

Композитные припои и адаптивные паяные соединения

Адаптивные соединения, как элемент адаптроники все чаще находят применение в процессе изготовления электронных узлов. Их свойства могут изменяться в зависимости от изменения условий эксплуатации подобно биологическим системам. К таким соединениям относятся комбинированные соединения на базе болтовых соединений (например предохранительные шайбы NORD-LOCK® [1] или самотормозящие детали крепления [2]), а также комбинированные прессовые соединения с интегрированными прессовые с интегрированными паяными соединениями давлением (например, соединения накруткой с покрытыми контактными элементами [3] или соединения «вал-ступица» с покрытыми деталями [4]). Химический состав припоя обычных паяных соединений позволяет также провести их модификацию в виде адаптивных паяных соединений для определенных условий эксплуатации. Для этого, как правило, необходимо применение композитных припоев, которые отличаются от стандартных твердых припоев своим гетерогенным составом. В данной статье представлен обзор подобных разработок паяльных материалов.

Клаус Виттке,
профессор, д. т. н.

klaus.wittke@izm.fhg.de

Вольфганг Шеель,
профессор, д. т. н.

wolfgang.scheel@
izm.fraunhofer.de

Перевод:
Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

Введение

Из практического применения технологий пайки известно, что механические свойства паяных соединений могут быть значительно улучшены на заводах-изготовителях за счет стандартной пайки оплавлением с нагревом припоев значительно выше их точки плавления [5], путем изотермической пайки оплавлением или диффузионной пайки стандартными или реакционными припоями при достаточно продолжительной выдержке при температуре пайки или превышающей ее [6] или за счет дополнительной термообработки в виде диффузионного отжига при температуре пайки или превышающей ее [7]. Соответствующими присадочными материалами являются твердые, химически однородные готовые припои или же реакционные компоненты припоев. При нагреве до температуры пайки возникает

расплав припоя, который легируется определенным количеством основного металла за счет химических взаимодействий между твердым основным металлом и расплавленным припоем (рис. 1). Это взаимодействие контролируется диффузией и усиливается при увеличении температуры (перегрев) и/или при увеличении продолжительности нагрева (передержка), что ведет к дальнейшему легированию припоя и тем самым к желаемому упрочению паяного соединения.

Другой возможностью улучшения определенных свойств соединений является применение так называемых композитных припоев. Они состоят, так же как и распространенные композитные материалы, из определенной комбинации — припоя-основы с низкой температурой плавления со специально подобранными компонентами из сплавов с более высокой температурой плавления, которые не плавятся при температуре пайки, но растворяются в припое-основе. Образующийся в процессе пайки композитный припой имеет характерный неоднородный состав. При повышенной температуре эксплуатации паяных узлов припоя-основа продолжает легироваться высокоплавкими компонентами. Связанное с этим изменение химического состава припоя-основы ведет к увеличению температуры его повторного плавления (рис. 1) и тем самым к увеличению максимально допустимой температуры эксплуатации. В этом и состоит суть адаптивных паяных соединений — паяное соединение самостоятельно «подстраивается» под более высокую температуру эксплуатации!

Композитные припои — технические варианты

Исходя из конструктивных особенностей как и в композитных материалах различают слоистые ком-

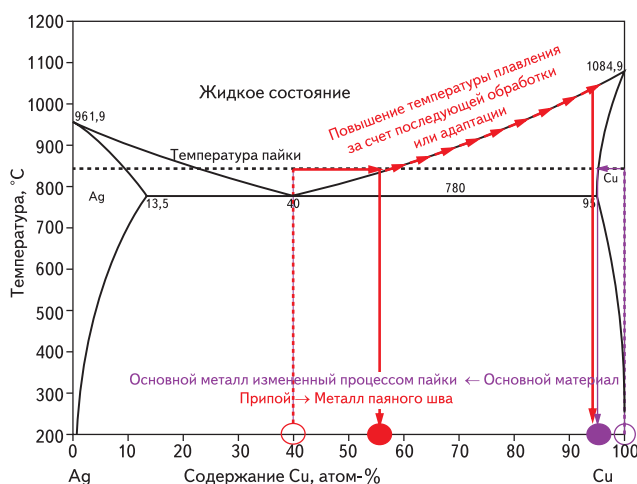


Рис. 1. Образование различных зон в паяных соединениях, изготовленных пайкой плавлением [11]

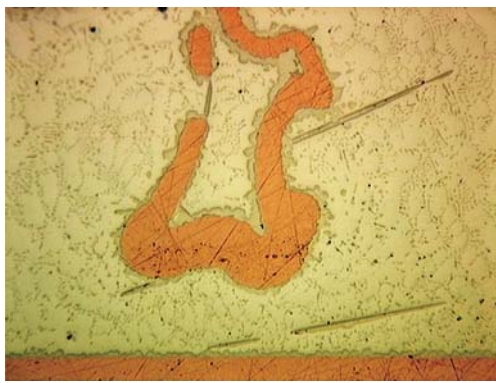


Рис. 2. Структура паяного соединения «медь–медь», созданного с помощью альтернативного композитного SnAgCu-припоя с пронизывающими частицами

позитные припои (они так и называются «слоевые припои» [8]), композитные припои с отдельными частицами [9], композитные припои с пронизывающими частицами (рис. 2) и волокнистые композитные припои. Необходимо заметить, что композитные припои, так же как и композитные материалы, могут быть разделены на две специфические группы по сформулированным в [10] признакам для паяных, сварных и клеевых соединений:

- композитные припои с компонентами с различными видами химической связи, практически «склеенные» композитные припои (например, металлические припои с равномерно распределенными керамическими частицами);
- композитные припои с компонентами с одинаковым видом химической связи, практически «спаянные» композитные припои (например, металлические припои с интегрированными металлическими частицами).

Композитные припои — предпосылка производства адаптивных паяных соединений

Только вторая группа «спаянных» композитных припоев может быть металлургически использована для создания и применения описываемых в статье адаптивных паяных соединений. Это объясняется представленными на рис. 1 их различными зонами паяного соединения до и после пайки [11]. В процессе пайки припой преобразуется в «металл паяного шва» с измененной структурой и, что еще важнее, с измененным химическим составом. Это можно объяснить тем, что при пайке с временно расплавленным присадочным материалом постоянно продолжается процесс «химического плавления основного металла» в расплаве припоя, который за счет этого легируется соответствующими элементами основного металла, трансформируясь в «металл паяного шва». Рассмотренные здесь фазовые переходы могут быть описаны «атомарными» или соответственно техническими терминами «растворение» или «плавление» и «кристаллизация» или «затвердевание» [11], [12]. Химический состав «металла паяного шва» определяется температурой пайки (рис. 1) и изме-

няется в сторону состава основного металла. «Основной металл» наряду с металлом паяного шва преобразуется в то же время в «основной металл, измененный процессом пайки». Под границей с металлом паяного шва образуется диффузионная зона как часть основного металла, измененного во время процесса. Ее химический состав изменяется по направлению к металлу паяного шва и также определяется температурой пайки (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что целенаправленная термообработка паяных узлов производителем («облагораживание» паяного соединения) или воздействие соответствующих высоких температур при эксплуатации паяного узла у потребителя постоянно изменяют химический состав металла паяного шва за счет интенсификации диффузионных процессов по направлению к основному металлу. Названные условия адаптивно улучшают свойства паяных соединений. Это одно из сформулированных авторами направлений развития в области пайки низкоплавляющимися припоями, в первую очередь, электронных узлов (рис. 3), описанное в том числе в [13].

На рис. 3 представлен актуальный уровень применения паяных низкоплавлящими-

ся припоями соединений с допустимыми сегодня температурами их эксплуатации (значение гомологической температуры около 0,8). Так, например, если допустимая температура эксплуатации должна быть увеличена со 120 °С (значение гомологической температуры около 0,8) до 140 °С (значение гомологической температуры около 0,85), то это может быть достигнуто соответствующим дисперсионным отверждением без увеличения температуры повторного плавления металла паяного шва. При намеренном упрочнении сплава с целью увеличения температуры повторного плавления металла паяного шва допустимая температура эксплуатации может быть увеличена до 160 °С (при постоянном значении гомологической температуры 0,85). При постоянном увеличении температуры повторного плавления металла паяного шва может быть достигнуто увеличение допустимой температуры эксплуатации альтернативных адаптивных паяных соединений, например до 200 °С, без изменения значения гомологической температуры 0,85. Если и это еще не соответствует эксплуатационным требованиям, то в качестве альтернативы необходимо рассмотреть возможное применение жидких паяных соединений [14, 15].

Примеры адаптивных паяных соединений

Опыт применения низкоплавлящихся или жидких при комнатной температуре композитных припоев описан в [16] под термином «металлические клеевые материалы». Используемые припои-основы с возможными температурами плавления от -70 до +120 °С находят применение в паяльных пастах с соответствующими металлическими частицами. Такие композитные паяльные пасты имеют следующие технологические свойства:

- срок хранения: 5 дней при -5...0 °С или 2 дня при 20-25 °С;

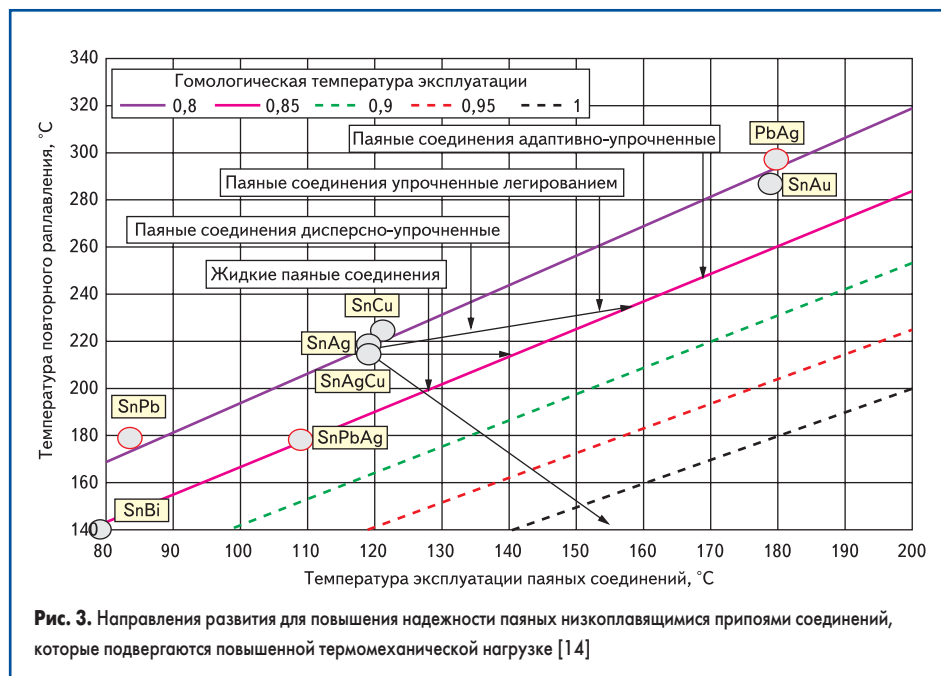
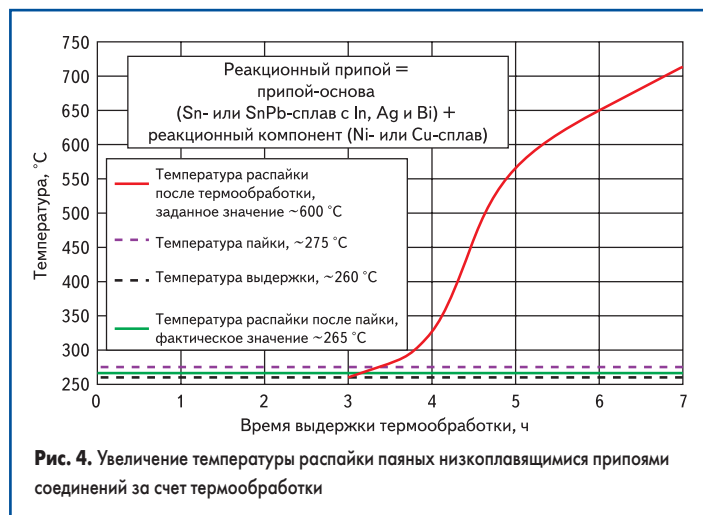


Рис. 3. Направления развития для повышения надежности паяных низкоплавляющимися припоями соединений, которые подвергаются повышенной термомеханической нагрузке [14]



- хорошие свойства для трафаретной печати при достаточной однородности пасты без больших включений;
- температура пайки: 20–60 °C;
- последующая термообработка при 80–120 °C/10–60 часов.

В данном варианте, при котором термообработка с соответствующей долгой выдержкой, по свидетельству авторов [16], может происходить и при комнатной температуре, а следовательно — адаптивно, были установлены следующие эксплуатационные качества паяных соединений:

- температура распайки до 600–800 °C;
- герметичность (вакуум) до 350 °C;
- надежность соединений гарантирована при:
 - линейной нагрузке 20 g — до 20 минут;
 - вибрационной нагрузке 1–15 g и 50–4900 Гц — до 30 минут;
 - ударной нагрузке 100 g — до 30 минут;
 - температурном циклировании –60...+125 °C.

Для определенных продуктов специального назначения, например, для военной и космической промышленности, данная технология пайки безусловно представляет особый интерес.

Еще один пример (рис. 4) как доказательство применения адаптивных паяных соединений опубликован в [17]. В данном варианте паяные низкоплавящимися припоями соединения в определенных приборах из хромоникелевой стали или никелевых сплавов должны были выдерживать кратковременный нагрев до 600 °C без повреждений. Для этого был создан припой-основа на базе олова, который вместе с металлическими частицами из меди, никеля и их сплавов образовывал композитный припой. Было доказано, что в этом случае путем термообработки при температуре, которая немного ниже устанавливаемой в процессе пайки температуры распайки паяного соединения продолжительностью 5 часов, температура распайки паяного соединения достигала требуемого значения в 600 °C. Паяные соединения имеют после термообработки прочность до 90 МПа.

Кратко описанные здесь примеры принципиальной возможности изготовления и применения адаптивных паяных соединений стали импульсом для проведения собственных исследований в этой интересной области развития

технологии пайки. На рис. 5 показан результат этих исследований. При использовании традиционного мягкого припоя SnCu3 стало возможным за счет смешивания с металлическими частицами определенного компонента X создавать пастообразный композитный припой, при помощи которого изготавливались адаптивные паяные соединения «медь–медь» по традиционной технологии пайки. Адаптивность соединений видна из постоянного увеличения системного сопротивления ползучести при увеличении продолжительности термообработки (рис. 5). Особенность выбранного компонента X заключается также в том, что он не образует низкоплавящихся фаз или твердых растворов с припоем-основой.

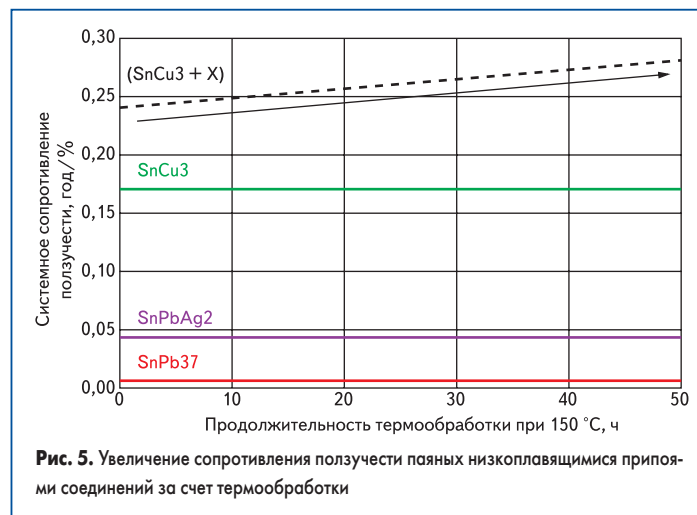
Заключение

Изготовление и применение адаптивных паяных соединений — интересное направление развития технологии пайки. Оно имеет практическое значение для паяных соединений, особенно паяных низкоплавящимися припоями, которые подвергаются во время эксплуатации высокой термомеханической нагрузке.

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen, 2007, № 1, Германия).

Литература

1. NORD-LOCK® — Bolt securing system. Prospekt der Nord-Lock GmbH, Westhausen. <http://www.weylend.at/fileadmin/weylend/PDFs/Nord-Lock.pdf>
2. Neue Spannelementebaureihe mit Selbsthemmung. Prospekt der Römheld GmbH, Laubach. http://www.roemheld.de/data/documents/rhi/RHI-S001_0905_DE.pdf
3. Scheel W., Albrecht H.-J. Wickelanschluss-technik. Berlin: Verlag Technik, 1983.
4. Füssel U. u. a. Richtlinie "Einsatz von elementaren und kombinierten Pressverbindungen". Wissenschaftliche Schriftenreihe der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt, 3/1985.
5. Demmler A. Rationalisierung in der Füge-technik durch Weiterentwicklung des Autoschutzgas-Containerlötens. Dissertation. Karl-Marx-Stadt: Technische Hochschule, 1989.



6. Petrunin I. E. (red.). Handbuch des Lötens. Moskau: Verlag Maschinostrojenije, 1984. Пер. на нем. яз. Handbuch Löttechnik. Berlin: Verlag Technik, 1991.
7. Laschko S. W. u. a. Projektierung der Technologie des Lötens von Metallerzeugnissen — Tabellenbuch. Moskau: Verlag Metallurgija, 1983.
8. BrazeTec: Höhere Festigkeit gelöteter Hartmetallsägezähne mit BrazeTec 49/Cuplus, Welding and Cutting Today, 17.9.2005.
9. Reitlinger C. E. Entwicklung alternativer bleifreier Lote für die Mikroverbindungstechnik. München: Herbert Utz Verlag, 2001.
10. Wittke K., Füssel U. Kombinierte Fügeverbindungen. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
11. Wittke K. Löten // Wissenschaftliche Schriftenreihe der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt. Nr. 10. 1980.
12. Wittke K. Unterkühlung von Schmelzschweißbädern und das Prinzip des kleinsten Zwanges // Schweißtechnik (Berlin). 1972. H. 3.
13. Wittke K., Scheel W., Nowotnick M. Piko-metallurgie — Verfahren zur Verbesserung des Kriechverhaltens von Weichlötverbindungen? // VTE. Düsseldorf: DVS Verlag. 13 (2001) 12. S. 293–304.
14. Wittke K., Scheel W. Die Lötverbindung — Buch 1. 1. Lötverbindung — Primat der Fügeverbindung; 2. Lötverbindung — Grundlagen. Themenreihe: Aufbau — und Verbindungstechnik in der Elektronik — aktuelle Berichte. Band 5. Verlag Dr. Markus A. Detert. Templin, 2007.
15. Nowotnick M., Scheel W., Wittke K. Eine Verbindungstechnologie mit flüssigem Lot für Hochtemperaturanwendungen // Elektronische Baugruppen, Aufbau und Fertigungstechnik, Die Trends von heute — die Chancen von morgen. VDE Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, 2004.
16. Jazenko S. P., Chajak W. G. Verbundlote auf der Basis von leichtschmelzenden Legierungen. Jekaterinburg: Verlag AdW der Russischen Föderation, 1997.
17. Sokolowa W., Samojlenko W. G., Lebedewa T. E. Verbundlote beim Niedrigtemperaturlöten // Sammelband "Neue Ergebnisse auf dem Gebiet des Lötens". Kiew: Verlag des Paton-Institutes, 1992.