

## ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЕ НАНЕСЕНИЕ ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Комаровская В.М.*

При электронно-лучевом нанесении вакуумных покрытий нагрев и испарение вещества осуществляются в результате теплового действия электронов, бомбардирующих испаряемую мишень. Данным методом получают покрытия из сплавов металлов, полупроводников и даже диэлектриков. Электронно-лучевое нанесение покрытий характеризуется следующими преимуществами:

1. Возможность получения высоких по плотности потока энергий в электронном пучке  $jэ \sim 5 \times 10^8 \text{ Вт/см}^2$  (для испарения металлов достаточны потоки с более низкой энергией). При этом в зоне действия электронов может развиваться температура  $\sim 10000 \text{ }^\circ\text{C}$ , поэтому этим методом осуществляется испарение практически любых, даже очень тугоплавких материалов.

2. Парообразование происходит на поверхности. Это очень важная особенность процесса. При резистивном испарении более высокая температура достигается в зоне контакта расплавленного металла с поверхностью испарителя. При этом образующиеся пары проходят через расплав металла, что вызывает появление в газовом потоке капельной фазы. При электронно-лучевом испарении капельная фаза практически отсутствует.

3. Представляется возможным сканировать поток электронов по поверхности мишени, и, таким образом, при использовании составных тиглей достаточно просто изменять химический состав испаряемых частиц и их пространственное распределение.

4. Возможность автоматизации процесса испарения и, соответственно, нанесения покрытия в целом.

5. Получение химически чистых покрытий, так как нагревается только испаряемый материал.

В настоящее время разработано большое число конструкций электронно-лучевых испарителей, в которых, например, для поворота потока электронов используются внешние магнитные поля. В ряде устройств для нанесения покрытий используются два и более электронно-лучевых испарителей, что значительно расширяет их возможности, позволяет, в частности, осаждать покрытия сложного состава.

Основным недостатком электронных пушек является то, что для их устойчивой работы необходимо достаточно низкое давление ( $p < 10^{-2}$  Па). В плохом вакууме возможно образование электрических разрядов между электродами, что нарушает стабильность работы пушки. Поэтому, как видно из рисунка 1, каждый электронно-лучевой источник имеет отдельную вакуумную систему откачки.

Характерными основными параметрами электронно-лучевого нанесения покрытий являются:

- ускоряющее напряжение электронно-лучевой пушки до 10 кВ;
- плотность тока  $j \sim 10^4 \dots 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>;
- скорость испарения  $2 \times 10^{-3} \dots 10^{-2}$  г/см<sup>2</sup>·с;
- скорость роста покрытий – 10...60 нм/с.

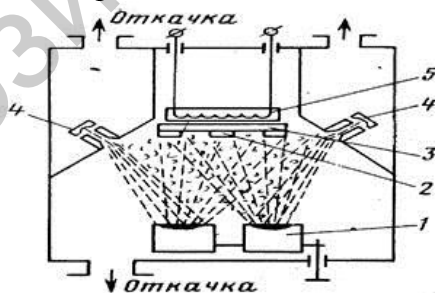


Рисунок 1 – Принципиальная схема процесса нанесения покрытий прямым электроннолучевым нагревом при помощи двух пушек

Известны электронно–лучевые пушки для напыления мощностью до 100 кВт и более. При столкновении электрона с поверхностью испаряемого материала примерно 70...90% его кинетической энергии в тонком поверхностном слое превращается в тепловую, остальная часть расходуется на возбуждение вторичной эмиссии и рентгеновского излучения.

Для характеристики процесса испарения вводят параметр – эффективность процесса испарения или удельная испаряемость  $\beta$ . Это величина численно равна количеству вещества, испаряемого в данных условиях при энергозатратах, равных 1 Дж. Для электронно-лучевого испарителя параметр  $\beta=3 \times 10^{-6}$  г/Дж.

Испаренные под действием потока электронов частицы имеют кинетическую энергию порядка 0,1...0,3 эВ (при резистивном испарении эта величина значительно ниже и составляет 0,01...0,001 эВ), что способствует формированию покрытий с более высокими свойствами (адгезией, сплошностью и др.).

Электронно-лучевые методы нанесения покрытий имеют следующие основные недостатки:

- необходимо использование источников высокого напряжения (до 10 кВ), что определяет сложности их эксплуатации;
- относительно невысокий КПД электронно-лучевых устройств. Более 25% потребляемой мощности идет на вторичное электронное и рентгеновское излучение, нагрев тигля и т.д.;
- в процессе роста покрытия поверхность подложки подвергается воздействию высокоэнергетичных электронов. Эти электроны способны генерировать дефекты в растущей пленке, вызывать ее распыление. При попадании этих электронов на поверхность технологической оснастки возможно дополнительное газовыделение, которое отрицательно сказывается на качестве наносимых покрытий.

Электронно-лучевое испарение диэлектриков имеет ряд особенностей, основная из которых состоит в том, что

их поверхность имеет высокое электрическое сопротивление и при взаимодействии с ней потока электронов происходит накопление электронов в поверхностном слое (зарядка поверхности) и образование, в итоге, тормозящего электрического поля.

УДК 621.74

Мацкевич О.А.

## **ВАКУУМНО-ПЛЕНОЧНАЯ ФОРМОВКА**

*БНТУ, Минск*

*Научный руководитель: Данильчик С.С.*

Вакуумно-пленочная формовка (V-процесс) – один из наиболее современных и универсальных способов литья, обеспечивающий возможность максимальной механизации и автоматизации технологических операций.

Впервые японские инженеры, используя физические законы гидростатики, открытые еще Архимедом в III в. до н.э. и развитые Б. Паскалем в XVII в., создали удивительно простой и надежный способ формовки, получивший название V-процесса или вакуум-пленочной формовки.

В 1971 г. японская фирма Акито запатентовала и опубликовала новый физический метод изготовления форм для литья отливок как из черных, так и из цветных сплавов [1].

Сущность процесса заключается в использовании в качестве формовочного материала только чистого песка без связующих добавок. Геометрические формы отливок выдерживаются за счет применения вакуума, специальных опок, пленки, накладываемых на модели и формы. После выбивки отливок из формы песок охлаждается на виброохлаждающих установках и поступает на повторное использование [2].

Особенности технологического процесса заключается в следующем: