

## Лекция 25

### Технологические операции сварки материалов лазерным излучением.

#### *1. Лазерная точечная сварка.*

Для точечной сварки металлов применяют главным образом импульсные твердотельные лазеры: рубиновые, на иттрий-алюминиевом гранате, неодимовом стекле. Параметры и режимы генерации этих лазеров следующие: продолжительность импульса до 10 мс, чаще всего 1-5 мс; энергия импульса до 50 Дж, чаще всего 1-10 Дж; частота повторения импульсов до 100 Гц. Для сварки жаропрочных материалов применяют импульсные СО<sub>2</sub>-лазеры со средней мощностью излучения 100 Вт, длительность импульса излучения 10-1000 мкс, частота следования импульсов 100 Гц. Достоинством лазерной сварки являются:

- бесконтактное воздействие, обеспечивающее высокую чистоту шва;
- малая продолжительность воздействия;
- малая область зоны воздействия.

При использовании указанных лазеров возможно получение точечных сварных соединений разных металлов, тонких проводов и полупроводниковых элементов с некоторыми диэлектриками, а так же тонких металлических пленок, нанесенных на диэлектрическую подложку. Диаметры сварных точек составляют 0,1-0,6 мм, глубина проварки металла 0,03-0,5 мм. Выполнение ряда сварных точек позволяет получить герметичный сварной шов. Свариваемая проволока имеет диаметр 0,05-0,5 мм, а толщина свариваемых мест не превышает 0,5-2 мм. Сварка лазерным излучением позволяет получить электрические и механические (крепежные) соединения. Условием получения высококачественного соединения является хороший термический и механический контакт элементов перед сваркой и использованием соответствующей энергии и продолжительности импульса при максимальной фокусировке лазерного излучения. Сварка тонкой проволоки сложнее из-за малой поверхности термического и механического контакта между проволокой и плоскостью подложки или другой проволоки., как показано ниже на рис. 25.1.

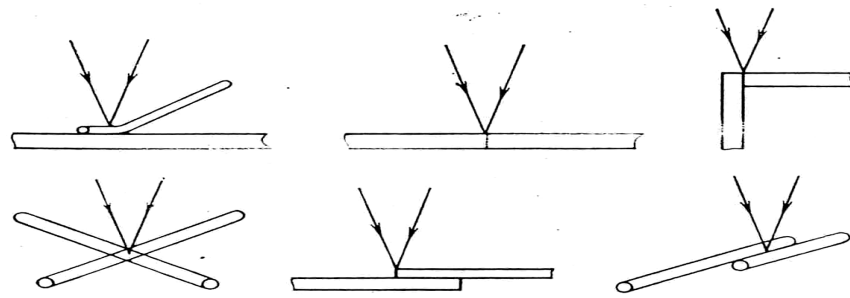


Рис 25.1 Примеры расположения элементов (проволоки и пластины) при точечной сварке лазером.

Тем не менее, не все металлы удастся хорошо сварить с помощью лазерного излучения. Это зависит от термических и структурных свойств свариваемых металлов. Например, цинк, алюминий, олово, тантал, вольфрам вообще трудно свариваются в отличие от платины, палладия, золота, мягкой стали или никеля, как показано в сравнительной таблице 25.1 эффективности сварки лазерным излучением различных металлов.

|        | A<br>g | A<br>l | C<br>r | C<br>u | F<br>e | M<br>o | N<br>i | P<br>d | P<br>t | S<br>n | T<br>a | T<br>i | W |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| Ag     |        | 5      | 1      | 4      | 2      | 1      | 1      | 9      | 4      | 1      | 1      | 4      | 1 |
| Al     | 5      |        | 1      | 4      | 4      | 1      | 4      | 1      | 1      | 1      | 1      | 4      | 1 |
| Cr     | 1      | 1      |        | 1      | 9      | 9      | 8      | 6      | 7      | 1      | 1      | 7      | 9 |
| Cu     | 4      | 4      | 1      |        | 4      | 1      | 9      | 8      | 8      | 1      | 1      | 4      | 1 |
| Fe     | 2      | 4      | 9      | 4      |        | 7      | 7      | 6      | 6      | 1      | 4      | 4      | 4 |
| M<br>o | 1      | 1      | 9      | 1      | 7      |        | 4      | 6      | 6      | 1      | 9      | 9      | 9 |
| Ni     | 1      | 4      | 8      | 9      | 7      | 4      |        | 8      | 8      | 1      | 7      | 4      | 3 |
| Pd     | 9      | 1      | 6      | 8      | 6      | 6      | 8      |        | 8      | 3      | 6      | 3      | 3 |
| Pt     | 4      | 1      | 7      | 8      | 6      | 6      | 8      | 8      |        | 4      | 4      | 3      | 6 |
| Sn     | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 3      | 4      |        | 1      | 1      | 1 |
| Ta     | 1      | 1      | 1      | 1      | 4      | 9      | 7      | 6      | 4      | 1      |        | 9      | 9 |
| Ti     | 4      | 4      | 7      | 4      | 4      | 9      | 4      | 3      | 3      | 1      | 9      |        | 3 |
| W      | 1      | 1      | 9      | 1      | 4      | 9      | 3      | 3      | 6      | 1      | 9      | 3      |   |

Не все металлы и проводники дают хорошие сварные швы. Например, золото, платина или алюминий относительно легко свариваются с кремнием и германием, а полупроводниковые соединения GaAs и CdSe легко распадающиеся под влиянием

температуры трудно свариваются с металлами. Полученные точечные лазерные швы имеют существенные различия в структуре шва. Во время сварки происходит плавление металлов или металла и полупроводника (образуются мелкозернистые и другие структуры), либо происходит вплавление одного элемента в другой без образования шва. Исследования структуры швов их механической прочности электрических параметров показали высокое качество и полную техническую пригодность лазерных швов. Например, прочность швов тонких проволок на разрыв выше прочности проволоки в месте сужения около шва и сравнимо с прочностью швов выполняемых иными методами. Прочность швов более толстой проволоки ниже, чем прочность самой проволоки. Исследование электрических параметров лазерных точечных сварных швов „металл-полупроводник” указывает на их нелинейные характеристики и на большое сопротивление стыка. Линеаризацию характеристик образуемых соединением и значительное уменьшение сопротивления шва достигают сваривания проволоки с полупроводниковой подложкой, покрытой тонкой пленкой, что обеспечивает линейный контакт с небольшим сопротивлением.

## ***2. Непрерывная лазерная сварка.***

Для непрерывной лазерной сварки так же как и для резки используют лазеры непрерывного действия большой мощности. Как правило это газовые СО<sub>2</sub>-лазеры мощностью 0,2-2 кВт, а так же лазеры на иттрий алюминиевом гранате мощностью 1 кВт. Используемая мощность излучения позволяет сваривать металлы и сплавы с малым коэффициентом температуропроводности (0,06-0,25 см<sup>2</sup>/с), то есть в основном коррозионностойкие и мягкие стали, титан, тантал и сплавы железа, титана, никеля с максимальной толщиной до 50 мм.

Во избежания окисления расплавившегося при сварке металла и удаления слоя испарившегося металла в место сварки подводится через сопло струя сжатого газа (обычно аргон или гелий). Расход газа при этом составляет около 0,4 м<sup>3</sup>/час. Плотность мощности сфокусированного излучения СО<sub>2</sub>-лазера применяемого для непрерывной сварки составляет 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> Вт/см<sup>2</sup> при диаметре пятна около 0,5 мм. В этом диапазоне плотности мощности уже происходит сильное испарение расплавленного металла. Давление паров достаточно велико, чтобы не допустить немедленного заливания лунки расплавленным металлом, но и слишком мало для образования облака над местом сварки которое поглощало бы и рассеивало лазерное излучение. Это обеспечивает глубокое

проникновение лазерного излучения в лунку путем его многократного отражения от стенок. Ниже на рис. 25.2 показаны формы чаще всего используемых лазерных швов.

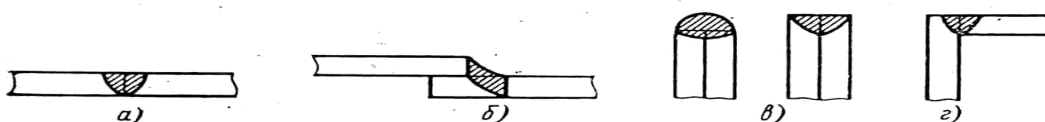


Рис 25.2 Чаще всего используемые виды непрерывных лазерных швов:

а) стыковой; б) в нахлестку; в) по кромке; г) угловой.

После перемещения лазерного пучка лунка заполняется жидким металлом который постепенно твердеет. Типичная длина сварного шва около 10 см. оптимальный подбор параметров сварки позволяет получить отношение глубины шва к ширине как 10:1. Например, стыковой шов двух пластин из стали толщиной 3.8 мм сваренных лазерным пучком мощностью 90 кВт со скоростью 50 мм/с имеет ширину на верху 4 мм, а внизу около 1.5 мм.

В диапазоне малых и средних мощностей глубина шва линейно зависит от мощности лазера и экспоненциально от скорости сварки. Для больших мощностей (выше 1 кВт) зависимость глубины шва от мощности излучения описывается степенной зависимостью, что показано ниже на рис. 25.3-25.5.

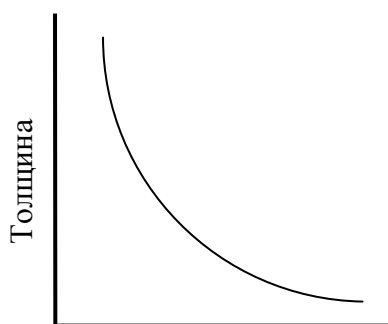


Рис. 25.3

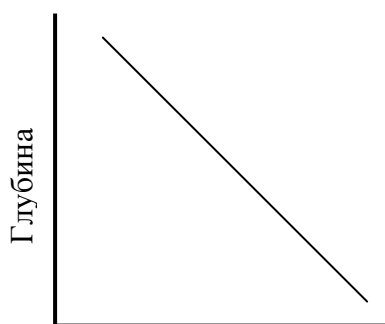


Рис. 25.4

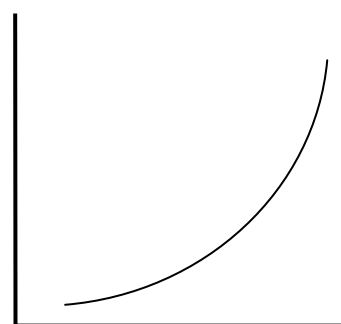


Рис. 25.5

В зависимости от мощности излучения необходимые глубины провара и свойств свариваемых металлов скорость лазерной сварки колеблется в пределах 0,2-10 м/мин.

Основные преимущества лазерной сварки перед сваркой электронным пучком:

- сварка в атмосфере воздуха или защитного газа без вакуума;
- отсутствие рентгеновского излучения;
- простота автоматизации процесса;
- более низкая стоимость оборудования;
- более низкая стоимость эксплуатации.

Прочность лазерных швов близка к прочности свариваемых материалов.