



У ДК 621.791.62-135

ЭЛС КОРПУСА ПЛАМЕННОЙ ТРУБЫ СТАЦИОНАРНОЙ ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ

В. И. ЗАГОРНИКОВ, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Описаны технологические приемы сборки, сварки и особенности получения работоспособного узла — блока обечаек для выходного контура камеры сгорания газовой турбины. Показано преимущество применения электронно-лучевой сварки при изготовлении изделий из жаропрочного сплава 04ХН60ВТ на никелевой основе перед аргонодуговой и ручной дуговой сваркой.

Ключевые слова: электронно-лучевая сварка, никелевый сплав, пламенная труба, микроструктура, горячие трещины

Сварные корпуса пламенных труб газовых турбин работают в условиях постоянной вибрации и циклического изменения высоких температур (300...900 °С), что обуславливает жесткие требования к качеству их сварных соединений.

Получение надежных сварных соединений из жаропрочных сплавов на никелевой основе сопряжено с серьезными трудностями. Они прежде всего связаны с возможностью появления трещин в околошовной зоне (ОШЗ) при сварке, термической обработке и высокотемпературной эксплуатации [1–10].

С точки зрения повышения надежности стационарных газовых турбин представляется перспективным применение ЭЛС при изготовлении отдельных узлов. Однако работа в этом направлении находится еще в начальной стадии, поэтому с уверенностью сказать о целесообразности использования этого способа сварки пока нельзя. Применение ЭЛС не всегда обеспечивает бездефектность сварных соединений из жаропрочных никелевых сплавов и требует развития исследований в этом направлении, однако трудности, возникающие при ЭЛС, могут быть преодолены с меньшими затратами [2, 3, 5], чем при дуговой сварке. Благоприятный термомеханический цикл ЭЛС дает возможность избежать традиционных для дуговой сварки кристаллизационных трещин в ОШЗ за счет малого удельного тепловложения и, как следствие, снижения интенсивности внутренней высокотемпературной деформации. Кроме того, высокие скорости нагрева и охлаждения выше точки A_3 ограничивают рост зерна в шве и ОШЗ. Тем самым повышается стойкость сварных соединений против образования горячих трещин, имеющих межзеренный характер [1].

Можно предположить, что при условии соблюдения правил проектирования и изготовления сварных узлов, исключающих в изделии конструктивные и технологические концентраторы напряжений, ЭЛС позволит избежать проведения послесвароч-

ной термообработки. Опыт ЭЛС таких изделий на предприятии Энергомаша не дал положительных результатов, в большинстве случаев они имели горячие трещины по линии сплавления.

Первые эксперименты, проведенные в ИЭС им. Е. О. Патона по применению ЭЛС для сварки швов на блоках обечаек (рис. 1), показали, что этот процесс может существенно уменьшить остаточные деформации конструкции после сварки. При разработке технологии принимали во внимание рекомендации авторов [2, 3, 7, 10], выяснявших факторы, влияющие на образование и развитие трещин при ЭЛС жаропрочных никелевых сплавов, и способы уменьшения трещин за счет изменения режимов сварки [2, 3].

Рассмотрена технология ЭЛС корпуса трубы, состоящей из блока перфорированных обечаек сложного профиля толщиной $\delta = 1,5$ мм из сплава 04ХН60ВТ. Химический состав сплава следующий, мас. %: 0,04...0,05 С; 0,23...0,34 Мп; 0,22...0,34 Si; <0,013 P; <0,013 S; 24,7...25,4 Cr; <0,01 Cu; 0,07...0,25 Al; 0,34...0,47 Ti; <0,05 Ca; 13,2...13,9 W; 0,02...0,06 Mo; 0,23...0,42 Fe; Ni — основа.

Конструктивно сварка должна обеспечить герметичное соединение заготовок-обечаек в блок нахлесточными швами (10 штук на блок обечаек).

Сварочные операции проводили на установке УЛ-101, оснащенной источником питания ЭЛА 60/60, вакуумной системой, системой наблюдения РАСТР-5М, компьютеризированной системой управления механизмами перемещения изделия и сварочного пучка. Электронно-лучевую пушку на рабочем расстоянии $L_p = 140$ мм выставляли под углом $22,5^\circ$ от вертикали (рис. 2).



Рис. 1. Внешний вид сварного изделия

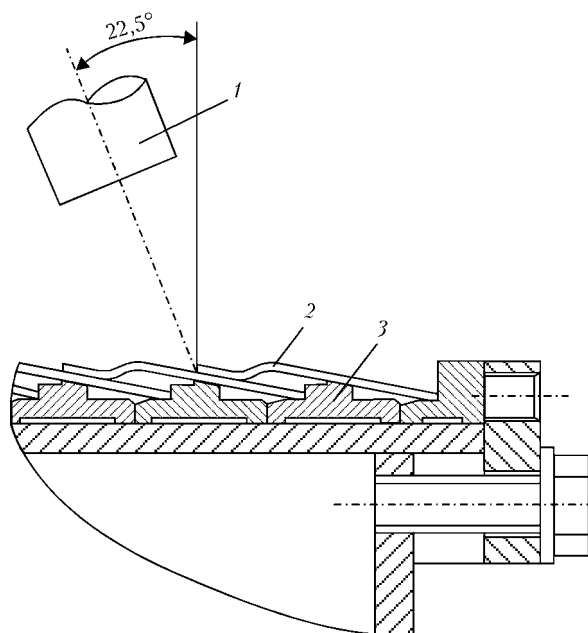


Рис. 2. Схема выполнения сварки блока обечаек: 1 — электронно-лучевая пушка; 2 — блок обечаек; 3 — сборочно-сварочное приспособление

© В. И. Загорников, 2004

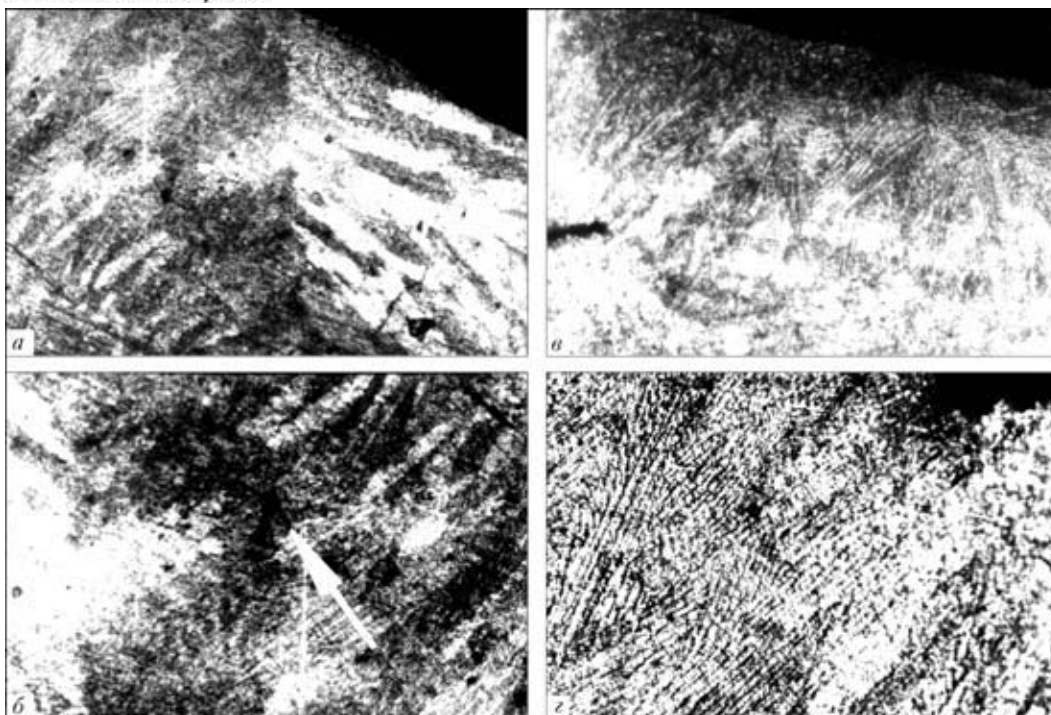


Рис. 3. Микроструктура металла шва (v, z) и ОШЗ (a, б): а – режим № 1; б – режим № 3; в, z – режим № 2 (a, в – $\times 100$, б, z – $\times 150$)

Последовательность операций и параметры режима ЭЛС опытного соединения сплава 04ХН60ВТ

Наименование операции	Параметры режима ЭЛС		Макрошлифы	
	$I_{св}$, мА	$I_{ф}$, мА		
Режим № 1				
Выполнение прихваток длиной 30 мм, 4 шт. по окружности	13	780		
Выполнение сварки по всей длине $L = \pi D + 50$ мм	17	810		
Косметическое заглаживание шва	19	808		
Режим № 2				
Выполнение прихваток длиной 30...60 мм, 8 шт.	13	800		
Выполнение сварки	1	15		805
	2	15		814
Косметическое заглаживание шва	19	800		
Режим № 3 (ремонтный, при зазорах $>0,15$ мм)				
Выполнение прихваток длиной 30...60 мм по зазору $\geq 1,5$ мм, внахлестку по всей длине	15	800		
Выполнение сварки	1	17		810
	2	19		808
Косметическое заглаживание шва	19	816		
	18	820		

Сборочно-сварочное приспособление обеспечивало точность установки обечаск и их стягивание в блок, а после ЭЛС быстрое снятие изделия. Собранный под сварку изделие устанавливали на вращателе с горизонтальной осью вращения. При выполнении сварки в нижнем положении получено равномерное оплавление верхней и нижней кромок кольцевого соединения. Тем самым увеличена допустимая неточность совмещения электронного пучка со стыком свариваемых кромок при изменении в нем зазоров и при локальных тепловых деформациях (после постановки дополнительных прихваток).

Качество и внешний вид швов улучшены путем предварительной очистки поверхности стыков развернутым по кругу ($\varnothing \approx 6\delta$) электронным пучком и последующей косметической обработки сварного шва расфокусированным пучком. Перед сваркой изделий были изготовлены поперечные макрошлифы из опытного сварного соединения, которые позволили выбрать необходимый для получения требуемой формы проплавления шва диапазон параметров режимов ЭЛС (таблица). Скорость сварки была постоянной ($v_{св} = 9$ мм/с).



Прихватки располагали по периметру стыка диаметрально противоположно. Обычно их накладывали 4 шт., но с увеличением зазора в стыках — до 8 и более. Общая длина прихваток 30...60 мм, ввод-вывод тока сварки — на длине 5 мм. В случае больших зазоров выполняли повторные проходы на повышенных (на 10...15 %) токах сварки, но без сквозного проплавления стенки обечайки.

Столь значительные для ЭЛС зазоры (до 1,5 мм) при сборке обечаек в блок объясняются тем, что по условиям существующей технологии изготовления обечаек изготовитель не может обеспечить воспроизводимость диаметра обечайки, на которой выполняется кольцевой шов.

После выполнения косметического прохода литая зона шва с лицевой стороны несколько расширилась (до 6 мм). Применение повторных проходов для заполнения зазоров и косметическая обработка шва (устранение поверхностных концентраторов напряжения) приводит к увеличению размера зерна аустенита (рис. 3), однако зарождение трещин на стыке трех зерен наблюдали только после 3...4 проходов кольцевых нахлесточных соединений обечаек с превышением зазора свыше 0,15 мм.

После неоднократных проходов в процессе заварки стыков обечаек с зазорами, превышающими допустимые (таблица, режим № 3), возможно появление зародышей трещин на границе шов — основной металл (рис. 3, б). Длительность всех операций сварки блока обечаек 2...3 ч, при этом сборка-разборка 0,5...1 ч. Качество швов и производительность процесса ЭЛС выше, чем при других способах сварки плавлением, применявшихся ранее.

Выводы

1. Использование ЭЛС для сплава марки 04ХН60ВТ, размер зерна которого оказывает сильное влияние на процессы образования трещин, является наиболее оптимальным.

2. Применение ЭЛС позволяет получить минимальный размер зерна в металле ОШЗ с незначительным выделением примесей и эвтектик по границам зерен.

Welding and assembly techniques, as well as peculiarities of manufacturing a serviceable unit, i.e. block of shells for output circuit of a gas turbine combustion chamber, are described. Advantages of electron beam welding used to manufacture parts of heat-resistant nickel-base alloy 04KhN60VT over argon-arc and manual arc welding are shown.

Поступила в редакцию 03.06.2003

УДК 621.791.75.042-492

ПОРОШКОВЫЕ ПРОВОЛОКИ ДЛЯ СВАРКИ И ЗАВАРКИ ДЕФЕКТОВ ЛИТЬЯ СТАЛИ 110Г13Л

Л. Н. ОРЛОВ, канд. техн. наук, А. А. ГОЛЯКЕВИЧ, инж. (ООО «ТМ. ВЕЛТЕК», г. Киев),
Д. П. НОВИКОВА, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины),
В. Н. ПЕЛЕНКО, В. В. СИМОНЕНКО, инженеры (Криворож. центральный рудный завод)

Отмечена неудовлетворительная свариваемость стали 110Г13Л, усугубляемая ростом тепловложения. Описаны разработанные в различное время электроды для сварки стали Гадфильда и ее разнородных соединений. Дана характеристика разработанных ТМ.Велтек порошковых проволок Велтек-Н200у и Велтек-210у применительно к заварке литья стали 110Г13Л и сварке разнородных соединений этой стали со сталью 20ГСЛ.

Ключевые слова: дуговая сварка, сталь Гадфильда, разнородные соединения, свариваемость, порошковые проволоки

Высокомарганцовистая сталь 110Г13Л, благодаря высокой способности к деформационному упрочнению марганцовистого аустенита [1, 2], находит широкое применение для изготовления изделий, работающих под воздействием ударных, ударно-абразивных нагрузок и высоких удельных статических давлений. Сталь 110Г13Л обладает плохой свариваемостью в связи с развитием процессов разупрочнения, охрупчивания и образования горячих трещин в металле ЗТВ под влиянием термического

цикла сварки. При этом наблюдается перераспределение легирующих элементов в зоне сплавления, формирование хрупких прослоек и трансформация структуры металла ЗТВ, выпадение карбидов и легкоплавких эвтектик по границам зерен. Превышение оптимальных значений тепловложения приводит к увеличению толщины разупрочненного слоя металла ЗТВ, что создает трудности при заварке литейных дефектов, наплавке изношенных поверхностей и сварке соединений из разнородных сталей (110Г13Л + 35ГЛ, 110Г13Л + 20ГСЛ). При определенных концентрациях углерода и марганца особенности протекания диффузионных процессов в высокомарганцовистых сталях проявляются в нестабильности аустенита, выпадении по гра-

1. Землин В. Н. Жаропрочность сварных соединений. — Л.: Машиностроение, 1972. — 272 с.
2. Морочко В. П., Зорин Н. Я. Характер и причины образования трещин при однопроходной электронно-лучевой сварке никелевых сплавов // V Всесоюз. конф. по электронно-лучевой сварке, 1977. — С. 66–75.
3. Морочко В. П., Федоров Б. М., Андреев В. Д. Сопоставление лазерной, электронно-лучевой и аргодуговой сварки жаропрочного никелевого сплава ХН68ВМТЮК // Свароч. пр-во. — 1985. — С. 13–16.
4. Superalloys II / Ch. T. Sims et al. — John Wiley @ Sons, 1987. — 615 p.
5. Anik S., Dorn L. Metallphysikalische Vorgaenge beim Schweißen von Nickelwerkstoffen- Einfluss der Werkstoffzusammensetzung // Schweissen und Schneiden. — 1983. — № 9. — P. 445–450.
6. Некоторые закономерности образования горячих трещин при сварке литых жаропрочных никелевых сплавов / В. С. Савченко, К. А. Ющенко, Н. И. Саволой, Ю. Д. Панфилов // Автомат. сварка. — 1993. — № 3. — С. 13–16.
7. Савченко В. С., Ющенко К. А., Саволой Н. И. Влияние скорости деформации на склонность стабильноаустенитных швов к образованию горячих трещин в низкотемпературном интервале хрупкости // Там же. — 1987. — № 10. — С. 9–12.
8. Стойкость сварных соединений жаропрочного никелевого сплава типа хастеллой Н против образования горячих трещин / К. А. Ющенко, В. Н. Липодаев, М. В. Бельчук и др. // Там же. — 1986. — № 9. — С. 10–12.
9. Квасницкий В. Ф. Сварка и пайка жаропрочных сплавов в судостроении // Там же. — 1985. — № 10. — С. 26–30.
10. Сливинский А. А., Файт П. Структура и свойства сварных соединений жаропрочного сплава на основе никеля // Там же. — 2003. — № 5. — С. 7–13.

© Л. Н. Орлов, А. А. Голякевич, Д. П. Новикова, В. Н. Пеленко, В. В. Симоненко, 2004