

2. Возможность использования комплексного модификатора длительного действия на основе нанопорошков длительного действия для повышения качества отливок из алюминиевых сплавов [Текст]: Новые материалы и технологии в машиностроении-2005. Сб. трудов IV Международной научно-технической конференции. / Брянск: БГИТА - 2005. – С. 17 –23.
3. Селиверстов, В.Ю. Перспективы применения комбинированных способов управления структурообразованием литого металла [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко / Вісник ДДМА. - 2009. - № 1 (15). – С.267-273.
4. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст]/ А.Н. Смирнов, В.Л. Пилошенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» - 2002. - 169 с.
5. Ефимов, В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.

**Запропонований метод, оптимальність якого полягає в одночасному визначенні параметрів режимів зварювання за вибраною альтернативною ціллю (ширина зварного шва) з непрямым урахуванням властивостей матеріалів, середовища, обладнання, приладів, зварювального та вимірювального інструментів**

**Ключові слова:** метод візуалізації, лазерне зварювання, вибір режиму

**Предложен метод, оптимальность которого заключается в одновременном определении параметров режимов сварки по выбранной альтернативной цели (ширина сварного шва) с косвенным учетом свойств материалов, среды, оборудования, приспособления, сварочного и измерительного инструментов**

**Ключевые слова:** метод визуализации, лазерная сварка, выбор режима

**The method which optimality consists from simultaneous determination of parameters of welding modes on the selected alternative purpose (width of a welded seam) with the indirect registration of materials properties, the environments, the equipment, the devices, welding and measuring tools is offered**

**Key words:** imaging method, laser welding, mode selection

УДК 681.325

## ОПТИМАЛЬНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА ЛАЗЕРНОЙ СВАРКИ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**А.Г. Лукашенко**

Докторант, кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
Центр лазерной техники и технологий\*  
Контактный тел.: (0472)76-25-73  
E-mail: kafedra\_CKC@mail.ru

**Д.А. Лукашенко**

Аспирант  
\*Институт электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии Украины  
ул. Боженко, 11, г. Киев, Украина, 03680  
Контактный тел.: (0472)76 -25-73  
E-mail: kafedra\_CKC@mail.ru

**И.А. Зубко**

Аспирант, ассистент\*\*  
Контактный тел.: (0472)71-42-43  
E-mail: kafedra\_CKC@mail.ru

**Р.Е. Юпин**

Аспирант, ассистент\*\*  
Контактный тел.: 093-917-22-12, (0472) 71-42-43  
E-mail: necrowman2@mail.ru

**В.М. Лукашенко**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой  
\*\*Кафедра Специализированные компьютерные системы  
Черкасский государственный технологический университет  
бул. Шевченко, 460, г. Черкассы, Украина, 18006  
Контактный тел.: (0472)76 -25-73  
E-mail: kafedra\_CKC@mail.ru

## 1. Введение. Постановка задачи

Лазерная сварка является одним из прогрессивных и современных технологических процессов. Лазерные технологии позволяют повысить качество, производительность, снизить себестоимость, обеспечить экологическую чистоту производства. Лазерную сварку можно с успехом применять для получения различных типов сварных соединений из многих однородных и разнородных металлов [1–4, 6].

Вопросам лазерной технологии посвящено ряд работ: А.А. Аграновича, Е.А. Валдайцевой, С.Г. Горного, А.Г. Григорьянца, В.М. Домененко, Е.В. Землякова, И.В. Кривцуна, Е.П. Малкина, А.И. Мисюрова, Е.А. Нормана, Г.А. Туричина, И.Н. Шиганова, К.В. Юдина и др.

На основе анализа и синтеза результатов их работ выявлено, что для технологического процесса лазерной сварки стыковых соединений, характерными особенностями являются следующие:

1. Для получения симметричного сварного шва необходимо, чтобы теплофизические свойства свариваемых металлов были сходственными, а фокусировка пятна нагрева была направлена на стык соединения.
2. При сварке встык, когда один из свариваемых металлов более тугоплавкий используется схема, в которой пятно нагрева смещается в сторону более тугоплавкого металла. В результате происходит нагрев и плавление более тугоплавкого металла, а менее тугоплавкий металл плавится за счет теплоты, передаваемой его кромке от расплава.
3. Импульсная лазерная сварка стыковых соединений требует тщательной подгонки кромок свариваемых деталей. Необходимо обеспечить отсутствие скола и повреждений кромок. В противном случае шов получится ослабленным (в результате отсутствия присадочного материала) либо при чрезмерно большом зазоре кромки оплавятся без образования общей сварочной ванны.
4. Количество энергии, поглощаемой металлом при лазерной сварке, зависит от состояния поверхности. Поглощение энергии возрастает с ухудшением обработки деталей. Это влияние существенно и должно учитываться при выборе режимов сварки тонких деталей. Так, например, при сварке стыковых соединений из тонкостенного металла необходимо обеспечить одинаковую чистоту обработки кромок по всей длине шва, чтобы предупредить выплески или непровары [5–6].
5. Применение защитной атмосферы (аргона) способствует уменьшению количества и размеров микротрещин.
6. С увеличением температуры жидкого металла и площади его соприкосновения со сварочной атмосферой возрастает концентрация поглощенных им газов. В некоторых случаях это способствует образованию межкристаллитных микротрещин и повышению хрупкости металла шва [1, 6–7].

Из перечисленных особенностей видно, что качество сварного соединения сильно зависит от физико-химических свойств свариваемых материалов, мощности лазерного излучения и скорости лазерной сварки, среды, используемого оборудования и т.п.

Обычно основные параметры режимов сварки определяются нормативными документами и, как правило, имеются в технической документации к сварочному оборудованию. Корректировка параметров для оптимального режима сварки тонкостенных конструкций осуществляется методом подбора скорости лазерной сварки и мощности лазерного излучения с учетом физико-химических свойств свариваемых материалов, среды, используемого оборудования, приспособления, сварочного и измерительного инструментов.

Однако этот процесс достаточно длительный и требует хранения большого объема базы данных для различных свариваемых материалов. Устранение этого недостатка является первоочередной задачей.

Целью работы является разработка оптимального метода, определяющего параметры режима лазерной сварки тонкостенных конструкций, с учетом основных характерных особенностей, влияющих на качество сварного шва.

## 2. Решение проблемной задачи

Предлагается осуществить на этапе технологической подготовки. Для этого определяется альтернативная цель, которая является связующим звеном для основных параметров режимов лазерной сварки. Например, исследование влияния скорости сварки ( $V$ ) лазерным излучением и мощности ( $P$ ) лазерного излучения на ширину шва ( $b$ ) свариваемых материалов.

Алгоритм метода включает:

- подготовку оборудования, образцов материала для сварки, сварочного и измерительного инструмента и технологические приспособления, необходимые для технологического процесса лазерной сварки.
- Провести сварку образцов материала и составить таблицу зависимостей:

$$b(V), \text{ при } P=\text{const};$$

$$b(P), \text{ при } V=\text{const}.$$

- Определить аппроксимирующие функции  $b_a(V)$  и  $b_a(P)$  с использованием метода наименьших квадратов и пакета MathCad [8].
- Построить графики полученных зависимостей:

$$b(V); b_a(V), \text{ при } P=\text{const};$$

$$b(P); b_a(P), \text{ при } V=\text{const}.$$

При этом ордината ( $b$ ) является общей для  $b(V)$  и  $b(P)$ .

- Процесс определения режимов ( $V$ ) и ( $P$ ) по приведенным графикам осуществляется в следующей последовательности:
  - устанавливается требуемое значение ширины свариваемого шва (ординаты)

$$b=c$$

- проводится из точки (с) прямая параллельная оси абсцисс до пересечения с графиками функций:

$$b_a(V);$$

$$b_a(P),$$

- из точки пересечения прямой  $b=c$  и функции  $b_a(P)$  опускаются перпендикуляры на оси абсцисс (P);

- из точек пересечения прямой  $b=c$  и функции  $b_a(V)$  перпендикуляры на оси абсцисс (V);

- точки пересечения перпендикуляра с соответствующими абсциссами определяют искомые значения (V) и (P).

Оптимальность такого метода подтверждается экспериментальными исследованиями, результаты которого представлены ниже.

Экспериментальные исследования

Исследование влияния скорости сварки лазерным излучением и мощности лазерного излучения на ширину сварочного шва ленты толщиной  $\delta=0.15$  стали 12X18H10T.

Объект исследования: исследовали сварку ленты толщиной  $\delta=0.15$  стали 12X18H10T.

Оборудование: трехкоординатный лазерный комплекс «АРМА-100М».

Инструмент:

- иттербиевый волоконный одномодовый лазер типа ЛС-01-Б;
- мощность излучения 100 Вт;
- диаметр пучка лазерного излучения 10мкм;
- при сварке зона плавления защищалась инертными газами: сверху гелием, а снизу – аргоном;
- измерительный инструмент - микроскоп типа ММИ-2.

Определение зависимости ширины шва от скорости сварки

Образцы из стали 12X18H10T толщиной 0,15 мм сваривались при постоянной мощности лазерного излучения  $P=65$  Вт;

Диапазон изменения скорости сварки от  $0.8 \cdot 10^{-2}$  м/с до  $2.5 \cdot 10^{-2}$  м/с.

Результаты эксперимента сведены в таблице 1.

Зависимость ширины шва от скорости сварки

Скорость сварки $V \cdot 10^{-2}$ , м/с	0,8	1,0	1,12	1,3	1,48	1,69	1,81	1,98	2,17	2,31	2,5
Ширина шва $b$ , мм	1,36	1,22	1,05	0,93	0,76	0,7	0,64	0,57	0,56	0,48	0,45

Определение зависимости ширины шва от мощности лазерного излучения.

Образцы из стали 12X18H10T толщиной 0,15 мм сваривались при значениях мощности лазерного пучка в диапазоне от 30 до 70 Вт;

Скорость сварки  $1 \cdot 10^{-2}$  м/с

Результаты эксперимента сведены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость ширины шва от мощности лазерного излучения

Мощность лазерного излучения $P$ , Вт	30	40	50	60	70
Ширина сварочного шва $b$ , мм	0,1	0,48	0,78	1,15	1,3

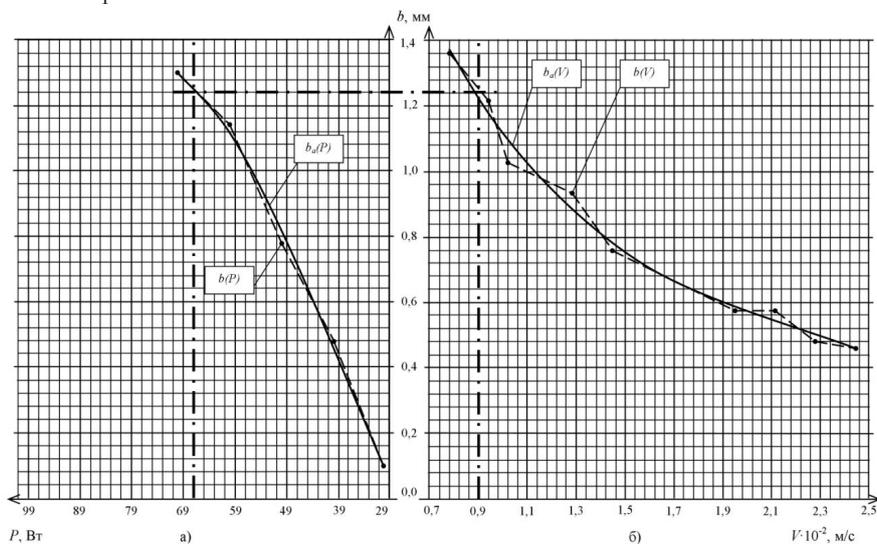


Рис. 1. Зависимость значения ширины сварного шва: а) от мощности излучения лазер P; б) от скорости лазерной сварки V

Согласно предложенному выше алгоритму построены графики (рис. 1) следующих зависимостей

$$b(V); b_a(V), \text{ при } P=65 \text{ Вт}=\text{const};$$

$$b(P); b_a(P), \text{ при } V=1 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}=\text{const}.$$



Рис. 2. Структура стыкового соединения, полученного сваркой волоконным лазером,  $\times 300$

Механические характеристики сварного шва

№ образца		Основной материал	Стыковое соединение	1	2	3	1a	2a	3a			
				Защитный газ								
				Гелий			Аргон					
Режим сварки	Мощность P, Вт			65	50	60	65	50	60			
	Скорость $v \cdot 10^{-2}$ , м/с			1,82	1	1,25	1,67	1	1,25			
Характеристики прочности	Усилие разрыва, МН	63,6	$\geq 56$	65,8	81,6	86,7	45	57,3	60			
	Расширение, %	32,4	$\geq 22$	25	25	28	12,5	16,3	22			

Экспериментальные исследования подтвердили качество сварного шва, представленного на рис. 2.

### 3. Выводы

1. В результате анализа технологических процессов лазерной сварки стыковых соединений установлены рекомендованные особенности, устранение которых способствует повышению качества сварных тонкостенных конструкций.

2. Предложен метод для определения параметров режима лазерной сварки тонкостенных конструкций. Оптимальность метода заключается в том, что по выбранной альтернативной цели (ширины сварного шва) определяются одновременно основные параметры режимов сварки. При этом косвенно учитываются физико-химические свойства свариваемых материалов, среды, особенности используемого оборудования, приспособления, сварочного и измерительного инструментов. Кроме того, визуализация представления результатов исследования очень проста, наглядна и не требует много времени и высокой квалификации рабо-

Таблица 3

чего для ее освоения, что значительно сокращает процесс выбора параметров сварки и снижает себестоимость изделия.

### Литература

- Сапрыкин, Л. Г. Лазерное оборудование для обработки материалов: компоненты, технологии, системы [Текст] / Л. Г. Сапрыкин, А. Л. Кудрявцева // Металлообработка и станкостроение. - 2008. - № 10. - С. 38-39.
- Lukashenko, A. G. Three-coordinate laser technological complex on CO2 basis [Текст] // V. D. Shelyagin, D. A. Lukashenko, V. M. Lukashenko, M. N. Ozirskaja, V. A. Lukashenko // Przemysl : Nauka i studia. - 2010. - № 8 (30). - С. 81-88.
- Гаращук, В. П. Основи фізики лазерів. Лазери для термічних технологій: Навчальний посібник. [Текст] / В. П. Гаращук – Київ : ІЕЗ ім. Є. О. Патона, 2005. – 244 с.
- Накатані, Х. Розробка потужних волоконних лазерів і їх застосування. [Текст] / Х. Накатані (япон.) // “Зварювальна техніка” – 2004. - №3 - С. 108-114.
- Лукашенко, А. Г. Физическая модель трехкоординатного технологического комплекса на базе CO<sub>2</sub>-Laser [Текст] / А. Г. Лукашенко, Д. А. Лукашенко, В. М. Лукашенко, М. Н. Озирская, В. А. Лукашенко. // Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузево машинобудування, автоматизація. Кіровоград: КНТУ. – 2011. – вип. 24.– С. 77-82.
- Сварка лазерным излучением [Электронный ресурс] / Тематический сайт WWW.TEHNNOINFA.RU, раздел «Сварка». – Режим доступа : \www/ URL: http://www.tehnoinfra.ru/tehnologijasvarki/23.html/ – 24.11.2011 г. – Загл. с экрана.
- Шелягин, В. Д. Лазерная сварка тонколистовых сталей с использованием специальных приемов [Текст] / В. Д. Шелягин, В. Ю. Хаскин, А. В. Сиора, А. В. Сахарянов, Е. И. Гончаренко // Автомат. сварка. – 2003. - № 1 – С. 41-44.
- Формалев, В. Ф. Численные методы [Текст] / В. Ф. Формалев, Д. Л. Ревизников ; М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2004 – 400 с. – ISBN 5-9221-0737-2.