



ОСОБЕННОСТИ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ МЕДИ С АЛЮМИНИЕВЫМИ СПЛАВАМИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАНОСТРУКТУРНОЙ ФОЛЬГИ СИСТЕМЫ Al–Cu

В. С. КУЧУК-ЯЦЕНКО, канд. техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены особенности формирования сварных соединений алюминиевого сплава АД1 с медью М1 при использовании в качестве закладного элемента наноструктурной фольги системы Al–Cu. Исследованы микроструктура и химическая неоднородность металла сварных соединений, проведены механические испытания сварных соединений на разрыв.

Ключевые слова: контактная стыковая сварка, наноструктурная фольга, эвтектика, микроструктура, интерметаллид

В промышленности сварку алюминия с медью применяют при изготовлении токоведущих элементов и узлов электрических машин, трансформаторов, токоподводов, шинопроводов, энергоемких агрегатов, химических сосудов и других изделий. Основной проблемой при получении сварных соединений является то, что в шве образуются интерметаллиды системы Al–Cu, имеющие большую твердость и хрупкость, что существенно ухудшает механические и электрические характеристики изделий. Негативное влияние интерметаллидов особенно заметно, если толщина их слоя составляет более 7...8 мкм [1]. Для уменьшения толщины слоя интерметаллидов следует минимизировать температурно-временные параметры сварочного процесса и обеспечить более концентрированный нагрев.

В настоящей работе исследован процесс контактной сварки алюминия с медью при использовании в качестве закладных элементов наноструктурной алюминиево-медной фольги системы Al–Cu, особенностью которой является то, что она формирует в зоне соединения расплав эвтектического состава при минимальном тепловложении. Кроме того, в работах [2, 3] установлено, что применение таких фольг обеспечивает высококонцентрированный равномерный нагрев соединяемых деталей.

Сварку образцов размером 5×14×140 мм проводили на модернизированной стыкосварочной установке К766. Давление при нагреве составляло 3...4 МПа, при осадке — 7,5...8,0 МПа, время сварки — 1,5...2,0 с.

Изготовление наноструктурных фольг способом электронно-лучевого испарения с последующей конденсацией компонентов освоено в ИЭС им. Е. О. Патона [4]. Микроструктура нанослой-

ной фольги системы Al–Cu (78 мас. % Al и 22 мас. % Cu), полученная с помощью микрорентгеноспектрального анализа, представлена на рис. 1.

Анализ микроструктуры и определение химической неоднородности соединений осуществляли на оптическом микроскопе «Neophot-32» и растровом электронном микроскопе JSM-840 (Япония) с микроанализатором «Link-systems». Оценку прочностных свойств соединений выполняли путем исследования микротвердости на микротвердомере фирмы «LECO» и проведения механических испытаний на разрыв.

Были выполнены эксперименты по контактной сварке алюминиевого сплава марки АД1 с медью М1 с использованием фольги системы Al–Cu, а также без нее и сравнительные металлографические исследования. В микроструктуре переходной зоны соединения, полученного без использования фольги, ширина шва неравномерная (колеблется в диапазоне 1...10 мкм). При ширине 1...2 мкм переходной зоны структура металла шва однородная, граница с алюминием волнообразная (рис. 2, а, б). На кривых распределения меди и алюминия в области, расположенной у границы с алюминием, имеет место полочка; кривая рас-

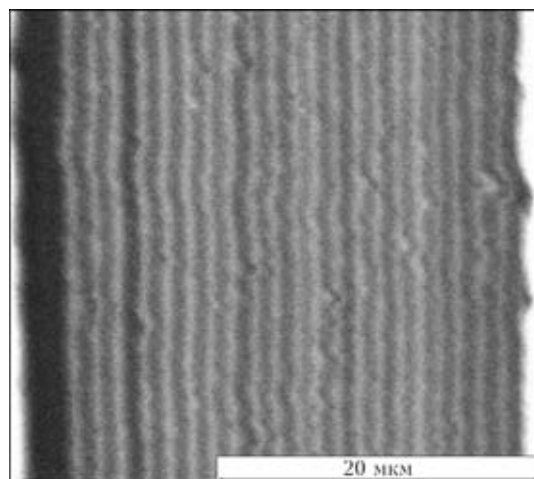


Рис. 1. Микроструктура нанослойной фольги системы Al–Cu

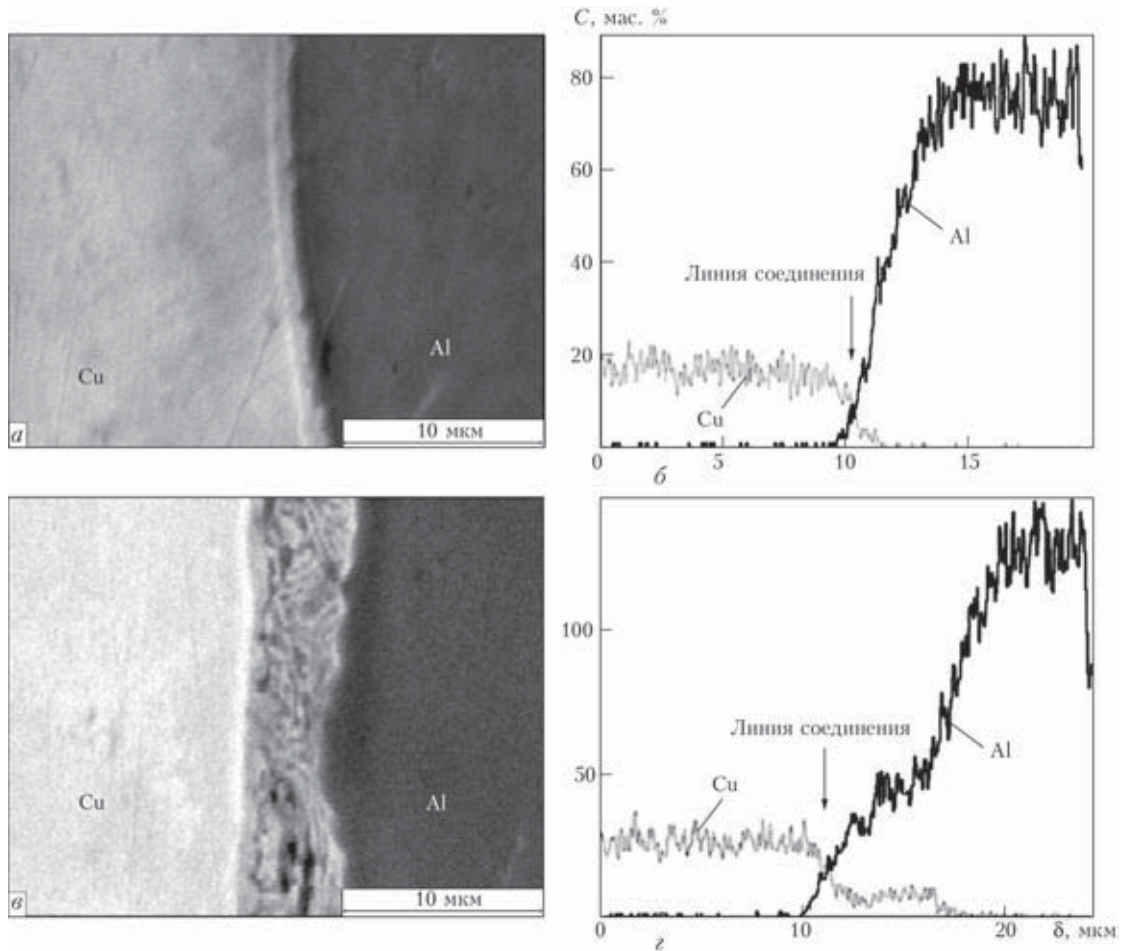


Рис. 2. Микроструктуры (а, в) и кривые распределения содержания С меди и алюминия (б, г) в переходной зоне соединения, полученного контактной стыковой сваркой без использования фольги, на участках шириной $\delta = 1...2$ (а, б) и 10 мкм (в, г)

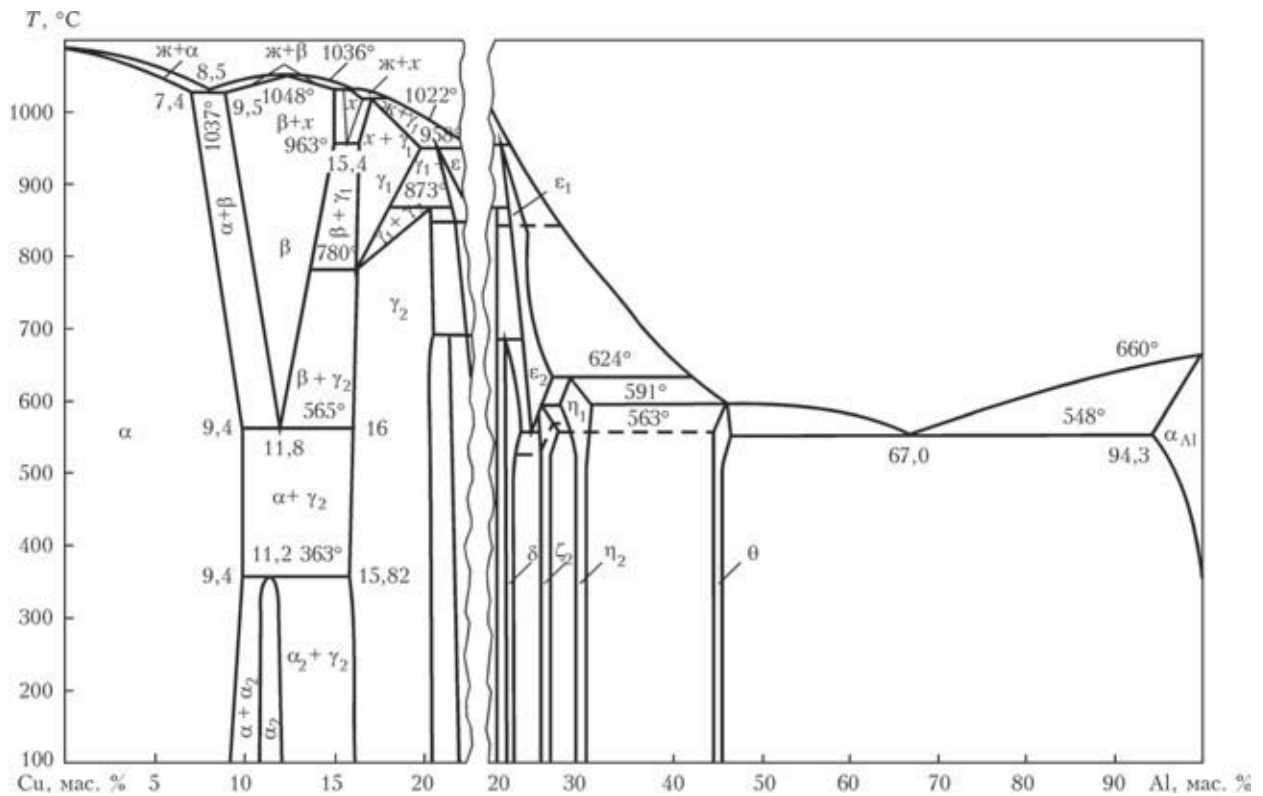


Рис. 3. Температурная диаграмма состояния системы Al-Cu

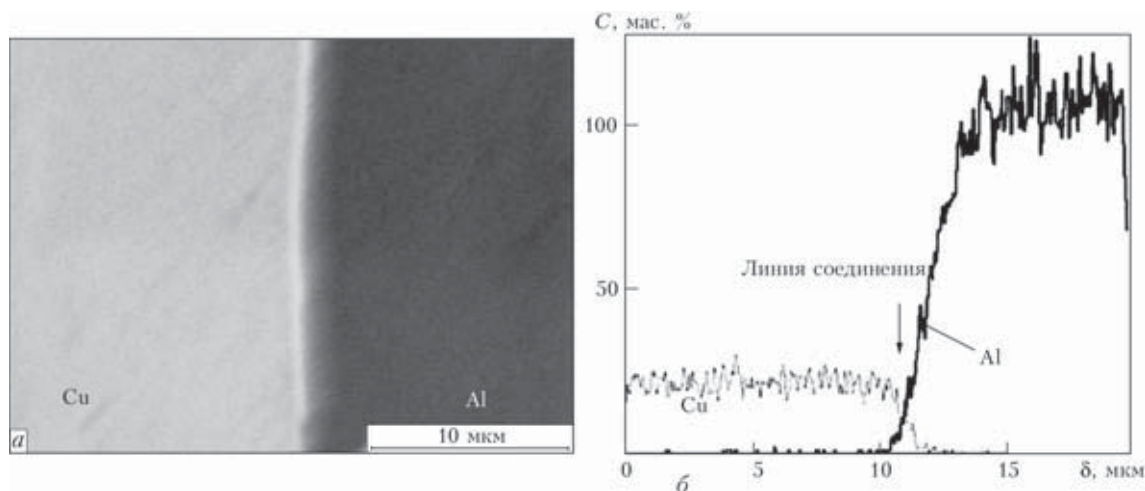


Рис. 4. Микроструктура (а) и кривые распределения содержания C меди и алюминия (б) в переходной зоне соединения, полученного контактной сваркой с использованием наноструктурной фольги системы Al–Cu

предела меди монотонно возрастает, а алюминия — убывает.

Известно, что медь не растворяется в алюминии при комнатной температуре, а растворимость алюминия в меди достигает 7,6 мас. %. Система Al–Cu характеризуется наличием нескольких интерметаллидных соединений, из которых ближайшее к алюминию CuAl_2 .

Исходя из диаграммы состояния (см. рис. 3) [5] можно предположить, что переходная зона состоит из диффузионной зоны меди и слоя θ -фазы (твердого раствора на основе CuAl_2).

При увеличении ширины шва до 10 мкм в его металле формируются дендриты, растущие от границы с медью, и эвтектические колонии (см. рис. 2, в, г). Эвтектическим колониям на кривых распределения алюминия и меди соответствует полочка, в области дендритов кривая распределения меди монотонно убывает, а кривая распределения алюминия возрастает. В этом случае переходная зона состоит из эвтектики Al + θ (CuAl_2) и дендритов α -фазы (твердого раствора алюминия в меди).

Шов, выполненный контактной стыковой сваркой с использованием фольги системы Al–Cu (рис. 4), имеет ширину 2...3 мкм. Ход кривых распределения алюминия и меди в переходной зоне шириной около 1,5 мкм свидетельствует о монотонном изменении содержания этих элементов. Интерметаллидных соединений не обнаружено, эвтектика отсутствует.

Механические испытания на разрыв показали, что максимальная прочность образцов сварных соединений, полученных контактной стыковой сваркой с использованием наноструктурной фольги, составила 75 МПа (среднее значение 65...70 МПа). Разрушение образцов происходило по околшовинной зоне со стороны алюминия. Максимальная прочность сварных соединений, полученных без использования фольги, равна 50 МПа. При испытаниях образцы разрушались по сварному шву.

Таким образом, использование при контактной стыковой сварке алюминия с медью и наноструктурной фольгой системы Al–Cu в качестве закладного элемента препятствует образованию в металле шва хрупких интерметаллидных фаз и позволяет получать равнопрочные сварные соединения.

1. Рябов В. Р. Сварка алюминия и его сплавов с другими металлами. — Киев: Наук. думка, 1983. — 264 с.
2. Особенности контактной сварки алюминиевых сплавов с использованием нанослойных алюминий-никелевых и алюминий-медных фольг / В. С. Кучук-Яценко, В. И. Швец, А. Г. Сахацкий, А. А. Наконечный // Свароч. пр-во. — 2007. — № 9. — С. 12–14.
3. Особенности контактной сварки алюминидов титана с использованием нанослойных алюминий-титановых фольг / В. С. Кучук-Яценко, В. И. Швец, А. Г. Сахацкий, А. А. Наконечный // Автомат. сварка. — 2008. — № 6. — С. 5–11.
4. Мовчан Б. А. Неорганические материалы, осаждаемые из паровой фазы в вакууме // Сучасне матеріалознавство XXI сторіччя. — Киев: Наук. думка, 1998. — С. 318–332.
5. Мондольфо Л. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов. — М.: Металлургия, 1979. — 640 с.

Peculiarities of formation of welded joints of AD1 aluminium alloy with M1 copper using nanostructured foil of Al–Cu system as an insert are considered. Microstructure and chemical inhomogeneity of welded joint metal were studied, and mechanical rupture testing of welded joints was performed.

Поступила в редакцию 14.12.2010