

ЭЛЕКТРОННЫЕ ПУЧКИ ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*А.Н.Довбня, В.В.Закутин, А.А.Пархоменко, О.А.Репихов, Н.Г.Решетняк,
Ю.Я.Волколупов, М.А.Красноголовец, Т.А.Семенец, Т.А.Коваленко*

Научно-Исследовательский Комплекс «Ускоритель»

Национальный Научный Центр «Харьковский Физико-Технический Институт»

г.Харьков, Украина E-mail: zakutin@kipt.kharkov.ua

В роботі розглядається можливість створення прискорювальної установки з новим типом електронної пушки – магнетронної – з холодним вторинноemisійним катодом, для проведення досліджень з модифікації поверхневих властивостей металів. Такі пушки мають просту конструкцію, добру стабільність, надійність і великий строк служби, не потребують накали і не втрачають емісію після напуску атмосфери за умов вакуумних аварій. Живлення пушок може здійснюватися від генератора імпульсних напруг, виготовленого за схемою Маркса, чи від імпульсного генератора за схемою з повним розрядом формуючої лінії.

В работе рассматривается возможность создания ускорительной установки с новым типом электронной пушки – магнетронной – с холодным вторичноemisсионным катодом для проведения исследований по модификации поверхностных свойств металлов. Такие пушки имеют простую конструкцию, хорошую стабильность, надёжность и большой срок службы, не требуют накала и не теряют эмиссию после напуска атмосферы при вакуумных авариях. Питание пушек может осуществляться либо от генератора импульсных напряжений, собранного по схеме Маркса, либо от импульсного генератора по схеме с полным разрядом формирующей линии.

The paper considers a possibility to develop an accelerator installation with a new type of an electron gun - a magnetron gun with a cold secondary-emission cathode for studying the modification of surface properties in metals. Such guns have a simple design, good stability, reliability and life time, besides they do not require the heating and do not lose the emission after atmosphere inlet during vacuum breakdown. The energy for guns can be supplied either from the impulse voltage generator assembled by the Marx scheme, or from the impulse generator by the scheme with a full discharge of the pulse forming network.

В настоящее время ведутся работы по широкому применению радиационных технологий в промышленности. Одной из актуальных задач при этом является модификация поверхностных свойств металлов с целью изменения их микроструктуры и фазового состава путём поверхностной обработки электронным пучком. Это приводит к упрочнению, увеличению износостойкости и микротвёрдости поверхности металлов и сплавов. Так, например, при обработке электронным пучком некоторых типов сталей, применяемых в автомобильной промышленности, получено увеличение микротвёрдости от 2 до 5 раз и, соответственно, срока службы. Обработка электронным пучком лопаток газовых турбин позволяет увеличить срок их службы в 2...2,5 раза [1,2].

С этой целью создаются электронные ускорители и разрабатываются методики обработки материалов. Для обработки металлов используются ускорительные установки с энергией электронов от 100 кэВ до нескольких МэВ и средней мощностью пучка 5...30 кВт, содержащие импульсный источник высокого напряжения, электронную пушку, фокусирующий соленоид и мишень [3].

В качестве источников электронов применяются как электронные термоemisсионные пушки, так и электронные пушки со взрывной эмиссией в различных модификациях. Фокусирующий соленоид формирует электронный пучок заданной площади (50...100 см²) для обеспечения плотности энергии ~50 Дж/см² или плотности мощности ~6 МВт/см² на плоских мишенях.

Взрывные пушки имеют невысокую стабильность тока и размеров пучка; трёхэлектродные пушки с взрывной эмиссией [7] имеют сложную конструкцию. Это требует использования новых типов катодов. Нами предлагается в качестве источника электронов исполь-

зовать магнетронные пушки с вторичноemisсионными металлическими холодными катодами [4].

Принцип действия таких пушек основан на вторичноemisсионном размножении электронов и их накоплении вблизи поверхности катода под действием бомбардировки его электронами, возвращёнными магнитным полем. Пушка представляет собой коаксиально расположенные анод в виде трубы и стержневой катод внутри анода, помещённые в магнитное поле. Исследования показали [4], что такие пушки позволяют получать трубчатые пучки с высокой плотностью тока (~50 А/см²), энергией электронов 10...100 кэВ и длительностью импульса до 100 мкс.

Электронные пушки с вторичноemisсионными металлическими катодами имеют хорошую стабильность, надёжность и большой срок службы, не требуют накала и не теряют эмиссию после напуска атмосферы при вакуумных авариях.

Проведённые исследования [4,5] создали условия для разработки на основе источников электронов с вторичной эмиссией ускорительных установок для электронно-пучковых технологий.

В НИК «Ускоритель» ННЦ «ХФТИ» разрабатывается установка для получения электронных пучков с энергией 100...400 кэВ, током пучка 50...300 А, длительностью импульса 10...100 мкс, предназначенная для проведения указанных исследований.

Электронный пучок формируется в магнетронной пушке с холодным металлическим вторичноemisсионным катодом в скрещённых электрическом и магнитном полях. Пушка имеет медный катод диаметром 60...100 мм, диаметр анода – 100...140 мм, длина пушки – 150...200 мм. Фокусирующий соленоид создаёт магнитное поле 3...4 кЭ для генерации пучка и его транспортировки на мишень. В условиях газовой фокусировки или в нарастающем магнитном поле возможно

получение пучка небольшой площади на плоской мишени, а при достаточно резком спаде магнитного поля можно сбрасывать пучок на внутреннюю цилиндрическую поверхность металлической мишени. Во втором случае в краевом магнитном поле соленоида движение трубчатого пучка будет происходить по криволинейным траекториям, заканчивающимся на внутренней цилиндрической поверхности камеры или мишени. При этом возможно использование пучка для обработки цилиндрических поверхностей (отверстия для валов, наружные кольца подшипников и т.д.). Возможно также использование этого пучка или его тормозного рентгеновского излучения для радиационных технологий. Применение магнетронных пушек с вторичноэмиссионными металлическими холодными катодами позволит расширить область применения электронно-пучковых технологий при увеличении надёжности ускорительных установок.

Питание электронной пушки возможно осуществить двумя способами: от ГИНа, выполненного по схеме Маркса, или от импульсного генератора, собранного по схеме с полным разрядом формирующей линии через повышающий импульсный трансформатор. В первом случае получение импульса напряжения на катоде, близкого к прямоугольному, и, соответственно, небольшого энергетического разброса пучка, достигается применением срезающего (закорачивающего) разрядника (см., например, [6]). Этот разрядник срезает часть импульса напряжения с сильно спадающим участком вершины, что определяет длительность импульса тока пучка, однако приводит к уменьшению КПД установки. С другой стороны, частота повторения импульсов невелика (0,1...1 Гц), что определяется коммутирующими элементами ГИНа. Во втором случае длительность импульса определяется электрической длиной формирующей линии и индуктивностью намагничивания импульсного трансформатора. Частота повторения импульсов в этом случае может составлять 10...50 Гц. В обоих случаях длительность импульса тока пучка будет составлять 10...30 мкс при неравномерности вершины 15...25%.

Накопление электронов и образование электронного облака в магнетронной пушке с вторично-эмиссионным катодом происходит на спаде импульса напряжения, при этом формируется фронт импульса тока пучка. В указанных случаях получение напряжения на катоде заданной формы со спадом и плоской частью вершины импульса возможно с использованием разработанных для питания таких пушек импульсных генераторов [8], – схема одного из них приведена на рисунке. В этой схеме для получения импульса питающего напряжения используется метод сложения двух импульсов – длинного импульса с плоской вершиной, формируемого генератором на тиратроне Т1, и короткого импульса с крутым спадом, формируемым разрядом конденсатора С через тиратрон Т2. Суммирование импульсов производится на общей нагрузке – резисторах R1R2, к которым подключена магнетронная пушка МП (метод сложения импульсов применим также и при питании пушки от ГИНа). Ток пучка, попавшего на мишень, измеряется резистором r. Следует отметить, что при питании пушки с высокой частотой повторения, средняя мощность пучка может достигать 20...50 кВт, что позволит расширить область использования этой установки.

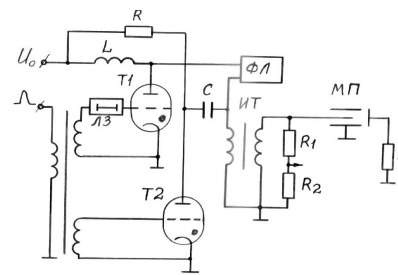


Схема импульсного генератора

Таким образом, создаваемая установка позволит проводить исследования по повышению прочности и износостойкости сталей, электронно-лучевой обработке материалов, по разработке радиационных технологий и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Г.Голковский, А.И.Корчагин, Н.К.Куксанов и др. Перспектива применения электронно-лучевой технологии для повышения износостойкости боковой поверхности рельсов в действующем пути //Сб. докладов X Международного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине (г.Санкт-Петербург, 1-4 октября, 2001), М.: ЦНИИАтоминформ, 2001, с.393–396.
2. В.А.Глухих, О.П.Печерский, В.И.Энгелько, Б.И.Яценко. Модификация поверхностных свойств материалов с помощью мощных импульсных электронных пучков //Сб. докладов X Международного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине (г.Санкт-Петербург, 1-4 октября, 2001), М.: ЦНИИАтоминформ, 2001, с.445–447.
3. В.Энгелько, Г.Мюллер, А.Андреев и др. Установка с импульсным электронным пучком (GESA) для поверхностной обработки материалов //Сб. докладов X Международного совещания по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине (г.Санкт-Петербург, 1-4 октября, 2001), М.: ЦНИИАтоминформ, 2001, с.412–415.
4. Ю.А.Волколупов, А.Н.Довбня, В.В.Закутин и др. Формирование электронных пучков в магнетронном диоде с металлическим вторичноэмиссионным катодом //Журнал технической физики, 2001, т.71, вып.2, с.98–104.
5. В.В.Закутин, А.Н.Довбня, Н.Г.Решетняк и др. Получение мощных электронных пучков в магнетронных пушках с вторичноэмиссионными катодами //Журнал технической физики, 2001, т.71, вып.3, с.78–80.
6. В.В.Закутин, Н.Н.Насонов, А.М.Шендерович. Получение импульса тока пучка пилообразной формы в высокопоточной электронной пушке //Приборы и техника эксперимента, 1975, №2, с.28–32.
7. В.Энгелько, Г.Мюллер, В.Кузнецов и др. Влияние частиц, отражённых от мишени, на характеристики интенсивных электронных пучков //Сб. докладов X Международного Совещания по применению ускорителей заряженных частиц в промышленности и медицине (г.Санкт-Петербург, 1-4 октября, 2001), М.: ЦНИИАтоминформ, 2001, с.418–420.
8. A.N.Dovbnya, N.G.Reshetnyak, V.P.Romasko at all. Pulsed modulators for feeding the powerful microwave-cathodes based on magnetron guns with secondary-emission cathodes //Proc. of PAC-2001, (USA, Chicago, 2001), v.5, p.3759–3761.