

## СВАРКА ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ: СУЩНОСТЬ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА, ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ СВАРНОГО ШВА

*Тультуль К.У., Ягьяев Э.Э.*

*Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи Якубова»,  
г.Симферополь*

**Ключевые слова:** сварка трением с перемешиванием, алюминиевые сплавы, оборудование, основные параметры, структура, внедрение.

**Аннотация.** Проанализирован опыт сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов. Описана сущность, особенности процесса СТП и структурные особенности сварного шва. Изучены специфические особенности оборудования, процесса сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов и структуры формируемого сварного шва.

## STABILIZATION OF FRICTION WELDING QUALITY PARAMETERS WITH MIXING BASED ON THE DEVELOPMENT OF NEW TOOL DESIGNS

*Tultul K.U., Yagyaev E.E.*

*Crimean Engineering and Pedagogical University named after Fevzi Yakubov,  
Simferopol*

**Keywords:** friction welding with stirring, aluminum alloys, equipment, basic parameters, structure, implementation.

**Abstract.** The experience of friction welding with mixing of aluminum alloys is analyzed. The essence, features of the STP process and structural features of the weld are described. The specific features of the equipment, the friction welding process with mixing of aluminum alloys and the structure of the formed weld are studied.

Известно, что конструкции из алюминиевых сплавов (АС) в авиационно-космической индустрии подвергаются разным напряжениям и весьма значительным гравитационным силам в период взлета, высадки, сверхзвуковой скорости маневрирования, приводящим к значительным циклическим перегрузкам и внезапным перегрузкам материала крыла [1,с.48]. Проблема сварки АС классическим методом (соединение, дуговая сварка плавящимся электродом в среде инертного (MIG) либо активного газа (MAG), ручная сварка неплавящимися вольфрамовыми электродами в сфере защитного газа - аргона (TIG), но кроме того высокоэнергетическая лазерная или электронно-радиальная сваривание) заключается в предрасположенности сплава шва с высокой теплопроводностью, коэффициентом теплового расширения в относительно широком диапазоне температуры застывания также растворимостью водорода в алюминии в расплавленном состоянии к два раза большей усадке при затвердевании, разламыванию в местах термического воздействия по стыкам элементов и формированию повреждений: рыхлот, цепочек пор в шве и у зоны сплавления, трещин в высокотемпературной ЗТВ, подключений крепкой оксидной оболочки и ферросплавов в шве [1, с.12]. Общей проблемой сварки

листовых конструкций вследствие большой вероятности разрыва между листами из-за неверного крепления, неточности процессов изготовления листов и другого является выход использованного материала сварного шва из зоны обрабатывания и эффективной площади поперечного сечения сварочной зоны с дальнейшим сокращением разрыва и дефектностью сварного шва [3, с.23]. Оптимальным вариантом решения указанной проблемы является применение относительно нового сварного процесса - сварки трением с перемешиванием (СТП), знаменитого в России с 1967 года [2, с.47] и реализованного в Великобритании [2, с.48] в 1990-х годах в Технологическом вузе сварки (TWI - Technological Welding Institute) [1, с.37].

Целью статьи является изучение специфических особенностей оборудования, процесса сварки трением с перемешиванием алюминиевых сплавов и структуры формируемого сварного шва [2, с.47].

Система I-STIR PDS-51 (производство компании MTS, США) является оптимальным вариантом системы в качестве оборудования для СТП алюминиевых сплавов. Система I-STIR PDS-5 является гибкой, расширяемой и надежной в эксплуатации системой для разработки процесса СТП. К основным подсистемам I-STIR PDS относятся сварочная головка AdAPT™ и специализированные приводы, а также замкнутые цифровые системы контроля. Система PDS, содержащая пять осей управления, характеризуется максимально возможной гибкостью и эффективностью, оснащена системой упреждающего регулирования и устройством точного измерения, позволяющими инженеру-конструктору выполнить тщательный и систематический анализ СТП для широкого диапазона материалов, толщин и форм. Система РББ позволяет соединять материалы на основе алюминия, стали и титана различной толщины (1-40 мм).

Система РЭЭ способна оценить альтернативные, неплоские и криволинейные материалы СТП-инструмента, а также материалы конструкций с переменной толщиной и с толстым сечением свариваемых деталей; точно измерить и проконтролировать следующие параметры СТП:

- нагрузку и положение пресса;
- нагрузку и положение плеча и/или датчика;
- нагрузку в одной плоскости;
- скорость перемещения;
- частоту вращения и крутящий момент;
- непрерывный процесс сбора данных по СТП и их анализ;
- высокий коэффициент воспроизводимости.

СТП является одной из разновидностей сварки давлением. От других видов сварки давлением сварка трением отличается способом нагрева деталей или, конкретнее говоря, методом внедрения тепла в свариваемые детали. Автоматическое соединение конструкционных металлических компонентов при СТП осуществляется с помощью воздействия на кромки соединяемых элементов специального вращающегося прибора, который переводит сплав в области стыка в пластическое состояние и перемешивает его. В базисном процессе СТП вращающийся инструмент, включающий корпус, рабочий стержень с различным

рельефом плоскости и основной бурт, медленно погружается в стык элементов на глубину, приблизительно равную толщине объединяемых кромок; при этом опорный бурт опирается в плоскость кромок.

Одним из основных условий, значительно оказывающих большое влияние на структуру шва и формирование соединения при СТП, считается система прибора. Компоненты инструмента - рабочий стержень и опорный бурт - имеют контакт с материалом, нагретым за счет работы сил трения вплоть до пластичного состояния, также сформировывают потоки пластического течения. Непосредственно механизм и особенно его рабочий стержень подвергаются значительным термомеханическим перегрузкам. В нагретый рабочий стержень одновременно действуют крутящий момент и знакопеременные циклические изгибающие силы [1, с.49].

В заключение можно сделать соответствующее выводы:

Оптимальным вариантом решения проблемы сварки алюминиевых сплавов является применение относительно новейшего сварочного процесса - сварки трением с перемешиванием (СТП), характеризующегося ограниченным пространством деформации в комбинации с ограниченным нагревом зоны сварки, твердым состоянием использованного материала сварного шва; безопасностью процесса для окружающей среды; возможностью сварки использованных материалов, недоступных для традиционных способов; высокой прочностью сварного шва; отсутствием потребности в присадочной проволоке; низкими остаточными напряжениями; малым размером зерна сварного шва; небольшим расходом энергии; отсутствием пористости, специальных условий к процессу сварки и потребности в подготовке кромок до сварки и механической обработке после нее [2, с.79].

Разрешение проблемы сварки алюминиевых сплавов невозможно без концентрации исследований на приоритетных направлениях; разработки эффективных технологических схем и конструктивно-технологических решений; введения новейших процессов, в том числе СТП; улучшения концепции и способов предоставления прочности, эффективности авиаконструкций, но кроме того формирования и поддержания актуализированной нормативной базы.

#### **Список литературы**

1. Raghuram V. Fatigue fracture and microstructural analysis of friction stir welded butt joints of aerospace aluminum alloys // Thesis of Master of Science in Mechanical Engineering. – Visweswaraiah Technological University, 2012. – 162 с.
2. Овчинников В.В. Исследование свариваемости и разработка технологии сварки распределенными источниками тепла алюминиево-литиевых сплавов: дисс. ... докт. техн. наук / Рос. самолетостр. корпорация «Миг»; Моск. гос. индустр. ун-т. – М., 2013. 377 с.
3. Automatic Gap Detection in Friction Stir Butt Welding Operations / Y. Yang et al. // International Journal of Machine Tools & Manufacture. – 2018. – Vol. 48. – P. 1161-1169.

#### **Сведения об авторах:**

*Тутькуль Керим Усеинович* – студент, КИПУ имени Февзи Якубова, г.Симферополь;

*Ягьяев Эльмар Энверович* – к.т.н., доцент, КИПУ имени Февзи Якубова, г.Симферополь.