

- сокращено операционное время пайки узла;
- упрощён процесс сборки узла.

С целью отработки технологического процесса для данной конструкции были изготовлены образцы, имитирующие паяное соединение. На данных образцах-имитаторах исследовалось влияние режимов пайки в печи на её качество.

Качество пайки оценивалось на основе данных металлографического исследования в поперечном сечении паяного шва. Было обнаружено наличие дефектов в паяном шве в виде пор. Количество пор и их размеры различны для каждого образца, что указывает на зависимость от режимов пайки и требует дальнейшей отработки технологии

для получения оптимального по качеству соединения.

После получения положительных результатов необходимо испытание в составе опытного изделия и внедрение технологической документации в производство.

#### Библиографический список

1. Калиниченко Н.П., Викторова М.О. Атлас дефектов паяных соединений: учебное пособие. / Томский политехн. ун-т. – Томск: Изд-во ТМУ, 2012. 55 с.
2. Петрунин И.Е., Маркова И.Ю., Екатова А.С. Металловедение пайки. – М.: Металлургия, 1976. 142 с.
3. Федоров В.Б., Шоршоров М.Х., Хакимова Д.К. Углерод и его взаимодействие с металлами. – М.: Металлургия, 1978. 172 с.

УДК 621.791.725; 621.431.75; 669.018.44

### ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ CO<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА НА СТРУКТУРУ СВАРНОГО ШВА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ГТД

© 2016 Д.А. Баранов<sup>1,2</sup>, В.Г. Климов<sup>1,2</sup>, А.А. Паркин<sup>2</sup>, С.С. Жаткин<sup>2</sup>, А.С. Попов<sup>1</sup>, Е.Ю. Щедрин<sup>1</sup>, И.А. Дяговцов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Публичное акционерное общество «Кузнецов», г. Самара  
<sup>2</sup>Самарский государственный технический университет

### FEATURES OF CO<sub>2</sub>-LASER INFLUENCE ON THE WELD STRUCTURE AT LASER WELDING OF HEAT-RESISTANT ALLOY USED IN PRODUCTION OF PARTS AND COMPONENTS OF GAS-TURBINE ENGINE

Baranov D.A., Klimov V.G., Popov A.S., Shedrin E.Yu., Djagovtsov I.A.  
 (JSC «Kuznetsov», Samara, Russian Federation)

Parkin A.A., Zhatkin S.S. (Samara State Technical University, Samara, Russian Federation)

*The process of heat-resistant alloy laser welding used in production of gas turbine engines by means of electron microscopy analysis of the weld structure.*

Газотурбинные двигатели (ГТД) при своей эксплуатации подвергаются длительным воздействиям вибрационных нагрузок, высоких температур (до 900 - 1100°C) и агрессивных сред [1, 2]. Это обуславливает применение в их конструкции до 40 – 50 % жаропрочных сплавов. Наиболее высокие требования при изготовлении ряда узлов ГТД предъявляются к сварным соединениям, обеспечение которых является сложной задачей, так как с повышением жаропрочности материалов наблюдается снижение

сопротивляемости образованию трещин при сварке и последующей термообработке.

Повышение качества сварных швов жаропрочных сплавов возможно за счёт сокращения времени высокотемпературного нагрева путём снижения погонной энергии. Одним из способов получения качественного сварного соединения жаропрочных сплавов является применение лазерной сварки. Лазерная сварка обладает рядом существенных преимуществ перед традиционными видами сварки: высокая концентрация энергии, небольшой объём сварочной ванны,

малая ширина зоны термического влияния, высокие скорости нагрева и охлаждения. Эти факторы обеспечивают высокую технологическую прочность сварных соединений и существенное понижение величины деформаций сварных конструкций.

В данной работе рассматривается процесс сварки образцов из тонколистового жаропрочного сплава ХН68ВМТЮК-ВД (ЭП693-ИД) на хромоникелевой основе, используемого в производстве ГТД, встык без разделки кромок в стапеле с медной подложкой с непрерывной подачей присадочной проволоки св. 06X15H60M15 в ванну расплава. Сварка проводилась на лазерном  $CO_2$ -комплексе *TruLaserCELL 7020* с импульсно-периодическим излучением в среде гелия. После сварки часть образцов была подвержена последующей термической обработке: закалка + старение с охлаждением на воздухе.

С помощью электронной микроскопии проведён анализ формирования структуры и процесса кристаллизации сварного шва при сварке  $CO_2$ -лазером с непрерывной подачей присадочной проволоки св.06X15H60M15 (ЭП 367) в ванну расплава.

В процессе кристаллизации рост дендритов происходит в направлении края сварного шва (СШ) перпендикулярно теплоотводящей поверхности, а также от зоны сплавления к центру сварного шва, где образовался паровой канал. Интенсивный отвод тепла в основной металл (ОМ) сокращает размеры зоны термического влияния (ЗТВ) и формирует мелкодендритную структуру литой зоны сварного шва за счёт высоких скоростей сварки.

После термообработки в зоне термического влияния наблюдается образование глобулярных зёрен, предположительно, аустенитной фазы, которые не наблюдались после сварки до термообработки (рис. 1). Применяемая обычно после сварки гетерогенных дисперсионно-упрочняемых сплавов термообработка (закалка с последующим старением) привела к частичному растворению и последующему росту зёрен, вытянутых и направленных аналогично дендритной структуре, полученной после сварки.

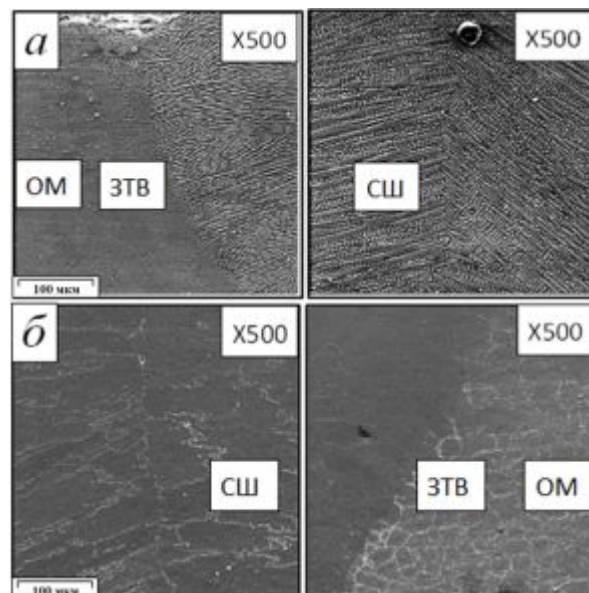


Рис. 1. Микроструктура сварного шва стыкового соединения с использованием непрерывной подачи присадочной проволоки в ванну расплава до (а) и после (б) термообработки

Таким образом, установлено, что процесс сварки лучом импульсно-периодического  $CO_2$ -лазера характеризуется образованием зон термического влияния размерами существенно меньше ширины сварного шва. При этом не наблюдается укрупнение зерна основного металла.

Термическая обработка в виде закалки с последующим старением стабилизирует структуру жаропрочного сплава, представляющую собой ГЦК-решётку, содержащую карбиды и интерметаллидную  $\gamma'$ -фазу, что приводит к увеличению объёмного содержания  $\gamma'$ -фазы, прочность которой возрастает с ростом температуры, а её наследственная пластичность препятствует охрупчиванию сплава.

#### Библиографический список

1. Сорокин Л.И. Свариваемость жаропрочных сплавов, применяемых в авиационных газотурбинных двигателях // Сварочное производство. 1997. №4. 21с.
2. Климов В.Г., Жаткин С.С., Щедрин Е.Ю., Когтева А.В. Особенности восстановления геометрии пера газотурбинного двигателя методом лазерной порошковой наплавки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 2-4. С. 782-788.