

УДК 621.791.016:621.791.722:621.791.725  
Л 17

## ЛАЗЕРНАЯ СВАРКА В АТМОСФЕРЕ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

В. Ю. Хаскин, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.;  
В. Ф. Шулым, науч. сотр.;  
А. В. Бернацкий, мл. науч. сотр.;  
А. В. Сиора, мл. науч. сотр.;  
А. Н. Палагеша, инж.

*Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев*

**Аннотация.** Проведено сравнительное исследование возможностей лазерной сварки при низких давлениях в контролируемой атмосфере защитного газа и электронно-лучевой сварки. Установлено, что применение источника остросфокусированного лазерного излучения при сварке в атмосфере низкого давления позволяет более чем в 3 раза повысить скорость процесса по сравнению с электронно-лучевой сваркой равным по мощности тепловым источником.

**Ключевые слова:** лазерная сварка, низкое давление, контролируемая атмосфера, электронно-лучевая сварка, проплавающая способность, скорость сварки.

**Анотація.** Проведено порівняльне дослідження можливостей лазерного зварювання при низьких тисках у контрольованій атмосфері захисного газу та електронно-променевого зварювання. Встановлено, що застосування джерела гостросфокусованого лазерного випромінювання при зварюванні в атмосфері низького тиску дозволяє більш ніж у 3 рази підвищити швидкість процесу порівняно з електронно-променевим зварюванням рівним за потужністю тепловим джерелом.

**Ключові слова:** лазерне зварювання, низький тиск, контрольована атмосфера, електронно-променеве зварювання, проплаваюча здатність, швидкість зварювання.

**Abstract.** A comparative study of laser welding at low pressures in a controlled atmosphere of inert gas and electron beam welding. Established that the application source sharply focused laser welding in an atmosphere of low pressure, allowing more than 3 times the rate of the increase, compared with the electron-beam welding equal power heat source.

**Keywords:** laser welding, low blood pressure, controlled atmosphere, electron beam welding, penetration ability, welding speed.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Ионные потоки, лазерные и электронные пучки в большинстве случаев классифицируются как «лучи с высокой плотностью энергии (ЛВПЭ)» [3], наиболее важной особенностью сварки которых является глубокое проплавление. Это явление возникает благодаря наличию глубокого пароголового канала, который является результатом интенсивного плавления и испарения, обусловленных высокой плотностью энергии. Однако, по сравнению с глубинами проплавления, имеющими место при электронно-лучевой сварке (ЭЛС) в вакууме, при лазерной сварке в атмосферных условиях тяжело достичь таких же величин. Это связано с тем, что при лазерной сварке в атмосферных условиях возникает плазменный факел, создающий значительные помехи для глубокого проникновения сфокусированного лазерного излучения. Вспомогательный газ может легко подавить эту лазерную плазму, и таким образом увеличить глубину проплавления. Однако вспомогательный газ также влияет на форму и поведение канала проплавления. При низкой скорости поток вспомогательного газа оказывает благоприятный эффект на кристаллизацию жидкого металла сварочной ванны и формирование

сварного соединения, но слишком высокая скорость потока газа приводит к увеличению верхней части канала проплавления. Это вызывает нарушение воздействия сфокусированного пучка на стенки, и глубина образующегося пароголового канала снижается. Чтобы решить данную проблему и полностью подавить лазерную плазму, предложено окружить зону действия лазерного излучения на металл атмосферой низкого давления. Для этого экспериментальные исследования по лазерной сварке должны проводиться внутри вакуумной камеры, применяемой обычно для сварки электронным пучком.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Современные исследования в области сварочных процессов показывают, что альтернативой электронно-лучевой сварке металлов может выступать лазерная сварка (ЛС), проводимая в атмосфере низкого давления [4, 5]. Японские ученые установили, что со снижением степени вакуумирования глубина лазерного провара повышается [3]. По мнению немецких исследователей, достаточным для достижения максимальной глубины провара при лазерной сварке является давление до 100 Па [4].

Одним из примеров замены ЭЛС на лазерную является выполнение монтажной и ремонтной сварки в условиях космоса, при изготовлении конструкций из алюминиевых и титановых сплавов, а также из нержавеющей и конструкционных сталей. Для решения таких задач в ИЭС им. Е. О. Патона разработаны оборудование и технологии ручной ЭЛС [1]. Недостатком этой технологии является опасность возникновения рентгеновского излучения в зоне сварки, приводящая к необходимости разработки специальных способов защиты сварщика от него [2].

**ЦЕЛЬ СТАТЬИ** — провести сравнительные исследования проплавляющей способности электронного пучка и лазерного излучения малых мощностей при сварке металлов в условиях низкого давления.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

При проведении данной работы исследовались сравнительные возможности проплавления металлов электронным пучком и лазерным излучением. Последнее использовали для сварки как в атмосфере низкого давления ( $1 \dots 667$  Па), так и в защите аргона при давлении  $p=100,0 \dots 133,32$  кПа. Целью такого исследования являлось определение технологических перспектив замены ЭЛС на лазерную в контролируемой атмосфере низкого давления. Для достижения поставленной цели проводились эксперименты по ЭЛС образцов пластин толщиной  $\delta=3$  мм из нержавеющей стали X18H10T.

Экспериментально установлено, что при ЭЛС в вакууме  $13,32 \cdot 10^{-3}$  Па для достижения глубины провара порядка 1,5 мм при мощности излучения  $P=400$  Вт (ток электронного пучка 20 мА при ускоряющем напряжении около 21 кВ) скорость сварки должна быть  $V=2,78$  мм/с.

Для сравнения выполняли провары излучением иттербиевого волоконного лазера мощностью  $P=400$  Вт (длина волны 1,06 мкм, диаметр пятна в фокальной плоскости 40...50 мкм). Эксперименты проводили на установке, показанной на рис. 1. В качестве образцов использовали пластины из той же нержавеющей стали X18H10T ( $\delta=3$  мм), а также из низколегированной стали 09Г2С ( $\delta=10$  мм). При этом скорость сварки  $V$  составляла 3,33 и 10,0 мм/с соответственно. Полученные в вакууме и в защитной атмосфере аргона провары приведены на рис. 2 и 3.

Как видно из рис. 2 и 3, проведенная на указанных режимах лазерная сварка в вакууме позволяет достичь глубины проплавления до 1,6 мм на нержавеющей стали и до 2,0 мм на углеродистой. Эти показатели на 10...20% превышают глубины проваров, полученные в тех же материалах при использовании защитной атмосферы аргона.

Отметим, что снижение давления менее 133,32 Па не приводило к заметному увеличению глубины лазерного провара.

Таким образом, увеличение глубины провара, получаемого лазерным способом при низких давлениях, связано с улучшением разлета паров из образующегося под действием излучения парогазового

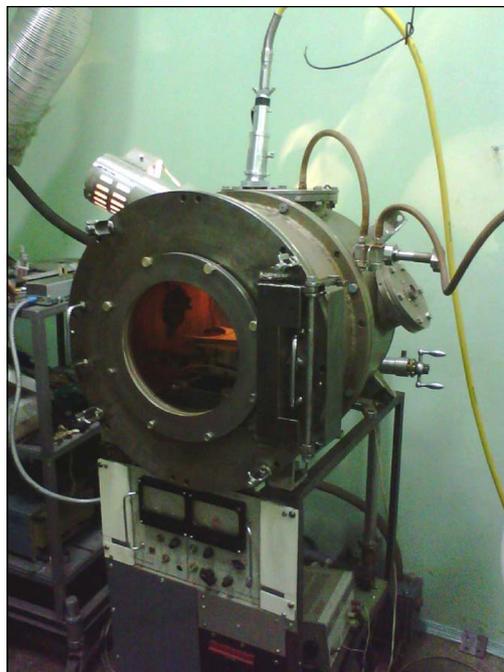


Рис. 1. Установка для проведения экспериментов по лазерной сварке в контролируемой атмосфере

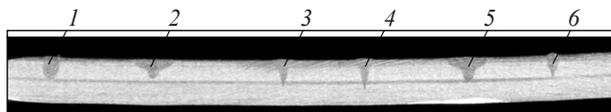


Рис. 2. Макроструктуры проваров в аустенитной нержавеющей стали X18H10T ( $\delta=3$  мм), выполненных излучением иттербиевого волоконного лазера ( $P=400$  Вт) при давлениях окружающей среды  $P=100,7$  кПа и скоростях сварки  $V=10,0$  мм/с — 1,  $V=3,33$  мм/с — 2, 5;  $P=1 \dots 133,32$  Па и скоростях  $V=10,0$  мм/с — 3, 4;  $P=667$  Па и скорости  $V=10,0$  мм/с — 6

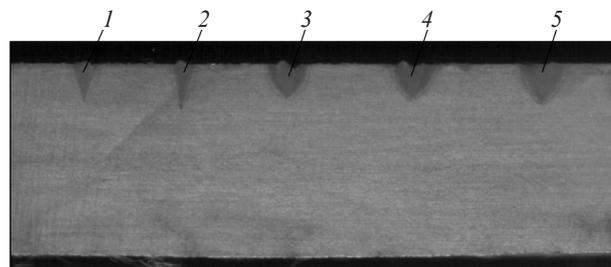


Рис. 3. Макроструктуры проваров в низколегированной стали 09Г2С ( $\delta=10$  мм), выполненных излучением иттербиевого волоконного лазера ( $P=400$  Вт) при различных давлениях окружающей среды  $P=100,7$  кПа и скоростях сварки  $V=10,0$  мм/с и  $V=3,33$  мм/с — 1, 3;  $P=667$  Па и  $V=10,0$  мм/с и  $V=3,33$  мм/с — 2, 4;  $P=1 \dots 133,32$  Па и  $V=3,33$  мм/с — 5

канала. В этом случае наблюдается также значительное (на 30...50%, а иногда и в ~2 раза) сужение сварных швов. По своей форме провары, выполненные лазерным способом в вакууме, приближаются к форме проваров, выполненных электронно-лучевым способом. Провары, полученные лазерным способом в защитной атмосфере аргона, имеют более явно выраженную грибообразную форму (см. рис. 2), характерную для обычной лазерной сварки в защитных газах.

### ВЫВОДЫ

На основании выполненной работы можно сделать вывод о том, что лазерная сварка в атмосфере низкого (до 667 Па) давления позволяет более чем в 3 раза повышать скорость процесса по сравнению с электронно-лучевой сваркой при равной мощности источников энергии. При этом дополнительным преимуществом лазерной сварки является возможность варить магнитные материалы без необходимости их размагничивания.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Патон, Б. Е.** Формирование пучков электронов для технологических и исследовательских работ в космосе [Текст] / Б. Е. Патон, О. К. Назаренко [и др.] // Космические исследования на Украине. — К. : Наукова думка, 1975. — Вып. 6. — С. 3–7.
- [2] **Назаренко, О. К.** Электронно-лучевая сварка [Текст] / О. К. Назаренко, А. А. Кайдалов, С. Н. Ковбасенко [и др.] ; под ред. Б. Е. Патона. — К. : Наук. думка, 1987. — 255 с.
- [3] **Arata, Y.** Fundamental Phenomena in High Power CO<sub>2</sub>-Laser (Report II) [Text] / Y. Arata, N. Abe, T. Oda // Transaction of JWRI. — 1985. — Vol. 14, №2. — p. 17–22.
- [4] **Reisgen, U.** Hochleistungs-Laserstrahl-schweißen von Dickblechen im Feinvakuum — Eine Alternative zum Elektronenstrahlschweißen [Text] / U. Reisgen, S. Olschok, S. Jakobs, S. Longerich // Schweißen und Schneiden. — 2011. — 63, Heft 9. — p. 522–527.
- [5] **Reisgen, U.** Laserstrahlschweißen unter Vakuum — Ein Vergleich mit dem Elektronenstrahlschweißen [Text] / U. Reisgen, S. Olschok, S. Longerich // Schweißen und Schneiden. — 2010. — 62, Heft 4. — p. 208–216.

© Колектив авторів

Надійшла до редколегії 21.11.2012

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК  
д-р техн. наук, проф. *В. Ф. Квасницький*

Статтю розміщено у Віснику НУК №5, 2012