

# Влияние бессвинцовых материалов на оборудование для пайки волной

Джим Моррис

jmorris@speedlinetech.com

перевод: Ольга Зотова

smt@dipaul.ru

## Введение

В результате роста популярности работы с бессвинцовыми материалами открылись некоторые слабые стороны используемого сегодня оборудования для пайки волной. Прежде всего, это видимые следы коррозии и короткий срок службы используемых материалов. Различные производители оборудования предложили целый ряд решений этих проблем, начиная от простого «ничего неделания» и заканчивая полной сменой ванны с насадками и использованием дорогих сплавов.



Рис. 1. Повреждение канала подачи припоя из нержавеющей стали

На рис. 1 показано типичное повреждение незащищенного канала подачи припоя из нержавеющей стали, используемого в машинах для работы по бессвинцовой технологии. Материал подвергся серьезной эрозии, на стали образовались ямки, а в некоторых местах вообще нарушена структурная целостность. Больше всего уязвимы те детали из нержавеющей стали, которые контактируют с текущим припоем (например, крыльчатка насоса, трубки и насадки).

С точки зрения безопасности, повреждение ванны припоя, более критично, чем повреждение внутрен-

них деталей для подачи припоя и формирования волны. Повреждение материала ванны может стать причиной травм работников. Повреждение других деталей может повлечь простой оборудования или потери производственного времени, но не будет опасным для здоровья человека. Регулярная же замена ванны припоя является проблемой для некоторых пользователей.

## История

В качестве материала для ванн припоя в машинах, созданных до массового применения бессвинцовой технологии, обычно использовалась нержавеющая сталь AISI 300. Одни производители азотировали нержавеющую сталь в соляной ванне, другие использовали для деталей ванны чугуны.

Большая часть насадок и деталей насоса производится из нержавеющей стали AISI 300, так как этот материал отличается большим сроком службы при работе с оловянно-свинцовыми припоями.

Устройство машин для пайки волной достаточно сложное. И очень важно понимать, как повлияет переход производства на бессвинцовую технологию до того, как он будет осуществлен. В некоторых машинах нужно будет лишь незначительно изменить перечень используемых материалов, а в других — полностью заменить блок пайки.

Существуют различные способы предотвращения разрушения и коррозии. Вот некоторые из самых часто используемых материалов для насадок и трубопроводов:

- полностью титановая конструкция;
- азотированная нержавеющая сталь;
- покрытие Melonite® / меланитовое покрытие;
- нержавеющая сталь с керамическим покрытием.
- Для ванн припоя альтернативно можно использовать:
- серый литейный чугун;
- нержавеющую сталь с керамическим покрытием;
- азотированную нержавеющую сталь.

## Анализ

Для подготовки этого отчета были протестированы и проанализированы наиболее распространенные материалы для ванн припоя. Задача этой работы — определить эффект коррозии при высоком воздействии олова (Sn) на материалы. Тестировалась обработанная и необработанная нержавеющая сталь, а также чугун, титан и нелегированная углеродистая сталь с покрытием Melonite®.

## О компании Speedline Technologies

Speedline Technologies — это мировой лидер в полупроводниковой промышленности в области решений и сервисных услуг для сборщиков печатных плат, сосредоточенных у одного поставщика. Штаб-квартира компании находится во Франклин, штат Массачусетс, США. Компания предлагает продукцию пяти брендов: Accel® — оборудование для отмывки электронных изделий, Samalot® — системы дозирования, Electrovert® — оборудования для пайки волной, оплавления припоя и отмывки; MPM® — системы для нанесения паяльной пасты через трафарет; Protect® — решения в области сервиса, технической поддержки и обучения.

[www.speedlinetech.com](http://www.speedlinetech.com)



Рис. 2. Изображение точечной коррозии, полученное сканирующим электронным микроскопом

**Нержавеющая сталь**

Нержавеющая сталь устойчива к коррозии благодаря тонкому слою оксида хрома, формирующему поверхность. Этот слой непроницаем для большинства материалов, включая обычные свинцовые припой, используемые в электронной промышленности. Тем не менее, припой с высокой концентрацией расплавленного олова (Sn) разрушают и растворяют естественное защитное покрытие из нержавеющей стали. После того как этот слой исчезнет, начинается процесс смачивания, после завершения которого растворение следующего слоя в ванне с расплавленным припоем — лишь вопрос времени [1].

На рис. 2 показано полученное сканирующим электронным микроскопом изображение точечной коррозии детали из нержавеющей стали из машины, работавшей с припоем 97 % Sn в течение примерно 1 года. Затем был проведен флюоресцентно-спектроскопический анализ состава коррозионной язвы с приращением в 20 мкм, как показано в таблице 1. Оба теста показали, что между находящимся внутри слоем нержавеющей стали и находящимся снаружи SnAg припоем есть разница элементов. Это доказывает, что произошло смачивание слоя из нержавеющей стали и что лежащий под защитным слоем материал растворяется в ванну с расплавленным Sn припоем [1].

**Чугун**

При анализе ванн из чугуна, которые используются сегодня при работе с бессвинцовыми материалами, было установлено, что происходит незначительное смачивание слоя. В отличие от элементов из нержавеющей стали, следов значительной коррозии и формирования коррозионных язв замечено не было.

Таблица 2. Матрица тестирования

Температура (°C)	250	250	250	250	350	450
Время (кол-во недель)	0	2	4	8	4	4
Нержавеющая сталь AISI 304	×	×	×	×		
Нержавеющая сталь AISI 304 с покрытием	×	×	×	×		
Нержавеющая сталь AISI 316	×	×	×	×		
Нержавеющая сталь AISI 316 с покрытием	×	×	×	×	×	×
Нелегированная углеродистая сталь	×	×	×	×		
Серый чугун	×	×	×	×		
Титан	×	×	×	×		
Melonite®						

Таблица 1. Флюоресцентно-спектроскопический анализ состава коррозионной язвы

Элемент	Нержавеющая сталь 304L	20 мкм	40 мкм	60 мкм	SnAg припой
Никель	8,76	0,00	0,00	0,25	0,00
Железо	71,25	18,19	16,97	0,59	0,00
Марганец	1,69	0,09	0,02	0,00	0,00
Хром	17,31	2,36	0,80	0,05	0,00
Кремний	1,00	0,71	0,67	0,21	0,00
Олово	0,00	75,71	78,71	95,61	93,87
Серебро	0,00	2,95	2,82	3,29	6,13



Рис. 3. Изображение слоя покрытия Melonite®, полученное сканирующим электронным микроскопом

**Анализ материалов**

В лаборатории проводился анализ образцов, на которые воздействовал 97 % Sn-припой в течение различных промежутков времени и при разной температуре. Полоски материала погружались в неподвижную ванну с 97 % Sn припоем, а затем они изучались на предмет смачивания спустя 2, 4 и 8 недель.

Повышение устойчивости к коррозии некоторых материалов происходило благодаря нанесению покрытия.

Тестируемые материалы и критерии теста указаны в таблице 2.

Покрытие Melonite® — это азотирование ванны припоя для улучшения поверхностных свойств деталей из черных металлов (рис. 3).

Покрытие Melonite® состоит из двух слоев. Слоистое соединение состоит из нитрида железа Fe<sub>3</sub>N (ε-фаза), очень прочного и химически стабильного материала, благодаря которому улучшается устойчивость к коррозии.

Диффузионный слой состоит из нитрида железа Fe<sub>3</sub>N (γ-фаза), благодаря которому улучшается усталостная прочность материала [5].

**Результаты теста и комментарии**

Далее приводятся некоторые из образцов, которые подвергались воздействию SnAg припоя в течение 2, 4 и 8 недель при температуре 250 °C. Результаты видны невооруженным глазом. Примечание: фотографии расположены слева направо согласно продолжительности времени воздействия, то есть образец, подвергавшийся воздействию припоя в течение 8 недель, находится справа.

Рис. 4 и 5 показывают, что покрытие Melonite® защищает находящийся под ним слой нержавеющей и углеродистой стали. Невооруженным взглядом видно, что на всех образцах с покрытием смачиваемость очень мала, кроме поцарапанной области. На всех образцах из нержавеющей стали AISI 304 и 316 без защитного покрытия смачиваемость значительная. Образцы из нелегированной углеродистой стали подвергались тесту как возможная «дешевая» альтернатива материалов внутренних деталей блока пайки. Нелегированная углеродистая сталь с покрытием Melonite® показала хорошую сопротивляемость коррозии. Результаты теста доказали, что нелегированная углеродистая сталь с покрытием может обладать такой же сопротивляемостью к коррозии, как материалы из нержавеющей стали.

Образцы были исследованы под микроскопом, чтобы определить, есть ли на них следы коррозии.

На увеличенном изображении видно, что на нержавеющей стали AISI 304 с покрытием



Рис. 4. Образцы из нержавеющей стали AISI 304. Следы смачивания есть на всех образцах



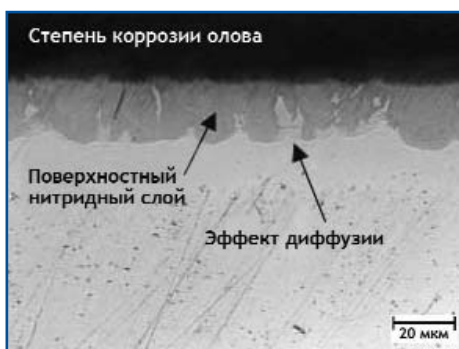
Рис. 5. Образцы из нержавеющей стали AISI 304 с покрытием Melonite®. Следы смачивания видны только на образце, который соответствует 8-й неделе, у царапины



**Рис. 6.** 100-кратное изображение образца из нержавеющей стали AISI 304 с покрытием Melonite®, полученное с помощью оптического микроскопа

(рис. 6) нитридный слой не поврежден и защищает находящийся под ним слой материала. На поверхностном нитридном слое видны незначительные следы точечной коррозии.

На рис. 7 показано увеличенное изображение образца из нержавеющей стали AISI 316 после воздействия на него SnAg припоя. Невооруженным глазом на образцах не видно никаких следов смачивания или коррозии.



**Рис. 7.** 50-кратное изображение образца из нержавеющей стали AISI 316 с покрытием Melonite®, полученное с помощью оптического микроскопа

Под микроскопом становятся видны «пальчики» материала, проникающего в нитридное покрытие из внутреннего слоя. Таких «пальчиков» нет на других образцах. Предположительно аустенитная нержавеющая сталь диффузирует с азотом из слоя покрытия Melonite®. После того как Sn достигнет поверхности, защитный слой начнет разрушаться и, в конце концов, придет в негодность [2].

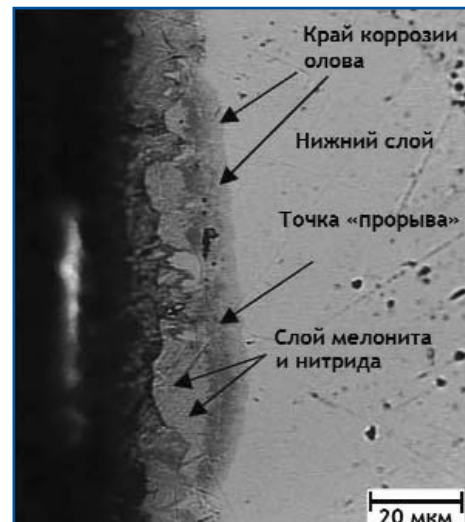
В образцах из нержавеющей стали AISI 304 не были найдены такие «пальчики», разрушающие защитный слой. Необходимо провести дополнительные тесты, чтобы выяснить, свойствен ли этот феномен только для сплава AISI 316. Но, исходя из такого толкования результатов, можно предположить, что следует ожидать появления диффузии и в сплаве AISI 304.

Испытанию более высокой температурой (250, 350 и 450 °С) подверглись образцы из нержавеющей стали AISI 316 с покрытием. При повышенных температурах смачиваемость всех образцов не возросла [2]. В результате изучения под микроскопом выяснилось, что аустенитный феномен диффузии был более выражен, чем при проведении теста при более низких температурах. Протравливание защитного покрытия Melonite® было обнаружено на образце из нержавеющей стали AISI 316 с покрытием при температуре 350 °С (рис. 8).

Этот тест показывает, что срок службы деталей из нержавеющей стали с покрытием ограничен. Покрытие значительно повышает сопротивление материала коррозии в сравнении с нержавеющей сталью без покрытия. Но, тем не менее, и защитное покрытие со временем разрушается.

На образцах из серого чугуна спустя две недели при визуальном осмотре были обнаружены следы смачивания. Чтобы определить степень коррозии, спустя 8 недель образцы были изучены под оптическим микроскопом.

На полученных под микроскопом изображениях образца из серого литейного чугуна

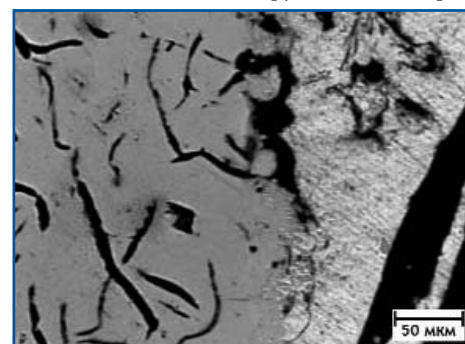


**Рис. 8.** Протравливание при температуре 350 °С

видно, как располагаются чешуйки графита в материале (рис. 9).

Полученные данные о коррозии показывают, что литейный чугун корродирует со скоростью 0,25 мм/год при воздействии на него расплавленного Sn с температурой 300 °С [6].

На образцах из титана следов коррозии или смачивания не было обнаружено. На поверх-



**Рис. 9.** Чешуйки графита в сером литейном чугуне

**Таблица 3.** Рекомендации

Материал	Плюсы	Минусы	Рекомендуемые объекты применения	Частота осмотра
Титан	Чрезвычайно устойчив к лужению	Очень дорогой, поэтому непрактичный для производителя.	Детали, которые нужно часто чистить Пластины для насадок. Детали, очень важные для соблюдения техники безопасности	Каждые два года.
Нержавеющая сталь AISI 304	Низкая стоимость	Нет или практически нет защиты от бессвинцовых припоев	Внешние детали оборудования. Внутренние детали оборудования, если есть в наличии устойчивые к коррозии внутренние детали. Не рекомендуется для деталей, важных с точки зрения соблюдения техники безопасности	Раз в месяц
Нержавеющая сталь AISI 316	Низкая стоимость	Нет или практически нет защиты от бессвинцовых припоев	Внешние детали оборудования. Внутренние детали оборудования, если есть в наличии устойчивые к коррозии внутренние детали. Не рекомендуется для деталей, важных с точки зрения соблюдения техники безопасности	Раз в месяц
Нержавеющая сталь AISI 304 с покрытием Melonite® / азотированная	Низкая стоимость. Хорошая устойчивость к воздействию олова	При появлении царапин разрушается	Внутренние детали блока пайки. Насадки, трубки, насосы, крыльчатки и т. д. Не рекомендуется для деталей, важных с точки зрения соблюдения техники безопасности	Раз в полгода
Нержавеющая сталь AISI 316 с покрытием Melonite® / азотированная	Низкая стоимость. Хорошая устойчивость к воздействию олова.	При появлении царапин разрушается	Внутренние детали блока пайки. Насадки, трубки, насосы, крыльчатки и т. д. Не рекомендуется для деталей, важных с точки зрения соблюдения техники безопасности	Каждые 3 месяца*
Серый литейный чугун	Недорогой. Хорошая устойчивость к воздействию олова. Царапины не опасны.	Из этого чугуна трудно делать насадки.	Внутренние детали, контактирующие с нетекучим припоем Рекомендуется для деталей, важных с точки зрения соблюдения техники безопасности. (главная ванна для припоя)	Раз в год.

\* Из-за процесса подтравливания, установленного на поверхности из нержавеющей стали AISI 316, осмотр рекомендуется проводить чаще.

ности титана создается пассивный оксид, и на диаграмме взаимодействия титана и олова видно, что титан не растворяется в олове при температурах, обычно используемых при пайке [6]. Из всех протестированных образцов образцы из титана показали самую высокую сопротивляемость коррозии.

### Резюме

Если принимать во внимание только сопротивляемость материала коррозии, то титан показал самые хорошие результаты. Тем не менее, стоимость новой машины пайки волной с титановым блоком пайки будет значительно выше стоимости машины с обычным блоком.

Нержавеющая сталь без покрытия, AISI 304 или 316, не подходит для длительной работы с оловянными припоями. Образцы из этого материала быстро смачиваются в течение относительно короткого времени взаимодействия с припоем. С другой стороны, в результате теста было выявлено, что защитное покрытие Melonite® значительно увеличивает срок службы материала по сравнению с нержавеющей сталью без покрытия. Важно запомнить, что нитридные покрытия не защищают нержавеющую сталь навсегда, они просто замедляют неизбежную коррозию.

Главной задачей в этом случае является предотвращение появления царапин или повреждения защитного покрытия Melonite®. Как только защитный слой будет поврежден, коррозия внутреннего слоя ускорится.

Серый литейный чугун быстро смачивается бессвинцовым припоем, но чешуйки графита замедляют скорость коррозии.

В таблице 3 приведены рекомендации по использованию различных материалов, основанные на данных проведенного теста.

### Выводы

Насыщенные оловом бессвинцовые припои могут использоваться в уже установленных и новых машинах пайки волной, если в конструкции машины использованы подходящие материалы. Более старые машины с деталями из нержавеющей стали AISI 304 или 316 без покрытия не следует использовать для работы с бессвинцовыми материалами. Melonite® или виды нержавеющей стали с нитридным покрытием достаточно экономичны для создания внутренних деталей блока пайки, но с ними необходимо очень осторожно обращаться, чтобы не повредить покрытие во время проведения технического обслуживания. Мелонитовое или другое покрытие для поверхностей из нержавеющей стали рекомендуется использо-

вывать только для тех деталей, которые наиболее важны для сохранения техники безопасности при частом проведении осмотра на предмет выявления разрушения материала. Так как проведение такого осмотра — непростая задача, такие важные детали, как ванна припоя, должны делаться из титана или серого литейного чугуна, но не из нержавеющей стали.

### Литература

1. Blair, Cook, and Hartman. Interaction of 304L Stainless Steel with Lead-Tin and Lead Free Solder. Met316 Report, May 11, 2001.
2. Carter, Johannes, and Yenicek. Tin solder Corrosion of Wave Soldering Components. Met316 Report, December 12, 2001.
3. Melonite®, The Answer for Wear, Corrosion and Fatigue Problems: Degussa Corp.
4. Kolene Corp. website ([www.finishing.com/kolene/qqq](http://www.finishing.com/kolene/qqq)); last accessed December 1, 2002.
5. Birschbach, Daveenport, and Cavins. Melonite QPQ and its Application to Wave Soldering Equipment. Met316 Report, May 11, 2001.
6. ASM Handbook of Corrosion Data, 2<sup>nd</sup> Edition, 1995, pp. 499–504.
7. Massalski T. B. Binary Alloy Phase Diagrams: 2<sup>nd</sup> Ed., ASM Intl., 1990, Vol. 2: pp. 160, 370.