

вов и сборок, что обуславливает их дороговизну. В качестве уплотнителей применяется в основном медь, имеющая близкий коэффициент линейного расширения к нержавеющей стали. Реже используются золото, алюминий, индий. Такие уплотнители, кроме индия, сохраняют работоспособность и герметичность после многих циклов нагрева. В процессе многократных нагревов может произойти диффузионная сварка уплотнителя с поверхностью фланцев. Кроме того, деформированный уплотнитель в ряде случаев оказывает раскливающее действие. В результате разъединение фланцев оказывается затруднительным.

УДК 621.793

Утекало И. В.

## **ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ СВАРКА НИОБИЯ В ВАКУУМЕ**

*БНТУ, г. Минск*

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент Комаровская В. М.*

Ниобий является материалом, пригодным для многих областей промышленности. Ниобий обладает высокой пластичностью и сохраняет удовлетворительную прочность до высоких температур. На прочность и пластичность ниобия влияет наклеп – с увеличением степени наклепа повышается прочность и уменьшается пластичность.

Ниобий интенсивно окисляется при нагреве на воздухе свыше 400°C, а при 1370 – 1400°C окисел ниобия начинает испаряться. Окисление металла сопровождается его охрупчиванием. Поэтому при варке на открытом воздухе соединение получается недостаточно надежным [2].

Так для улучшения свариваемости ниобия, без образования окисных пленок, в основном применяют электронно-лучевую сварку (ЭЛС) в вакууме.

Этот процесс, основанный на использовании тепла, выделяемого во время торможения острогофокусированного пучка

заряженных частиц, ускоренных до высоких энергий. Широкое применение этот источник нагрева приобрел лишь с развитием вакуумной техники и электронной оптики, только после этого он стал применяться в металлургической технике.

Основным компонентом этого процесса является электронный луч, который создается электронной пушкой [1].

Как видно из рисунка 1, пушка имеет катод (2), который размещен внутри прикатодного электрода (3). На определенном расстоянии от катода располагается ускоряющий электрод с отверстием – анод (4). Пушка питается электрической энергией от высоковольтного источника постоянного тока (5).

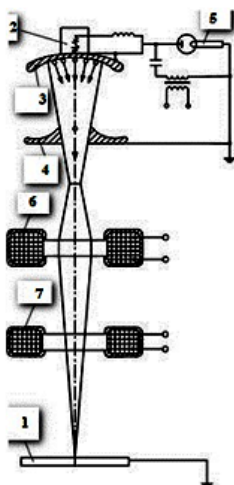


Рисунок 1 – Схема электронно-лучевой пушки

Чтобы увеличить плотность энергии в электронном луче после выхода из первого анода электроны концентрируются магнитным полем в магнитной линзе (6), летящие электроны, сфокусированные в плотный пучок, ударяются на большой скорости о малую площадку на изделии (1). На данном этапе кинетическая энергия электронов вследствие их торможения превращается в теплоту, таким образом нагревая металл до высоких температур.

Для перемещения электронного луча по изделию на пути движения электронов размещают магнитную отклоняющую систему (7), которая позволяет установить луч строго по линии сварки.

Для того, чтобы снизить потерю кинетической энергии электронов вследствие соударения с молекулами газов воздуха, а также для химической и тепловой защиты катода в пушке создается вакуум около  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  мм рт.ст. ( $10^{-7}$ – $10^{-9}$ )

Вакуум при ЭЛС выполняет несколько функций:

- снижает потерю кинетической энергии электронов, позволяя частицам достигать поверхности изделия почти не соприкасаясь с молекулами воздуха;
- предотвращает дуговой разряд между анодом и катодом,
- обеспечивает химическую защиту катода;
- защищает расплавленный металл от взаимодействия с окружающей атмосферой более эффективно, чем защитный газ, флюс;
- способствует улучшению дегазации сварочной ванны и удалению оксидных пленок, что сказывается на качестве соединения.

Данные особенности позволяют работать со сплавами, чувствительными к интенсивному нагреву. Электронно-лучевой сваркой изготавливают детали из алюминиевых и титановых сплавов, высоколегированных сталей. Металлы и сплавы подвергаются сварке в однородных и разнородных комбинациях, разными по толщине и температуре плавления. Минимальная толщина свариваемых заготовок – 0,02 мм, а максимальная – до 100 мм.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Схема электронно-лучевой пушки, 2018. – Режим доступа: <https://lektsii.org/7-42533.html>. Дата доступа: 06.04.2018.
2. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс] / Свойство ниобия, 2018. – Режим доступа: <http://markmet.ru/tsvetnyue-metally/niobii>. Дата доступа: 08.04.2018