

Бабко А. П., Муравьев В. И.
A. P. Babko, V. I. Muravyev

ЗАВИСИМОСТЬ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРНОГО ШВА ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА

DEPENDENCE OF LASER WELDING INPUT PARAMETERS EQUIPMENT AND QUALITY OF PERFORMANCE OF TITANIUM ALLOY WELD

Бабко Александр Павлович – магистрант Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: mim@knastu.ru.

Alexander P. Babko – Master's Degree Student, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin str., 27. E-mail: mim@knastu.ru.

Муравьев Василий Илларионович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник управления научно-исследовательской деятельностью Комсомольского-на-Амуре государственного университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, Хабаровский край, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: vmuravyev@mail.ru.

Vasily I. Muravyev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Research Department, Komsomolsk-na-Amure State University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Khabarovsk Territory, Komsomolsk-on-Amur, Lenin str., 27. E-mail: vmuravyev@mail.ru.

Аннотация. Рассмотрена зависимость таких параметров, как скорость сварки, мощность лазерного излучения, фокусное расстояние и подача защитного газа, при выполнении сварного шва из титанового сплава с помощью лазерного сварочного оборудования.

Summary. The dependence of such parameters as welding speed, laser radiation power, focal length and shielding gas supply when performing a weld from a titanium alloy using laser welding equipment is considered.

Ключевые слова: лазерная сварка, титановые сплавы, режимы сварки, качество шва.

Key words: laser welding, titanium alloys, welding modes, seam quality.

УДК 621.791.032

Введение. На стадии проведения первичных исследований по получению сварных швов из титановых сплавов ВТ20 и ОТ4 при помощи оптоволоконного лазера IPG возникли значительные трудности, так как по известным литературным источникам зачастую были представлены входные параметры по методике Григорьянца и Патона, согласно табл. 1 [1; 2].

Особенности их входных параметров заключаются в том, что они применимы больше для твердотельных лазеров импульсного действия первого и второго поколения, в основе которых применялись элементы рубина и алюмоиттриевого граната [1; 3].

Одной из проблем применения таких параметров стала невозможность выдачи оборудованием такого потока мощности (максимальная мощность лазера IPG 2073 Вт), а при понижении параметров с сохранением зависимости образовывались сварные швы с наличием неполного проплавления.

Нехватка информационной базы по оптоволоконному лазеру, который относится к новому перспективному направлению лазеров постоянного действия, вызвала необходимость подбора входных параметров: скорости сварки, мощности, фокуса и подачи защитного газа [3].

Скорость лазерной сварки, как выяснилось, влияет на сварной шов так же, как и в классической сварке: при больших скоростях ширина сварного шва достаточно низкая ($v = 55$ м/ч;

$S = 2,0...2,5$ мм), а при малых скоростях ширина возрастала от 4,0 мм и более ($v = 28,8$ м/ч; $S = 3,6...3,9$ мм). Сварка при постоянной мощности и фокусе (экспериментальная мощность 1200 Вт, фокус 235 мм) может приводить как к поверхностному свариванию с неполным сплавлением кромок ($v = 50...65$ м/ч), так и к полному проплавлению и высоким деформациям ($v = 18...24$ м/ч), где при скорости уже $v = 16...20$ м/ч возникали провалы и прожоги через 10...15 мм после начала прохождения сварного шва.

Следующим параметром являлась мощность. При значениях скорости 28,8 м/ч и фокусного расстояния 235 мм получались швы как с неполным проплавлением (при мощности 900 Вт), так и с полным сплавлением и малозначительными деформациями из-за долгого сохранения жидкой фазы (при мощности 1350 Вт). Причиной сохранения жидкой фазы является особенность титана – низкая теплопроводность. Габаритные размеры сварного шва также изменялись в зависимости мощности: ширина валика росла с повышением мощности лазерного излучения.

Таблица 1

Оптимальные параметры при сваривании образцов титана

S , мм	P , Вт	$V_{св}$, м/ч	F , мм
Образец ВТ6 – Методика Григорьянц (твёрдотельный лазер) [1]			
3	3000	80	300
2	2000	80	300
Образец ВТ22 – Методика Патона (твёрдотельный лазер) [3]			
5	4200	30	300
Образец ТiBAl4V – Методика сварки дисковым лазером (Triumph) [5]			
2	1000	48	200
	1000	54	
	600	30	
Образец ВТ20 – Собственная методика (оптоволокно IPG) [4]			
2	1230	28,8	235
	1300	28,8	235
	475	28,8	250

Третьим параметром, оказывающим непосредственное влияние на качество шва, является фокусное расстояние, с помощью которого на $F = 250$ мм при меньшей приложенной мощности и скорости ($P = 475$ Вт; $v = 18$ м/ч) можно было создать такой же качественный шов, как и при $F = 235$ мм ($P = 1250$ Вт; $v = 30$ м/ч) [4].

На этих параметрах режима швы либо имели удовлетворительное качество, либо такие дефекты, как прожоги, провалы сварного шва из-за продолжительного сохранения жидкой фазы, горячие трещины, непровары.

Дефекты при нехватке подачи защитного газа возникали гораздо чаще, так как титан достаточно критичен к повышению температур выше 450...500 °С, поглощая вредные примеси и увеличивая вероятность образования холодных трещин и пор [4].

Защитный газ предполагалось подавать в соответствии с авиационным стандартом ПИ 1.4.1898-2003 (на $S = 2$ мм на лицевую – 12...14 л/мин, корневую – 7...9 л/мин), но удовлетворительных результатов не было, так как отсутствовала хорошая защита. Удовлетворительный обратный корневой шов получался при подаче аргона в количестве 10 л/мин и выше. При меньших показателях – отсутствие блеска сварного шва (вместо этого образование матовой поверхности) и растрескивание через 2...3 мин после прекращения сварки. На лицевом шве зависимость не находилась, так как даже по авиационному стандарту на лицевой шов подача газа в 1,4...1,5 раза больше, чем на корневой, поэтому качество лицевой поверхности было аналогично обратной.

Также большую пользу в работе оказала статья, где в качестве сварочного лазерного оборудования приводился дисковый лазер непрерывного действия, по исполнению схожий с оптоволоконным лазером [5].

Вывод. Рассмотрев 4 главных параметра, влияющих на качество сварного шва, выявили дефекты и способы их получения. Для их недопущения необходимо выдерживать оптимальные значения, которые в данном случае строились на серии опытов и приближённых работах источников со схожей механикой работы и получением сварных швов из титанового сплава.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьянц, А. Г. Лазерная сварка металлов: пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов. – М.: Высшая школа, 1988. – 207 с.
2. Лазерная сварка титановых сплавов / Б. Е. Патон [и др.] // Автоматическая сварка. Производственный раздел. – 2009. – № 10. – С. 35-39.
3. Катаяма, С. Мир физики и техники / С. Катаяма, Н. Л. Истомина. – М.: Техносфера, 2015. – 697 с.
4. Бабко, А. П. Исследование процесса роботизированной лазерной сварки элементов трубопроводных систем из титановых сплавов летательных аппаратов: выпускная квалификационная работа / Бабко А. П. – Комсомольск-на-Амуре, 2019. – 97 с.
5. Lisiecki, A. Welding of titanium alloy by different types of lasers / A. Lisiecki // Archives of Materials Science and Engineering. Volume 58. – 2012. – P. 209-218.