

Исследование взаимодействия цинковых припоев со сплавами алюминия при нанесении трением

© 2020

Шаргаев Евгений Олегович^{*1}, аспирант

Пашков Игорь Николаевич², доктор технических наук, профессор

Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва (Россия)

*E-mail: eshargaev@gmail.com

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3410-4476>

²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2511-2845>

Аннотация: В настоящее время в связи с поиском более экономичных и надежных процессов соединения алюминия, а также продуктов, которые невозможно изготовить с применением флюса, весьма актуальной является задача применения методов бесфлюсовой пайки сплавов на основе алюминия. Отсутствие описания процессов и механизмов бесфлюсовой пайки методом трения припоя о поверхность алюминия ставит важную задачу их изучения и подробного изложения. Для исследований были получены сплавы на основе цинка и методом горячего прессования изготовлены прутки припоев. В работе с использованием метода трения прутка о поверхность нагретой алюминиевой подложки были определены минимальные температуры схватывания цинковых припоев различных составов с поверхностью алюминия. Экспериментально доказано, что эти температуры коррелируют с температурами ликвидуса этих сплавов и имеют близкие значения. Получена зависимость минимальных температур схватывания от содержания алюминия и меди в припое. Исследовано влияние состояния поверхности основного металла на площадь растекания цинкового припоя Zn–4%Al при нанесении трением. В результате проведенных экспериментов были определены площади растекания припоя по поверхности подложки из алюминиевого сплава АД31 в зависимости от шероховатости поверхности основного металла. Установлено, что минимальные температуры схватывания припоев имеют близкие значения по отношению к температурам ликвидуса этих сплавов, а добавление в припой меди снижает эти температуры в среднем на 20 °С на каждый процент добавленной меди. Растекание припоя Zn–4%Al по поверхности алюминиевого сплава АД31 достигает наибольших значений при обработке поверхности шкурками грубой зернистости, с уменьшением шероховатости эффект растекания уменьшается.

Ключевые слова: Zn–4%Al; температура схватывания припоя; нанесение трением; растекание припоя; шероховатость; эвтектические фазы; ликвидус; алюминиевый сплав АД31; сплав Д16.

Для цитирования: Шаргаев Е.О., Пашков И.Н. Исследование взаимодействия цинковых припоев со сплавами алюминия при нанесении трением // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2020. № 4. С. 58–66. DOI: 10.18323/2073-5073-2020-4-58-66.

ВВЕДЕНИЕ

Обширное использование алюминия и его сплавов в различных отраслях промышленности и техники требует дальнейшего совершенствования и развития уже существующих технологических процессов пайки. Одной из основных проблем пайки алюминия является обеспечение разрушения оксидной пленки и осуществление смачивания поверхности алюминия припоем. При пайке алюминия и его сплавов оксидную пленку необходимо удалить непосредственно в процессе пайки и защитить поверхность паяемого металла от окисления, пока не произойдет расплавление припоя и заполнение им зазора между паяемыми деталями [1]. Из-за высокой активности флюсов при пайке алюминия и проблем с их удалением [2; 3] в качестве альтернативы рассматривается бесфлюсовая пайка.

Одним из привлекательных методов бесфлюсовой пайки как низкотемпературной пайки является широко исследованная и описанная в литературе ультразвуковая пайка [4–6]. Ультразвуковая вибрация может привести к кавитации высокой интенсивности в жидком Zn–Al припое, что приводит к разрушению оксидов алюминия на поверхности в течение короткого времени [7; 8].

Другим способом механического удаления оксидной пленки может служить нанесение припоя на поверхность алюминия методом натирания. Суть данного способа состоит в том, что под влиянием припоя, проникающего через дефекты в оксидной пленке и вызывающего ее подплавление и диспергирование [9], оксидная пленка разрушается, и в присутствии расплава припоя происходит смачивание цинковым припоем поверхности алюминия.

С миниатюризацией и увеличением мощности силовой электроники работа при высоких температурах стала серьезной проблемой. Растущая потребность в работе полупроводниковых элементов при высоких температурах требует применения новых высокотемпературных припоев [10]. Наилучшими кандидатами для бесфлюсовой пайки являются сплавы на основе Zn–Al [11–13]. Температуры пайки большинства цинковых припоев находятся в интервале 380–500 °С. Основные закономерности формирования структуры соединений при пайке Zn–Al припоями заключаются в том, что повышение температуры пайки и увеличения зоны шва приводит к появлению усадочной пористости в соединении [14]. В работах [15–17] сообщалось о том, что предел прочности при растяжении, сопротивление ползучести и коррозионная

стойкость цинковых сплавов улучшаются за счет добавления таких элементов, как алюминий и медь.

Все эксперименты в описанных выше исследованиях проводились с применением ультразвуковых колебаний, поэтому отсутствие описания процессов и механизмов пайки методом трения припоя о поверхность алюминия делает актуальной задачу их изучения и подробного изложения.

Цель работы – определение минимальной температуры схватывания цинкового припоя различных составов с поверхности алюминия и определение влияния шероховатости поверхности основного металла на площадь растекания припоя Zn–4%Al по основному материалу при нанесении припоя методом трения.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для исследования в индукционной установке были приготовлены сплавы различных составов, затем они были отлиты в металлическую изложницу. Составыготавливаемых сплавов представлены в таблице 1. Из полученных цилиндрических отливок методом горячего прессования изготовлены прутки припоев диаметром 5 мм и длиной 300 мм.

В качестве основы были подготовлены пластины из алюминиевых сплавов марок АМг2, АД31 и Д16 размером 30×30 мм.

Нагрев подложки осуществлялся плоским керамическим нагревателем, контроль температуры производился хромель-алюмелевой термопарой, расположенной в верхней части подложки. Для определения площади растекания припоя методом трения прутка припоя Zn–4%Al о поверхность подложки из алюминиевого сплава АД31 расплавляли каплю припоя примерно одинаковой площади, контрольно-измерительным прибором фиксировалось падение температуры с последующим нагревом снова до 420 °С. На рис. 1 показана

схема нагрева подложки и нанесения припоя на поверхность алюминия.

Для нанесения шероховатости на поверхность алюминия были выбраны шлифовальные бумаги различной зернистости. Номера бумаги и соответствующие ей величины среднего размера зерна представлены в таблице 2.

Измерение площадей растекания припоя проводилось с помощью программы «T-flex 2D чертеж» приведением изображения растекшейся капли припоя к одному масштабу с линейкой, выделением площади растекания и ее программным вычислением.

Исследование микроструктур проводилось при помощи сканирующего электронного микроскопа TESCAN VEGA 3 SBH с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа Oxford Instruments Advanced Aztec Energy.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение минимальной температуры схватывания цинковых припоев различных составов с поверхностью алюминия

В результате проделанных экспериментов были определены минимальные температуры схватывания припоев (температуры, при которых припой начинал плавиться и растекаться по поверхности основного металла) в зависимости от состава этих припоев. На рис. 2 представлена гистограмма зависимости минимальной температуры схватывания цинкового припоя от содержания в нем алюминия. Анализ данных показывает снижение минимальных температур схватывания цинковых припоев с содержанием алюминия до 4 %. Это объясняется тем, что припой Zn–4%Al очень близок к эвтектической точке e (5 % Al, 381 °С), а также имеет низкий интервал плавления.

Таблица 1. Состав Zn–Al и Zn–Al–Cu сплавов, масс. %
Table 1. The composition of Zn–Al and Zn–Al–Cu alloys, w %

Сплав	Zn, %	Al, %	Cu, %
Zn	основа	-	–
Zn+2%Al	основа	2	–
Zn+4%Al	основа	4	–
Zn+8%Al	основа	8	–
Zn+15%Al	основа	15	–
Zn+22%Al	основа	22	–
Zn+4%Al+1%Cu	основа	4	1
Zn+4%Al+2%Cu	основа	4	2
Zn+4%Al+4%Cu	основа	4	4
Zn+15%Al+1%Cu	основа	15	1
Zn+15%Al+2%Cu	основа	15	2
Zn+15%Al+4%Cu	основа	15	4

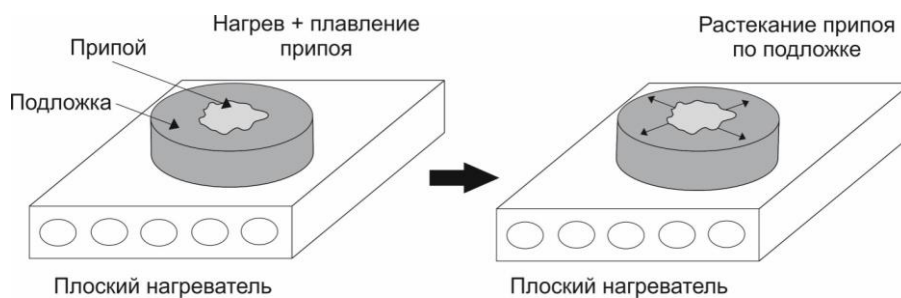


Рис. 1. Схема нагрева подложки и нанесения припоя на поверхность алюминия
Fig. 1. Schematic model of the substrate heating and solder application to an aluminum surface

Таблица 2. Маркировка и зернистость наждачной бумаги
Table 2. Abrasive paper marking and grain fineness

Маркировка по ISO-6344 (международный стандарт)	Средний размер зерна, мкм
P40	400–500
P80	200–250
P240	50–69
P800	20–28
P1500	7–10
P2000	5–7

С дальнейшим повышением содержания алюминия в припое Zn–Al (8–22 % Al) наблюдается повышение минимальных температур схватывания припоев. Образцы, содержащие 8 % Al и 15 % Al, согласно равновесной диаграмме состояния Zn–Al [18], имеют одинаковую температуру солидуса – 381 °С, соответствующую эвтектике. С увеличением содержания алюминия повышается температура ликвидуса, вследствие чего повышается минимальная температура схватывания припоев, но она находится внутри температурного интервала, приближаясь к температуре ликвидуса этих сплавов.

В образце, содержащем 22 % Al, идет неравновесная кристаллизация с образованием эвтектики [19], но доля этой эвтектической составляющей значительно меньше, чем в сплавах с меньшим содержанием алюминия. Интервал точек плавления припоя находится в пределах 427–490 °С. Минимальные температуры схватывания на подложках из алюминиевого сплава АМг2 и АД31 равны 520 и 530 °С соответственно, что выше температуры ликвидуса припоя на 30–40 °С. Это можно объяснить тем, что с повышением содержания алюминия движущая сила растворения падает, средний состав припоя становится ближе к алюминию, и температура плавления повышается.

Припой состава Zn–22%Al на подложке из сплава Д16 не расплавился и не растекался, так как температура солидуса сплава Д16 составляет 502 °С, а температура плавления припоя – 490 °С.

В большинстве случаев минимальные температуры схватывания примерно соответствуют температурам ликвидуса этих сплавов.

Медь хорошо растворяется в цинке с образованием твердого раствора. При этом температура плавления цинковых припоев несколько возрастает. Медь вводят в цинковые припои вместе с алюминием с целью улучшения смачиваемости ими алюминиевых сплавов, повышения растекаемости припоев и увеличения прочности паяных соединений [20].

Для исследования влияния содержания меди на минимальные температуры схватывания припоев были выбраны доэвтектический (Zn4Al) и заэвтектический (Zn15Al) сплавы, в них добавлены 1, 2 и 4 % меди. На рис. 3 показаны гистограммы зависимости минимальной температуры схватывания припоев Zn4Al и Zn15Al от содержания в них Cu.

Как видно из результатов экспериментов, с увеличением содержания меди от 1 до 4 % в сплавах припоев минимальные температуры схватывания снижаются в среднем на 20 °С. В соответствии с тройной диаграммой состояния Al–Cu–Zn добавление меди приводит к снижению температуры ликвидуса этих сплавов, а соответственно, и к снижению минимальных температур схватывания припоев.

Проведя анализ полученных гистограмм, можно заметить, что минимальная температура схватывания на подложке алюминия из сплава Д16 незначительно выше, чем на других материалах. Возможно, это связано

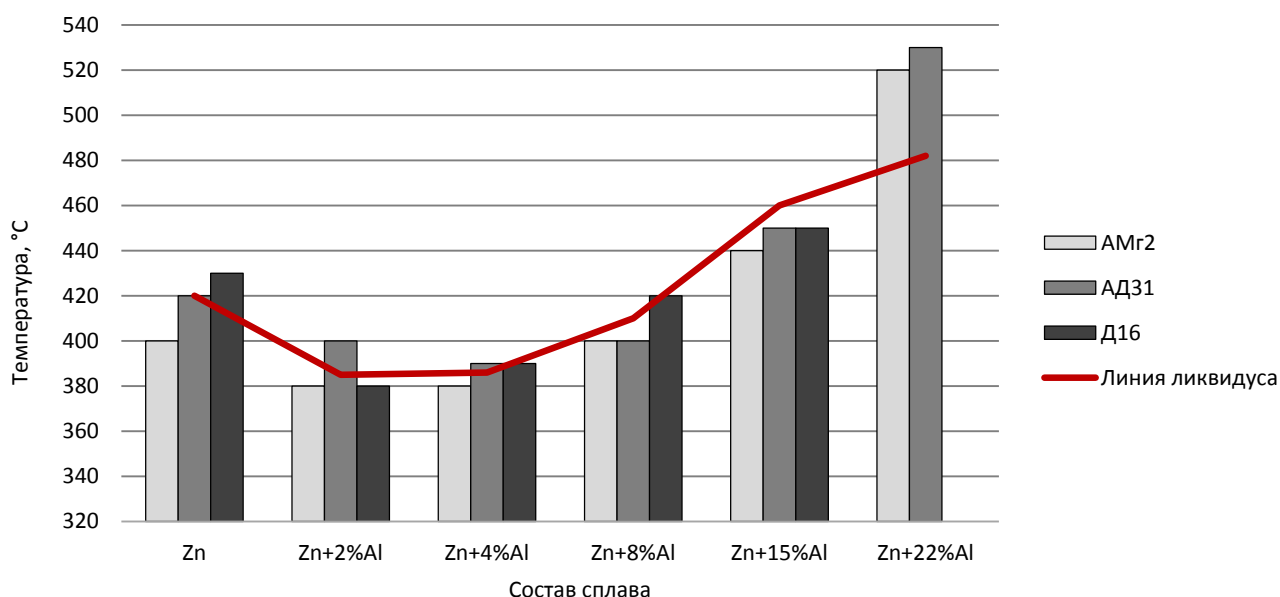


Рис. 2. Зависимость минимальной температуры схватывания цинкового припоя от содержания Al в припое
Fig. 2. The dependence of minimum setting temperature of zinc solder on Al content in the solder

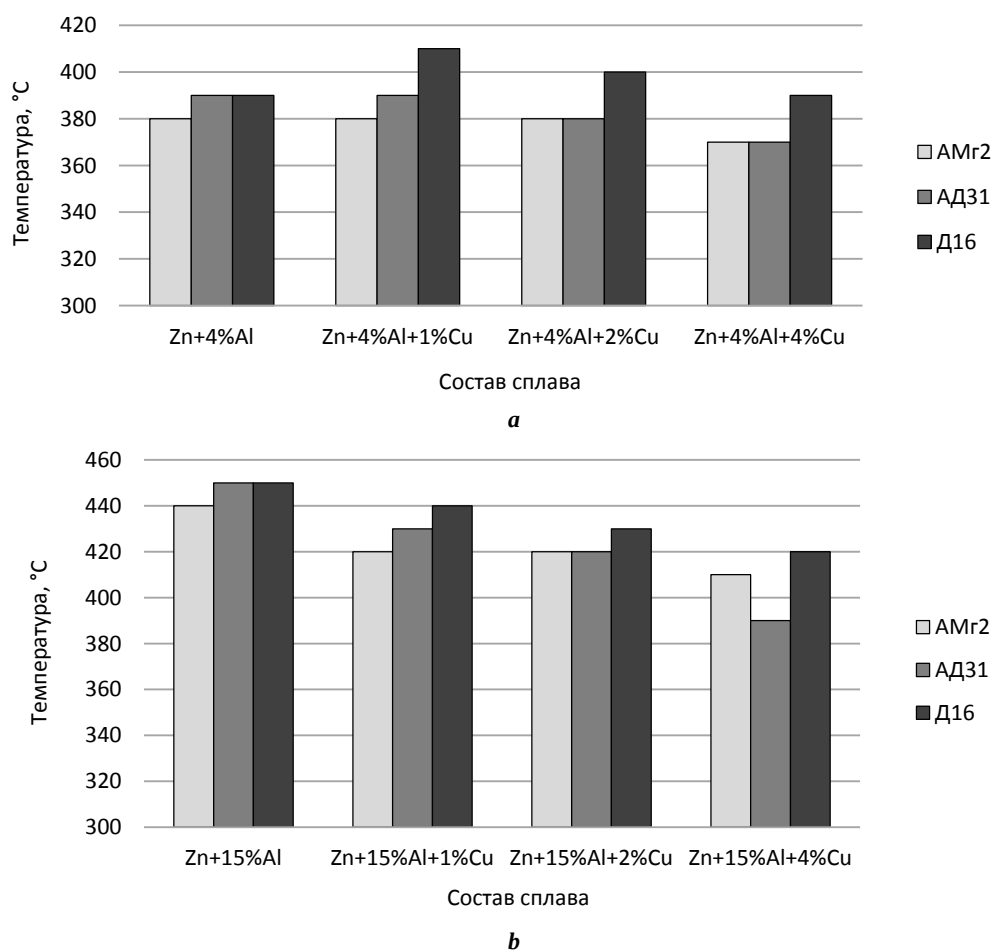


Рис. 3. Зависимость минимальной температуры схватывания от содержания Cu в цинковом припое Zn4Al (а) и Zn15Al (б)
Fig. 3. The dependence of minimum setting temperature on Cu content in Zn4Al (a) and Zn15Al (b) solder

с более плотной пленкой на поверхности основного металла из-за повышенного содержания Mn (0,3–0,9 % масс.) и Mg (1,2–1,8 % масс.) в сплаве Д16. Можно сделать вывод, что повышенное содержание этих элементов в основном материале оказывает влияние на температуру схватывания припоя, увеличивая ее в среднем на 20 °С.

Влияние шероховатости поверхности основного металла на площадь растекания припоя Zn–4%Al по основному материалу при нанесении трением

Еще одной задачей исследования стала оценка влияния шероховатости поверхности основного металла на площадь растекания припоя по этой поверхности. Для этого поверхность алюминия была обработана наждачной бумагой различной зернистости (таблица 2) и использован цинковый припой состава Zn–4%Al. На рис. 4 показаны изображения капли припоя, растекшейся по необработанной поверхности, и капли припоя, растекшейся по поверхности, обработанной наждачной бумагой марки P800.

На снимках поверхности подложек хорошо заметно, что на поверхности, обработанной наждачной бумагой, припой растекается под оксидной пленкой и имеет ярко выраженный ореол. Величина этого ореола напрямую зависит от величины шероховатости обработанной поверхности: чем больше шероховатость поверхности, тем на большую площадь растекается припой.

Микронеровности на обработанной поверхности алюминия представляют собой хаотично пересекающиеся линии, углубленные на величину среднего размера зерна соответствующей наждачной бумаги. На изображении, полученном с электронного микроскопа

(рис. 5), хорошо видно, как припой под действием капиллярных сил начинает движение по этим капиллярным каналам, смачивая поверхность и затекая под оксидную пленку алюминия.

Растекание жидкого припоя и смачивание им поверхности твердого тела сопровождается увеличением площади растекания и происходит в результате работы преодоления сил поверхностного натяжения. Было обнаружено, что в момент расплавления припоя происходит падение температуры за счет поглощения тепла на растворение припоя, но по мере восстановления температуры область растекания начинает расползаться под оксидной пленкой.

В результате проделанных экспериментов были определены площади растекания припоя по поверхности подложки из алюминиевого сплава АД31 в зависимости от шероховатости поверхности основного металла. Полученный график зависимости изображен на рис. 6.

При увеличении среднего размера зерна площадь растекания припоя по поверхности алюминия увеличивается. Площадь растекания припоя на поверхности, не обработанной наждачной бумагой, составляет 148,8 мм², а при обработке поверхности наждачной бумагой с минимальной зернистостью (P2000) площадь растекания увеличивается до 223,13 мм² (увеличение на 66, 6 %). Максимальные значения площади растекания достигаются при обработке поверхности бумагой марки P40 и P80 и составляют 275,45 мм² и 287,07 мм² соответственно. Из графика видно, что при достижении определенной шероховатости, соответствующей бумаге марки P1500, влияние на площадь растекания существенно не оказывается и все значения находятся в пределах среднеквадратического отклонения.

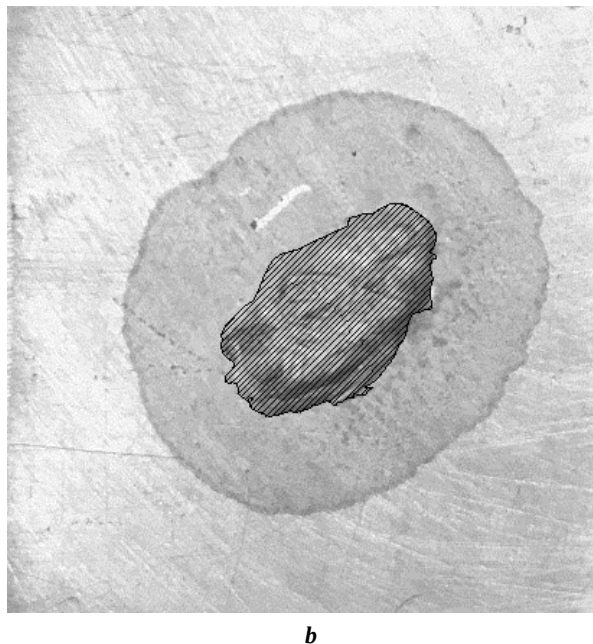
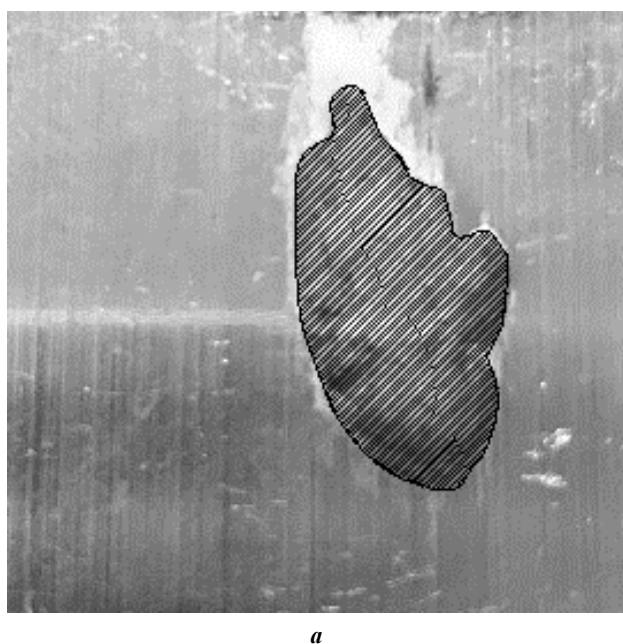


Рис. 4. Снимок поверхности подложки с припоем, растекшимся по поверхности без обработки (а) и по поверхности, обработанной наждачной бумагой с зернистостью P800 (б)

Fig. 4. The image of a surface of the substrate with solder spread over the untreated surface (a) and the surface treated with abrasive paper with P800 grain fineness (b)

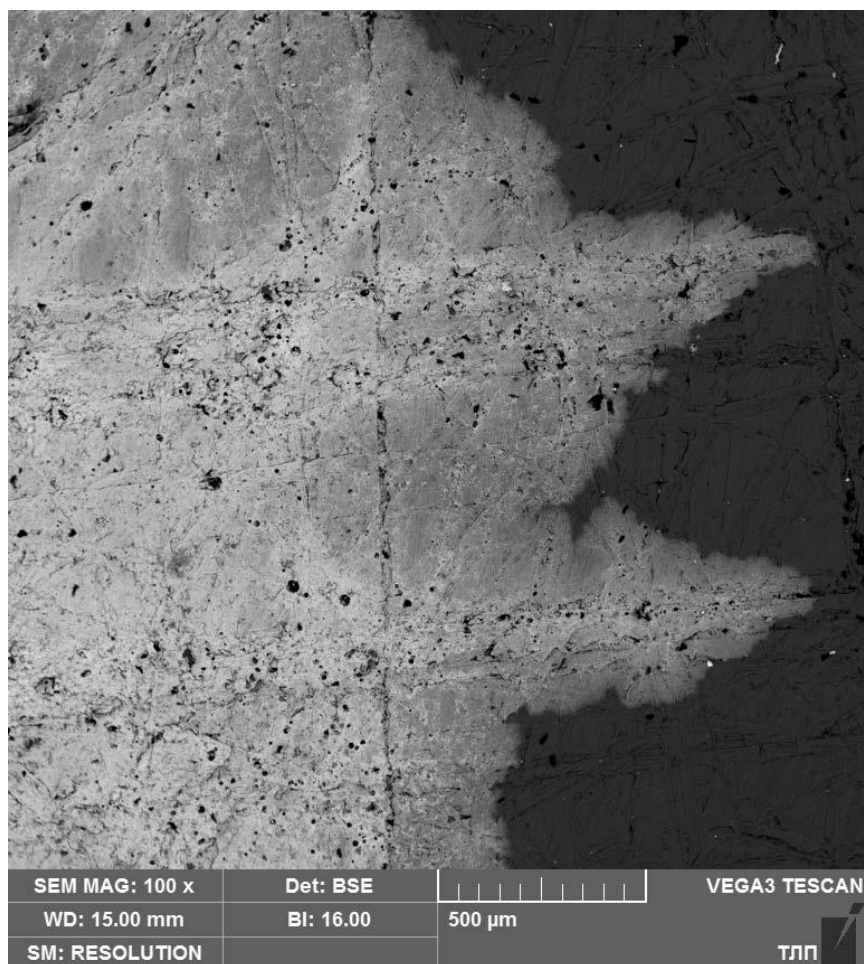


Рис. 5. Растекание припоя Zn-4%Al по поверхности алюминия, обработанной наждачной бумагой марки P800
 Fig. 5. Zn-4%Al solder flowing over the aluminum surface treated with P800 abrasive paper

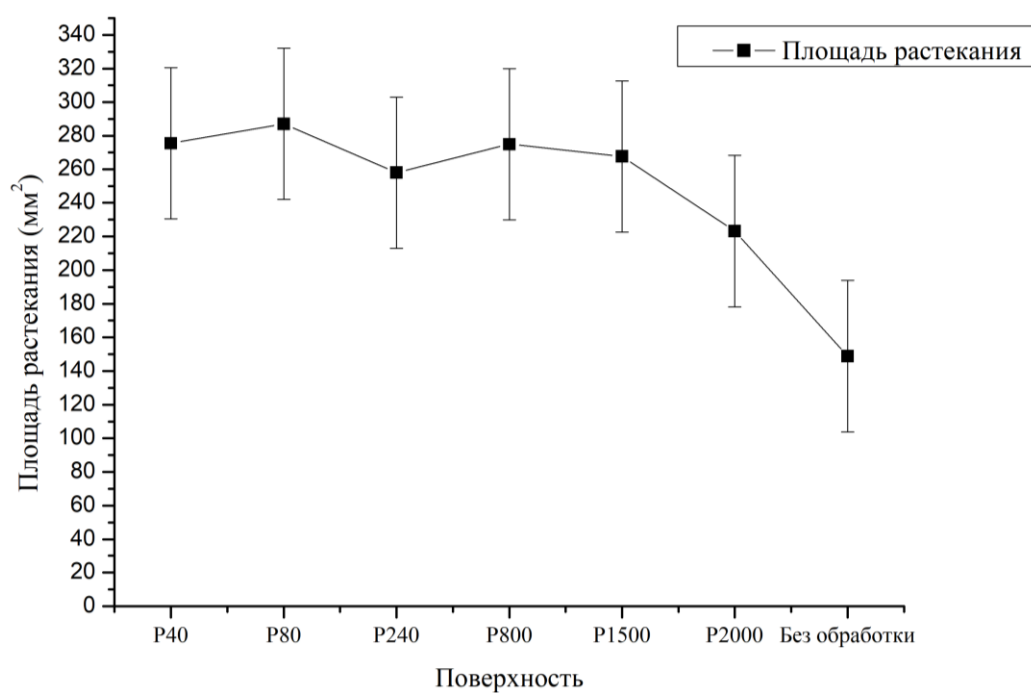


Рис. 6. Зависимость площади растекания припоя от шероховатости поверхности
 Fig. 6. The dependence of a solder flowing area on a surface roughness

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Минимальные температуры схватывания Zn–Al припоев коррелируют с температурами ликвидуса этих сплавов и имеют почти такие же значения. С повышением содержания алюминия температуры схватывания увеличиваются, согласно диаграмме состояния.

2. Добавление в цинковые припои Cu снижает температуру ликвидуса сплавов и, соответственно, минимальные температуры схватывания припоев в среднем на 20 °C на каждый процент добавленной меди.

3. Повышенное содержание Mg и Mn в основном материале оказывает влияние на температуру схватывания припоев, увеличивая ее в среднем на 20 °C.

4. Так как температуры схватывания припоев находятся близко к температурам ликвидуса сплавов, то способность растворения алюминия становится максимальной. В момент трения в точке касания припоя с подложкой происходит подплавление первого слоя, который способен уже растворять алюминий. Эта первая жидкая фаза при трении попадает под пленку, и происходит растекание припоя по подложке.

5. При обработке алюминиевого сплава шкурками грубой зернистости при нанесении больших рисков происходит более заметное растекание припоя по поверхности подложки. При уменьшении среднего размера зерна и, соответственно, шероховатости поверхности, приближении к полированной поверхности эффект растекания уменьшается, такие риски уже не являются капиллярными каналами для того, чтобы припой растекался.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Zhang H., Chen Y., Luo A.A. A novel aluminum surface treatment for improved bonding in magnesium/aluminum bimetallic castings // *Scripta Materialia*. 2014. Vol. 86. P. 52–55.
- Yang J., Xue S., Xue P., Lv Z., Dai W., Zhang J. Development of novel CsF – RbF – AlF₃ flux for brazing aluminum to stainless steel with Zn – Al filler metal // *Materials and Design*. 2014. Vol. 64. P. 110–115.
- Zhu Z., Chen Y., Luo A.A., Liu L. First conductive atomic force microscopy investigation on the oxide film removal mechanism by chloride fluxes in aluminum brazing // *Scripta Materialia*. 2017. Vol. 138. P. 12–16.
- Nagaoka T., Morisada Y., Fukusumi M., Takemoto T. Selection of soldering temperature for ultrasonic-assisted soldering of 5056 aluminum alloy using Zn–Al system solders // *Journal of Materials Processing Technology*. 2011. Vol. 211. № 9. P. 1534–1539.
- Min D. Ultrasonic semi-solid soldering 6061 aluminum alloys joint with Sn-9Zn solder reinforced with nano / nano+ micron Al₂O₃ particles // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2019. Vol. 52. P. 150–156.
- Xu Z., Li Z., Peng B., Ma Z., Yan J. Application of a new ultrasonic-assisted semi-solid brazing on dissimilar Al/Mg alloys // *Materials Letters*. 2018. Vol. 228. P. 72–76.
- Guo W., Luan T., He J., Yan J. Ultrasonic-assisted soldering of fine-grained 7034 aluminum alloys using ZnAl filler metals // *Materials and Design*. 2017. Vol. 125. P. 85–93.
- Xu Z., Yan J., Zhang B., Kong X., Yang S. Behaviors of oxide film at the ultrasonic aided interaction interface of

Zn–Al alloy and Al₂O₃/6061Al composites in air // *Materials Science and Engineering A*. 2006. Vol. 415. № 1–2. P. 80–86.

- Никитинский А.М. Пайка алюминия и его сплавов. М.: Машиностроение, 1983. 192 с.
- Пашков И.Н., Шаргаев Е.О., Базлова Т.А., Баженов В.Е. Пайка термоэлектрического модуля сплавом на основе цинка // *Сварочное производство*. 2020. № 1. С. 30–35.
- Chidambaram V., Hattel J., Hald J. High-temperature lead-free solder alternatives // *Microelectronic Engineering*. 2011. Vol. 88. № 6. P. 981–989.
- Kostolný I., Koleňák R. Investigation of the influence of alloying elements in Zn–Al alloy on thermal and mechanical properties // *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*. 2015. P. 699–703. DOI: 10.2507/26th.daaam.proceedings.096.
- Pola A., Tocci M., Goodwin F.E. Review of Microstructures and Properties of Zinc Alloys // *Metals*. 2020. Vol. 10. № 2. P. 253.
- Bazhenov V.E., Pashkov I.N., Pikunov M.V., Cheverikin V.V., Anohin A.A. Interaction of Zn and Zn–4Al, Zn–15Al (wt-%) solder alloys with aluminum // *Materials Science and Technology*. 2016. Vol. 32. № 8. P. 752–759.
- Koleňák R., Kostolný I. Study of direct bonding of ceramic and metallic materials with Zn₄Al solder // *Acta Polytechnica Hungarica*. 2016. Vol. 13. № 4. P. 1–19.
- Koleňák R., Kostolný I., Čička R. Research of fluxless soldering of high-purity aluminium with solders type Zn–Al // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 905. P. 132–136.
- Kang N., Na H.S., Kim S.J., Kang C.Y. Alloy design of Zn–Al–Cu solder for ultra high temperatures // *Journal of Alloys and Compounds*. 2009. Vol. 467. № 1–2. P. 246–250.
- Murray J.L. The Al–Zn (Aluminium–Zinc) System // *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*. 1983. Vol. 4. № 1. P. 55–73.
- Bazhenov V.E., Pikunov M.V., Pashkov I.N. Isothermal Solidification of an Al–Zn Alloy // *Russian Metallurgy (Metally)*. 2018. Vol. 2018. № 5. P. 445–452.
- Kim S.-J., Kim K.-S., Kim S.-S., Kang C.-Y., Suganuma K. Characteristics of Zn–Al–Cu alloys for high temperature solder application // *Materials Transactions*. 2008. Vol. 49. № 7. P. 1531–1536.

REFERENCES

- Zhang H., Chen Y., Luo A.A. A novel aluminum surface treatment for improved bonding in magnesium/aluminum bimetallic castings. *Scripta Materialia*, 2014, vol. 86, pp. 52–55.
- Yang J., Xue S., Xue P., Lv Z., Dai W., Zhang J. Development of novel CsF – RbF – AlF₃ flux for brazing aluminum to stainless steel with Zn – Al filler metal. *Materials and Design*, 2014, vol. 64, pp. 110–115.
- Zhu Z., Chen Y., Luo A.A., Liu L. First conductive atomic force microscopy investigation on the oxide film removal mechanism by chloride fluxes in aluminum brazing. *Scripta Materialia*, 2017, vol. 138, pp. 12–16.
- Nagaoka T., Morisada Y., Fukusumi M., Takemoto T. Selection of soldering temperature for ultrasonic-

- assisted soldering of 5056 aluminum alloy using Zn–Al system solders. *Journal of Materials Processing Technology*, 2011, vol. 211, no.9, pp. 1534–1539.
5. Min D. Ultrasonic semi-solid soldering 6061 aluminum alloys joint with Sn-9Zn solder reinforced with nano / nano+ micron Al_2O_3 particles. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2019, vol. 52, pp. 150–156.
 6. Xu Z., Li Z., Peng B., Ma Z., Yan J. Application of a new ultrasonic-assisted semi-solid brazing on dissimilar Al/Mg alloys. *Materials Letters*, 2018, vol. 228, pp. 72–76.
 7. Guo W., Luan T., He J., Yan J. Ultrasonic-assisted soldering of fine-grained 7034 aluminum alloys using ZnAl filler metals. *Materials and Design*, 2017, vol. 125, pp. 85–93.
 8. Xu Z., Yan J., Zhang B., Kong X., Yang S. Behaviors of oxide film at the ultrasonic aided interaction interface of Zn–Al alloy and Al_2O_3 /6061Al composites in air. *Materials Science and Engineering A*, 2006, vol. 415, no. 1-2, pp. 80–86.
 9. Nikitinsky A.M. *Payka aluminiya i ego splavov* [Soldering aluminum and its alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983. 192 p.
 10. Pashkov I.N., Shargaev E.O., Bazlova T.A., Bazhenov V.E. Soldering a thermoelectric module with zinc-based alloy. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2020, no. 1, pp. 30–35.
 11. Chidambaram V., Hattel J., Hald J. High-temperature lead-free solder alternatives. *Microelectronic Engineering*, 2011, vol. 88, no.6, pp. 981–989.
 12. Kostolný I., Koleňák R. Investigation of the influence of alloying elements in Zn–Al alloy on thermal and mechanical properties. *Annals of DAAAM and Proceedings of the International DAAAM Symposium*, 2015, pp. 699–703. DOI: 10.2507/26th.daaam.proceedings.096.
 13. Pola A., Tocci M., Goodwin F.E. Review of Microstructures and Properties of Zinc Alloys. *Metals*, 2020, vol. 10, no. 2, p. 253.
 14. Bazhenov V.E., Pashkov I.N., Pikunov M.V., Cheverikin V.V., Anohin A.A. Interaction of Zn and Zn–4Al, Zn–15Al (wt-%) solder alloys with aluminum. *Materials Science and Technology*, 2016, vol. 32, no. 8, pp. 752–759.
 15. Koleňák R., Kostolný I. Study of direct bonding of ceramic and metallic materials with Zn₄Al solder. *Acta Polytechnica Hungarica*, 2016, vol. 13, no. 4, pp. 1–19.
 16. Koleňák R., Kostolný I., Čička R. Research of fluxless soldering of high-purity aluminium with solders type Zn–Al. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 905, pp. 132–136.
 17. Kang N., Na H.S., Kim S.J., Kang C.Y. Alloy design of Zn–Al–Cu solder for ultra high temperatures. *Journal of Alloys and Compounds*, 2009, vol. 467, no.1-2, pp. 246–250.
 18. Murray J.L. The Al–Zn (Aluminium–Zinc) System. *Bulletin of Alloy Phase Diagrams*, 1983, vol. 4, no. 1, pp. 55–73.
 19. Bazhenov V.E., Pikunov M.V., Pashkov I.N. Isothermal Solidification of an Al–Zn Alloy. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2018, vol. 2018, no. 5, pp. 445–452.
 20. Kim S.-J., Kim K.-S., Kim S.-S., Kang C.-Y., Suganuma K. Characteristics of Zn–Al–Cu alloys for high temperature solder application. *Materials Transactions*, 2008, vol. 49, no. 7, pp. 1531–1536.

Research of interaction of zinc solders with aluminum alloys during friction application

© 2020

Evgeniy O. Shargaev*¹, postgraduate studentIgor N. Pashkov², Doctor of Sciences (Engineering), Professor

Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow (Russia)

*E-mail: eshargaev@gmail.com

¹ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3410-4476>²ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2511-2845>

Abstract: Currently, in connection with the search for more economical and reliable processes for joining aluminum, as well as products that cannot be manufactured using a flux, the problem of using methods of flux-free brazing of aluminum-based alloys is very urgent. The absence of a description of the processes and mechanisms of flux-free soldering, by the method of friction of the solder on the aluminum surface, poses an important task of their study and detailed presentation. For research, zinc-based alloys were obtained, and solder rods were manufactured by hot pressing. In this work, using the method of friction of a bar against the surface of a heated aluminum substrate, the minimum setting temperatures of zinc solders of various compositions with the aluminum surface were determined. It has been experimentally proven that these temperatures correlate with the liquidus temperatures of these alloys and have close values. Also, the dependence of the minimum setting temperatures on the content of aluminum and copper in the solder was obtained. The influence of the state of the surface of the base metal on the spreading area of the zinc solder Zn - 4% Al during friction application has been investigated. As a result of the experiments carried out, the areas of spreading of the solder over the surface of the substrate made of the AD31 aluminum alloy were determined depending on the roughness of the base metal surface. The main results of the work are that the minimum setting temperatures of the solders are close to those of the liquidus temperatures of these alloys. And the addition of copper to the solder reduces these temperatures by an average of 20 °C for each percentage of added copper. The spreading of the Zn - 4% Al solder over the surface of the AD31 aluminum alloy reaches the highest values when the surface is treated with coarse grain sandpaper, decreasing the roughness, the spreading effect decreases.

Keywords: Zn-4%Al; solder setting temperature; friction application; spreading of solder; roughness; eutectic phases; liquidus; aluminum alloy AD31; alloy D16.

For citation: Shargaev E.O., Pashkov I.N. Research of interaction of zinc solders with aluminum alloys during friction application. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, no. 4, pp. 58–66. DOI: 10.18323/2073-5073-2020-4-58-66.