К.т.н. А. А. ЕФИМЕНКО, Д. Л. СОБЧЕНКО

Украина, Одесский национальный политехнический университет
E-mail: aiefimen@gmail.com

Дата поступления в редакцию
25.12 2008 г.

Оппонент *д. т. н. С. Ю. ЛУЗИН*
(ООО «Эремекс», г. Санкт-Петербург)

НЕПАЯНЫЕ КОНТАКТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПЕЧАТНЫХ УЗЛАХ

Рассмотрены варианты конструкторской реализации контактных электрических соединений выводов электронных компонентов в электронных печатных узлах без использования процесса пайки.

Технологии монтажа электронных компонентов пайкой на печатные платы (**ПП**) присущ ряд недостатков, связанных со сложностью оборудования, большой энергоемкостью, экологической небезопасностью. К тому же, паяные соединения не обладают достаточной надежностью. Следует добавить, что технологический процесс пайки усложняется с принятием решения ЕвроСоюза, согласно которому электронное оборудование, а также электронные компоненты, поставляемые в страны ЕС, не должны содержать свинец. Введение бессвинцовой технологии пайки вызывает дополнительные проблемы, связанные с повышением температуры пайки.

Если проанализировать техпроцессы монтажа компонентов, можно прийти к выводу, что проблемы, в основном, связаны именно с пайкой. Естественно, возникает вопрос, а нельзя ли обойтись без нее? В настоящее время не случайно широкое распространение получили методы непаяного монтажа проводных электрических соединений в связи с их эффективностью (технологичность, производительность, надежность, экологическая чистота) [1—3].

Технологию монтажа печатных узлов непаяные методы также не обошли стороной. Но на сегодняшний день контактные соединения составляют лишь незначительную часть, хотя разработок в этом направлении достаточно много. Основные причины этого — значительные, в зависимости от используемых методов, размеры контактов, не позволяющие в полной мере реализовать все возможности микроэлектронной аппаратуры, и сложные технологические процессы, осуществить которые могут далеко не все предприятия.

Целью настоящей статьи является попытка ознакомить разработчиков электронной аппаратуры с такими методами — от широко известных и используемых в международных масштабах до фирменных разработок, которые известны ограниченному кругу специалистов.

Авторы надеются, что такое комплексное представление информации послужит дальнейшему развитию непаяных методов монтажа электронных компонентов на ПП.

Конструкции непаяных контактных соединений на печатных платах можно классифицировать следующим образом:

— контактные соединения, выполненные методом «press-fit» (прессовая посадка выводов компонентов в металлизированные отверстия ПП);

— контактные соединения, образованные за счет прижима под определенным давлением выводов компонентов к контактным площадкам ПП;

— контактные соединения, образованные за счет наращивания металла на выводы компонентов.

Контактные соединения, выполненные методом «press-fit»

Этот метод возник в связи с необходимостью монтажа многоконтактных соединителей на ПП, хвостовики выводов которых одновременно должны были использоваться в качестве рабочей части штырей вилок или для накрутки проводов (**рис. 1**). Такие хвостовики во время монтажа не должны подвергаться действию припоя.

В первоначальной конструкции контактного соединения методом «press-fit» использовался хвостовик вывода соединителя прямоугольного сечения с диагональю, несколько большей диаметра металлизированного отверстия (**рис. 2**). Однако такое соединение требует соблюдения очень точных размеров штыря в поперечном сечении и диаметра металлизированного отверстия, что особенно трудно. В противном случае либо не выполняется условие обеспечения пластической деформации и удержания герметичности контактной зоны, либо в процессе запрессовки может повреждаться слой металлизации в отверстии. По этой причине появились разные конструктивные исполнения запрессовываемых штырей. Однако во всех случаях целью было создание упругого контакта, который, с одной стороны, должен обеспечивать требуемое давление при контактировании со стенками металлизированного отверстия, а с другой — образовывать некий компенсатор, который не позволил бы этому усилию превысить критическую величину, что таким образом предотвратит разрушение металлизированного отверстия.

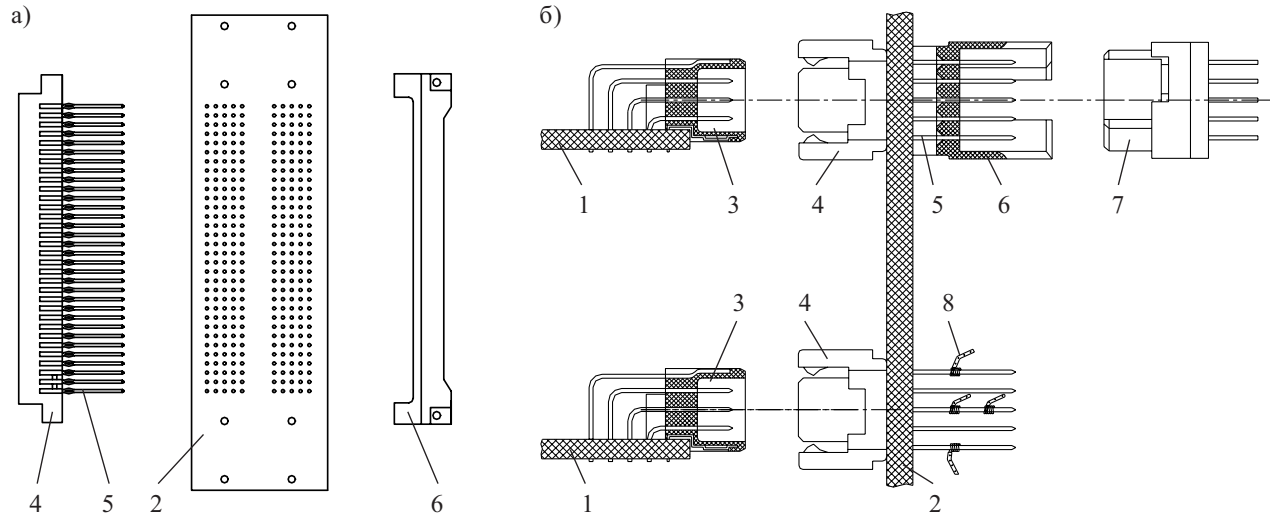

Рис. 1. Электрические соединители до монтажа (*а*) и после монтажа (*б*):
1 — ПП электронного модуля; *2* — соединительная ПП; *3* — вилка соединителя; *4* — розетка соединителя; *5* — хвостовик вывода розетки — контактный штырь вилки; *6* — колодка, предназначенная для образования вилки; *7* — розетка; *8* — контактное соединение накруткой

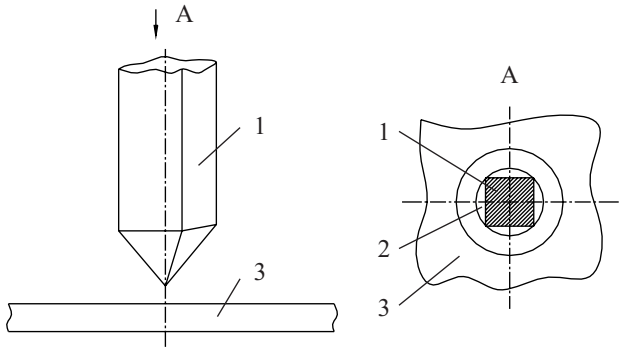

Рис. 2
1 — хвостовик вывода; *2* — металлизированное отверстие; *3* — основание ПП

Наиболее известным является конструктивное решение запрессовываемого контакта под названием «игольное ушко». Таким «ушком» является продольное отверстие в штыре, которое позволяет изменять размер контакта в поперечном сечении и таким образом компенсировать излишнее усилие при запрессовке контактов (**рис. 3**).

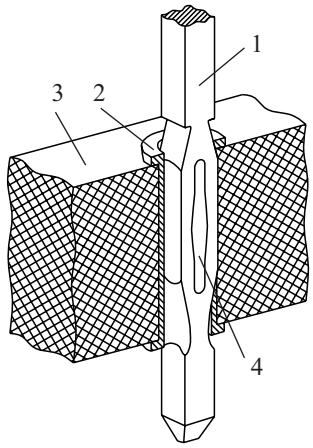

Рис. 3. Контакт, запрессованный в металлизированное отверстие ПП:
1 — запрессовываемый контакт; *2* — контактная площадка на металлизированном отверстии; *3* — основание ПП; *4* — отверстие типа «игольное ушко»

Такие контакты широко используются и в настоящее время ведущими фирмами, выпускающими электрические соединители [4, 5].

Существует достаточное количество вариантов формы контактов для запрессовки в металлизированные отверстия ПП. Некоторые из них, наиболее часто используемые в соединителях, представлены на **рис. 4** [6]. Здесь и на других рисунках раздела обозначено: *1* — запрессовываемый контакт; *2* — металлизированное отверстие; *3* — основание ПП; *4* — контактная площадка.

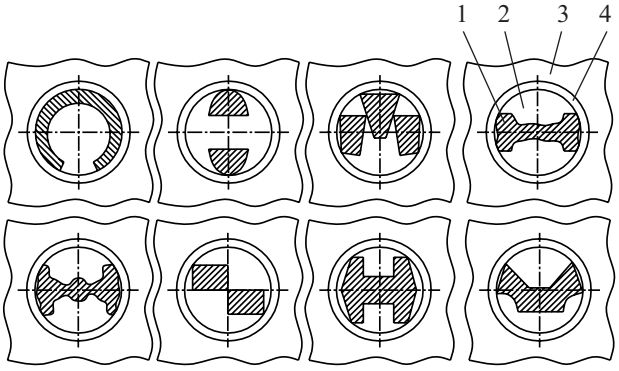

Рис. 4. Поперечное сечение рабочей части контактов для запрессовки различной формы

Форма контактов выбирается такой, чтобы компенсировать размерные погрешности отверстий. При запрессовке они подвергаются упругой и отчасти пластической деформации. Соотношение этих видов деформации и, соответственно, надежность контактных соединений определяется такими конструктивными факторами как соотношение размеров контакта и металлизированного отверстия и форма поперечного сечения контакта, в том числе количество контактных точек. Большая поверхность контакта усложняет процесс запрессовки, малая — снижает надежность контактного соединения. Компромиссным решением

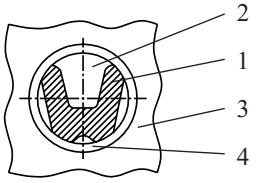

Рис. 5. Контакт в форме лодочки

может быть увеличение количества контактных точек при относительно небольшой площади контактирования.

На **рис. 5** представлена V-образная форма сечения контакта со скругленными краями. Контакт имеет форму лодочки, на дне которой расположены два параллельных киля. При запрессовке образуется четыре контактных участка [7].

Ниже, на **рис. 6** приведен вариант конструктивного выполнения контактного штыря П-образного сечения в средней части, которая запрессовывается в металлизированное отверстие ПП. Особенностью контакта является то, что при его запрессовке боковые поверхности деформируются, принимают форму поверхности отверстия и таким образом надежно фиксируются в нем [8].

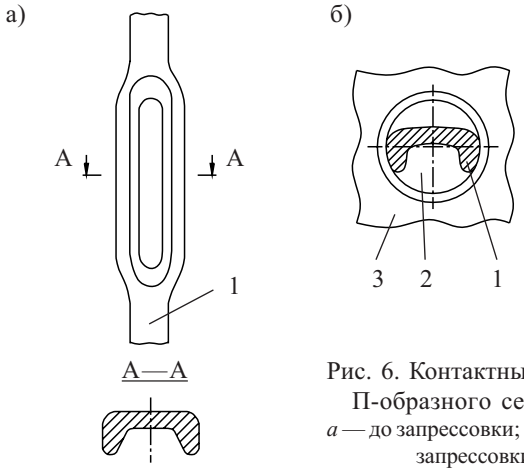

Рис. 6. Контактный штырь П-образного сечения:
а — до запрессовки; *б* — после запрессовки

На **рис. 7** представлена конструкция контакта для надежного электрического соединения его упругой монтажной части с металлизированным отверстием ПП [9].

В монтажной части контакта круглого сечения при запрессовке производится относительный сдвиг по диаметральной плоскости обеих половинок контакта. Внешний размер упругих половинок до запрессовки превышает диаметр металлизированного отверстия ПП

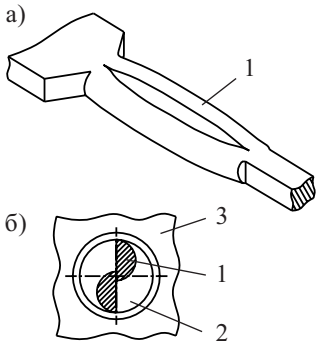

Рис. 7. Контактный штырь круглого сечения:
а — до запрессовки; *б* — после запрессовки

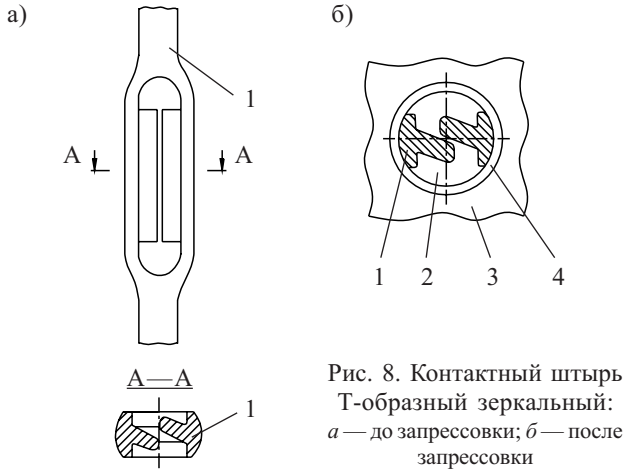

Рис. 8. Контактный штырь Т-образный зеркальный:
а — до запрессовки; *б* — после запрессовки

— таким образом гарантируется электрическое соединение контакта с ПП. В то же время, подвижность половинок контакта не приводит к разрушению слоя металлизации в отверстии при запрессовке контакта.

Аналогичное конструктивное решение имеет контакт, представленный на **рис. 8** [10].

Надежное электрическое соединение контакта с металлизированным отверстием ПП обеспечивается за счет упругой деформации утолщенного центрального участка контакта, который имеет поперечное сечение в виде пары зеркально расположенных Т-образных фигур.

На **рис. 9** [11] представлены два варианта конструкции штыревых контактов, также предназначенных для запрессовки в металлизированные отверстия печатных плат утолщенным участком, который образуется путем раздвоения части контакта узкой продольной щелью и скругления углов на этом участке (вариант *а*). В результате поперечное сечение утолщения приобретает форму пары радиально расположенных симметричных секторов круга, отделенных друг от друга по дуге на 20—30°.

Надежное электрическое соединение контактного штыря с металлизированным отверстием ПП достигается за счет упругой деформации утолщенного центрального участка штыря.

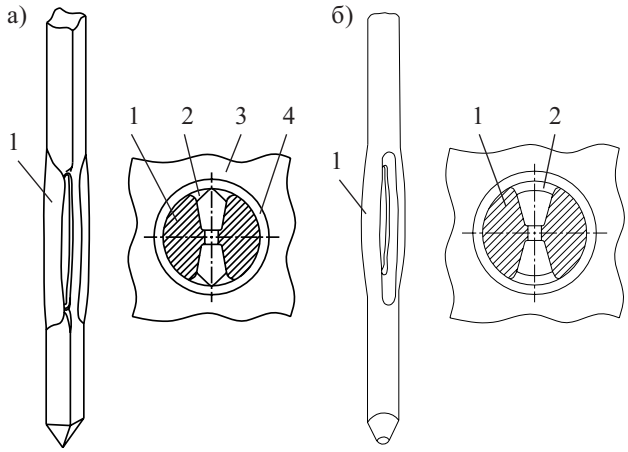

Рис. 9. Контактные штыри квадратного (*а*) и круглого (*б*) сечения с утолщенной центральной частью

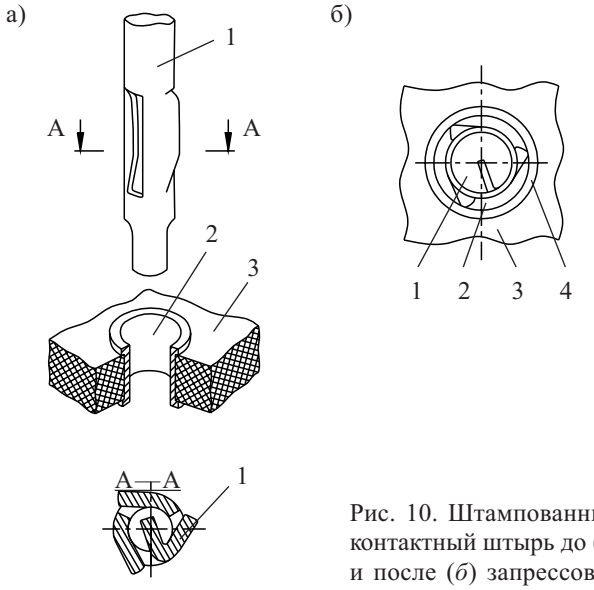

Рис. 10. Штампованный контактный штырь до (*а*) и после (*б*) запрессовки

Особенностью контактного штыря, представленного на **рис. 10**, является то, что изготавливается он штамповкой из листового материала. Контактное электрическое соединение образуется за счет пластической деформации металлизированного отверстия ПП элементами штыря [12].

Контакт имеет цилиндрическое утолщение в средней части с тремя эластичными отогнутыми наружу лепестками. Последние создают с металлизированным отверстием печатной платы газонепроницаемое электрическое соединение.

Многообразие конструктивных решений контактных соединений штырей с металлизированными отверстиями печатных плат позволяет сравнивать их по различным критериям. При этом особое значение имеет критерий надежности. Надежность зависит от многих факторов, в том числе и от мер по предотвращению возможного разрушения контактов.

На **рис. 11** представлено контактное соединение штыря с металлизированным отверстием ПП [13].

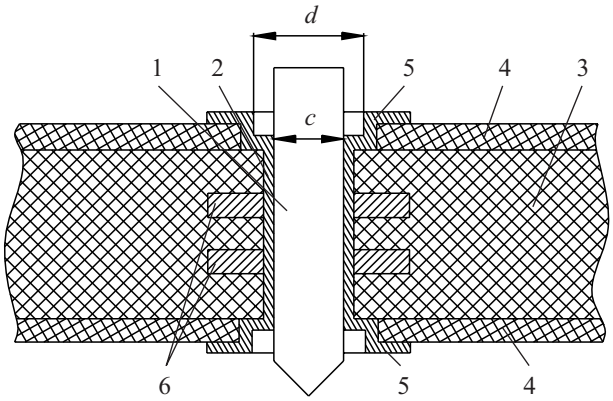

Рис. 11. Контактное соединение повышенной надежности: *1* — контактный штырь; *2* — металлизированное отверстие; *3* — основание ПП из стеклотекстолита; *4* — дополнительные слои основания ПП из смолы; *5* — внешние контактные площадки; *6* — внутренние контактные площадки

Конструкция обеспечивает повышенную надежность контактного соединения за счет предотвращения разрушения металлизированного отверстия в течение продолжительного времени работы. Это решается за счет использования дополнительных слоев из смолы, имеющей пониженное механическое сопротивление, а также ступенчатой формы отверстия, когда диаметр на входе и выходе отверстия (*d*) больше диаметра в основной части отверстия (*c*).

Следует обратить внимание на одну из последних разработок контактов для запрессовки — контакт Multispring, предложенный компанией Molex (**рис. 12**) [6]. Форма контакта учитывает недостатки предыдущих вариантов и, в первую очередь, предназначена для использования в электрических соединителях, соответствующих стандарту DIN 41612.

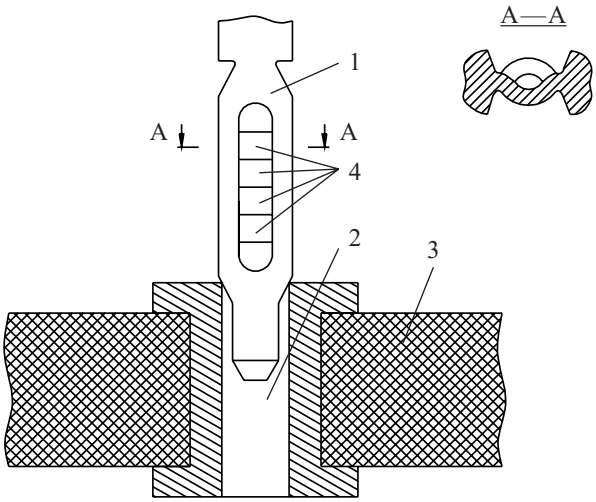

Рис. 12. Контакт Multispring:
1 — запрессовываемый контакт; *2* — металлизированное отверстие; *3* — основание печатной платы; *4* — подпружиненные элементы

Качество электрического контактирования очень сильно зависит от допустимых отклонений сопрягаемых линейных размеров контактных штырей и металлизированных отверстий ПП. В описываемой разработке [6] при диаметре металлизированного отверстия 1 мм допускаются предельные отклонения +0,09 мм и –0,06 мм, что значительно повышает вероятность получения качественных соединений. Этот показатель соответствует лучшим конструктивным вариантам контактных соединений [4, 5].

Особенностью этой разработки является применение четырех подпружиненных элементов (рис. 12). За счет них обеспечиваются следующие преимущества и показатели контактных соединений:

— герметичность соединения, что положительно сказывается на долговременной стабильности контактного сопротивления;

— минимальный риск образования механических повреждений при запрессовке;

— надежное удержание в ПП;

— высокая устойчивость к вибрациям;

— возможность неоднократной установки одного и того же контакта в ПП.

Известны и другие конструктивные решения электрических контактных соединений, которые образуются запрессовкой контактных штырей в металлизированные отверстия ПП [14, 15].

Общей особенностью всех рассмотренных вариантов контактных соединений являются достаточно большие размеры, что ограничивает их применение в качестве выводов миниатюрных электронных компонентов.

Контактные соединения, образованные за счет прижима

Соединения такого рода образуются за счет плотного соприкосновения контактирующих поверхностей. Качество контакта, как известно, зависит от эффективной площади контактирования множества точек и силы прижима контактирующих поверхностей. В зависимости от того, как реализуются эти факторы, существует несколько конструктивных вариантов контактных соединений на ПП без использования пайки:

— для увеличения эффективной площади контактирования в качестве компенсатора неплоскостности контактирующих поверхностей используется эластомерный вкладыш;

— в качестве промежуточного контактного элемента, и в то же время компенсатора неплоскостности, используется эластомерный брусок с токопроводящими областями;

— для значительного увеличения локального контактного давления используется прижим с врезанием.

Наиболее часто применяются контактные соединения первой группы — *с использованием эластичных вкладышей.*

В качестве примера на **рис. 13** представлено конструктивное решение электрического соединения печатных плат посредством соединителя, монтируемого без пайки [16].

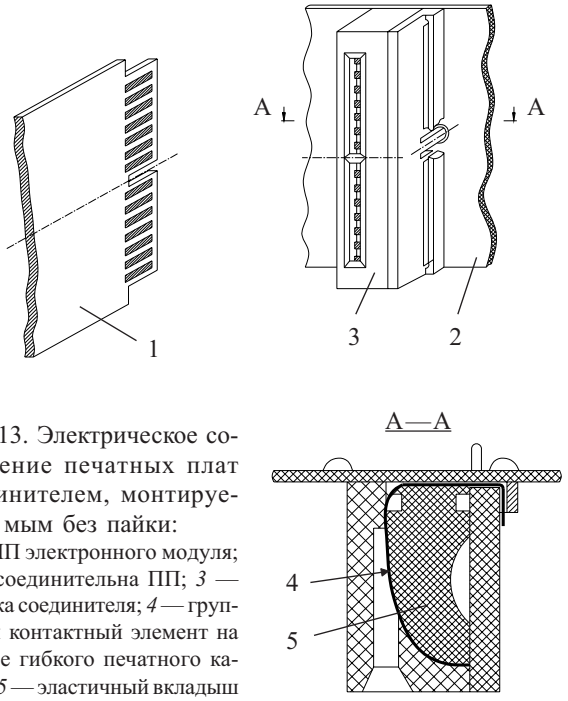

Рис. 13. Электрическое соединение печатных плат соединителем, монтируемым без пайки:
1 — ПП электронного модуля; *2* — соединительна ПП; *3* — розетка соединителя; *4* — групповой контактный элемент на основе гибкого печатного кабеля; *5* — эластичный вкладыш

Печатная плата электронного модуля *1* и соединительная плата *2* электрически соединяются посредством розетки *3*, в которой в качестве группового контактирующего элемента используется гибкий печатный кабель *4* с расположенными на нем токопроводящими дорожками-контактами. Контакты прижимаются к аналогичным дорожкам-контактам: с одной стороны — на ПП *1*, с другой стороны — на соединительной ПП *2*. Эластичный вкладыш *5* выполняет роль компенсатора неплоскостности контактирующих поверхностей и создает относительно равномерное давление в местах контактных соединений. Таким образом создаются условия для образования газонепроницаемых соединений с большой площадью контактирования и необходимым давлением.

Использование эластомерного бруска с токопроводящими областями. Такое конструктивное решение электрического соединения электронных компонентов с печатной платой появилось в связи с необходимостью соединять тонкопленочные контактные площадки малогабаритных бескорпусных жидкокристаллических индикаторов с контактными площадками ПП (**рис. 14**).

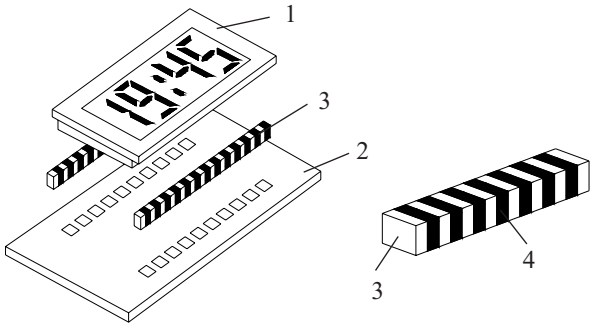

Рис. 14. Электрическое соединение контактирующих поверхностей с помощью эластомерного бруска:
1 — электронный компонент (индикатор); *2* — коммутационная ПП; *3* — эластомерный брусок; *4* — токопроводящая область

Проблема состояла в невозможности выполнения пайкой надежного контактного соединения напыленных на подложке индикатора контактных площадок с контактными площадками ПП напрямую или посредством проводников.

Эту проблему решает использование эластомерных брусков с токопроводящими областями, которые электрически соединяют расположенные напротив контактные площадки ПП и индикатора. Свойство эластичности материала бруска позволяет скомпенсировать все неровности и создать надежные газонепроницаемые контактные соединения.

Очевидно, что такое конструктивное решение требует применения дополнительных контактных элементов (эластомерных брусков), а большей частью — и крепежных элементов, однако решена важная задача электромонтажа бескорпусных электронных компонентов в миниатюрной электронной аппаратуре без

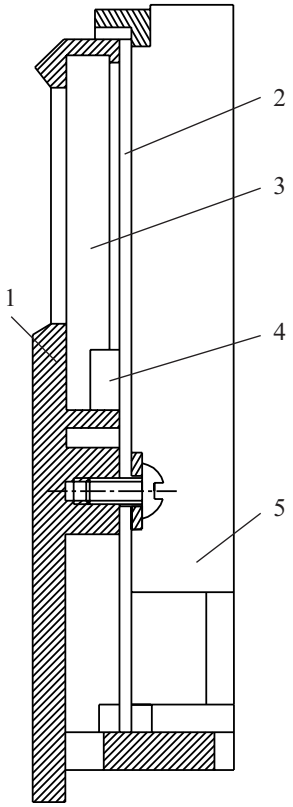

Рис. 15. Установка и монтаж ЖКИ в радиоэлектронном блоке:
1 — передняя панель с окном; *2* — ПП; *3* — ЖКИ; *4* — эластомерный брусок; *5* — рамка для крепления

использования пайки и с обеспечением ремонтопригодности.

Примером использования этого конструктивно-технологического решения является установка жидкокристаллического индикатора *3* в радиоэлектронном блоке (**рис. 15**) [17], который монтируется на ПП *2* с использованием эластомерного бруска *4*. При этом обеспечивается расположение ЖКИ в окне передней панели блока *1*, а механическое крепление всей этой структуры выполняется с помощью рамки *5* и винтовых соединений.

Прижим с врезанием. Пример контактного соединения вывода (это может быть вывод электронного компонента) с контактной площадкой односторонней ПП (*а*) и двухсторонней ПП (*б*) представлен на **рис. 16** [18].

В этом конструктивном варианте соединения имеется направляющая выступающая заостренная часть

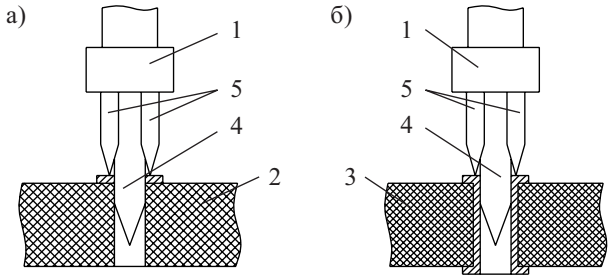

Рис. 16. Контактное соединение с врезанием:
1 — контактный вывод; *2* — односторонняя ПП; *3* — двухсторонняя ПП; *4* — направляющая часть вывода; *5* — контактирующие части вывода

4, которая входит в обычное либо металлизированное отверстие ПП. Множество копьевидных частей *5*, расположенных вокруг направляющей части, предназначено для образования множества точек контактирования с ПП путем врезания в контактную площадку под действием усилия прижима.

Контактные соединения, образованные за счет наращивания металла на выводы электронных компонентов

Речь идет о непосредственном присоединении проводников электронного блока к контактным площадкам интегральных схем (**ИС**), которые представлены в бескорпусном исполнении. Это можно осуществить благодаря технологии «внутреннего монтажа» [19—23]. Электрический монтаж, выполненный по этой технологии, имеет значительные преимущества: снижается влияние паразитных явлений, увеличивается быстродействие ИС и повышается их надежность.

Конструкция функционального модуля, выполненного по технологии «внутреннего монтажа», представлена на **рис. 17** [20]. Основа модуля *1* из анодированного алюминия или керамики содержит прямоугольные отверстия *2*, в которые вкладывают кристаллы ИС *3*. Они фиксируются с помощью диэлектрического слоя, например полиимидной пленки *4*, которая приклеивается к верхней плоскости основы и верхней стороне кристаллов, содержащих контактные площадки.

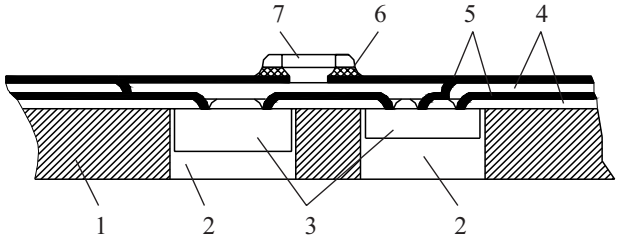

Рис. 17. Сечение функционального модуля с «внутренним монтажом»:
1 — основа модуля (металл, керамика); *2* — прямоугольные отверстия; *3* — кристаллы ИС; *4* — слои диэлектрика; *5* — токоведущие дорожки; *6* — галтель паяного соединения; *7* — пассивный электронный компонент

Методом ионного травления в полиимидной пленке формируются отверстия, которые вскрывают контактные площадки ИС. Далее, используя трафарет, прорези-линии которого соответствуют топологии слоя, формируют токопроводящие дорожки *5* из меди методом сплошного напыления. Таким образом без пайки и сварки получается электрическое соединение контактных площадок ИС с токоведущими дорожками коммутационной платы *1*.

Для создания второго и последующих коммутационных уровней вновь поочередно наносятся аналогичным образом диэлектрические и проводящие слои. При этом одновременно с формированием последующего уровня топологии платы формируются переходные соединения верхнего и нижнего уровней.

Пассивные электронные компоненты *7* монтируются на плату с помощью пайки.

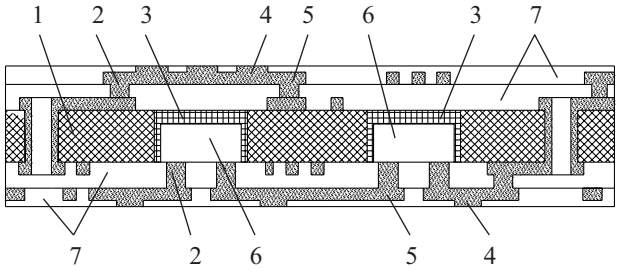

Рис. 18. Сечение функционального модуля с «внутренним монтажом» ИС на двухсторонней ПП:
1 — базовая двухсторонняя ПП; *2* — столбики для межуровневых соединений; *3* — заполнитель (эпоксидная смола); *4* — контактные площадки; *5* — токоведущие дорожки; *6* — ИС; *7* — полимерная пленка

Функциональный модуль, изготовленный по технологии «внутреннего монтажа», имеет, кроме указанных выше, неоспоримые преимущества по таким показателям как размеры, масса, виброустойчивость, экологичность.

Другим примером использования технологии «внутреннего монтажа» является конструктивно-технологическое решение функционального модуля с встраиванием электронного компонента в виде бескорпусной ИС в основание коммутационной платы (**рис. 18**) [23].

Здесь в базовой двухсторонней ПП *1*, выполненной позитивным комбинированным методом, пробиваются прямоугольные отверстия, в которые контактными площадками вниз устанавливаются бескорпусные микросхемы *6* и фиксируются заполнителем *3*.

В дальнейшем с обеих сторон платы создаются чередующиеся диэлектрические *7* и проводящие *5* слои, которые образуют дополнительные коммутационные уровни ПП, а также соединяют необходимые контактные площадки базовой ПП и ИС в общую коммутационную топологию функционального модуля.

***

Непаяные конструкции электрических контактных соединений в электронных печатных узлах сегодня занимают небольшой объем в электромонтаже электронной аппаратуры. Но их отличительные свойства, позволяющие получать лучшие, по сравнению с паянными соединениями, технические и экономические показатели, дают основание прогнозировать эффективность расширения их дальнейшего использования.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Медведев А. Замечательные свойства непаяных неразъемных соединений // Печатный монтаж.— 2007.— № 6.— С. 2—9.

2. Гелль П. П., Иванов-Есипович Н. К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры.— Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отд-ние, 1984.

3. Ненашев А. П. Конструирование радиоэлектронных средств.— М.: Высшая школа, 1990.

4. Соединители DIN41612 // Каталог фирмы «Harting». Internet: http://www.HARTING.com.

5. Каталог продукции фирмы AMP. Internet: http://www.amp.com.

6. Волков М. Коннекторы Molex DIN 41612. Технология запрессовки // Chip News Украина.— 2005.— № 2.— С. 70—72.

7. Пат. 4795378 США. Контактный штырь / Motoyaki Tomira, Yasuhiro Okada.— 1989.

8. Пат. DE 3831508 A1 Германии. Эластичный прессовый штифт для соединения без пайки / R. Peerbooms.— 1990.

9. Пат. 4763408 США. Способ изготовления упругой монтажной части на хвостовике электрического контакта / Jay M. Heisey, Jon F. Kautz, Charles S. Pickles.— 1988.

10. Пат. 4759721 США. Запрессовываемый упругий штыревой контакт / James R. Moore, Rhonda I. Nemcovsky, Robert S. Orbanic.— 1988.

11. Пат. DE 3623453 A1 Германии. Штыревой контакт / O. Weber, H. Heim.— 1988.

12. Пат. 4735575 США. Электрический контакт печатных плат, методы изготовления и использование / Howard R. Shaffer.— 1988.

13. Пат. JP2000174406 Японии. Прессовая посадка вывода в структуре печатной платы и метод образования / Kinoshita Suketoshi.— 1999.

14. Пат. 4720276 США. Контакт зажимного типа / Toru Takahashi.— 1988.

15. Пат. 4737114 США. Штыревой электрический контакт / Hirokatsu Yaegashi.— 1988.

16. Пат. 9797 Украины. Разъем для печатных плат / А. А. Ефименко.— 1996.

17. Пат. 4904191 США. Контактирующее устройство с использованием эластомерного соединителя / Mark I. Munday, Willam P. Doby.— 1990.

18. Пат. JP2001015197 Японии. Контактный вывод для печатной платы / Kikuzawa Yasushi.— 2001.

19. Назаров Е. Недостатки технологии поверхностного монтажа электронных блоков: как от них избавиться раз и навсегда // Компоненты и технологии.— 2003.— № 6.— С. 14—15.

20. Назаров Е. Внутренний монтаж функциональных радиоэлектронных блоков // Электроника: наука, технология, бизнес.— 2008.— № 3.— С. 36—39.

21. Назаров Е., Кокорева И. Перспективные технологии производства радиоэлектронных блоков на печатных платах // Там же.— С. 30—35.

22. Черный Б., Черный А. Проблемы разработки и производства многокристальных модулей // Там же.— С. 40—43.

23. Пат. 2297736 России. Способ встраивания компонента в основание и формирования электрического контакта с компонентом / Туоминен Ристо.— 2006.