

УДК 537.533; 537.563.2

А.Г. Рау, И.В. Осипов, А.В. Тюньков, Ю.Г. Юшков, Д.Б. Золотухин, А.А. Зенин

Электронно-лучевая пушка с термокатодом для сварочной установки

Представлена разработанная в рамках комплексного проекта электронно-лучевая пушка с термокатодом. Основные узлы пушки смонтированы на стандартных керамических изоляторах. Катодный узел – легкоъемный, не требующий юстировки при замене. Наличие съемного катодного узла позволяет производить технологические операции, используя катоды прямого и косвенного подогрева. Максимальная мощность в пучке 15 и 60 кВт при ускоряющем напряжении 60 кВ при работе устройства с катодом прямого и косвенного нагрева соответственно.

Ключевые слова: электронно-лучевая пушка, термокатод, прямонакальный катод, катод косвенного нагрева.

doi: 10.21293/1818-0442-2017-20-2-129-131

Электронные пучки широко используются в технологическом оборудовании для нагрева, сварки, плавки, размерной обработки, распыления, фундаментальных и прикладных исследований, в том числе в нанотехнологиях [1–5]. Так как диапазоны мощности и концентрации энергии в электронном луче велики, возможно получение всех видов термического воздействия на материал: нагрев его до заданных температур, плавление и испарение с высокими скоростями [6, 7]. В качестве источников электронных пучков, работающих в условиях высокого вакуума (порядка 10^{-2} Па), широко используются устройства (пушки) с термокатодом [6–8]. Различают пушки с прямонакальным катодом [9, 10] и катодом косвенного нагрева [11, 12]. Известно, что при работе с небольшими плотностями тока (порядка 1 А/см^2) или непродолжительными циклами работы целесообразно использовать прямонакальные катоды [13]. Для получения большей мощности электронного луча используются катоды косвенного нагрева.

В условиях современного производства приходится решать многообразные технологические задачи, требующие различные значения мощности электронного луча. Традиционно это достигается использованием электронных пушек с катодами разного типа. То есть пушки, как правило, не универсальны.

Целью настоящей работы являлась разработка электронно-лучевой сварочной пушки с термоэмиссионным катодом, способной работать с любым типом катода и решать разнообразные технологические задачи, связанные с резкой, плавкой и сваркой различных материалов. При этом основными требованиями, предъявляемыми к устройству, являются минимизация временного промежутка и конструктивные изменения, необходимые для смены типа катода в пушке.

Особенности конструкции и принцип работы

Электронная пушка с термоэмиссионным катодом – электронный прибор, формирующий в вакууме непрерывный сфокусированный электронный луч.

Конструктивно электронно-лучевая пушка представляет собой электронно-оптическую колонну (рис. 1), в верхней части которой находится герме-

тичный металлокерамический катодный узел 1, охлаждаемый трансформаторным маслом с атмосферной стороны.

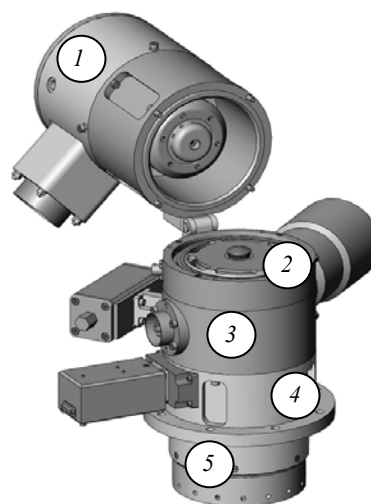


Рис. 1. Внешний вид электронной пушки с термокатодом: 1 – катодный узел; 2 – анод; 3 – вакуумный затвор; 4 – система видеонаблюдения; 5 – система фокусировки и перемещения электронного пучка

Трансформаторное масло выполняет роль теплоносителя и жидкого диэлектрика для изоляции электрических вводов в вакуумную часть катодного узла. Следом на фланце, электрически соединённом с корпусом пушки, установлен анод 2, регулируемый по высоте. Под фланцем анода располагается электромагнитная юстировочная система, позволяющая регулировать отклонение луча с целью обеспечения его соосности с фокусирующе-отклоняющей системой 5. Между юстировочной и фокусирующей системами располагаются наклонное зеркало соосной системы видеонаблюдения 4, стекло защиты от запыления зеркала, затвор 3, отсекающий катодную область электронно-лучевой пушки от вакуумной камеры. На нижней части фокусирующе-отклоняющей системы находятся пластины датчика отраженных электронов, являющегося еще одним детектором наблюдения соосности луча. Корпус пушки разборный и обеспечивает необходимую биологиче-

скую защиту от неиспользуемого рентгеновского излучения.

Рабочие параметры электронной пушки представлены в таблице.

Параметры электронно-лучевой пушки

Наименование параметра	Значение
Режим работы	Непрерывный
Ток луча, мА (прямокальный катод)	250
Ток луча, мА (катод косвенного подогрева)	1000
Ускоряющее напряжение, кВ	60
Мощность луча, кВт (прямокальный катод)	15
Мощность луча, кВт (катод косвенного подогрева)	60
Диаметр луча в зоне сварки, мм	0,3
Угол отклонения луча не менее, град	± 7
Ток фокусировки, мА	400–1000
Ток отклонения, мА	От –400 до 400

Цель настоящей разработки достигается путем введения в конструкцию сменного картриджа, размещенного в керамическом изоляторе 3 на нижней части катодного узла (рис. 2).

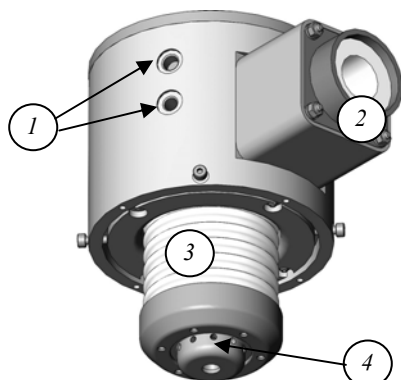


Рис. 2. Катодный узел: 1 – вводы водяного охлаждения; 2 – высоковольтный ввод; 3 – керамический изолятор; 4 – вентиль-электрод

Схематический вид картриджа представлен на рис. 3. Электрический контакт с электродами картриджа 1 осуществляется через пружинные контакты, расположенные в зоне низкой температуры. В зависимости от технологической задачи в катодный узел помещают картридж с прямокальным катодом 4, выполненным из танталовой ленты V-образной формы с плоской эмиссионной поверхностью; либо с катодом косвенного подогрева 3 для режимов, требующих более мощных пучков, выполненным также из тантала в виде таблетки. Подогрев таблетки осуществляется за счет энергии электронов, эмитированных с поверхности вольфрамовой спирали 2 и ускоренных разностью потенциалов, приложенной между спиралью и таблеткой. Выбор материала катодов обусловлен в первую очередь простотой обработки данного материала и предъявляемыми к нему эмиссионными свойствами.

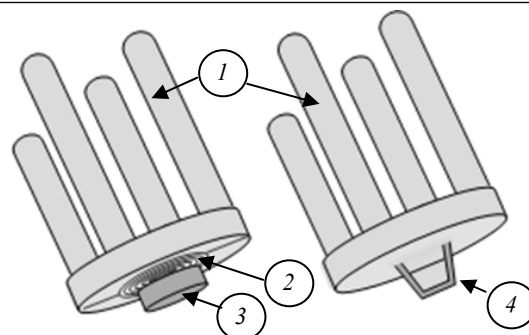


Рис. 3. Схематический вид сменного картриджа с катодом косвенного подогрева (слева) и прямого накала (справа): 1 – электроды картриджа; 2 – вольфрамовая спираль; 3 – катод косвенного подогрева; 4 – прямокальный катод

Известно, что катоды электронных пушек имеют ограниченный срок службы [6–13] ввиду их бомбардировки ионами паров из сварочной ванны, а также ионами остаточных газов. Поэтому доступ к ним и аноду обеспечивается наличием разборного корпуса, отделяющего катодный узел от остальных частей устройства и вакуумной камеры. Катодный узел и анод оснащены системой дифференциальной откачки, позволяющей проводить замену картриджа без разгерметизации вакуумной камеры.

Отклонение положения катода от оси электронной системы может привести не только к нарушению геометрии пучка, но и к разрушению анода в результате пробоев на его поверхности, возникающих при взаимодействии с электронным пучком [6]. Поэтому для замены катодов в картридже используется приспособление, позволяющее выставить эмитирующую площадку в требуемое положение. При этом время, требуемое для замены катода, не превышает 5 мин.

Таким образом, данный подход позволяет за счет не критичных конструктивных изменений обеспечить эффективную работу электронной пушки в диапазоне мощностей от 2 до 60 кВт. Замена прямокального катода на катод косвенного подогрева приводит к увеличению тока пучка от 250 до 1000 мА (соответственно его мощности) только благодаря физическим принципам электронной бомбардировки и не требует замены подводящих проводов.

Заключение

В рамках комплексного проекта согласно Постановлению Правительства РФ №218 от 9 апреля 2010 г. разработана электронно-лучевая пушка с термокатодом. Пушка предназначена для использования в установках электронно-лучевой сварки (УЭЛС) и электронно-лучевого выращивания (УЭЛВ). Пушка оснащена оригинальным конструктивным элементом (сменный картридж). Это позволило одним устройством создавать электронный луч в диапазоне мощностей от 2 до 60 кВт. Наряду с этим время, требуемое на замену катода, сокращено до нескольких минут без развакуумирования рабочей камеры.

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении

высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР) – головном исполнителе НИОКТР при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Договора № 02.G25.31.0189.

Литература

1. Metal fabrication by additive manufacturing using laser and electron beam melting technologies / L.E. Murr, S.M. Gaytan, D.A. Ramirez et al. // Journal of Materials Science & Technology. – 2012. – Vol. 28(1). – P. 1–14.
2. Hohn F.J. Electron beam lithography: its applications // Journal of Vacuum Science & Technology B (Microelectronics Processing and Phenomena). – 1989. – Vol. 7, No. 6. – P. 1405–11.
3. Бурдовицин В.А. О возможности электронно-лучевой обработки диэлектриков плазменным источником электронов в форвакуумной области давлений / В.А. Бурдовицин, А.С. Климов, Е.М. Окс // Письма в ЖТФ. – 2009. – Т. 35, № 11. – С. 61–66.
4. Schultz H. Electron beam welding. – UK: Woodhead Publishing Ltd, 1993. – 272 p.
5. Morita S. Preparation of Pb₂CrO₅ Thin films by an electron-beam evaporation technique / S. Morita, K. Toda // Applied Physics A. – 1985. – Vol. 36. – P. 131–137.
6. Кайдалов А.А. Сварочные электронные пушки / А.А. Кайдалов, Е.И. Истомина. – Киев: Научно-технический комплекс «Институт электросварки им. Е.О. Патона» Национальной Академии наук Украины, 2003. – 153 с.
7. Молоковский С.И. Интенсивные электронные и ионные пучки / С.И. Молоковский, А.Д. Сушков. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 303 с.
8. Алямовский И.В. Электронные пучки и электронные пушки. – М.: Советское радио, 1966. – 455 с.
9. Erdman P.W. Low-voltage, high-current electron gun / P.W. Erdman, E.C. Zipf // Review of Scientific Instruments. – 1982. – Vol. 53. – P. 225–227.
10. Stoffel N.G. A low-energy brightness electron gun for inverse photoemission / N.G. Stoffel, P.D. Johnson // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1985. – Vol. 234(2). – P. 230–234.
11. Herniter M.E. Thermionic cathode electron gun for high current densities / M.E. Herniter, W.D. Getty // IEEE transaction on plasma science. – 1987. – Vol. PS-15, № 4. – P. 351–360.
12. Broers A.N. Electron gun using longlife lanthanum hexaboride cathode // Journal of Applied Physics. – 1991(1967). – Vol. 38. – P. 1991–1992.
13. Пашкин А.Н. Виды катодов сварочных электронно-лучевых пушек / А.Н. Пашкин, Е.А. Болдарев // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2014. – С. 113–114.

Рау Александр Григорьевич

Директор ООО «Научно-производственная компания Томские электронные технологии» (ООО «НПК ТЭТа») Тел.: +7 (382-2) 94-30-00 Эл. почта: rau@tetacom.ru

Осипов Игорь Владимирович

Канд. физ.-мат. наук, коммерческий директор ООО «НПК ТЭТа» Тел.: +7 (382-2) 94-39-77 Эл. почта: osipov@tetacom.ru

Тюньков Андрей Владимирович

Канд. техн. наук, ст. науч. сотр. каф. физики ТУСУРа Тел.: +7 (382-2) 41-33-69 Эл. почта: andrew71@sibmail.com

Юшков Юрий Георгиевич

Канд. техн. наук, ст. науч. сотр. каф. физики ТУСУРа Тел.: +7 (382-2) 41-33-69 Эл. почта: yushkovyu@mail.ru

Золотухин Денис Борисович

Канд. физ.-мат. наук, науч. сотр. каф. физики ТУСУРа Тел.: +7 (382-2) 41-33-69 Эл. почта: ZolotukhinDen@gmail.com

Зенин Алексей Александрович

Канд. техн. наук, ст. науч. сотр. каф. физики ТУСУРа Тел.: +7-952-807-62-02 Эл. почта: zenin1988@gmail.com

Rau A.G., Osipov I.V., Tyunkov A.V., Yushkov Yu.G., Zolotukhin D.B., Zenin A.A.

Electron-beam gun with thermionic cathode for welding machine

Developed in the project of electron beam gun with thermionic cathode is presented. The main gun components mounted on standard ceramic insulators. The cathode assembly is easily removable, which does not require adjustment when replacing. The presence of a removable cathode unit allows the operation using cathodes of direct and indirect heating. The maximum power in the beam is 15 kW and 60 kW at an accelerating voltage of 60 kV, while the device with the cathode of direct and indirect heating, respectively.

Keywords: electron beam welding, electron beam gun, direct and indirect heating cathode.