
Раздел I

ПОВЕРХНОСТНЫЕ СВОЙСТВА РАСПЛАВОВ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ, СМАЧИВАНИЕ, АДГЕЗИЯ

УДК 532.6:546.26

В. П. Красовский, Л. Р. Вишняков, Н. А. Красовская, В. А. Коханий*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМАЧИВАЕМОСТИ КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ ОЛОВОСОДЕРЖАЩИМИ СПЛАВАМИ

Методом лежащей капли с использованием способа капиллярной очистки расплава капли в процессе эксперимента изучено смачивание компактных материалов на основе меди (оловянная, бериллиевая, алюминиевая бронзы) и чистой меди низкотемпературными припойными расплавами на основе олова. Припои системы Sn—Ag—Cu проявляют большую активность при смачивании бронз в сравнении со сплавами Sn, Sn—Pb, Sn—Bi. Результаты по смачиванию подложек меди, предварительно отожженных в вакууме, и бронз расплавами SAC (Sn—3,2% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) и Sn—Bi показали, что лучше смачиваются медь и бериллиевая бронза. Для металлизации и пайки высокопористых проволочных конструкций из меди использовали припои системы Sn—Ag—Cu, а также сплавы на основе Sn—Bi.

Ключевые слова: смачивание, оловянная, алюминиевая и бериллиевая бронзы, припои, сеточные материалы.

Введение

В различных областях техники широко используются медь и ее сплавы. Наряду с компактными материалами из меди нашли применение сеточные конструкции. Так, например, в системах молниезащиты полимерных композитов (углепластиков) в конструкциях летательных аппаратов и

* В. П. Красовский — доктор химических наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев; Л. Р. Вишняков — доктор технических наук, профессор, зав. отделом, там же; Н. А. Красовская — научный сотрудник, там же; В. А. Коханий — научный сотрудник, там же.

ветролопастей в качестве токоотводящих элементов используются вязанопаяные сетчатые медные материалы [1, 2].

Реализация токоотводящего эффекта позволяет регулировать процесс переноса тепловой и электрической энергии от места поражения углепластика молнией и зависит от состояния и свойств паяных контактов проволок. Во многих электротехнических и электронных технологических системах применяют металлизацию и пайку. Поэтому при создании проводящих соединений из проволочных объектов важное значение имеет смачивание поверхности твердой фазы металлическим припойным расплавом.

В качестве низкотемпературных припоев для пайки меди и ее сплавов до последнего времени использовались сплавы на основе свинца. Такие припои обладают высокой жидкотекучестью, являются высокотехнологичными, коррозионно-стойкими, удобными в эксплуатации. Однако на Европейском рынке применение свинца в припоях начиная с 2006 г. запрещено.

Цель настоящего исследования — изучить смачивание компактных материалов на основе меди некоторыми важными в практическом отношении бессвинцовыми припоями, сравнить результаты с данными по смачиванию припоем ПОС-61, отработать режимы и условия металлизации и пайки материалов на основе меди.

Методика исследований и материалы

Смачивание изучали методом лежащей капли с применением способа капиллярной очистки расплава капли в процессе эксперимента [3] в вакууме $2 \cdot 10^{-3}$ Па в температурном интервале 250—450 °С. Использовали графитовый капилляр с отверстием диаметром до $\sim 10^{-3}$ м, что позволяло проводить раздельный нагрев капли и подложки, осуществлять капиллярную и термовакуумную очистку расплава, термовакуумную очистку подложки. Применение метода лежащей капли с использованием способа капиллярной очистки позволило получить температурные и кинетические зависимости краевого угла смачивания с высокой воспроизводимостью результатов.

Величину краевого угла смачивания измеряли по профилю капли на фотопластинке, проводя касательную в точке контакта трех фаз. Если линейные размеры капли лежат в диапазоне $(0,5—1,0) \cdot 10^{-2}$ м, то при увеличении ее изображения в 4—6 раз краевой угол смачивания измеряют по проекции капли на микроскопе УИМ-21 с точностью $\pm 2^\circ$. Исследовали смачивание компактных подложек бронзы различных марок (оловянная марки БрО10, алюминиевая марки БрА7 и бериллиевая марки БрБ2) бессвинцовыми расплавами. В качестве жидкой фазы использовали расплав Sn—8% (мас.) Bi, припой типа SAC (95,5% (мас.) Sn—3,8% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu), а также стандартные припои SAC (Sn—3,2% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu), O-2 (Sn—~99,95% (мас.)), CASTIN (Sn—2,5% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu—0,5% (мас.) Sb) и для сравнения стандартный припой ПОС-61 (Sn — 61% (мас.), Sb \leq 0,8% (мас.), свинец — остальное). Для исследований применяли металлы с содержанием основного компонента

до 99,999% (мас). Нестандартные припои готовили предварительным плавлением в графитовых тиглях в вакууме при температуре 350 °С.

Результаты исследований и их обсуждение

Температурные зависимости краевого угла при смачивания припойными расплавами различных компактных бронзовых материалов в интервале 250—450 °С представлены на рис. 1. Смачивание улучшается с ростом

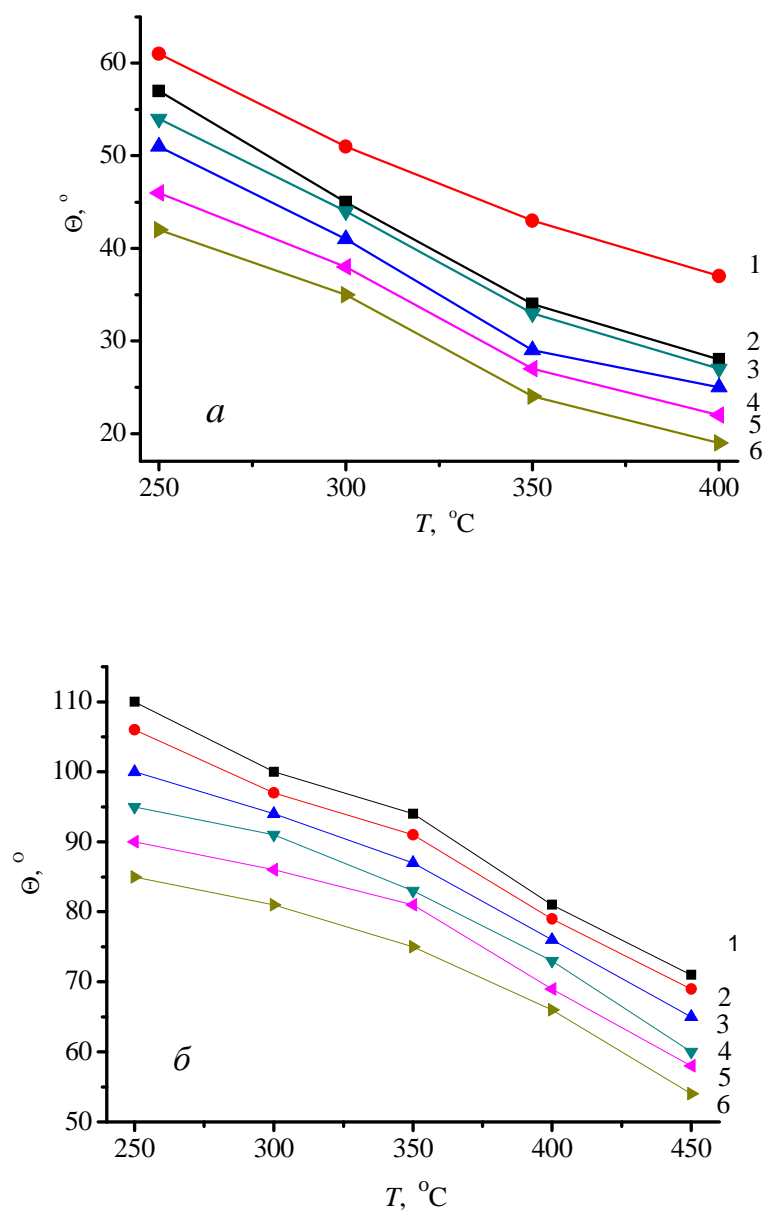


Рис. 1, а, б.

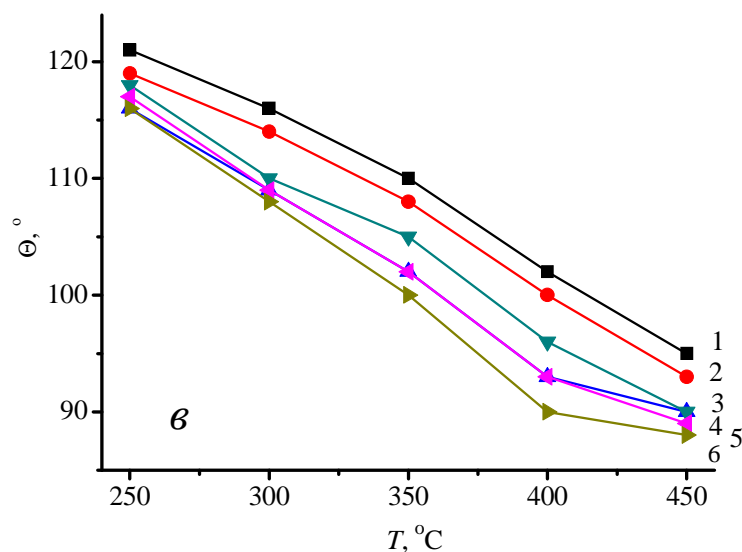


Рис. 1. Температурные зависимости смачивания подложек из бериллиевой (а), оловянной (б) и алюминиевой (в) бронз расплавами ПОС-61 (1), О-2 (2), Sn—8% (мас.) Bi (3), SAC (Sn—3,2% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) (4), CASTIN (Sn—2,5% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu—0,5% (мас.) Sb) (5) и SAC (Sn—3,8% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) (6)

Fig. 1. Temperature dependences of wetting of substrates from beryllium (a), tin (б) and aluminum (в) bronzes by melts: ПОС-61 (1), О-2 (2), Sn—8% (mass) Bi (3), SAC (Sn—3,2% (mass) Ag—0,7% (mass) Cu) (4), CASTIN (Sn—2,5% (mass) Ag—0,7% (mass) Cu—0,5% (mass) Sb) (5) and SAC (Sn—3,8% (mass) Ag—0,7% (mass) Cu) (6)

температуры. Смачиваемость бессвинцовыми припоями несколько лучше смачиваемости ПОС-61. Значения краевых углов смачивания уменьшаются в ряду припоев ПОС-61 → О-2 → Sn—Bi → SAC (Sn—3,2% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) → CASTIN → SAC (95,5% (мас.) Sn—3,8% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu). Припои системы Sn—Ag—Cu проявляют большую активность при смачивании бронз в сравнении со сплавами Sn, Sn—Pb, Sn—Bi: углы лежат в пределах 19—25° при 400 °C для бериллиевой бронзы сплавами SAC и CASTIN, для сплава Sn—Bi — 27° и для припоя ПОС-61 угол имеет значение 37°. Различие в величине углов смачивания для стандартного припоя и приготовленного перед опытом сплава SAC, по-видимому, обусловлено тем, что при выплавке использовали металлы высокой чистоты.

Время растекания припоев по поверхности подложек из бериллиевой и оловянной бронз составляет 15—20 мин (рис. 2).

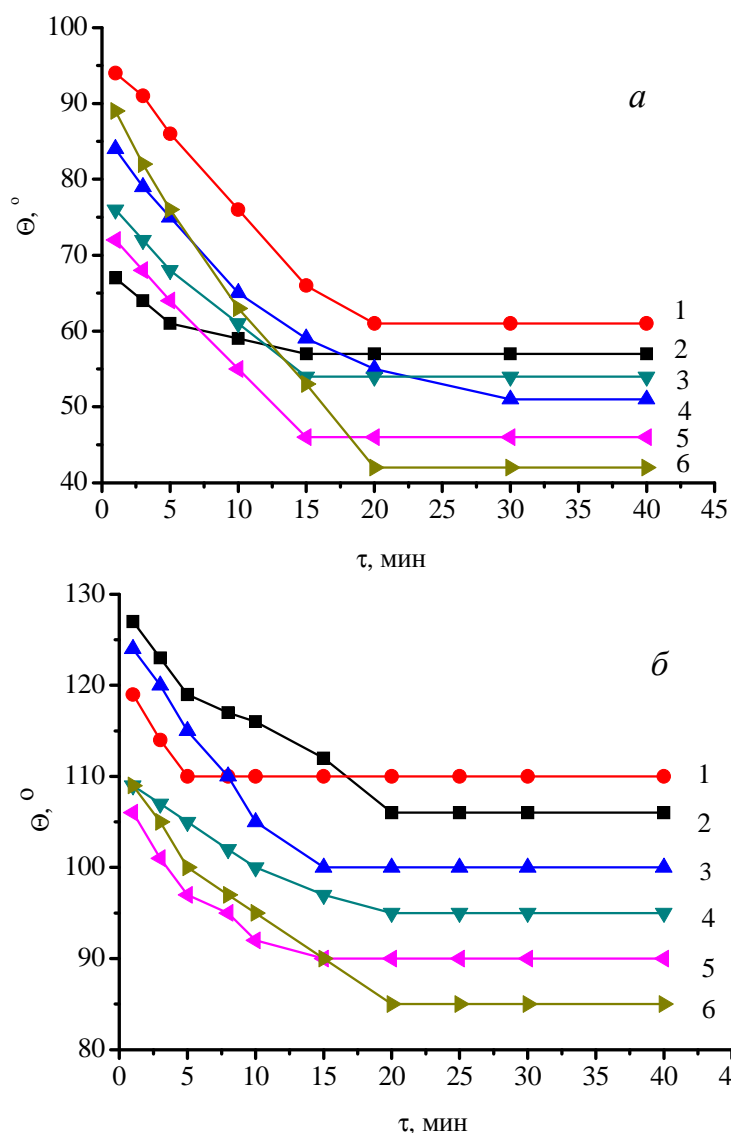


Рис. 2. Кинетическая зависимость краевого угла смачивания для подложек из бериллиевой (а) и оловянной (б) бронз расплавами ПОС-61 (1), О-2 (2), Sn—8% (мас.) Bi (3), SAC (Sn—3,2% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) (4), CASTIN (Sn—2,5% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu—0,5% (мас.) Sb) (5) и SAC (Sn—3,8% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) (6) при температуре 250 °С

Fig. 2. Kinetic dependence of contact angle for substrates from beryllium (a) and tin (б) bronze by melts ПОС-61 (1), О-2 (2), Sn—8% (mass) Bi (3), SAC (Sn—3,2% (mass) Ag—0,7% (mass) Cu) (4), CASTIN (Sn—2,5% (mass) Ag—0,7% (mass) Cu—0,5% (mass) Sb) (5) and SAC (Sn—3,8% (mass) Ag—0,7% (mass) Cu) (6) at temperature 250 °С

Сравнительные результаты по смачиванию бронз и меди приведены на рис. 3. Величины углов смачивания улучшаются с ростом температуры. Результаты по смачиванию подложек меди [4], предварительно отожженных в вакууме, и бронз расплавами O-2, SAC (Sn—3,2% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) и Sn—8% (мас.) Bi показали, что лучше смачиваются медь и бериллиевая бронза, а хуже алюминиевая — краевые углы смачивания превышают 90°. Это объясняется тем, что поверхность подложки является окисленной.

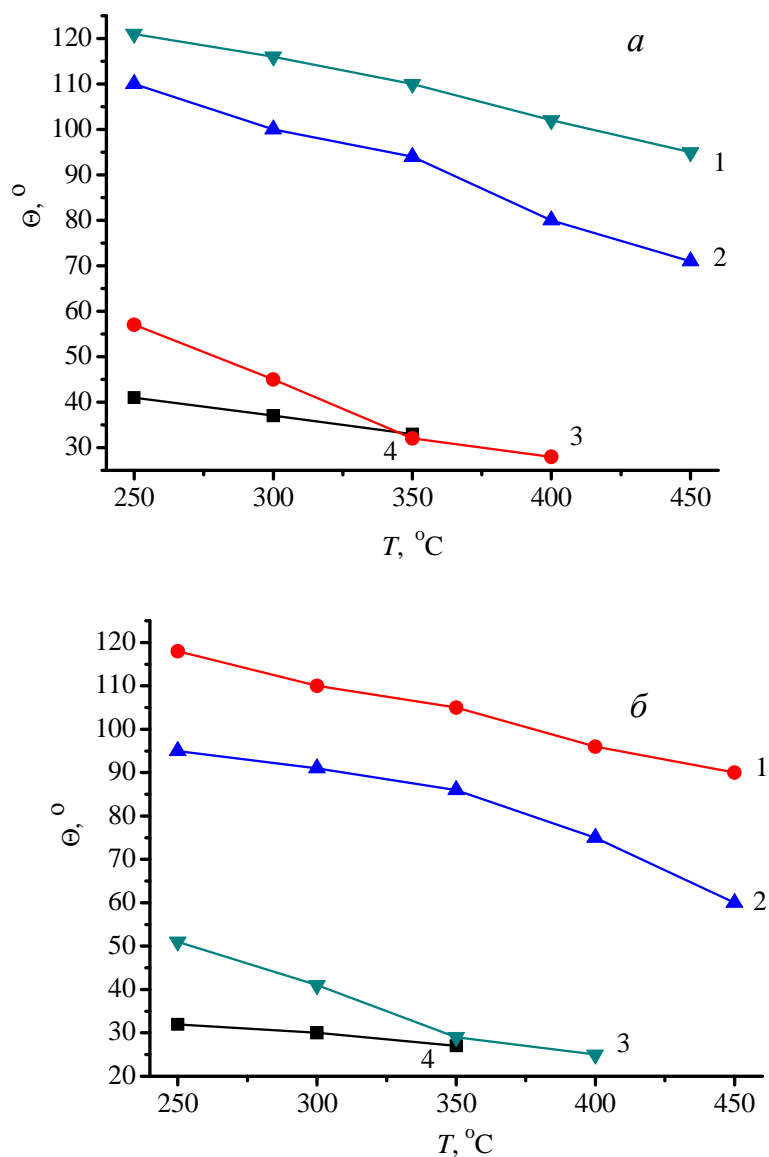


Рис. 3, а, б.

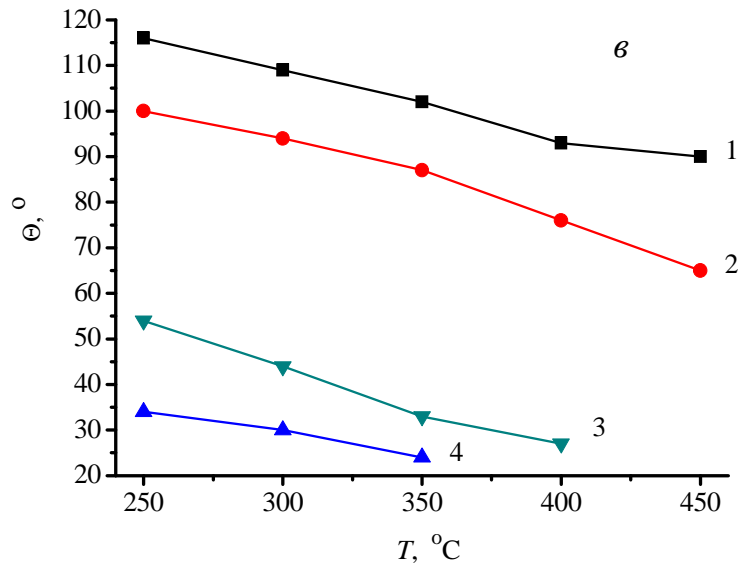


Рис. 3. Смачивание компактных материалов: алюминиевой (1), оловянной (2), бериллиевой (3) бронз и меди (4) расплавами O-2 (а), SAC (Sn—3,2% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) (б) и Sn—8% (мас.) Bi (в)

Fig. 3. Wetting of compact materials: aluminium (1), tin (2), beryllium (3) bronzes and by melts (4) O-2 (a), SAC (Sn—3,2% (mass) Ag—0,7% (mass) Cu) (b), Sn—8% (mass) Bi (c)

Выводы

Температурные зависимости краевого угла смачивания бессвинцовыми припойными расплавами показали уменьшение величины углов с ростом температуры. Бериллиевая бронза смачивается припойными расплавами практически как компактная медь. Для металлизации и пайки высокопористых проволочных конструкций из меди и бронзы можно использовать бессвинцовые припои типа SAC (Sn—3,2% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu) и CASTIN (Sn—2,5% (мас.) Ag—0,7% (мас.) Cu—0,5% (мас.) Sb). Перспективными, на наш взгляд, являются сплавы на основе Sn—Bi.

РЕЗЮМЕ. Методом лежачої краплі з використанням способу капілярного очищення розплаву краплі в процесі експерименту вивчено змочування компактних матеріалів на основі міді (оловяної, берилієвої, алюмінієвої бронз) і чистої міді низькотемпературними припійними розплавами на основі олова. Припої системи Sn—Ag—Cu виявляють більшу активність при змочуванні бронз у порівнянні зі сплавами Sn—Pb, Sn, Sn—Bi. Результати по змочуванню підкладок міді, попередньо відпалених у вакуумі, і бронз розплавами O-2, SAC і Sn—Bi показали, що найкраще

змочуються мідь і берилієва бронза. Для металізації і паяння високопористих дротових конструкцій з міді використовували припої системи Sn—Ag—Cu, а також сплави на основі Sn—Bi.

Ключові слова: змочування, оловяна, алюмінієва та берилієва бронзи, припої, сіткові матеріали.

1. *Vishnyakov L. R.* Knitted wire mesh reinforced powder composite materials produced by rolling // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. — 2014. — 52, No. 9/10. — P. 498—504.
2. *Вишняков Л. Р.* Проволочные вязочные сетки для молниезащиты полимерных композиционных материалов / Л. Р. Вишняков, И. Н. Коханая, В. А. Коханий // Технологические системы. — 2008. — № 4. — С. 30—33.
3. *Найдич Ю. В.* Смачиваемость некоторых неметаллических материалов алюминием / [Ю. В. Найдич, Ю. Н. Чувашов, Н. Ф. Ишук, В. П. Красовский] // Порошковая металлургия. — 1983. — № 6. — С. 66—68.
4. *Красовский В. П.* Бессвинцовые припои для металлизации и пайки медных материалов / [В. П. Красовский, Л. Р. Вишняков, Н. А. Красовская, Е. Г. Иванов] // Адгезия расплавов и пайка материалов. — 2008. — Вып. 41. — С. 53—62.

Поступила 15.09.15

**Krasovskyy V. P., Vishnyakov L. R., Krasovskaya N. A.,
Kochanyy V. A.**

Definition wetting by free lead alloys of compact materials on the base of copper

The sessile drop method with “capillary purification” method was applied. The wetting of compact materials on the base of pure copper and bronzes (tin, beryllium, aluminum) by the low temperature solders on the basis of tin was studied. At wetting of bronzes Sn—Ag—Cu solder showed the big activity in comparison with alloys Sn, Sn—Pb, Sn—Bi. Results on wetting by O-2, SAC (Sn—3,2% (mass) Ag—0,7% (mass) Cu) and Sn—Bi alloys of copper and bronzes substrates showed, that copper and beryllium bronze by alloys are wetted better. Sn—Ag—Cu solders, and also Sn/Bi alloys for metallization and soldering of high porous copper net construction were used.

Keywords: wetting, tin, aluminium and beryllium bronzes, solders, net materials.