

ПОЛИТЕРМЫ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ РАСПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ОЛОВА И СМАЧИВАНИЕ ИМИ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА

Далакова Н. В.¹⁾, Елекоева К. М.²⁾, Кашежев А. З.³⁾, Манукянц А. Р.²⁾,
Прохоренко А. Д.²⁾, Понежев М. Х.³⁾, Созаев В. А.^{2,3)}

¹⁾Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины,
г. Харьков, Украина

²⁾ФГБОУ ВПО Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ),
г. Владикавказ, Россия

³⁾ФГБОУ ВПО Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова, г. Нальчик,
Россия
e-mail: sozaevv@kbsu.ru

В работе представлены политермы угла смачивания пластин из сплава алюминий-литий расплавами системы олово-алюминий. Так же приводится краткий обзор данных по поверхностному натяжению сплавов Sn-Al.

Введение

Для бесфлюсовой пайки алюминия и его сплавов с керамическими платами интегральных схем были предложены припои на основе эвтектики Sn-Al с добавками никеля [1] и перитектики Sn-Al-Zn [2]. В отличие от известных, рекомендуемые припои позволяют производить бесфлюсовое лужение и пайку алюминия и его сплавов с керамическими платами интегральных схем. Припои не содержат драгметаллов и токсичных компонент. Наилучший эффект при пайке припоем системы Sn-Al-Zn достигается при малых перегревах выше точки плавления припоя $T_{пл} = 269$ °С, когда сохраняется жидко-твердое состояние. В этих случаях лужение алюминия производится методом натирания.

Припои обеспечивают высокие прочностные свойства паяных соединений, но имеют низкую текучесть. Для решения данной проблемы необходимы надежные данные по поверхностным свойствам припоев в области малых концентраций Al.

Политермы поверхностного натяжения расплавов системы олово-алюминий

Данных по политермам поверхностного натяжения (ПН) расплавов на основе эвтектики системы Al-Sn и перитектики системы Al-Sn-Zn, насколько нам известно, в литературе недостаточно. На основе подобных расплавов могут быть созданы легкоплавкие припои для бесфлюсовой пайки алюминия и его сплавов.

Одной из первых работ по экспериментальному определению ПН сплавов системы олово-алюминий является работа [3], в которой показано, что с увеличением содержания Sn ПН Al снижается.

Однако, измерения были проведены в ограниченной области, до ~7 % олова в алюминии. Другие легкоплавкие элементы (Pb, Bi и пр.) так же снижают ПН алюминия.

В работе [4] представлена политерма ПН системы Sn-Al при $T = 1273$ К. Однако в экспериментальных данных имеется большой разрыв и для определенного большого интервала составов (в частности, в области малых концентраций олова) данных в [4] нет. В работе [5] эти исследования были продолжены: методом оже-электронной спектроскопии изучались начальные этапы окисления капли чистого алюминия при $T = 973$ К и одновременно исследовалось влияние кислорода на поверхностное натяжение жидкого алюминия методом лежащей капли. Анализ полученных в [5] данных позволил сделать вывод, что ПН понижается пропорционально заполнению поверхности кислородом. В работе [5] так же исследовались оже-спектры сплавов Al-Sn с концентрациями олова в алюминии 0.14, 0.2, 0.3, 0.58, 2.1 и 2.6 ат. % при 973 К. Отчетливо наблюдалась сильная сегрегация олова на поверхности вследствие размерного эффекта и отталкивательных взаимодействий между атомами разного сорта.

В работе [6] изучалось ПН двойной системы Al-Sn в области малых концентраций олова в интервале температур до 1400 °С. Оказалось, что политерма ПН сплава Al с содержанием 0.4 ат.% Sn имеет нулевой температурный коэффициент, политермы ПН сплавов с содержанием 1.2 и 2.5 ат.% Sn проходят через максимум около 1200 °С, т. е. температурный коэффициент ПН этих сплавов меняют знак от положительного в области 600 – 1200 °С до отрицательного в области 1200 – 1400 °С. У последующих, более богатых оловом, сплавов наблюдаются линейные политермы ПН с положительными или отрицательными значениями температурного коэффициента ПН.

В работе [7] представлены экспериментальные изотермы смачиваемости нитрида алюминия расплавами Ge-Al и Sn-Al, а так же плотность и ПН указанных систем во всем концентрационном интервале. Комплексное рассмотрение капиллярных характеристик расплава в исследовании производилось посредством учета данных, доступных по термодинамической активности компонентов расплава. Олово понижает поверхностное натяжение алюминия сильнее, чем германий. Причиной этому служит не только более низкое значение ПН чистого олова по сравнению с германием, но и большая термодинамическая активность олова в расплаве алюминия. В целом, данные [7] подтвердили результаты [4], но, кроме этого, заметно сузили пробел в количестве исследованных концентрационных срезов в системе олово–алюминий.

Исследования ПН в системе олово-алюминий не ограничиваются бинарными сплавами. Так, ПН алюминия и его сплавов с индием и оловом изучалось методом большой капли в [8].

В работе [9] изучались поверхностные свойства многокомпонентных сплавов на основе системы олово-алюминий [9]. Оказалось, что перитектика системы Al-Sn-Zn имеет более низкое значение ПН, чем эвтектика Sn-Al.

В настоящей работе, с использованием новых информационных технологий, методом лежащей капли измерены политермы плотности ρ и ПН σ расплавленной эвтектики Sn-Al в широком интервале температур, в вакууме $0,01$ Па. С увеличением температуры и плотность, и поверхностное натяжение убывают. Результаты экспериментов хорошо аппроксимируются линейными уравнениями, коэффициенты которых приведены в таблице.

Коэффициенты A , B и A^* , B^* линейных аппроксимаций плотности $\rho = A - B \cdot T$ и поверхностного натяжения $\sigma = A^* - B^* \cdot T$ в системе олово-алюминий

Вещество	A , кг/м ³	B , кг/(м ³ ·К)	A^* , мН/м	B^* , мН/(м·К)
Олово	7308.68	0.64	572.7	0.084
Эвтектика Sn-Al	7240.56	0.58	579.9	0.046

На рис. 1 приведено сравнение результатов по ПН эвтектического сплава системы Sn-Al (наши данные) с данными по ПН сплава Sn-Al-Zn из [9], а также приведены данные для чистого олова [10].

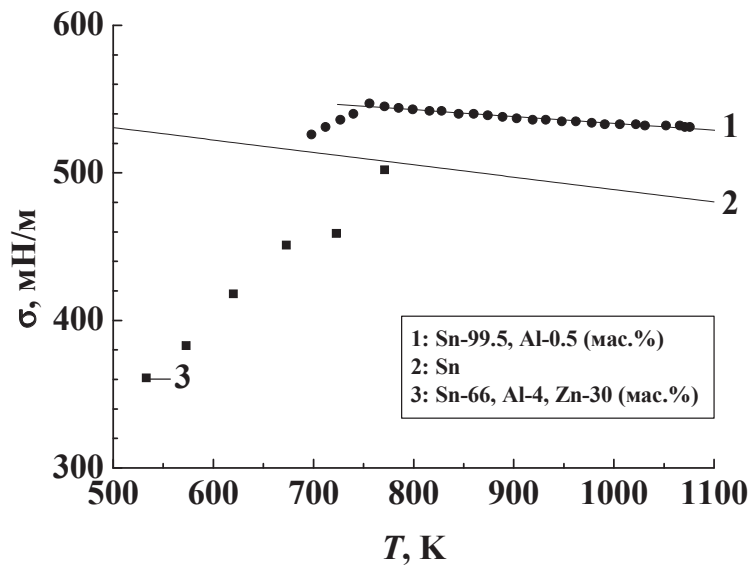


Рис. 1. Сравнение политерм ПН сплавов Sn-Al и Sn-Al-Zn

Политермы углы смачивания оловом и эвтектическим расплавом олово-алюминий поверхности алюминий-литиевого сплава

В настоящей работе предпринята попытка изучения политерм углов смачивания оловом и эвтектическим расплавом Sn-Al алюминиевых сплавов Al+4 ат.% Li (рис. 2), которые широко используются в авиапромышленности. На рис. 2 при температуре 810–820 К наблюдается порог смачивания подложек расплавом чистого олова (кривые 1 и 2, опыт повторен дважды). При расплавлении капли происходит интенсивное взаимодействие с подложкой (реактивное смачивание) с образованием кратеров. После этих температур олово полностью растекается по подложке, $\theta \rightarrow 0$.

При смачивании эвтектическим расплавом Sn-Al углы смачивания снижаются (кривая 3 на рис. 8) и порог смачивания наблюдается при более низкой температуре: $T = 765$ К. Далее снова $\theta \rightarrow 0$.

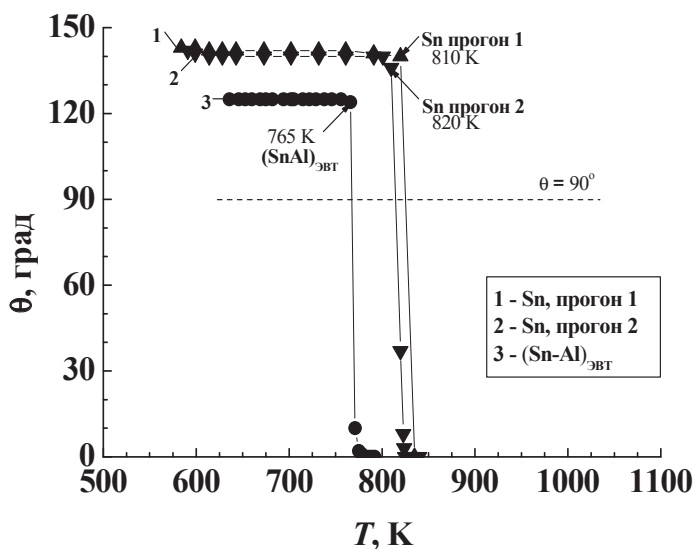


Рис. 2. Температурная зависимость углов смачивания оловом и эвтектическим расплавом Sn-Al алюминиевого сплава Al+4 ат.% Li:
 1, 2 – кривые углов смачивания чистым оловом (опыт повторен дважды),
 3 – кривая углов смачивания расплавом Sn-Al

После растекания припой закристаллизовывался с образованием поликристаллической структуры (рис. 3). При травлении в растворе соляной кислоты выявляются игольчатые структуры (рис. 4 а, б). Видимо из-за образования этих структур сдерживалось смачивание поверхности сплава Al + 4 ат.% Li на начальном этапе.

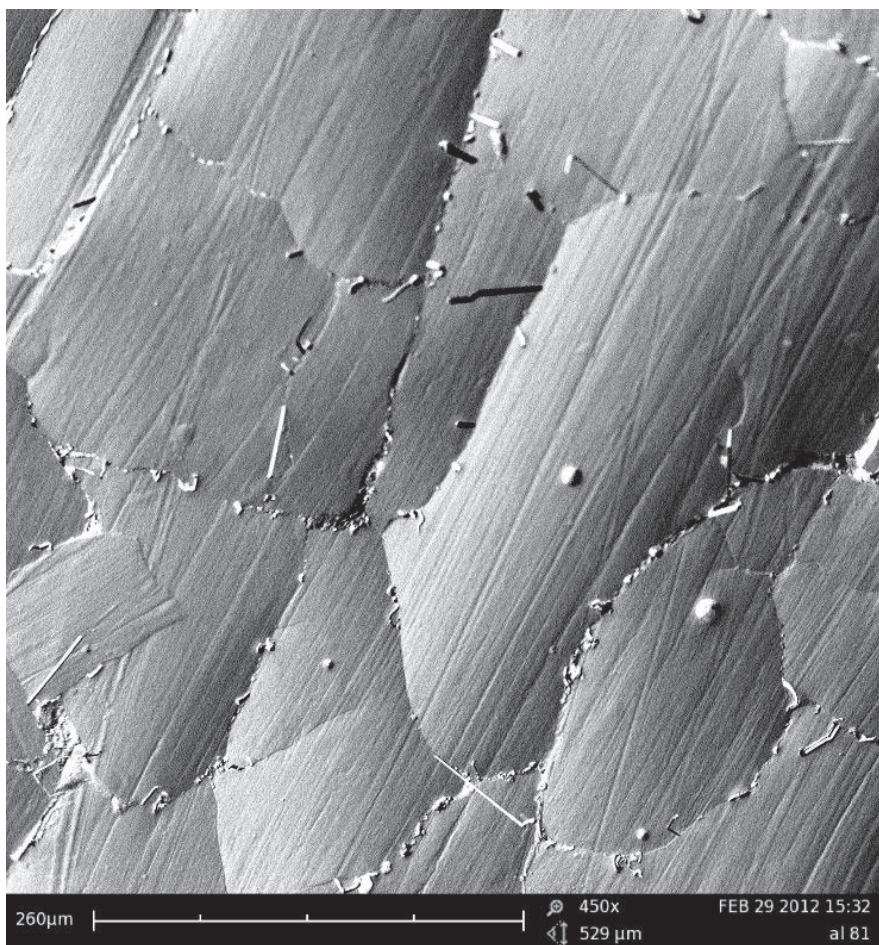


Рис. 3. Пленка олова на поверхности Al+4 ат.% Li после растекания и кристаллизации. Снимок сделан с помощью микроскопа PHENOM с увеличением x450



Рис. 4. Электронно-микроскопические снимки пленки закристаллизовавшегося расплава Al+4 ат.% Li после травления. Снимок сделан с помощью микроскопа PHENOM с увеличением $\times 450$ (а, б – различные участки образца)

Таким образом, для бесфлюсовой пайки алюминия с керамическими платами интегральных схем предлагается припой эвтектического состава системы Sn-Al и припой перитектического состава системы Sn-Al-Zn.

Выводы

1. Для бесфлюсовой пайки алюминия с керамическими платами интегральных схем предлагается припой эвтектического состава Sn-0.5 мас.% Al и припой перитектического состава Sn66-Al4-Zn30 (мас.%).

2. Изучены политермы смачивания оловом и расплавом Sn-0.5 мас.% Al алюминиевого сплава Al+0.4 ат. %Li. Обнаружены пороги смачивания: 810-820К при смачивании чистым оловом и 765К при смачивании эвтектическим расплавом.

3. При смачивании сплава Al+0.4 ат.% Li эвтектическим расплавом системы Sn-Al наблюдается образование игольчатых структур, которые, видимо, и сдерживают смачивание на начальном этапе.

Работа выполнялась с помощью оборудования Владикавказского ЦКП «Наносистемы и материалы для горно-металлургического комплекса научным оборудованием» и при финансовой поддержке Минобрнауки (код проекта № 16.552.11.7030)

Список литературы

1. Созаев В. А., Шидов Х. Т., Шухостанов А. К. Припой для лужения и пайки алюминия и его сплавов. Патент СССР. №1274907, В23К35126 опубл. 07.11.92. Бюлл. 41.
2. Ахкубеков А. А., Мельников С. Д., Созаев В. А., Савинцев П. А., Шидов Х. Т., Шухостанов А. К. Способ пайки алюминия и его сплавов. А.С. СССР, № 1792023. Кл. В 23Л1/00.
3. Корольков А. М. Поверхностное натяжение алюминия и его сплавов. – Изд-во АН ОТН, 1956. – Т. 2. – С. 35–42.
4. Goutiri L., Joud J. C., Desre P., Hichter J. M. // Surface Science. – 1979. – V. 83. – P. 471–478.
5. Goutiri L., Joud J. C // Acta Metall. – 1982. – V. 30. – № 7. – P. 1397–1405.
6. Ниженко В. И., Смирнов Ю. И. // Расплавы. – 1995. – № 1. – С. 3–8.
7. Taranets N. Yu., Nizhenko V. I., Poluyanskaya V. V., Naidich Yu. V. // Acta Materialia. – 2002. – V. 50. – № 20. – P. 5147–5154.
8. Алчагиров Б. Б., Чочаева А. М., Хоконов Х. Б., Таова Т. М., Ибрагимов Х. И. // Вестник КБГУ. Сер. Физические науки. – 2003. – № 4. – С. 6–11.
9. Ахкубеков А. А., Понежев М. Х., Созаев В. А. // Труды Междунар. научно-практич. Конф. «Фундаментальные проблемы пьезоэлектрического приборостроения» (Пьезотехника-99). – Ростов н/Д, 1999. – Т. 1. – С. 20–25.
10. Директор Л. Б. [и др.] // Матер. 1 междунар. междисциплинарного симпозиума «Термодинамика неупорядоченных сред и пьезоактивных материалов» 8–12 ноября 2009, Ростов н/Д–Пятигорск. – С. 107–111.