

Жуйко Данил Александрович,

студент гр. ЭВТ-25-1, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

e-mail: danildzujko@yandex.ru

Пудалов Алексей Дмитриевич,

к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,

e-mail: puddim@yandex.ru

ОБЗОР ВИДОВ ПРИПОЕВ ДЛЯ ПАЙКИ: КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Zhujko D.A., Poudalov A.D.

OVERVIEW OF TYPES OF SOLDERING ALLOYS: CLASSIFICATION, PROPERTIES AND APPLICATION

Аннотация. Рассматривается пайка как технологический процесс соединения металлических деталей, акцентируется внимание на роли правильного выбора припоя для обеспечения прочности, электропроводности и коррозионной стойкости соединений. Представлена классификация припоев по температуре плавления (мягкие и твёрдые), подробно разобраны их виды: оловянно-свинцовые и бессвинцовые (в т.ч. Sn-Ag-Cu, Sn-Cu), специальные легкоплавкие (сплавы Розе и Вуда), а также твёрдые (медно-цинковые, медно-фосфористые, серебряные). Описаны ключевые физико-химические свойства припоев и критерии их выбора в промышленном производстве и электронике. Отмечены современные тенденции: отказ от токсичных компонентов (свинец, кадмий) и развитие наноприпоев.

Ключевые слова: пайка, припой, коррозионная стойкость, сплавы.

Abstract. This article examines soldering as a technological process for joining metal parts, focusing on the role of choosing the right solder to ensure strength, electrical conductivity, and corrosion resistance. It presents a classification of solders by melting point (soft and hard), and examines their types in detail: tin-lead and lead-free (including Sn-Ag-Cu and Sn-Cu), special low-melting alloys (Rose and Wood alloys), and hard solders (copper-zinc, copper-phosphorus, and silver). The key physical and chemical properties of solders and the criteria for their selection in industrial production and electronics are described. Modern trends are highlighted, including the rejection of toxic components (lead, cadmium) and the development of nanosolders.

Keywords: soldering, brazing alloy, corrosion resistance, alloys.

Пайка является одним из наиболее распространённых технологических процессов соединения металлических деталей путём введения между ними расплавленного вспомогательного материала – припоя. В отличие от сварки, при пайке основной металл заготовок не расплавляется, что позволяет сохранять структуру материала и обеспечивать высокую точность соединений. Выбор правильного припоя определяет не только механическую прочность шва, но и его электропроводность, коррозионную стойкость и долговечность. В настоящей статье рассматриваются основные виды припоев, их физико-химические свойства и современные требования к материалам для пайки в условиях промышленного производства и электроники.

Ключевым критерием разделения припоев является их температура плавления. Согласно принятой технической классификации, их делят на две основные группы [1]:

- мягкие (легкоплавкие) припои – имеют температуру плавления до 450 °С. Применяются в электронике, приборостроении и бытовой технике. Обладают сравнительно невысокой механической прочностью (предел прочности при растяжении 50...100 МПа);

- твёрдые (тугоплавкие) припои – плавятся при температуре свыше 450 °С. Используются для создания высокопрочных соединений, работающих в условиях высоких температур и механических нагрузок (холодильное оборудование, теплообменники, машиностроение).

Оловянно-свинцовые припои (ПОС) – это классическая группа припоев, регламентируемая в РФ ГОСТ 21931-76. Основными компонентами являются олово (Sn) и свинец (Pb). Число в маркировке указывает на процентное содержание олова [2-5]:

1. ПОС-61. Содержит 61 % олова, остальное – свинец. Температура плавления 183...190 °С. Считается «эвтектическим» или близким к нему, что обеспечивает мгновенный переход из жидкого состояния в твёрдое. Применяется для пайки высокоточной радиоаппаратуры и печатных плат.

2. ПОС-40. Содержит 40 % олова. Имеет более широкий интервал кристаллизации. Применяется для пайки латуни, меди и железа, где не требуется критическая точность.

3. ПОС-90. Применяется в пищевой промышленности, так как высокое содержание олова снижает токсичность шва.

Бессвинцовые припои (Lead-Free) используются в связи с принятием международной директивы RoHS (Restriction of Hazardous Substances), где применение свинца в электронике ограничено. Современные бессвинцовые припои базируются на следующих системах [6]:

1. Sn-Ag-Cu (олово-серебро-медь). Самый популярный стандарт. Температура плавления около 217...221 °С. Обладают хорошей смачиваемостью.

2. Sn-Cu (олово-медь). Бюджетный вариант, часто используется для пайки медных труб в водоснабжении.

Существуют сплавы с экстремально низкой температурой плавления (ниже 100 °С), применяемые для пайки чувствительных к перегреву компонентов или в качестве термопредохранителей:

1. Сплав Розе: (олово 25 %, свинец 25 %, висмут 50 %). Температура плавления 94 °С. Популярен при демонтаже компонентов, чтобы не перегреть монтажную плату.

2. Сплав Вуда (висмут 50 %, свинец 25 %, олово 12,5 %, кадмий 12,5%). Содержит кадмий. Температура плавления 68,5 °С. Из-за токсичности кадмия применяется только в специальных лабораторных условиях.

Твёрдые припои обеспечивают прочность шва до 500 МПа и выше. К основным группам относят следующие:

1. Медно-цинковые припои (ПМЦ). Используются для пайки стали, бронзы и меди. Обладают высокой хрупкостью, поэтому не рекомендуются для соединений, подвергающихся вибрациям.

2. Медно-фосфористые припои. Уникальны тем, что фосфор в их составе играет роль флюса при пайке меди. Они обладают высокой текучестью и широко используются в ремонте холодильных систем. Однако их нельзя использовать для пайки сталей и чугуна из-за образования хрупких фосфидов железа.

3. Серебряные припои (ПСр). Считаются лучшими среди твёрдых припоев. Содержат от 10 % до 72 % серебра. Например, ПСр-45 обладает отличной коррозионной стойкостью и пластичностью.

Твёрдые припои широко применяются в авиастроении, пайке волноводов и ответственных узлов химического машиностроения.

При выборе припоя технолог должен учитывать следующие параметры:

1. Температура солидус и ликвидус – это критические температуры (или линии на диаграммах состояния), характеризующие процесс кристаллизации сплавов. Для ручной пайки предпочтителен узкий диапазон между этими температурами. Ликвидус – верхняя критическая точка (или линия на диаграмме состояния), температура, при которой начинается кристаллизация сплава при охлаждении (или полностью завершается плавление при нагреве). Выше этой температуры сплав находится полностью в жидком состоянии. Солидус – нижняя критическая точка (или линия на диаграмме состояния), температура, при которой заканчивается кристаллизация при охлаждении (или начинается плавление при нагреве). Ниже этой температуры сплав находится полностью в твёрдом состоянии. Есть несколько важных нюансов:

– интервал кристаллизации. Между температурами солидуса и ликвидуса сплав находится в двухфазном состоянии – одновременно присутствуют и жидкая, и твёрдая фазы. В отличие от чистых металлов, сплавы кристаллизуются не при одной температуре, а в интервале;

– эвтектические сплавы. У некоторых сплавов (эвтектических) солидус и ликвидус совпадают – кристаллизация происходит мгновенно при одной конкретной температуре.

В пайке знание этих температур критично, т.к. для пайки важно, чтобы припой плавился (достигал ликвидуса), но основной металл оставался твёрдым (не достигал своего солидуса). Диапазон между солидусом и ликвидусом влияет на технологичность: узкий интервал облегчает пайку, широкий может вызывать дефекты шва. Например: для популярного припоя ПОС-61 температура ликвидуса — около 190 °С, солидуса — 183 °С. Это означает, что в диапазоне 183...190 °С припой находится в кашицеобразном состоянии (смесь кристаллов и расплава).

2. Смачиваемость. Это способность расплава растекаться по поверхности металла. Зависит от чистоты поверхности и качества флюса.

3. Коррозионная стойкость. Очень важна для изделий, работающих во влажной среде.

4. Электропроводность. Она критична для силовых контактов и высокочастотной электроники.

Современное производство требует высокой степени чистоты припоев. Примеси сурьмы (Sb) повышают прочность, но снижают пластичность. Алюминий и цинк в составе оловянных припоев крайне нежелательны, так как они способствуют быстрому окислению зеркала расплава и ухудшают адгезию.

В последние годы активно развиваются наноприпои (паяльные пасты с наночастицами), которые позволяют снизить температуру процесса при сохранении высокой эксплуатационной надёжности шва.

Разнообразие видов припоев позволяет решать широчайший спектр задач – от сборки микропроцессоров до монтажа магистральных трубопроводов. Тенденции развития отрасли направлены на экологическую безопасность (отказ от свинца и кадмия) и создание специализированных сплавов для работы в экстремальных условиях (космос, агрессивные среды). Правильный выбор марки припоя в сочетании с адекватным флюсом является залогом надёжности технической системы в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 21931-76. Припои оловянно-свинцовые в изделиях. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1976.

2. **Петрунин, И.Е.** Справочник по пайке. 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. — 480 с.

3. **Лашко, Н.Ф., Лашко, С.В.** Пайка металлов. – М. : Машиностроение, 1988. – 376 с.

4. **Хряпин, В.Е.** Справочник паяльщика. 4-е изд. – М.: Машиностроение, 2013. – 160 с.

5. **Шмаков, С.Б.** Современная пайка в электронике. Практическое руководство. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 256 с.

6. J-STD-006C. Requirements for Electronic Grade Solder Alloys and Fluxed and Non-Fluxed Solid Solders for Electronic Soldering Applications. – IPC, 2013.