

Состояние исследований поверхностных свойств металлических систем на основе Sn, Pb, In и смачивания ими алюминия и меди

Д. А. Камболов, А. Р. Манукянц, В. А. Созаев

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет)

Аннотация: В работе анализируются статьи о поверхностных свойствах расплавов на основе олова, свинца, индия. Приводятся данные по поверхностным свойствам расплавов на основе олова. Показано, что при пайке сплавов Al 4 ат. % Li, наилучший эффект смачивания достигается с помощью эвтектики системы олово-алюминий, и что при фотонном отжиге пленок олова на кремнии в течение 3-4 секунд обеспечивается улучшение их смачивания расплавами на основе олова. Отмечается перспективность использования композиционных припоев на основе меди и никеля, пропитанных расплавами олова с малыми добавками щелочных и щелочноземельных элементов.

Ключевые слова: поверхностные свойства, пайка, расплавы на основе Sn, Pb, In, фотонный отжиг, алюминий, медь.

Фундаментальными физико-химическими характеристиками металлических систем являются поверхностные энергия и натяжение, работа выхода из них электронов, смачиваемость расплавами металлических поверхностей [1].

В работе изучаются закономерности поверхностных свойств металлических систем на основе Sn, Pb и In и смачивание ими алюминия и меди.

Концентрации элементов в сплавах определялась с помощью рентгенофлуоресцентного спектрометра ARLADVANTX. Рентгенофазовый анализ осуществлялся с помощью дифрактометра ДРОН-6.0, а также с помощью рентгеновского дифрактометра D2 PHASER.

Поверхностные свойства изучались методом лежащей капли [2].

Структурные особенности поверхности образцов оценивали с использованием атомно-силового микроскопа SOLVERNEXT и растрового электронного микроскопа PHENOMG2 Pure.

В представленном исследовании [3] предполагается изучить политермы углов смачивания оловом и эвтектикой Sn-Al чистого алюминия и подложки из сплава Al + 4 ат. % Li. Установлены области резкого снижения углов смачивания чистым оловом алюминиевой подложки при температурах 855 К, а при смачивании эвтектической системой Sn–Al поверхности Al + 4 ат. % Li происходит при температуре 780 К (см. рисунок 1, кривая 2).

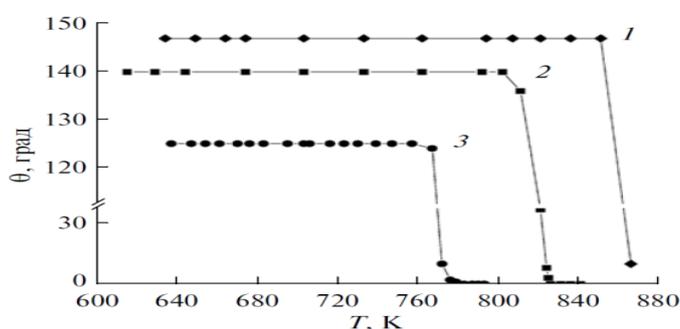


Рис. 1 – Политермы углов смачивания оловом чистого алюминия (кривая 1) и алюминиевого сплава Al + 4 ат. % Li (кривая 2); эвтектической системой Sn–Al поверхности сплава Al + 4 ат. % Li (кривая 3)

В работе [4] методом лежащей капли с помощью использования программного обеспечения ImageJ [5] досконально представлены исследования политермы углов смачивания расплавами Sn-Pb алюминия и меди.

В результате данных исследований мы выявили, что смачивание оловом поверхности алюминия осуществляет этот процесс температуры свыше 700 К. Рост числа небольших добавок свинца к олову понижает уровень температуры порогового значения смачивания в зону наиболее небольших температурных параметров.

При помощи растровой электронной микроскопии мы предприняли попытку исследовать механическое устройство смачивания алюминиевой подложки.

Выявлено на предварительной стадии распространение припоя вдоль микроцарапин и границ зерен алюминия. При достижении более высоких температур отмечается большой интенсивив растворения межзеренных границ в оловянном расплаве, вслед за процессом кристаллизации которого создадутся дендритные структуры (рисунок 2).



Рис. 2 –Фотография дендритных структур вдоль границ зерен Al, смоченных расплавом Sn-Pb 0.2 ат. %

Очевидно, что на изотермах смачивания расплавами олово-свинец создаются пороги смачивания, температурный режим порога смачивания уверенно сместится в зону повышенных температурных значений с условием увеличения содержания свинца [6].

Продолжительность фотонного отжига в течение 4С оптимален. В зоне температурного окна $T > 850$ К отмечается значительное понижение угла смачивания расплавом Sn-Sr (до 24° и 20° в соответствии, см. на рисунке 3). Это связано с выравниванием поверхности.

В работе [7] изучалась температурная зависимость углов смачивания расплавом Pb – 0,3 ат. % Ni спрессованных никелевых подложек в интервале от точки плавления до 850°C. Показано, что смачивание поверхности как спрессованных никелевых образцов, так и никеля марки НП-2 возникает в районе температурного окна 500°C. Методом растровой электронной микроскопии анализ морфологии поверхности капли показал наличие интерметаллидов Pb_nNi_m пирамидальной формы, а также зоны растекания расплава вдоль границ зерен и образованием волокнистых структур (см. рисунок 3)

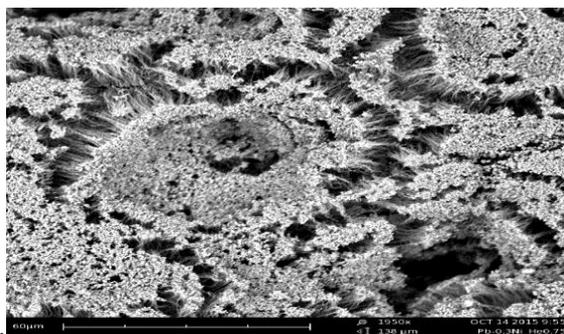


Рис. 3 – Поверхность никелевой пластины НП-2 вблизи капли расплава Pb - 0.3 ат. % Ni. Увеличение 1950×

В работе [8] экспериментально изучены политермы смачивания пористого никеля и меди, полученных окислительно-восстановительным методом, расплавами Sn-Ba и In-Na.

Выявлено, что рост температуры приводит к понижению направленности угла смачивания пористого никеля расплавами Sn-Ba и в температурном окне 475°C расплавы Sn-0.152 ат. % Ba и Sn-0.396 ат. % Ba приступают к смачиванию пористого никеля.

Используя метод электронной микроскопии, исследовалась морфология поверхности пленки расплава на никелевой подложке.

Вследствие чего, установлено, что на капле расплава формируются кристаллы интерметаллидов (рисунок 4), в пирамидальной форме размером 1 – 4 мкм.

С использованием установки Дрон-6 в расплаве идентифицированы интерметаллиды $Ni_nSn_m:NiSn_2, (Ni_{19}Sn)_{0.2}$.

Соединения $NiSn_2$ образуют гексагональную структуру $R\bar{6}3/mmc$ (периоды решетки $a = 4.1500$ нм, $c = 5.1000$ нм).

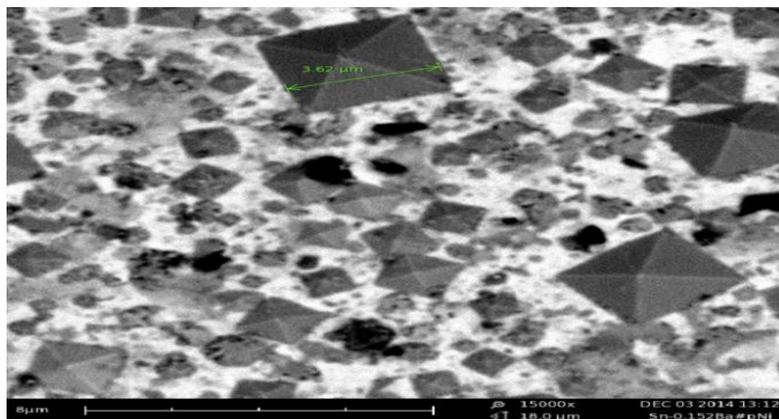


Рис. 4. – Морфология поверхности закристаллизовавшейся пленки Sn-0.152 ат. % Ва на пористом никеле

В работе [9] показано, что расплавы In – 0.3 мас. % Na и In – 0.5 мас. % Na смачивают пористый никель при температуре 250°C. Растровая электронная микроскопия для расплава In – 0.5 мас. % Na позволила обнаружить кустообразные соединения размером 7-9 мкм.

Установлено, что смачивание пористой меди расплавами In-Na происходит в температурном окне свыше 230°C.

С ростом температуры режим частичного смачивания из-за разрушения оксидных пленок совершенствуется и формируется механизм Венцеля. Далее, при осуществлении пропитки расплавами пористой подложки, происходит смачивание гетерофазной подложки, в этой связи угол смачивания подлежит оценке по формуле:

$$\cos\theta_{II} = (1 - II)\cos\theta + II, \quad (1)$$

где II – пористость, θ – угол смачивания по формуле Дюпре.

Из рисунка 5 следует, что сведения о пороговом значении смачивания подложки из НП-2 наблюдаются при большем уровне температурного значения, а это как правило свыше 550°C , что является следствием наличия в никеле НП-2 примесей, способных образовывать наиболее устойчивые формы оксидов.

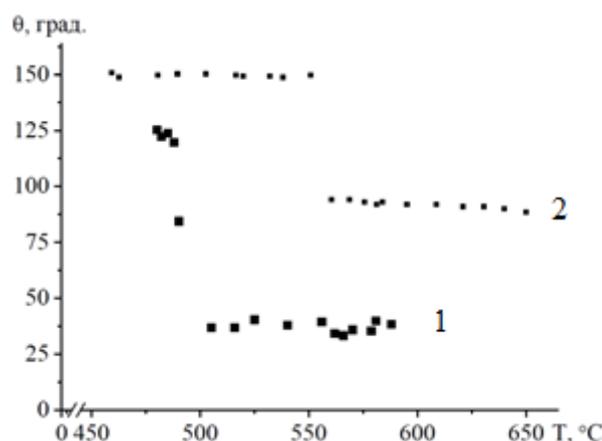


Рис. 5– Пороги смачивания расплавом Pb - 0.49 ат. % Na пористого Ni(1) и пластины никеля НП-2 (2)

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Обнаружено резкое снижение углов смачивания оловом и эвтектической системой Sn–Al поверхности сплава Al+4 ат. % Li в температурном окне 810-820 К и 765 К соответственно.

2. Выявлены пороговые значения смачивания алюминия расплавами Sn-Pb в температурном окне свыше 700 К. Малые примеси свинца к олову уменьшают температуру порогов смачивания. Вдоль границ зерен алюминиевой подложки обнаружены эвтектики. При смачивании расплавами Sn-Pb меди возникают микропирамиды, ограничивающие углы смачивания подложки до $\theta \approx 30^{\circ}$.

3. Установлено, что пороги смачивания в вакууме 10^{-2} Па расплавом Pb-0.3 ат. % Ni пористых никелевых подложек наблюдаются при температурах 500°C и выше. После кристаллизации капли расплава на ее поверхности образуются пирамидальные фазы интерметаллидов Pb_nNi_m , фазы кубической формы и эвтектики. Вдоль границ зерен возникают волокнистые структуры [10].

4. Определены температуры смачивания пористых никеля и меди расплавами Sn-Ba и пороги их смачивания расплавами In-Na. После кристаллизации расплавов на них обнаружены различные малоразмерные образования, включая интерметаллические.

Литература

1. Дадашев Р.Х., Кутуев Р.А., Созаев В.А. Поверхностные свойства сплавов на основе свинца, олова, индия, кадмия / М: ФИЗМАТЛИТ, 2016. 208 с.
2. Васильева Н.А., Сербиновский М.Ю., Игнатенко Н.Л., Данюшкина Г.А. Особенности формирования композиционных покрытий с медь-никель-фосфорной матрицей // Инженерный вестник Дона, 2015, № 2 (2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3068
3. Наливайко Е.В., Горовая Е.Ю., Бобрикова И.Г., Селиванов В.Н. Свойства покрытий сплавом цинк-никель, полученных из хлораммонийных электролитов // Инженерный вестник Дона, 2013, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1524
4. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л. Безызностное трение и водородное изнашивание металлов в решении основных трибологических проблем качества механизмов и машин // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 1(19). С. 205-214.

5. Stalder A.F., Kulik G., Sage D. Barbieri L, Hoffman P. A snake-based approach to accurate determination of both contact points and contact angles // Colloids and Surfaces A. Physicochem. Eng. Aspects. 2006. V. 286. Pp. 92-103. URL: bigwww.epfl.ch/demo/dropanalysis
6. Директор Л.Б., Зайченко В.М., Майков В.Л. Усовершенствованный метод лежащей капли для определения поверхностного натяжения жидкостей // Теплофизика высоких температур. 2010. Т. 48. № 2. С. 193-197.
7. Косогова Ю.П., Бурлакова В.Э., Томилин С.А. Получение наноразмерных частиц металлов и их влияние на триботехнические характеристики смазочных композиций // Инженерный вестник Дона, 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3497
8. Камболов Д.А., Кашежев А.З., Кутуев Р.А., Манукянц А.Р., Понежев М.А., Созаев В.А., Шерметов А.Х. Политермы углов смачивания меди расплавами на основе олова и цинка // Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования. 2016. № 12. С. 92-95.
9. Хайрулин Р.А., Станкус С.В., Абдуллаев Р.Н. Плотность и тепловое расширение жидких сплавов системы Na–Pb с малым содержанием свинца // Теплофизика и аэромеханика, 2013, Т. 20. №2. С. 223-226.
10. Plevachuk YU., Sklyarchuk V., Gerbert G. Eckert S., Novacovic R. Surface tension and density of liquid Bi-Pb, Bi-Sn and Bi-Pb-Sn eutectic alloys // Surface sciens. 2001. V. 605. Pp. 1034-1042.

References

1. Dadashev R.KH., Kutuyev R.A., Sozayev V.A. Poverkhnostnyye svoystva spлавov na osnove svintsа, olova, indiya, kadmiya [Surface properties of alloys based on lead, tin, indium, and cadmium] M: FIZMATLIT, 2016. 208P.
-



2. Vasil'yeva N.A., Serbinovskiy M.YU., Ignatenko N.L., Danyushkina G.A. Inzhenernyy vestnik Dona, 2015. № 2 (2). URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2p2y2015/3068
3. Nalivayko E.V., Gorovaya E.YU., Bobrikova I.G., Selivanov V.N. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013. № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1524
4. Garkunov D.N., Mel'nikov E. L. Izvestija MGTU «MAMI». 2014. № 1(19). Pp. 205-214.
5. Stalder A.F., Kulik G., Sage D., Barbieri L, Hoffman P. Colloids and Surfaces A. Physicochem. Eng. Aspects. 2006. V. 286. Pp. 92-103. URL: bigwww.epfl.ch/demo/dropanalysis.
6. Direktor L.B., Zaychenko V.M., Maykov V.L. Teplofizika vysokih temperatur. 2010. T. 48. № 2. Pp. 193-197.
7. Kosogova Ju.P., Burlakova V.E., Tomilin S.A. Inzhenernyy vestnik Dona, 2016. №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3497
8. Kambolov D.A., Kashezhev A.Z, Kutuyev R.A., Manukyants A.R., Ponezhev M.A., Sozayev V.A., Shermetov A.KH. Poverkhnost'. Rentgenovskiy, sinkhrotronnyye i neytronnyye issledovaniya. 2016. № 12. Pp. 92-95.
9. Hajrulin R.A., Stankus S.V., Abdullaev R.N. Teplofizika i aeromekhanika, 2013, T. 20. No 2. Pp. 223-226.
10. Plevachuk YU., Sklyarchuk V., Gerbert G. Eckert S., Novacovic R. Surface sciens. 2001. V. 605. Pp. 1034-1042.