

# Производство гибких и гибко-жестких печатных плат.

## Часть 7. Базовые и вспомогательные материалы

Эта статья — продолжение описания технологий гибких печатных плат, начатое публикациями [1–6]. Материалы статьи — результат плодотворного сотрудничества науки и производства: инжиниринговой компании «Электрон-Сервис-Технология» и ФГУП «Государственный Рязанский приборный завод» [7].

**Аркадий Медведев,**  
д. т. н., профессор МАИ  
**Сергей Новокрещенов**  
**Петр Семенов**  
**Аркадий Сержантов**

### Базовые материалы

Фольгированные материалы — это основные базовые материалы, соответствующие задачам создания гибких печатных плат. Область применения: простые гибкие печатные платы и шлейфы, гибко-жесткие ПП, а также комплексные многослойные печатные платы.

Все исходные материалы для производства проходят предварительный отбор на соответствие стандартам IPC-FC-231C и IPC4562, составные пары материалов подбираются в соответствии со стандартами IPC4204 и IPC-FC-232C. Вся продукция инспектируется согласно плану производителя.

Материал состоит из полиимида и адгезивного подслоя из эпоксидной смолы толщиной 15 мкм, соединяющего полиимидный диэлектрик с медной фольгой.

Эпоксидная смола специально разработана для гибких печатных плат, обеспечивает превосходную безупрочность и прочность на отрыв медной фольги. Такая конструкция материала позволяет выдерживать полный цикл производства ПП с последующей сборкой и гарантировать высокую эксплуатационную надежность электронного модуля в целом.

На рынке предлагаются фольгированные материалы, покрытые медной фольгой с высокой пластичностью, что обеспечивает длительную эксплуатацию при нагрузках на изгиб. В дополнение к ламинатам предлагаются покрывные полиимидные и адгезивные пленки. Все материалы обрабатываются стандартными механическими и химическими способами.

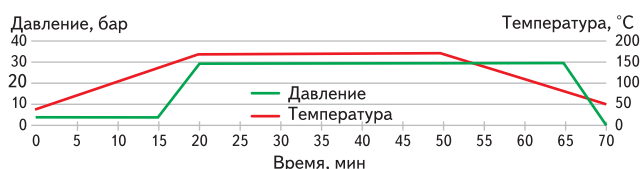


Рис. 1. Режим прессования материала PCL

### Фольгированные полиимиды

Полиимид: 25 или 50 мкм. Медь: 18 или 35 мкм SSC (медь с односторонней обработкой) и DSC (медь с двусторонней обработкой). Адгезив: 15 мкм.

Обозначения материалов фирмы Eproflex:

- Eproflex SSC18/50 ED — это односторонний полиимидный материал, облицованный с одной стороны 18 мкм медной фольги (табл. 1).
- Eproflex DSC35/25 — это двусторонний полиимидный материал, облицованный медью (табл. 2).
- Eproflex PCL25/50 — это полиимидная покрывная пленка толщиной 50 мкм с 25-мкм адгезивным слоем (табл. 3, рис. 1).

Примеры обозначения (и общая толщина материала):

- SSC18/25 — общая толщина 58 мкм;
- SSC18/50 — общая толщина 33 мкм;
- DSC18/25 — общая толщина 76 мкм;
- DSC18/50 — общая толщина 101 мкм;

Таблица 1. Характеристики материала с одно- и двусторонней медной фольгой толщиной 18 мкм

| Свойства  | Типичные значения            | Стандартные значения       | Метод    |
|---|------------------------------|----------------------------|----------|
| Геометрическая стабильность, %                              | 0,06                         | <0,15                      | 2.2.4    |
| Стойкость на изгиб, циклы                                   | >1000                        | >1000                      | 2.4.3    |
| Адгезия, Н/мм:<br>исходная<br>после пайки<br>после старения | >1,2<br>>0,9<br>>1,2         | >0,700<br>>0,525<br>>0,700 | 2.4.9    |
| Стойкость к расплавленному припою при 288 °C, с             | >10                          | >10                        | 2.4.13   |
| Усилие на разрыв, Н   | >5,2                         | >4,9                       | 2.4.10   |
| Диэлектрическая константа                                   | 3,9                          | <4,0                       | 2.5.5.3  |
| Тангенс угла диэлектрических потерь                         | 0,002                        | <0,04                      | 2.5.5.3  |
| Электрическая прочность, В/мкм                              | 220 (50 мкм)<br>250 (25 мкм) | >80                        | 2.5.6.1  |
| Объемное электрическое сопротивление, МОм·см                | 10 <sup>6</sup>              | >10 <sup>6</sup>           | 2.5.17.1 |
| Поверхностное электрическое сопротивление, МОм              | 10 <sup>6</sup>              | >10 <sup>6</sup>           | 2.5.17.1 |

**Таблица 2.** Характеристики материала с одно- и двусторонней медной фольгой толщиной 35 мкм

| Свойства  | Типичные значения            | Стандартное значение       | Метод    |
|---|------------------------------|----------------------------|----------|
| Геометрическая стабильность, %                              | 0,06                         | <0,15                      | 2.2.4    |
| Стойкость на изгиб, циклы                                   | >300                         | >1000                      | 2.4.3    |
| Адгезия, Н/мм:<br>исходная<br>после пайки<br>после старения | >1,4<br>>1,3<br>>1,4         | >1,400<br>>1,225<br>>1,400 | 2.4.9    |
| Стойкость к расплавленному припою при 288 °С, с             | >10                          | >10                        | 2.4.13   |
| Усилие на разрыв, Н   | >5,2                         | >4,9                       | 2.4.16   |
| Диэлектрическая константа                                   | 3,9                          | <4,0                       | 2.5.5.3  |
| Тангенс угла диэлектрических потерь                         | 0,002                        | <0,04                      | 2.5.5.3  |
| Электрическая прочность, В/мкм                              | 220 (50 мкм)<br>250 (25 мкм) | >80                        | 2.5.6.1  |
| Объемное электрическое сопротивление, МОм·см                | 10 <sup>8</sup>              | >10 <sup>6</sup>           | 2.5.17.1 |
| Поверхностное электрическое сопротивление, МОм              | 10 <sup>6</sup>              | 10 <sup>4</sup>            | 2.5.17.1 |

**Таблица 3.** Характеристики полиимидной покрывной пленки после нанесения на основу

| Свойства  | Типичные значения            | Стандартное значение       | Метод    |
|---|------------------------------|----------------------------|----------|
| Геометрическая стабильность, %                              | 0,06                         | <0,15                      | 2.2.4    |
| Стойкость на изгиб, циклы                                   | >300                         | >1000                      | 2.4.3    |
| Адгезия, Н/мм:<br>исходная<br>после пайки<br>после старения | >1,4<br>>1,3<br>>1,4         | >1,400<br>>1,225<br>>1,400 | 2.4.9    |
| Стойкость к расплавленному припою при 288 °С, с             | >10                          | >10                        | 2.4.13   |
| Усилие на разрыв, Н   | >5,2                         | >4,9                       | 2.4.16   |
| Диэлектрическая константа                                   | 3,9                          | <4,0                       | 2.5.5.3  |
| Тангенс угла диэлектрических потерь                         | 0,002                        | <0,04                      | 2.5.5.3  |
| Диэлектрическая прочность, В/мкм                            | 220 (50 мкм)<br>250 (25 мкм) | >80                        | 2.5.6.1  |
| Объемное электрическое сопротивление, МОм·см                | 10 <sup>8</sup>              | >10 <sup>6</sup>           | 2.5.17.1 |
| Поверхностное электрическое сопротивление, МОм              | 10 <sup>6</sup>              | >10 <sup>4</sup>           | 2.5.17.1 |

**Таблица 4.** Сортамент

| Название                                   | Толщина меди, мкм | Толщина изоляционного слоя, мкм |
|--|-------------------|---------------------------------|
| MCF-5000IS<br>(односторонний материал)     | 9, 12             | 5, 7, 9                         |
| MCF-5000ID<br>(двусторонний материал)      | 9, 12             | 12, 16, 20                      |
| MCF-5000IR<br>(фольга, покрытая адгезивом) | 9, 12             | 30                              |
| AS-5000IA<br>(адгезив)                     | –                 | 25                              |

- SSC35/25 — общая толщина 75 мкм;
- SSC35/50 — общая толщина 100 мкм;
- SSC18/25 — общая толщина 58 мкм;
- DSC35/25 — общая толщина 110 мкм;
- DSC35/50 — общая толщина 135 мкм.

**Гибкий ультратонкий и эластичный материал MCF-5000I**

Особенности материала MCF-5000I:

- Хорошая стабильность линейных размеров.
- Хорошая эксплуатационная гибкость с ультратонкой медной фольгой.
- Уникальные высокочастотные свойства, низкая диэлектрическая постоянная: ниже 3,0 (для 1 ГГц).

Применение:

- Ультратонкие ПП для аппаратуры с повышенными требованиями: в условиях повышенной вибрации и изгибных нагрузок.
- Гибкие ПП для ограниченных пространств.
- Ультратонкие 3D монтируемые модули.

Сортамент материала MCF-5000I представлен в таблице 4. Основные характеристики материалов представлены в таблице 5:

- односторонний материал (MCF-5000IS);
- двусторонний материал (MCF-5000ID);
- фольга, покрытая адгезивом (MCF-5000IR).

**Ультратонкий, гибкий и эластичный материал для МПП TC-100, TC-300 Cute Series**

Сортамент материалов TC-100, TC-300 представлен в таблице 6.

Особенности материала:

- Гибкий.
- Состоит не только из стеклоткани, но и из пленки, что позволяет использовать его в различных конструкциях ПП.

**Таблица 5.** Основные характеристики материалов

| Параметр                             | Условия испытания  | Единицы измерения | Фактические значения для материалов: |             |                      |
|--------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------|----------------------|
|                                      |                    |                   | MCF-5000IS                           | MCF-5000ID  | MCF-5000IR           |
| Стойкость к расплавленному припою    | 288 °С             | мин               | >180                                 | >180        | >180                 |
| ТМА                                  | KTP x, y           | ppm/°C            | 20–22                                | 20–22       | 20–22                |
|                                      | KTP z'             | ppm/°C            | –                                    | –           | 180–220              |
|                                      | Tg                 | °C                | –                                    | –           | 230–250              |
| Модуль упругости                     | E' (25 °C, DVE)    | ГПа               | 3,5–5,0                              | 3,5–5,0     | 2,0–3,0              |
| Диэлектрическая постоянная           | 1 ГГц <sup>2</sup> | –                 | 2,9–3,0                              | 2,9–3,0     | –                    |
| Тангенс угла диэлектрических потерь  | 1 ГГц <sup>2</sup> | –                 | 0,002–0,004                          | 0,002–0,004 | –                    |
| Влагопоглощение                      | PCT 3h             | %                 | 0,6–0,8                              | 0,6–0,8     | 1,2–1,4              |
| Сопrotивление отслаиванию меди       | 18 мкм             | кН/м              | 0,7–0,9                              | 0,7–0,9     | 0,7–0,9              |
| Стабильность геометрических размеров | After ET (MD)      | %                 | –0,01 ±0,03                          | –0,01 ±0,03 | –                    |
|                                      | After ET (TD)      | %                 | –0,01 ±0,03                          | –0,01 ±0,03 | –                    |
| Горючесть                            | UL                 | –                 | V-0                                  | V-0         | (VTM-0) <sup>3</sup> |

**Примечания:** <sup>1</sup> — 8-слойная конструкция; <sup>2</sup> — измерено трехпластинчатым резонатором; <sup>3</sup> — практические данные.

**Таблица 6.** Сортамент

| TC-100:<br>Стандартный тип     |                          | TC-300:<br>Не содержит галогены |                          |
|--------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| Фольгированный стеклотекстолит | Препрег                  | Фольга, покрытая адгезивом      | Адгезив                  |
| (TC-C-100)<br>(TC-C-300)       | (TC-P-100)<br>(TC-P-300) | (TC-F-100)<br>(TC-F-300)        | (TC-A-100)<br>(TC-A-300) |

- Отличная стойкость к расплавленному припою. (Подходит для бессвинцовых технологий пайки.)
  - Благодаря стеклоткани, обладает стабильными линейными размерами.
  - Не содержит галогены, сурьму и красный фосфор (TC-300).
- Применение:
- Ультратонкие 3D монтируемые модули.
  - Монтажная подложка под SMT.
  - Гибкие ПП для ограниченных пространств.

**СВЧ-материал с малой диэлектрической постоянной, малым тангенсом угла диэлектрических потерь, высокой теплостойкостью MCL-LX-67Y**

Особенности:

- Превосходное соотношение цена/качество.
- Превосходные электрические и механические свойства.
- Время прессования может быть сокращено в зависимости от типа препрега и режимов. Может использоваться смола с высокой и низкой текучестью в зависимости от технологии.

**Таблица 7.** Стандартная спецификация

| Стандартный размер (Д×Ш), мм           | Толщина медной фольги, мкм | Кодовое название | Фактическая толщина и допуск, мм |
|--|----------------------------|------------------|----------------------------------|
| 1220 <sup>±0</sup> ×1020 <sup>±0</sup> | 12<br>18<br>35             | 0,06             | 0,06 ±0,02                       |
|  |                            | 0,08             | 0,08 ±0,02                       |
|  |                            | 0,1              | 0,10 ±0,02                       |
|  |                            | 0,15             | 0,15 ±0,03                       |
|  |                            | 0,2              | 0,20 ±0,04                       |
|  |                            | 0,3              | 0,30 ±0,04                       |
|  |                            | 0,4              | 0,40 ±0,05                       |
|  |                            | 0,6              | 0,60 ±0,06                       |
|  |                            | 0,8              | 0,80 ±0,08                       |
|  |                            | 1,0              | 1,00 ±0,08                       |
| 1,2                                    | 1,20 ±0,10                 |                  |                                  |

**Примечания.**

- 1) В том случае, если толщина стеклотекстолита находится между двумя указанными в таблице толщинами, то допуск принимается равным допуску для большей толщины листа.
- 2) Толщина стеклотекстолита измеряется по диэлектрику.

Применение:

- Персональные компьютеры и оборудование с высокой плотностью монтажа.
- Полупроводниковое тестовое оборудование.
- Гибко-жесткие ПП (нетекучий препрег). Стандартная спецификация СВЧ-материала MCL-LX-67Y представлена в таблице 7. Характеристики тонкого СВЧ-материала представлены в таблице 8.

**Таблица 8.** Характеристики тонкого СВЧ-материала

| Параметр                                       | Условия испытания                            | Единицы | Фактические значения                   | Тестовый метод |         |
|--|--|---------|--|----------------|---------|
| T <sub>g</sub>                                 | TMA  | °C      | 200–213                                | 2.4.24         |         |
|  | DMA  |         | 230–245                                | –              |         |
| КТР* 1   | (30–100 °C)                                  | ppm/°C  | 12–15                                  | 2.4.24         |         |
|  |  |         | (<T <sub>g</sub> )                     |                | 12–16   |
|  |  |         | (>T <sub>g</sub> )                     |                | 50–80   |
| Стойкость к расплавленному припою (260 °C)     | A  | –       | >300                                   | –              |         |
| T-260 (без меди)                               | TMA  | мин     | >60                                    | 2.4.24.1       |         |
| T-288 (без меди)                               |  |         | >15                                    |                |         |
| Температура декомпозиции (5%-ная потеря массы) | TGA  | °C      | 330–350                                | 2.3.40         |         |
| Сопротивление отслаиванию меди                 | A  | кН/м    | 1,3–1,5                                | 2.4.8          |         |
|  |  |         | 35 мкм                                 |                | 1,1–1,2 |
| Шероховатость поверхности                      | A  | мкм     | 5–13                                   | 2.2.17         |         |
| Модуль изгиба (в продольном направлении)       | A  | ГПа     | 24–26                                  | 2.4.4          |         |
| Диэлектрическая постоянная                     | C-96/20/65                                   | –       | 4,2–4,4                                | 2.5.5.1        |         |
|  |  |         | 1 ГГц <sup>2</sup>                     | 4,2–4,3        | 2.5.5.5 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь            | C-96/20/65                                   | –       | 0,0110–0,0130                          | 2.5.5.1        |         |
|  |  |         | 1 ГГц <sup>2</sup>                     | 0,0130–0,0150  | 2.5.5.5 |
| Объемное сопротивление                         | C-96/35/90                                   | Ом·см   | 1×10 <sup>15</sup> –1×10 <sup>16</sup> | 2.5.17.1       |         |
| Поверхностное сопротивление                    |  | Ом      | 1×10 <sup>13</sup> –1×10 <sup>15</sup> |                |         |
| Сопротивление изоляции                         | C-96/20/65                                   | Ом      | 1×10 <sup>14</sup> –1×10 <sup>16</sup> | –              |         |
|  | C-96/20/65+D-2/100                           |         | 1×10 <sup>13</sup> –1×10 <sup>15</sup> | –              |         |
| Влагопоглощение                                | E-24/50+D-24/23                              | %       | 0,10–0,20                              | 2.6.2.1        |         |
| Горючесть (UL-94)                              | A  | –       | V-0                                    | 2.3.10         |         |
| CAF  | 85 °C/85%-ная относительная влажность, 100 В | ч       | >1000                                  | –              |         |

**Примечания:** <sup>1</sup> – скорость нагрева: 10 °C/мин; <sup>2</sup> – измерено резонатором с закрытой линией.

**СВЧ-материал MCL-FX-2 с малой диэлектрической постоянной, малым тангенсом угла диэлектрических потерь, с высокой теплостойкостью**

Особенности:

- Тангенс угла диэлектрических потерь на 50% ниже, чем у стандартного FR-4.
  - Высокая температура стеклования T<sub>g</sub> и превосходная теплостойкость. (Подходит для бессвинцовой технологии пайки.)
  - КТР по оси Z на 30% ниже, чем у стандартных FR-4.
  - Дружественный к окружающей среде материал.
  - Относится к классу горючести UL 94 V-0, материал не содержит добавок на основе галогенов, сурьмы или красного фосфора.
- Применение:
- Высокочастотные элементы (фильтры, генераторы).
  - Сетевые приложения.

**Таблица 9.** Стандартная спецификация

| Стандартный размер (Д×Ш), мм                 | Толщина медной фольги, мкм | Кодовое название | Фактическая толщина и допуск, мм |
|--|----------------------------|------------------|----------------------------------|
| 1020 <sup>±0,13</sup> ×1220 <sup>±0,13</sup> | 12<br>18<br>35             | 0,06             | 0,06 ±0,02                       |
|  |                            | 0,1              | 0,10 ±0,02                       |
|  |                            | 0,13             | 0,13 ±0,03                       |
|  |                            | 0,2              | 0,20 ±0,03                       |
|  |                            | 0,26             | 0,26 ±0,04                       |
|  |                            | 0,4              | 0,40 ±0,04                       |
|  |                            | 0,6              | 0,60 ±0,06                       |
|  |                            | 0,8              | 0,80 ±0,08                       |
|  |                            | 1,0              | 1,00 ±0,08                       |
|  |                            | 1,2              | 1,20 ±0,10                       |

Стандартная спецификация СВЧ-материала MCL-FX-2 представлена в таблице 9.

Характеристики СВЧ-материалов представлены в таблицах 10, 11.

**Таблица 10.** Характеристики тонкого СВЧ-материала

| Параметр                                       | Условия испытания                            | Единицы измерения | Фактические значения                   | Тестовый метод |         |
|--|--|-------------------|--|----------------|---------|
| T <sub>g</sub>                                 | TMA  | °C                | 175–185                                | 2.4.24         |         |
|  | DMA  |                   | 210–220                                | –              |         |
| КТР  | (30–100 °C)                                  | ppm/°C            | 14–17                                  | 2.4.24         |         |
|  |  |                   | (<T <sub>g</sub> )                     |                | 14–17   |
|  |  |                   | (>T <sub>g</sub> )                     |                | 48–55   |
| Стойкость к расплавленному припою (260 °C)     | A  | –                 | >300                                   | –              |         |
| T-260 (без меди)                               | TMA  | мин               | >60                                    | 2.4.24.1       |         |
| T-288 (без меди)                               |  |                   | >60                                    |                |         |
| Температура декомпозиции (5%-ная потеря массы) | TGA  | °C                | 350–370                                | 2.3.40         |         |
| Сопротивление отслаиванию меди                 | A  | кН/м              | 0,4–0,7                                | 2.4.8          |         |
|  |  |                   | 35 мкм                                 |                | 0,4–0,8 |
| Шероховатость поверхности                      | A  | мкм               | 5–13                                   | 2.2.17         |         |
| Модуль изгиба (в продольном направлении)       | A  | ГПа               | 17–22                                  | 2.4.4          |         |
| Диэлектрическая постоянная                     | C-96/20/65                                   | –                 | 3,50–3,70                              | 2.5.5.1        |         |
|  |  |                   | 1 ГГц                                  | 3,30–3,50      | 2.5.5.5 |
|  |  |                   | 1 ГГц                                  | 3,50–3,70      | 2.5.5.9 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь            | C-96/20/65                                   | –                 | 0,0005–0,0010                          | 2.5.5.1        |         |
|  |  |                   | 1 ГГц                                  | 0,0020–0,0030  | 2.5.5.5 |
|  |  |                   | 1 ГГц                                  | 0,0010–0,0020  | 2.5.5.9 |
| Объемное сопротивление                         | C-96/35/90                                   | Ом·см             | 1×10 <sup>14</sup> –1×10 <sup>16</sup> | 2.5.17.1       |         |
| Поверхностное сопротивление                    |  | Ом                | 1×10 <sup>13</sup> –1×10 <sup>15</sup> |                |         |
| Сопротивление изоляции                         | C-96/20/65                                   | Ом                | 1×10 <sup>14</sup> –1×10 <sup>16</sup> | –              |         |
|  | C-96/20/65+D-2/100                           |                   | 1×10 <sup>13</sup> –1×10 <sup>14</sup> | –              |         |
| Влагопоглощение                                | E-24/50+D-24/23                              | %                 | 0,03–0,04                              | 2.6.2.1        |         |
| Горючесть (UL-94)                              | A  | –                 | V-0 эквивалент                         | 2.3.10         |         |
| CAF  | 85 °C/85%-ная относительная влажность, 100 В | ч                 | >1000                                  | –              |         |

**Препрег GFA-2**

Основные характеристики препрега приведены в таблице 12.

**Эпоксидный адгезив Epoflex CFA 20**

Epoflex CFA 20 — безосновный эпоксидный адгезив для производства ГПП и ГЖПП. Он специально создан для соединения гибких ламинатов, полимерных пленок и жестких ПП в сочетании с гибкими элементами печатной платы в электронной промышленности. Он прекрасно подходит для соединения между собой полиимидных, полиэстеровых, PEN-пленок и медной фольги.

Адгезив Epoflex CFA 20 — прозрачный, обладает высокой гибкостью, не липнет при 25 °C.

После прессования адгезив стоек к расплавленному припою при температурах более 300 °C, полностью соответствует требованиям изготовления ПП по бессвинцовым технологиям (директива RoHS).

Epoflex CFA 20 показывает превосходные свойства и рабочие характеристики (табл. 13).

Эпоксидный адгезив защищен с одной стороны полимерной пленкой, а с другой — специально обработанной бумагой, поставляется в рулонах.

Способ применения:

- нарезать материал на заготовки нужного размера;
- снять слой бумаги с Epoflex CFA 20;
- зафиксировать Epoflex CFA 20 в выбранных точках методом нагрева или другим подходящим способом;
- снять полимерную пленку с Epoflex CFA 20;
- произвести укладку слоев;
- начать цикл прессования в вакуумном или в открытом прессе.

Таблица 11. Характеристика склеивающей стеклоткани для СВЧ-плат

| Название                    | Стеклоткань |                        |                              | Свойства            |                               |                    |                                | Применение                    |     |
|-----------------------------|-------------|------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----|
|                             | Тип         | Вес, гр/м <sup>2</sup> | Кол-во нитей (основа × уток) | Содержание смолы, % | Содержание летучих веществ, % | Текучесть смолы, % | Толщина после прессования*, мм |                               |     |
| 0,03                        | T           | 106                    | 25                           | 56×56               | 72 ±3                         | <2,0%              | 50 ±5                          | 0,056                         | МПП |
| 0,05                        |             | 1080                   | 48                           | 60×48               | 65 ±3                         |                    | 43 ±5                          | 0,082                         |     |
| 0,1                         |             | 2116                   | 104                          | 60×58               | 54 ±3                         |                    | 29 ±5                          | 0,126                         |     |
| 0,03                        | N           | 106                    | 25                           | 56×56               | 68 ±3                         | 4 ±3               | 0,050                          | Гибко-жесткие ПП              |     |
| 0,05                        |             | 1080                   | 48                           | 60×48               | 59 ±3                         |                    | 0,070                          |                               |     |
| 0,05                        | F           | 1080                   | 48                           | 60×48               | 74 ±3                         | 54 ±5              | 0,105                          | ПП на металлическом основании |     |
| Тестовый метод (IPC TM-650) |             |                        |                              |                     | 2.3.16.1                      | 2.3.19             | 2.3.17                         | —                             | —   |

Примечание. \* — толщина после прессования определяется как толщина одного листа препрега с текучестью смолы не более 5%. Это значение изменяется в зависимости от условий прессования.

Таблица 12. Характеристики препрега GFA-2

| Название                    | Стеклоткань |                        |                              | Свойства            |                               |                                |       |
|-----------------------------|-------------|------------------------|------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------|
|                             | Тип         | Вес, гр/м <sup>2</sup> | Кол-во нитей (основа × уток) | Содержание смолы, % | Содержание летучих веществ, % | Толщина после прессования*, мм |       |
| 0,03                        | FZNC        | 1037                   | 24                           | 69×72               | 71±2                          | <3,0%                          | 0,051 |
| 0,06                        | FUQC        | 1080                   | 48                           | 60×48               | 64±2                          |                                | 0,072 |
| 0,08                        | FGNB        | 3313                   | 83                           | 60×62               | 56±2                          |                                | 0,095 |
| 0,1                         | FAGB        | 2116                   | 104                          | 60×58               | 54±2                          |                                | 0,118 |
| Тестовый метод (IPC TM-650) |             |                        |                              | 2.3.16              | 2.3.19                        |                                | —     |

Примечание. \* — толщина после прессования определяется как толщина одного листа препрега с текучестью смолы не более 5%. Это значение изменяется в зависимости от условий прессования.

Таблица 13. Характеристики адгезива Eporflex CFA 20

| Свойства   | Метод испытания IPC-TM 650 | IPC 4203/19 | Eporflex CFA 20      |
|--|----------------------------|-------------|----------------------|
| Толщина  | —                          | 25 мкм ±20% | 25 ±5 мкм            |
| Удельная плотность                                   | —                          | —           | -25 г/м <sup>2</sup> |
| Стойкость к расплавленному припою, 288 °С            | 2.4.13                     |             | >180 с               |
| Усилие на разрыв                                     | 2.4.9                      | >1,4 Н/мм   | >1,4 Н/мм            |
| Усилие на разрыв после термоциклирования             | 2.4.9                      | ≥1,4Н/мм    | >1,4 Н/мм            |
| Текучесть смолы при толщине адгезионного слоя 25 мкм | 2.3.17.1                   | <0,125 мм   | Не течет             |
| Содержание летучих веществ                           | 2.3.37                     | <4%         | <0,05%               |
| Адсорбция влаги                                      | 2.6.2                      | <4%         | <0,05%               |
| Диэлектрическая прочность                            | ASTM-D-149                 | >20 В/мкм   | 40 В/мкм             |
| Срок хранения при температуре 25 °С, в сухом месте   |                            |             | 3 месяца             |

Набор предварительного давления 3,5 бар (0,35 МПа) необходимо обеспечивать в течение одной минуты.

Параметры прессования CFA:

- Температура — 170 °С.
- Предварительное давление — 0,35 МПа (3,5 бар), 60 с.
- Давление — 3 МПа (30 бар).
- Время прессования — 30 мин.
- Охлаждение — 100 °С под давлением.

**Фольга HTE-Cu Copper Foil**

Фольга HTE-Cu обладает мелкозернистой структурой меди, высокой эластичностью и высоким разрывным значением. Ее характеристики соответствуют стандарту IPC-MF-150F.

Таблица 14. Характеристики медной фольги HTE-Cu

| Свойства                            | Единица измерения | 18 мкм | 35 мкм | 70 мкм | 210 мкм |
|-------------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|---------|
| Удельный вес                        | г/м <sup>2</sup>  | 153    | 250    | 565    | 1683    |
| Шероховатость блестящей стороны, Ra | мкм               | 0,25   | 0,25   | 0,25   | 0,25    |
| Шероховатость блестящей стороны, Rz | мкм               | 1,7    | 1,7    | 1,7    | 1,7     |
| Шероховатость матовой стороны, Ra   | мкм               | 0,7    | 0,9    | 1,4    | 4,5     |
| Шероховатость матовой стороны, Rz   | мкм               | 5      | 6      | 8      | 27      |
| Относительное удлинение             | %                 | 7      | 7      | 7      | 7       |
| Предел прочности на разрыв          | Н/мм <sup>2</sup> | 375    | 370    | 365    | 350     |
| Усилие на отрыв                     | Н/см              | 14     | 19     | 24     | 30      |

Фольга HTE-Cu специально разработана для производства многослойных печатных плат, обеспечивает вертикальность стенок проводников при травлении и равномерность толщины по всей ширине поставляемого рулона. Медная фольга HTE-Cu позволяет уменьшить тенденцию образования гвоздевого эффекта при сверлении и обладает высокой степенью сцепления с гальваническими покрытиями.

Максимальная шероховатость подготовленного слоя — меньше 10,2 мкм, типичное значение находится между 5,5–8,5 мкм. Среднее значение прочности на разрыв составляет 19 Н/см для фольги толщиной 35 мкм. Блестящая сторона медной фольги обработана специальным составом, предотвращающим окисление поверхности. Антиокислительный слой легко разрушается механическим способом и в ваннах кислой подготовки перед гальваникой.

В таблице 14 представлены значения толщины и характеристики материала.

**Малотекучий препрег No FlowPrepreg 1080**

Малотекучий препрег MSC-Ditron No Flow Prepreg 1080 — это стеклоткань, пропитанная эпоксидной смолой, используется для производства ПП. Эта сильно гомогенизированная структура имеет отличные эксплуатационные характеристики. Текучесть эпоксидной смолы очень низкая, менее 1%.

Небольшое количество препрега этой марки поставляются с завода в Италии за короткий промежуток времени.

Особенности:

- Цвет — светло-желтый.
- Срок годности при 20...21 °С и 50%-ной влажности — 3 месяца.
- Срок годности при температуре 5 °С — 6 месяцев.

Условия хранения: в помещении со стабильными параметрами в оригинальной упаковке.

Технические данные MSC-Ditron No Flow Prepreg 1080:

- Удельный вес препрега — 125 г/м<sup>2</sup>.
- Удельный вес стеклоткани — 48 г/м<sup>2</sup>.
- Основа — 24 нитей/см.
- Уток — 19 нитей/см.
- Содержание смолы — 61,5+2%.
- Текучесть смолы — <1%.
- Температура стеклования — >130 °С.
- Теплопроводность — 0,36 Вт/м·К.
- Удельная теплоемкость — 0,93 Дж/кг·К.
- Удельная масса — 1,89 г/см<sup>3</sup>.
- Толщина после прессования — 70 ±5 мкм.
- Содержание летучих веществ — <0,4%.

**Препреги фирмы DITRON**

Препрег — это слой стеклянной сетки, пропитанный полуотвержденной (в стадии В)

Таблица 15. Физические свойства

| Физические и электрические свойства | Тестовый метод IPC TM-650 | DITRON PRG-EP-84 | IPC4101, лист 21 |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------|------------------|
| Содержание летучих веществ, %       | 2.3.19                    | <0,4             | <0,75            |
| Пробивное напряжение, В/мм (min)    | 2.5.6.2                   | >3,5×104         | 2,9×104          |
| Горючесть, с (max)                  | 2.3.10                    | 2                | 5                |

Таблица 16. Сортамент материалов

| Тип препрега                | Текучесть смолы, % | Содержание смолы, % | Удельный вес, г/м <sup>2</sup> | Время тепле-образования, с | Толщина после прессования, мкм |
|-----------------------------|--------------------|---------------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| Стандартный препрег         |                    |                     |                                |                            |                                |
| 1080                        | 29 +3              | 61 +2               | 125                            | 120 +10                    | 65 ±5                          |
| 2112                        | 27 ±3              | 55 ±2               | 160                            | 120 +10                    | 80 ±5                          |
| 2125                        | 25 ±3              | 51 +2               | 185                            | 120 ±10                    | 95 ±5                          |
| 2116                        | 21 +3              | 50 +2               | 205                            | 120 +10                    | 105 +5                         |
| 2165                        | 23 ±3              | 47 +2               | 235                            | 120 +10                    | 125 +5                         |
| 2157                        | 25 ±3              | 50 +2               | 290                            | 120 +10                    | 150 +5                         |
| 2166                        | 27 ±3              | 49 +2               | 310                            | 120 +10                    | 160 +5                         |
| 7628                        | 18 +3              | 43 +2               | 350                            | 120 ±10                    | 175 +5                         |
| Стандартный Monoply-препрег |                    |                     |                                |                            |                                |
| 2116MP6                     | 23 +3              | 52 ±2               | 215                            | 120 +10                    | 120 +5                         |
| 7629MP9                     | 30 +3              | 49 ±2               | 415                            | 120 +10                    | 210 +5                         |

**Таблица 17. Физические свойства**

| Свойства         | Оценка            | Требования (методика тестирования)  |
|------------------|-------------------|---|
| Твердость        | 6-8 Н             | IPC-SM-840B 3.5.1.2 (IPC-TM-650 2.4.27.2)   |
| Истирание        | Устойчива         | IPC-SM-840B 3.5.1.1 (IPC-TM-650 2.4.27.1 TABERTEST) 50 циклов/0,001   |
| Адгезия          | 100/100 Устойчива | IPC-SM-840B 3.5.2 (ТМ 2.4.28.1) к голой меди, иммерсионному золоту, никелю, олову-свинцу, ламинату            |
| Обработываемость | Устойчива         | IPC-SM-3.5.3  |
| Горючесть        | UL-94V-0          | IPC-SM-840A3.6.4  |
| Свойства         | Оценка            | Требования (методика тестирования)  |
| Пайка            | Устойчива         | IPC-SM-840B 3.7.1   |
|                  | Устойчива         | Паяемость/сопротивление припою (IPC-SM-840B 4.89.1) 260 °C, 10 с<br>Пайка/снятие припоя (IPC-SM-840B 4.8.9.2) |

эпоксидной смолой. Материал соответствует требованиям по горючести UL 94, градация V-0 и соответствует всем требованиям стандартов NEMA LI 1.12-FR-4-UT, IEC 249-3-1-GF, IPC 4101 — лист 21. Имеет светло-желтый цвет (присутствует УФ-блокировка).

Материал хранится в оригинальной упаковке при температуре 20...21 °C и влажности воздуха 50% не более трех месяцев. При хранении материала при температуре меньше 5 °C максимальный срок хранения увеличивается до шести месяцев.

Физические свойства препрегов фирмы DITRON представлены в таблице 15. Сортмент материалов приведен в таблице 16.

### Специальные материалы

#### Фоточувствительная паяльная маска ST-500

ST-500 — жидкая фоточувствительная двухкомпонентная паяльная маска на эпоксидной основе, имеет высокую стойкость к отслоению от меди, оксидированной меди, сплава олово-свинец при химическом воздействии технологических растворов. Хорошо противостоит всем финишным видам покрытий ПП, включая иммерсионное золочение, оловянирование, серебрение, HALS. Паяльная маска ST-500 разработана для плат с высокой плотностью монтажа. Свойства паяльной маски приведены в таблицах 17–19.

Перед нанесением паяльной маски рекомендуется подготовить поверхность с помощью пемзы, абразивных щеток или химических растворов.

- Приготовление состава паяльной маски ST-500. Рабочий состав готовится при тщательном перемешивании компонентов маски в соотношении: 0,75 кг ST-50G (основной компонент) / 0,25 кг STVN 500-2 (отвердитель). Недостаточное перемешивание может стать причиной плохого проявления, липкости при экспонировании, ухудшения конечных свойств паяльной маски. Вымешанный состав следует выдержать в течение 10–15 мин перед нанесением на плату. Вязкость можно регулировать с помощью разбавителя типа SMR-15 (максимум 3%). Для печати применять сетку — 37–55 Т, ракель с твердостью 60–70 по Шору.
- Предварительная сушка:
  - Односторонние платы — при температуре 75...80 °C в течение 25 мин.

**Таблица 18. Химические свойства**

| Пункт                          | Значение  | Требования (методика тестирования)   |
|--------------------------------|-----------|--|
| Стойкость к растворителям      | Стойкая   | IPC-SM840C 3.6.1   |
|                                | Стойкая   | IPA 60 мин — комнатная температура   |
|                                | Стойкая   | Трихлорэтан 60 мин — комнатная температура                                       |
|                                | Стойкая   | Ацетон 60 мин — комнатная температура  |
|                                | Стойкая   | Толуол 60 мин — комнатная температура  |
| Химическая стойкость           | Устойчива | 10% (об.) H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30 мин — комнатная температура          |
|                                | Устойчива | 10% (об.) HCl 30 мин — комнатная температура                                     |
|                                | Устойчива | 10% (об.) NaOH 30 мин — комнатная температура                                    |
| Стойкость к влажной среде      | Стойкая   | IPC-SM-S40B 3.6.2  |
|                                | Стойкая   | Класс 1: 35 °C ± 2 °C, 90% RH 4 дня  |
|                                | Стойкая   | Класс 2: 85 °C ± 2 °C, 90% RH 7 дней<br>Класс 3: 97 °C ± 2 °C, 90–98% RH 28 дней |
| Р.С.Т. (тест на старение)      | Стойкая   | 120 °C, 2 атмосферы, 5 ч   |
| Снятие после термодублирования |           | 10% (вес) NaOH 90 ± 5 °C, 15 мин   |

**Таблица 19. Электрические свойства**

| Параметр                                 | Значение                                  | Требования (методика тестирования)  |
|--|---|---|
| Электрическая прочность во влажной среде | 1000 В постоянного тока на толщине 25 мкм | IPC-SM 840 В 3.8.1  |
| Сопротивление изоляции                   | 10 <sup>15</sup> Ом                       | ASTM D-257  |
| Поверхностное сопротивление              | 5 × 10 <sup>15</sup> Ом                   | ASTM D-257  |
| Сопротивление (вдоль слоев)              | 10 <sup>11</sup> Ом                       | IPC-SM 840 В 3.9.1 (ТМ-650 2.6.3.1)<br>Класс 1: 35 °C, 90% RH, 4 дня (статическое воздействие)<br>Класс 2: 50 °C, 90% RH, 7 дней (статическое воздействие)<br>Класс 3: 25...65 °C, 90% RH, 7 дней (циклическое воздействие) |
|  | 10 <sup>9</sup> Ом                        |   |
|  | 10 <sup>8</sup> Ом                        |   |
| Тангенс угла диэлектрических потерь      | 0,02                                      | JIS C 6481, 1 МГц   |

- Двусторонние платы:
  - сторона 1 — при температуре 75...80 °C в течение 15–25 мин;
  - сторона 2 — при температуре 75...80 °C в течение 25–30 мин.

Время предварительной сушки может быть различным и зависит от толщины покрытия (оптимально 25–30 мкм), циркуляции воздуха, стабильности температуры в камере сушки, типа материала и толщины подложки.

Слишком длительное время и высокая температура могут стать причиной проблем при проявлении.

- Экспонирование. Рекомендуемые параметры:
  - Диапазон излучения — 310–420 нм.
  - Плотность энергии — 350–500 мДж/см<sup>2</sup>.
  - Ступени клина — 8–11 (по 21-ступенчатому клину Штгоуффера).
- Проявление. Рекомендуемые параметры:
  - Раствор проявления — 1%-ный раствор карбоната натрия или калия.
  - Давление струи — 1,5–2,5 кг/см<sup>2</sup>.
  - Время — 40–90 с.
  - Температура — 28...32 °C.
- Удаление. После проявления в случае необходимости паяльная маска может быть удалена в 5%-ном растворе NaOH при температуре 40...50 °C.
- Термодублирование производится в конвейерной печи в течение 60 мин при температуре 150 °C (температура подложки).
- Хранение. Максимальное время хранения готового состава — 72 часа. Экспонирование плат производить в течение 24 часов. Превышение указанного времени приведет к увеличению времени проявления. Хранить при 10...25 °C в сухом помещении, избегать попадания прямых солнечных лучей. Срок хранения — 6 месяцев, начиная с даты изготовления, при соблюдении рекомендованных условий хранения.

#### Жидкая фоточувствительная паяльная маска UPC-9000

Паяльная маска UPC-9000 — это фоточувствительная композиция водощелочного проявления. Эта паяльная маска устойчива к выцветанию. Разновидности цвета маски UPC-9000 представлены в таблице 20.

В таблице 21 приведена спецификация на UPC-9000.

**Таблица 20. Разновидности цвета маски UPC-9000**

| Цвет      | Код продукта                          | Цвет покрытия   |
|-----------|---------------------------------------|---|
| Зеленый   | L-17L-19G-33G25G26<br>G30D-52D-53D-55 | Светло-зеленый, насыщенный зеленый, темно-зеленый         |
| Красный   | R-16R13                               | Светло-красный, темно-красный                             |
| Желтый    | Y-45 Y-37 Y-39                        | Светло-желтый, средне-желтый                              |
| Голубой   | B-60                                  | —   |
| Пурпурный | P-72 P-73 P-70                        | Светло-пурпурный, темно-пурпурно-красный, темно-пурпурный |
| Черный    | BK-82                                 | —   |
| Кофейный  | BR-81                                 | —   |
| Белый     | W-90                                  | —   |
| Матовый   | G-35MBK-82MB-61M                      | Зеленый матовый, черный матовый, голубой матовый          |

**Таблица 21. Спецификация UPC-9000**

|   |  |
|---|--|
| Вязкость (после смешивания, Vt-04, 25 °C)                               | 210 ± 30 dps                                   |
| Не испаряющаяся масса (после смешивания)                                | 74 ± 3%  |
| Точка воспламенения   | 76 °C  |
| Приготовление смеси (массовые соотношения)                              | Основной компонент 750 г; отвердитель 250 г    |
| Жизнеспособность (темное, прохладное место, при температуре ниже 20 °C) | 72 часа после смешивания основных ингредиентов |
| Хранение (темное, прохладное место при температуре ниже 20 °C)          | 9 месяцев                                      |

Таблица 22. Физические свойства UPC-9000

| Свойства                        | Результат теста | Методика тестирования   |
|---------------------------------|-----------------|---|
| Внешний вид                     | Устойчива       | IPC-SM-840C 3.4.8   |
| Требования к отверждению        | Устойчива       | IPC-SM-840C 3.4.5.<br>Податливость с 3.6.1; 3.7.1 и 3.7.2   |
| Свободна от микробов            | Устойчива       | IPC-SM-840C 3.4.6.<br>Нет разрушений под действием микробов   |
| Требования к размерам отпечатка | Устойчива       | IPC-SM-840C 3.5.10  |
| Твердость по карандашу          | >6 Н            | IPC-SM-840C 3.5.1; IPC-TM-650 2.4.27.2 > F  |
| Адгезия                         | Устойчива       | IPC-SM-840C 3.5.2.1; IPC-TM-650 2.4.27.2.<br>Для медной поверхности 100%.<br>Для золота и никеля < 5%.<br>Диэлектрик 100% |
| Механические свойства           | Устойчива       | IPC-SM-840C 3.5.3.<br>Нет растрескиваний или разрывов   |
| Горючесть                       | UL 94V-0        | IPC-SM-840C 3.6.3 (класс H)   |

**Приготовление рабочего раствора UPC-9000**

Рабочий состав приготавливается при тщательном перемешивании и следующем соотношении: 0,75 кг UPC-9000 (основной компонент) / 0,25 кг H-300K1 (отвердитель). Недостаточное перемешивание может стать причиной плохого проявления, липкости при экспонировании, ухудшения конечных свойств паяльной маски.

1. Перед началом работы с компонентами паяльной маски необходимо дать им прогреться до комнатной температуры.
2. Вязкость можно регулировать с помощью фирменного разбавителя или другого подобного типа (не более чем 3%).
3. Прежде чем использовать паяльную маску перед работой, необходимо выдержать ее 15 мин после смешивания для удаления воздушных пузырьков.
4. Цвет продукта может меняться в зависимости от цвета поверхности диэлектрика и металла. Поэтому необходимо делать пробные работы для подбора нужного цвета. Оттенок цвета маски также зависит от степени облучения УФ.

**Технология применения UPC-9000**

Для нанесения применять сетку 36–43 Т, ракель с твердостью 60–70 по Шору.

1. Подготовка поверхности. Перед нанесением паяльной маски рекомендуется кислая обработка для создания матовой поверхности.
2. Нанесение.

Первая сторона:

- Нанесение маски — сито 36–43 Т; ракель с твердостью 60–70 по Шору; выдержка — 10 мин.
- Предварительная сушка — при температуре 70...75 °С в течение 25 мин.

Вторая сторона:

- Нанесение маски — сито 36–43 Т; ракель с твердостью 60–70 по Шору; выдержка — 10 мин.
- Предварительная сушка — при температуре 70...75 °С в течение 25 мин.

Время предварительной сушки может быть различным в зависимости от толщины покрытия (оптимально 25–30 мкм), циркуляции воздуха, стабильности температуры в камере сушки, типа материала и толщины подложки.

**Примечание.** В случае двустороннего нанесения паяльной маски предварительную сушку

производить при температуре 70...75 °С, длительность обработки 40–50 мин.

3. Экспонирование. Рекомендуемые параметры:
  - Диапазон излучения — 310–420 нм.
  - Ступени клина — 10–13 (по 21-ступенчатому клину Штоуффера).
  - Выдержка после экспонирования — 15–20 мин.
4. Проявление. Рекомендуемые параметры:
  - Раствор проявления — 1% (по весу) раствор карбоната натрия.
  - Температура — 30 +2 °С.
  - Давление струи раствора — 2,0–3,0 кг/см<sup>2</sup>.
  - Время обработки — 60–90 с.
5. Удаление. После проявления в случае необходимости паяльная маска может быть удалена в 5%-ном растворе NaOH при температуре 40...50 °С.
6. Термодублирование производится в конвекционной печи в течение 60 мин при температуре около +150 °С (температура подложки).

Физические свойства паяльной маски UPC-9000 представлены в таблице 22, химические — в таблице 23. Параметры нагревостойкости указаны в таблице 24.

**Фоторезисты**

Сухой пленочный фоторезист (СПФ) фирмы LIUXI серии «Т» — это негативный сухой пленочный фоторезист водосолевого проявления.

Данная серия разработана специально для печатных плат с высокой плотностью монтажа и предназначена для тентинг-процесса, фотопечати с последующим травлением в кислой среде, нанесения гальванических покрытий: медь, олово, олово-свинец.

Общие свойства:

- Хорошая стойкость ко всем кислым растворам осаждения.
- Высокая разрешающая способность при минимальной экспозиции.
- Высокая тентингующая способность, с возможностью перекрывать отверстия до 7,5 мм.
- При раздубливании фоторезист удаляется мелкими частицами без образования прозрачных пленок в «карманах» топологии рисунка, что максимально благоприятствует непрерывной конвейерной обработке — раздубливание, промывка, травление без промежуточной стадии контроля.

Таблица 23. Химические свойства UPC-9000

| Свойства                  | Результат теста | Метод тестирования   |
|---------------------------|-----------------|--|
| Стойкость к растворителям | Стойкая         | IPC-SM-840C 3.6.1.<br>Нет набухания, отслоения, изменения цвета, растрескиваний покрытия под воздействием:<br>– изопропилового спирта при комнатной температуре, 60 мин;<br>– трихлорэтана при комнатной температуре, 60 мин;<br>– ацетона при комнатной температуре, 60 мин;<br>– толуола при комнатной температуре, 60 мин |
| Стойкость к химикатам     | Стойкая         | IPC-SM-840C 3.6.1.2<br>Нет набухания, отслоения, изменения цвета, растрескиваний покрытия под воздействием:<br>– 10 (об.)% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> при комнатной температуре, 30 мин;<br>– 10 (об.)% HCl при комнатной температуре, 30 мин;<br>– 10 (вес.)% NaOH при комнатной температуре, 30 мин                    |
| Влагостойкость            | Стойкая         | IPC-SM-840C 3.6.2. Без каких-либо изменений  |
| Тест на старение          | Устойчива       | 120 °С, 2 атмосферы, 5 ч   |

Таблица 24. Нагревостойкость UPC-9000

| Свойства                          | Результат теста | Метод тестирования  |
|-----------------------------------|-----------------|---|
| Устойчивость к воздействию припоя | ОК              | IPC-SM-840C 3.7.1   |
| Стойкость к припою                | Устойчива       | IPC-SM-840C 37.2<br>Не прилипает к поверхности, не вздувается   |
| Тест на термоциклирование         | Устойчива       | IPC-SM 840C 3.9.3<br>Не вспучивается, не растрескивается, не отслаивается   |
| Нагревостойкость                  | Стойкая         | JISC64SI<br>Температура припоя 270 °С, 10 с.<br>При окунании в припой не расслаивается, не вспучивается   |
| Стойкость к горячему лужению      | Стойкая         | Температура припоя 260 °С, выдержка 4 с, температура горячего воздуха ножей — 260 °С, давление струй горячего воздуха — 3,8 кг/см <sup>2</sup> , тройное погружение |

Таблица 25. Технологические характеристики фоторезистов серии «Т»

| Параметры                                   | T-15  | T-20  |
|---|-------|-------|
| Толщина, мкм                                | 40 ±2 | 50 ±2 |
| Энергия экспонирования, мДж/см <sup>2</sup> | 30–70 | 40–90 |
| Адгезия, мкм                                | 25    | 30    |
| Разрешающая способность, мкм                | 35    | 45    |

- Хорошее контрастное изображение после экспонирования позволяет быстро и точно оценить качество рисунка и совмещение. Технологические характеристики фоторезистов серии «Т» представлены в таблице 25.

**Сухой пленочный фоторезист типа T-15**

Характеристика фоторезиста T-15:

- Тип фоторезиста — T-15.
- Толщина — 40 ±2 мкм.
- Цвет до экспонирования — зеленый.
- Цвет после экспонирования — голубой.
- Рекомендуемое применение:
  - Гальванические операции.
  - Тентинг-процесс.
  - Кислое травление.

Стандартная ширина рулона СПФ: 305 и 610 мм. По желанию заказчика производится нарезка СПФ с дискретом 2 мм. Длина рулона — 180 м. Фоторезист поставляется в коробках по два рулона (для двустороннего нанесения).

## Технология применения фоторезиста Т-15

1. Подготовка поверхности перед ламинированием. Для достижения максимальной адгезии медная поверхность должна быть сухой и не содержать окислов, инородных вкраплений. Приведем пример подготовки поверхности:

- Зачистка заготовок на автоматических щеточных машинах, либо ручная зачистка с применением зачищенной пемзы, либо химическая очистка.
- Промывка водой.
- Струйная обработка в 10–15%-ной серной кислоте.
- Промывка водой.
- Обдувка чистым воздухом, свободным от масляных загрязнений.
- Сушка при температуре 40...65 °С.
- Для достижения максимальной адгезии необходимо обеспечивать шероховатость поверхности  $Rz = 1,5-3,0$  мкм. В случае применения микротравителей необходимо обеспечивать шероховатость на уровне 1 мкм или более.

**Примечание.** Другие методы очистки, такие как пемза, щетки плюс пемза и химические способы, также можно применять для фоторезиста марки Т-15.

2. Накатка. Рекомендуемые параметры:

- Температура валков — 100...120 °С.
- Скорость накатки — 1,0–3,0 м/мин.
- Давление на валики (воздушное) — 35–50 psi.
- Температура заготовки на выходе — 40...65 °С, желательно придерживаться верхнего предела.

**Примечание.** После ламинирования необходимо, чтобы заготовки вылежались в течение 15 мин или более: для выравнивания температуры до уровня в зоне экспонирования.

3. Экспонирование. Рекомендуемые параметры (рис. 2):

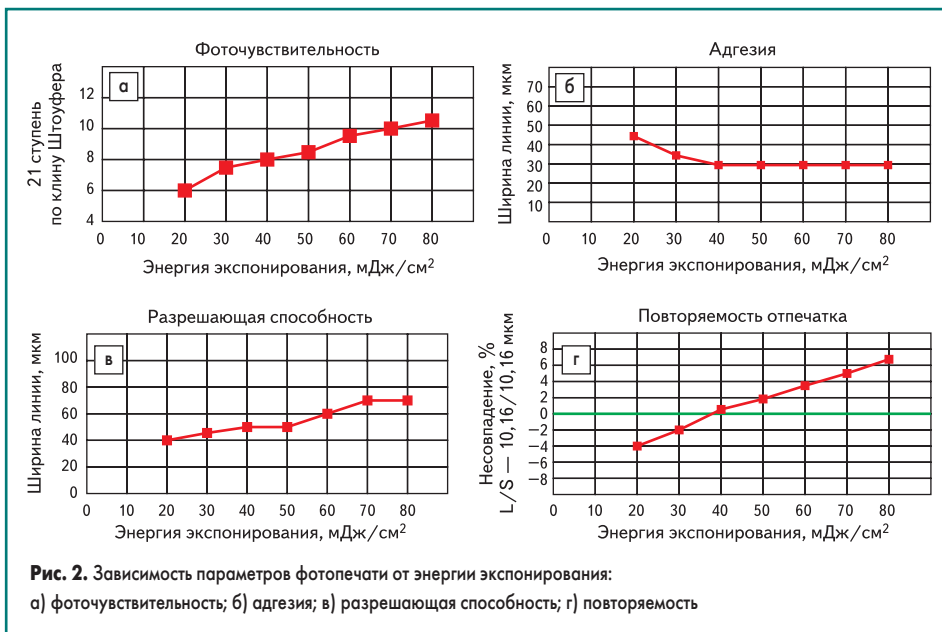
- Энергия экспонирования — 30–70 мДж/см<sup>2</sup>.
- Энергия экспонирования по клину Штоуфера (21) — 7–10.
- Время выдержки (минимальное) — 15 мин.

**Примечание.** При выборе режимов экспонирования необходимо помнить о зависимости между поглощенной энергией, шириной проводника, адгезией и физическими свойствами фотополимера (см. графики выше). Время выдержки между экспонированием и проявлением должно находиться в интервале от 15 мин до двух дней.

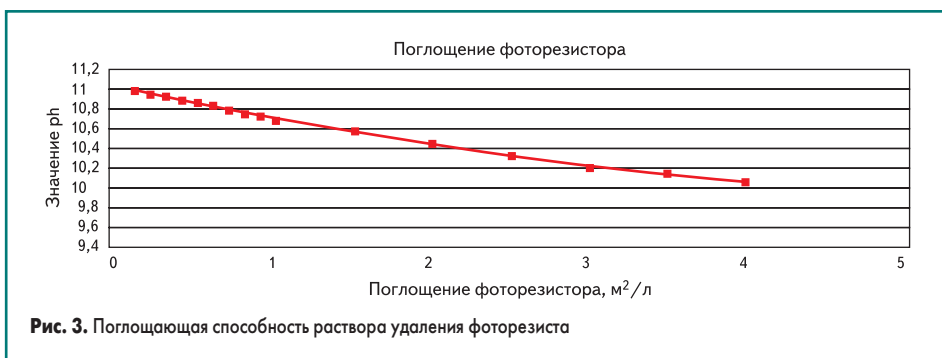
4. Проявление:

- Раствор проявления — 0,8–1,2% карбонат натрия (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>).
- Температура — 28...34 °С.
- Точка вскрытия (В.Р.) — 50–75% от длины камеры проявления.
- Время проявления — 40–48 с при 30 °С и 50% В.Р.
- Давление раствора — 1,5–2,0 кг/см<sup>2</sup>.

**Примечание.** Рекомендуется, чтобы длина модуля отмытки составляла 3/4 длины модуля проявки. При необходимости в раствор проявителя добавляется пеногаситель.



**Рис. 2.** Зависимость параметров фотопечати от энергии экспонирования: а) фоточувствительность; б) адгезия; в) разрешающая способность; г) повторяемость



**Рис. 3.** Поглощающая способность раствора удаления фоторезиста

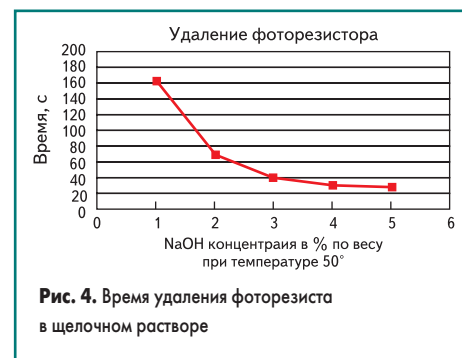
Время проявления зависит от следующих факторов: типа машины, давления жидкости раствора, температуры и т. д.

Наилучших результатов можно достичь, когда неэкспонированная часть фоторезиста удаляется между половиной и двумя третями общей длины камеры проявления (точка вскрытия).

В случае тентинг-процесса время пролеживания после проявления и до начала гальванических операций должно быть минимальным.

5. Подготовка поверхности. Обязательна очистка медной поверхности перед гальваническими операциями. Эффективной очисткой считается теплая кислая среда, затем микротравление, для создания микрошероховатости поверхности, активация. Приведем пример подготовки поверхности:

- Кислая очистка — 50 °С, 5 мин.
- Струйная промывка — 1 мин, комнатная температура.
- Микротравление — 2,5 мкм шероховатости меди.
- Струйная промывка — 1 мин, комнатная температура.
- Активация, 10%-ная H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> — по объему, 1 мин.
- Гальванические операции.
- Удаление фоторезиста (рис. 3, 4):
  - время — 30–70 с;
  - температура — 40...60 °С;
  - давление раствора — 1,0–3,0 кг/см<sup>2</sup>;
  - концентрация — 2–4% NaOH.



**Рис. 4.** Время удаления фоторезиста в щелочном растворе

Для получения мелких частиц на стадии удаления рекомендуется применять концентрацию на уровне 2%.

6. Техника безопасности и работа с материалом:

- Избегайте контакта неэкспонированного фоторезиста с кожей. В случае контакта вымыть участок кожи с мылом.
- Необходима вентиляция в зоне ламинирования.
- Вскрывать упаковку фоторезиста только при желтом свете.
- Не использовать вторично отходы от использованного фоторезиста (пленку полиэтиленовую и полиэфирную (майлар)).

7. Хранение. Хранение СПФ Т-15 производится в горизонтальном положении и оригинальной упаковке в прохладном чистом месте при температуре 5...20 °С и относительной влажности 50 +10%. Гарантированный срок хранения — 9 месяцев с даты изготовления.

**Сухой пленочный фоторезист T-20**

Характеристика фоторезиста T-20:

- Тип фоторезиста — T-20.
- Толщина — 50 ± 2 мкм.
- Цвет до экспонирования — зеленый.
- Цвет после экспонирования — голубой.
- Рекомендуемое применение:
- Гальванические операции осаждения Cu, SnPb, Sn.
- Тентинг-процесс и кислотное травление по фоторезисту.

Стандартная ширина рулона — 305 и 610 мм. По желанию заказчика производится нарезка с шагом 2 мм. Длина рулона — 150 м. Фоторезист поставляется в коробках по два рулона.

**Технология применения фоторезиста T-20**

Подготовка поверхности перед ламинированием и накатка фоторезиста T-20 аналогична обработкам фоторезиста T-15.

Характеристики процесса экспонирования (рис. 5):

- Энергия экспонирования — 40–90 мДж/см<sup>2</sup>.
  - Энергия экспонирования по клину Штоуфера (21) — 7–11.
  - Время выдержки (минимальное) — 15 мин.
- Остальные операции обработки фоторезиста T-20 аналогичны обработке фоторезиста T-15.

**Вспомогательные материалы**

**Выравнивающая пленка**

**ViaPad DAF 200**

ViaPad DAF 200 — матовая термопластичная пленка на основе терморезистивного поливинила, которая позволяет прессовать ГПП и ГЖПП с высокоразвитым медным рельефом.

Свойства пленки:

- Пленка размягчается при температуре 80 °С и защищает отверстия от попадания на поверхность ПП эпоксидной смолы.
- Позволяет перераспределять связующие равномерно по всей поверхности ПП.
- Не допускает возникновения воздушных пауз в топологии проводящего рисунка с высотой проводников до 150 мкм.
- Позволяет работать с акриловым и эпоксидным связующими.
- Имеет отличный выравнивающий эффект.
- Совместима с такими диэлектриками и материалами, как PET, PVF, ETFE, PTFE.
- Толщина пленки: 200 мкм.

Материал поставляется в рулонах шириной 650 мм, возможна нарезка по размеру, который необходим заказчику.

**Thermo 500**

Thermo 500 — это идеальный композиционный материал для прессования жестких и гибких МПП. Композиция данного материала состоит из хлопка и целлюлозы и обеспечивает оптимальную передачу тепла прессуемому пакету заготовок.

Характеристики:

- Отличные выравнивающие свойства позволяют несколько раз использовать данный материал, пока толщина не изменится на 30% от первоначального значения.

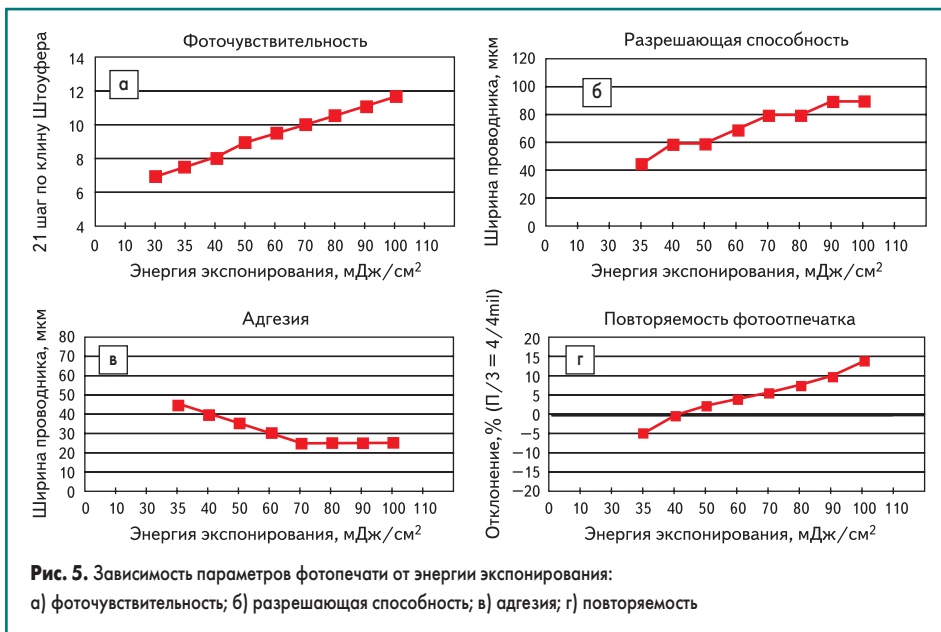


Рис. 5. Зависимость параметров фотопечати от энергии экспонирования:

а) фоточувствительность; б) разрешающая способность; в) адгезия; г) повторяемость

- Очищенные волокна хлопка и целлюлозы (хлопок >60%), цвет белый.
- Ровная поверхность.
- Равномерный прогрев прессуемого пакета.
- Не смачивается эпоксидными смолами.
- Переработка материала — 100%.

Технические данные:

- плотность — 500 г/м<sup>2</sup> +20;
- толщина — 1,0 мм ±0,08;
- температура прессования — 195 °С (3 ч);
- удельное давление — 40–400 Н/см<sup>2</sup>;
- влагопоглощение — 7% при относительной влажности 40%;
- возможность нарезки материала по размеру, который необходим заказчику.

**Пленка антиадгезивная UTF-100**

UTF-100 — антиадгезивная пленка из модифицированного полиэтилентерефталата.

Пленка предназначена для прессования пакетов МПП, обладает оптимальной эластичностью и не загрязняет поверхность заготовок.

Выдерживает температуру до 210 °С в течение 1,5 ч без видимых изменений.

Характеристики:

- Эффективная цена.
- Минимальные статические свойства, которые позволяют производить более чистую сборку пакетов МПП.
- Стабильные и оптимальные свойства.
- Низкое сжатие.
- Высокая растяжимость.
- Высокая прочность на разрыв.
- Хорошая теплопередача.
- Во время работы не выделяет вредных веществ, не токсична.

Технические данные:

- Материал — модифицированный полиэтилентерефталат.
- Цвет — прозрачный, матовый.
- Толщина — 25–38 мкм.
- Плотность — 32,2 м<sup>3</sup>/кг при толщине 25 мкм.
- Температура прессования — >185 °С (3 ч).
- Максимальная температура прессования — <210 °С (1,5 ч).
- Твердость — 45 по Шору D.
- Предельное удлинение — 110% MD, 70% TD.

- Нарезка материала производится стандартным способом:
  - обычными ножницами;
  - скальпелем по копиру;
  - роликовыми ножницами;
  - нарезка пакета материала гильотиной.

**Примечание.** Листы антиадгезивной пленки UTF-100 необходимо нарезать в размер пресс-формы или с припуском 5 мм на каждую ее сторону, чтобы избежать загрязнения эпоксидной смолой оснастки и самого пресса.

Фиксирующие отверстия пробиваются стандартным способом с помощью пуансона и матрицы по копиру. Можно осуществлять пробивку пакета из 10–20 листов антиадгезивной пленки в связи с ее малой толщиной. При этом гарантируется получение ровных отверстий без разрыва пленки.

Также возможно формирование отверстий на станках с ЧПУ, причем сверху и снизу пакета из 10–20 листов пленки кладется прокладочный материал (например, LC25).

При аккуратном применении возможно неоднократное использование пленки.

**Термобуфер ViaPad 350**

ViaPad 350 — специально разработанная бумага высокой плотности для прессования жестких МПП и производства базовых фольгированных материалов.

Характеристики:

- Очищенные волокна целлюлозы.
- Высокая плотность.
- Голубой цвет.
- Равномерная передача теплового потока.
- Переработка материала — 100%.

Технические данные:

- Плотность — 350 ± 10 г/м<sup>2</sup>.
- Толщина — 0,8 ± 0,05 мм.
- Температуры прессования — 195 °С (3 ч).
- Удельное давление — 40–400 Н/см<sup>2</sup>.

Возможность нарезки материала по размеру, который необходим заказчику.

**Термобуфер ViaPad 400**

ViaPad 400 — это идеальный композиционный материал для прессования гибких МПП.



Этот материал мягче, чем термобуферы Thermo 500 и ViaPad 350.

Характеристики:

- Отличные выравнивающие свойства, что позволяет несколько раз использовать данный материал, пока его толщина не изменится на 50% от первоначального значения.
- Очищенные волокна хлопка и целлюлозы (хлопок >60%), цвет белый.
- Ровная поверхность.
- Равномерный прогрев прессуемого пакета.
- Не смачивается эпоксидными, акриловыми смолами.
- Переработка материала — 100%.

Технические данные:

- Плотность —  $400 \pm 20$  г/м<sup>2</sup>.
- Толщина —  $1,0 \pm 0,1$  мм.
- Температура прессования — 195 °С (3 ч).
- Удельное давление — 40–300 Н/см<sup>2</sup>.
- Влагопоглощение — 7% при относительной влажности 40%.

Возможность нарезки материала по размеру, который необходим заказчику.

#### Фольга ViaPad ATF50

ViaPad ATF 50 — это алюминиевая фольга, которая помогает прессовать покрывные слои на ГПП и гибкие МПП.

Свойства пленки:

- Позволяет тентировать сквозные отверстия большого диаметра в процессе прессования МПП.
- Не позволяет прилипнуть и рваться антиадгезивной пленке UTF100 на углах больших отверстий.
- Толщина пленки — 50 мкм.
- Шероховатость поверхности пленки — менее 4 мкм.
- Материал: алюминиевый сплав с высокой твердостью поверхности и гибкостью.

#### Высокотемпературная антиадгезивная пленка ViaPad HTF 25

ViaPad HTF 25 — высокотемпературная антиадгезивная пленка из модифицированного полиэтилентерафталата.

Пленка предназначена для прессования пакетов МПП, обладает оптимальной эластичностью и не загрязняет поверхность заготовок.

Выдерживает температуру более 210 °С в течение 1 часа без видимых изменений.

Позволяет прессовать высокотемпературные диэлектрики со связующими из BT, SE или тетра-функциональные эпоксидные смолы с высокой температурой стеклования (Tg).

Характеристики:

- Эффективная цена.
- Минимальные статические свойства, которые позволяют производить более чистую сборку пакетов МПП.
- Стабильные и оптимальные свойства.
- Низкое сжатие.
- Высокая растяжимость.
- Высокая прочность на разрыв.
- Хорошая теплопередача.
- Во время работы не выделяет вредных веществ, не токсична.

Технические данные:

- Материал — модифицированный полиэтилентерафталат.

- Цвет — прозрачный, матовый.
- Толщина — 25–38 мкм.
- Плотность — 21,2 м<sup>2</sup>/кг при толщине 25 мкм.
- Температура прессования — >185 °С (3 ч).
- Максимальная температура прессования — >210 °С (60 мин).
- Твердость — 48 по Шору D.
- Теплопроводность — 0,24 Вт/м·К.
- Нарезка материала производится стандартным способом:
  - обычными ножницами;
  - скальпелем по копиру;
  - роликными ножницами;
  - нарезка пакета материала гильотиной.

Материал поставляется в рулонах шириной от 460 до 1360 мм, возможна нарезка по размеру, который необходим заказчику.

#### Материал PPL (Phenol Paper Laminates)

Материал PPL (Phenol Paper Laminates) — это бумажные слои, пропитанные модифицированной фенолформальдегидной смолой. Материал специально разработан для сверления отверстий малого диаметра. Материал PPL содержит полностью (100%) полимеризованную смолу, в результате чего листы из PPL обладают однородными свойствами, как по толщине, так и по поверхности.

Применение PPL в качестве накладки для сверления гарантирует минимизацию увода сверла от узлов координатной сетки, как при вхождении, так и на выходе из заготовки, в результате чего повышается точность совмещения.

Повышенная твердость поверхности материала (>80 по Шору D) обеспечивает сверление практически без медных заусенцев. Полная полимеризация PPL позволяет применять его при скорости резания 200 м/мин и более, без размазывания смолы по каналу отверстий, так как температура деляминации лежит выше 300 °С, а также позволяет обрабатывать такие диэлектрики, которые тверже диэлектриков на основе эпоксидной смолы (BT-смолы и др.). Применение PPL в качестве подложки и накладки улучшает качество полученного отверстия за счет легкого выноса стружки из зоны резания.

После операции сверления материал PPL для экономии денежных средств применяется в качестве подложки/накладки для фрезерования, тем самым предотвращая появление царапин и сколов на готовом изделии.

Технические данные:

- Материал — крафт-бумага с 100%-ной полимеризованной смолой.
  - Толщина — 0,5 мм, разброс толщины в соответствии со стандартом IPC KL II.
  - Удельный вес материала — 740 г/м<sup>2</sup>.
  - Твердость — более 80 по Шору D.
  - Температура деляминации — более 300 °С.
- Материал можно обрабатывать путем пиления, строгания или резки.

#### Плиты для базирования заготовок на станках CNC-Safetool

Плиты Safetool применяются в качестве переходных базовых плит для сверления и фрезерования ПП. Плиты Safetool позволяют точно позиционировать и фиксировать заготовки ПП на столе станка, не подвергая станок

техническому изменению. Плиты предотвращают порчу стола станка и шпинделя при случайном врезании фрезы или сверла ниже выставленного уровня. Плиты Safetool обладают повышенной твердостью и необходимой прочностью для фиксации базовых штифтов и резбовых втулок и являются альтернативой алюминиевым плитам.

Материал плит Safetool имеет меньший коэффициент термического расширения и обладает лучшей геометрической стабильностью, что очень важно для большой заготовки.

Плиты Safetool изготавливаются из меламинфенолакриловой композиции высокой плотности. В тех случаях, когда плиты используются в качестве подкладки и фиксации заготовки при фрезеровании, материал обеспечивает хороший отвод стружки и имеет ровный обработанный край (фрезерование с отводом стружки вниз, вверх).

Свойства материала:

- Очень гладкая поверхность (шероховатость поверхности менее 3 мкм).
  - Цвет светло-бежевый.
  - Материал обработан с двух сторон.
  - Твердость поверхности — более 97 по Шору D.
  - Абсолютно плоская поверхность.
  - Материал плиты полностью полимеризован. Не происходит размазывание продуктов резания на заготовке. Температура стеклования — более 130 °С.
  - Способность выдерживать многократные установки и демонтаж фиксирующих и позиционирующих штифтов.
  - Механическая стабильность.
  - Изгиб <0,3%, параллельность поверхностей —  $50 \times 10^{-6}$ .
  - Двустороннее использование.
- Поставляемые размеры плит:
- стандартная толщина — 6,35–9,50 мм;
  - специальная толщина — 12,70–19,00 мм;
  - стандартные размеры — 610×1220, 1220×1220 мм.

#### Меламиновые панели МЕВ

МЕВ — это панели для механообработки ПП с повышенной плотностью межсоединений и для получения микроотверстий.

МЕВ производятся из бумаги, пропитанной фенольной смолой и покрытой твердой поверхностью из смеси рhp-меламин.

Использование специального высокотемпературного меламин эффективно понижает вероятность размазывания продуктов резания на стенки глухих и сквозных отверстий, препятствует появлению гвоздевого эффекта и др.

Характеристики:

- Отличная плоскостность.
- Оптимальная твердость.
- Отсутствие размазывания.
- Отсутствие заусенцев.
- Хорошее удаление продуктов резания.
- Подходит для глухих и сквозных отверстий диаметром меньше 0,3 мм.
- Режется роликными и гильотинными ножницами.
- Хороший визуальный контроль благодаря белому цвету.
- Не засоряет окружающую среду.

Свойства материала:

- Номинальная толщина — 0,4 мм.
- Плотность материала — 0,4 кг/см<sup>3</sup>.
- Размеры листов — 1070×1220, 920×1220 мм.
- Материал имеет красно-коричневый цвет.

Панели хранятся в чистом месте при комнатной температуре, в оригинальной упаковке в горизонтальном положении или сложены в пачку.

Отработанный материал не загрязняет водную среду отравляющими и вредными веществами.

### Подкладочные панели для сверления и фрезерования ПП

Материал панелей был специально разработан для обработки современных высокотехнологичных МПП и ДПП. В состав группы подкладочных материалов входит два вида, и относятся они к экологически чистым материалам, которые утверждены ведущими европейскими и азиатскими производителями ПП.

LC 25 является чистым древесно-волоконистым материалом, обладающим высокой прочностью и твердостью. Его получают с помощью высокого давления.

Материал обеспечивает хорошую плоскостность и гладкость поверхности. Отсутствие ворсинок, сторонних смол и липких веществ позволяет получать чистые отверстия даже при микросверлении.

LC 25 эффективно используется как для обычного сверления, так и для сверления микроотверстий.

Характеристики материала LC 25:

- Толщина — 2,5 мм.
- Прочность — >22 Н/см.
- Твердость — 68–70 по Шору D.
- Размер листов — 240×930 мм или нарезка по размеру, который необходим заказчику.

Поддается обработке гильотинными ножницами или пилением и не требует нагрева.

Отходы материала при утилизации не токсичны.

MP 6 — древесно-волоконистая плита, с двух сторон покрытая меламином. Материал разработан для производства ПП с очень твердой поверхностью.

Характеристики материала MP 6:

- Толщина — 2,5 мм.
- Прочность — >24 Н/см.
- Твердость — 85–88 по Шору D.

- Размер листов: 1240×930 мм или нарезка по размеру, который необходим заказчику.

Поддается обработке гильотинными ножницами или пилением и не требует нагрева.

Отходы материала при утилизации не токсичны.

### Алюминиевые накладки для сверления печатных плат

Алюминиевые накладки соответствуют европейским стандартам.

Накладка обеспечивает технические требования процесса механообработки в производстве высокотехнологичных жестких ДПП, МПП и соответствует всем необходимым требованиям для накладочного материала.

Материал одобрен ведущими европейскими производителями и демонстрирует превосходные характеристики:

- Улучшается центровка и точность сверления.
  - Листы материала обладают прецизионной плоскостностью и позволяют уменьшить вибрации режущего инструмента.
  - Оптимальная твердость и стружкоудаление.
  - Хороший теплоотвод.
  - Хорошо пилится и рубится на гильотинных ножницах.
  - Минимальное прилипание смолы к режущей кромке инструмента.
  - Эффективная цена.
  - 100%-ный возврат в производство.
- Характеристики материала:
- Материал — AL 3105 сплав, финишной обработки, не содержит масел и жира.
  - Твердость — градация F20 в соответствии со стандартами.
  - Прочность — >200 Н/мм<sup>2</sup>.
  - Толщины — 0,20; 0,24; 0,28 мм.
  - Размеры — 1230×930, 1225×1070 мм.

### Литература

1. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 1. Производство гибких плат без металлизированных отверстий // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 3.
2. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А., Шкундина С. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 2. Производство гибких плат с металлизированными отверстиями // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 4.

на С. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 2. Производство гибких плат с металлизированными отверстиями // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 4.

3. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 3. Нанесение покровного слоя // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 5.
4. Медведев А., Люлина В., Мылов Г., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 4. Изготовление гибких и гибко-жестких многослойных печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 6, 7.
5. Медведев А., Мылов Г., Люлина В., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А., Шкундина С. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 5. Специальные виды обработки // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 8.
6. Медведев А., Мылов Г., Люлина В., Набатов Ю., Семенов П., Сержантов А. Производство гибких и гибко-жестких печатных плат. Часть 6. Специальные средства контроля и испытания печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 1.
7. Технологии в производстве электроники. Часть III. Гибкие печатные платы / Под общ. ред. А. М. Медведева и Г. В. Мылова. М.: Группа ИДТ, 2008.