

СВОЙСТВА ДИФфуЗИОННО-ТВЕРДЕЮЩЕГО КОМПОЗИЦИОННОГО ПРИПОЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОРОШКОМ ВАНАДИЯ

В.М. Скачков

*ФГБУН «Институт химии твердого тела Уральского отделения
Российской академии наук»
620108, Россия, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91
skachkov@ihim.uran.ru*

DOI: 10.26456/pcascnn/2023.15.823

Аннотация: В статье рассмотрено влияние порошка металлического ванадия на свойства диффузионно-твердеющего припоя на основе легкоплавкого сплава галлий-олово и твердой компоненты состоящей из порошка сплава медь-олово. После введения порошка металлического ванадия в количестве 5, 10 и 15 мас.% образцы припоя подвергали термической обработке при двух различных температурах – 125 и 600°C. Оценена микротвердость и термическая устойчивость композиционных диффузионно-твердеющих припоев. Показано, что термическая обработка при более высоких температурах способствует переходу припоя в равновесное состояние, что приводит к увеличению твердости из-за образования и распределения интерметаллических соединений, в том числе наноразмерных. Методом рентгенофазового анализа определены фазы интерметаллидов ванадия, образующиеся в результате взаимодействия с галлием. Металлический ванадий смачивается галлием, имеет ограниченную растворимость и повышает твердость припоя за счет дисперсионного упрочнения.

Ключевые слова: композиционные диффузионно-твердеющие припои, металлический порошок, свойства, микротвердость, дифференциально-термический анализ, ванадий.

1. Введение

Диффузионно-твердеющие припои (ДТП) на основе легкоплавких сплавов галлия сразу после приготовления представляют собой пастообразную массу серого цвета и во многом напоминают паяльные пасты [1], привлекательные для использования в приборостроении и электронике. Бесфлюсовая пайка с применением ДТП позволяет заменить традиционные $Sn-Pb$ припои, а это улучшает экологическую обстановку на предприятиях [2]. Известные составы ДТП на основе легкоплавких сплавов галлия [3, 4] используют принцип твердения за счет постепенного образования твердых растворов и интерметаллических соединений (ИМС), формируя под действием невысоких температур сложные структуры. ИМС в системах $Ga-Sn$ и $Ga-Cu-Sn$ исследованы в работах [5, 6]. Наполнители, вводимые в припои, обеспечивают прочностные свойства паяного соединения [7]. В наших ранних работах [8-11] рассмотрено влияние различных металлических добавок к диффузионно-твердеющим припоям. Ванадий известен как легирующий-модифицирующий элемент к сталям [12], к твердым сплавам [13] и к алюминию [14], целью же данной работы стало изучение изменения свойств ДТП, получаемого

смешиванием при комнатной температуре жидкого сплава $Ga-Sn$ с порошком сплава $Cu-Sn$ (ПМОСФ5-40) [15] при введении порошка металлического V [16] в количестве 5, 10 и 15 мас.% от общей массы взамен порошка сплава $Cu-Sn$.

2. Методы исследования

Жидкий сплав на основе галлия готовили смешением навесок чистых компонентов, помещенных в фарфоровый тигель, с последующим нагреванием в муфельной печи Nabertherm L 9/11 до температуры $250^{\circ}C$, которая выше температуры плавления наиболее тугоплавкого компонента – Sn ($231,9^{\circ}C$), далее выдержкой при этой температуре не менее двух часов. Сплавы охлаждали до комнатной температуры, при которой эвтектический сплав $Ga-Sn$ находится в жидком состоянии ($20^{\circ}C$) и фильтровали через фильтр Шота (условный диаметр пор спеченного стекла 100 мкм). Смешивание компонентов ДТП осуществлялось в фторопластовой ампуле [17], которая вставляется в амальгаматор (Amalgamator Z-18, MFG. Englewood NY 07631). После чего формовались образцы в виде таблеток диаметром 1 см, которые подвергались термической обработке при температурах 125 и $600^{\circ}C$ в течение 24 и 6 часов, соответственно. Дифференциально-термический анализ (ДТА) проведен на приборе Thermoscan-2 (ООО «Аналитприбор»), массы исследуемых образцов в среднем 2 г, в качестве эталона был оксид алюминия, прокаленный при $1000^{\circ}C$ в течение 24 часов [18]. Рентгенофазовый анализ (РФА) образцов выполнен на дифрактометре ДРОН-2,0 (излучение CuK_{α} , интервал углов $10^{\circ} \leq 2\theta \leq 70^{\circ}$, шаг съемки $0,03^{\circ}$, время 2 сек.), идентификацию фаз осуществляли с помощью картотеки [19]. Морфологию поверхности исследуемых образцов изучали на сканирующем электронном микроскопе JSM-6390 LA, JEOL (коэффициент увеличения от 5 до 30000, разрешающая способность 3,0 нм при 30 кВ). Микротвердость по Виккерсу (H_V , МПа) полученных образцов измерялась на микротвердомере (ПМТ-3М) с нагрузкой 100 г (0,98 Н).

3. Результаты и обсуждение

Припои имели следующий состав: 30 мас.% жидкий сплав $Ga-Sn$, 55-65 мас.% $Cu-Sn$ сплав, 5, 10 и 15 мас.% V -порошок. Значения микротвердости полученных образцов трех составов после термической обработки при 125 и $600^{\circ}C$ приведены в Таблице 1. Данные по микротвердости показывают, что упрочнение ДТП при $600^{\circ}C$ происходит в 4-6 раз относительно низкотемпературной обработки, и добавки порошка V этому способствует. Добавки ванадия уже при невысоких температурах взаимодействуют с компонентами ДТП, а точнее с галлием, образуя, по

данным РФА ИМС – GaV_3 . Это же ИМС определяется и после высокотемпературной обработки (600°C), только вместе с ним еще образуется ИМС VGa_4 , которого количественно больше. Растворимость V в Ga при 400°C – $2,0 \cdot 10^{-3}$, а при 500°C – $1,0 \cdot 10^{-2}$ ат.% [20], при охлаждении ИМС из растворов выделяются в виде наночастиц, дисперсионно упрочняя ДТП. Микроструктуры этого ДТП при разных температурах обработки представлены на рис. 1.

Таблица 1. Результаты измерения микротвердости исследуемых образцов.

№ п/п	Исследуемый образец	Микротвердость H_V , МПа	
		Температура обработки, $^\circ\text{C}$	
		125	600
1	$30(Ga - Sn) + 65(Cu - Sn) + 5V$	690	3670
2	$30(Ga - Sn) + 60(Cu - Sn) + 10V$	870	3650
3	$30(Ga - Sn) + 55(Cu - Sn) + 15V$	880	5430

Светлые участки на микрофотографии (см. рис. 1 а) это выделившееся из сплава Sn , которое заполняет межзеренное пространство, основа из сплава $Cu - Sn$ в виде расплывающихся шаров, а ИМС $CuGa_2$ представляют собой прямоугольные «кирпичики», разбросанные по всему объему, ИМС GaV_3 на фотографии располагается на темных участках. При повышенной температуре обработки – 600°C (см. рис. 1 б) ДТП образует «оплывшую» поверхность, на которой сложно увидеть отдельные частички так четко, как на предыдущей фотографии. Многие ИМС перешли в наноразмерный диапазон, хотя ИМС $CuGa_2$ можно отличить по более геометрически четким граням.

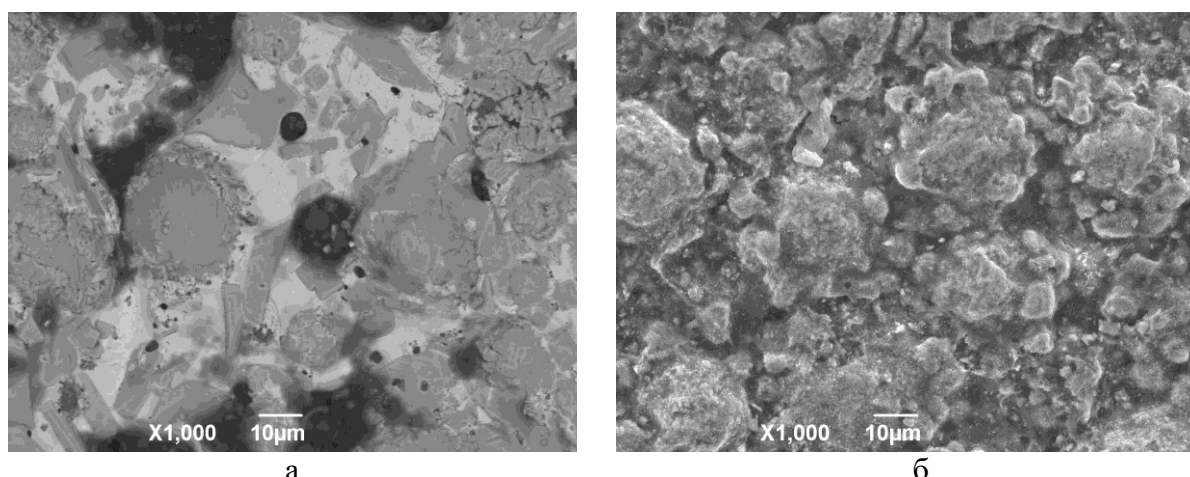


Рис. 1. Микроструктура ДТП $30(Ga - Sn) + 55(Cu - Sn) + 15V$ после термообработки: а – 125°C , б – 600°C . Увеличение $\times 1000$, масштаб 10 мкм .

Дифференциально-термический анализ исследуемых паст

композиционных припоев проводили при скорости нагрева $5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ до температуры 600°C , массы исследуемых образцов в среднем 2 г, графики ДТА представлены на рис. 2-4. Экзотермические эффекты и диапазоны температур представлены в Таблице 2.

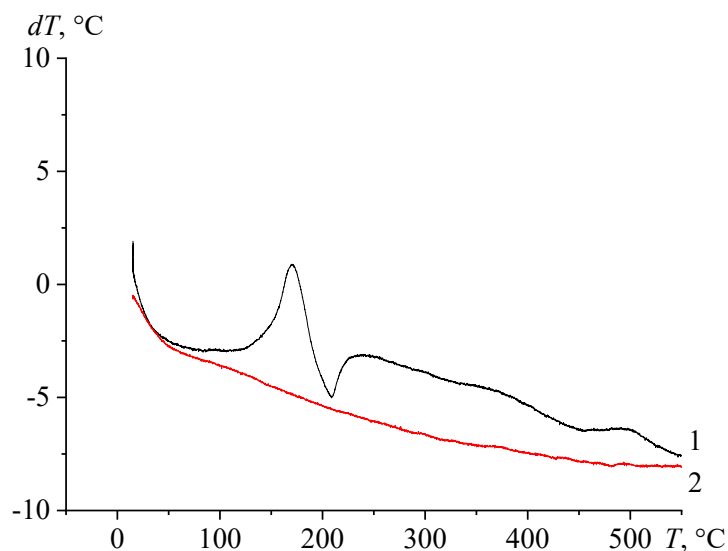


Рис. 2. ДТА до 600°C ДТП $30(\text{Ga} - \text{Sn}) + 65(\text{Cu} - \text{Sn}) + 5V$: кривая 1 – первичный нагрев, кривая 2 – повторный нагрев.

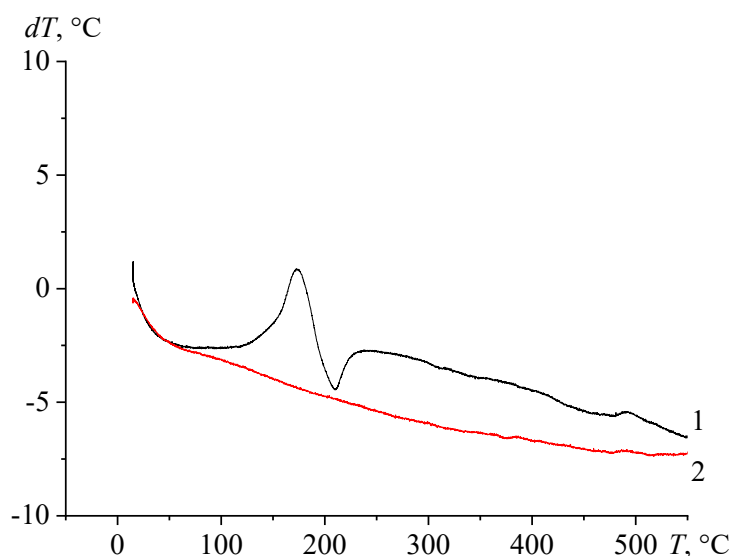


Рис. 3. ДТА до 600°C ДТП $30(\text{Ga} - \text{Sn}) + 60(\text{Cu} - \text{Sn}) + 10V$: кривая 1 – первичный нагрев, кривая 2 – повторный нагрев.

При повторном нагреве у образца № 3 наблюдается небольшой эндотермические эффекты ($-0,19$ Дж/г), т.е. присутствует обратимый процесс – перестройка кристаллов в структуре сплава. В других образцах в температурном интервале $220\text{-}240^{\circ}\text{C}$ этот эффект не наблюдается, возможно, что содержащийся V , которого в образце № 3 15 мас.% перераспределяется, выделяясь из раствора.

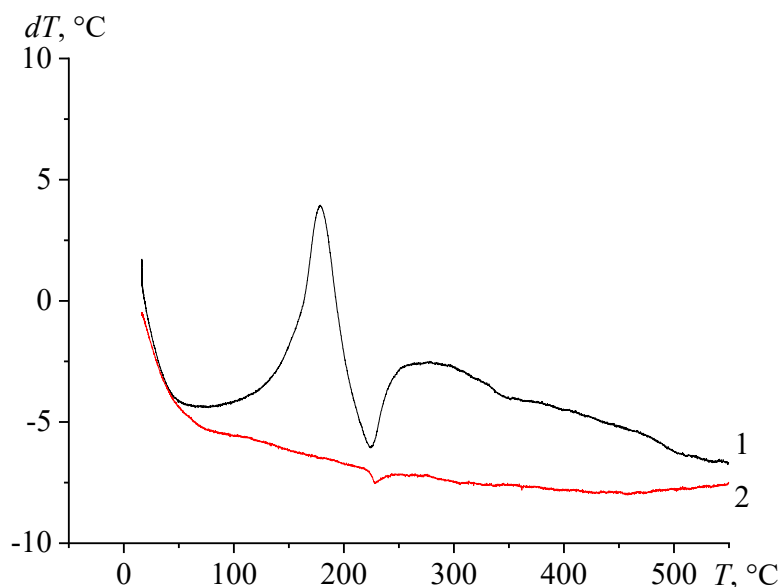


Рис. 4. ДТА до 600°C ДТП $30(Ga - Sn) + 55(Cu - Sn) + 15V$: кривая 1 – первичный нагрев, кривая 2 – повторный нагрев.

Таблица 2. Результаты определения термических эффектов.

№ п/п	Исследуемый образец	Температурный диапазон, °C	Термический эффект, Дж/г
1	$30(Ga - Sn) + 65(Cu - Sn) + 5V$	128-208	13,7
		210-448	25,0
		453-548	1,9
		552-596	2,0
2	$30(Ga - Sn) + 60(Cu - Sn) + 10V$	119-210	13,5
		210-460	21,7
		475-550	1,1
3	$30(Ga - Sn) + 55(Cu - Sn) + 15V$	80-225	18,7
		225-548	26,5
	Повторный нагрев	220-240	-0,19

4. Заключение

Введение металлического порошка ванадия способствует упрочнению диффузионно-твердеющего припоя, взаимодействуя с галлием ванадий, при температуре обработки 125°C образует интерметаллическое соединение GaV_3 , а при температуре обработки 600°C ИМС VGa_4 . Хорошее повышение микротвердости было при содержании ванадия 15 мас.%, особенно после высокотемпературной обработки, увеличившись более чем в 6 раз за счет дисперсионного упрочнения наночастицами. Основной ИМС $CuGa_2$ в подобных ДТП имеет вид прямоугольников с четкими гранями, также измельчаясь при высокотемпературной обработке. Все ИМС снижают пластичность сплавов, при этом увеличивая твердость, особенно вторичные выделения

ИМС при охлаждении, так как они имеют наноразмеры. Диффузионно-твердеющий припой при температуре 600°C сохраняет рабочие функции, не разрушается, при этом изначально имеет удобную для нанесения пастообразную форму, экологически безопасный, не в пример Sn–Pb припоям.

Работа выполнена в соответствии с государственным заданием и планами НИР ИХТТ УрО РАН (№ АААА-А19-119031890028-0).

Библиографический список:

1. **Полежаева, Н.И.** Паяльная паста для тонкопленочной технологии / Н.И. Полежаева, В.А. Вольф, Е.Р. Ламберг, Н.И. Логачев // Решетневские чтения, 10-12 ноября 2021, Красноярск: труды конференции. – Красноярск: ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2021. – С. 666-667.
2. **Новосельцева, М.М.** Социально-экономические мероприятия в промышленности, направленные на охрану труда / М.М. Новосельцева // Заметки ученого. – 2020. – № 8. – С. 238-245.
3. **Яценко, С.П.** Галлий: Технологии получения и применение жидких сплавов: Монография / С.П. Яценко, Л.А. Пасечник, В.М. Скачков, Г.М. Рубинштейн. – М.: РАН, 2020. – 344 с.
4. **Яценко, С.П.** Композиционные припои на основе легкоплавких сплавов / С.П. Яценко, В.Г. Хаяк // Екатеринбург: УрО РАН, 1997. – 186 с.
5. **Гойда, Э.Ю.** О микротвердости композита Ga-Cu-Sn, полученного мультивибрационной обработкой его жидкотвердой смеси / Э.Ю. Гойда, И.Э. Игнатьев, А.Б. Шубин // Бутлеровские сообщения. – 2018. – Т. 56. – № 10. – С. 112-117.
6. **Nagy, E.** Investigation of intermetallic compounds in Sn-Cu-Ni lead-free solders / E. Nagy, F. Kristaly, A. Gyenes, Z. Gacsi // Archives of Metallurgy and Materials. – 2015. – V. 60. – I. 2b. – P. 1511-1515. DOI: 10.1515/amm-2015-0163.
7. **Sokolov, E.G.** The effect of tungsten nanoparticles on the hardness of sintered Sn-Cu-Co-W alloys / E.G. Sokolov, A.V. Ozolin, S.A. Arefieva // Materials Science Forum. – 2020. – V. 992. – P. 511-516. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.511.
8. **Скачков, В.М.** Композиционный припой на основе порошков металлов и галлиевого сплава / В.М. Скачков, Н.А. Шевырев, Л.А. Пасечник, С.П. Яценко // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2017. – Вып. 9. – С. 455-464. DOI: 10.26456/pcascnn/2017.9.455.
9. **Скачков, В.М.** Диффузионно-твердеющий припой на основе сплава галлий-индий-олово и порошка металлов ПМОСФ5, упрочненный титаном / В.М. Скачков, Л.А. Пасечник, О.В. Скачкова, С.П. Яценко // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2018. – Вып. 10. – С. 600-608. DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.600.
10. **Скачков, В.М.** Изучение свойств диффузионно-твердеющего композиционного припоя GaSn-CuSn-Mo / В.М. Скачков, Л.А. Пасечник, С.П. Яценко // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2020. – Вып. 12. – С. 722-730. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.722.
11. **Скачков, В.М.** Свойства диффузионно-твердеющего композиционного припоя модифицированного порошками вольфрама / В.М. Скачков, Л.А. Пасечник, И.С. Медянкина, Н.А. Сабирзянов // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2022. – Вып. 14. – С. 707-716. DOI: 10.26456/pcascnn/2022.14.707
12. **Новожилов, И.С.** Влияние микролегирования и горячей деформации на кинетику распада аустенита рельсовой стали / И.С. Новожилов, В.А. Чередников, Е.В. Полевой, В.Ю. Рубцов, К.А. Улегин // Калибровочное бюро. – 2022. – № 20. – С. 11-22.
13. **Рузиев, У.Н.** Легирование ванадием и рением твердых сплавов / У.Н. Рузиев, В.П. Гуро, С.Н. Расулова, Х.Т. Шарипов, М.А. Ибрагимова, У.Р. Эрناзаров // UNIVERSUM: химия и биология. 2022. – № 10 (100). – 5 с. DOI: 10.32743/UniChem.2022.100.10.14303.
14. **Шевченко, В.Г.** Исследование плотности сплавов системы Al–V для оптимизации режимов получения порошков для 3d печати / В.Г. Шевченко, Д.А. Еселевич, М.Н. Бакланов, В.Е. Сидоров, Б.А. Русанов // Расплавы. – 2021. – № 5. – С. 460-468. DOI: 10.31857/S0235010621050133.
15. Порошок сплава медь-олово сферической формы. Технические условия: ТУ 48-1318-03-89. – Взамен

- ТУ 48-1318-03-84; введ. 25.05.1989. – М., 1989. – 9 с.
16. Ванадий электролитический: ТУ 48-4-335-86. – Взамен ТУ48-4-335-75; введ. 01.01.1987. – М., 1987. – 19 с.
17. **Шубин, А.Б.** Получение металлических композиций из смесей медь-содержащего порошка и галлиевого расплава: определение оптимальных параметров виброобработки / А.Б. Шубин, Е.В. Игнатьева, И.Э. Игнатьев // *Бутлеровские сообщения*. – 2016. – Т. 45. – № 3. – С. 116-121.
18. **Spreyer, R.F.** *Thermal Analysis of Materials*. – New York: Marcel Dekker, 1994. – 298 p.
19. Powder Diffraction File JCPDS-ICDD PDF-2 (Set 1-47). (Release, 2016). – Режим доступа: www.url:https://www.icdd.com/pdf-2/. – 15.05.2023.
20. **Пасечник, Л.А.** Интерметаллические соединения в жидком галлии / Л.А. Пасечник, В.М. Скачков, С.П. Яценко // *Материалы V Российской научно-технической конференции «Физические свойства металлов и сплавов», 3-4 ноября 2009 года, Екатеринбург*. – Екатеринбург: Уральский государственный технический университет - УПИ имени Б.Н. Ельцина, 2009. – С. 205-210.

References:

1. Polezhaeva N.I., Wolf V. A., Lamberg E R., Logachev N.I. Payal'naya pasta dlya tonkopenochnoj tekhnologii [Soldering paste for thin film technology], *Reshetnevskie chteniya [Proceedings of the Reshetnev Readings]*, Krasnoyarsk, November, 10-12, 2021. – Krasnoyarsk, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Publ., 2021. pp. 666-667. (In Russian).
2. Novoseltseva M.M. Sotsial'no-ekonomicheskie meropriyatiya v promyshlennosti, napravlennye na okhranu truda [Social and economic measures in industry aimed at labor protection], *Zametki Uchenogo*, 2020, no. 8, pp. 238-245. (In Russian).
3. Yatsenko S.P., Pasechnik L.A., Skachkov V.M., Rubinshtein G.V. *Gallii: Gallij: Tekhnologii polucheniya i primenenie zhidkikh splavov: Monografiya* [Technologies for the production and application of liquid alloys]. Moscow, RAS Publ., 2020, 344 p. (In Russian).
4. Yatsenko S.P., Hayak V.G. *Kompozitsionnye pripoi na osnove legkoplavkikh splavov* [Composite solders based on low-melting alloys]. Ekaterinburg, Ural Branch of RAS Publ., 1997, 186 p. (In Russian).
5. Goyda E.Yu., Ignatiev I.E., Shubin A.B. O mikrotverdsti kompozita Ga-Cu-Sn, poluchennogo multivibratsionnoj obrabotkoj ego zhidkotverdoj smesi [On the microhardness of the composite Ga-Cu-Sn obtained multivibration the processing idkategori mixture], *Butlerovskie Soobshcheniya [Butlerov Communications]*, 2018, vol. 56, no. 10, pp. 112-117. (In Russian).
6. Nagy E., Kristaly F., Gyenes A., Gacsi Z. Investigation of intermetallic compounds in Sn-Cu-Ni lead-free solders, *Archives of Metallurgy and Materials*, 2015, vol. 60, issue 2b, pp. 1511-1515. DOI: 10.1515/amm-2015-0163.
7. Sokolov E.G., Ozolin A.V., Arefieva S.A. The effect of tungsten nanoparticles on the hardness of sintered Sn-Cu-Co-W alloys, *Materials Science Forum*, 2020, vol. 992, pp. 511-516. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.992.511.
8. Skachkov V.M., Shevyrev N.A., Pasechnik L.A., Yatsenko S.P. Kompozitsionnyj pripoj na osnove poroshkov metallov i gallieвого сплава [Composite solders on the basis of metal powders and gallium alloy], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov [Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials]*, 2017, issue 9, pp. 455-464. DOI: 10.26456/pcascnn/2017.9.455. (In Russian).
9. Skachkov V.M., Pasechnik L.A., Skachkova O.V., Yatsenko S.P. Diffuzionno-tverdeyushchij pripoj na osnove сплава gallij-indij-олово i poroshka metallov PMOSF5, uprochnennyj titanom [Diffuzionno-hardening solders based alloy gallium-indium-tin and powder of metal PCTSP5 reinforced with titanium], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov [Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials]*, 2018, issue 10, pp. 600-608. DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.600. (In Russian).
10. Skachkov V.M., Pasechnik L.A., Yatsenko S.P. Izuchenie svojstv diffuzionno-tverdeyushchego kompozitsionnogo pripoya GaSn-CuSn-Mo [Study of properties of diffusion-hardening composite solder GaSn-CuSn-Mo], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov [Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and nanomaterials]*, 2020, issue 12, pp. 722-730. DOI: 10.26456/pcascnn/2020.12.722. (In Russian).
11. Skachkov V.M., Pasechnik L.A., Medyanina I.S., Sabirzyanov N.A. Svoystva diffuzionno-tverdeyushchego kompozitsionnogo pripoya modifitsirovannogo poroshkami vol'frama [Properties of diffusion-hardening composite solder modified with tungsten powders], *Fiziko-khimicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov [Physical and chemical aspects of the study of clusters, nanostructures and*

- nanomaterials*], 2022, issue 14, pp. 707-716. DOI: 10.26456/pcascnn/2022.14.707. (In Russian).
12. Novozhilov I.S., Cherednikov V.A., Polevoj E.V., Rubczov V.Yu., Ulegin K.A. Vliyanie mikrolegirovaniya i goryachej deformatsii na kinetiku raspada austenita rel'sovoj stali [Micro-alloying effect and hot deformation on austenite decay kinetics of rail steel]. *Kalibrovochnoe byuro [Roll pass design bureau]*, 2022, no. 20, pp. 11-22. (In Russian).
13. Ruziev U.N., Guro V.P., Rasulova S.N., Sharipov Kh.T., Ibragimova M.A., Ernazarov U.R. Legirovanie vanadiem i reniem tverdykh splavov [Alloying hard metals with vanadium and rhenium]. *Universum: khimiya i biologiya [Universum: chemistry and biology]*, 2022, no. 10 (100), 5 p. DOI: 10.32743/UniChem.2022.100.10.14303. (In Russian).
14. Shevchenko V.G., Eseevich D.A., Baklanov M.N., Sidorov V.E., Rusanov B.A. The study of density of alloys of the Al–V system for optimizing the modes of producing powders for 3d printing, *Rasplavy [Melts]*, 2021, no. 5. pp. 460-468. DOI: 10.31857/S0235010621050133. (In Russian).
15. Poroshok splava med'-olovo sfericheskoi formy. Tekhnicheskie usloviya [Spherical copper-tin alloy powder. Specifications]. Specifications RF, no. 48-1318-03-89. Moscow, 1989. 9 p. (In Russian).
16. Vanadij elektroliticheskij [Electrolytic vanadium]. Specifications RF, no. 48-4-335-86. Moscow, 1987. 19 p. (In Russian).
17. Shubin A.B., Ignatieva E.V., Ignatiev I.E. Poluchenie metallicheskih kompozitsij iz smesey med'-soderzhashchego poroshka i gallievogo raspava: opredelenie optimal'nykh parametrov vibroobrabotki [Producing of the metallic compositions from the mixes of copper-containing powders and gallium melts: determination of optimum vibration treatment parameters], *Butlerovskie soobtscheniy [Butlerov Communications]*, 2016, vol. 45, no. 3, pp. 116-121. (In Russian).
18. Speyer R.F. *Thermal Analysis of Materials*, New York, Marcel Dekker Publ., 1994, 298 p.
19. Powder Diffraction File JCPDS-ICDD PDF-2 (Set 1-47). (Release, 2016). Available at: www.url:https://www.icdd.com/pdf-2/ (accessed 15.05.2023).
20. Pasechnik L.A., Skachkov V.M., Yacenko S.P. Intermetallicheskie soedineniya v zhidkom gallii [Intermetallic compounds in liquid gallium]. *Materialy V Rossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Fizicheskie svojstva metallov i splavov» [Materials of the V Russian Scientific and Technical Conference «Physical Properties of Metals and Alloys»]*, Yekaterinburg, November, 3-4, 2009. Екатеринбург Yekaterinburg, Ural State Technical University - UPI named after B.N. Yeltsin Publ., 2009. pp. 205-210. (In Russian).

Original paper

PROPERTIES OF DIFFUSION-HARDENING COMPOSITE SOLDER MODIFIED WITH VANADIUM POWDER

V.M. Skachkov

The Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

DOI: 10.26456/pcascnn/2023.15.823

Abstract: The article considers the effect of vanadium metal powder on the properties of diffusion-hardening solder based on a low-melting gallium-tin alloy and a solid component consisting of a copper-tin alloy powder. After the introduction of vanadium metal powder in the amount of 5, 10 and 15 wt.%, solder samples were subjected to heat treatment at two different temperatures – 125 and 600°C. The microhardness and thermal stability of composite diffusion-hardening solders are evaluated. It is shown that heat treatment at higher temperatures promotes the transition of solder to an equilibrium state, which leads to an increase in hardness due to the formation and distribution of intermetallic compounds, including nanoscale ones. The phases of vanadium intermetallides formed as a result of interaction with gallium were determined by X-ray phase analysis. Metallic vanadium is wetted by gallium, has limited solubility, and increases solder hardness due to precipitation strengthening.

Keywords: *composite diffusion-hardening solders, metal powder, properties, microhardness, differential thermal analysis, vanadium.*

Скачков Владимир Михайлович – к.х.н., старший научный сотрудник лаборатории химии гетерогенных процессов ФГБУН «Институт химии твердого тела Уральского отделения Российской академии наук»

Vladimir M. Skachkov – Ph. D., Senior Researcher, Laboratory of Heterogeneous Processes, The Institute of Solid State Chemistry of the Ural Branch of RAS

Поступила в редакцию/received: 16.06.2023; после рецензирования/reviced: 09.07.2023; принята/accepted: 11.07.2023.