



## ПО СТРАНИЦАМ ЖУРНАЛА «WELDING JOURNAL», 2009, № 4

*C. Darling. ПАЙКА: НЕОБХОДИМАЯ АЛЬТЕРНАТИВА СОЕДИНЕНИЯ*

Чтобы привести в соответствие постоянно изменяющиеся проекты продукции и экономические требования сегодняшней промышленности, инженеры должны уметь квалифицированно подбирать или сочетать многие материалы и процессы, которые применяются при производстве изделий. Соединение металла является одним из таких процессов, который обычно применяется в промышленности и на что часто влияет переделка материала. Среди множества технологий соединения инженеры наиболее часто выбирают один из четырех методов: механическое крепление, склеивание, сварку, пайку. Пайка позволяет инженерам-разработчикам и инженерам-техно-

логам различные и экономные формы соединения одно- и разнородных металлов и неметаллических материалов. В статье обсуждаются многие критерии, которые должны учитывать инженеры при выборе метода соединения с помощью пайки по сравнению с другими основными методами. При правильном проектировании пайка может обеспечить те же характеристики, что и при соединении сваркой, которая является более гибким процессом производства. С повышением спроса на модернизированную продукцию и процессы пайка является важной альтернативой другим способам соединения компонентов.

*G. D. Budi Dharma, M. Hamdi, T. Ariga. РЕЗУЛЬТАТЫ ДОБАВЛЕНИЯ СЕРЕБРА И ИНДИЯ К БЕССВИНЦОВЫМ ПРИПОЯМ*

На протяжении многих лет для сборки электронных приборов использовали оловянно-свинцовые припои. Этот сплав обладает многими необходимыми характеристиками, включая низкую стоимость и температуру плавления, хорошую технологичность и замечательное смачивание на медных подложках и их сплавах. Однако токсичность свинца для здоровья человека и окружающей среды подталкивает к проведению основательного научного исследования, которое привело бы к открытию бессвинцового припоя, подходящего для электронных сборок. Для замены оловянно-свинцовых припоев было предложено большое количество бессвинцовых сплавов, но только некоторые соответствуют требуемым свойствам материала, паяемости и критериям стоимости.

Даже незначительное добавление серебра и индия улучшает смачиваемость, микроструктуру и микрот-

вердость бессвинцового припоя. Начальная температура на кривой DSC Sn–Cu припоя эвтектического состава была понижена с помощью добавления 1,0 мас. % In. Дальнейшее понижение начальной и пиковой температур было получено путем добавления серебра. Его незначительное добавление оказывает влияние на смачиваемость припоев. Повышенное содержание серебра способствовало лучшей смачиваемости посредством сокращения времени смачивания и повышения максимальной силы смачивания. Увеличение содержания серебра от 0,1 до 0,5 мас. % в Sn–0,7Cu–1,0In–xAg припоях немного уменьшает его твердость. Добавление серебра делает первичный размер зерен  $\beta$ -Sn меньше. Основываясь на результатах EMPA, наблюдались Cu–Sn и Ag–Sn интерметаллидные фазы, а атомы индия были распределены в  $\beta$ -Sn матрице.



*J. Arnold, E. Miller, G. Mitchell. ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ПАЙКИ  
ТВЕРДЫМ И МЯГКИМ ПРИПОЕМ*

Способы пайки твердым и мягким припоем обеспечивают профессионалов крепкими, долговечными соединениями. При выполнении конкретной работы из разных методов следует выбирать наиболее приемлемые. Традиционные методы нагрева предусматривают использование печи, погружение в расплав, контактный нагрев либо нагрев пламенем. Вопрос лишь в том, какой метод следует выбрать для вашей будущей работы?

В данной статье представлен взгляд на разные способы выполнения работы при использовании пайки в печах, пайки погружением, пайки с применением контактного нагрева или пайки с применением нагрева пламенем.

*M. Weinstein, R. L. Peaslee, F. M. Miller. ПРИПОИ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ ДЛЯ ВАКУУМНОЙ ПАЙКИ*

Припои на основе никеля используют для пайки любых тугоплавких металлов, в основном, для пайки жаропрочных и коррозионно-стойких металлов, в частности, для пайки наиболее широко используемых нержавеющей сталей типа AISI 300, AISI 400, а также сплавов на основе никеля и кобальта. В случае оптимального выбора припоя паяное соединение сохраняет свои прочностные свойства вплоть до температуры 980 °С. Для пайки низкоуглеродистых сталей обычно используют более дешевые припои, и лишь в исключительных случаях применяют припои на основе никеля.

При выборе припоя принимают во внимание следующие основные факторы: свойства припоя, конструкцию паяного соединения, эксплуатационные свойства, свойства паяемого металла, стоимость припоя и его наличие на рынке.

**Свойства припоя.** К свойствам припоя относят температуру плавления, растекаемость, температуру распайки и давление паров компонентов припоя.

Рассматривая припой с точки зрения температуры плавления, следует учитывать, что его плавление может происходить при достижении определенной температуры, например, в случае использования припоя эвтектического состава, или он постепенно расплавляется в некотором температурном интервале.

От качества подгонки деталей в зоне соединения зависит выбор припоя, обладающего определенной вязкостью и текучестью, которые характеризуют скорость растекания припоя по паяемым поверхностям.

Свойства сплавов, используемых в качестве основы припоев, как правило, зависят от сочетания компонентов и их температуры плавления, что в итоге определяет структуру паяного шва и температуру,

Так как существует большое количество методов нагрева для пайки твердым и мягким припоем, в профессиональном применении решающий фактор будет зависеть от технических, производственных и экономических средств и требований. Выбор наиболее подходящего метода нагрева обеспечит наилучшие возможные соединения при пайке твердым и мягким припоем. Для достижения хорошего результата сварочная промышленность постоянно улучшает и совершенствует технологии и одновременно способствует обеспечению безопасности и достижению более высоких показателей.

при которой происходит разрушение паяного соединения, т. е. температуру его распайки.

При вакуумной пайке следует выбирать припои с давлением паров компонентов ниже, чем давление в вакуумной печи, во избежание испарения некоторых компонентов припоя, что приводит к дефектам паяного шва.

**Конструкция паяного соединения.** Исходя из перечисленных выше причин, при выборе припоя необходимо учитывать геометрию паяного шва и величину паяльного зазора.

**Эксплуатационные свойства.** Условиям эксплуатации должны соответствовать следующие свойства паяного соединения: прочность, пластичность, жаропрочность и коррозионная стойкость. При выборе припоя следует учитывать химический состав, растекаемость и механические свойства паяного шва.

**Состав основы припоя.** Свойства паяного соединения в основном определяются легированием основы припоя.

**Цена и его наличие на рынке.** Стоимость компонентов припоя на рынке металлов играет существенную роль в формировании стоимости паяного узла. Причем на стоимость процесса пайки в основном влияют неустойчивость и практически непрогнозируемые изменения рынка как драгметаллов, так и стратегически важных металлов.

Влияние этой непредсказуемости в некоторой мере можно скомпенсировать разработкой паяных конструкций, в которых предусматривается использование припоев, компоненты которых в меньшей мере чувствительны к колебаниям цен на рынке металлов. В табл. 1 показано изменение за последние пять лет стоимости золота, серебра и никеля, которые в основном и определяют стоимость припоя.



**Таблица 1. Цены металлов, используемых в составе припоев, USD за тройскую унцию**

Металл	2 кв. 2003	1 кв. 2008	Рост цен, %
Золото	300,00	896,00	199
Серебро	5,00	16,87	237
Никель	0,33	0,68	106

В машиностроении традиционно применяются определенные драгметаллы для пайки некоторых узлов, однако в настоящее время наметилась тенденция использования относительно более дешевых припоев на основе никеля, рекомендуемых, например, Американским обществом сварщиков (AWS) и Академией маркетинга (AMS).

В расчете фактических затрат на материалы, используемые в паяном соединении, следует учитывать не только рыночную стоимость металлов, но и процентное содержание данного металла в припое и его удельный вес, так как для выполнения паяного соединения независимо от состава требуется заданный объем припоя, необходимый для заполнения зазора между паяемыми деталями. Удельный вес золота по отношению к никелю почти в два раза выше и потому его требуется большее количество для заполнения паяльного зазора.

В табл. 2 показана зависимость стоимости припоя (по состоянию на июнь 2008 г.) от содержания в нем золота, серебра и никеля, необходимого для решения определенной технологической задачи, например, пайки деталей с зазором 2,5 мкм по площади паяемой поверхности 1 кв. дюйм или 1 кв. фут. Из данных таблицы видно влияние колебаний цен на рынке металлов на стоимость припоя, а также возможность снижения затрат при замене припоев, содержащих золото и серебро припоями на основе никеля.

**Таблица 2. Стоимость припоя в зависимости от содержания золота, серебра и никеля**

Компонент припоя	USD/кв. дюйм	USD/кв. фут
AWS BAu-1 (38% золота)	2,27	326,88
AWS BAu-2 (80% золота)	6,45	928,80
AWS BAg-7 (56% серебра)	0,05	7,20
AWS BNi-5 (71% никеля)	0,002	0,29
AWS BNi-7 (76% никеля)	0,0022	0,32
AWS BNi-6 (90% никеля)	0,0028	0,40

В качестве примера ниже приведены краткие технические характеристики и рекомендации AWS A5.8:2004 по применению некоторых типов припоев на никелевой основе для пайки и сваркопайки.

BNi-1 используют для получения высокопрочных и жаростойких соединений при сборке, например, лопаток турбин и деталей реактивного двигателя.

BNi-2 как и припой марки BNi-1 обеспечивает хорошую растекаемость при более низкой температуре пайки.

BNi-3 хорошо растекается при снижении требований к условиям вакуума. Идеален для получения неразъемных соединений и при пайке по большой поверхности.

BNi-4 образует большие галтели с достаточно высокой пластичностью, пригоден для пайки деталей с большими зазорами.

BNi-5 применяют для получения высокопрочных и коррозионно-стойких соединений, в частности, для пайки изделий ядерной техники и в других случаях, где исключается использование в составе припоя бора.

BNi-6 — порошкообразный наплавочный материал, обеспечивающий минимальное проникновение металлов припоя в подложку на основе никеля или железа.

BNi-7 обеспечивает прочные и вакуумно-плотные соединения с жаропрочными сталями при относительно низкой температуре пайки. Низкий уровень эрозии паяемых деталей объясняется малой растворимостью припоя в сплавах на основе железа и никеля. Используется для изготовления сотовых конструкций и тонкостенных трубчатых теплообменников.

BNi-8 также используют для пайки сотовых конструкций из нержавеющей сталей и других коррозионно-стойких металлов.

BNi-9 идеален для пайки деталей реактивных двигателей и других узлов, работающих в условиях повышенных нагрузок. Обеспечивает высокую прочность соединений при более низкой температуре пайки.

BNi-10 обеспечивает очень высокую прочность соединений, эксплуатируемых в условиях повышенной температуры. Припой хорошо подходит для пайки металлов, легированных кобальтом, вольфрамом и молибденом.

BNi-11 можно использовать для тех же целей, что и припой марки BNi-10, но в отличие от него он лучше растекается.

BNi-12 аналогичен по свойствам припою BNi-7, но обладает более высокой прочностью, повышенной жаропрочностью и коррозионной стойкостью.

BNi-13 аналогичен по свойствам припою BNi-2, но обладает повышенной коррозионной стойкостью и обеспечивает высокую прочность паяного соединения.