

## ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СПЭ ДЛЯ СВАРКИ УЗЛОВ ГТД ТОЛЩИНОЙ 4...5 ММ

Никифоров Р.В., Муругова О.В., Старовойтов С.В.1

Уфимский государственный авиационный технический университет, murugova.oxana@mail.ru

*Ключевые слова: роботизированная сварка, сварка плавящимся электродом.*

В данной статье рассматривается проблема сварки ограниченно свариваемого жаропрочного железоникелевого сплава ЭП718 (ХН45МВТЮБР), широко применяемого в авиационной промышленности и энергетике. Рассмотрен отечественный и зарубежный опыт сварки данного сплава: приведены распространенные виды сварки для ЭП718 и его аналога Inconel 718, параметры режимов сварки, обеспечивающие формирование бездефектного стыкового двухпроходного сварного соединения. После проведения серии сварочных экспериментов был осуществлен рентгенографический контроль сварных соединений, металлографический и РЭМ - анализ микрошлифов, измерена микротвердость основного металла и сварного шва. В 1-м проходе сварного шва была получена в основном дезориентированная измельченная структура, во 2-м проходе структура более равноосная, что вероятнее всего вызвано повышением жесткости сварного соединения после 1-го прохода и большим пространством для свободной температурной деформации между свариваемыми кромками. Микроструктура околошовной зоны представляла собой частично переплавленный нагартованный в результате фрезерования слой, размер зерен которого меньше размера зерна основного металла в 5-7 раз и составлял 5-10 мкм. Получение подобной мелкозернистой структуры при сварке в ОШЗ повышает стойкость сварных соединений против образования горячих трещин при сварке

СПЭ с поперечными колебаниями плавящегося электрода проводили в импульсном режиме сварочного тока на роботизированном комплексе: робот АBB IRB 1600 с блоком управления IRC 5, источником питания EVOMIG 350 с синергетическим управлением, приспособлением для сварки листовых заготовок с подачей аргона с обратной стороны шва. Листовые заготовки из сплава ЭП718 имели толщину 5 мм в состоянии поставки. Присадочная проволока – ЭП533 Ø 1,2 мм в закаленном состоянии. Сварка проводилась с поперечными колебаниями горелки относительно траектории шва в 2 прохода. Сварка проводилась в режиме root, погонная энергия за 1-й проход -  $q_{п}=250\text{кДж/м}$ , за 2-й -  $q_{п}=430\text{кДж/м}$  соответственно. Подготовка шлифов под макро и микроструктурный анализ осуществлялась в несколько этапов: механическом шлифовании и полировании с использованием абразивных материалов и химическом травлении для выявления структурных составляющих. Реактив для травления – реактив «А», который имеет следующий состав: вода (H<sub>2</sub>O)-20 см<sup>3</sup>, медный купорос (CuSO<sub>4</sub>)-4 г, соляная кислота (HCl)- 20 см<sup>3</sup>. Время травления 3-10 секунд.

Микроструктуру шлифов исследовали с помощью электронного микроскопа Olympus GX51и растровом электронном микроскопе JSM-6490LV.

Измерение микротвердости по Виккерсу (HV) проводили на Микрометре-5101 с пирамидальным алмазным индентором под нагрузкой 1 Н (100 г) алмазной четырехсторонней пирамиды с углом между гранями, равным 136° в течение 10 секунд. Окончательная обработка микроплиты перед измерением микротвердости заключалась в полировке ее поверхности алмазной пастой AFM 1/0.

Рентгенографический контроль осуществлялся на аппарате Арина-05-2М: напряжение 150кВ, ток 1мА; чувствительность снимка 0,1мм по канавочному эталону №1 Fe и 0,1 по проволочному эталону 12 (Fe).

#### Выводы:

1. Использование 2-х проходной СПЭ с поперечными колебаниями позволяет получать качественные сварные швы сплава ЭП 718 толщиной 4 мм за два прохода при погонной энергии 250 и 430 кДж/м за 1-й и 2-й проходы соответственно. Полученный результат перспективен с точки зрения снижения энергозатрат, остаточных сварочных деформаций и короблений, поскольку по имеющимся зарубежным рекомендациям АрДС соединений толщиной 4 мм из сплава-аналога Inconel 718 должна осуществляться с погонной энергией не менее 360...400 кДж/м за проход.

2. В 1-м проходе сварного шва, полученного СПЭ с поперечными колебаниями, микроструктура была в основном дезориентированной измельченной, а микроструктура 2-го прохода - более равноосной, что вероятнее всего вызвано повышением жесткости сварного соединения после 1-го прохода и большим пространством для свободной температурной деформации между свариваемыми кромками.

3. Микротвердость основного металла после сварки 2-х проходов составила 256 HV, сварного шва – 291 HV. Микротвердость основного металла после сварки 2-х проходов и термообработки по режиму закалка при температуре 1050°C + старение (780°C/5ч. 15 мин) составляла 433 HV, сварного шва - 417 HV соответственно.

4. Полученная микроструктура ОШЗ имела мелкозернистую структуру и являлась частью нагартованного в результате фрезерования слоя, размер зерен которого меньше размера зерна основного металла в 5-7 раз и составлял 66 мкм после сварки 78 мкм после рекомендованной термообработки. Получение подобной мелкозернистой структуры при сварке в ОШЗ повышает стойкость сварных соединений против образования трещин при 650-800°C.

#### Сведения об авторах

Никифоров Роман Валентинович, к.т.н., доцент кафедры Сварочных, литейных и аддитивных технологий.

Муругова Оксана Владимировна, старший преподаватель кафедры Сварочных, литейных и аддитивных технологий.

Старовойтов Семен Владимирович, доцент кафедры Автоматизации технологических процессов.

### **APPLICATION OF ROBOTIC WELDING WITH CONSUMABLE ELECTRODE FOR WELDING GAS TURBINE ENGINE ASSEMBLY 4...5 MM THICKNESS**

Nikiforov R.V., Murugova O.V., Starovoytov S.V.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia, myrugova.oxana@mail.ru

*Keywords: robotic welding, consumable electrode welding..*

This article discusses with the problem of welding a limitedly weldable superalloy EP718 (KhN45MVTYuBR), which are widely used in the aviation industry and power engineering. Domestic and foreign experience of welding this alloy is considered: common types of welding for EP718 and its foreign analogue Inconel 718, parameters of welding regims, ensuring the formation of a defect-free butt double-pass welded joint are given.