

Межевов Павел Николаевич
Главный специалист «Управления главного технолога»
АО «НПО ЭНЕРГОМАШ»
Россия, г. Химки

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ СВАРКИ

Аннотация. В статье анализируется процесс электронно-лучевой сварки. Рассматриваются преимущества и недостатки ЭЛС. Выявляются особенности электронно-лучевой сварки, обусловленные сваркой в специальных вакуумных установках.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, электронно-лучевая установка, камера, вакуум.

FEATURES OF ELECTRON BEAM WELDING

Annotation. The article analyzes the process of electron beam welding. The advantages and disadvantages of ELS are considered. The features of electron beam welding caused by welding in special vacuum installations are revealed.

Key words: electron beam welding, electron beam installation, chamber, vacuum.

Введение

В течение последних 30 лет сформировалась электронно- и ионно-лучевая технология обработки материалов. В этой новой области электронные и ионные пучки непосредственно используются для осуществления технологических процессов. Возможные применения электронно- и ионно-лучевой технологии простираются от получения субмикроскопических структур в микроэлектронике до выплавки крупных слитков в металлургии.

Общим для всех этих установок является использование электронных и ионных пучков.

Приблизительно в 1965 году электронно-лучевая плавка, сварка, напыление и обработка поверхностей были внедрены в промышленное производство. В настоящее время широко используются в производстве и ионно-лучевые технологии. Освоение лазерных технологий значительно повышает эффективность современного производства.

К сварным швам современных конструкций предъявляются требования повышенной вакуумплотности, прочности, пластичности и коррозионной стойкости. Этим требованиям отвечают швы, полученные электронно-лучевой сваркой (ЭЛС) в вакууме. Высокая концентрация энергии в луче, изменение плотности энергии в широких пределах, направленное тепловое воздействие, малая энергоёмкость процесса и перенос энергии на значительные расстояния позволяют сваривать как миниатюрные детали, так и детали больших габаритов и толщины из многих материалов и их комбинаций. Все это определило широкое распространение ЭЛС в отраслях промышленности, как авиационная, ракетная, ядерная, электронная и приборостроительная.

Целью работы является исследование особенностей формирования сварного шва для выбора оптимальных режимов сварки и разработка технологии электронно-лучевой сварки деталей. Для её достижения были использованы методы анализа и синтеза научных публикаций и литературных источников по рассматриваемой теме.

Электронно-лучевая сварка

Электронно-лучевая сварка - сварка плавлением, при которой нагрев металла производится потоком - лучом быстро движущихся электронов, ускоряемых электрическим полем. Попадая на поверхность изделия, электроны отдают свою кинетическую энергию, превращающуюся в тепловую и нагревают металл.

Процесс обычно ведется в герметически закрытой камере, в которой поддерживается вакуум 10^{-10} Па. Вакуум необходим для свободного движения электронов, уменьшения числа их столкновения с газовыми молекулами в процессе ионизации. Вакуум также необходим для обеспечения чистоты наплавляемого металла, предупреждения его окисления и азотирования, уменьшения количества растворенных в нем газов. Вакуум поддерживается непрерывно работающими вакуумными насосами. Источником электронов служит накаливаемый катод, питаемый от низковольтного трансформатора. Электроны ускоряются от низковольтного трансформатора высоким напряжением 10-100 кВ; обычно применяют напряжения не более 30 кВ, т.к. при более высоком напряжении возникает значительное рентгеновское излучение и требуется дополнительная защита обслуживающего персонала.

Высокое напряжение создается специальным трансформатором с выпрямительным устройством: минус подается на катод, анодом служит свариваемое изделие. Поток электронов на пути от катода к аноду фокусируется электростатическими линзами в виде металлических колец и электромагнитными в форме катушек с железным каркасом. За счет фокусировки и изменения силы тока можно получить нагреваемую поверхность на изделии площадью 0,120 мм². Катод и фокусирующие линзы конструктивно объединены в одно устройство, называемое электронной пушкой и создающее электронный луч. Электронный луч можно смещать отклоняющими устройствами и смещением электронной пушки; ему можно придать колебания вдоль и поперек сварного шва.

Перемещение по линии сварки осуществляется передвижением или поворотом изделия.

При интенсивной бомбардировке металла или какого-либо др. материала ускоренными электронами в высоком вакууме около 99% их кинетической энергии переходит в тепловую, расходуемую на нагрев.

Температура в месте бомбардировки достигает 5000-60000С, что достаточно для плавления металла при сварке и для тепловой обработки материалов.

Реализация процесса сварки в электронно-лучевой установке

В процессе ЭЛС в вакууме порядка 10^{-4} мм рт. ст. обеспечивается практически полное отсутствие примеси вредных газов. Высокая концентрация энергии в электронном луче до 10^9 Вт/см² при минимальной площади пятна нагрева до 10^{-7} см² способствует уменьшению термических деформаций при сварке, незначительным структурным превращениям в зоне нагрева и обеспечивает формирование сварного шва с ярко выраженной кинжальной формой (рис.1) проплавления.

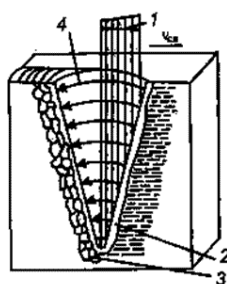


Рис. 1 Схема переноса жидкого металла при электронно-лучевой сварке: 1 - электронный луч; 2 - передняя стенка кратера; 3 - зона кристаллизации; 4 - путь движения жидкого металла.

Процесс сварки реализуется в специальных установках, принципиальная схема одной из них изображена на рис. 2.

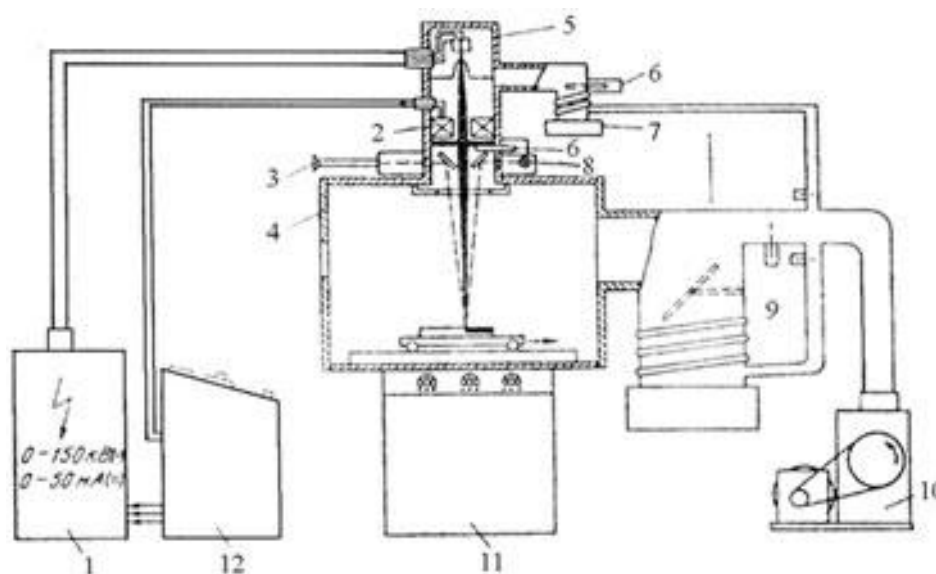


Рис. 2 Принципиальная схема установки для электронно-лучевой сварки: 1 - высоковольтный источник питания; 2 - магнитное отклоняющее устройство; 3 - телескопическое устройство для наблюдения; 4 - сварочная камера; 5 - электронная пушка; 6 - вентиль; 7 - диффузионный насос; 8 - освещение; 9 - вакуумный вентиль; 10 - роторный форвакуумный насос; 11 - пульт управления движением детали; 12 - электрический пульт управления.

Процесс сварки в электронно-лучевой установке реализуется при предварительной настройке оптимальных режимов, где основными параметрами являются:

- сила тока в луче;
- ускоряющее напряжение;
- скорость перемещения луча по поверхности изделия;
- продолжительность импульсов и пауз;
- точность фокусировки луча;
- степень вакуумизации.

Параметры режима сварки выбирают исходя из толщины свариваемого металла и требуемой формы сварного шва, которая определяется глубиной проплавления и шириной шва. Режим сварки определяют по экспериментальным (справочным) таблицам или приближенным расчетом с последующей проверкой на технологических пробах.

Преимущества и недостатки электронно-лучевой сварки:

1) Для сварки электронным лучом характерна примерно такая же концентрация энергии в пятне нагрева, что и при сварке лазером. Благодаря столь высокой концентрации количество теплоты, расходуемое на расплавление металла, при электронно-лучевой сварке в десятки раз меньше, чем при других способах. Например, для однопроходной стыковой аргонодуговой сварки стальных листов толщиной 4 мм необходима погонная энергия около 1260 кДж/м.

2) Другим положительным свойством электронного луча, выгодно отличающим его от остальных сварочных источников теплоты, является возможность глубокого проплавления металла благодаря тому, что электронный луч высокой интенсивности может проникать в металл на глубину в несколько миллиметров. При этом образуется узкий канал с достаточно высокой проницаемостью для электронов, заполненный металлическими парами. Давлением паров жидкий металл оттесняется к стенкам канала, а при включении или перемещении луча стекает в него, образуя после кристаллизации шов. Зона расплавления имеет форму вытянутого клина, а отношение глубины проплавления к ширине может достигать 26:1. Этот эффект называется кинжальным проплавлением. При дуговой сварке форма зоны расплавления приближается к полусфере. Толщина заготовок, свариваемых электронным лучом, может достигать от 0,01 до 100 мм и более.

Для ограничения размеров зоны проплавления и нагрева материала в зонах, прилегающих к месту сварки, а также при сварке легкоиспаряющихся металлов осуществляют подачу тока короткими мощными импульсами с частотой от 1 до 3000 Гц и продолжительностью от 0,01 до 0,00005 с.

3) Преимущество электронно-лучевой сварки и обработки заключается также в отсутствии загрязнений, попадающих в шов из окружающей среды.

4) Электронным лучом можно сваривать металлы без существенного изменения свойств литой структуры шва и рекристаллизованной зоны.

5) Обеспечивается возможность сварки разнородных металлов со значительной разницей толщин, температур плавления и других теплофизических свойств. Например, при сварке алюминия и меди пятно луча на $2/3$ располагается на медной детали и на $1/3$ на алюминиевой. Соединение получается типа паяного, практически без расплавления меди. При сварке меди со сталью с небольшой нахлесткой необходимо сначала подогреть медную деталь, а затем производить сварку.

К недостатку можно отнести:

— Затрата времени при создании вакуума в рабочей камере после загрузки изделий;

— Возможность образования несплавлений, полых отверстий в корне шва при сваривании металлов с большой теплопроводностью, а также швах с большим отношением глубины к ширине.

Применение ЭЛС оправдано, когда нужно проводить работы в труднодоступных и неудобных местах.

Заключение

Электронно-лучевая сварка изобретена 60 лет назад, за прошедшие годы метод остается самым эффективным в обработке разных металлов, то, что подвластно этой методике — невозможно сделать другими способами сварки. Технология электронно-лучевой сварки является перспективной, позволяет

интегрировать в одной многофункциональной установке такие виды обработки как сварка, пайка, термическая очистка, зональный отжиг и закалка, наплавка и модифицирование поверхности. Выгода от использования таких установок достигается благодаря повышению качества изделий, поскольку при переходе от одного к другому виду обработки сохраняется идеальная рабочая среда - вакуум, сокращению в десятки и сотни раз межоперационного времени, экономному расходованию энергии, более полной загрузке оборудования в условиях малосерийного и единичного производства.

У оригинальной методики существуют достоинства и небольшие недостатки, которые необходимо учитывать при использовании установок по прямому назначению.

Список литературы:

1. Хренов К.К. Сварка, резка и пайка металлов. М.: Машиностроение, 1973. 408 с.
2. Банов, М.Д. Специальные способы сварки и резки / М.Д. Банов, В.В. Масаков, Н.П. Плюснина. – М.: Академия, 2009. – 208 с.
3. Теория сварочных процессов / под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.
4. Теория сварочных процессов / А.В. Коновалов [и др.]. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 752 с.
5. Сидоров, В.П. Теория и технология сварочных процессов: сб. задач / В.П. Сидоров. – Тольятти: ТГУ, 2009. – 228 с.
6. Электронно-лучевая сварка деталей большой толщины. Инженерный поиск / Е.Л. Мамутов. – М.: Машиностроение, 1992. – 232 с.
7. Дьяконов, В.П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ / В.П. Дьяконов. – М.: Наука, 1987. – 240 с.
8. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

9. Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с. 9.
- Кайдалов, А.А. Электронно-лучевая сварка и смежные технологии / А.А. Кайдалов. – Киев: Экотехнология, 2004. – 260 с.