

УДК 62–982

ОСОБЕННОСТИ ФОКУСИРОВКИ ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ДЛЯ МИКРОРАЗМЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Карим Абдурасулович Махкамбоев

Бакалавр 4 года,

Кафедра МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана

Научный руководитель: К. М. Мусеев

кандидат технических наук, доцент кафедры МТ-11 «Электронные технологии в машиностроении»

Микроразмерная обработка электронным лучом открывает новые технологические возможности в производстве различных изделий: фильтры, фотошаблоны, полупроводниковые пластины, нагревательные элементы. Основные операции обработки – сверление глухих и сквозных отверстий, в том числе под углом к поверхности, – выполняются при неподвижном изделии и луче; фрезерование сквозных и глухих пазов, резка, контурная резка листового материала выполняются при перемещении изделия относительно неподвижного луча или сканировании луча по контуру реза при неподвижном изделии [1].

Важным фактором при микроразмерной обработке электронным лучом является фокусировка электронного пучка [2]. При электронно-лучевой обработке качество обработки связано со степенью фокусировки. Электронный пучок фокусируется с помощью электронных линз. Фокусировка электронного пучка может осуществляться как электрическим, так и магнитным полем. Электростатические линзы бывают нескольких типов: одиночная линза, иммерсионная линза, иммерсионный объектив. Электромагнитные линзы разделяются на два типа: короткие и длинные линзы. Короткие это когда диаметр катушки превосходит ее длину, а длинные, когда длина катушки больше диаметра (соленоид). Первая линза прожектора, кроме фокусировки, должна ускорять электроны, эмитируемые катодом, т. е. должна быть обязательно электростатической. Вторая линза прожектора может быть электростатической или магнитной. В микроразмерной электронно-лучевой технологии в основном используют магнитные линзы (короткие), которые позволяют фокусировать пучок электронов в пятно диаметром несколько микрометров. Основными параметрами, влияющими на фокусировку пучка, являются ток пучка, ток фокусировки, ускоряющее напряжение и давление в вакуумной камере. Рассмотрим влияние выше указанных параметров на фокусировку пучка.

В работе [3] представлено, что при увеличении тока фокусировки сначала уменьшается диаметр на фокальной плоскости, потом увеличивается из-за расфокусировки, это говорит о том, что меняется фокусное расстояние. Чтобы найти оптимальный режим, предлагается провести диагностику электронной пушки.

В статье [4] представлены результаты исследования диаметра электронного пучка, показано, что повышение давления, равно как и уменьшение ускоряющего напряжения, приводит к увеличению диаметра электронного пучка. Уменьшение диаметра пучка при повышении ускоряющего напряжения объясняется как снижением влияния начального разброса скоростей электронов на фокусировку, так и уменьшением дифференциального сечения рассеяния при росте энергии электронов и

тем самым отклонением электронов при рассеянии на меньшие углы. Степень влияния тока пучка оказалась зависимой от давления – при 10 Па изменение тока пучка практически не влияло на его диаметр, однако при повышении давления до 30 Па рост тока пучка приводил к увеличению диаметра. Поэтому при проведении микроразмерной обработки нужны электронные пушки с ускоряющим напряжением в диапазоне от 90 до 120 кВ.

Кроме этих параметров на фокусировку влияет форма анода, в работе [5] представлены результаты исследования влияния формы анода на диаметр электронного пучка, генерируемого форвакуумным плазменным источником электронов. Показано, что наименьший диаметр пучка обеспечивается анодом, имеющим минимально возможный диаметр отверстия. Это может быть связано как с меньшим провисанием ускоряющего поля в область за анод, так и локальным увеличением напряженности электрического поля вблизи эмиссионного отверстия.

Можно сделать вывод о том, что для острой фокусировки пучка нужно подбирать электронно-лучевые пушки с ускоряющим напряжением от 90 до 120 кВ и минимально возможным диаметром эмиттера; давление в вакуумной системе должно быть ниже 10 Па. В качестве фокусирующего элемента можно применять короткие магнитные линзы, предварительно определив оптимальный режим тока фокусировки методами диагностики электронных пучков [6, 7, 8].

Литература

1. Лучевые методы размерной обработки [Электронный ресурс]. URL:https://studme.org/173450/tehnika/luchevye_metody_razmernoj_obrabotki / (дата обращения: 10.02.2022).
2. Кузнецов Г. Д., Кушхов А. Р. Физика взаимодействия ускоренных ионов, электронов и атомов с веществом. Москва: Дом МИСиС, 2012. 97 с.
3. Elnaggar W. M., Studying the parameters influencing the accuracy of electron beam drilled holes. 2006. С. 202-213.
4. А. С. Климов. и др. Исследование зависимости диаметра электронного пучка от параметров форвакуумного электронного источника. 2015. С. 233-236.
5. Бакеев И. Ю., Климов А. С., Влияние формы ускоряющего электрода в форвакуумном плазменном источнике на предельные параметры фокусировки электронного пучка. 2018. С. 47–51.
6. Зуев И. В. Об измерении диаметра электронного луча методом вращающегося зонда. – 1967. – № 5. – С. 110-112.
7. Назаренко О. К. Измерение параметров мощных электронных пучков методом вращающегося зонда / О.К. Назаренко, В. Е. Локшин, К.С. Акопьянц // Электронная обработка материалов. – 1970. – № 1. – С. 87-90.
8. Рыкалин, Н.Н. Основы электронно-лучевой обработки материалов. / Н. Н. Рыкалин, И. В. Зуев, А. А. Углов – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.