

## **Непаяные соединения в авионике: прессовое соединение типа Press-Fit**

**Степанова М.А.**

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия  
e-mail: [marya.stepanova.argon@mail.ru](mailto:marya.stepanova.argon@mail.ru)*

### **Аннотация**

При конструировании электронной аппаратуры в авионике большое внимание уделяется проблеме надежности соединений. Непаяные соединения появились как альтернатива паяным соединениям, вследствие невозможности применения пайки в некоторых случаях, а также из-за проблем, вызванных применением припоя. В статье рассмотрены соединения, выполняемые запрессовкой, которые нашли широкое применение в авионике. Описаны преимущества данного типа соединений, основы образования контакта. Дано описание эксперимента на воздействие температуры пайки на прессовое соединение.

**Ключевые слова:** непаяные соединения, печатные платы, авионика, соединения запрессовкой.

### **Введение.**

При конструировании электронной аппаратуры в авионике большое внимание уделяется проблеме надежности соединений. Непаяные соединения появились как альтернатива паяным соединениям, вследствие невозможности применения пайки в

некоторых случаях, а также из-за проблем, вызванных применением припоя. К данному типу соединений относятся и соединения, выполняемые запрессовкой (рис.1). Соединения типа press-fit за десятилетия использования доказали свою надежность. Прессовые соединения сегодня используются во всех областях электроники.

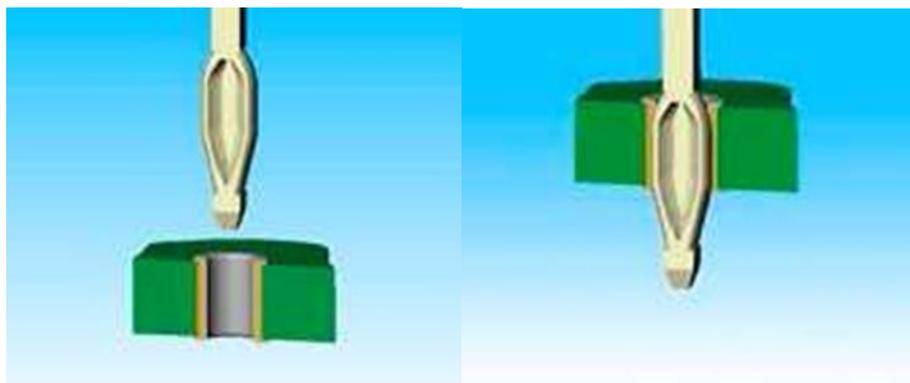


Рис.1.Металлизированное отверстие (слева) и общий вид соединения (справа).

### **Общие сведения о соединениях.**

В системах авионики используют платы, насыщенные силовыми цепями с большим массивом металлов. Монтаж такого вида плат затруднен из-за значительного теплоотвода от элементов пайки. Для решения этой проблемы было решено использовать непаяные соединения, в частности: технологию press-fit, монтаж накруткой и соединение обжимом.

Прессовые соединения имеют ряд преимуществ перед паяными:

- Герметичная зона контакта (благодаря эффекту холодной сварки).

Поэтому соединение более качественное.

- Высокая надежность соединения после климатических испытаний, которые обычно ослабляют паяные соединения.

- Постоянное контактное сопротивление
- Компенсация погрешностей при изготовлении сквозных металлизированных отверстий
- Отсутствие высокотемпературных воздействий на печатную плату
- Отсутствие газовых выделений и остатков флюса.
- Исключение необходимости последующей промывки платы, благодаря чистоте процесса
- Исключение вероятностей возникновения коротких замыканий, благодаря отсутствию мостиков припоя
- Простота реализации соединений
- Ремонтопригодность получаемых соединений и сохранность печатных плат
- Возможна реализация соединений накруткой для разъемов с длинными контактами
- Легкость переработки разъемов. Можно просто разобрать соединение и извлечь золото.
- Существенная экономическая эффективность.

Благодаря приведённым выше преимуществам, данная технология завоевала популярность во всём мире, а в настоящее время широко применяется и в России. Поэтому технология запрессовки заслуживает внимания, а также детального изучения её положительных и отрицательных сторон.

Соединение запрессовкой, как можно догадаться из названия, выполняется путем впрессовывания контактов в металлизированные отверстия на печатной плате. Но, важно отметить, что та часть контакта, которая впрессовывается в отверстие, имеет диаметр, превышающий диаметр данного отверстия. Из-за разницы диаметров в результате впрессовывания происходит деформация или отверстия, или контакта, и именно в следствие деформации образуется соединение.

В условиях эксплуатации электронной аппаратуры эти соединения подвергаются экстремальным воздействиям: вибрация, высокие температуры, увлажнение и др.

На сегодняшний день поведение данного типа соединений в условиях эксплуатации авиационной аппаратуры изучено очень слабо. Так, в Российской Федерации до сих пор нет государственного стандарта, в котором бы давалось описание технологии press-fit. Конечно, существуют зарубежные стандарты, но и они не дают четких ответов на поставленный вопрос. Поэтому данная тема является очень актуальной. Исследования должны быть направлены на технологическое обеспечение надежности непаяных соединений в экстремальных условиях эксплуатации бортовой авиационной аппаратуры. Проведенные исследования должны показать оптимальные технологические приемы для реализации прочности непаяных соединений.

Но, существует еще одна проблема. Как правило, запрессовываемые компоненты на плате находятся рядом с компонентами, которые необходимо паять. Для запрессовки компонента требуется некоторое свободное место вокруг него для упора оснастки, но так как в современных условиях каждый миллиметр

пространства на печатной плате ценен, конструктора размещают компоненты максимально близко друг к другу, и места для упора не остается. Поэтому приходится сначала устанавливать запрессовываемые компоненты, а затем паять остальные. В результате, запрессованные компоненты подвергаются воздействию температур пайки. Мною были проведены исследования устойчивости соединений типа press-fit после их нагрева до температуры пайки.

### **Технология запрессовки.**

Как уже упоминалось выше, запрессовка – это процесс монтажа особым образом сprofilированного контакта в сквозное металлизированное отверстие печатной платы при условии, что диаметр (диагональный размер) запрессовываемого контакта больше диаметра сквозного металлизированного отверстия. При реализации прессового соединения большую роль играют три фактора: зона электрического контакта, усилие электрического контакта и усилие запрессовки.

#### Зона электрического контакта

Зона электрического контакта важна потому, что от неё зависит величина контактного сопротивления. Зона электрического контакта должна:

- Быть большой
- Оставаться постоянной в размерах
- Обладать металлическим блеском
- Не поддаваться влиянию
  - изменений температуры

- вибрации
- различных манипуляций с запрессованным контактом

### Усилие электрического контакта ( $F_n$ )

Вторым фактором, играющим большую роль в получении прессового соединения, является усилие электрического контакта ( $F_n$ ) (рис.2).

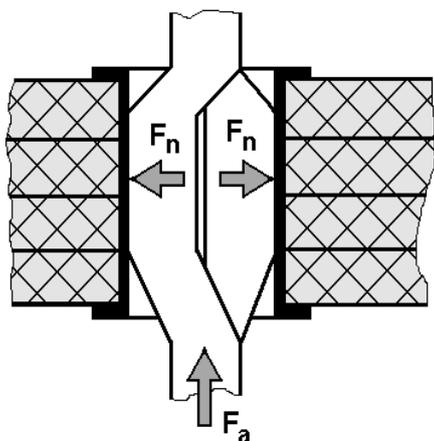


Рис. 2. Усилие электрического контакта

Усилие элетрического контакта  $F_n$  определяется по формуле:

$$F_n = F_a / (2f),$$

где  $F_a$  – усилие запрессовки

$f$  – коэффициент трения между поверхностью контакта и внутренней поверхностью сквозного металлизированного отверстия.

Для поддержания надёжного электрического контакта в отверстии усилие электрического контакта должно составлять 10Н.

### Усилие запрессовки

Согласно немецкому стандарту DIN 41 612, часть 5 для надёжного электрического соединения запрессовываемой части со сквозным металлизированным отверстием и для достижения усилия, достаточного для удержания соединителя на печатной плате (даже без дополнительного его крепления винтами). Минимальное усилие удержания запрессованного контакта в запрессовываемой зоне должно составлять 30Н в отверстии 1 мм с допустимыми отклонениями от 0,94 до 1,09 мм.

При этом ограничений по максимальному усилию запрессовки контакта не предусмотрено. Однако для предотвращения изгиба контактов в процессе запрессовки и во избежание прикладывания неоправданно высоких общих усилий запрессовки, их максимальное значение не должно превышать 150Н на контакт.

### **Описание эксперимента.**

Очень важно оценить силы удержания контакта в отверстии. Очевидно, что в первую очередь они удерживаются силами трения. Металлизация настолько пластична, что она не участвует в создании упругого сопряжения. Удержание контактов происходит за счет упругих свойств композиционного диэлектрика, окружающего отверстия. Поэтому мною были проведены исследования для неметаллизированных отверстий.

Была проведена серия экспериментов для плат различной толщины ( $h=1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5$ мм) с отверстиями различного диаметра ( $d=1,0; 1,1; 1,2$ мм).

Этапы эксперимента.

1. Сверление в плате двух групп отверстий различных диаметров (по 10 отверстий каждого вида для каждой группы).
2. Запрессовка контактов типа press-fit в отверстия.
3. Вытаскивание контактов из первой группы отверстий с измерением силы удержания контакта. (рис.3).
4. Имитация процесса пайки в печи оплавления.
5. Вытаскивание контактов из второй группы отверстий с измерением силы удержания контакта.

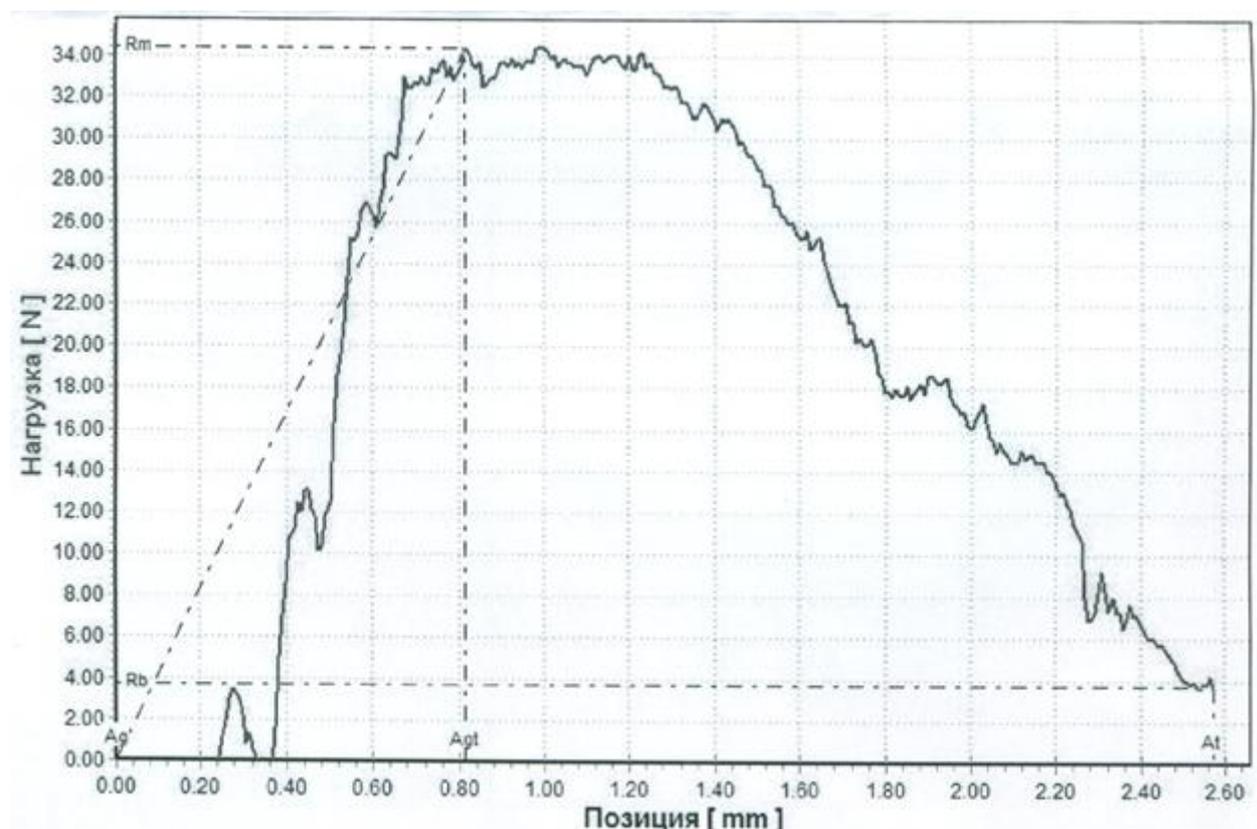


Рис. 3. Усилие удержания контакта в отверстии

Результаты проведенных экспериментов приведены в (таблице 1.)

### Результаты экспериментов.

Таблица 1.

	h, мм	d, мм	Среднее до нагрева	Интервал до нагрева	Среднее после нагрева	Интервал после нагрева	Процент ослабления, %
Эксперимент1	1,5	1,0	7,8	3,1	6,1	3,4	22
Эксперимент2	1,5	1,1	9,5	3,9	6,1	1,8	36
Эксперимент3	1,5	1,2	9,8	3,2	5,7	1,4	41
Эксперимент4	2,0	1,0	8,6	3,4	6,6	3,8	23
Эксперимент5	2,0	1,1	5,4	1,4	4,1	1,8	24
Эксперимент6	2,0	1,2	4,2	2,2	3,4	2,2	19
Эксперимент7	2,5	1,0	4,4	2,4	3,4	2,0	23
Эксперимент8	2,5	1,1	8,3	6,2	6,6	3,7	20
Эксперимент9	2,5	1,2	6,6	2,4	5,7	2,2	14
Эксперимент10	3,0	1,0	7,2	7,6	5,6	3,3	22
Эксперимент 11	3,0	1,1	5,0	1,8	4,6	1,8	8
Эксперимент 12	3,0	1,2	4,8	3,2	4,3	2,0	10
Эксперимент 13	3,5	1,0	8,9	4,7	6,8	5,0	23
Эксперимент 14	3,5	1,1	5,2	1,8	4,7	2,2	10
Эксперимент 15	3,5	1,2	4,8	2,6	4,6	3,2	4

В результате было установлено, что под воздействием температуры пайки происходит незначительное ослабление прессового соединения (в среднем на 20%).

### Заключение.

Запрессовка контактов в металлизированные отверстия печатных плат - метод непаяного соединения, используемый в технологиях сборки электронных узлов и блоков в авионике, когда методы пайки не обеспечивают качественного

межсоединения. В первую очередь это относится к сборке плат с большими массивами металла (медной фольги), не позволяющими прогреть плату до нужных температур, необходимых для качественного припоя.

Установлено, что пайка лишь незначительно ослабляет прессовое соединение, следовательно, нет никаких препятствий к осуществлению операции пайки после операции запрессовки.

### **Библиографический список.**

1. Степанова М.А. Соединения типа press-fit (аналитический обзор) // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2015. №8. С. 9-11.
2. Медведев А.М. Сборка и монтаж электронных узлов – М.: Техносфера, 2007. – 257 с.
3. Медведев А.М. Непаяные методы неразъемных соединений: накрутка // Технологии в электронной промышленности. 2006. №3. С. 52-55.
4. Медведев А.М. Соединения типа Press-Fit. Непаяные методы соединения супер-многослойных печатных плат // Компоненты и технологии, 2006, №8: [http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2006\\_08\\_178.pdf](http://kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_08_178.pdf)
5. Ендогур А.И., Кравцов В.А., Солошенко В.Н. Принципы рационального проектирования авиационных конструкций с применением композиционных материалов // Труды МАИ, 2014, №72: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=47572>
6. Грищенко С.В. Расчёт и проектирование изделий конструкции самолёта из слоистых композитов с учётом межслоевых эффектов // Труды МАИ, 2015, №84: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=63011>

7. IEC 60352-5, Solderless Connections – Part 5: Press-in connections – General requirements, test methods and practical guidance, Edition 3.0, 2008-01
8. Ned Corman, Marjorie Myers, Charles Copper. Friction Behavior of Press-Fit Applications: Test Apparatus and Methodology // Proceedings of the 49th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts. Sept. 2003. PP. 57-62.
9. Thilo Stolze, Markus Thoben, Michael Koch, Robert Severin. Reliability of PressFIT Connections // Infineon Technologies AG, [www.bodospower.com](http://www.bodospower.com), 2008.
10. <http://famousconnections.eu/wp-content/uploads/2013/04/Connectors-DIN-41612-Harting.pdf>