

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВОДНОГО МОНТАЖА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ



## КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

# ТЕХНОЛОГИЯ ПРОВОДНОГО МОНТАЖА НА ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЕ

Широкие технические возможности проводного монтажа, его экономичность в условиях мелкосерийного производства привели к разработке программируемого автоматического оборудования и многочисленных технологических вариантов реализации:

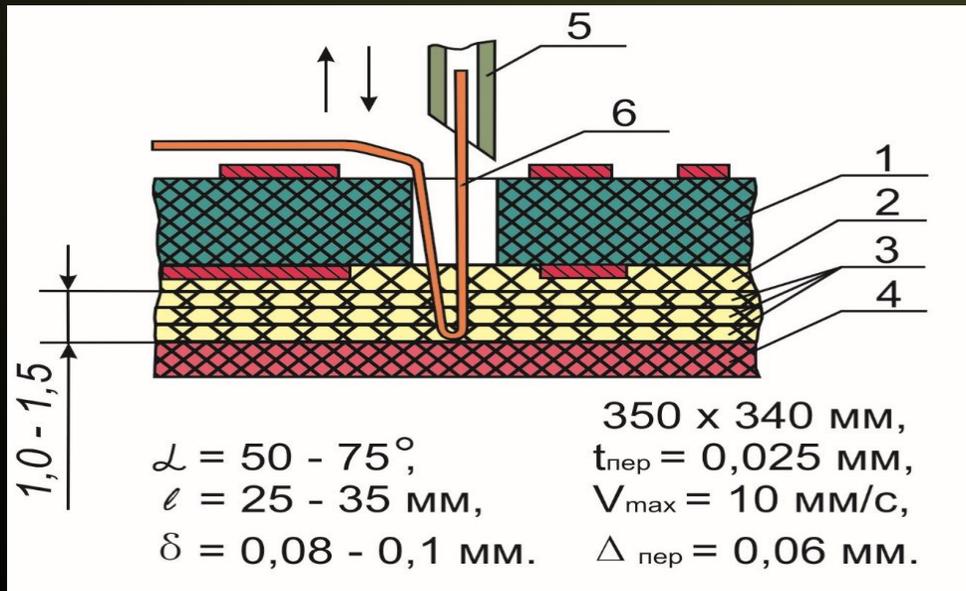
- Стежковый монтаж;
- Многопроводной с фиксированием проводов;
- Монтаж незакрепленными проводами.

# ДОСТОИНСТВА ПРОВОДНОГО МОНТАЖА ПЕРЕД ПЕЧАТНЫМ МОНТАЖОМ:

- повышение плотности монтажа из-за многократного перекрашивания проводов на одной поверхности;
- упрощение процесса трассировки для сложных интегральных схем ( БИС, СБИС);
- минимизация длины соединений за счет прокладки проводов по кратчайшим расстояниям;
- уменьшение взаимных помех;
- возможность применения сварки для создания неразъёмных соединений повышенной надежности.

# СТЕЖКОВЫЙ МОНТАЖ

Стежковый монтаж представляет собой процесс трассировки электрических цепей по кратчайшим расстояниям на поверхности двусторонней печатной плате (ДПП), имеющей контактные площадки и монтажные отверстия, при помощи изолированных монтажных проводов, которые образует в монтажных отверстиях петли, подпаиваемые к контактным площадкам.



- 1 - монтажная ДПП
- 2 - слой кабельной бумаги
- 3 - несколько слоев эластичной резины ( $S = 0,5$  мм)
- 4 - лист плотной резины
- 5 - игла пустотелая
- 6 - монтажный провод

# ТП СОСТОИТ ИЗ СЛЕДУЮЩИХ ОПЕРАЦИЙ:

1. Получения монтажной ДПП.
2. Прокладка трасс и прошивка монтажными проводами плат по заданным адресам.
3. Лужение петель.
4. Подгибка петель и пайка их на контактные площадки.
5. Контроль правильности выполнения соединения.

# ПОЛУЧЕНИЕ МОНТАЖНОЙ

Монтажная <sup>ДПП</sup> плата изготавливается по типовой технологии, ее основными элементами являются КП, для подсоединения планарных выводов ИС, ЭРЭ, соединителей, шины питания, монтажные отверстия под петли и КП для пайки петель.

В качестве диэлектрического основания монтажной платы применяют стеклотекстолит СФ-2Н-50, что позволяет улучшить теплоотвод и исключить отслаивания КП при пайке на них петель.

Рисунок ПП покрывается через сетчатый трафарет технологическим покрытием, улучшающим пайку. Отверстия под петли располагаются с одной стороны и симметрично относительно КП. Размеры отверстий на 0,2–0,3 мм превышают размеры инструмента, используемого

## ПРОКЛАДКА ТРАСС И ПРОШИВКА МОНТАЖНЫМИ ПРОВОДАМИ ПЛАТ ПО ЗАДАНЫМ АДРЕСАМ

1. Монтаж ведут изолированным проводом – например, марки ПЭВ ТЛК диаметром монтажного провода – 0,08 – 0,2 мм.
2. Диаметр иглы на 0,08–0,1 мм больше диаметра монтажного провода.
3. Односторонний скос иглы – 50 – 75°
4. Игла выполнена из нержавеющей стали длиной 25 – 35 мм.

Эластичная резина при монтаже задерживает провод при обратном ходе иглы. Для укладки провода используется оборудование с программным управлением.

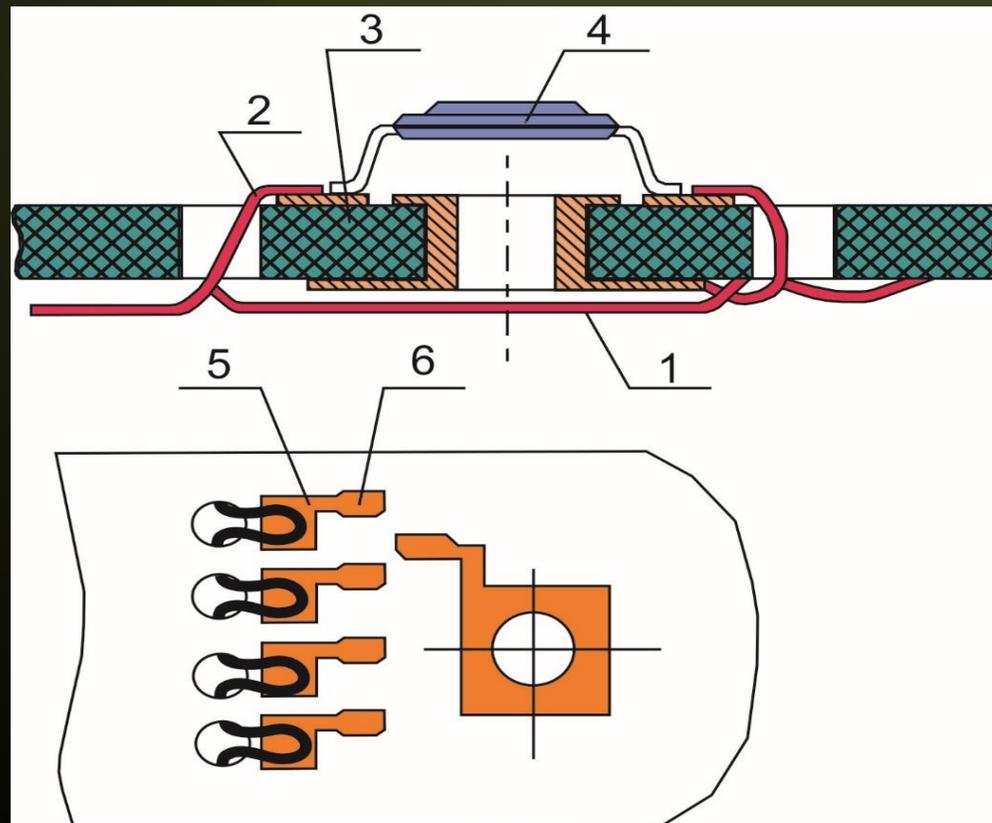
## ЛУЖЕНИЕ ПЕТЕЛЬ

После окончания прошивки со стороны проводов на плату накладывается и закрепляется металлическая пластина с губчатой резиной для поджатия проводов. С монтажного приспособления последовательно снимается слой твердой и эластичной резины. Оставшийся слой кабельной бумаги защищает плату при лужении петель и удаляется после выполнения этой операции.

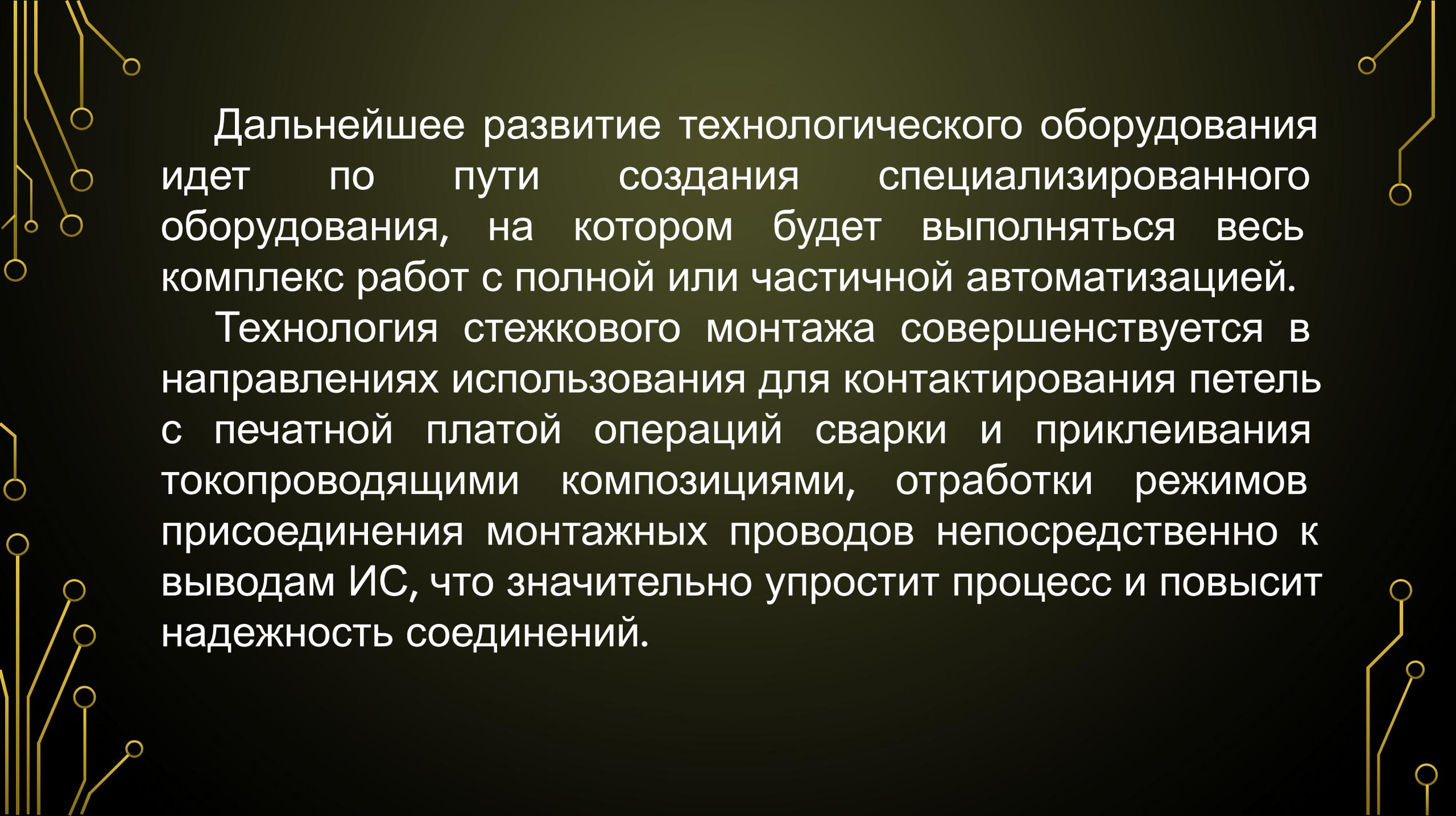
Лужение петель осуществляют, как правило, групповым способом – с механизированным погружением в ванну припоя, с выдержкой в течение  $t = 5 - 6$  с.

# ПОДГИБКА И ПАЙКА ПЕТЕЛЬ НА КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ

Подгибка и пайка петель на контактные площадки (КП) осуществляется также на оборудовании с программным управлением, которое имеет унифицированную базу для позиционирования платы с высокой точностью и оригинальный механизм технологической головки.



- 1-провод
- 2-петля
- 3-основание ДПП
- 4-ЭРЭ
- 5-КП для петли
- 6-КП для ЭРЭ

The image features a dark background with decorative yellow circuit board traces in the corners. The top-left and bottom-left corners have more complex, branching traces, while the top-right and bottom-right corners have simpler, more linear traces. The text is centered in the middle of the page.

Дальнейшее развитие технологического оборудования идет по пути создания специализированного оборудования, на котором будет выполняться весь комплекс работ с полной или частичной автоматизацией.

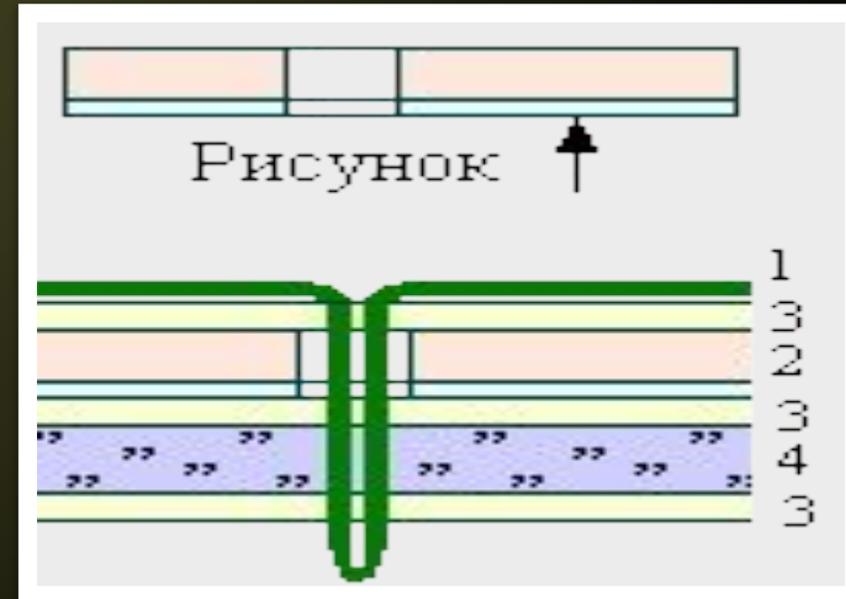
Технология стежкового монтажа совершенствуется в направлениях использования для контактирования петель с печатной платой операций сварки и приклеивания токопроводящими композициями, отработки режимов присоединения монтажных проводов непосредственно к выводам ИС, что значительно упростит процесс и повысит надежность соединений.

# РАЗНОВИДНОСТЬ ПЛАТ СТЕЖКОВОГО МОНТАЖА

Исходным материалом для изготовления платы служит односторонний фольгированный стеклотекстолит. Основные операции получения платы следующие (см. рис.):

1. Получают рисунок печатного монтажа на металлизированной стороне и перфорируют отверстия в плате. Топология рисунка соответствует набору контактных площадок, содержит шины питания и земли.

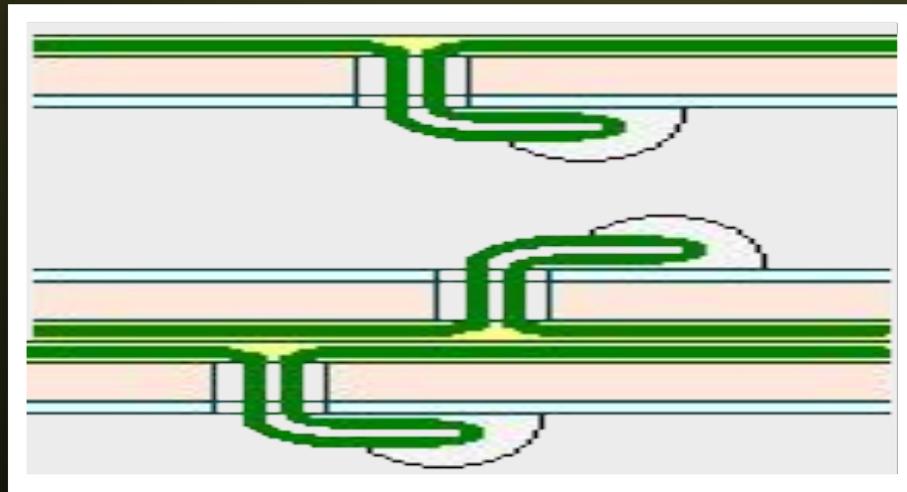
2. Стежковая прошивка платы изолированным проводом:  
1 – провод; 2 – исходная заготовка – основание (односторонний фольгированный стеклотекстолит, например, СФ-1Н-50);  
3 – диэлектрические прокладки (обычно полиэтиленовые), которые после тепловой обработки фиксируют провода;  
4 – технологическая резиновая прокладка, которая при прошивке изделия за счёт своих упругих свойств удерживает петлю провода. После окончания процесса технологическая резиновая прокладка 4 снимается с петель.



Плата стежкового монтажа

# РАЗНОВИДНОСТЬ ПЛАТ СТЕЖКОВОГО МОНТАЖА

3. Подгибка и пайка петель к контактными площадкам.
4. Прессование двух плат в единую конструкцию.



Плата стежкового монтажа (прессование двух плат)

## Достоинства:

- высокая коммутационная способность (возможна замена 12-16 - многослойной платы);
- относительная простота технология изготовления;
- высокая гибкость технологического процесса;
- невысокие взаимные паразитные параметры (из-за отсутствия параллельных проводников).

## Недостатки:

- топология монтажа плохо приспособлена для создания сверхбыстродействующих систем (поскольку критерий трассировки в данном случае – минимальное число разрывов проводов, а критерий минимальной длины не учитывается);
- сложно предсказать электрические параметры линий связи платы;
- относительно большая длительность изготовления платы (до 8 часов для платы размерами 270x120 мм).

Область применения таких плат – опытное производство, мелкосерийное и индивидуальное производство с большой номенклатурой плат.

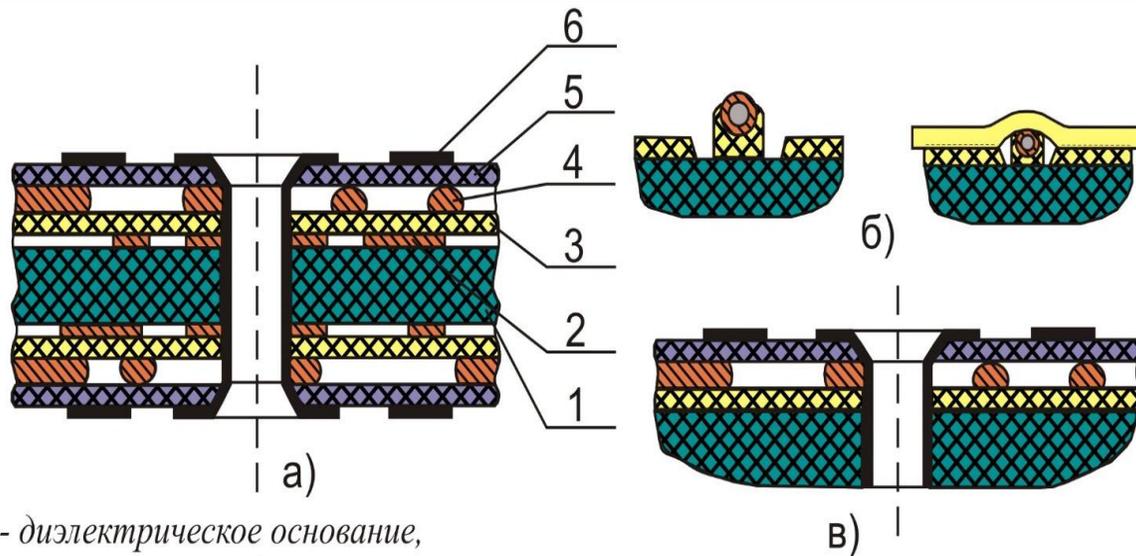
# МНОГОПРОВОДНОЙ МОНТАЖ С ФИКСИРУЕМЫМИ ПРОВОДАМИ

Метод разработан фирмой “Kollmorgen Corporation” (США) – называется “мальтиуайр” (Multiwire). Метод основан на упорядоченном прокладывании изолированных проводов на поверхности ДПП, с фиксацией их в адгезионном слое и образованием соединений с печатным монтажом с помощью металлизированных монтажных отверстий.

Материалом для изготовления ДПП служит фольгированный или не фольгированный диэлектрик, на поверхностях которого субтрактивным или аддитивным методом получают печатный монтаж.

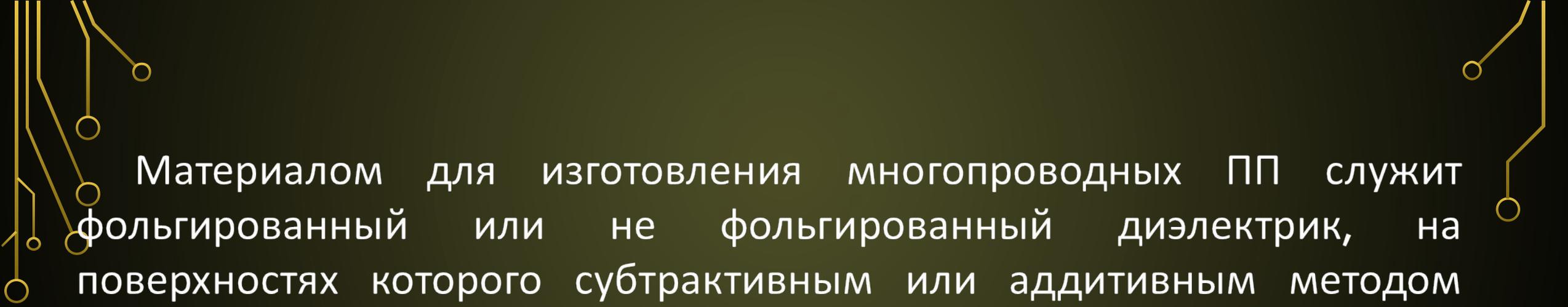
# ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ МНОГОПРОВОДНОЙ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ

Для монтажа используют провод диаметром 0,18 мм в полиимидной изоляции (например ПНЭТ-имид), эквивалентной по сечению печатному проводнику шириной 0,5 мм и толщиной 0,035мм.



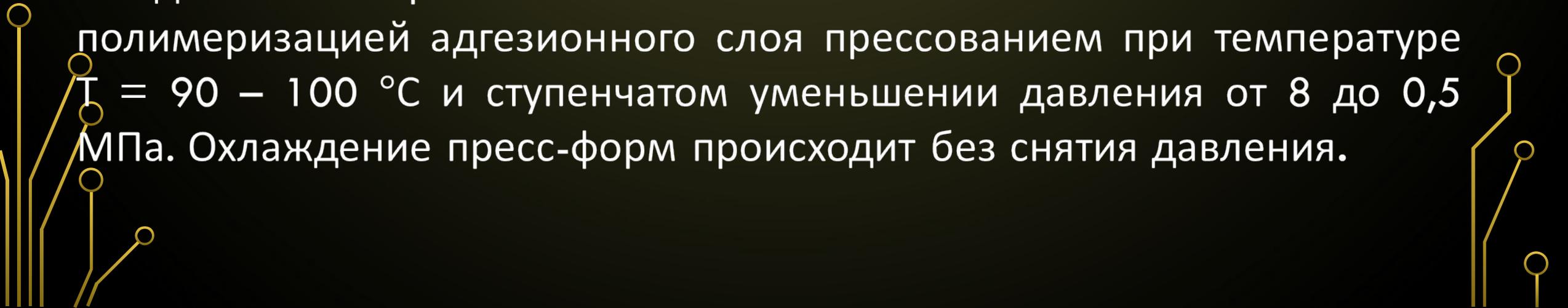
- 1 - диэлектрическое основание,
- 2 - печатные проводники,
- 3 - адгезионный слой,
- 4 - проводной монтаж,
- 5 - диэлектрическая прокладка,
- 6 - печатный монтаж, выполненный химико-гальванической металлизацией

Многопроводная плата (см. рис.) имеет типовую стандартную часть в виде печатных шин земли и питания, контактных площадок, печатных проводников 2. На поверхность ДПП с диэлектрическим основанием 1, закрытой специальным адгезивным материалом 3, размещены изолированные объёмные провода 4. Они обеспечивают проводной монтаж электрических цепей, трассировка которых изменяется в зависимости от типа и назначения платы. Провода на поверхности платы расположены в упорядоченном состоянии с многократным пересечением друг с другом. Практически провода могут быть размещены на плате с шагом координатной сетки 0,625 мм. Для электрического соединения проводного 4 и печатного монтажа 6, а также выводов ЭРЭ плата имеет металлизированные монтажные отверстия.

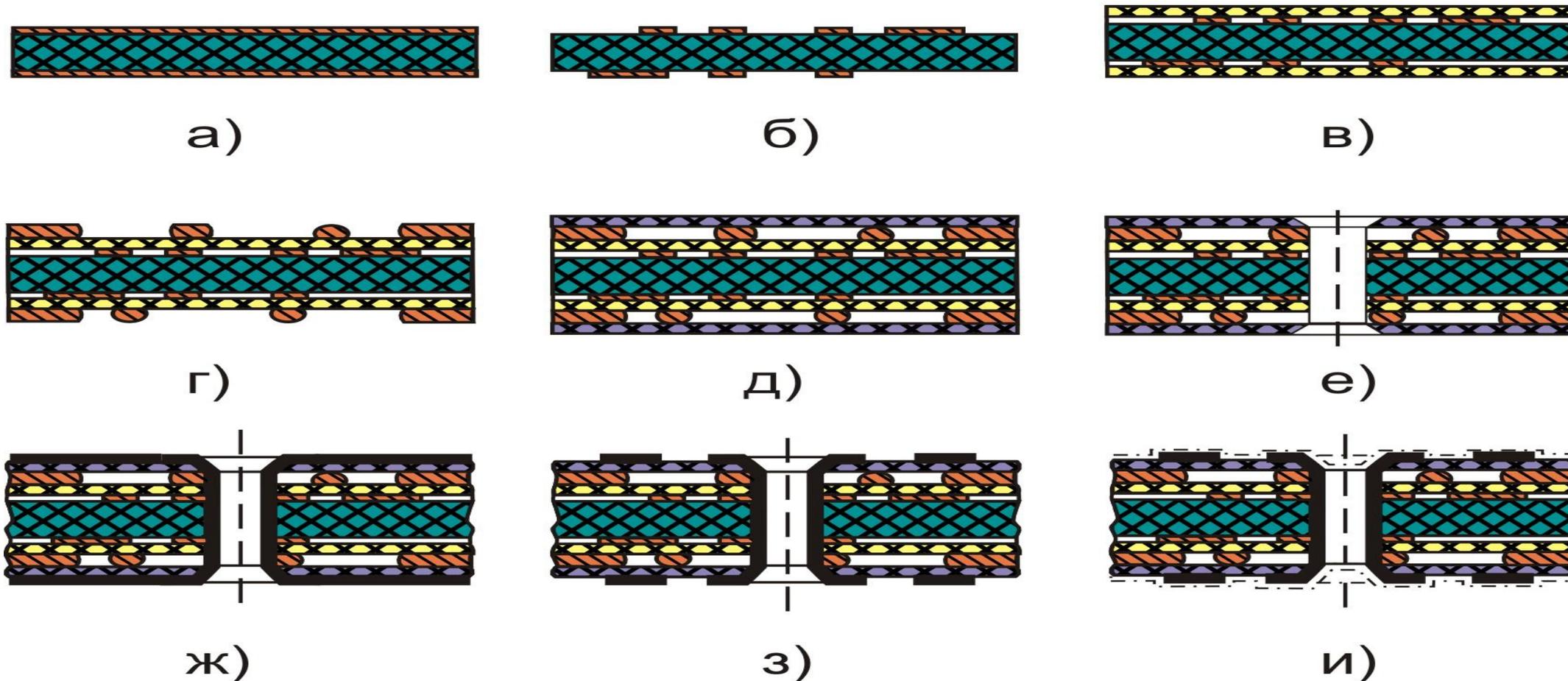


Материалом для изготовления многопроводных ПП служит фольгированный или не фольгированный диэлектрик, на поверхностях которого субтрактивным или аддитивным методом получают печатный монтаж (см. рис. ниже). На обезжиренные поверхности ПП нанося адгезионный слой, состоящий из клеевых плёнок ВК-32-200 (акрилонитрильный каучук с отверстием), прокладочной стеклоткани СПТ-3-0,025.

Удобство в работе с заготовками обеспечивается частичной полимеризацией адгезионного слоя прессованием при температуре  $T = 90 - 100 \text{ }^\circ\text{C}$  и ступенчатом уменьшении давления от 8 до 0,5 МПа. Охлаждение пресс-форм происходит без снятия давления.



# Схема технологического процесса изготовления многопроводной ПП



*а - заготовка; б - получение печатного монтажа; в - нанесение адгезионного слоя; г - нанесение проводного монтажа; д - прессование; е - сверление монтажных отверстий; ж - химико-гальваническая металлизация платы; з - получение печатного монтажа на внешних слоях платы; и - консервация платы*



## Первый этап – размягчения адгезионного слоя

Оптимальный режим работы прижима:

Частота ультразвуковых колебаний 45 кГц;

Амплитуда 0,01 мм;

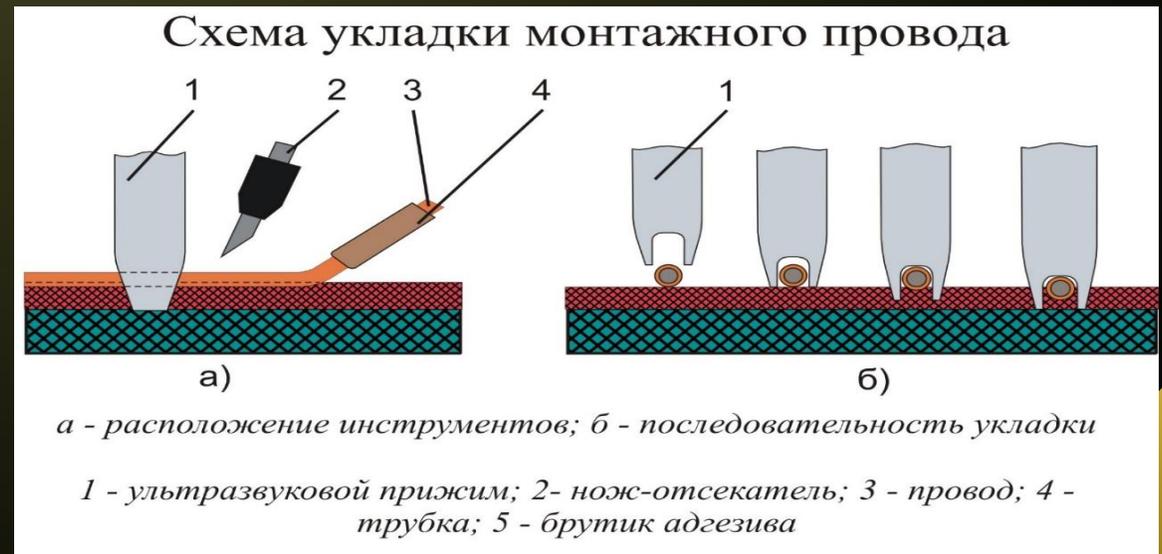
Давление  $P = 0,016 - 0,018$  МПа; температура  $T = 90 - 100^{\circ}\text{C}$ .

Для прочного закрепления конца провода его выдерживают некоторое время под давлением без УЗ-колебаний. Затем осуществляется трассировка провода с непрерывной укладкой его в адгезионном слое с наложением УЗ – колебаний. После окончания трассировки головка останавливается и провод отрезается ножом – отсекателем. Полное погружение проводников в адгезионный слой и окончательное отверждение последнего происходит при прессовании.

## Второй этап – прессование

Давление  $P = 1,0 - 1,5$  МПа;

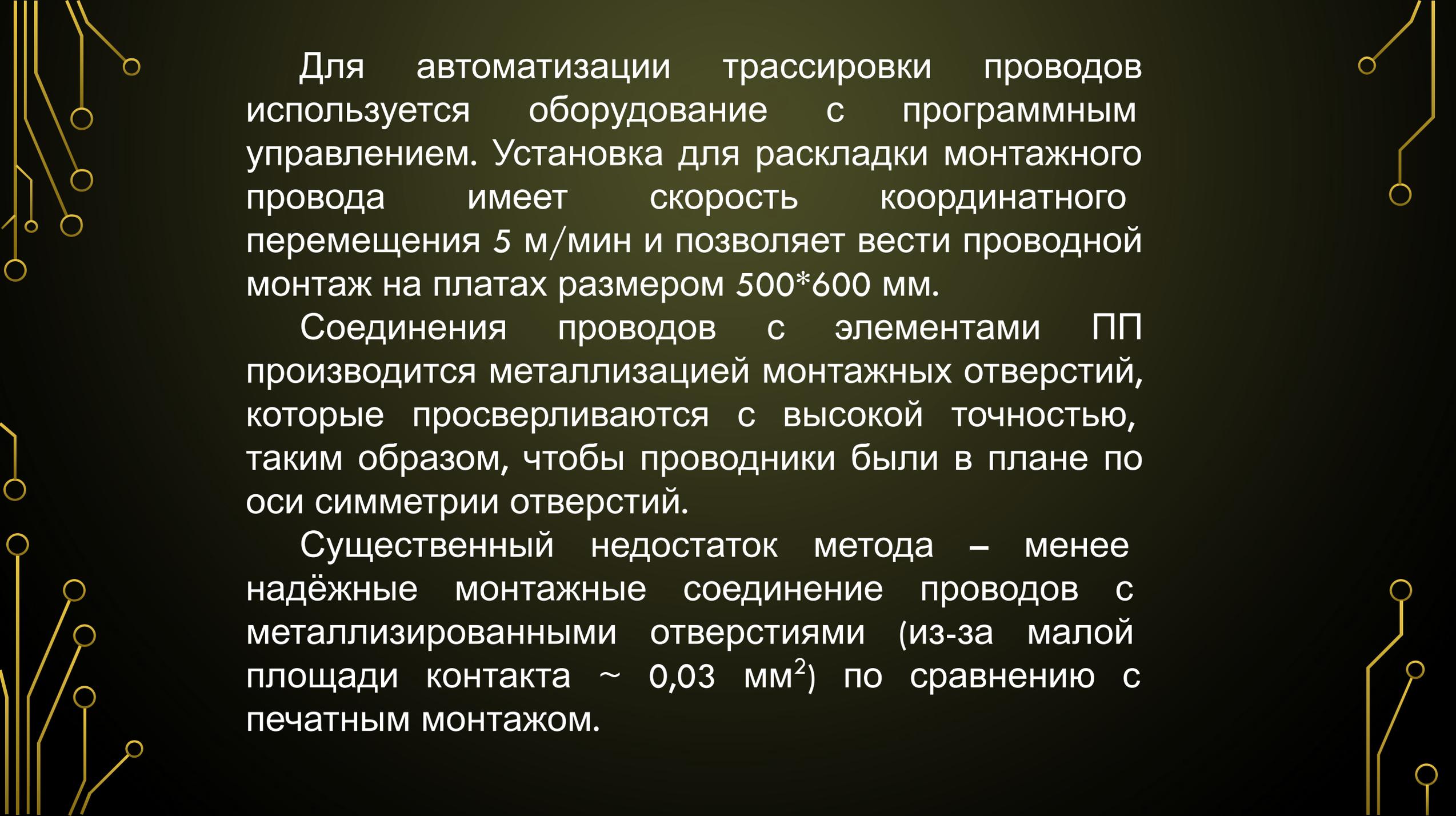
температура  $T = 180^{\circ}\text{C}$ .



Плата с прочно закреплёнными в адгезионном слое монтажными проводами подаётся на сверление. Монтажные отверстия сверлят по программе и таким образом, чтобы проводник в плане располагался по оси симметрии отверстия. В результате сверления возможно наволакивание диэлектрических материалов на торцы проводов. Необходима особо тщательная гидроабразивная очистка отверстий, так как вскрытая при сверлении поверхность контакта (торцы) монтажного провода мала и составляет  $\sim 0,03 \text{ мм}^2$  (у печатных проводников  $0,1 - 0,4 \text{ мм}^2$ ).

Надёжность электрического соединения проводного и печатного монтажа определяется качеством химико-гальванической металлизации отверстий.

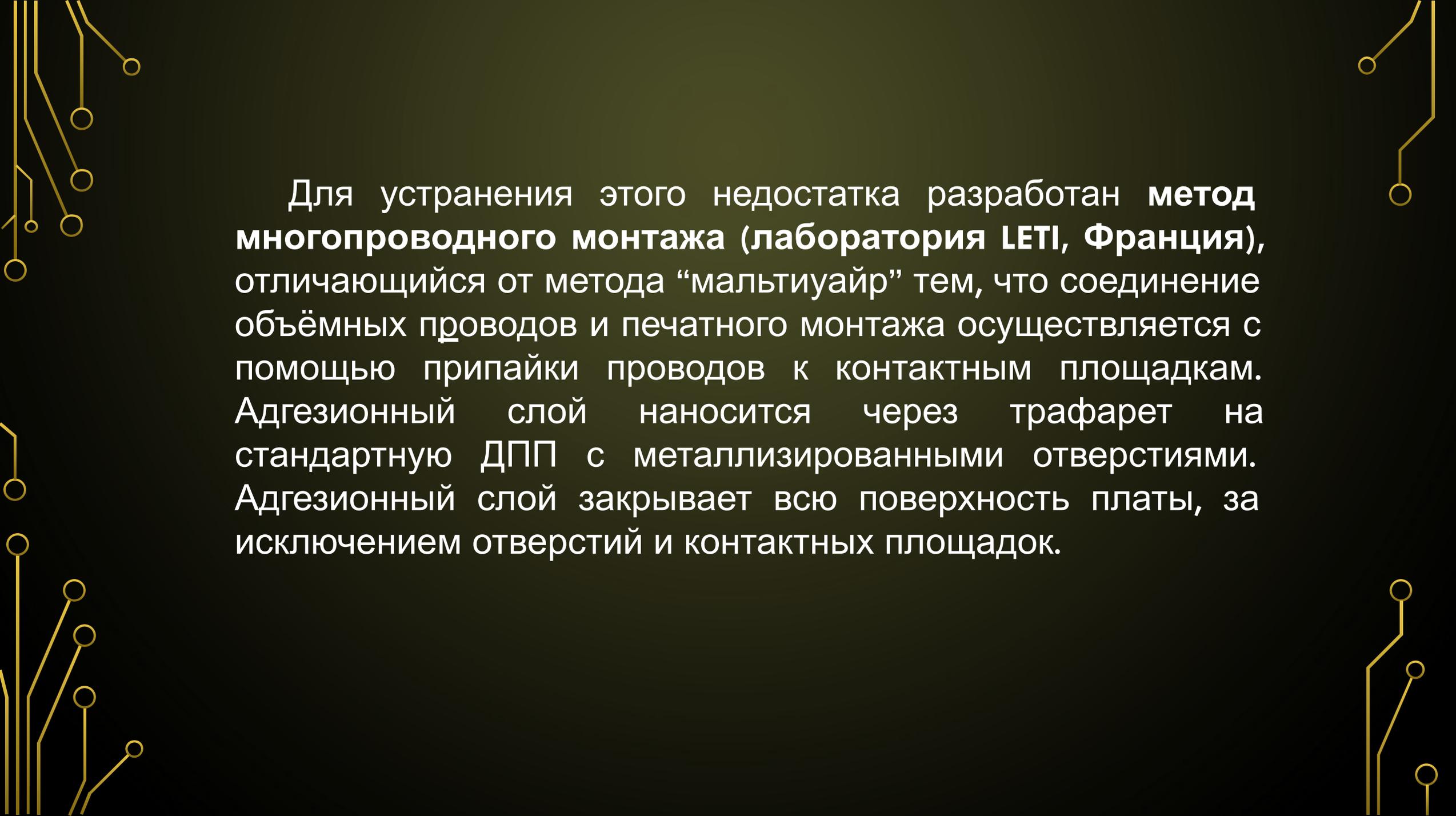
После обработки платы по контуру производят её осмотр, проверку размеров, целостности проводников и отсутствия коротких замыканий между ними, а также проверку сопротивления изоляции между проводниками и сопротивления проводников. Выборочно на отдельных платах контролируют прочность сцепления слоя металлизации с основанием и устойчивость к воздействию агрессивных сред.



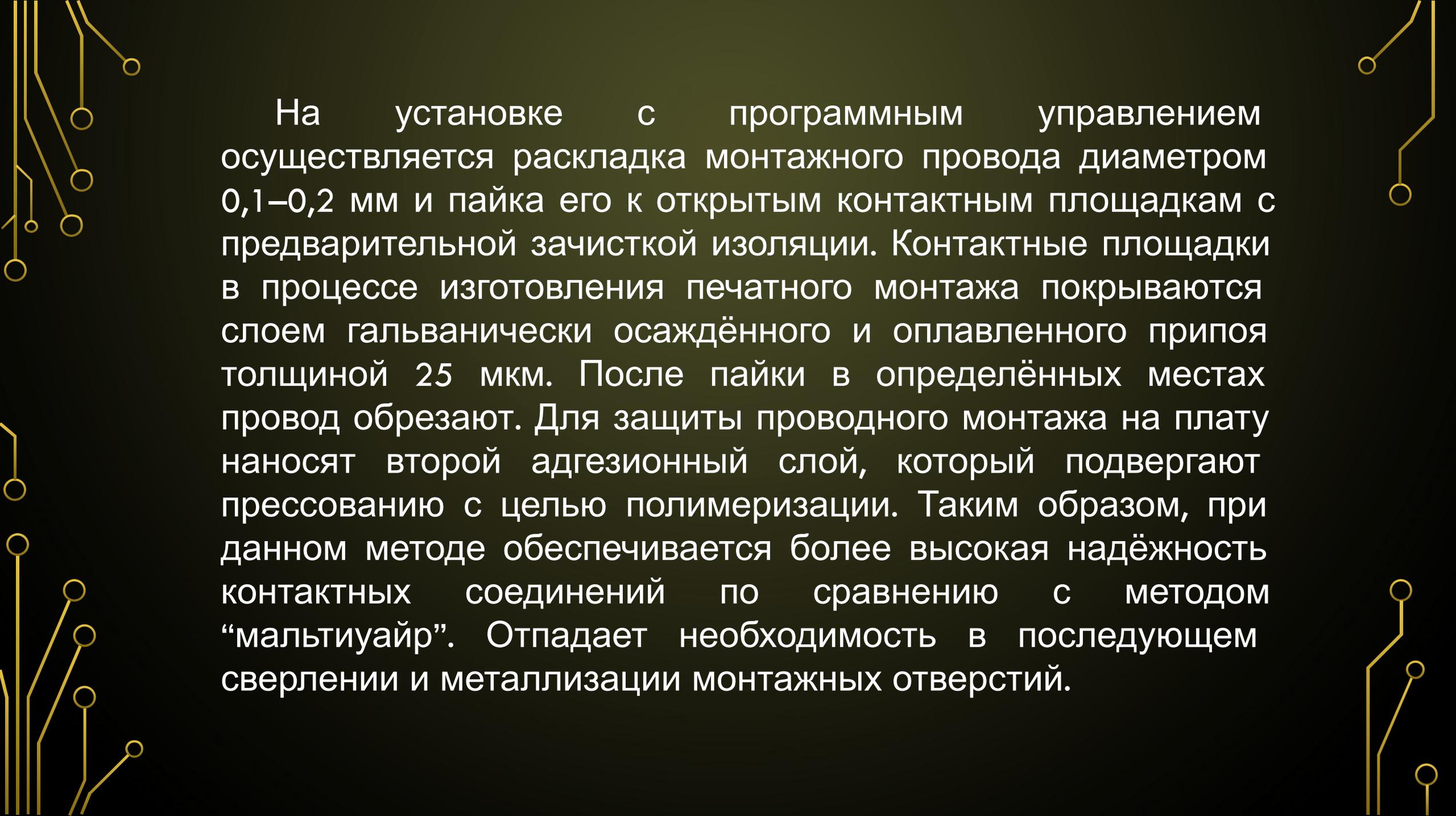
Для автоматизации трассировки проводов используется оборудование с программным управлением. Установка для раскладки монтажного провода имеет скорость координатного перемещения 5 м/мин и позволяет вести проводной монтаж на платах размером 500\*600 мм.

Соединения проводов с элементами ПП производится металлизацией монтажных отверстий, которые просверливаются с высокой точностью, таким образом, чтобы проводники были в плане по оси симметрии отверстий.

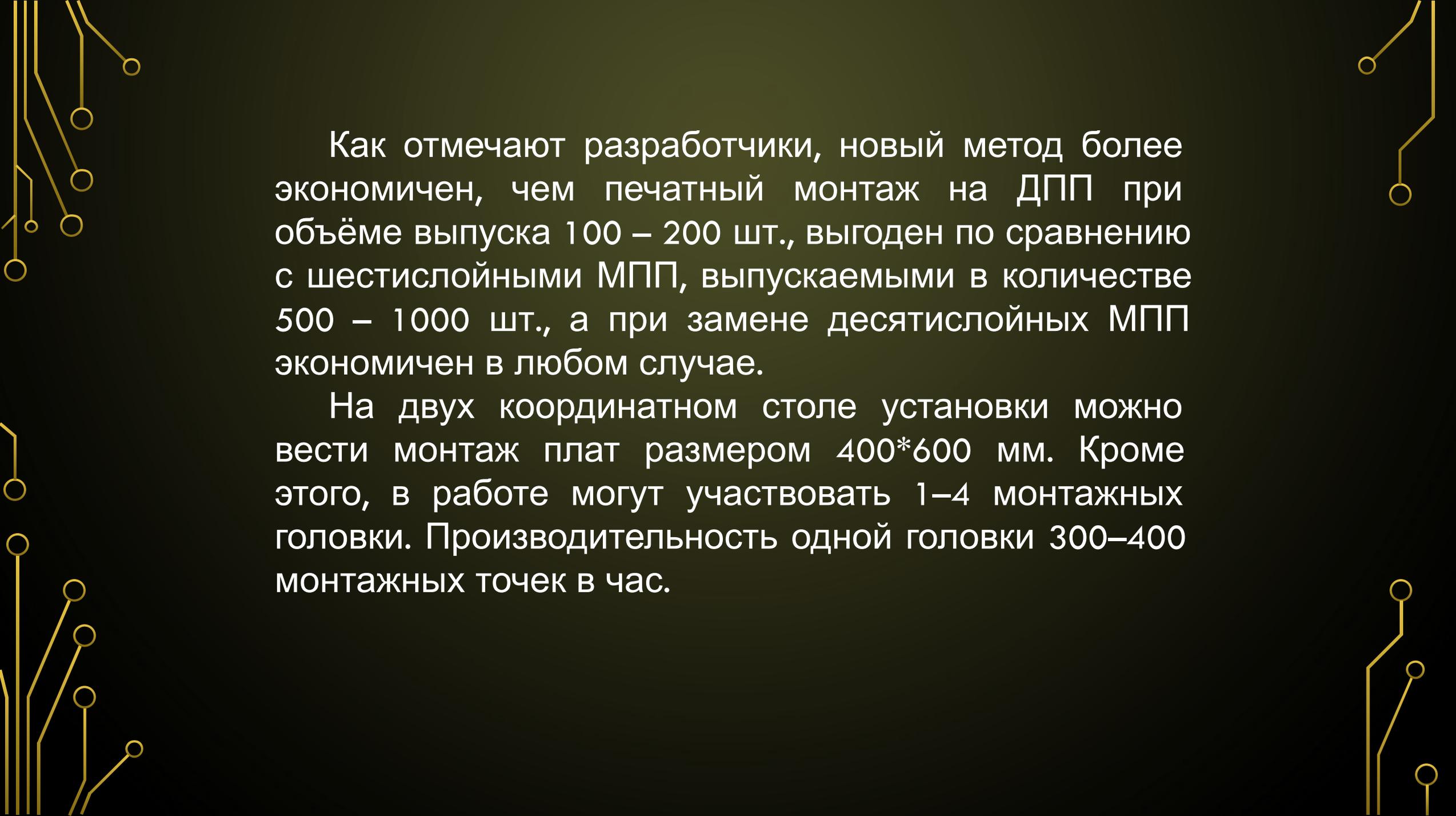
Существенный недостаток метода – менее надёжные монтажные соединения проводов с металлизированными отверстиями (из-за малой площади контакта  $\sim 0,03 \text{ мм}^2$ ) по сравнению с печатным монтажом.

The image features a dark background with decorative circuit board patterns in the corners. These patterns consist of yellow lines representing traces and small yellow circles representing vias or pads. The patterns are located in the top-left, top-right, bottom-left, and bottom-right corners, framing the central text.

Для устранения этого недостатка разработан метод **многопроводного монтажа** (лаборатория LETI, Франция), отличающийся от метода “мальтиуайр” тем, что соединение объёмных проводов и печатного монтажа осуществляется с помощью припайки проводов к контактными площадкам. Адгезионный слой наносится через трафарет на стандартную ДПП с металлизированными отверстиями. Адгезионный слой закрывает всю поверхность платы, за исключением отверстий и контактных площадок.

The image features a dark background with decorative yellow circuit board traces in the corners. The top-left and bottom-left corners show a dense network of lines and circular nodes, while the top-right and bottom-right corners show simpler, more linear traces with occasional nodes.

На установке с программным управлением осуществляется раскладка монтажного провода диаметром 0,1–0,2 мм и пайка его к открытым контактными площадкам с предварительной зачисткой изоляции. Контактные площадки в процессе изготовления печатного монтажа покрываются слоем гальванически осаждённого и оплавленного припоя толщиной 25 мкм. После пайки в определённых местах провод обрезают. Для защиты проводного монтажа на плату наносят второй адгезионный слой, который подвергают прессованию с целью полимеризации. Таким образом, при данном методе обеспечивается более высокая надёжность контактных соединений по сравнению с методом “мальтиуайр”. Отпадает необходимость в последующем сверлении и металлизации монтажных отверстий.

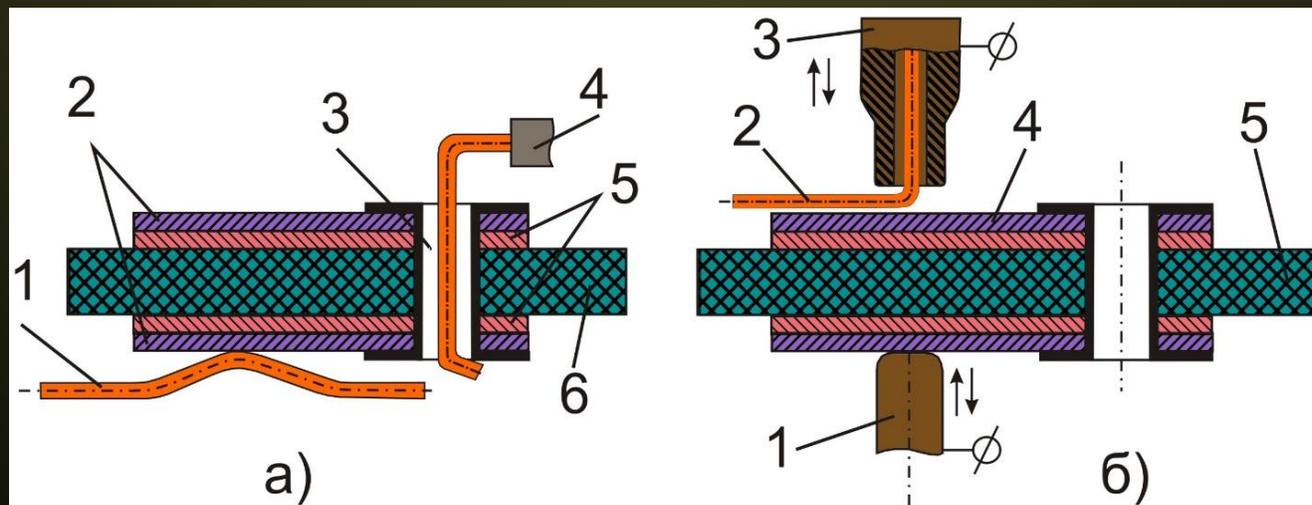
The image features a dark background with decorative circuit board patterns in the corners. These patterns consist of yellow lines representing traces and small yellow circles representing vias or components. The patterns are located in the top-left, top-right, bottom-left, and bottom-right corners, framing the central text.

Как отмечают разработчики, новый метод более экономичен, чем печатный монтаж на ДПП при объёме выпуска 100 – 200 шт., выгоден по сравнению с шестислойными МПП, выпускаемыми в количестве 500 – 1000 шт., а при замене десятислойных МПП экономичен в любом случае.

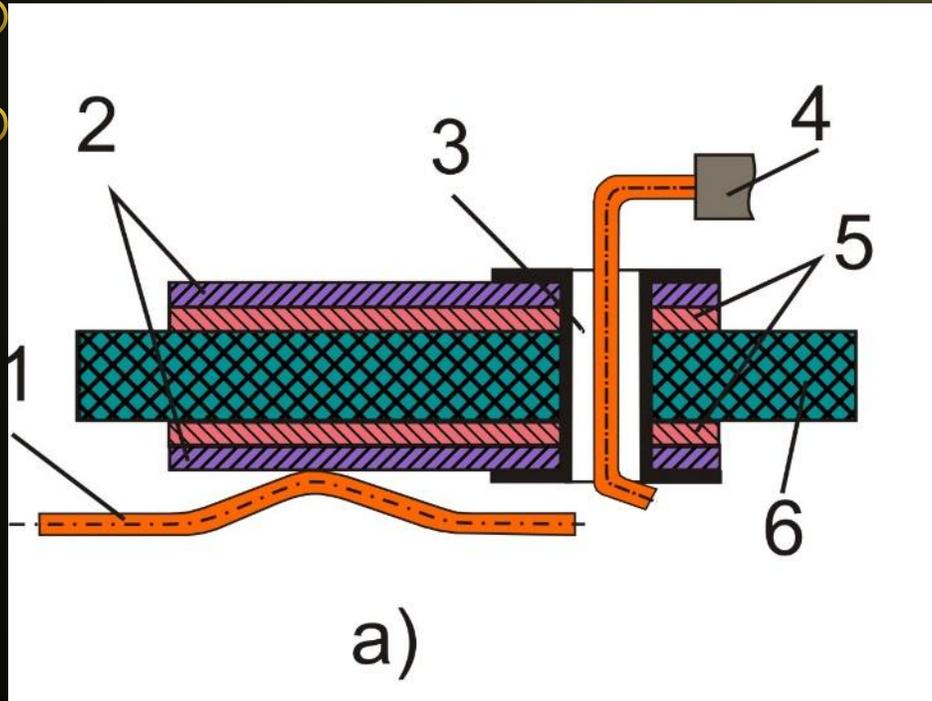
На двух координатном столе установки можно вести монтаж плат размером 400\*600 мм. Кроме этого, в работе могут участвовать 1–4 монтажных головки. Производительность одной головки 300–400 монтажных точек в час.

# МОНТАЖ НЕЗАКРЕПЛЕННЫМИ ПРОВОДАМИ

Методы проводного монтажа, сущность которых заключается в неупорядоченном прокладывании изолированных монтажных проводов на поверхности ДПП. Проложенные проводники сразу соединяются с контактными площадками ДПП пайкой (метод «тиерс») или сваркой (метод «ститч-уайр»).

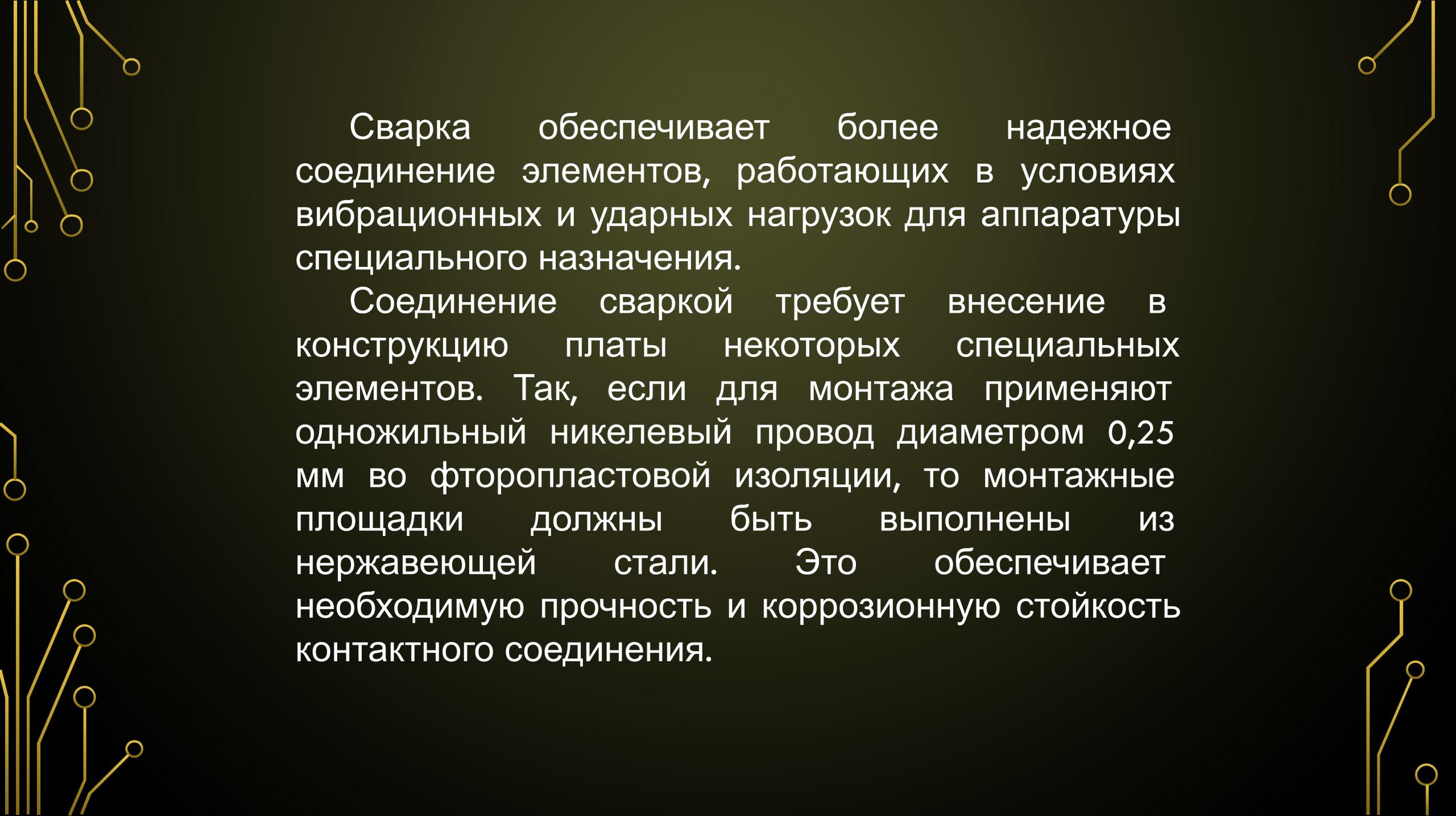


*а - Схема конструкции платы проводного монтажа незакрепленными проводами; б - Схема сварки монтажных проводов*



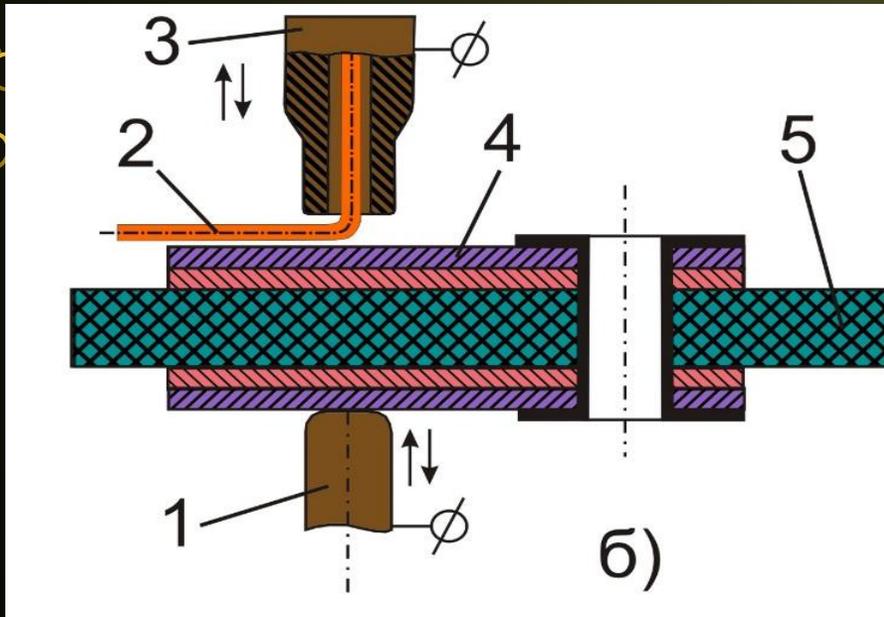
В отличие от метода «мальтиуайр» провода 1 не приклеиваются к основанию платы 6, т.е. остаются свободными, и соединены с монтажными площадками 2, которые электрически связаны через металлизированные монтажные отверстия 3 со стандартными элементами 5 платы и выводами навесных элементов 4 (см. рис. а).

Схема конструкции платы проводного монтажа незакреплёнными проводами

The image features a dark blue background with decorative yellow circuit board traces in the corners. The top-left and bottom-left corners have more complex, branching traces, while the top-right and bottom-right corners have simpler, more linear traces. The text is centered in the middle of the page.

Сварка обеспечивает более надежное соединение элементов, работающих в условиях вибрационных и ударных нагрузок для аппаратуры специального назначения.

Соединение сваркой требует внесение в конструкцию платы некоторых специальных элементов. Так, если для монтажа применяют одножильный никелевый провод диаметром 0,25 мм во фторопластовой изоляции, то монтажные площадки должны быть выполнены из нержавеющей стали. Это обеспечивает необходимую прочность и коррозионную стойкость контактного соединения.



При сварке с применением электродов 1 и 3 ( рис. б) необходимо симметричное расположение специальных монтажных площадок 4 с двух сторон ПП. Материал основания платы 5 должен быть нагревостойким. Наличие стальных монтажных площадок видоизменяет типовую технологию изготовления ДПП.

Схема сварки монтажных проводов

## Технология изготовления ДПП.

На диэлектрическую основу из нагревостойкого материала с обеих сторон наносят фольгу из нержавеющей стали толщиной 75 мкм. На фольге с внутренней стороны гальваническим способом осаждён слой никеля и слой меди толщиной 35–50 мкм. В плакированной сталию плате сверлят монтажные отверстия. На стальную поверхность сначала гальванически осаждают слой никеля, а затем осуществляют химико-гальваническую металлизацию медью отверстий и поверхности ПП. Минимальный слой меди в отверстиях 35 мкм. При получении проводящего рисунка на поверхности платы травление меди осуществляют в два этапа: сначала с пробельных мест, затем выборочно со специальных монтажных площадок, к которым будут привариваться монтажные провода.

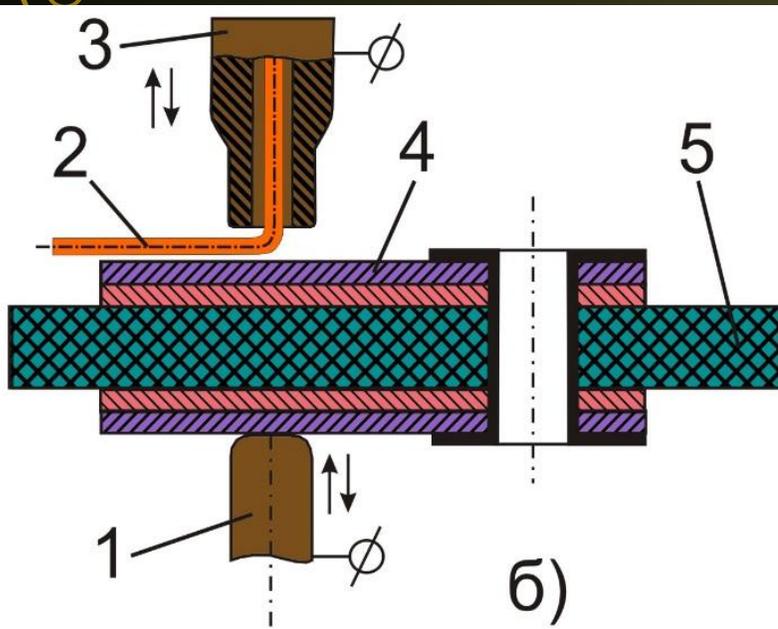
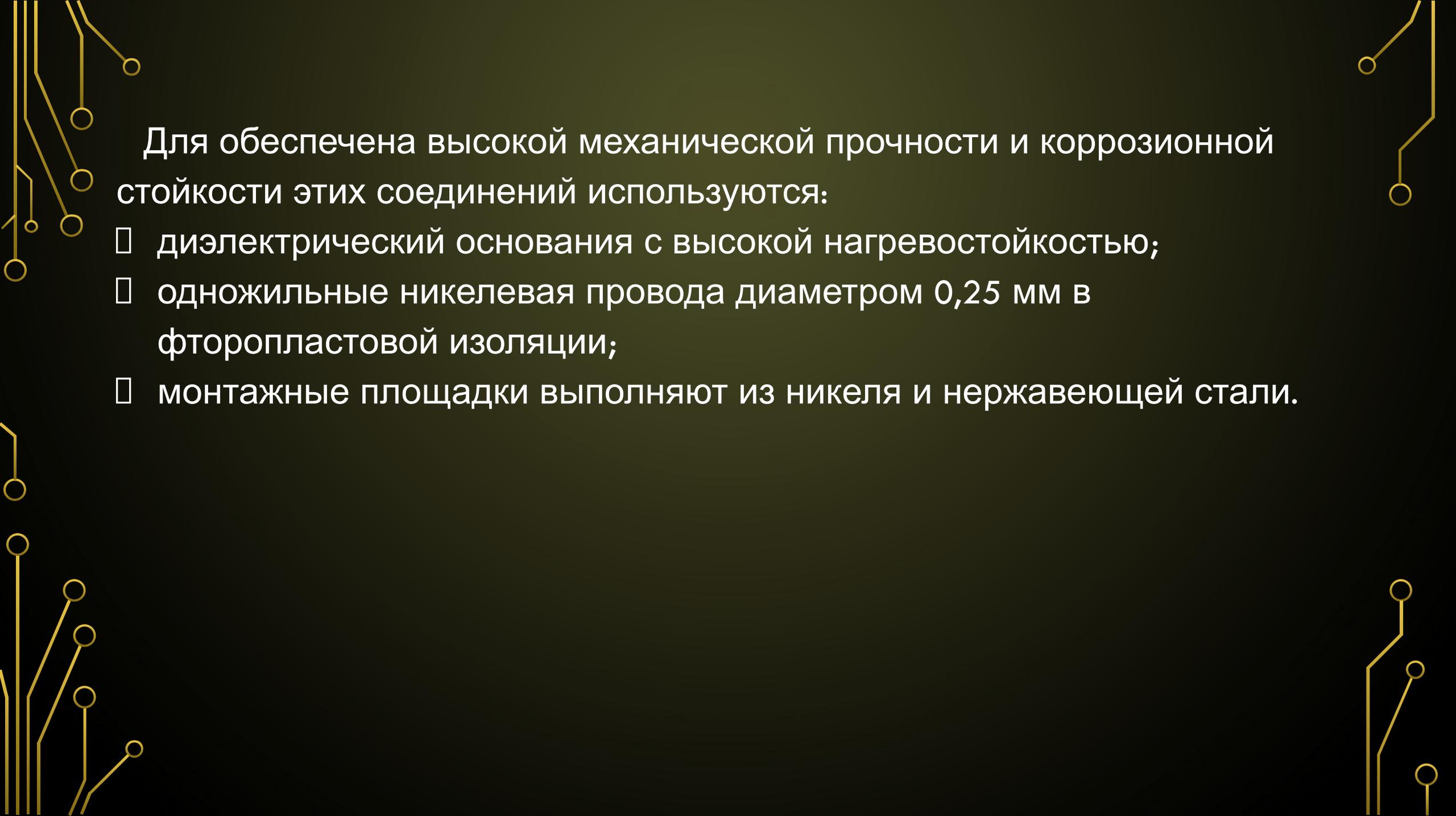


Схема сварки  
монтажных  
проводов

В процессе сварки (рис. б) провод 2 подаётся через трубчатый электрод 3 и прижимается к монтажной площадке с некоторым усилием. Под давлением происходят удаление изоляции, сплющивание провода и образование контакта между металлами. Нижний электрод 1 подводится к противоположной монтажной площадке. От источника питания подаётся большой импульс тока длительностью 2,5 мс, обеспечивающий сварку. При кратковременном импульсе выделение теплоты невелико и не оказывает влияния на прочность сцепления стальной фольги с основанием платы и припоя с печатным монтажом. Медное покрытие под стальными монтажными площадками выполняет функции теплоотвода. Прочность сварки составляет 85% предела прочности провода на разрыв.

Оборудование – полуавтоматическое с программным управлением, имеющее двух координатный стол и сварочную головку. Трассировку проводов ведут по кратчайшим расстояниям, команда на перемещение стола поступает от оператора одновременно с нажатием устройства для подачи сварочного тока. Производительность установки 500 соедин./ч (при ручной сварке – 100 соедин./ч).

Конструкция проводной платы и сварка проводов обеспечивает высокую плотность монтажа и возможность укладки проводов слоями. К каждой монтажной площадке можно приваривать до четырёх проводов. Достигнута плотность монтажа, эквивалентная 16-слойной МПП. Перечисленные достоинства обеспечивают высокую эффективность проводного монтажа не только при разработке опытных образцов, но и в мелкосерийном производстве, как специальной аппаратуры, так и обычной аппаратуры.



Для обеспечения высокой механической прочности и коррозионной стойкости этих соединений используются:

- диэлектрические основания с высокой нагревостойкостью;
- одножильные никелевые провода диаметром 0,25 мм в фторопластовой изоляции;
- монтажные площадки выполняются из никеля и нержавеющей стали.

The image features a dark green background with a subtle gradient. In the four corners, there are decorative elements resembling circuit board traces and nodes, rendered in a light yellow or gold color. These elements are arranged in a symmetrical pattern, with lines extending from the corners towards the center and ending in small circles.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**