

НОВЫЕ НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ЛУЧА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НА КОМБИНАТЕ «ЭЛЕКТРОХИМПРИБОР»

А. А. Дивак

ФГУП «Комбинат «Электрохимприбор», г. Лесной Свердловской обл.

На комбинате «Электрохимприбор» широко применяются электронно-лучевые технологии в промышленных масштабах.

В настоящее время на комбинате «Электрохимприбор» в эксплуатации находятся установки собственной разработки и приобретенные в НИТИ «Прогресс». Установки отличаются подходом к проектированию, применяемыми электронно-лучевыми пушками. Установки, разработанные на комбинате, имеют одну камеру и несколько специализированных манипуляторов, что позволяет использовать объем камеры на 100 %. Электронно-лучевая пушка предприятия отличается повышенным ресурсом работы.

Установки, разработанные в НИТИ «Прогресс», имеют камеру и один универсальный манипулятор, объем камеры при этом существенно больше.

Оборудование непрерывно совершенствуется. В работах принимают участие инженеры-конструкторы отдела нестандартного оборудования и инженеры Службы специализированных лабораторий комбината «Электрохимприбор». На опытно-промышленном участке комбината на современном оборудовании электронно-лучевой обработки работают опытные специалисты. Осваиваются новые разработки, и проводятся научно-исследовательские работы. Заказы на проведение работ поступают от других предприятий региона, в том числе таких как ВСМПО АВИСМА (В. Салда) и НИИМаш (Н. Салда).

На установке собственной разработки ЭЛУ-68М, прошедшей многочисленные модернизации и совершенствования, можно осуществлять: прецизионную сварку в вакууме, вакуумное напыление, пайку, сварку криволинейных стыков тел вращения, сварку тугоплавких и разнородных металлов, локальное нанесение покрытия (в том числе из разнородных материалов) наружных и внутренних поверхностей, металлопластику методом нанесения слоя в вакууме. Данная установка обеспечивает высокую стабильность и воспроизводимость технологических параметров.

Установка является универсальной, благодаря не только своим техническим характеристикам (см. табл. 1), но и, благодаря имеющимся манипуляторам (см. табл. 2).

Таблица 1

Энергетические параметры установки

| Параметр | Значение |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------|
| Ускоряющее напряжение <i>U</i> _{уск.} | 5 – 40 кВ |
| Стабильность <i>U</i> _{уск.} | ± 0,02 % |
| Мощность луча | 12 кВт |
| Ток луча, максимальный | 300 мА |
| Стабильность тока фокусировки <i>I</i> _ф | 0,02 % |
| Рабочий вакуум в камере | 5·10 ⁻⁵ мм рт. ст. |
| Вакуум в пушке | 3·10 ⁻⁶ мм рт. ст. |
| Диаметр пучка | 100 мкм при токе 1 мА |
| Ресурс катода | 300 ч |

Технологические возможности электронно-лучевой установки:

- прочностные характеристики сварного шва и околшовной зоны не уступают прочностным характеристикам основного материала;
- минимальные термические деформации;
- система управления лучом обеспечивает синхронное начало сварки и вращения;
- система наведения луча и слежения за стыком позволяет осуществлять сварку криволинейных швов и деталей с биением стыка до 5 мм;
- генератор развертки электронного луча позволяет осуществлять деление электронного луча на несколько (частота развертки 1000 Гц) для сварки, вакуумного напыления и обработки поверхности.

Таблица 2

Механические параметры

| Параметр | Значение |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Размеры камеры | Диаметр 900, длина 1500 мм |
| Габариты свариваемых изделий | Диаметр до 750 мм |
| | Длина до 900 мм |
| Фокусное расстояние от пушки до изделия | От 100 до 350 мм |
| Система наведения и слежения луча за стыком | Ширина отслеживаемого стыка не менее 0,05 мм; Величина биения стыка до ± 10 мм |

| Параметр | Значение |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Манипулятор одно-местный с горизонтальной осью вращения и контролируемым механическим сжатием | Производительность сварки до 6 деталей в смену; Величина осевого усилия от 0 до 1,5 т; Скорость вращения максимальная 15 об/мин |
| Манипулятор с изменяемой осью вращения и регулируемым углом ее наклона | Производительность до 6 деталей в смену Сварка в горизонтальной оси изделий диаметром до 700 мм; Сварка швов с наклоном плоскости вдоль оси камеры от 0 до 90°; Сварка швов с наклоном поперек оси камеры ± 40°; Крепление детали - консольное |
| Шести местный манипулятор с горизонтальной осью вращения и вращающимся барабаном | Производительность до 30 деталей в смену; Радиус по центрам позиций барабана 250 мм; Максимальная скорость вращения позиции 0,13 об/мин; Максимальная скорость вращения барабана 0,5 об/мин Усилие пожатия детали на позиции – 3 кг |

На участке производится сварка и нанесение покрытий, в среднем – около 2000 операций в год.

На комбинате «Электрохимприбор» накоплен большой опыт по сварке тугоплавких металлов, таких как ниобий, тантал и молибден в сочетании с другими металлами. Используются преимущества имеющегося оборудования. Некоторые из них рассмотрим ниже.

1. Одним из достижений в области электронно-лучевой технологии является сварка заготовки и герметизирующего шва ниобиевого сопла. Для достижения максимальной производительности используется шестипозиционный манипулятор, позволяющий проводить радиальную сварку соединений: ниобий–ниобий, ниобий–сталь X18H9T, ниобий–титан за одну откачку.

2. Лейнер – герметизирующая оболочка из титана, работающая под давлением на околоземной орбите. Для сварки используется специализированный манипулятор с регулируемым углом оси вращения, а также оригинальная собственной разработки система наведения луча и слежения за стыком (защитная трема авторскими свидетельствами) [1, 2, 3]. Система позволяет осуществлять сварку изделий, получаемых раскаткой без высоких требований к прямолинейности шва.

После очередной проведенной модернизации установки были проведены исследовательские работы по определению максимальной глубины проплавления алюминия, стали, титана, режимы сварок каждого материала представлены в табл. 3, 4, 5. В результате были получены следующие данные:

Таблица 3

Режимы сварки алюминиевого образца

| Ускоряющее напряжение, U_{yc} , кВ | Ток луча, I_{cb} , МА | Скорость сварки, V_{cb} , м/ч | Ток фокусировки, $I_{ф. ост.}$, МА | Степень фокусировки, МА |
|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 39,5 | 267 | 40 | 652 | +20 |

Таблица 4

Режимы сварки низколегированной марганцовистой стали

| Ускоряющее напряжение, U_{yc} , кВ | Ток луча, I_{cb} , МА | Скорость сварки, V_{cb} , м/ч | Ток фокусировки, $I_{ф. ост.}$, МА | Степень фокусировки, МА |
|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 39 | 276 | 20 | 628 | +20 |

Таблица 5

Режимы сварки титанового образца

| Ускоряющее напряжение, U_{yc} , кВ | Ток луча, I_{cb} , МА | Скорость сварки, V_{cb} , м/ч | Ток фокусировки, $I_{ф. ост.}$, МА | Степень фокусировки, МА |
|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 40 | 270 | 40 | 696 | +10 |

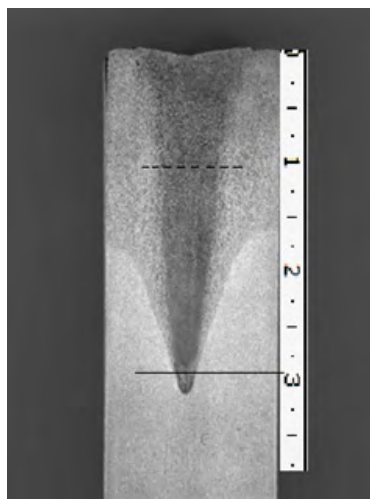


Рис. 1. Образец формы шва алюминия

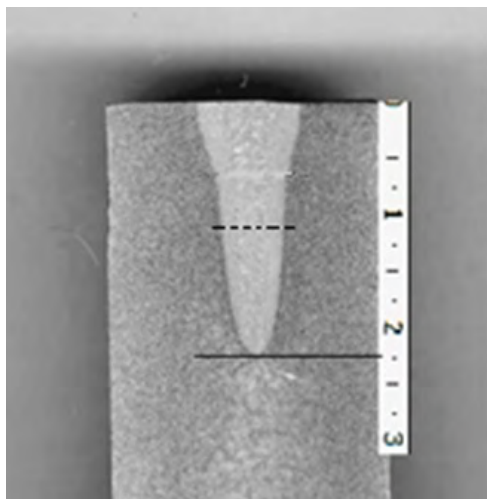


Рис. 2. Образец формы шва низколегированной марганцовистой стали



Рис. 3. Образец формы шва титана

Сварка образца, на режиме, приведенном в табл. 3, обеспечивала глубину проплавления 29 мм, ширина шва на половине глубины провара составляет 5,1 мм. Коэффициент соотношения равен 5,6. Дефекты в корне шва отсутствуют. Форма сварного шва представлена на рис. 1.

Сварка образца, на режиме, приведенном в табл. 4, обеспечивала глубину проплавления на 22,3 мм, ширина шва на половине глубины провара составляет 3,7 мм. Коэффициент соотношения равен 6. Дефекты в корне шва отсутствуют. Форма сварного шва представлена на рис. 2.

Сварка образца, на режиме, приведенном в табл. 5, обеспечивала глубину проплавления на 36,1 мм, ширина шва на половине глубины провара составляет 4,5 мм. Коэффициент соотношения равен 8. Дефекты в корне шва отсутствуют. Форма сварного шва представлена на рис. 3.

Получены данные по глубине проплавления стали 22,3 мм (при скорости сварки 20 м/ч), алюминия 29 мм (при скорости 40 м/ч), титана 38 мм (при скорости сварки 40 м/ч)

Напыление

Изготовление металлостеклянных спаев является основной операцией при производстве герметичных электроразъемов. Технология пайки металла со стеклом основана на процессе смачивания стеклом поверхности металла. Следует отметить, что диапазон металлов и марок сплавов, способных паяться таким методом, очень ограничен. Была разработана технология нанесения покрытия в отверстиях деталей коваром (рис. 4) [2]. Деталь имеет большое количество отверстий (от 4 до 10), диаметром 2,5 мм. Толщина покрытия находится в диапазоне от 10 до 20 мкм.

Согласно приведенной на рис.4 схеме, напыляемые отверстия детали 2 закрываются двумя масками.

Верхняя маска 1, имеет отверстие для прохода электронного луча, предотвращает запыление наружной поверхности детали вблизи отверстия. Одновременно ограничивается выход паров за пределы напыляемого объема, что повышает производительность процесса. Нижняя маска 3 формирует нижнюю границу нанесения покрытия и является тепловым изолятором между испарителем и деталью, что необходимо для поддержания температуры детали в заданных пределах в течение всего процесса. В качестве источника нагрева использовалась верхняя маска, которая в свою очередь нагревалась предварительно расфокусированным электронным лучом. Температура нагрева составляет 550–600 °С.

Для изучения толщины покрытия были выполнены металлографические исследования. Определение толщины покрытия производилось на продольных шлифах напыленных отверстий. Данный метод использовался для исследований распределения толщины покрытия.

Результат исследования баланса распределения испаренного металла приведен на рис. 5.

Пайка

Вольфрам – ниобий

Ранее для изготовления вольфрам – ниобиевого катода был использован метод прессования, прочность катода не удовлетворяла заданным требованиям. Был разработан метод пайки вольфрам – ниобий с помощью титанового припоя. Данный метод успешно используется на комбинате для пайки катодов электронно-лучевой пушки. Ресурс данной конструкции катода относительно традиционной схемы увеличен с 30 часов до 300 и более часов работы. При этом стабильными сохраняются геометрические размеры луча. Представлен шлиф паянного соединения вольфрам – ниобий (рис. 6).

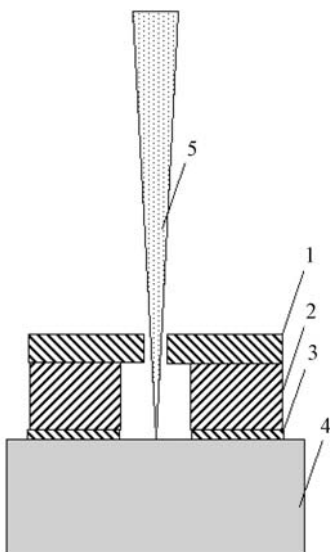


Рис. 4. Схема нанесения покрытия в отверстии: 1 – верхняя маска, 2 – напыляемая деталь, 3 – нижняя маска, 4 – испаритель, 5 – электронный луч

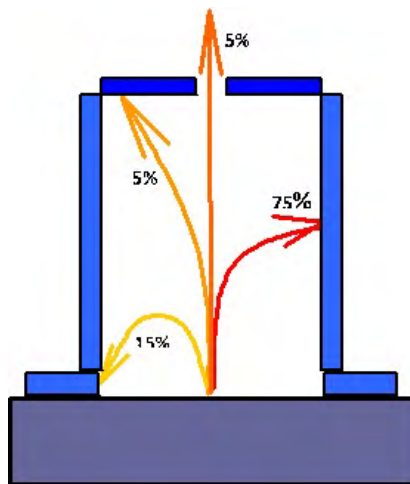


Рис. 5. Баланс распределения пара в отверстии



Рис. 6. Шлиф паяного соединения вольфрам – ниобий



Рис. 7. Пайка молибдена

Молибден – никель

На комбинате используется большое количество оснастки из молибдена. В процессе эксплуатации оснастка изнашивается и ломается. Восстановить элементы данной оснастки невозможно, из-за низких механических свойств сварного шва, обусловленного его крупнозернистой кристаллической структурой.

Публикации в технической литературе по методам восстановления таких деталей отсутствуют и было решено применить неординарное техническое решение.

Мной был предложен другой метод соединения отдельных частей молибденовых деталей посредством пайки. При этом в качестве припоя был выбран и исследован никель. Паяный шов (рис. 7) никелем обеспечил прочность и надежность шва при температурах до 1000 °С.

Исследования паяного шва и зоны взаимной диффузии молибдена и никеля показали отсутствие

структур в соединении ухудшающих механические свойства детали.

Литература

1. А.с. 1259581, СССР, МКИ 4 В 23 К 15/00. Устройство для управления электронно-лучевой сваркой / Дмитриев А. Л., Юров Л. В. // Изобретения. 1984.
2. А.с. 1441629, СССР, МКИ 4 В 23 К 15/00. Устройство для управления электронно-лучевой сваркой / Дмитриев А. Л., Юров Л. В. // Изобретения. 1986.
3. А.с. 1679718, СССР, МКИ 5 В 23 К 15/00. Устройство для управления электронно-лучевой сваркой / Дмитриев А. Л., Юров Л. В. // Изобретение. 1989.
4. Пат. 211258, РФ, МКП: 7С 23С 14/30.ФИПС, Рег. ЛР № 040921. Способ нанесения вакуумных покрытий в отверстиях / Анкудинов С. Н., Дмитриев А. Л., Черепанов Л. Н. // Изобретения. 2003.