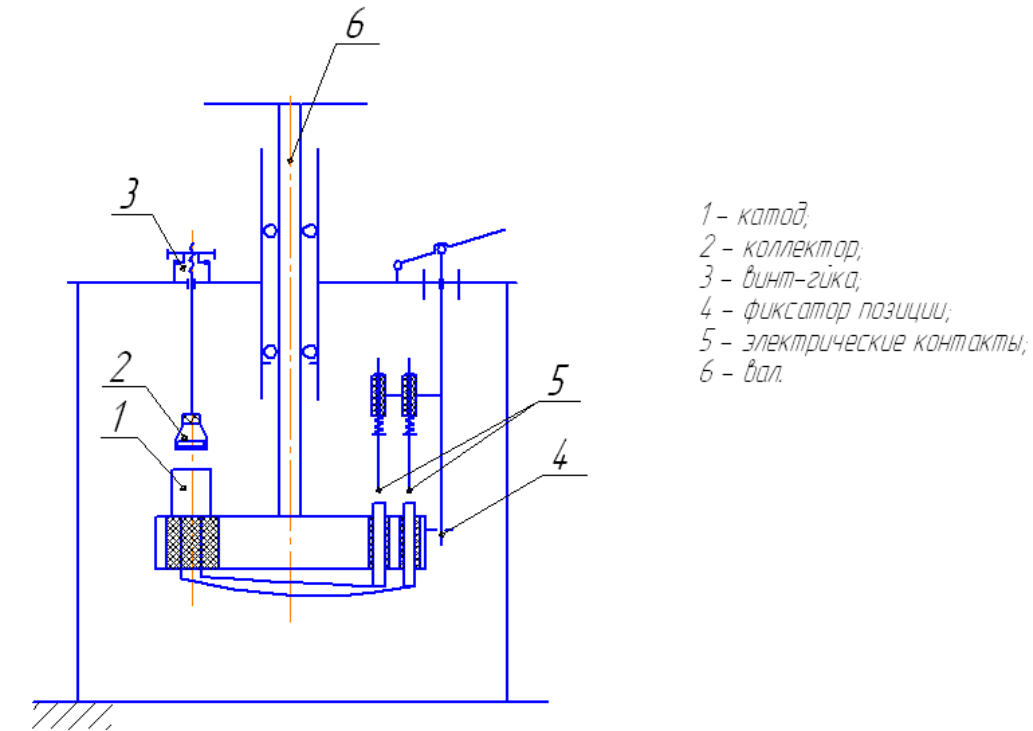


Рис. 7. Схема оснастки заточки волокна

На рис. 7 приведена схема заточки волокна. Катод 1 устанавливается в позицию на карусели, затем с помощью передачи винт-гайка скольжения 3 устанавливается расстояние между катодом и коллектором, равное 1 мм (установка расстояния происходит с помощью калибровочной пластинки высотой 1 мм). После этого на коллектор подается высокое напряжение 1,4 кВ, а электрические контакты 5 через амперметр заземляются. Затем контакты 5 и фиксатор позиции 4 поднимаются и, с помощью, вала 6 меняется позиция на карусели, и процесс заточки повторяется.

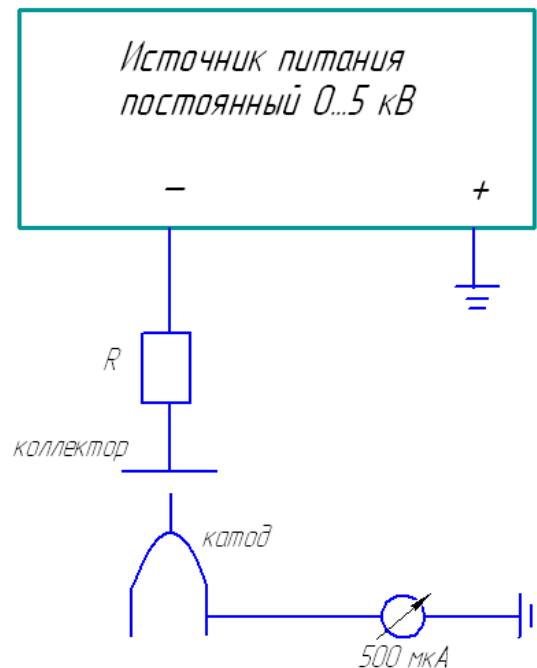


Рис. 8. Электрическая схема оснастки заточки острия



Рис. 9. Слева – приспособление заточки, справа – процесс заточки

Подготовка процесса заточки заключается в сборке электрической цепи (рис. 8), установке катодов на позиции. Процесс заточки состоит из следующих этапов:

1. Проверка заземления;
2. Включение источника питания;
3. Увеличение напряжения до 1400 В с шагом 100 В в секунду, при этом возникает дуговой разряд между острием и коллектором (по амперметру видим возникновение тока);
4. Конец заточки устанавливается падением тока разряда до нуля.

После заточки волокно имеет форму, изображенную на фотографии рис. 2. В данных острийных катодах используется углеродное волокно марки ВМН-4, структура которого имеет следующую особенность: сердцевина более хрупкая, чем периферия волокна, поэтому в процессе заточки сердцевина выгорает быстрее боковой поверхности и образуется углубление.

Затем проводилось испытание катода на эмиссию.

Испытание автокатаода

Испытания проводились на сверхвысоковакуумной установке СВВУ-2.

На рис. 10 представлена вакуумная схема установки, которая состоит из механического насоса 2НВР-5ДМ NI, магниторазрядного насоса (НОРД), криогенного насоса (ОРБИТРОН), электромагнитных VE1, VE2 и электромеханических VM1 клапанов, затвора (тип ЗПТ) VM2, натекателя VF, манометров ионизационных РА и термопарных РТ.

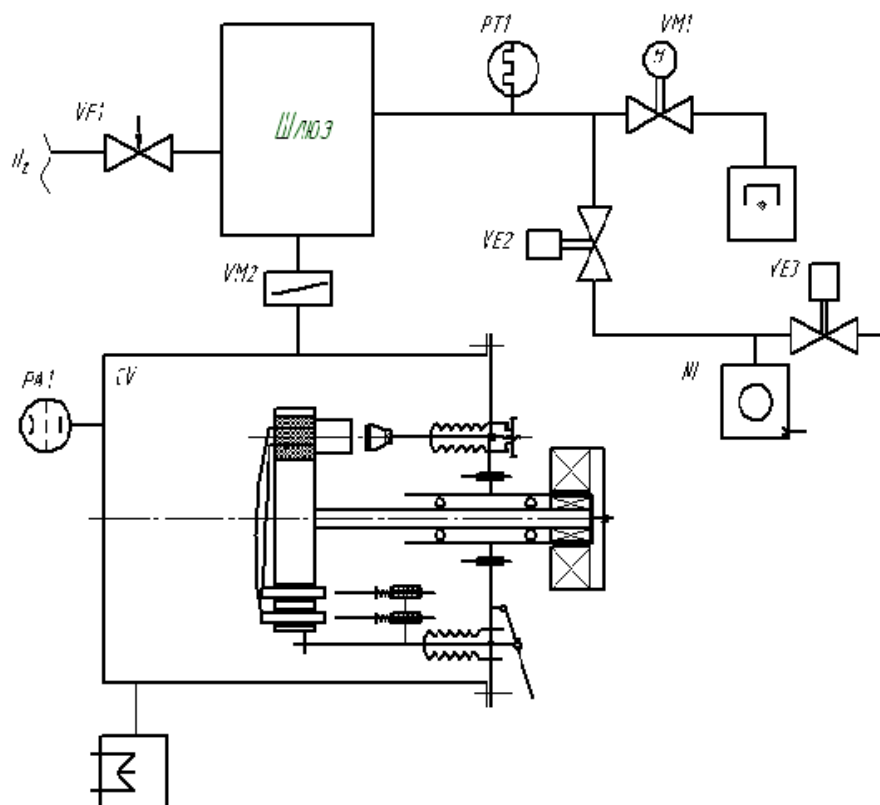


Рис. 10. Схема CBBY-2

На рис. 11 представлена оснастка испытания катодов. Катоды (8 шт.) устанавливаются на позиции карусели. Затем камера откачивается до необходимого вакуума. Регулятор 4 служит для изменения расстояния между катодом 1 и коллектором 2. Магнитный ввод вращения служит для смены позиции.

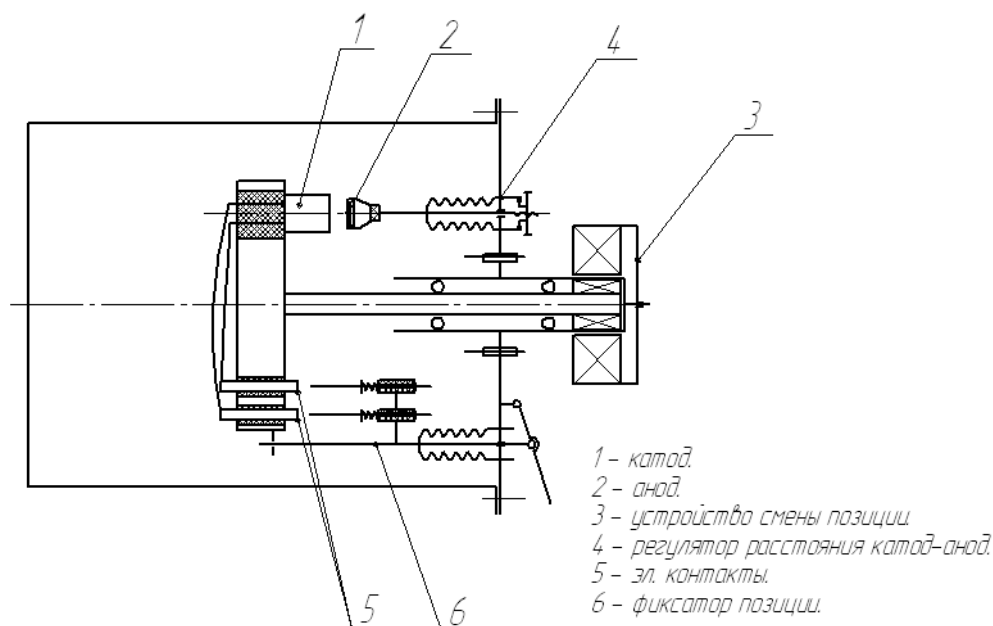


Рис. 11. Приспособление испытания катода

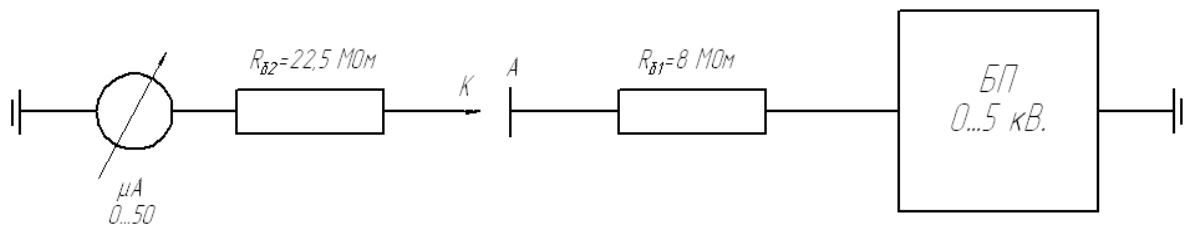


Рис. 12. Электрическая схема испытания

Электрическая схема (рис.12) состоит из двух балластных сопротивлений R_{61} и R_{62} , блока питания БП (0...5кВ), микроамперметра (0...50), катода К, анода А.

На карусель было установлено три катодных узла. Эксперимент проводился при давлении в камере $2,8 \cdot 10^{-7}$ мм рт. ст.

На катод подали напряжение, ток эмиссии был зафиксирован при напряжении 1,6 кВ. Ток эмиссии в первые минуты был нестабилен, это можно объяснить процессом обезгаживания волокна, т.к. при появлении электронов остаточные газы начали ионизироваться и «бомбардировать» остриё, из-за чего его температура возросла. Затем, когда ток эмиссии установился постоянным, увеличили потенциал до 1,8 кВ, 2,0 и 2,2. После чего катод и анод закоротило между собой. На рис.13 приведена вольтамперная характеристика, снятая при эксперименте.

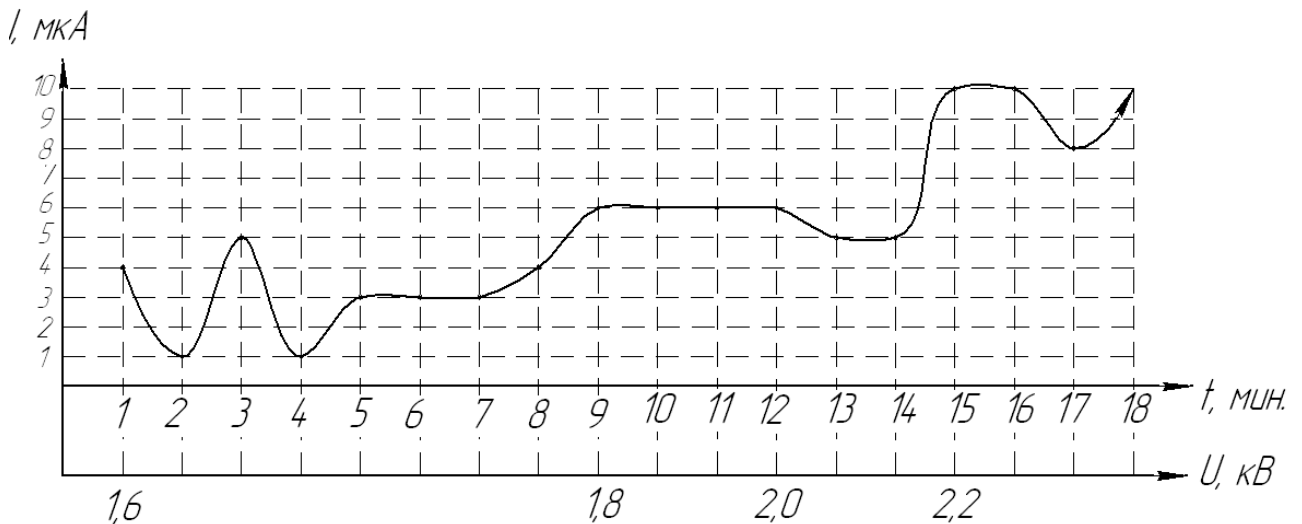


Рис. 13. Результаты эксперимента

В результате эксперимента была получена вольтамперная характеристика (рис. 13), на которой видно, что ток эмиссии достаточно стабилен. В дальнейшем планируется сопоставить параметры наноуглубления (полученного в результате заточки) на торце волокна.