

**УДК 621.791.725**

## **ПРИМЕНЕНИЕ РАЗЛИЧНОГО ТИПА СВАРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ И РАЗДЕЛКИ КРОМОК ПРИ ГИБРИДНОЙ ЛАЗЕРНО-ДУГОВОЙ СВАРКЕ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ТОЛЩИНОЙ 16 ММ**

Александр Андреевич Васильев <sup>(1)</sup>

*Аспирант 3 курса <sup>(1)</sup>,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет*

*Научный руководитель: И.Н. Шиганов  
доктор технических наук, профессор кафедры «Лазерные технологии в машиностроении»*

Гибридная лазерно-дуговая сварка в настоящее время является перспективным способом сварки сталей больших толщин [1], которая включает в себя основные преимущества дуговой и лазерной сварки, такие как увеличение толщины металла свариваемой за один проход, возможность сварки при сборке с зазором, обеспечение требуемых механических свойств на сварных стыковых соединениях из низколегированных сталей.

Оптимальное совмещение двух источников определяется целым рядом факторов, которые должны обеспечить как синергетический эффект увеличения проплавления, так и качество получаемых соединений [2]. Помимо режимов сварки важным является расположение дугового и лазерного источников друг относительно друга, оказывающее существенное влияние на производительность и качество сварки.

Применение разделки кромок пластин со скосом [1] за счет уменьшения проплавления толщины металла позволяет уменьшить требуемую мощность лазерного излучения, либо увеличить скорость сварки. Использование разделки кромок, а также порошковой проволоки за счет увеличения плотности тока предположительно должно способствовать улучшению свойства шва.

Целью данной работы являлось определение оптимальных параметров гибридной лазерно-дуговой сварки низкоуглеродистых низколегированных сталей толщиной 16 мм, в том числе взаимного расположения источников, разделки кромок и выбора сварочных материалов.

Технологические работы проводили на роботизированном стенде с волоконным лазером производства ООО НТО "ИРЭ-Полус" с выходной мощностью излучения до 10 кВт, сварочным инвертером Fronius TPS5000. Сваривались стыковые соединения пластин из стали 09Г2С и 10Г2ФБЮ толщиной 16 мм. Защита сварочной ванны производилась сварочной смесью. Излучение волоконного лазера фокусировали в пятно 250 мкм оптической сварочной головкой IPG FLW D50.

Гибридная лазерно-дуговая сварка реализовывалась совмещением в единую сварочную ванну лазерного луча волоконного лазера и сварочной дуги плавящегося электрода. Сварные швы со стабильным формированием усиления с лицевой стороны шва и обратного валика получены на скорости сварки до 1,2 м/мин при максимальной мощности лазерного излучения 10 кВт. Положение сварочной дуги впереди лазерного луча и под углом 10-15° от нормали к поверхности пластины устранило появление капель в корневой части шва за счет уменьшения объема сварочной ванны.

На стыковых соединениях пластин 09Г2С исследовали гибридную лазерную сварку с разделкой без скоса и со скосом кромок, выбранные оптимальные режимы представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оптимальные режимы гибридной лазерно-дуговой сварки со сплошной проволокой стыковых соединений из стали 09Г2С толщиной 16 мм

№ шва	Тип разделки	$V_{св}$	$P_{л}$	$I$	$U$	Погонная энергия		
						$Q_L$	$Q_A$	$Q_H$
		м/мин	кВт	А	В	кДж/м	кДж/м	кДж/м
1	Без скоса	0,9	10,0	351	29,6	467	554	<b>1021</b>
2	Со скосом	0,9	7,0	404	28,6	327	616	<b>943</b>

Применение разделки со скосом кромок глубиной 4 мм и углом  $30^\circ$  (25% от свариваемой толщины) снизило погонную энергию сварки  $Q_H$  и долю участия в процессе лазерного излучения  $Q_L$  на 30%. Без скоса кромок соотношение погонных энергий лазерного луча  $Q_L$  и сварочной дуги  $Q_A$  составило 40 к 60 %, что соответствует ранее полученным результатам по гибридной лазерной сварке низколегированной стали толщин 8 и 12 мм [3].

Исследование структуры и свойств сварных соединений из стали 09Г2С с разделкой без скоса и со скосом, показало их близкий структурно-фазовый состав, однако применение разделки со скосом кромок способствует получению высоких показателей сопротивления хрупкому разрушению соответствующих нормативной документации (при  $-52^\circ\text{C}$  больше 27 Дж/см<sup>2</sup>).

На пластинах из высокопрочной трубной стали марки 10Г2ФБЮ с использованием разделки со скосом кромок проведен эксперимент по подбору режимов с использованием проволоки сплошного сечения и порошковой проволоки, выбранные оптимальные режимы представлены в таблице 2.

Таблица 2. Оптимальные режимы гибридной лазерно-дуговой сварки стыковых соединений из стали 10Г2ФБЮ толщиной 16 мм с разделкой со скосом кромок

№ шва	Марка проволоки	$V_{св}$	$P_{л}$	$I$	$U$	Погонная энергия			$S_{ш}$
						$Q_L$	$Q_A$	$Q_H$	
		м/мин	кВт	А	В	кДж/м	кДж/м	кДж/м	мм <sup>2</sup>
3	PITARC G9	0,9	7,0	404	28,6	327	616	<b>943</b>	<b>71</b>
4	ИТС POWER PIPE	1,2	9,0	380	33,7	315	512	<b>827</b>	<b>64</b>

Применение порошковой проволоки в гибридном лазерном процессе на стали 10Г2ФБЮ способствует уменьшению общей погонной энергии  $Q_H$  на 12%, что отражается на снижении площади проплавления  $S_{ш}$  на 10%.

Использование порошковой проволоки на стыковых соединениях из стали 10Г2ФБЮ обеспечило получение требуемых значений ударной вязкости при  $-52^\circ\text{C}$  в интервале от 70 до 116 Дж/см<sup>2</sup>, причем в ЗТВ получены большие значения.

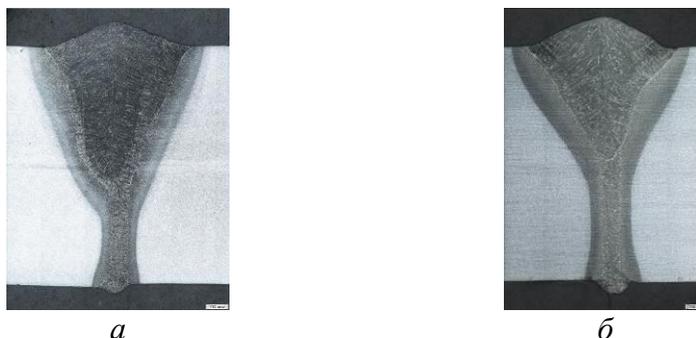


Рисунок 1. Макрошлифы сварных швов на пластинах 16 мм со скосом кромок из стали марки: а) 09Г2С и сплошной проволокой; б) 10Г2ФБЮ и порошковой проволокой

## Литература

1. Катаяма С. Справочник по сварке // Из-во Техносфера. – 2015. – 680 с.

2. Bunaziv I., Dørum C., Nielsen S. E., Suikkanen P., Ren X., Nyhus B., Eriksson M., Akselsen O. M. Laser-arc hybrid welding of 12- and 15-mm thick structural steel // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2020

3. *Васильев А.А., Осинников А.А., Горский А.И., Мурзаков М.А., Грезев Н.В., Пономаренко Д.В., Шиганов И.Н.* Влияние погонной энергии гибридной лазерно-дуговой сварки на свойства сварных швов из низколегированной стали // Сварочное производство. – № 4. – 2022. – С.20-26.