

мещается подложка, на которую конденсируется испаряемое вещество.



Рис. 1. Электронно-лучевая пушка

В простейшем случае электронный пучок направляется на испаряемый материал отвесно сверху или под косым углом к поверхности. Для фокусировки пучка и получения на поверхности материала требуемой удельной мощности используются длиннофокусные генераторы электронных пучков. Существенные недостатки такого расположения – возможность образования пленки на деталях электронно-оптической системы, приводящей к изменению параметров электронного луча, и ограничение полезной площади для размещения подложки из-за затенения части технологической камеры пушкой. Указанных недостатков можно избежать, размещая пушку горизонтально, а отклонение электронного пучка на испаряемый материал осуществлять с помощью систем, обеспечивающих поворот пучка на угол до  $270^\circ$ .

УДК 621.9.048

Сяхович П. В.

## **ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ**

*Белорусский национальный технический университет,*

*г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: канд. техн. наук,*

*доцент Комаровская В. М.*

Появление в середине XX столетия электронно-лучевой, плазменно-дуговой и лазерной технологий вывело металлооб-

работку совершенно на новый уровень. В отличие от традиционной свободно горящей электрической дуги с поверхностным плавлением (отношением глубины расплавленной зоны к ее ширине менее единицы), новые источники энергии осуществляли плавление металлов «кинжально» (отношение глубины расплавленной зоны к ее ширине  $\leq 100$ ). Таким образом появилось понятие концентрированных потоков энергии (КПЭ).

Оказалось, что при воздействии на подложку источником с удельной мощностью  $\geq 10^5 - 10^6$  Вт / см<sup>2</sup> (электронный луч, лазер плазмы) процесс нагрева вещества становится самоорганизующимся (синергетическим), то есть при преодолении некоторого порога удельной мощности в корне меняется закономерность переноса тепла в нагреваемом объекте. Это явление, в совокупности с вакуумными технологиями, открыло принципиально новые возможности в развитии металлообработки:

- повышение качества обрабатываемых изделий;
- получение новых эффектов в обработке, сварке и т.д.;
- повышение производительности процессов обработки.

Большой научный и практический опыт работы с КПЭ показал, что наиболее эффективным источником энергии при обработке материалов считается электрический луч. Электрический луч имеет максимальный коэффициент поглощения энергии. Обработку электронным лучом материалов проводят в вакууме, что уменьшает воздействие на нагреваемый материал типичных окислительных сред (воздух, разного рода газовые смеси и т. п.). Сущность процесса электронно-лучевого воздействия состоит в том, что кинетическая энергия сформированного в вакууме тем или иным способом электронного пучка (импульсного или непрерывного) превращается в тепловую в зоне обработки. Поскольку диапазоны мощности и концентрации энергии в луче велики, возможны все виды термического воздействия на материалы: нагрев до заданных

температур, плавление и испарение с очень высокими скоростями.

Развитие электронно-лучевой технологии идет в трех основных направлениях:

– плавка и испарение в вакууме для нанесения пленок и покрытий; используют мощные (до 1 МВт и более) электронно-лучевые установки при ускоряющем напряжении 20–30 кВ; концентрация мощности невелика (не более  $10^5$  Вт/см<sup>2</sup>);

– сварка металлов; создано оборудование трех классов: низко-, средне- и высоковольтное, охватывающее диапазон ускоряющих напряжений 20–150 кВ; мощность установок составляет 1–120 кВт и более при максимальной концентрации  $10^5$ – $10^6$  Вт/см<sup>2</sup>;

– прецизионная обработка материалов (сверление, фрезерование, резка); используют высоковольтные установки (80–150 кВ) небольшой мощности (не более 1 кВт), обеспечивающие удельную мощность до  $5 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>.

В настоящее время ни одна отрасль промышленности, связанная с получением, соединением и обработкой материалов, не обходится без электронно-лучевого нагрева. Это объясняется характерными преимуществами данного метода, главные из которых – возможность концентрации энергии от  $10^3$  до  $5 \cdot 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>, то есть во всем диапазоне термического воздействия, ведение процесса в вакууме, что обеспечивает чистоту обрабатываемого материала и полную автоматизацию процесса.