

УДК 621.791.05

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ И ПОДХОДОВ  
В СБОРОЧНО-МОНТАЖНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ  
ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ**

М.О. Викторова, Н.П. Калиниченко

Томский политехнический университет

E-mail: nikol\_k112@mail.ru

**Викторова Марина Олеговна**, магистрант кафедры «Физические методы и приборы контроля качества» Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: skarlet89@sibmail.com  
Область научных интересов: сборочно-монтажное производство радиоэлектронной аппаратуры, контрольные образцы для капиллярной дефектоскопии.

**Калиниченко Николай Петрович**, канд. техн. наук, доцент, специалист III уровня по визуальному и измерительному методу, капиллярному контролю, контролю герметичности, кафедры «Физические методы и приборы контроля качества» Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: nikol\_k112@mail.ru  
Область научных интересов: аттестация персонала, лабораторий в области неразрушающего контроля, метрологическое обеспечение по указанным методам НК.

Приведены исследования по определению метода пайки электронных компонентов на печатную плату, показывающего стабильную повторяемость результатов процесса и качества изделий, по определению необходимости отмывки печатного узла от остатков флюсов после пайки, по определению качественного конформного покрытия, обеспечивающего эффективную влагозащиту, химзащиту и технологичность.

**Ключевые слова:**

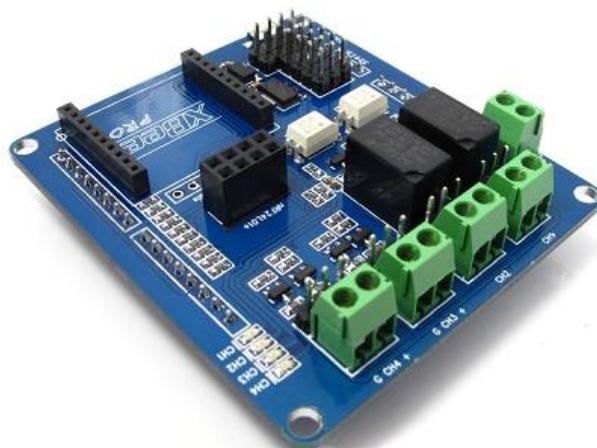
Печатная плата, печатный узел, монтаж, метод пайки, припой, флюс, отмывка печатного узла, конформное покрытие.

На данный момент в мире выпускается огромное количество различных электронных средств, каждое из которых требует реализации отдельного сложного технологического процесса, включающего множество операций. При проектировании технологических процессов производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) одним из наиболее важных является вопрос выбора технологического и контролируемого оборудования, оснастки, инструмента, материалов. Отклонения параметров РЭА определяются точностью изготовления деталей, параметрами узлов и блоков, однако такие операции, как пайка, отмывка, защита от внешних воздействий, могут существенно влиять на выходные параметры.

Объектом исследования является технологический процесс сборочно-монтажного производства печатных узлов, который включает в себя пайку электронных компонентов на печатную плату, отмывку печатного узла после пайки и нанесение конформного покрытия на печатный узел.

В настоящее время среди известных методов пайки поверхностно монтируемых электронных компонентов на печатную плату наиболее распространена пайка оплавлением [1]. Применение данного метода из-за сложностей в обеспечении равномерности нагрева и подбора температурного профиля в настоящее время потеряло свою популярность в отличие от метода пайки в паровой фазе [2].

Для определения метода пайки, показывающего хорошую повторяемость результатов процесса и качества изделий, были взяты две партии по десять штук одинаковых печатных плат (ПП), одна из которых представлена на рис. 1. На ПП устанавливаются различные компоненты навесного монтажа: вилки, разъемы, реле; и компоненты планарного монтажа: аналоговые и цифровые микросхемы, диоды, резисторы, конденсаторы.



**Рис. 1.** Печатная плата, используемая в эксперименте

Одна партия ПП была пропаяна в печи оплавления, а вторая партия – в системе пайки в паровой фазе. После пайки печатные узлы (ПУ) были отмыты, а затем был проведен визуальный контроль паяных соединений компонентов [3]. В результате контроля были обнаружены следующие дефекты:

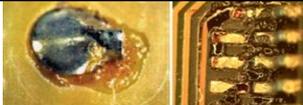
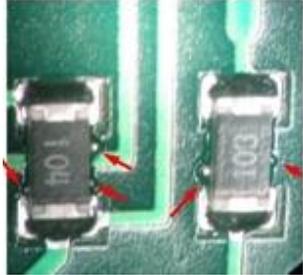
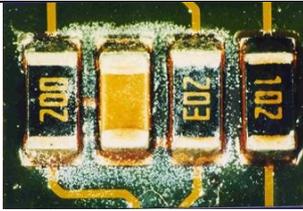
- на ПУ, пропаянных в печи оплавления: 50 % паяных соединений содержат пустоты, 3 компонента не пропаяны, в небольшом количестве обнаружены шарики припоя;
- на ПУ, пропаянных в паровой фазе: 5 % паяных соединений содержат пустоты, 2 компонента не пропаяны, 1 компонент получил механическое повреждение.

В системе пайки в паровой фазе были пропаяны все компоненты, кроме реле. Этот компонент является негерметичным, поэтому не рекомендуется его паять в паровой фазе, так как попадание жидкости внутрь элемента может повлиять на его работоспособность. В печи оплавления пропаяны только компоненты планарного монтажа, так как корпуса компонентов навесного монтажа оплавляются.

Результатом исследования являются рекомендации по выбору метода пайки. Для многономенклатурного мелкосерийного производства рекомендуется применять пайку в паровой фазе, так как не требуется трудоемкий подбор температурных профилей в зависимости от конструкции сборки, что характерно для пайки оплавления в печи. Для производства, выпускающего однообразные номенклатурные изделия, рекомендуется осуществлять пайку методом оплавления в печи, так как этот метод не приведет к удорожанию технологического процесса и изделия в целом.

Отмывка печатных узлов после пайки – это удаление с поверхности печатных узлов и компонентов остатков технологических материалов, которые в процессе эксплуатации электронной аппаратуры могут оказать негативное влияние на надежность печатных узлов, могут препятствовать нанесению влагозащитных покрытий, затруднять выполнение электрического контроля, а также ухудшать внешний вид изделия [4]. Не удаленные загрязнения на поверхности платы могут оказывать существенное влияние на различные параметры. Остатки флюсов очень редко приводят к отказам в процессе работы, но последствия коррозии могут быть очень серьезными. Основные типы таких загрязнений приведены в табл. 1. Большинство загрязнений не являются безопасными для электроники и при определенных условиях приводят к сбоям или полной потере работоспособности ПУ, принося миллионные убытки потребителям. Например, отпечатки пальцев, которые остаются на поверхности ПУ после контакта с руками человека, также являются не простыми остатками загрязнений, это смесь жиров, солей и частички кожи человека, которые при последующем увлажнении становятся весьма опасными для компонентов ПУ [5].

**Таблица 1.** Основные типы загрязнений

Внешний вид загрязнения	Наименование загрязнения
	Остатки флюса и канифоли
	Разрушенный вследствие коррозии проводник
	Шарики припоя
	Загрязнения под влагозащитным покрытием

Для эксперимента взяты четыре отмывочные жидкости ZESTRON FA+, VIGON US, АКВЕН-12, AIMterge520A, широко применяемые на современных предприятиях. С помощью данных жидкостей были отмыты четыре партии, содержащие пять ПУ, изготовленных по одному технологическому процессу. В результате контроля были обнаружены следующие дефекты для ПУ, отмытых жидкостью:

- ZESTRON FA+, дефекты не обнаружены;
- VIGON US, обнаружены в небольшом количестве остатки флюса, «белый налёт»;
- АКВЕН-12, обнаружены в небольшом количестве остатки флюса, шарики припоя, обнаружен в достаточном количестве «белый налёт»;
- AIMterge520A, обнаружены в достаточном количестве остатки флюса, «белый налёт».

ПУ, на которых был обнаружен «белый налёт», были проверены на наличие ионных загрязнений с помощью тестового набора «ZESTRON FluxTest», изображенного на рис. 2. Ионные загрязнения были обнаружены на ПУ, который был отмыт жидкостью AIMterge520A.

**Рис. 2.** Тестовый набор ZESTRON® FluxTest

Наилучший результат показала отмывочная жидкость ZESTRON FA+, хороший результат имеет жидкость VIGON US.

В настоящее время в производстве электроники вопрос отмывки остатков флюсов после пайки остается актуальным и спорным. С одной стороны, отмывка ПУ повышает качество и увеличивает срок службы изделий. С другой стороны, увеличивает себестоимость изделий, так как требует дополнительных вложений: оборудование, материалы, персонал и т. д. Отмывка является обязательной для спецтехники, которая требует высочайшей надёжности [4].

Конформные покрытия представляют собой полимерный материал, используемый для защиты печатного узла широкого спектра загрязнителей на протяжении всего срока эксплуатации электронного прибора. Конформные покрытия обладают высокой степенью изоляционной защиты и обычно устойчивы к действию многих видов растворителей и жестких внешних условий на протяжении эксплуатационного срока изделия. Материал покрытия может выступать в качестве нейтрализатора различных частиц на поверхности ПП и служить защитным экраном к различным устройствам ПП [6].

Конформное покрытие может обладать несколькими функциями в зависимости от способа нанесения. Наиболее распространенные функции конформных покрытий: препятствуют утечке тока и возникновению короткого замыкания, вызванных повышенной влажностью и загрязнением при эксплуатационных условиях; замедляют коррозию; продлевают усталостную долговечность паяных соединений безвыводных корпусов; обеспечивают механическую прочность небольшим деталям, которые не защищены механически, для предотвращения повреждений, вызванных ударом и вибрацией.

В исследованиях использовались следующие влагозащитные покрытия: HumiSeal 1A20, HumiSeal 1A33, HumiSeal 1H20UR5, эпоксиуретановый лак УР-231.

Были проведены следующие испытания:

1. Внешний вид – материал наносится на тестовую плату и осматривается после отверждения под увеличением. Покрытие должно быть гладким, однородным, прозрачным.
2. Флюоресценция проводится для того, чтобы гарантировать наличие в материале УФ активных агентов, что облегчает выявление непокрытых участков на ПП и дефектов в отвердевшем покрытии при визуальном осмотре, как показано на рис. 3.
3. Грибостойкость – покрытые образцы подвергаются воздействию культурами грибов и бактерий, которые обычно присутствуют при эксплуатации электронной аппаратуры.
4. Гибкость – образцы по очереди изгибаются вокруг 3 мм оправки, визуально отслеживается наличие трещин.
5. Горючесть – покрытие не должно поддерживать горение. Открытое пламя подводится под углом 90° к поверхности покрытого образца.

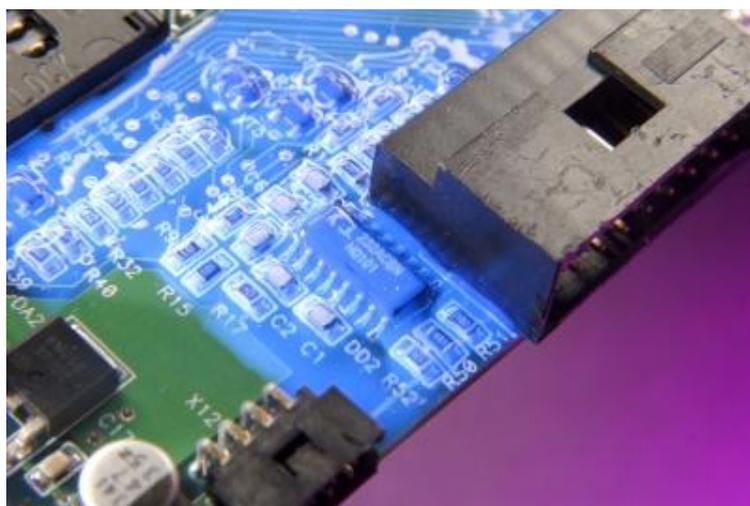


Рис. 3. Конформное покрытие в УФ свете

В результате испытаний однокомпонентные уретановые влагозащитные покрытия HumiSeal обеспечили эффективную влагозащиту, химзащиту изделий и являются более технологичными по сравнению с УР-231. Сравнительные параметры приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Сравнительная таблица конформных покрытий HumiSeal и УР-231

Параметр	HumiSeal	УР-231
Исходное состояние	Однокомпонентный	Двухкомпонентный
Время жизни	До года	5 часов
Методы нанесения	Все известные	Окувание, распыление
Достаточное количество слоев	1	3
Сушка	12 минут	12 часов
Контроль качества нанесения	В УФ излучении	Загружен
Ремонтопригодность	Хорошая	Затруднена

Таким образом, по результатам работы можно сделать следующие выводы:

- проведены исследования по выбору метода пайки, отмывочной жидкости, конформного покрытия;
- выявлены недостатки и достоинства методов пайки, применяемых в современном производстве;
- установлены факторы, влияющие на принятие решения по отмывке печатных узлов; -
- определены технологичные конформные покрытия для защиты печатных узлов на протяжении всего срока эксплуатации.

Результаты данной работы могут быть использованы в современном производстве радиоэлектронной аппаратуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17325-79. Пайка и лужение. Основные термины и определения. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1981. – 22 с.
2. Борисенков С., Дятлов К. Пайка в паровой фазе (конденсационная): настоящее и будущее электронной промышленности // Технологии в электронной промышленности. – 2010. – № 4. – С. 1–7.
3. Калиниченко Н.П., Викторова М.О. Атлас дефектов паяных соединений. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 82 с.
4. IPC-A-610D. Промышленный стандарт «Критерии качества электронных сборок». – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2005. – 397 с.
5. IPC-CN-65A. Руководящие указания по отмывке печатных плат и сборок. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1999. – 56 с.
6. IPC-HDBK-830. Руководство по разработке, выбору и нанесению конформных покрытий. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 88 с.

Поступила 17.06.2013 г.