



## ДИССЕРТАЦИЯ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



**Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины Ю. В. Фальченко** (ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины) защитил 19 декабря 2012 г. докторскую диссертацию на тему «Исследование влияния структуры промежуточных прослоек на свойства сварных соединений труднодеформируемых материалов и разработка на этой основе технологии их диффузионной сварки».

Диссертация посвящена изучению закономерностей формирования структуры и механических свойств сварных соединений при диффузионной сварке в вакууме композиционных материалов на алюминиевой основе, интерметаллидных сплавов  $\gamma$ -TiAl и разнородных металлов с применением в качестве промежуточных слоев вакуумных конденсатов.

Изучено влияние толщины прослоек из алюминия на формирование структуры и механические свойства сварных соединений из композиционных материалов Al + 4 % C, AMg5 + 23 % SiC, AMg5 + 27 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Показано, что сварка композиционных материалов в свободном состоянии не обеспечивает формирование бездефектных соединений. Применение схемы сварки с принудительным деформированием позволяет локализовать пластическую деформацию в стыке при увеличении степени пластической деформации прослойки из алюминия с 13 до 33 %, что также способствует увеличению содержания магния в зоне соединения с 3...3,8 до 4...4,5%. Микротвердость зоны соединения составляет 600...700 МПа.

Однако химическая и структурная неоднородности зоны соединения, вызванная применением мягких промежуточных прослоек, обуславливают прочностные свойства соединений на уровне 50...60 % уровня прочности основного материала. Повышение скорости пластической деформации до  $\epsilon = 10^2 \text{ с}^{-1}$  при применении ударной сварки в вакууме способствует увеличению степени деформации прослойки до 70...80 %, однако повышает неоднородность в распределении химических элементов в стыке.

Применение при сварке композиционного материала многослойных фольг системы Al-Cu обуславливает дисперсное упрочнение стыка частицами интерметаллида CuAl<sub>2</sub>. Установлено, что

применение более тонких фольг с периодом чередования слоев от 40 до 100 нм (при содержании 10 мас. % Cu) приводит к формированию в стыке диффузионной зоны толщиной 7... 10 мкм, обедненной по содержанию меди. Применение прослоек Al — 26,8 мас. % Cu общей толщиной 20 мкм с периодом чередования слоев меди и алюминия 2000 нм способствует формированию в стыке структуры с дисперсными включениями CuAl<sub>2</sub> размером 3...10 мкм. Определено, что формирование такой структуры в стыке обеспечивает получение сварных соединений с прочностью на растяжение на уровне 325 МПа, что составляет 96 % уровня прочности исходного материала.

Установлено, что применение при диффузионной сварке интерметаллидного сплава  $\gamma$ -TiAl многослойных фольг Al/Ti сопровождается протеканием в стыке реакции самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, которая приводит к увеличению исходного размера фольги вследствие образования волнообразного рельефа и пористой структуры. Последующая выдержка при температуре сварки под давлением обеспечивает залечивание пор и формирование в стыке бездефектной мелкозернистой структуры с микротвердостью HV 3500...4200 МПа, соответствующей микротвердости основного материала. Определены оптимальные параметры режима сварки: температура  $T = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$ , давление  $P = 10...40 \text{ МПа}$ , время  $t = 20 \text{ мин}$ , толщина многослойной фольги  $\delta = 20 \text{ мкм}$ , которые обеспечивают получение сварных соединений с прочностью на срез на уровне 290 МПа, что соответствует 91 % уровня прочности исходного материала. Проведение дополнительного отжига при  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение 2 ч позволяет увеличить прочность до 314 МПа (98 %).

Применение при диффузионной сварке интерметаллидного сплава  $\gamma$ -TiAl со сплавом титана BT8 или сталью 12X18H10T многослойных фольг системы Al-Ti обеспечивает получение в зоне соединения равномерного распределения химического состава элементов и микротвердости.

Показано, что применение пористых конденсатов из никеля при диффузионной сварке хрома с медью способствует снижению температуры и давления процесса сварки.

Сформулированы рекомендации по практическому применению вакуумных конденсатов при диффузионной сварке в вакууме труднодеформируемых материалов.