Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ,
НАНОСТРУКТУР
И НАНОМАТЕРИАЛОВ**

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 10

ТВЕРЬ 2018

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основании Положения о рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:

www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145

ББК Ж36:Г5+В379

ISBN 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018

© Тверской государственной
университет, 2018

УДК 532.64.546 311

СМАЧИВАНИЕ РАСПЛАВОМ СВИНЕЦ – НИКЕЛЬ ПОДЛОЖЕК ИЗ АЛЮМИНИЯ И МЕДИ

А.Х. Шерметов¹, А.А. Шокаров¹, М.Х. Понежев¹,
А.В. Созаев^{1,2}, Б.С. Карамурзов¹

¹ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова»

360004, КБР, Нальчик, ул. Чернышевского, 173

²ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)»

362021, РСО-Алания, Владикавказ, ул. Николаева, 44

shermetov-astemir@rambler.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.671

Аннотация: В данной работе поставлена задача о получении новых припоев для пайки никеля и его сплавов. Были изучены политермы угла смачивания расплавами $Pb-Ni$ в интервале от точки плавления до 940 К медных подложек и до 900 К – алюминиевых и обнаружены пороги смачивания: смачивание подложек из меди начинается при температуре 640 К, а подложки из алюминия не смачиваются расплавами.

Ключевые слова: угол смачивания, алюминий, никель, медь, температурный порог смачивания.

1. Введение и методика исследования

Свинец, медь, алюминий, никель – и их сплавы применяют для изготовления сварной, паяной и литой аппаратуры, работающей в условиях средней и повышенной агрессивности. Например, никелированная медь используется в качестве теплоотводов интегральных схем [1]. В этой связи с практической точки зрения актуальной задачей является получение новых припоев для пайки никеля и его сплавов, а также меди с одновременным определением температурных порогов смачивания [2-6]. Еще в работе [7] было отмечено, что подобные системы представляют интерес с точки зрения конструирования композиционных припоев, т.к. в твердом состоянии никель малорастворим в свинце (предел растворимости 0,68 ат.% Ni при 600 К) [8].

Для изучения температурной зависимости углов смачивания использовали подложки из алюминия (99,9%) и меди (99,99%). Углы смачивания измерялись методом лежащей капли на вакуумной установке в интервале температур от температур плавления сплавов $Pb-Ni$ до 940 К в атмосфере чистого He (марки А).

Профиль капли расплава показан на рис. 1, который обрабатывался с помощью программы ImageJ [9, 10].

В работах [11, 12] изучалось поверхностное натяжение свинца с малыми добавками никеля, где показано, что Ni является инактивной добавкой к свинцу. В [13] изучалась температурная зависимость угла смачивания спрессованных никелевых подложек и никелевых пластинок

марки НП-2 расплавом $Pb-Ni$. Показано, что расплав смачивает подложки и смачивание их начинается при 720 К и более.

Рис. 1. Фотография капли $Pb-0,3$ ат.% Ni на пластине Al (слева) и Cu (справа) при 620 К. (в центре термопара).

2. Результаты измерений

На рис. 2 представлены политермы угла смачивания сплавами $Pb-Ni$ медных подложек, из которого видно, что все расплавы смачивают медную подложку и переход от не смачиванию к смачиванию происходят при температуре ~ 640 К. На политерме расплава $Pb-0,01$ ат.% Ni имеется 2 порога смачивания: первый при 730 К, второй при 870 К, а для расплава $Pb-0,03$ ат.% Ni при 940 К капля полностью растекается по подложке. В случае с политермой угла смачивания расплавом $Pb-0,05$ ат. % Ni температура порога смачивания составляет 650 К. Кроме того, из рис. 2 видно, что ход политерм Pb с малыми добавками Ni совпадает с ходом политермы для чистого Pb на медной подложке.

Рис. 2. Графики политермы углов смачивания расплавами $Pb-0,01$ ат.% Ni , $Pb-0,03$ ат.% Ni , $Pb-0,05$ ат.% Ni и чистым Pb подложки из Cu .

Также нами были изучены политермы смачивания расплавами $Pb-Ni$ пластин из алюминия. Из рис. 3 видно, что расплавы не смачивают алюминиевые подложки, но при этом расплав $Pb-0,05$ ат.% Ni при температуре 650 К «садится» на подложку. При увеличении температуры угол уменьшается. Измерения проводились до 900 К, поскольку при увеличении температуры алюминиевая подложка расплавится ($T_m^{Al} = 933$ К).

Рис. 3. Политермы углов смачивания расплавом $Pb-Ni$ и чистым Pb подложки из Al .

3. Выводы

Методом лежащей капли в атмосфере чистого He с использованием программы ImageJ [9, 10] изучены политермы угла смачивания расплавами $Pb-Ni$ в интервале от точки плавления до 940 К медных подложек и до 900 К – алюминиевых. Обнаруживаются пороги смачивания на политермах углов смачивания расплавами $Pb-Ni$ подложек из меди. Смачивание подложек из меди начинается при температуре 640 К, а подложки из алюминия не смачиваются расплавами $Pb-Ni$. Большой интерес в качестве теплоотводов могут представлять композиционные материалы, полученные спеканием микро(нано)порошков меди и алюминия. В случае малых размеров порошков алюминия и его концентрации в меди припой $Pb-Ni$ могут оказаться полезными для пайки мель-алюминиевых композиций.

Библиографический список:

1. Горячий интерес к новейшим методам охлаждения. – Режим доступа: [www.url: https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=151013](https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=151013). – 23.10.2018.
2. **Chang, Cheng-An** Huang Primary solidification phases of the Sn – rich $Sn - Ag - Cu - Ni$ quaternary system / Cheng-An Chang, Sinn-Wen Chen, Chen-Nan Chiu, Yu-Chih Huang //

- Journal of Electronic Materials. – 2005. – V. 34. – I. 8. – P. 1135-1142.
3. **Li, Bo** Effect of rare earth element addition on the microstructure of *Sn–Ag–Cu* solder joint / Bo Li, Yaowu Shi, Yongping Lei, et al. // Journal of Electronic Materials. – 2005. – V. 34. – I. 3. – P. 217-224.
4. **Song, Jenn-Ming** Microstructural characteristics and vibration fracture properties of *Sn–Ag–Cu–TM* ($TM=Co, Ni, \text{ and } Zn$) alloys / Jenn-Ming Song, Chi-Feng Huang, Hsin-Yi Chuang // Journal of Electronic Materials. – 2006. – V. 35. – I. 12. – P. 2154-2163.
5. **Liu, X.J.** Experimental investigation and thermodynamic calculation of phase equilibria in the *Sn–Au–Ni* system / X.J. Liu, M. Kinaka, Y. Takaku, et al. // Journal of Electronic Materials. – 2005. – V. 34. – I. 5. – P. 670-679.
6. **Liu, X.J.** Experimental determination and thermodynamic calculation of the phase equilibria and surface tension of *Ag–Sn–In* system / X.J. Liu, Y. Inohana, Y. Takaku, et al. // Journal of Electronic Materials. – 2002. – V. 31. – I. 11. – P. 1139-1151.
7. **Камболов, Д.А.** Поверхностные свойства расплавов на основе свинца, цинка, олова и образование микро(нано)фаз при их взаимодействии с медью, алюминием и специальными сталями: дисс. ... канд. тех. наук: 01.04.15: защищена 17.02.2015; утв. 01.07.2015 / Камболов Дзамболат Аркадьевич. – Нальчик: СКГМИ, 2014. – 138 с.
8. **Хансен, М.** Структура двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко; пер. с англ. П.К. Новика и др.; под ред. И.И. Новикова, И.Л. Рогельберга. – 2-е изд., перераб. – М.: Металлургия, 1962. – Т. 2. – С. 1089-1090.
9. **Stalder, A.F.** A snake-based approach to accurate determination of both contact points and contact angles / A.F. Stalder, G. Kulik, D. Sage, L. Barbieri, P. Hoffmann // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. – 2006. – V. 286. – I. 1-3. – P. 92-103.
10. Drop shape analysis. – Режим доступа: [www.url: http://bigwww.epfl.ch/demo/dropanalysis/](http://bigwww.epfl.ch/demo/dropanalysis/). – 23.10.2018.
11. **Губжоков, М.М.** Влияние малых примесей на поверхностное натяжение свинца / М.М. Губжоков, Х.И. Ибрагимов, В.З. Канчукоев и др. // Расплавы. – 2006. – № 3. – С. 76-79.
12. **Кашежев, А.З.** Плотность и поверхностное натяжение свинца с малыми добавками никеля / А.З. Кашежев, Р.А. Кутуев, М.Х. Понежев, В.А. Созаев, А.И. Хасанов // Научно-техническая конференция «Теплофизика реакторов на быстрых нейтронах (Теплофизика-2014)», 14-17 октября 2014, Обнинск: тезисы докладов. – Обнинск: ГНЦ РФ ФЭИ, 2014. – С. 169-171.
13. **Елекоева, К.М.** Смачивание расплавом свинец–никель подложек из никеля / К.М. Елекоева, П.К. Коротков, Р.А. Кутуев и др. // Восьмая Международная научно-техническая конференция «Микро-и нанотехнологии в электронике», 30 мая – 4 июня 2016, Нальчик: материалы конференции. – Нальчик: КБГУ, 2016. – С. 92-98.

References:

1. Goryachij interes k novejsim metodam ohlazhdeniya. – Rezhim dostupa: [www.url: https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=151013](https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=151013). – 23.10.2018.
2. **Chang, Cheng-An** Huang Primary solidification phases of the *Sn–rich Sn–Ag–Cu–Ni* quaternary system / Cheng-An Chang, Sinn-Wen Chen, Chen-Nan Chiu, Yu-Chih Huang // Journal of Electronic Materials. – 2005. – V. 34. – I. 8. – P. 1135-1142.

3. **Li, Bo** Effect of rare earth element addition on the microstructure of *Sn–Ag–Cu* solder joint / Bo Li, Yaowu Shi, Yongping Lei, et al. // *Journal of Electronic Materials*. – 2005. – V. 34. – I. 3. – P. 217-224.
4. **Song, Jenn-Ming** Microstructural characteristics and vibration fracture properties of *Sn–Ag–Cu–TM* (TM=*Co*, *Ni*, and *Zn*) alloys / Jenn-Ming Song, Chi-Feng Huang, Hsin-Yi Chuang // *Journal of Electronic Materials*. – 2006. – V. 35. – I. 12. – P. 2154-2163.
5. **Liu, X.J.** Experimental investigation and thermodynamic calculation of phase equilibria in the *Sn–Au–Ni* system / X.J. Liu, M. Kinaka, Y. Takaku, et al. // *Journal of Electronic Materials*. – 2005. – V. 34. – I. 5. – P. 670-679.
6. **Liu, X.J.** Experimental determination and thermodynamic calculation of the phase equilibria and surface tension of *Ag–Sn–In* system / X.J. Liu, Y. Inohana, Y. Takaku, et al. // *Journal of Electronic Materials*. – 2002. – V. 31. – I. 11. – P. 1139-1151.
7. **Kambolov, D.A.** Poverhnostnye svoystva rasplavov na osnove svinca, cinka, olova i obrazovanie mikro(nano)faz pri ih vzaimodejstvii s med'yu, alyuminiem i special'nymi stalyami: diss. ... kand. tekhn. nauk: 01.04.15: zashchishchena 17.02.2015; utv. 01.07.2015 / Kambolov Dzambolat Arkad'evich. – Nal'chik: SKGMI, 2014. – 138 p.
8. **Hansen, M.** Структура двойных сплавов / M. Hansen, K. Anderko; пер. с англ. P.K. Novika i dr.; под ред. I.I. Novikova, I.L. Rogel'berga. – 2-е изд., перераб. – М.: Metallurgiya, 1962. – V. 2. – P. 1089-1090.
9. **Stalder, A.F.** A snake-based approach to accurate determination of both contact points and contact angles / A.F. Stalder, G. Kulik, D. Sage, L. Barbieri, P. Hoffmann // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2006. – V. 286. – I. 1-3. – P. 92-103.
10. Drop shape analysis. – Режим доступа: [www.url: http://bigwww.epfl.ch/demo/dropanalysis/](http://bigwww.epfl.ch/demo/dropanalysis/). – 23.10.2018.
11. **Gubzhokov, M.M.** Vliyanie mal'kh primesej na poverhnostnoe natyazhenie svinca / M.M. Gubzhokov, H.I. Ibragimov, V.Z. Kanchukov i dr. // *Rasplavy*. – 2006. – no. 3. – P. 76-79.
12. **Kashezhev, A.Z.** Plotnost' i poverhnostnoe natyazhenie svinca s malymi dobavkami nikelya / A.Z. Kashezhev, R.A. Kutuev, M.H. Ponezhev, V.A. Sozaev, A.I. Hasanov // Nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Teplofizika reaktorov na bystrykh nejtronah (Teplofizika-2014)», 14-17 oktyabrya 2014, Obninsk: tezis dokladov. – Obninsk: GNC RF FEI, 2014, – P. 169-171.
13. **Elekoeva, K.M.** Smachivanie rasplavom svinec–nikel' podlozhek iz nikelya / K.M. Elekoeva, P.K. Korotkov, R.A. Kutuev i dr. // Vos'maya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Mikro-i nanotekhnologii v elektronike», 30 maya – 4 iyunya 2016, Nal'chik: materialy konferencii. – Nal'chik: KBGU, 2016. – P. 92-98.

WETTING OF ALUMINUM AND COPPER SUBSTRATES BY LEAD – NICKEL MELT

A.Kh. Shermetov¹, A.A. Shokarov¹, M.Kh. Ponezhev¹, A.V. Sozaev², B.S. Karamurzov¹

¹*Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov*

²*North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)*

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.671

Abstract: In this paper, the task of obtaining new solders for brazing nickel and its alloys. Polyterms of wetting angle for *Pb–Ni* melts in the range from the melting point to 940 K on copper substrates and up to 900 K on aluminum were studied and wetting thresholds were detected: wetting of copper substrates starts at 640 K, and aluminum substrates are not wetted by the abovementioned melts.

Keywords: wetting angle, aluminum, nickel, copper, temperature of wetting threshold.

Шерметов Астемир Хусенович – аспирант кафедры физики наносистем ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Шокаров Алий Анатольевич – аспирант кафедры общей физики ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Понежев Мурат Хажисмелович – к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической и экспериментальной физики ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Созаев Виктор Адыгеевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры физико-математических дисциплин, ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Карамурзов Барасби Сулейманович – д.т.н., профессор, президент ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»

Astemir Kh. Shermetov – postgraduate student, Department of Physics of nanosystems, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

Alii A. Shokarov – postgraduate student, Department of General Physics, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

Murat Kh. Ponegev – Ph. D., Docent of the Department of Theoretical and Experimental Physic, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov

Victor A. Sozaev – Dr. Sc., Professor of the Department of Physical and Mathematical disciplines, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)

Barasbi S. Karamurzov – Dr. Sc., Professor, President of Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov