

Лазерная сварка

*Младший научный сотрудник
НИЛ «Лазерных и электронно-лучевых
технологий»*

Михаил Валерьевич Кузнецов

Санкт-Петербург 2017

Г



Лазерная сварка – сварка плавлением, при котором нагрев осуществляется энергией лазерного излучения (ГОСТ 2601-84).

Основные типы лазеров

Тип лазера	Длина волны, мкм	Рабочее вещество	Номинальная мощность, кВт	Максимальная мощность, кВт	КПД, %
CO ₂ - лазер	10,6	CO ₂ -N ₂ -He ₂	1-15 (CW)	100 (CW)	≈ 10
YAG-лазер (ламповая накачка)	1,06	Nd ³⁺ :YAG	0,05-7 (CW)		1-4
Лазерный диод	0,8-1,1	InGaAsP	10-15 (CW)	100 (CW)	20-60
Твердотельный лазер (накачка лазерными диодами)	≈ 1	Nd ³⁺ :YAG	13,5 (CW) 6 (PW)		≈ 20-30
Дисковый лазер	1,03	Yb ³⁺ :YAG	13,5 (CW)		15-25
Волоконный лазер	1,07	Yb ³⁺ :SiO ₂	10-15 (CW)	100 (CW)	20-30

Отличительные признаки	Способы сварки	
	Сварка малых толщин (≤ 1 мм)	Сварка больших толщин (≥ 1 мм)
Характер нагрева	Непрерывный Импульсный	Непрерывный Импульсно-периодический
Тип шва	Точки Точки с перекрытием Непрерывный шов	Точки с перекрытием Непрерывный шов
Тип проплавления	Сквозное Несквозное	Сквозное Несквозное
Вид защиты шва от окисления	Без защиты Газовая защита	Без защиты Газовая защита
Технологические особенности	Сварка без присадки Сварка с присадкой	Сварка без присадки Сварка с присадкой
Степень автоматизации	Ручная сварка Автоматическая сварка	Автоматическая сварка Роботизированная сварка

Перед дуговой сваркой:

- ✓ Высокая производительность процесса (до 10-15 раз)
- ✓ Экономия сварочного материала
- ✓ Прецизионность обработки (диаметр пятна от 150 мкм)
- ✓ Уменьшение ширины шва в 2-3 раза позволяет расширить ассортимент свариваемых изделий
- ✓ Снижение сварочных деформаций до 10 раз
- ✓ Минимальная погонная энергия сварки
- ✓ Отсутствие попадания инородных тел в ванну расплава от электрода
- ✓ Возможность сварки в труднодоступных местах
- ✓ Минимальная ЗТВ
- ✓ Возможность сварки на расстоянии до 200 м от источника лазерного излучения
- ✓ Роботизация и автоматизация процесса
- ✓ Экологичность сварки

Перед электронно-лучевой сваркой:

- ✓ Отсутствие вакуумной камеры
- ✓ Отсутствие ограничения на габаритные размеры заготовок
- ✓ Отсутствие взаимодействия лазерного излучения с магнитным полем
- ✓ Гибкость к объединению с другими процессами сварки
- ✓ Простота подачи присадочного материала
- ✓ Возможность сварки на расстоянии до 200 м от источника лазерного излучения
- ✓ Роботизация и автоматизация процесса
- ✓ Экологичность сварки
- ✓ Возможность использования одного лазерного источника на несколько сварочных постов

Перед контактной сваркой:

- ✓ Минимальный размер сварочной точки
- ✓ Минимальная ЗТВ
- ✓ Отсутствие механического воздействия на изделие
- ✓ Отсутствие износа электродов
- ✓ Производительность процесса сварки выше до 1000 раз
- ✓ Возможность сварки в труднодоступных местах
- ✓ Возможность сварки через прозрачные для излучения материалы
- ✓ Возможность сварки разнородных материалов
- ✓ Прецизионность обработки (диаметр пятна от 150 мкм)
- ✓ Снижение сварочных деформаций
- ✓ Минимальная погонная энергия сварки
- ✓ Отсутствие попадания инородных тел в ванну расплава от электрода
- ✓ Минимальная ЗТВ
- ✓ Возможность сварки на расстоянии до 200 м от источника лазерного излучения
- ✓ Роботизация и автоматизация процесса

Сварка металлов малых толщин:

- ✓ Поглощение излучения
- ✓ Передача излучения внутри металла
- ✓ Нагревание металла без разрушения
- ✓ Плавление
- ✓ Испарение металла и выброс расплава с разрушением
- ✓ Охлаждение
- ✓ Кристаллизация

$$E_1 = \frac{0,885 \cdot T_{пл} \cdot \lambda m}{(\alpha \cdot \tau)^{1/2}}$$

Уравнение для определения критического потока излучения,
необходимого для нагрева тела до температуры плавления

$$h = (4 \cdot \alpha \cdot \tau)^{1/2}$$

Уравнение для определения глубины проплавления

$$E_2 = \frac{0,885 \cdot T_k \cdot \lambda m}{(\alpha \cdot \tau)^{1/2}}$$

Уравнение для определения критической плотности мощности излучения,
необходимого для нагрева тела до температуры испарения

$$E_1 \leq E_{cv} \leq E_2$$

Энергетические условия, при котором осуществляется лазерная сварка
с минимальным испарением

$$E_2 \leq E_{cv} \leq E_3$$

Энергетические условия, при котором осуществляется лазерная сварка
с испарением

$$E_{cv} \geq E_3$$

Энергетические условия, при котором осуществляется лазерная сварка
с интенсивным испарением

Физические процессы, происходящие при лазерной сварке

Сварка металлов больших толщин:

- ✓ Поглощение излучения
- ✓ Передача излучения внутри металла
- ✓ Нагревание металла без разрушения
- ✓ Плавление
- ✓ Образование парогазового канала
- ✓ Охлаждение
- ✓ Кристаллизация

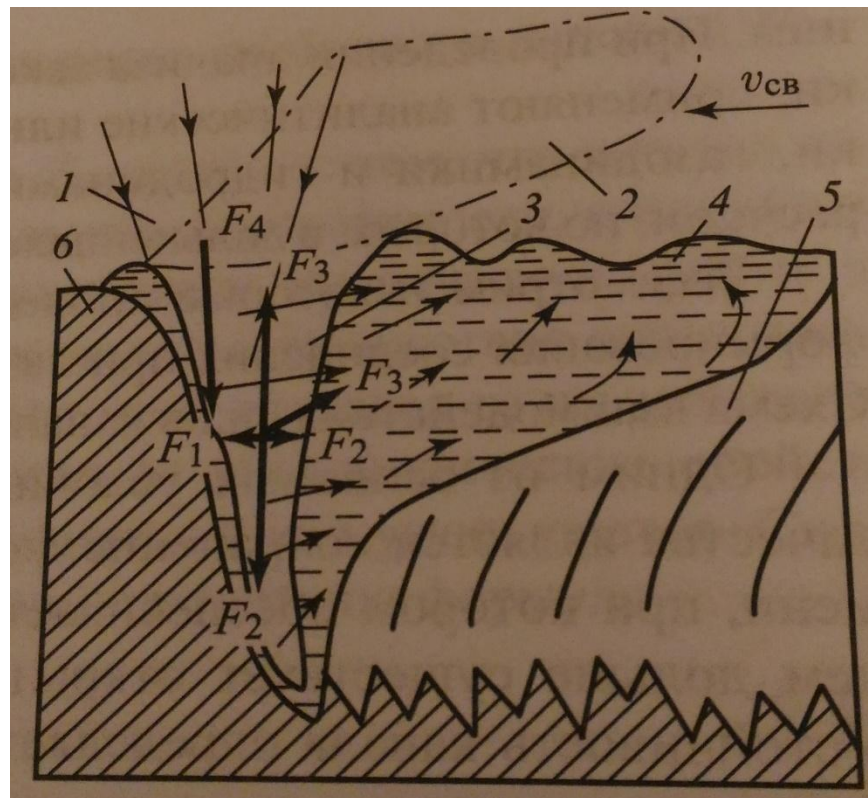


Схема продольного сечения сварочной ванны:

- 1 – лазерный луч; 2 – плазменный факел;
- 3 – парогазовый канал;
- 4 – хвостовая часть сварочной ванны;
- 5 – закристаллизовавшийся металл;
- 6 – свариваемый металл

Сварка металлов малых толщин.

Основные параметры

- ✓ Энергия импульса
- ✓ Длительность импульса
- ✓ Длительность паузы
- ✓ Диаметр сфокусированного луча
- ✓ Расфокусировка луча
- ✓ Скорость сварки

Вспомогательные параметры

- ✓ Защита ванны расплава
- ✓ Скорость подачи присадочного материала
- ✓ Сканирование лазерного излучения

Сварка металлов больших толщин.

Основные параметры

- ✓ Мощность лазерного излучения
- ✓ Диаметр сфокусированного луча
- ✓ Расфокусировка луча
- ✓ Скорость сварки

Вспомогательные параметры

- ✓ Защита ванны расплава
- ✓ Скорость подачи присадочного материала
- ✓ Сканирование лазерного излучения
- ✓ Угол сходимости луча

- ✓ Использование импульсно-периодического режима сварки (400-1000 Гц, 20-50 мсек)
- ✓ Наличие зазора (не больше радиуса пятна лазерного излучения)
- ✓ Сварка в пространственных положениях отличных от горизонтального
- ✓ Осцилляция лазерного излучения вдоль оси Z
- ✓ Предварительный подогрев
- ✓ Добавление кислорода в защитную смесь
- ✓ Удержание ванны расплава
- ✓ Разделка кромок
- ✓ Шероховатость кромок Ra 6,3 мкм

Требования к позиционированию лазерного излучения

- ✓ Зазор не более 0,1 мм при сварке тонких металлов
- ✓ Зазор не более 5-7% от наименьшей толщины свариваемого изделия, но не более радиуса пятна (косина реза, серповидность сортамента) (толстые металлы)
- ✓ Смещение одной кромки относительно другой не более 20-25% толщины, но не более 0,5 мм
- ✓ Использование вводных и выводных планок
- ✓ Механическая подготовка кромок
- ✓ Удаление масел и окислов
- ✓ Использование отбортовки кромок
- ✓ Не перпендикулярность луча от стыка при сварке кольцевых швов (отклонение луча от стыка не более 0,2-0,3 мм)
- ✓ Биение по диаметру для короткофокусных линз $\pm 0,5$ мм, для длиннофокусных 2-3 мм
- ✓ При нахлесточном соединении тонких металлов отсутствие зазора, толстых металлов 0,2 мм
- ✓ При стыковом соединении отклонение луча от оси стыка не более 0,1 мм

Спасибо за внимание