

Окончание. Начало в № 5 `2009

Оптимизация процесса бесвинцовой ремонтной пайки

В 2009 году в России стартовал проект, организованный компанией Heraeus (Германия) и ООО «Микроэлектронная фирма «Оникс»» (Ярославль). Согласно этому проекту в России началось производство импортных материалов для поверхностного монтажа и сборочно-монтажных работ. С 1992 года ООО «МЭФ «Оникс»» выпускает свинецсодержащие паяльные пасты серии 7000 для ручного и полуавтоматического нанесения. В настоящее время, увеличив свои производственные мощности, фирма «Оникс» приступила к серийному выпуску припойных свинецсодержащих и бессвинцовых паст компании Heraeus по лицензионному соглашению.

Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

Матиас Новоттник
(Mathias Nowottnick),

д. т. н., профессор
Йорг Тродлер (Jörg Trodler)

Появление новых технологий и материалов для поверхностного монтажа, в том числе широкой гаммы различных паяльных паст, не исключило этапы ремонтной пайки с использованием флюсов. Результаты исследования и анализ взаимодействия различных флюсов рассматриваются в данной статье.

Описание исследований

Для ремонтной пайки бессвинцовых электронных узлов необходимо использовать флюсы, которые, с одной стороны, ведут к хорошей смачиваемости при температуре несколько выше температуры плавления припоя, а с другой — остаются стабильными при более высоких температурах. В связи с этим испытания специально проводились при достаточно широком диапазоне температуры: от 230 до 270 °С.

Кроме того, флюсы для ремонтной пайки должны обладать хорошими адгезионными свойствами для фиксации компонентов с большой массой до начала процесса оплавления. Если остатки флюса

не удалены, они не должны оказывать коррозионное и электрическое воздействие на электронный узел.

Были исследованы различные флюс-гели для ремонтной пайки. В качестве критериев оценки флюсов рассматривались следующие аспекты:

- Паяемость бессвинцовых припоев в широком диапазоне температуры 230...270 °С.
- Время и сила смачивания в исследуемом диапазоне температуры.
- Адгезионные свойства.
- Стойкость к коррозии/поверхностное сопротивление остатков флюса.

В итоге было проведено сравнение исследованных флюсов.

Испытание паяемости

Испытание паяемости проводилось на установке для измерения силы смачивания SP-2 компании MALCOM. В ходе испытания образец погружали в расплавленный припой (шарик припоя SnAgCu). Во время нахождения образца в припое записывались изменения взаимодействия сил. Полученная временная зависимость сил взаимодействия, градиент и амплитуда позволяют оценить качество смачивания. Измеренная величина силы складывается из таких компонентов, как вес, противодействие, сила смачивания, сила поверхностного натяжения и сила сцепления. На рис. 1 представлена принципиальная кривая смачивания [1].

В качестве образцов были использованы выводные контакты компонента TDA 2030AV в корпусе Pentawatt-5. Отдельные контакты имеют покрытие оловом и хорошо подходят для измерений, так как имеют достаточную длину. Тем самым обеспечиваются хорошая точность и повторяемость измерений. Перед погружением в расплавленный шарик припоя штырьки погружались во флюс-гель на глубину 2,5 мм. Шарик припоя изготавливался из трубчатого припоя Sn95,5Ag3,8Cu0,7.

Для процессов ремонтной пайки, как правило, используется флюс с повышенной вязкостью или так называемый флюс-гель. В ходе сравнительных испыта-



ний были исследованы свойства 6 различных флюс-гелей, четыре из которых обозначены буквами “А”, “В”, “С” и “D”, а также два флюса компании Heraeus — SF36 и SF64.

Испытания проводились при трех значениях температуры: 230, 250 и 270 °С. Значение температуры 230 °С является нижней границей для процесса пайки бессвинцовыми припоями. Практически у всех исследованных флюсов был зафиксирован замедленный процесс смачивания припоем (рис. 2). Причиной этому может быть кратковременное нарушение температурного режима за счет оттока тепла через образец и крепление.

При температуре в 270 °С у некоторых флюсов наблюдается обратная картина: быстрое смачивание и, следовательно, быстрое достижение максимального значения силы, однако фиксируется нестабильность значения силы смачивания, что может быть вызвано полным испарением или термическим разрушением флюсов (рис. 3).

Установлено, что температура оказывает существенное влияние на время смачивания, что соотносится с экспериментальными данными. При температуре 230 °С время смачивания находится в промежутке между 2 и 3,5 секундами, при 270 °С оно сокращается до 0,5–0,8 с. При низких температурах флюсы SF64 и “А” показали примерно одинаковые хорошие положительные результаты. При 270 °С у большинства исследованных флюсов (“А”, SF36, SF64 и “D”) был также зафиксирован хороший результат.

Сравнение силы смачивания может быть проведено с помощью конечного значения силы, так как в этой области лучше всего проявляются различия между флюсами. Некоторые флюсы уже после 10 секунд тестирования были термически разрушены, это влияет на качество смачивания в конце измерения. При низкой температуре это незаметно, так, например, флюсы “А”, SF64 и SF36 вели к хорошему смачиванию. При более высоких температурах хороший результат был зафиксирован у флюсов “В”, “С” и “D”, а также у SF64 (с ограничениями).

Антисмачивание, или уменьшение силы смачивания в течение 10 секунд испытания, тоже является критерием оценки стабильности флюса. При 230 °С практически у всех флюсов не было зафиксировано антисмачивания. Начиная с 250 °С этот эффект проявляется у флюса SF36, в то время как у флюса “А” было зафиксировано уменьшение силы смачивания на 50%. При 270 °С это значение равно 60%, а у флюса SF36 — 40%. При 270 °С у флюса SF64 сила смачивания снижается до 15%, хотя это не считается критичным.

Таблица 1. Размер стальных цилиндров и установленная нагрузка на растяжение клеевых соединений

Нагрузка на растяжение, мН/мм ²	Сила, Н	Вес, г	Длина, мм
2	0,039	3,93	25,6
2,25	0,044	4,42	28,8
2,5	0,049	4,91	32,1
2,75	0,054	5,40	35,3
3	0,059	5,89	38,5

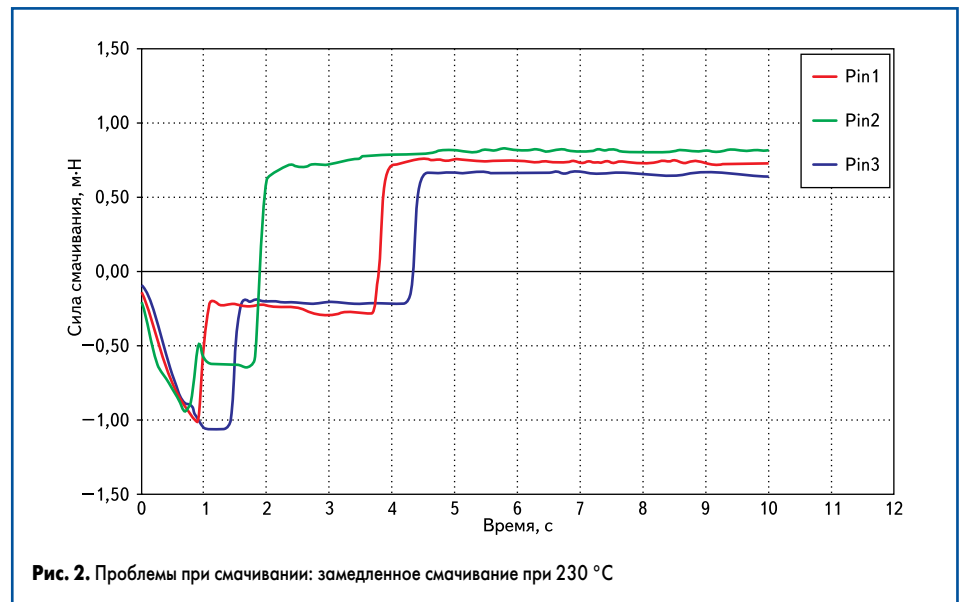


Рис. 2. Проблемы при смачивании: замедленное смачивание при 230 °С

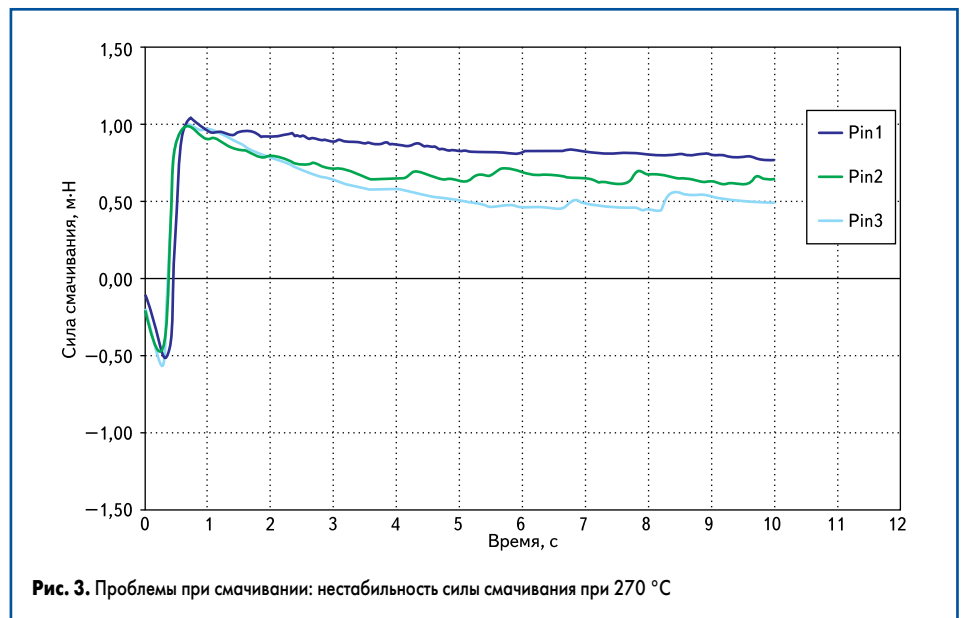


Рис. 3. Проблемы при смачивании: нестабильность силы смачивания при 270 °С

Исследование адгезионной прочности

Адгезионная прочность флюс-гелей была протестирована с помощью цилиндрических

стальных образцов. На отпечатки флюс-гелей толщиной 300 мкм и диаметром 8 мм, сделанных на стеклянной подложке, подвешивались стальные цилиндры разной длины, после чего

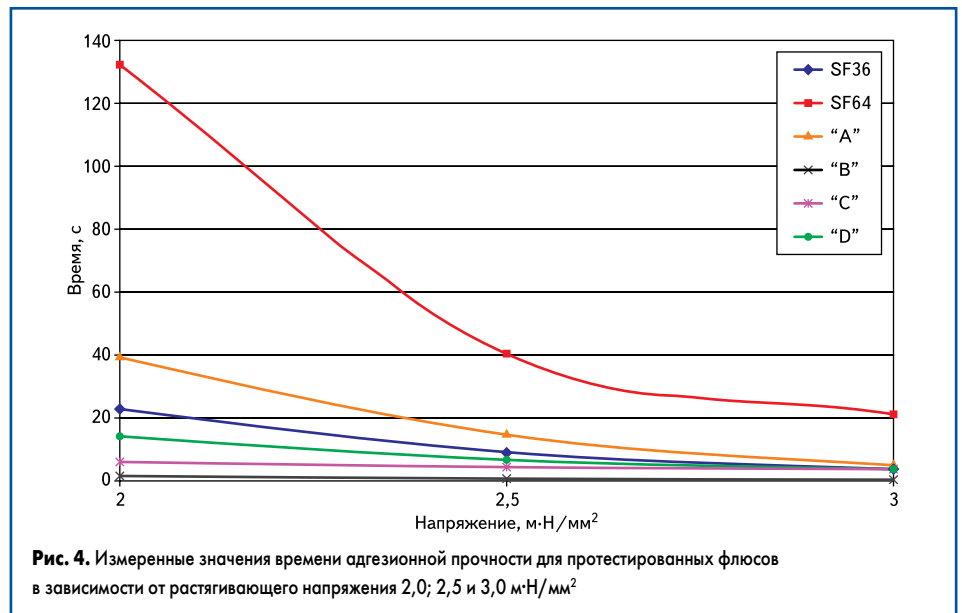


Рис. 4. Измеренные значения времени адгезионной прочности для протестированных флюсов в зависимости от растягивающего напряжения 2,0; 2,5 и 3,0 мН/мм²

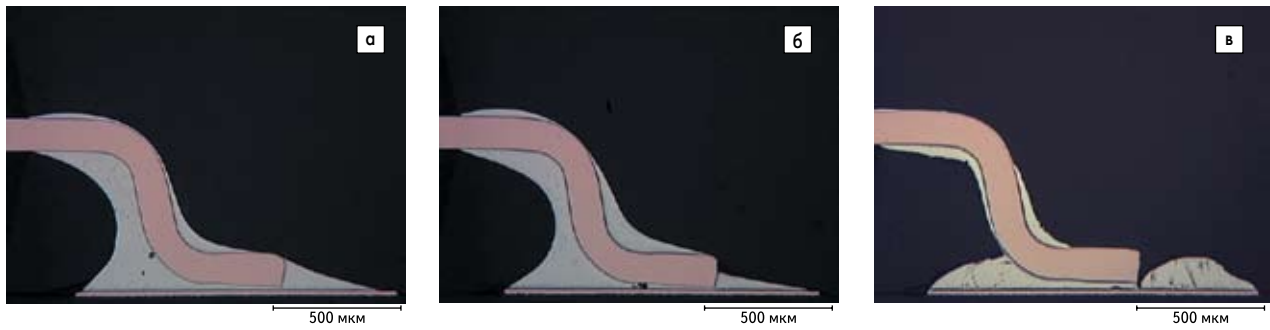


Рис. 5. Паяные соединения, изготовленные с помощью различных флюсов: а) хорошая смачиваемость; б) удовлетворительная смачиваемость; в) плохая смачиваемость

измерялось время до их отрыва. Длина цилиндров подбиралась таким образом, чтобы получить определенную нагрузку на клеевые соединения (табл. 1).

Измеренные значения показали большую разницу между протестированными флюсами. В то время как флюс “В” не мог удержать даже легкие образцы, у флюса SF64 было зафиксировано очень долгое время выдерживания нагрузки. Воспроизводимость результатов дает основание для прогнозирования промежуточных значений (рис. 4). Похожие результаты были зарегистрированы у флюсов “А”, SF36 и “D”.

Верификация паяемости

Верификация испытания паяемости была проведена с помощью пайки образцов с различными флюсами на ремонтной установке с полуавтоматическим управлением ONYX 29 фирмы ZEVAC. По результатам предыдущего тестирования были отобраны 4 флюса для данного испытания. Были изготовлены и проанализированы микрошлифы паяных соединений. По высоте смоченного припоем соединения компонента QFP можно провести сравнение качества паяных соединений (рис. 5).

В процессе пайки были подтверждены уже полученные в ходе испытаний свойства паяемости и адгезии очень хорошие свойства флюса SF64. Наиболее явно эти результаты могут быть продемонстрированы на краях контактов типа «крыло чайки» компонентов в корпусе QFP. Уровень смачивания составляет 86%. На втором месте флюс SF36 с уровнем смачивания 50%. Далее следует флюс “D” с 30% смачивания контакта, в то время как флюс “А” показал неудовлетворительные результаты.

При анализе паяных контактов компонента BGA не было выявлено различий в качестве смачивания. При детальном рассмотрении контактных площадок и граничных поверхностей между припоем и компонентом не было зафиксировано дефектов. Медные контактные площадки полностью смочены припоем, так как они были заранее облужены для большего приближения к реальному процессу ремонтной пайки. Следует отметить, что в паяных соединениях компонента BGA практически не было обнаружено пор. Так как особенно в бессвинцовом процессе пайки очень часто возникают поры, этот результат позволяет

сделать заключение о качестве всех флюсов в данном исследовании, а также проведенных процессов пайки.

Коррозионные испытания

В заключение этого исследования были проведены коррозионные испытания остатков флюса на ПП. Тестирование проводилось согласно норме IPC-TM-650 (SIR-Test) [2].

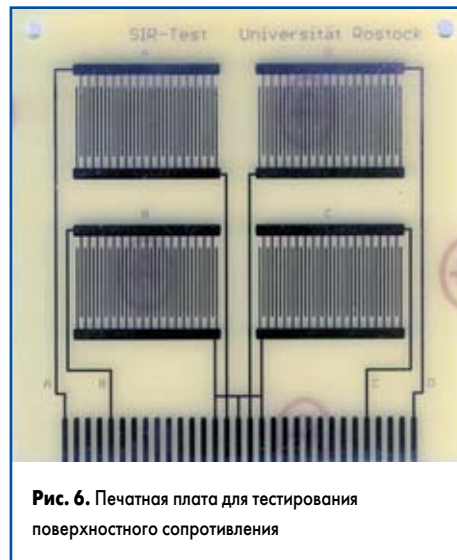


Рис. 6. Печатная плата для тестирования поверхностного сопротивления

Для данного теста использовались специальные печатные платы со встречными штыревыми проводниками (рис. 6).

На тестовые структуры с помощью шаблона наносились отпечатки флюса, после чего эти отпечатки оплавливались. Параметры соответствовали бессвинцовому процессу. После оплавления платы помещались в климатическую камеру при +85 °C и 85% относительной влажности на 7 дней. К штыревым выводам подключалось напряжение 50 В. Поверхностное сопротивление изоляции измерялось в исходном состоянии, а также после 24, 96 и 168 часов при напряжении 100 В.

На рис. 7 представлены средние значения измеренных сопротивлений. Было зафиксировано различное поведение остатков флюсов относительно коррозионной стойкости. Некоторые флюсы имеют постоянное сопротивление выше 10⁹ Ом, в то время как другие имеют изначально более низкое значение, но со временем оно возрастает. На печатных платах с флюсами с более низким значением сопротивления были обнаружены миграционные эффекты на анодных контактах. Для данных флюсов может быть рекомендован процесс отмывки после пайки.

После тестирования печатные платы были проанализированы под микроскопом при 200-кратном увеличении (рис. 8).

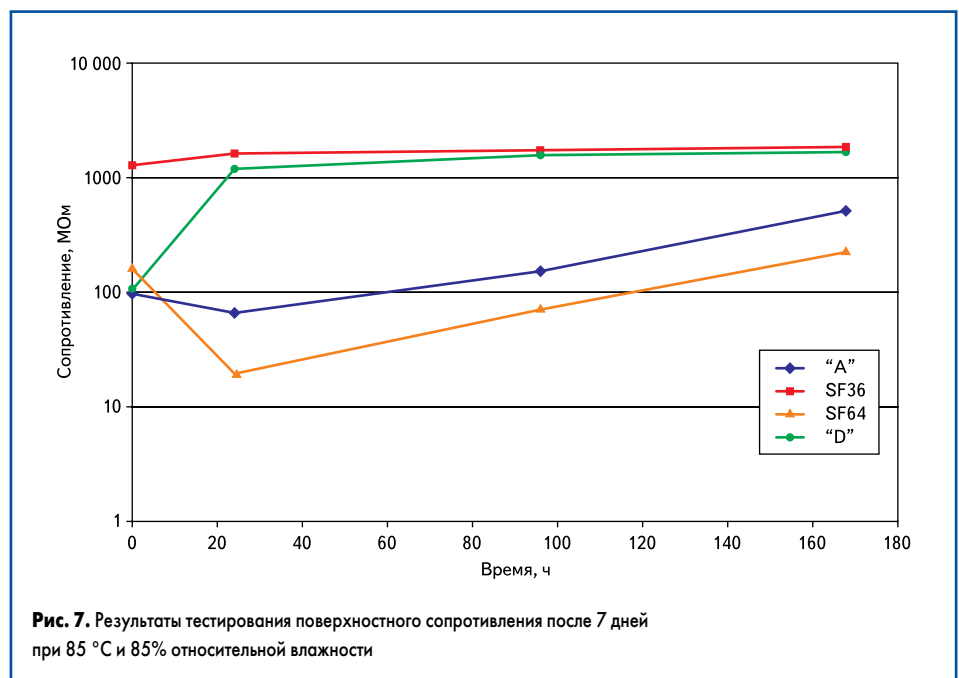


Рис. 7. Результаты тестирования поверхностного сопротивления после 7 дней при 85 °C и 85% относительной влажности

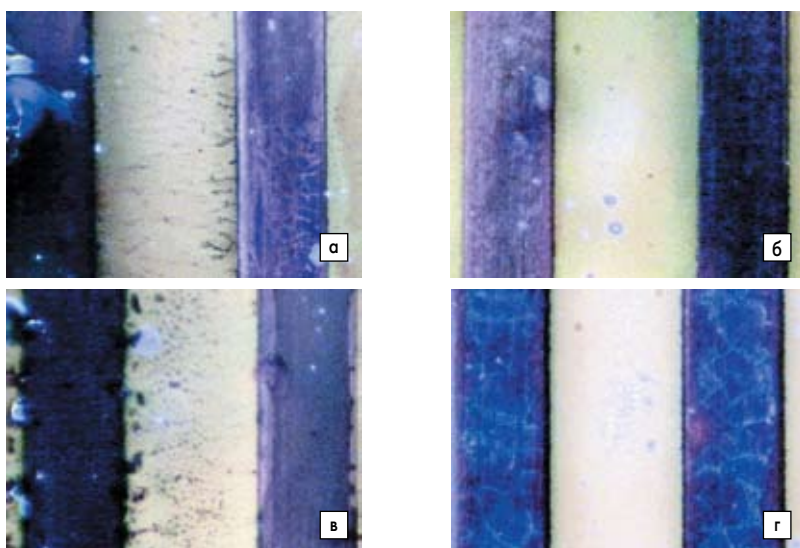


Рис. 8. Медные проводники после теста SIR (200-кратное увеличение): а) флюс "А"; б) флюс SF36; в) флюс SF64; г) флюс "D"

Таблица 2. Сравнение исследованных флюсов

	Быстрое смачивание при низкой температуре	Стабильное смачивание при высокой температуре	Адгезионные свойства	Результат пайки	Тест SIR
SF36	Средне	Средне	Средне	Средне	Позитивно
SF64	Позитивно	Средне	Позитивно	Позитивно	Негативно
Флюс "А"	Позитивно	Негативно	Средне	Негативно	Негативно
Флюс "В"	Позитивно	Позитивно	Негативно	Не испытано	Не испытано
Флюс "С"	Средне	Позитивно	Негативно	Не испытано	Не испытано
Флюс "D"	Негативно	Позитивно	Средне	Средне	Средне

У флюсов "А" и SF64 явно заметны миграционные эффекты на медных проводниках — анодах. В зависимости от области применения и условий эксплуатации необходима отмывка электронных узлов после процесса ремонтной пайки с применением этих флюсов. По сравнению с флюсом "А", который при оплавлении растекался по печатной плате, флюс SF64 сохранил свои контуры, что значительно сокращает область загрязнения, и тем самым необходимость отмывки отпадает. Нужно также заметить, что флюс SF64 был разработан в ходе тестовых испытаний и показал хорошие результаты при испытании SIR на коррозию согласно соответствующей немецкой промышленной норме DIN.

Выводы

В ходе проведенных исследований установлено, что флюсы "D", "С" и SF36 менее предназначены для низких температур пайки, типичных для процессов обработки свинецсодержащих материалов. Для более высоких температур пайки, которые типичны для процессов обработки бессвинцовых материалов, исключено применение флюса "А". По результатам измерения адгезионных свойств, а также проведения процесса пайки компонентов QFP явный фаворит — флюс SF64.

Хорошая паяемость, однако, частично ведет к повышенной агрессивности остатков флюса, что было проанализировано с помощью SIR-теста. В связи с этим при применении флюса SF64 или флюса "А" рекомендуется отмывка

после процесса пайки. Таблица 2 представляет собой матрицу качественного сравнения исследованных флюсов.

Исходя из области применения конкретного электронного узла, флюс SF36 может быть рекомендован для стандартных применений при средней сложности паяемости и хорошей переносимости остатков флюса. Флюс SF64 надежен для достаточно сложных процессов пайки с плохо паяемыми компонентами, а также для очень быстрых процессов пайки. После применения этого флюса рекомендуется локальная очистка электронного узла.

По результатам данного исследования могут быть сделаны следующие выводы:

1. Флюс наряду с температурным режимом оказывает большое влияние на процесс ремонтной пайки.
2. Для быстрого и надежного процесса ремонта флюс должен работать в широком диапазоне температур.
3. Адгезионные свойства флюса очень важны для процесса ремонтной пайки.
4. Необходим баланс между смачиваемостью и небольшим количеством остатков флюса после процесса пайки.

Литература

1. Информационные материалы компании MALCOM International.
2. Стандарт IPC-TM-650 2.6.6.3B. Surface Insulation Resistance, Fluxes. http://www.ipc.org/4.0_Knowledge/4.1_Standards/test/2.6.3.3b.pdf