

Уважаемые студенты!

Задание:

1. Повторите теоретический материал по ранее изученной теме.
2. Ознакомьтесь с порядком проведения лабораторной работы.
3. Выполните приведенное далее задание.
4. Оформите письменный отчет по лабораторной работе.
5. Письменный отчет по лабораторной работе в виде фото предоставьте преподавателю на e-mail (tamara_grechko@mail.ru).

Обратите внимание!!! В случае возникновения вопросов по выполнению лабораторной работы обращайтесь для консультации к преподавателю по тел. 0721355729 (Ватсап).

С уважением, Гречко Тамара Ивановна!

Лабораторная работа

Тема: Принципиальная схема установки для сварки электронным лучом

Цель: Ознакомиться с принципом работы и видами установок для электронно-лучевой сварки

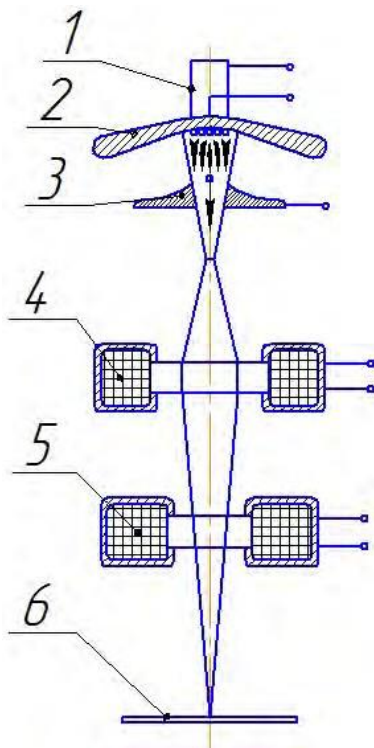
Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с теоретическим материалом
2. Изобразить схему установки для сварки электронным лучом
3. Описать принцип работы электронной пушки
4. Ответить на контрольные вопросы

Теоретические сведения

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС) относится к методам сварки высококонцентрированными источниками энергии и обладает широкими технологическими возможностями, позволяя соединять за один проход металлы и сплавы толщиной от 0,1 мм до 400 мм.

Сущность процесса сварки электронным лучом состоит в использовании кинетической энергии, электронов, движущихся в глубоком вакууме. При бомбардировке электронами поверхности металла подавляющая часть кинетической энергии электронов превращается в тепловую и используется для расплавления металла.



Получение свободных электронов достигается применением раскаленного металлического катода, испускающего электроны. Ускорение электронов обеспечивается электрическим полем с высоким потенциалом между катодом и анодом. Фокусировка – концентрация электронов – осуществляется магнитным полем. Резкое торможение электронного потока происходит при соударении электронов с металлом.

Принципиальная схема установки (пушки) для сварки электронным лучом представлена на рисунке 1. Устройство предназначено для получения узких электронных пучков высокой концентрации энергии.

Рисунок 1 — **Схема установки для сварки электронным лучом:**

- 1-высокотемпературный катод; 2-прикатодный электрод;
3-анод; 4-магнитная линза; 5-магнитная отклоняющая система;
6-изделие*

Катод 1 нагревается до высоких температур. Он размещается внутри прикатодного электрода 2. На некотором расстоянии от катода размещается ускоряющий электрод (анод) 3 с отверстием. Прикатодный и ускоряющий электроды имеют форму, обеспечивающую такое строение электрического поля, которое фокусирует электроны в пучок с диаметром, равным диаметру отверстия в аноде. Положительный потенциал ускоряющего электрода может достигать нескольких тысяч вольт. Поэтому электроны, испускаемые катодом на пути к аноду, приобретают значительную скорость и энергию.

Электроны имеют одинаковый заряд и поэтому отталкиваются друг от друга. Диаметр пучка увеличивается, а плотность энергии в пучке уменьшается.

С целью увеличения плотности энергии в пучке электроны фокусируются магнитным полем в магнитной линзе 4 и высококонцентрированный пучок электронов с большой скоростью ударяется о малую ограниченную площадку изделия 6. Кинетическая энергия электронов, вследствие торможения в веществе, превращается в тепло, нагревая металл до высоких температур.

Управление пучком электронов по поверхности свариваемых изделий производится отклоняющей системой 5.

Для обеспечения свободного движения электронов от катода к изделиям, тепловой и химической изоляции катода, и также предотвращения возможности возникновения дугового разряда между электродами в установке создается глубокий вакуум порядка 10^{-2} Па.

Пучок электронов ускоряется в вакууме напряжением до 100кВ и более. При изменении напряжении от 30 до 200 кВ скорость электронов изменяется от 0,33 до 0,67 скорости света.

Кинетическая энергия электронов при торможении внутри металла и вблизи его поверхности превращается в тепловую, расходуемую на плавление свариваемых кромок и образование в жидком углублении (канала) на всю толщину свариваемого металла. Этот процесс характеризуется высоким КПД, достигающим 90 %.

Источник нагрева в виде пучка электронов сосредоточен на малом пятне, диаметром в десятые и даже сотые доли миллиметра. При мощности пучка в десятки кВт плотность энергии превышает плотность энергии электрической сварочной дуги на два-пять порядков (от 10^5 до 10^9 Вт/см²).

Такая концентрация энергии позволяет осуществить сварку с недостижимым для электродуговых методов отношения глубины к ширине проплавления (до 50:1).

Узкий шов, параллельность его границ и малая протяженность обуславливают незначительные линейные и угловые деформации свариваемых изделий. Практически отсутствует коробление. Это самое важное достоинство электронно-лучевой сварки.

Глубокое проплавление металла при низких значениях погонной энергии приводит к повышенной скорости кристаллизации малой по объему сварочной ванны, благодаря чему измельчается структура сварного шва.

Электронный луч является практически безынерционным источником тепловой энергии. Возможность тонкой регулировки мощности, фокусировки и положения луча на поверхности изделия позволяет широко использовать системы автоматизированного управления и программирования режимов сварки.

Сварку можно вести отдельными импульсами с различной скважностью, а перемещая луч непрерывно вдоль или поперек стыка, что позволяет сваривать с наименьшими производственными затратами крупные партии однотипных изделий.

В таблице представлены типы электронных пушек и указано их назначение. Пушки, предназначенные для сварки в пониженном вакууме и тем более в атмосфере, имеют более высокое ускоряющее напряжение.

Таблица - Основные типы пушек для электронно-лучевой сварки

Наименование типа	Основной параметр	Обозначение модели	Область применения
Низковольтные пушки	$U_{уск} = 6-15$ кВ $P_{max} = 2$ кВт $u_{уск} = 12+3$ 0 кВ $P_{max} = 30$ кВт	НВС-15Э НВЧ-15 НВ-ЭОЭ НВ-ЗОН НВ-ЗОД НВ-ЗОП	В высоком вакууме, стали до 40 мм, алюминиевые и титановые сплавы до 80 мм

Пушки со средним ускоряющим напряжением	$u_{\text{уск}} = 25+60$ кВ $P_{\text{max}} = 60$ кВт	СВ-60Э СВ-60Н СВ-60 СВ-60Д СВ-60П	Стали до 80 мм, алюминиевые сплавы и титан до 150 мм в низком вакууме
Высоковольтные	$u_{\text{уск}} = 60+120$ кВ $P_{\text{max}} = 60$ кВт	ВВ-120Н ВВ-120П ВВ-120Д	Однопроходная сварка — в низком вакууме, стали до 120 мм, алюминиевые сплавы до 200 мм
	$u_{\text{уск}} = 100+120$ кВ $P_{\text{max}} = 60$ кВт	ВВ-240	В низком вакууме и в защитных газах при атмосферном давлении

При электронно-лучевой сварке сварочные установки должны обеспечивать возможность управления лучом, что необходимо для наведения его по стыку, а также производства поперечных или продольных колебаний луча, улучшающих качество сварного соединения при сварке некоторых сплавов.

Установки для электронно-лучевой сварки

Принципиальная схема типовой установки для электронно-лучевой сварки представлена на рисунке 2,б. Установка состоит из электроннолучевой пушки 2, источника питания пушки 2, управления фокусирующей системой 3, управления отклоняющей системой 4, насосов 5, вакуумной камеры 6, приспособления для сборки и перемещения свариваемых деталей 7. Внешний вид промышленной установки для электронно-лучевой сварки приведен на рисунке 2,а. В вакуумной камере 1 размещено приспособление 5, позволяющее осуществлять перемещение детали. Электронный луч, выходя из пушки 2, фокусируется электромагнитной фокусирующей линзой 4. Для наблюдения за процессом сварки и работой отдельных узлов установки имеются иллюминаторы 3, 6. Осуществляется электронно-лучевая сварка, как правило, в вакууме. Параметрами режима сварки являются сила тока, ускоряющее напряжение, скорость сварки, ток фокусировки.

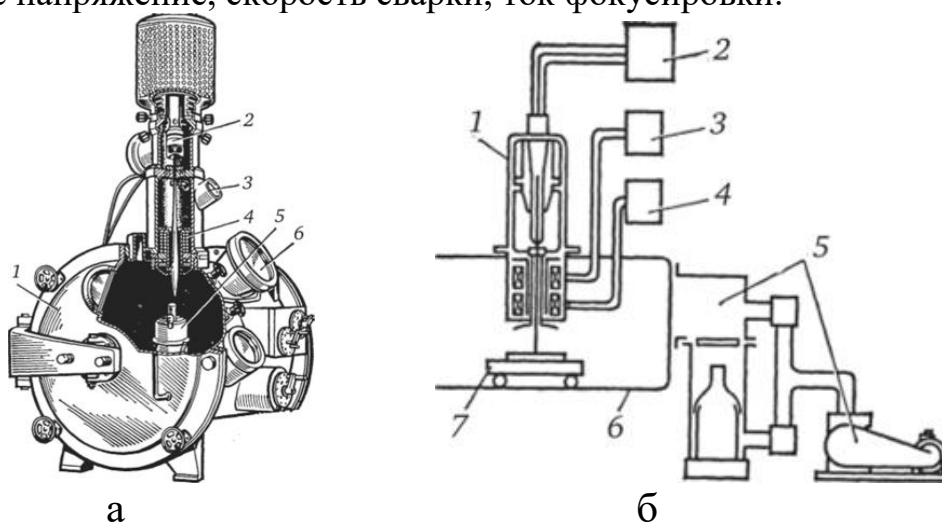


Рисунок 2 - Установка для электронно-лучевой сварки
а - внешний вид, б - принципиальная схема

Проплавающая способность электронного луча определяется в основном величиной ускоряющего напряжения и в меньшей мере величиной тока электронного луча. Ток в фокусирующей магнитной линзе влияет на размеры пятна нагрева и, следовательно, на величину удельной тепловой энергии. Изменяя ток фокусировки, можно изменять ширину ванны и глубину проплавления.

Узкий шов, незначительные деформации, малые размеры зоны термического влияния, хорошая защита металла от взаимодействия с газами, экономичность и возможность автоматизации способствовали быстрому прогрессу электронно-лучевой сварки и ее широкому распространению.

Повышения эффективности электронно-лучевой сварки и снижения стоимости изделий можно добиться применением многопозиционных приспособлений, позволяющих загрузить в камеру сразу несколько свариваемых узлов, созданием установок с двумя камерами, работающими последовательно, многопозиционными камерами карусельного типа, применением шлюзовых вакуумных загрузочных устройств, позволяющих вести непрерывную загрузку электронно-лучевой установки. Для электронно-лучевой сварки крупногабаритных конструкций используют сварку с местным вакуумированием или выводом луча в атмосферу.

Сварка крупногабаритных авиационных конструкций камерами с местной герметизацией сопряжена с необходимостью уплотнения соединения с деталями, имеющими поверхность изменяющейся кривизны, например с крылом самолета. Одним из решений, позволяющим осуществить сварку в таких случаях, является применение *составных камер* (рисунок 3). Нижняя часть камеры имеет поверхность, точно копирующую поверхность изделия, и проектируется индивидуально. Промежуточная камера 5 универсальна. По ней скользит крышка 1 со сварочной пушкой 2. Электронный луч проходит в продольные щели нижней и верхней секций и сваривает шов на участке, соответствующем длине щели. Затем камера переставляется, нижняя секция при этом заменяется другой, соответствующей кривизне нового участка конструкции.

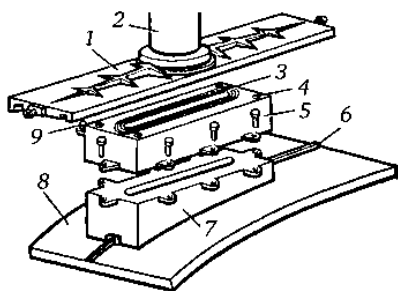


Рисунок 3 - Составная вакуумная камера установки для локального вакуумирования стыка:

- 1 — скользящая крышка; 2 — сварочная пушка;
- 3 — уплотнение промежуточной камеры;
- 4 — ролики — ограничители вертикального перемещения крышки;
- 5 — промежуточная камера; 6 — устройство для герметизации стыка;
- 7 — камера, выполненная по форме свариваемого изделия;
- 8 — свариваемое изделие; 9 — направляющие ролики

Другим направлением в развитии электронно-лучевой сварки крупногабаритных конструкций является сварка с выводом луча в атмосферу, что позволило бы создать достаточно простое и менее громоздкое и материалоемкое оборудование. Однако при сварке электронным лучом в атмосфере возникают дополнительные потери в атмосфере мощности луча из-за столкновений электронов с молекулами газа. Уменьшить потери мощности луча в камере можно при использовании камер со ступенчатой откачкой. В них электронно-лучевая пушка помещается в отдельной камере, где создается вакуум 0,0133 ГПа. Затем следует одна (две) промежуточные камеры, где вакуум от 0,133 ГПа и ниже. Насосная система каждой камеры отрегулирована так, что натекающий в любую камеру газ полностью откачивается.

Электронный луч ускоряется в первой камере и, последовательно проходя через сообщающиеся камеры с пониженным вакуумом, из отверстия в стенке последней выходит в атмосферу. Камеры сконструированы так, чтобы путь луча при пониженном вакууме был минимальным.

Наведение электронного луча по стыку, особенно если сварка проводится в камере, является довольно сложной задачей. В ряде случаев перемещение луча при сварке по сложному контуру осуществляется с помощью различного вида программных устройств.

Уменьшить потери мощности электронного луча из-за рассеивания электронов в атмосфере в момент прохождения ими пути от камеры до изделия значительно сложнее. Очевидно, что потери будут снижаться при уменьшении расстояния выходного отверстия до детали.

Необходимую мощность для электронно-лучевой сварки в атмосфере приходится получать за счет увеличения ускоряющего напряжения по сравнению со сваркой в вакууме.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключаются особенности и преимущества ЭЛС?
2. В каких областях промышленности применяют ЭЛС?
3. Как получают свободные электроны в электронно-лучевых пушках?
4. От чего зависит плотность тока эмиссии?
5. За счет чего происходит фокусирование луча при ЭЛС?
6. Назовите основные параметры проведения электронной лучевой сварки
7. Какие обязательные элементы включает в себя оборудование для электронно-лучевой сварки?
8. По какому параметру классифицируются электронные пушки? Назовите их основные типы.
9. В чем цель применения вакуумной среды при ЭЛС?
10. В чем недостаток применения вакуумной среды?
11. Каким образом производится наведение электронного луча по стыку?
12. В каких случаях используют составную вакуумную камеру установки для ЭЛС?