

A. A. Temerov, V. N. Timofeev, D. A. Mikhaylov

## APPLICATION OF THE COMBINED HEATING SYSTEMS IN ELECTRIC HOLDING FURNACES FOR PREPARATION OF ALUMINIUM ALLOYS

*In a paper creation and control principles by the combined heat of aluminium melt in electric composite holding furnaces with an arrangement of electric heaters under the arch and in the bottom are considered. On the basis of numerical and experimental results dependences of a temperature drop and distribution of nonmetallics in melt volume at stages of heat, dead melting and casting are defined and confirmed.*

*Keywords: temperature drop, nonmetallics, the holding furnace with the combined heat, a mathematical model, the control algorithm of heating system.*

© Темеров А. А., Тимофеев В. Н., Михайлов Д. А., 2010

УДК 621.791.3

В. И. Темных, В. С. Казаков, Е. В. Темных, Г. М. Зеер, А. К. Абкарян, П. А. Растовцев, Е. А. Потехина

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ГАЛЛИЕВЫХ ПАСТ-ПРИПОЕВ\*

*Выявлены особенности контактного взаимодействия однофазных латуней с эвтектическими расплавами системы Ga–Zn как композиционными составляющими галлиевых паст-припоев. Определены продукты взаимодействия в зависимости от состава и температуры контактирующих компонентов.*

*Ключевые слова: галлий, пасты-припой, латунь, взаимодействие, эвтектика.*

Взаимодействие порошковых и иных дисперсных материалов с расплавами галлия лежит в основе низкотемпературной пайки разнородных материалов. Легкоплавкие диффузионно твердеющие галлиевые пасты-припой, обладая уникальными свойствами [1–4], имеют и существенные недостатки: высокую стоимость, длительность процессов затвердевания, малую ударную вязкость, ограниченное время сохранности технологических свойств после приготовления и ряд других ограничений их применения.

Для повышения технологических возможностей и эксплуатационных характеристик галлиевых паст-припоев необходимы дополнительные исследования, направленные на поиск новых составов и структур исходных твердых и жидких фаз припоев с целью устранения имеющихся недостатков и создания новых конкурентоспособных технологий соединения разнородных материалов типа «металл–керамика», «металл–стекло», «металл–графит» и др.

В последние годы интерес к этой тематике существенно возрос [5–7], досконально изучаются обратимые и необратимые процессы, происходящие при нагреве и охлаждении основных составляющих галлиевых паст-припоев и определяющие их физико-механические свойства.

Практический интерес в качестве основных исходных твердых составляющих этих припоев представляют порошки сплавов меди с цинком в области твердых растворов и эвтектика Cu–Ag, поскольку присутствие атомов

цинка и серебра в соответствующих структурах ускоряет процесс реактивной диффузии [1; 8]. В качестве жидкой основы можно использовать легкоплавкие эвтектические сплавы галлия с цинком с температурой плавления ниже 25 °С. Варьируя составы и структуры твердых и жидких фаз, можно найти оптимальное композиционное строение припоев с минимальным содержанием галлия и серебра, а также режимы пайки в каждом конкретном случае соединения разнородных материалов.

Целью данной работы является изучение кинетики, механизма и продуктов взаимодействия компонентов (составляющих) галлиевых паст-припоев с максимальным содержанием цинка и минимальным содержанием галлия и серебра.

Для исследования контактных взаимодействий использовали стандартные однофазные латуни Л63 и Л68 с содержанием цинка 37 и 32 % по массе соответственно (остальное медь) в виде пластин, порошков и стружковых материалов, эвтектические сплавы галлия (ГОСТ 12797–77) с цинком марки ЧДА при содержании цинка до 20 % по массе и порошки припоя ПСр 72 по ГОСТ 19738–74.

Качество спая, форму и размеры образовавшихся фаз исследовали в оптическом микроскопе АХЮ-Observer.Z1m, Karl Zeiss. Для определения элементного состава фаз был использован энергодисперсионный спектрометр Oxford Instruments сканирующего электронно-

\*Работа выполнена при финансовой поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

го микроскопа JEOL JSM 7001F Центра коллективного пользования приборной базой Сибирского федерального университета. Сканирование спая образцов осуществлялось при ускоряющем напряжении 20 кВ, по линии с шагом от 1 мкм и менее.

Фазовый состав продуктов взаимодействия латуни с галлиевыми расплавами определялся на рентгеновском дифрактометре D8 Advance. Параметры эксперимента: геометрия Брэгг-Брентано, начальный угол сканирования 20°, конечный – 90°, шаг сканирования 0,022°, время сканирования 0,6 с/шаг. При этом учитывались данные по фазовому составу, полученные нами ранее [1], а также известные структуры двойных сплавов [9].

На первом этапе было проведено исследование продуктов взаимодействия пластин чистой меди с жидким галлием через его прослойку толщиной не более 0,3 мм при температурах 150 и 200 °С. Установлено, что в результате реактивной диффузии в этом интервале температур образуется не только интерметаллид  $\text{CuGa}_2$ , что соответствует данным [2; 3; 5], но и тонкие прослойки твердого раствора галлия в меди и интерметаллида  $\text{Cu}_9\text{Ga}_4$  (рис. 1).

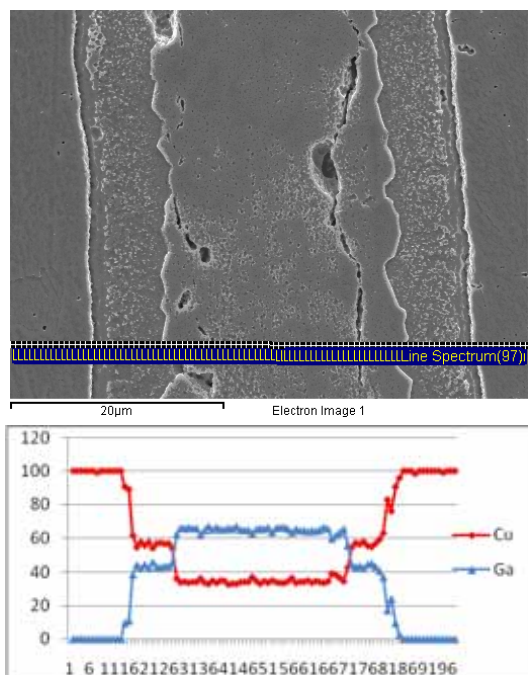


Рис. 1. Микроструктура, линия сканирования (вверху) и концентрационные кривые (внизу) распределения элементов по спаю пластин меди галлием после изотермической выдержки при 200 °С в течение 120 ч

Химический состав интерметаллида  $\text{CuGa}_2$  (середина спая) соответствует 64 % галлия по массе, а интерметаллида  $\text{Cu}_9\text{Ga}_4$  (по краям спая) – 42 % галлия по массе. Сопоставляя полученные данные с известной диаграммой  $\text{Cu-Ga}$  [9], можно убедиться, что в нашем случае образовавшийся интерметаллид  $\text{Cu}_9\text{Ga}_4$  является фазой  $\gamma$ , а точнее, фазой  $\gamma_3$  с максимальным содержанием галлия.

При контактировании пластин меди через прослойку расплава  $\text{Ga-Zn}$  ( $\text{Zn} = 10\%$  по массе) при этих же температурах образуется смесь кристаллов фазы  $\text{Cu}_9\text{Ga}_4$  и мелких кристаллов цинка, интерметаллид  $\text{CuGa}_2$  не обнаружен (рис. 2).

В данном случае по сравнению с предыдущим кристаллическая структура интерметаллида  $\text{Cu}_9\text{Ga}_4$  соответствует фазе  $\gamma_1$  (32 % галлия по массе, а остальное медь) [9]. Содержание цинка по спаю (около 18 %) почти в два раза больше исходного, что можно объяснить отеснением атомов цинка в глубину паяного шва по мере роста с двух сторон новых фаз.

После контактирования пластин однофазных латуни Л63 и Л68 через прослойку расплава  $\text{Ga-Zn}$  ( $\text{Zn} = 10\%$  по массе) при тех же температурах присутствуют, судя по составу, твердый раствор галлия и цинка в меди, разновидности фазы  $\gamma$  и кристаллы цинка, при этом максимальное содержание цинка по краям спая достигает 52 % по массе (рис. 3) и не опускается ниже 20 % в середине шва.

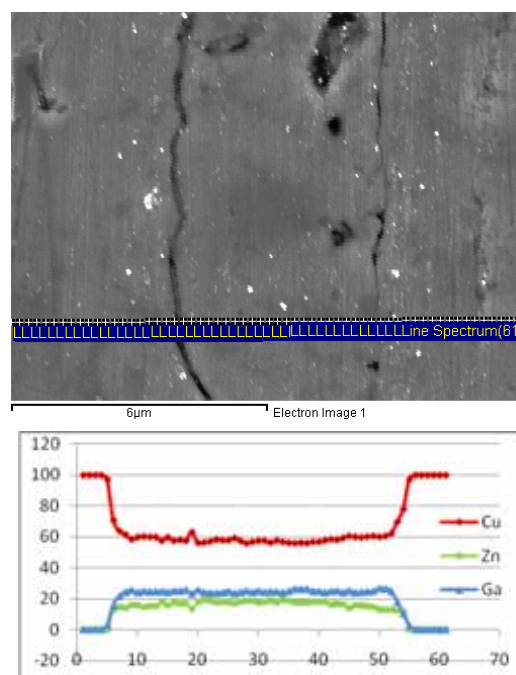


Рис. 2. Микроструктура, линия сканирования (вверху) и концентрационные кривые (внизу) распределения элементов по спаю пластин меди сплавом  $\text{Ga-Zn}$  с содержанием цинка 10 % после изотермической выдержки при 200 °С в течение 120 ч

Результаты рентгенофазового анализа продуктов взаимодействия латуни с расплавом  $\text{Ga-Zn}$  после контактирования при температуре 150 °С подтвердили наличие следующих образовавшихся фаз: твердого раствора галлия в меди, интерметаллида  $\text{Cu}_9\text{Ga}_4$ , а также твердого раствора галлия в цинке (рис. 4).

При переходе к порошковым и стружковым композициям (галлиевым пастам-припоям) элементный и фазовый состав продуктов взаимодействия латуни с галлием и сплавами галлия с цинком принципиально не меняется (рис. 5). В результате реактивной диффузии частицы латуни окружены, если идти от центра частицы, слоем твердого раствора цинка и галлия в меди, далее следуют разновидности фазы  $\gamma$ . Содержание цинка в композиции не опускается ниже 10...20 % по массе по всей длине линии сканирования, включая продукты взаимодействия частицы эвтектики  $\text{Cu-Ag}$  с расплавом  $\text{Ga-Zn}$ . Это видно из левой части концентрационных кри-

вых распределения элементов по затвердевшей пасте (рис. 5, внизу).

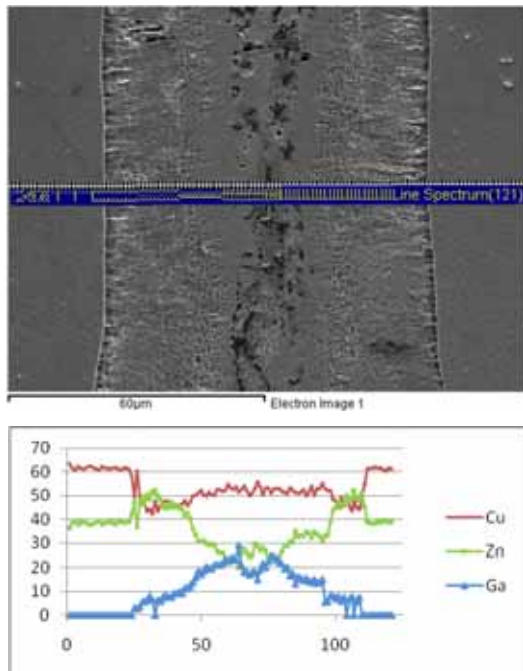


Рис. 3. Микроструктура, линия сканирования (вверху) и концентрационные кривые (внизу) распределения элементов по спаю пластин латуни Л63 сплавом Ga–Zn с содержанием цинка 10 % после изотермической выдержки при 200°С в течение 120 ч

Таким образом, присутствие атомов цинка в исходных латунях и жидком галлии смещает химическую реакцию галлия с медью в область образования интерметаллида с большим содержанием меди: образуется интерметаллид  $Cu_9Ga_4$  при температуре ниже 200°С; согласно диаграмме Cu–Ga [9] интерметаллид  $CuGa_2$  должен образовываться до температуры 254°С.

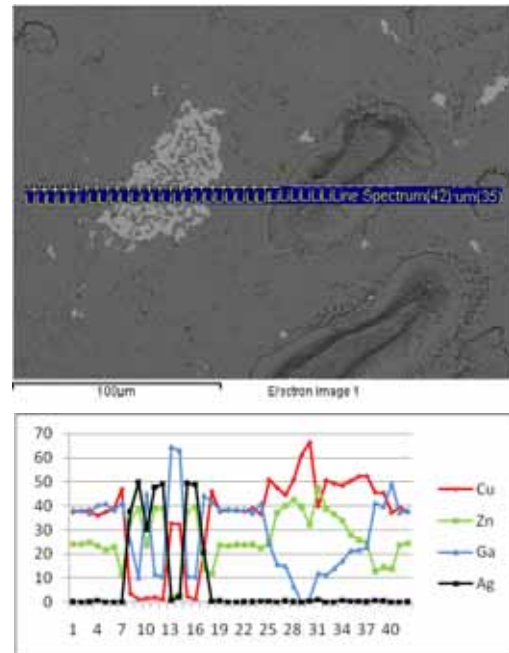


Рис. 5. Микроструктура, линия сканирования (вверху) и концентрационные кривые (внизу) распределения элементов по затвердевшей при 150°С пасте с содержанием стружки латуни Л63 – 45 % по массе; эвтектики Cu–Ag – 10 %; сплава Cu–Zn – 45 %, в котором цинка 10 % по массе

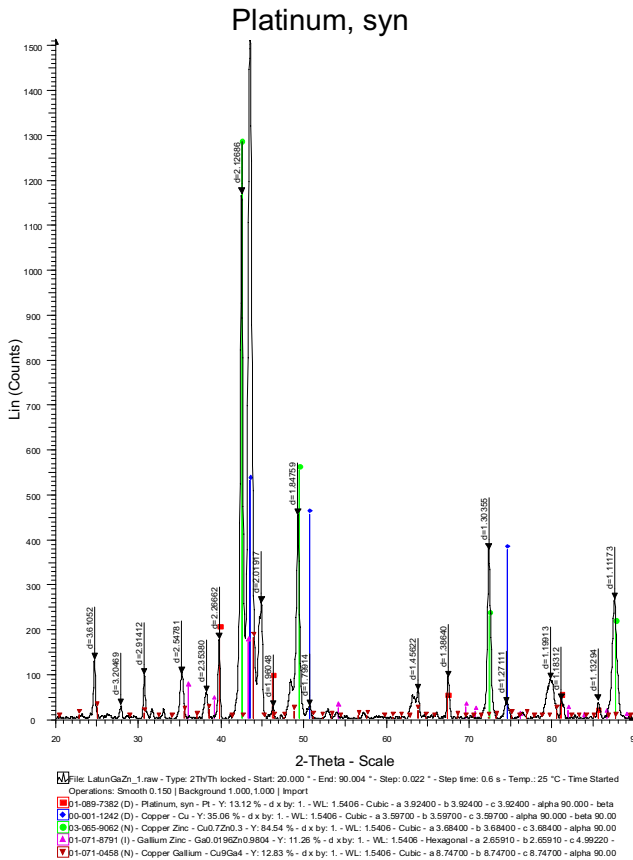


Рис. 4. Дифрактограмма продуктов взаимодействия латуни Л63 с расплавом Ga–Zn (Zn – 10 %) после контактирования при температуре 150°С в течение 120 часов

Важно то, что наличие атомов цинка в исходной твердой фазе (латуни) и исходной жидкой фазе (сплаве галлия с цинком) в результате контактного взаимодействия этих разнородных фаз дает смесь хрупких кристаллов интерметаллида  $Cu_9Ga_4$  и относительно пластичного, прочного и достаточно «тугоплавкого» цинка с температурой плавления более 400°С, причем кристаллы цинка окружают кристаллы хрупких интерметаллидов, что отчетливо видно на рис. 3. Это означает разрушение хрупкого интерметаллического каркаса, который присутствует при затвердевании известных паст-припоев при использовании в них в качестве исходной твердой составляющей порошка меди или бронзы.

Предлагаемая модель структуры затвердевших галлиевых паст-припоев реализована в разработанном и апробированном нами припое (Пат. № 2317882 РФ. Припой для бесфлюсовой пайки. В. И. Темных, В. С. Казаков, Е. Г. Зеленкова) и будет совершенствоваться в дальнейшем.

Результаты проведенных исследований позволяют прийти к следующим выводам.

1. Присутствие атомов цинка в исходном порошке однофазной латуни и в расплаве галлия ускоряет и смещает химическую реакцию галлия с медью в область образова-

ния интерметаллида с большим содержанием меди: в цинкосодержащих пастах-припоях на основе галлия образуется интерметаллид  $\text{Cu}_9\text{Ga}_4$  при температурах ниже  $200^\circ\text{C}$ .

2. Цинкосодержащие галлиевые пасты-припой, будучи более технологичными и обладая более высокими эксплуатационными свойствами, являются перспективными для низкотемпературной диффузионной пайки разнородных материалов.

#### Библиографические ссылки

1. Темных В. И., Казаков В. С., Митяев А. Е. Формирование композиционных структур припоев на основе галлия // Технология машиностроения. 2006. № 9. С. 46–50.
2. Новосадов В. С. О механизме образования соединения при использовании жидкометаллических клеев // Научные проблемы соединения материалов галлиевыми пастами / МГП НТО Машпром. М., 1972. С. 27–31.
3. Тихомирова О. И. Теоретические проблемы разработки галлиевых паст // Научные проблемы соединения материалов галлиевыми пастами / МГП НТО Машпром. М., 1972. С. 6–10.
4. Модели формирования композиционных структур припоев на основе галлия в процессе затвердевания / В. И. Темных, В. С. Казаков, А. Е. Митяев, Е. В. Темных // Технология машиностроения. 2008. № 9. С. 63–70.
5. Анчаров А. И., Григорьева Т. Ф. Взаимодействие твердых растворов систем  $\text{Cu-In}$ ,  $\text{Cu-Sn}$ ,  $\text{Cu-Bi}$  с жидкими эвтектиками галлия с оловом и индием // Неорганические материалы. 2006. № 10. С. 1164–1170.
6. Особенности взаимодействия механокомпозитов на основе меди с жидким галлием / А. И. Анчаров, Т. Ф. Григорьева, А. П. Барина, Н. З. Ляхов // Фазовые переходы, упорядоченные состояния и новые материалы. 2006. № 4. С. 1–4.
7. Sommadossi S., Troiani H. E., Guillermet A. F. Diffusion soldering using a Gallium metallic paste as solder alloy: study of the phase formation systematic // J. Mater. Sci. 2007. № 42. P. 9707–9712.
8. Казаков В. С., Темных Е. В. Металлографические исследования продуктов взаимодействия галлиево-цинковых расплавов с медными сплавами / Молодежь и наука: начало XXI века : сб. материалов Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных / СФУ. Красноярск. 2009. С. 83–86.
9. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. М. : Металлургия, 1962.

V. I. Temnykh, V. S. Kazakov, E. V. Temnykh, G. M. Zeer, A. K. Abkaryan, P. A. Rastovtsev, E. A. Potekhina

#### INTERACTION OF COMPOSITE COMPONENTS OF GALLIUM PASTES-SOLDERS

*In the work the authors reveal features of contact interaction of single-phase brasses with melts of Ga-Zn system as composite components of gallium pastes-solders. Interaction products in relation to structure and temperature of contacting components are determined.*

*Keywords: gallium, pastes-solders, brasses, interaction, eutectics.*

© Темных В. И., Казаков В. С., Темных Е. В., Зеер Г. М.,  
Абкарян А. К., Растовцев П. А., Потехина Е. А., 2010