



УДК 621.791.3.05.011:539.2

К ВОПРОСУ ПАЙКИ МЕТАЛЛОВ ПОРОШКОВЫМИ ПРИПОЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ДИСПЕРСНОСТИ

А. С. ПИСЬМЕННЫЙ, д-р техн. наук, В. И. ШВЕЦ, В. С. КУЧУК-ЯЦЕНКО, В. М. КИСЛИЦЫН, кандидаты техн. наук
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Представлены результаты исследования соединений меди и латуни, полученные с использованием в качестве припоя порошка серебра с частицами размером менее 1 мкм. Предложено объяснение аномально высокой скорости образования расплава шва эвтектического состава при пайке. Использование порошков с более высокой степенью дисперсности перспективно для соединения конструкционных материалов, критичных к температуре нагрева.

Ключевые слова: пайка, порошковый припой, серебро, дисперсность, температура пайки, активация процесса

В настоящее время новые композиционные дисперсно-упрочненные и другие материалы на основе металлов применяются недостаточно широко из-за отсутствия надежных способов их соединения. В связи с этим актуальна разработка способов соединения, которые не уступали бы существующим по производительности и качеству.

При использовании процессов сварки или высокотемпературной пайки важной и пока не до конца решенной проблемой является разупрочнение соединяемых материалов в зоне термического влияния (ЗТВ).

Одним из эффективных способов понижения температуры пайки стало использование в качестве присадочных материалов аморфных пленок и нанослойных фольг, которые, как известно, более активно по сравнению с традиционными припоями [1, 2] взаимодействуют с основным металлом.

В ряде работ отмечается снижение температуры плавления материалов, диспергированных до наноразмерного уровня [3, 4]. Интересным представляется использование этого явления для понижения температуры пайки. До настоящего времени исследования в этом направлении не проводились, что, очевидно, связано с нестабильностью свойств мелкодисперсных металлических порошков.

Цель настоящей работы состояла в технологической проверке возможности снижения температуры пайки меди и латуни за счет увеличения степени дисперсности порошкового припоя.

Известно, что при пайке меди и латуни серебром в результате контактного плавления формируется жидкая фаза, выполняющая роль припоя. Ее состав соответствует составу эвтектики системы Cu–Ag с температурой плавления 779 °С [5]. При контактном плавлении латуни и серебра образуется эвтектическая фаза тройной системы Cu–

Ag–Zn, имеющая температуру плавления менее 700 °С [6]. Для интенсификации диффузионного взаимодействия контактирующих металлов температура пайки должна превышать температуру плавления эвтектики.

В экспериментах использовали медь марки М1, латунь марки ЛС68 и серебро технической чистоты. Монодисперсный порошок серебра с частицами размером менее 1 мкм получен в лабораторных условиях путем анодного растворения, а более крупная фракция — механическим измельчением.

Эксперимент производили следующим образом: на периферийные участки медной подложки наносили навески порошка серебра с частицами размером менее 1 мкм, а на центральные — более 100 мкм (рис. 1). Порошок серебра использовали в смеси с флюсом Ф284. Навески порошка серебра располагали между пластинами слюды на расстоянии 0,5 мм друг от друга.

Нагрев осуществляли факелом водородно-кислородного пламени по центру медной подложки с

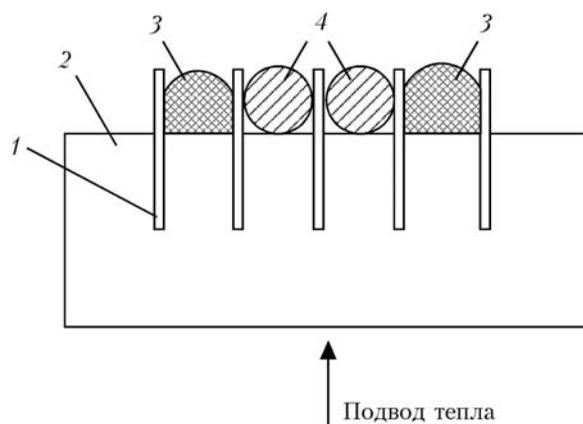


Рис. 1. Схема нагрева медной подложки: 1 — разделители из пластинок слюды; 2 — медная подложка; 3, 4 — порошок серебра с размером частиц соответственно менее 1 мкм и более 100 мкм в смеси с паяльным флюсом Ф284



нижней ее стороны. Наличие на медной подложке разделительных канавок глубиной до 3 мм позволяло создавать температурное поле от центра к периферии подложки с градиентом не менее 50 град/мм. Таким образом, порошки крупных фракций подвергали нагреву до температуры, которая была более чем на 50 °С выше температуры навесок порошка с размерами частиц менее 1 мкм.

Процесс плавления порошков серебра в процессе нагрева контролировали с использованием оптического микроскопа МБС-2 (увеличение 32).

Результатами экспериментов установлено, что при нагреве после плавления флюса первоначально происходит образование жидкой металлической фазы на контактной границе медной подложки с порошком серебра, имеющим размер частиц менее 1 мкм. На контактной границе с более крупными частицами серебра жидкая металлическая фаза в значительных объемах образуется только при нагреве до более высокой температуры. Запоздывание момента контактного плавления порошка более крупной фракции составляет около 5 с. Согласно показаниям термопар, в момент плавления порошка более крупной фракции температура на этом участке более чем на 50 °С выше температуры участка с порошком серебра более мелкой фракции.

По нашему мнению, интенсификация контактного плавления при измельчении частиц серебра обусловлена существенным увеличением контактной поверхности порошка серебра — основного компонента процесса плавления. Наряду с увеличением площади поверхности контакта с медной подложкой происходит подвод серебра к контактной границе за счет диффузии и массопереноса в расплаве флюса. Вероятно, в данном случае имеют место более сложные процессы, требующие дальнейших исследований. В качестве варианта можно предположить, что снижение температуры плавления серебра происходит за счет измельчения его частиц до размера менее 1 мкм.

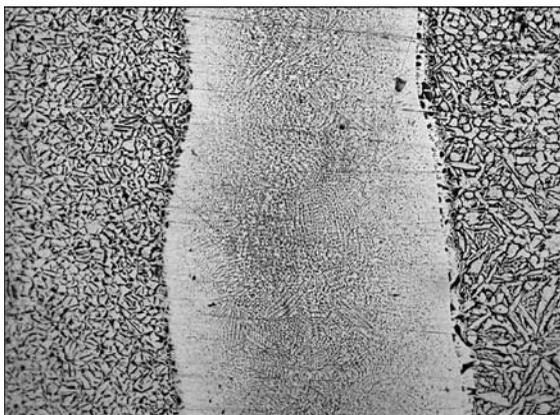


Рис. 2. Микроструктура (X100) соединения образцов из латуни, паянных порошком серебра с частицами размером менее 1 мкм

Возможность практической реализации наблюдаемого эффекта проверена при пайке образцов из меди и латуни. На образцы размером 30×5×0,3 мм наносили припойный материал, представляющий собой смесь флюса Ф284 и серебра с размерами частиц менее 1 мкм. Образцы собирали внахлестку, сдавливали между двумя стержнями из керамики с усилием до 3 Н и подвергали нагреву факелом водородно-кислородного пламени.

Установлено, что формирование соединений при нагреве в течение приблизительно 30 с происходит при температуре, близкой к эвтектической, в то время как при пайке традиционными припоями системы Ag–Cu, например стандартным припоем ПСр72, необходимо нагревать образцы до температуры, которая более чем на 50 °С выше эвтектической [6].

Исследования микроструктуры и химической неоднородности паяных соединений образцов из латуни и меди, полученных с использованием порошка серебра с частицами размером менее 1 мкм, проводили с помощью оптического микроскопа «Неофот-32» и микроанализатора SX-50 фирмы «Camebax».

Анализ микроструктуры соединения образцов из латуни (рис. 2) показал, что в ЗТВ фазовые превращения не происходят. Металл паяного шва имеет однородную мелкодисперсную структуру и исходя из распределения элементов (рис. 3) представляет собой сплав эвтектического состава системы Cu–Ag–Zn. Ширина диффузионной зоны латуни — около 15 мкм.

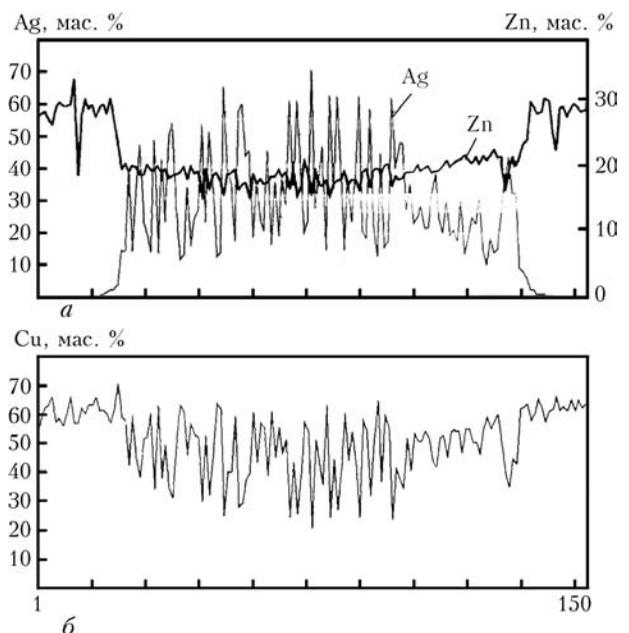


Рис. 3. Распределение серебра, цинка (а) и меди (б) в соединении образцов из латуни, паянных порошком серебра с частицами размером менее 1 мкм (протяженность участка 740 мкм; шаг 49, 70 мкм)

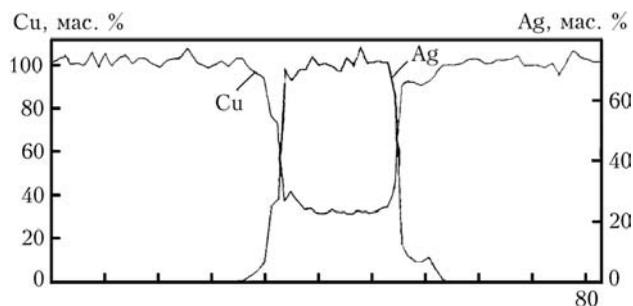


Рис. 4. Распределение меди и серебра в соединении образцов из меди, паянных порошком серебра с частицами менее 1 мкм (протяженность участка 80 мкм; шаг 10,10 мкм)

Распределение меди и серебра в соединениях меди (рис. 4) также свидетельствует о формировании в паяном шве мелкодисперсного сплава эвтектического состава. Ширина диффузионной зоны серебра в меди не превышает 7 мкм.

Сравнительные испытания образцов из меди и латуни на разрыв, паянных порошком серебра с частицами размером менее 1 мкм и припоем ПСр72, показали, что механические свойства полученных соединений практически одинаковы.

Выводы

1. Использование порошков серебра с размером частиц менее 1 мкм позволяет снизить температуру контактно-реактивной пайки меди и латуни

The paper presents the results of investigation of copper and brass joints made using silver powder with less than 1 μm particle size as braze alloys. An explanation is given of the anomalously high speed of formation of a weld melt of an eutectic composition in brazing. Use of powders with a higher degree of dispersity is promising for joining structural materials critical in terms of heating temperature.

не менее чем на 50 °С, сократив при этом время формирования расплава припоя.

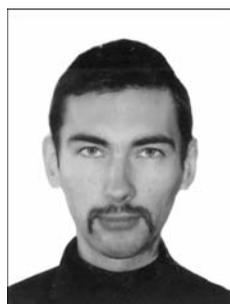
2. Активация процесса плавления при увеличении степени дисперсности порошкового припоя обусловлена увеличением поверхности порошка серебра как основного компонента процесса контактного плавления и интенсификацией массопереноса в расплаве флюса.

3. Использование порошков с высокой степенью дисперсности в качестве припойных материалов перспективно для соединения термически нестабильных конструкционных материалов.

1. Диффузионная сварка микродисперсного композита $AMg5 + 27\% Al_2O_3$ с применением нанослойной фольги Ni/Al / А. Я. Ищенко, Ю. В. Фальченко, А. И. Устинов и др. // Автомат. сварка. — 2007. — № 7. — С. 5–9.
2. Контактнo-стыковая сварка дисперсно-упрочненного медного сплава системы Cu– Al_2O_3 / В. С. Кучук-Яценко, В. И. Швец, П. Н. Чвертко и др. // Там же. — 2004. — № 11. — С. 3–6.
3. Богданов К. Ю. Почему наночастицы плавятся при низкой температуре? — http://www.nanometer.ru/2008/02/9/nanjchastici_temperatura_plavlenia_60-57.html.
4. Size-dependent melting point depression of nanostructures: nanocalorimetric measurements / M. Zhang, M. Yu. Efremov, F. Schiettekatte et al. // Phys. Rev. B. — 2000. — 62(15), Oct. — P. 10548–10557.
5. Хрятин В. Е. Справочник паяльщика. — М.: Машиностроение, 1981. — 348 с.
6. Справочник по пайке / Под ред. И. Е. Петрунина. — М.: Машиностроение, 1984. — 400 с.

Поступила в редакцию 11.02.2008, в окончательном варианте 19.06.2009

ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ



Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины

А. С. Миленин (ИЭС) защитил 8 октября 2008 г. кандидатскую диссертацию на тему «Кинетика термомеханических процессов при сваркопайке титан-алюминиевых балочных конструкций».

Диссертация посвящена изучению характерных особенностей кинетики термомеханического состояния титан-алюминиевых балочных

конструкций в процессе их сваркопайки на примере разработки и оптимизации цикла производства разнородных конструкционных элементов авиационного назначения (направляющих кресел). На основе результатов численных и экспериментальных исследований определено влияние технологических параметров процесса сваркопайки на особенности формирования полей напряже-

ний в области разнородного контакта и на деформированное состояние балочной конструкции после сварки. Определен характер изменения остаточного напряженно-деформированного состояния разнородных конструкций после термической и механической обработки различных видов.

Получила последующее развитие методика оценки риска интерметаллидообразования в области поверхностного контакта жидкого алюминия и твердого титана. Дано физическое объяснение процессов на начальном этапе формирования сварнопаяного контакта. Разработана универсальная методика оценки риска формирования охрупчивающих интерметаллидных включений в результате реакционной диффузии в переменном и неоднородном температурном поле в области поверхностного контакта титана с алюминием. Это позволило определить характер влияния источника сварочного нагрева на риск формирования такого рода дефектов на примере сваркопайки титан-алюминиевых балочных авиационных конструкций.