

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

K-663

13-88-41

С.А.Корнев, Н.И.Балалыкин, И.Б.Енчевич*

**КОАКСИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОНОВ
ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ
ВНЕШНИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ**

Направлено в Оргкомитет II Международной
конференции по электронно-лучевым технологиям
"ЭЛТ-88" /Варна, НРБ, май-июнь 1988 г./

*Институт ядерных исследований и ядерной
энергетики БАН, София, НРБ

1988

В последнее время широкое применение в современной технологии получили импульсные электронные пучки ^{/1/}. В работе ^{/2/} обсуждался коаксиальный диод, в котором формировался пучок электронов для обработки внутренних поверхностей цилиндрических деталей, например металлических труб. Существует аналогичная задача по разработке источника электронов для облучения внешних поверхностей цилиндрических деталей. Источник электронов должен обладать следующими параметрами:

- 1) плотность мощности пучка $P_0 \approx 10^6 \text{ Вт/см}^2$;
- 2) кинетическая энергия 100-250 кэВ.

В представленной работе рассматривается такой источник на основе обращенного коаксиального диода.

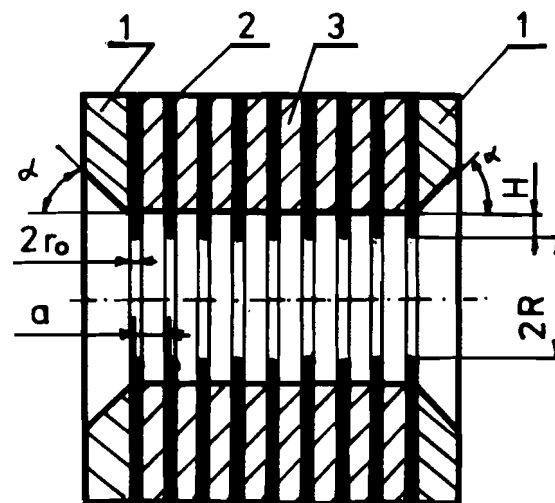
Обращенный диод состоит из цилиндрического катода, внутри которого расположен цилиндрический заземленный анод (облучаемая труба). Для формирования катодной плазмы необходимо выполнить условие

$$E = \frac{Ku}{R \ln R/r} \geq E_{\text{пор}} = (300+400) \text{ кВ/см}, \quad (I)$$

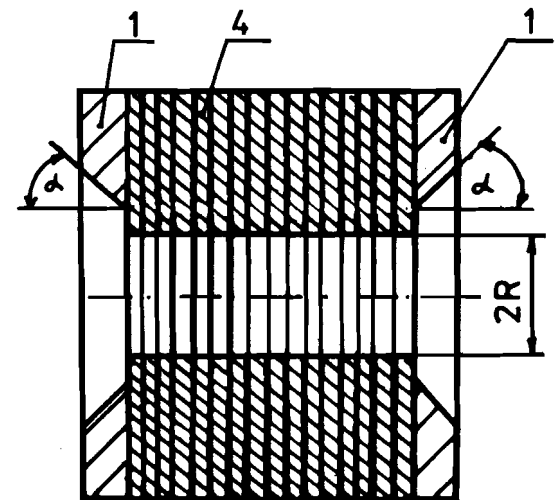
где E - напряженность электрического поля на катоде; U - напряжение на диоде; K - коэффициент усиления электрического поля; R - внутренний радиус катода; r - внешний радиус анода; $E_{\text{пор}}$ - пороговая напряженность электрического поля, при которой формируется катодная плазма ^{/3/}.

Анализ условия (I) показывает, что для формирования катодной плазмы при напряжении на диоде 100 кВ, $R = 3 \text{ см}$, $r = 1+2,5 \text{ см}$ значения K составляют $\approx (2+13)$. Получение указанных значений K достигается подбором геометрии катодных элементов.

В источнике электронов использовались два катода со взрывной эмиссией, рис. 1а, б. Первый катод (рис. 1а) представляет собой струк-

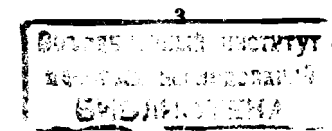


а



б

Рис.1. Конструкция катодов: 1 - крепежные электроды; 2 - металлическая шайба; 3 - графитовая прокладка; 4 - углеродно-волоконная шайба.



туру цилиндрических металлических шайб с графитовыми прокладками. Его геометрия оптимизировалась на основе рекомендаций ^{/4/}. Коэффициент K вычислялся по формуле

$$K = \frac{a}{\pi r_0} \quad (2)$$

а оптимальное расстояние между шайбами определялось из условия

$$\frac{\pi H}{a} \approx 2 \quad (3)$$

Шайбы изготавливались из медной фольги толщиной 100 мкм, а графитовые прокладки - 2,4 мм. Величина H составляла 1,5 мм. Расчетное значение $K = 20$. Материал прокладки выбирался из условий формирования однородной катодной плазмы. В работе ^{/5/} было указано на свойства графита: большой коэффициент газовыделений, небольшую энергию ионизации, которые благоприятно сказываются на формировании катодной плазмы. Применение электротехнического графита привело к формированию однородной катодной плазмы (при прокладках из меди, латуни и нержавеющей стали катодная плазма неоднородна). Второй катод изготавливался из углеродно-волоконистого материала. Согласно многим работам, например ^{/6/}, коэффициент усиления электрического поля на микрофибриллах углеродных волокон составляет $K \gg 100$.

Обращенный диод располагался в вакуумной камере электронной пушки на экспериментальном стенде ^{/7/}. Давление остаточного газа в камере составляло $\sim 10^{-3}$ Па. Диод запитывался от генератора импульсного напряжения Аркадьева-Маркса, импульс напряжения имел амплитуду 100 кВ и длительность ~ 150 нс. Частота следования импульсов составляла 0,01 Гц. Ток измерялся интегрирующим поясом Роговского, а напряжение - высокоомным делителем напряжения. Для устранения электрических пробоев с торцевой поверхности катода угол $\alpha \approx 45^\circ$.

На рис.2 приведена зависимость плотности тока j от расстояния между анодом и катодом $D = R - r$ при напряжении на диоде 100 кВ. Видно, что в пределах указанных D мощность электронного пучка достаточна для проведения экспериментов. Эмиссионные характеристики обоих катодов одинаковы. Нестабильность токоотбора углеродно-волоконистого катода $\Delta j/j \approx 10\%$, а другого катода - $\Delta j/j \approx 15\%$.

Однородность плотности тока пучка электронов на аноде качественно определялась путем анализа микрофотографий облученных зон. Анализ проводился по 120 микрофотографиям участков (по 20 точек

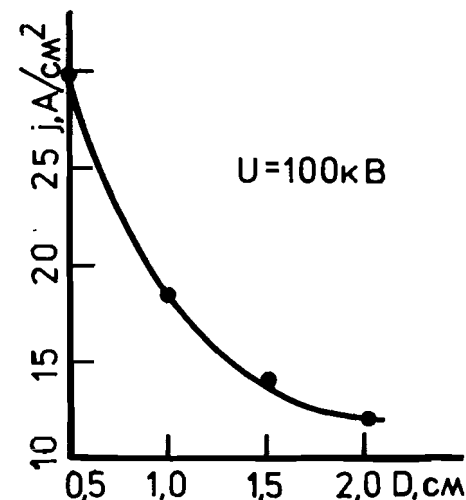


Рис.2

в продольном направлении с шагом 5 мм на длине катода $l_k = 10$ см через 60° по азимуту), радиус анода (облучаемой трубы) $r = 2$ см. Из него следует, что поперечная неоднородность плотности тока не превышает $\sim 15\%$.

Максимальная длина облучаемой трубы за один импульс облучения определяется эффективной длиной катода. В этом случае, с одной стороны, для получения необходимой плотности тока надо учитывать влияние объемного заряда пучка электронов на токоотбор электронов (закон Чайлда-Ленгмюра):

$$P = jU = \frac{2,34 \cdot 10^6 U^{3/2}}{D^2} = \frac{2,34 \cdot 10^6 U^{5/2}}{(R-r)^2} \geq \quad (4)$$

$$\geq P_0 = 10^6 \text{ Вт/см}^2,$$

а с другой стороны, длина катода l_k связана с энергетикой генератора импульсного напряжения (ГИН). Действительно, эта связь выражается следующим образом:

$$P = \frac{W\eta}{\tau} \geq P_0 S = 2\pi \cdot 10^6 R l_k, \quad (5)$$

где P - мощность пучка электронов; W - запасенная энергия в ГИНе, η - к.п.д. преобразования энергии из ГИНа в пучок; τ - длительность импульса тока пучка; P_0 - пороговая мощность; S , R , l_k - соответственно площадь, внутренний радиус, длина катода.

Из (5) получаем условие для выбора $l_{\text{к}} = l_{\text{тр.}}$ ($l_{\text{тр.}}$ - длина облучаемой трубы):

$$l_{\text{к}} = l_{\text{тр.}} \leq \frac{W \eta}{2\pi \cdot 10^6 \tau R} \quad (6)$$

Например, при $W = 10^3$ Дж, $\eta = 0,4$, $\tau = 1,5 \cdot 10^{-7}$ с, $R = 3$ см получаем

$$l_{\text{тр.}} \leq \frac{10^3 \cdot 0,4}{6,28 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot 10^{-7} \cdot 3} = 140 \text{ см.}$$

В заключение можно сделать следующий вывод. Источник электронов на основе обращенного коаксиального диода по своим параметрам подходит для разработки технологии поверхностной обработки внешних поверхностей металлических цилиндрических деталей.

Литература

1. Применение сильноточных электронных пучков в технологии. Под редакцией Г.А.Месяца. Новосибирск: Наука, 1984.
2. Балалыкин Н.И., Енчевич И.Б., Корнев С.А., Михов М.К. Труды I Международной конференции по электронно-лучевым технологиям ЭЛТ-85. Изд-во БАН, София, 1985, с.109.
3. Смирнов В.П. ПТЭ, 1977, № 2, с.7.
4. Бугаев С.П., Крейндель Ю.Е., Щанин П.М. Электронные пучки большого сечения. Энергоатомиздат, Москва, 1984.
5. Корнев С.А., Балалыкин Н.И., Енчевич И.Б., Михов М.К. ПТЭ, 1985, № 5, с.190.
6. Корнев С.А. ПТЭ, 1983, № 6, с.1337.
7. Корнев С.А. Сообщение ОИЯИ 9-81-753, Дубна, 1981.

Рукопись поступила в издательский отдел
18 января 1988 года.

Корнев С.А., Балалыкин Н.И., Енчевич И.Б. 13-88-41
Коаксиальный источник электронов для
поверхностной обработки внешних поверхностей
цилиндрических деталей

Рассматривается вариант коаксиального источника электронов обращенного плазменного диода. Показано, что за счет выбора геометрии катодного электрода можно получить коэффициент усиления электрического поля ($k \geq 20$), которого достаточно для формирования катодной плазмы при напряжении $U \approx 100$ кВ. Длина катода в экспериментах составляла 10 см, а его внутренний диаметр - 6 см. Диаметр анода /облучаемой трубы/ может изменяться от 2 до 5 см. При $U \approx 100$ кВ плотность тока пучка электронов составляла $12 \div 30$ А/см². По своим параметрам электронный пучок пригоден для использования в экспериментах по поверхностной обработке материалов.

Работа выполнена в Общезинститутском научно-методическом отделении ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1988

Korenev S.A., Balalykin N.I., Enchevich I.B. 13-88-41
Coaxial Electron Beam Source for a Surface
Processing of Cylindrical Spaped Materials

A variant of coaxial electron source based on conversion plasmatic diode is discussed. It is shown that it is possible to construct the source having coefficient of field application $K \geq 20$ allowing to form the cathode plasma of 100 kV voltage. The experimental cathode length of 10 cm, internal diameter of 6 cm was used. The diameter of anode (a pipe under irradiation) may be varied from 2 to 5 cm. The electron current density was $12 \div 30$ A/cm² at $U = 100$ kV. The electron beam may be used for experiments connected with surface ammorphisation of materials.

The investigation has been performed at the
Scientific-Methodical Division, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1988