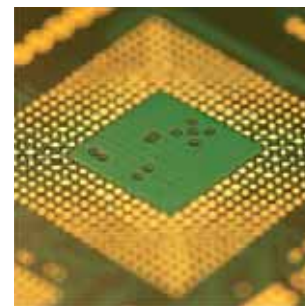
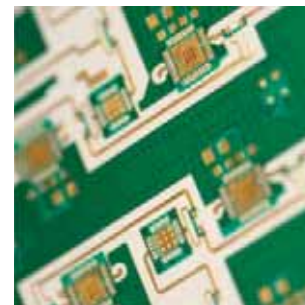
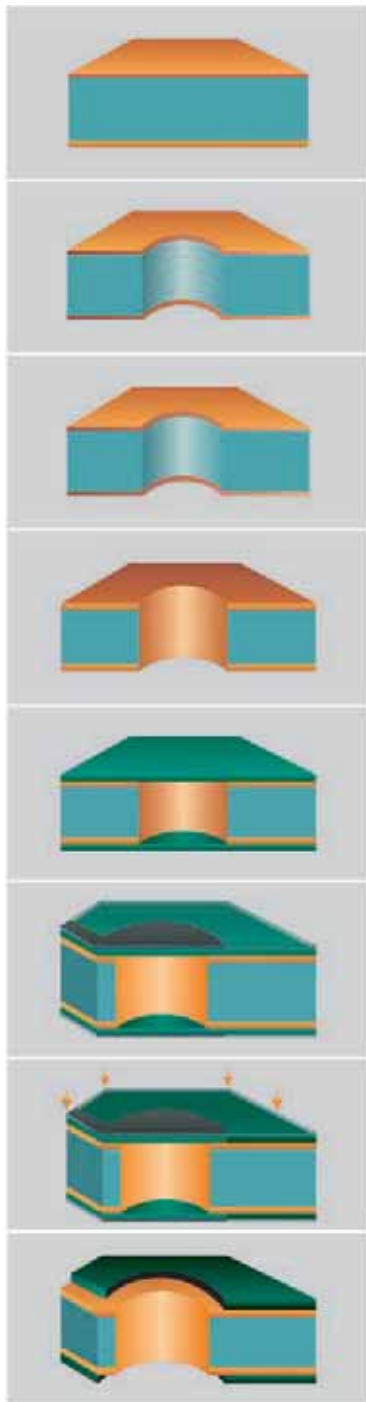


ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДВУСТОРОННИХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	2
КОНСТРУКЦИИ СЛОЖНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	4
ГИБКИЕ И ГИБКО-ЖЕСТКИЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ.....	4
ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОСНОВАНИЕМ.....	10
МПП ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТИ (HDI).....	12
СВЧ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ.....	13
БАЗОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	14
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВ.....	15
ТИПЫ ФИНИШНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	15
МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СКРАЙБИРОВАНИЕМ (V-CUT).....	16
ЗАЩИТНАЯ ПАЯЛЬНАЯ МАСКА.....	17
МАРКИРОВКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	18
ЭЛЕКТРОТЕСТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	18
РАСЧЕТ НОМИНАЛЬНЫХ МОНТАЖНЫХ ОТВЕРСТИЙ.....	18
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ДИАМЕТРА МОНТАЖНОГО ОТВЕРСТИЯ.....	19
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ БАЗОВОЙ ТОЛЩИНЫ ФОЛЬГИ.....	20
РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ В PCAD200X.....	21
ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-X И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ PCAD200X.....	22
ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-X И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ ORCAD LAYOUT.....	27
ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-X И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ PROTEL DXP (ALTIUM DISIGNER).....	29
ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-X И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ DIPTRACE.....	33
ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-X И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ SPRINT-LAYOUT.....	35
ПОДГОТОВКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ К ПРОИЗВОДСТВУ.....	37
ПОВТОРНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	37
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	37
СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ.....	38
ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	39
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	40
ФИНИШНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПЛАТ, БЕССВИНЦОВАЯ И СМЕШАННАЯ ТЕХНОЛОГИИ.....	43
ПОДГОТОВКА ПРОЕКТА ПОД АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНТАЖ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	43
РАЗМЕЩЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ.....	44
КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ.....	45
РЕПЕРНЫЕ МЕТКИ.....	46
ПОЛИГОНЫ.....	47
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛЯ.....	47
РАЗМЕРЫ ПЛАТ И ГРУППОВЫХ ЗАГОТОВОК.....	48
РАЗДЕЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК НА ПЛАТЫ.....	48
РАЗМЕЩЕНИЕ ЗАКАЗОВ НА МОНТАЖ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	49
ПОДГОТОВКА ДОКУМЕНТАЦИИ.....	49
КОМПЛЕКТАЦИЯ.....	49
ДЛЯ НАШИХ КЛИЕНТОВ.....	50
ПРЯМАЯ СВЯЗЬ С НАМИ – МОСКОВСКИЙ ОФИС.....	51
АДРЕСА ОФИСОВ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВ.....	52





### ИСХОДНЫЙ МАТЕРИАЛ

Исходный материал – это заготовка двусторонней печатной платы, вырезанной из фольгированного диэлектрика. Диэлектрическое основание – стеклоэпоксидная композиция: стеклоткань, пропитанная эпоксидной смолой. Медная фольга может иметь толщину от 5 до 480 мкм.

### СВЕРЛЕНИЕ СКВОЗНЫХ ОТВЕРСТИЙ

На специализированных станках с ЧПУ в плате сверлятся отверстия.

### ОЧИСТКА ОТВЕРСТИЙ ОТ НАНОСА СМОЛЫ (DESMEAR)

Отверстия платы очищаются от наноса смолы на медные торцы слоев. Варианты способов очистки: травление в серной кислоте, в растворе перманганата, плазмохимическая очистка, гидроабразивная обработка.

### ХИМИЧЕСКОЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ ТОНКОГО СЛОЯ МЕДИ

Этот этап необходим для придания стенкам отверстий проводимости для последующей гальванической металлизации. Рыхлый слой химически осажденной меди быстро разрушается, поэтому его усиливают тонким слоем гальванической меди. Сейчас появилась альтернатива химической металлизации – прямая металлизация, при которой стенки отверстий покрываются очень тонким слоем палладия. Тогда химическая и предварительная гальваническая металлизации не требуются.

### НАНЕСЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА

Следующий этап – нанесение на заготовку фоточувствительного материала (фоторезиста). Как правило, это пленочный фоторезист, наслаиваемый на заготовку специальным валковым устройством- ламинатором. Для улучшения адгезии фоторезиста поверхность заготовки очищается. Этот этап проходит в чистой комнате с неактивным (желтым) освещением (фоторезист светочувствителен к ультрафиолетовому спектру).

### СОВМЕЩЕНИЕ ПОЗИТИВНОГО ФОТОШАБЛОНА

С заготовкой совмещается фотошаблон. Круг, часть которого изображена – контактная площадка. Изображение на фотошаблоне позитивное по отношению к будущей схеме.

### ЭКСПОНИРОВАНИЕ ФОТОРЕЗИСТА

Участки поверхности, прозрачные на фотошаблоне, засвечиваются. Засвеченные участки в процессе дальнейшего проявления фотополимеризуются и теряют способность к растворению. Фотошаблон снимается.

### ПРОЯВЛЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА

Изображение на фоторезисте проявляется: незасвеченные участки растворяются, засвеченные фотополимеризуются и остаются на плате, потеряв способность к растворению. В результате фоторезист остается в тех областях, где проводников на плате не будет. Таким образом, на плате остается негативное изображение топологии схемы. Назначение оставшегося фоторезиста – обеспечить избирательное гальваническое осаждение меди.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ (ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ) ОСАЖДЕНИЕ МЕДИ

Медь наносится на поверхность стенок отверстий до толщины не менее 20 мкм. При такой толщине металлизация обеспечивает необходимую прочность при термодинамических нагрузках, свойственных последующей пайке. При металлизации отверстий неизбежно металлизуются поверхности проводников.

## ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЗИСТА

Металлорезист, во-первых, служит защитой проводников и металлизированных отверстий от травления. Во-вторых, он защищает медь от окисления. И, наконец, в-третьих, он необходим для длительного сохранения способности платы к пайке, если остается как финишное покрытие (в этом случае применяют составы, основанные, например, на золоте). Если в качестве металлорезиста используется гальванический сплав олово-свинец, он может быть оплавлен для получения сплава, длительно сохраняющего способность к пайке.

## УДАЛЕНИЕ ФОТОРЕЗИСТА

Фоторезист удаляется, оставляя металлорезист на проводниках и в отверстиях, и обнажает медь в пробельных местах (зазорах). Медь, покрытая металлорезистом, останется не вытравленной и формирует топологию слоев платы.

## ТРАВЛЕНИЕ МЕДИ

На этом этапе металлорезист защищает медь от травления. Незащищенная медь растворяется в травящем растворе, оставляя на плате рисунок будущей схемы.

## УДАЛЕНИЕ МЕТАЛЛОРЕЗИСТА ОЛОВО-СВИНЕЦ

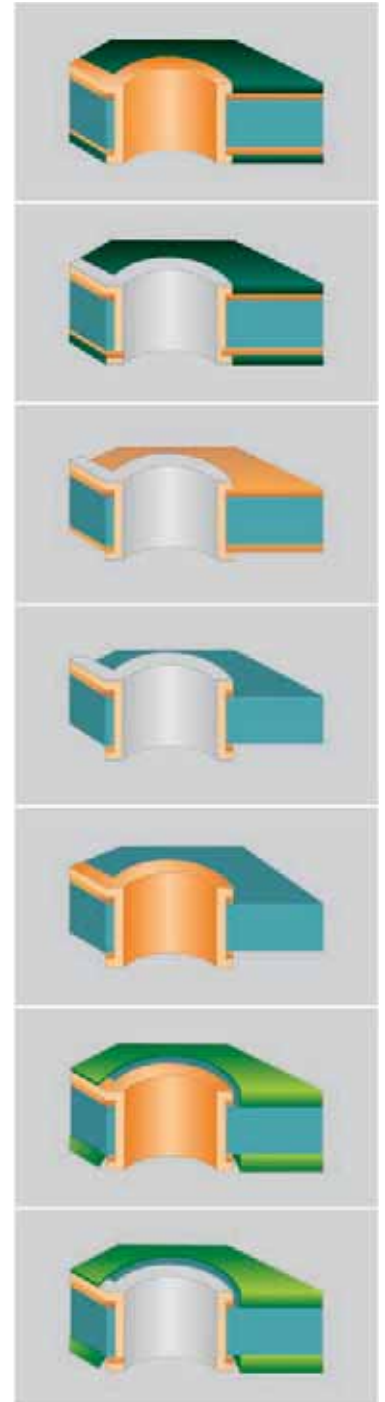
Металлорезист удаляется с поверхности меди в специальном растворе. Это начало процесса, называемого SMOBC (Solder Mask over Bare Copper – маска поверх необработанной меди). В других процессах, например, если нанесение защитной маски не осуществляется, оловянно-свинцовая смесь оплавляется для дальнейшего использования (лужение).

## НАНЕСЕНИЕ ПАЯЛЬНОЙ МАСКИ

Для защиты поверхности платы и медных участков, не подлежащих лужению, на плату наносится паяльная маска – электроизоляционное нагревостойкое покрытие. Существует несколько типов масок и методов их нанесения. Если применяется фоточувствительная композиция – жидкая и пленочная, то маска наносится и обрабатывается методами фотолитографии, т.е. теми же способами, что и фоторезист. Этот процесс обеспечивает высокую точность совмещения. Способ трафаретной печати не обладает такой точностью, но более предпочтителен в массовом производстве.

## ОБЛУЖИВАНИЕ МОНТАЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ – HAL-ПРОЦЕСС (Hot Air Leveling – выравнивание горячим воздухом)

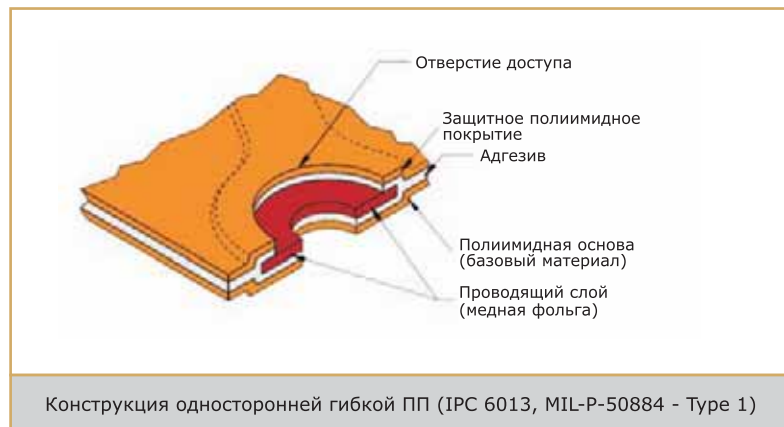
Не закрытые маской участки меди (монтажные отверстия, контактные площадки) облуживаются горячим припоем методом погружения. Чтобы не оставлять на плате натеков припоя и освободить отверстия от припоя, при изъятии из ванны, плата обдувается горячими «воздушными ножами». Кроме сдувания излишков, «воздушные ножи» выравнивают припой на поверхностях контактных площадок и монтажных отверстий. Теперь плата готова для заключительных этапов: нанесения надписей (трафаретная печать или фотолитография), обрезки по контуру, тестирования и упаковки.



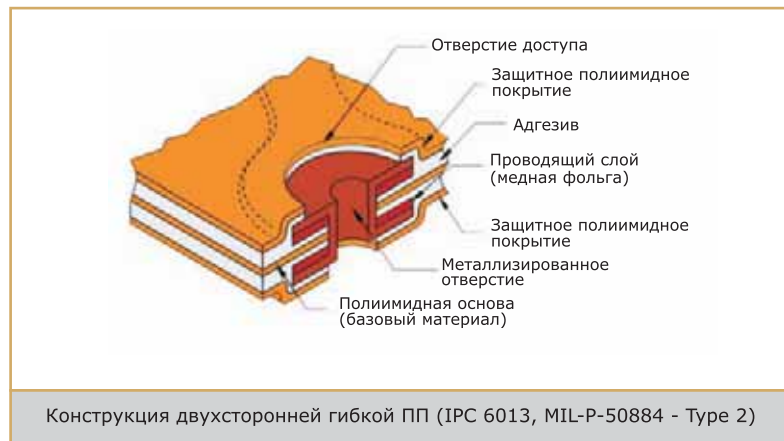
## ГИБКИЕ И ГИБКО-ЖЕСТКИЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

### Основные типы гибких печатных плат

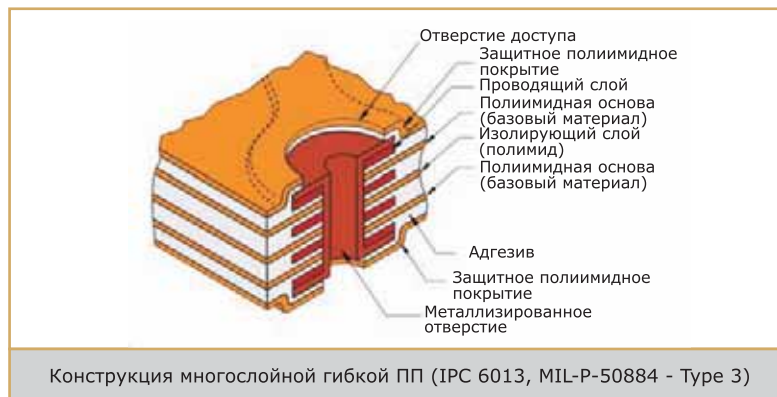
Типы гибких печатных плат определяются количеством проводящих слоёв, конструкцией, материалами и наличием или отсутствием металлизированных отверстий.



- один проводящий слой;
- защитный изоляционный слой с одной или с двух сторон;
- односторонний или двусторонний доступ к проводящему слою;
- возможно применение ужесточителей.



- два проводящих изолированных слоя;
- сквозные металлизированные отверстия;
- изоляционное покрытие с одной, с двух сторон, либо без него;
- односторонний или двусторонний доступ к проводящим слоям;
- возможно применение ужесточителей.



- три и более проводящих изолированных слоя;
- сквозные, глухие, скрытые металлизированные отверстия;
- изоляционное покрытие с одной, с двух сторон или без него;
- односторонний или двусторонний доступ к проводящим слоям (включая внутренние);
- возможно применение ужесточителей.



- два и более проводящих изолированных слоя;
- применение гибких и жестких диэлектриков в различных комбинациях;
- сквозные, глухие, скрытые металлизированные отверстия;
- изоляционное покрытие гибких и жестких частей;
- односторонний или двусторонний доступ к проводящим слоям (включая внутренние);
- возможно применение ужесточителей.

Существует так же пятый тип - многослойные гибкие ПП без сквозной металлизации (IPC 6013, MIL-P-50884 - Type 5). На практике используется крайне редко, поэтому его описание здесь не приводится.

## Элементы конструкции гибких печатных плат

- **основа** (базовый материал) - плёнки из полиимида, полиэтилентерефталата (PET, ПЭТФ, лавсан);
- **адгезив** (связующий материал) - акриловые, эпоксидные полимеры;
- **фольга** (проводящий материал) - медь, алюминий, константан;
- **защитное покрытие** (покрывной материал) - плёнки из полиимида, полиэтилентерефталата (PET, ПЭТФ, лавсан), фотопроявляемая паяльная маска;
- **дополнительные элементы** (ужесточители) - FR4, полиимид, полиэстер, металл (алюминий, сталь).

Доминирующим **базовым материалом** для производства гибких ПП является полиимид. Хотя полиэтилентерефталат значительно дешевле, его применяют значительно реже в виду более узкого диапазона рабочих температур и недостаточной размерной стабильности. Несмотря на недостатки полиэтилентерефталата, он всё же обладает рядом преимуществ, таких, например, как хорошая химическая стойкость и низкое влагопоглощение, а так же он легко формируется (низкотемпературный термопласт). Наибольшее применение находит в изготовлении односторонних гибких плат для узлов автомобильной промышленности.

**Адгезивы** используются как для соединения медной фольги с базовой плёнкой, объединения слоёв многослойных конструкций, приклеивания защитных слоёв и ужесточителей, так и создания клеящих областей на поверхности ПП.

**Медная фольга** используется двух типов – катанная ненагартованная и электроосаждённая. Катанная фольга обладает более высокими механическими свойствами, чем электроосаждённая, поэтому применяется в основном для производства ПП, рассчитанных на динамическую нагрузку и ПП с последующей формовкой контактов. Материалы с алюминиевой фольгой встречаются реже, в основном, в экранирующих материалах.

**Защитное покрытие** - это диэлектрический материал, защищающий внешние проводящие слои от воздействия окружающей среды. Может быть как в виде полиимидной или ПЭТФ плёнки с нанесённым с одной стороны слоем адгезива, так и в виде жидкой фотопроявляемой композиции. Плёночные материалы характеризуются хорошо согласованной гибкостью с базовыми материалами, высокой электрической и механической прочностью, но обрабатываются, в основном, механическими способами, поэтому топология защитных слоёв имеет низкое разрешение. Жидкие фотопроявляемые покрытия лишены этого недостатка, но так же в большинстве своём лишены и описанных выше преимуществ плёночных покрытий.

**Экранирующее покрытие** – отдельный тип покрытия, предназначенный для экранирования проводников ПП. Существует так же в виде плёночного композитного материала и в виде жидких полимерных композиций, содержащих наполнитель из проводящих материалов, таких как медь, серебро, графит. Плёночный материал представляет собой композит из диэлектрического базового слоя (полифенилсульфид, PPS), слоя алюминиевой фольги и слоя электро-

проводящего адгезива, позволяющего электрически связать экранирующий и внешние проводящие слои. Жидкие покрытия наносятся методом сеткографии.

Для придания жесткости отдельным частям гибких плат используют дополнительные элементы, называемые **ужесточителями**. Для их изготовления применяют различные материалы, обладающие необходимой жесткостью: в основном это полиимид и FR4, реже - алюминий и сталь. В качестве клеящего слоя для ужесточителей используются адгезивы, чувствительные к давлению или температуре.

## Стандартные материалы для гибких печатных плат

Существует весьма широкий спектр материалов, предназначенных для изготовления гибких ПП, отвечающих различным требованиям механических и электрических характеристик. Между тем, далеко не все производители гибких печатных плат имеют весь спектр производимых материалов в наличии и ограничиваются, как правило, определённым набором «стандартных» типов, поэтому желательно заранее уточнить у производителя ПП список имеющихся у него материалов. Выбор редко используемого типа материала может повлечь за собой значительное увеличение стоимости печатных плат и сроков производства.

В качестве базы, как правило, используют фольгированный диэлектрик, фольга в котором приклеена к основе с помощью адгезива. Существуют так же и безадгезивные материалы, которые, как правило, имеют более широкий рабочий температурный диапазон, обычно ограничиваемый адгезивами на уровне +150°C.

На рисунке показана структура адгезивного ламината для двусторонних и односторонних гибких печатных плат соответственно:



## КОНСТРУКЦИИ СЛОЖНЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

В таблице представлены наиболее распространённые базовые материалы:

Проводящие слои	Полиимид	Адгезив	Фольга
1	12,5 мкм	13 мкм	18 мкм
	25 мкм	25 мкм	18 мкм
	25 мкм	25 мкм	35 мкм
2	12,5 мкм	13 мкм	18 мкм
	25 мкм	25 мкм	18 мкм
	25 мкм	25 мкм	35 мкм

**Фольга** применяется катанная (динамический изгиб, формовка) или электроосаждённая (статический изгиб или небольшое общее количество циклов изгиба).

**Покрывные (защитные) плёнки** состоят из двух слоёв диэлектрического материала, см. рисунок:



Наиболее распространённые варианты покрывных плёнок приведены в таблице:

Полиимид	Адгезив
12,5 мкм	15 мкм
12,5 мкм	25 мкм
25 мкм	25 мкм

**Ужесточители** преимущественно изготавливаются из полиимида или FR4. Полиимидные ужесточители часто имеют в своём составе слой адгезива толщиной 25 мкм или 50 мкм, толщина полиимида может быть 75 мкм, 125 мкм, 175 мкм, 200 мкм и 225 мкм.

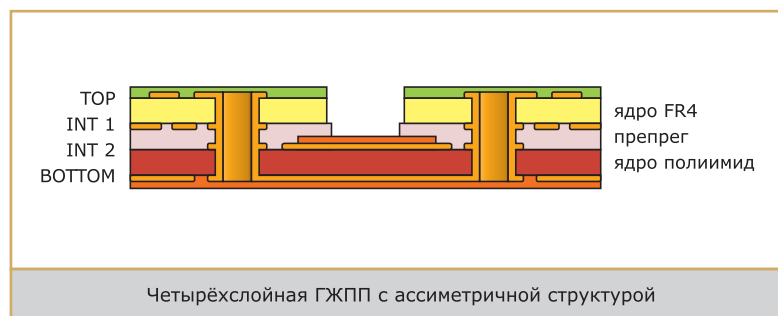
При изготовлении многослойных гибких печатных плат в качестве **связующих слоёв** применяют различные адгезивные плёнки: эпоксидные (13 мкм, 25 мкм, 50 мкм), акриловые (состоят из полиимидной основы, на обе стороны которой нанесён адгезив).

В качестве **финишных покрытий** контактных площадок и незащищённых участков топологии гибких печатных плат применяются: горячее лужение, иммерсионное золото по никелю, иммерсионное серебро, иммерсионное олово, гальваническое золото по никелю. Наибольшее распространение из перечисленных покрытий имеет иммерсионное золото по никелю, реже – лужение.

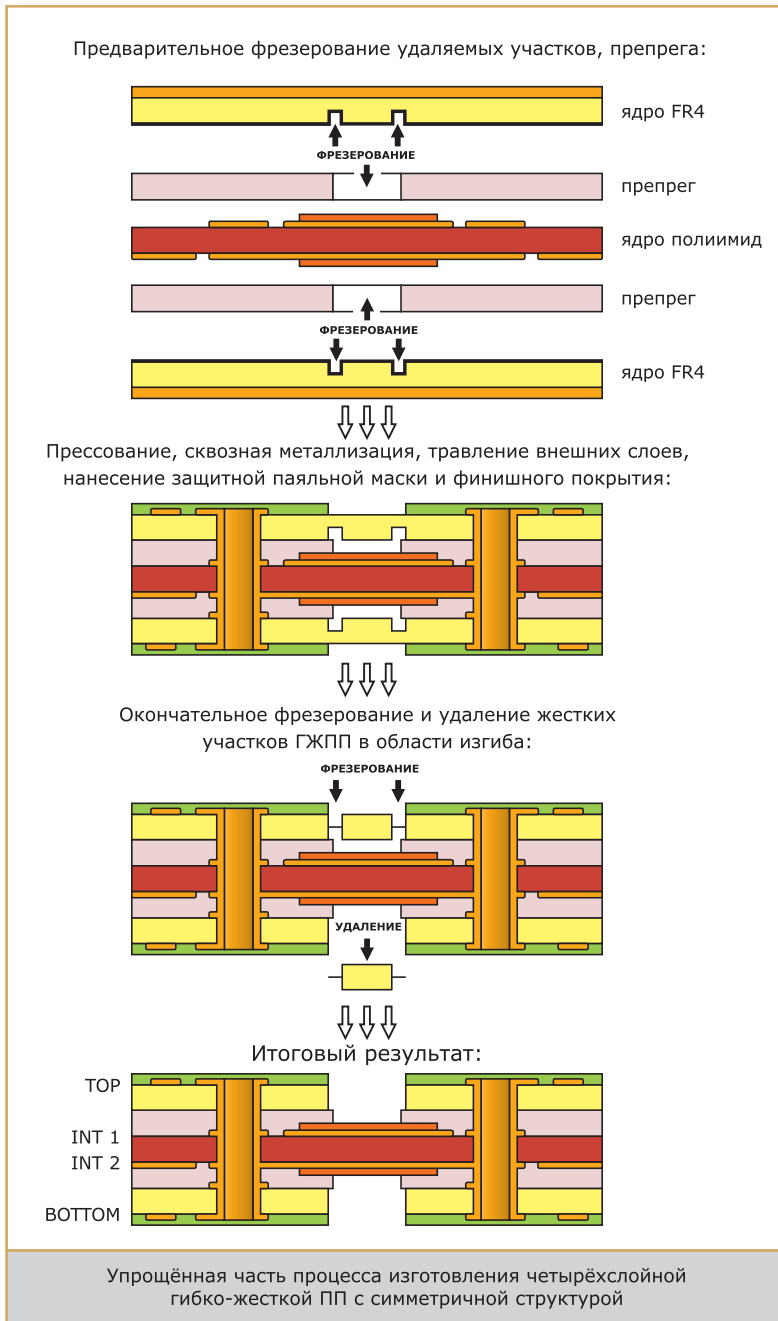
**Механическая обработка** гибких печатных плат выполняется штампованием. В случаях, когда необходимо изготовить опытные образцы, малые партии или выполнить сложный контур – используется лазерная резка, фрезерование, сверление.

### Гибко-жесткие печатные платы

Это наиболее сложные соединительные структуры в современной электронике. При их производстве применяют элементы обеих технологий: и жестких, и гибких печатных плат. Гибко-жесткие платы являются многослойными печатными платами, у которых часть внутренних или внешних слоёв диэлектрика изготовлена из гибких материалов: заготовки из жесткого и гибкого материала спрессовываются в единую многослойную плату с последующим удалением жесткого материала в областях изгиба. Таким образом, получается конструкция многослойной ПП, состоящая из отдельных жестких частей, соединённых между собой единой гибкой частью, слои которой являются соединительными в гибких областях и проводящими (в зависимости от структуры – внутренними или внешними) в жестких. Структура таких многослойных плат может быть как симметричная, так и ассиметричная.

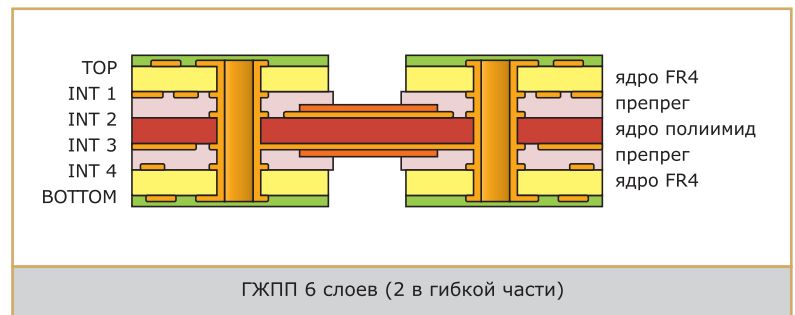
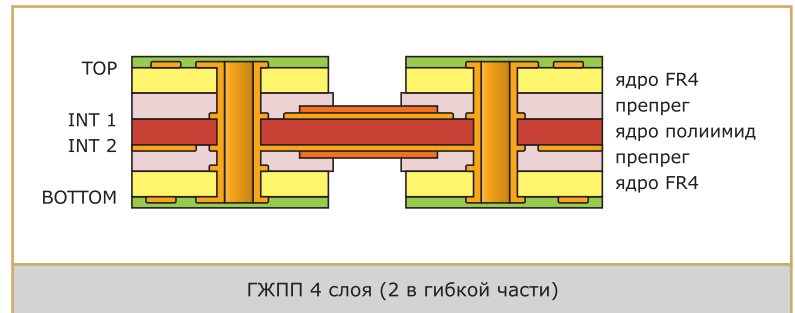


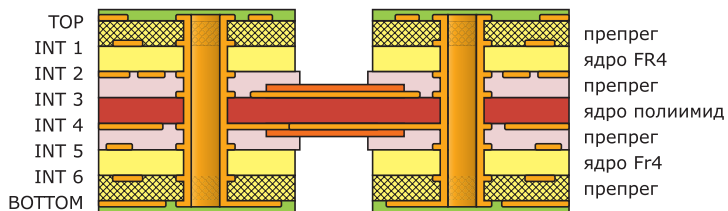
Далее показана упрощённая часть процесса изготовления четырёхслойной гибко-жесткой ПП с симметричной структурой:



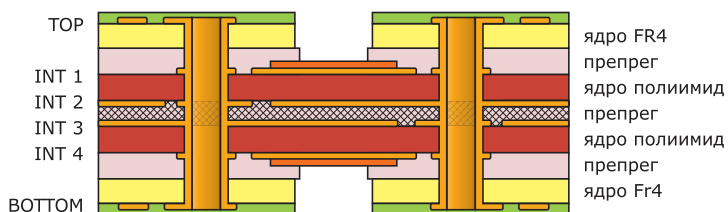
Гибко-жесткие ПП с симметричной структурой имеют лучшие механические характеристики, проще в изготовлении и, соответственно, дешевле. Увеличение количества проводящих слоёв гибкой части приводит к уменьшению гибкости. Оптимальным считается два слоя, четыре склеенных слоя в гибкой соединительной части – это максимум при условии сохранения приемлемой гибкости. В случае, когда необходимо большее количество проводящих слоёв в гибкой части, гибкие слои в месте изгиба не склеивают, оставляя между ними воздушные зазоры, что позволяет избежать потери гибкости. Проводящие слои соединительных частей гибко-жестких ПП защищаются покрывными полиимидными плёнками, такими же, как и для обычных гибких плат, за исключением того, что покрывная плёнка клеится не на всю поверхность гибкого ламината, а лишь на те участки, которые в последствии будут открыты от жесткого материала. Жесткие части покрываются обычной паяльной маской (жидкой, фотопроявляемой). Некоторые производители по дополнительному требованию заказчика выполняют нанесение антидеформационных подкреплений в местах перехода жесткой и гибкой частей (эпоксидные компаунды ECCOBOND, SCOTCHCAST). Финишные покрытия контактных площадок – такие же, как и для обычных печатных плат. Механическая обработка – фрезерование, штамповка.

Типовые сборки гибко-жестких ПП с симметричной структурой:

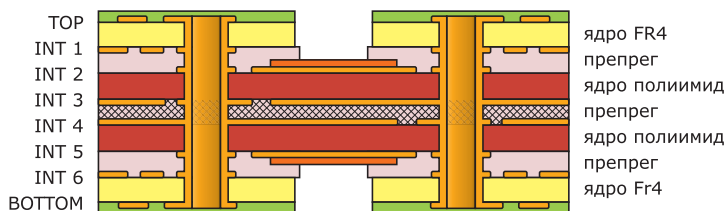









ГЖПП 8 слоев (2 в гибкой части)



ГЖПП 6 слоев (4 в гибкой части)



ГЖПП 8 слоев (4 в гибкой части)

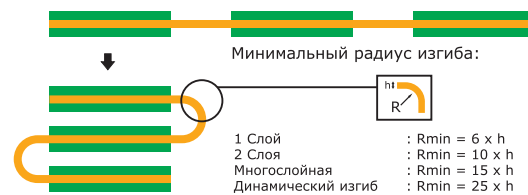
-  - **ядро Fr4** (толщина 0,06 мм-2,93 мм)
-  - **ядро полиимид** (толщина: 12,5 мкм , 25 мкм, 50 мкм полиимид / 12,5 мкм-25 мкм адгезив)
-  - **защитная полиимидная пленка** (толщина: 12,5 мкм, 25 мкм полиимид / 13 мкм , 25 мкм адгезив)
-  - **препрег нетекучий** (1-2 слоя, толщина 0,1-0,2 мм)
-  - **акриловый/эпоксидный соединительный слой, препрег** (1 слой, толщина 25-125 мкм)
-  - **препрег FR4** (стандартный)

## Особенности проектирования гибких и гибко-жестких печатных плат

При проектировании гибких и гибко-жестких печатных плат желательно придерживаться общепринятых рекомендаций, которые подробно описаны в стандарте IPC-2223 (приложение А). Ниже приводятся ответы на наиболее частые вопросы конструирования данного типа плат.

### Радиус изгиба

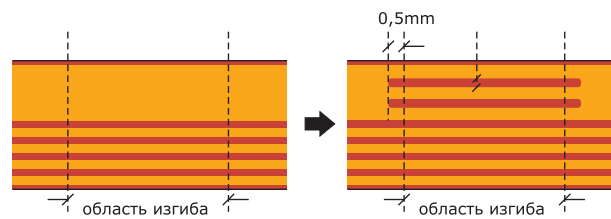
Для определения значения минимального радиуса изгиба можно воспользоваться упрощенным расчётом:



Здесь Rmin – минимально допустимый радиус изгиба, h – толщина гибкой ПП в месте изгиба.

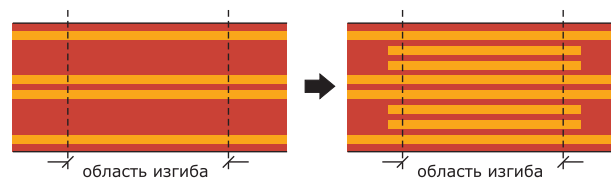
Упрощенный расчет радиуса изгиба

## Оптимизация топологии в области изгиба



Оптимизация топологии в области изгиба

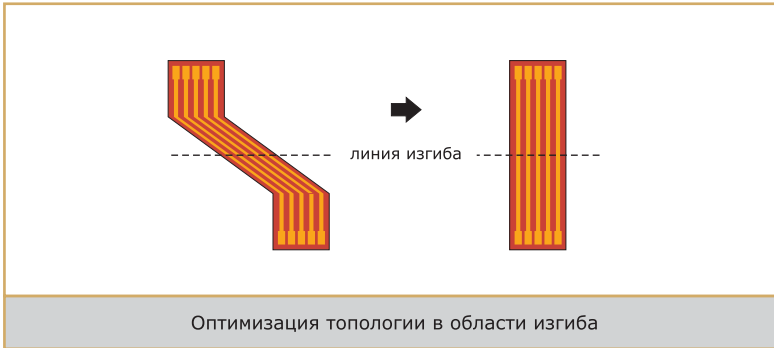
Для улучшения гибкости разделяйте широкие проводники на массивы из более тонких.



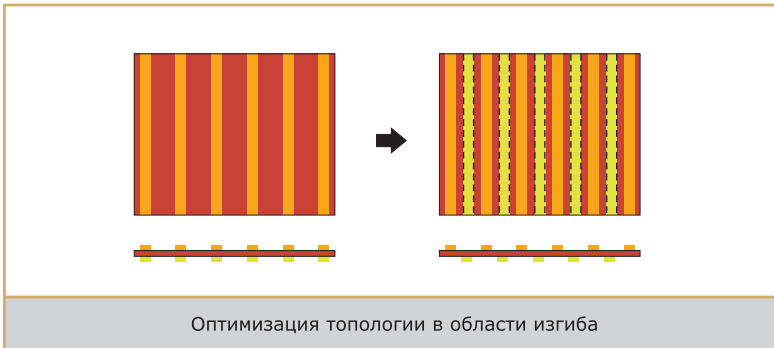
Оптимизация топологии в области изгиба

Заполняйте пустые области дополнительными проводниками, этот приём так же повышает надёжность в области изгиба.

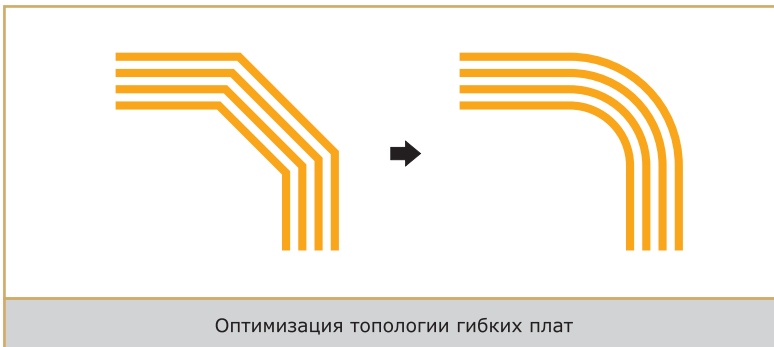




Расположение проводников в области изгиба должно быть перпендикулярно линии изгиба. Так же избегайте расположения контактных площадок и переходных отверстий в изгибаемой области.



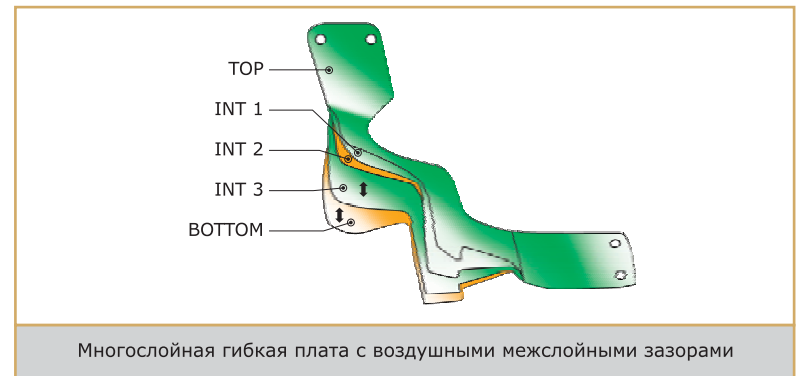
Для гибких печатных плат с двумя проводящими слоями и более используйте поочередное распределение проводников по сторонам.



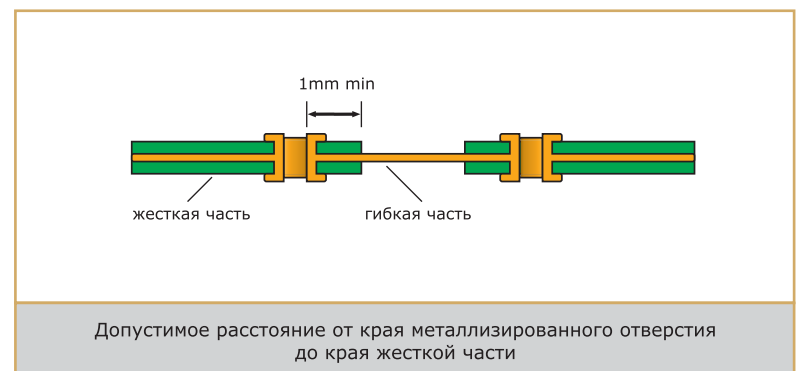
В процессе трассировки избегайте острых и прямых углов в местах поворотов и соединений проводников. Режимы поворота проводников: дуги – лучший режим, углы 45° – допустимый режим, углы 90° – недопустимый режим.

Общие рекомендации при проектировании гибких плат, которые планируется подвергать длительным динамическим нагрузкам, таковы:

- медная фольга в составе базового материала должна быть катанной (RA);
- количество проводящих слоёв – в лучшем случае один, но если одного слоя недостаточно, то металлизацию необходимо производить селективно, либо не выполнять её вовсе;
- толщина проводящих слоёв и слоёв диэлектрика – минимально возможная;
- многослойные платы конструктивно должны быть изготовлены в виде пакета однослойных плат, склеенных только в областях, не подвергающихся воздействию изгибов, оставляя, таким образом, воздушные зазоры между отдельными слоями в области изгиба.



Очень важным параметром проектирования гибко-жестких печатных плат является допустимое расстояние от края металлизированного отверстия до края жесткой части в тех областях, где гибкая часть выходит из жесткой. Рекомендуемое расстояние не ближе 2 мм, минимально допустимое расстояние - не ближе 1 мм.



### ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ОСНОВАНИЕМ

В настоящее время в связи с миниатюризацией электронных устройств, увеличивающимся тепловыделением компонентов, возникает необходимость в более эффективном отводе тепла от компонентов. Одним из наиболее эффективных и экономичных способов для достижения этой цели является использование печатных плат на материале с высокой теплопроводностью. В подавляющем большинстве случаев это металлические пластины, ламинированные через слой диэлектрика медной фольгой.

Платы с металлическим основанием находят широкое применение в устройствах с мощными светодиодами, источниках питания, преобразователях тока, модулях управления двигателями.

Основанием платы служит металлическая пластина. В зависимости от требуемых характеристик выбирается материал. Наиболее часто используются алюминиевые сплавы:

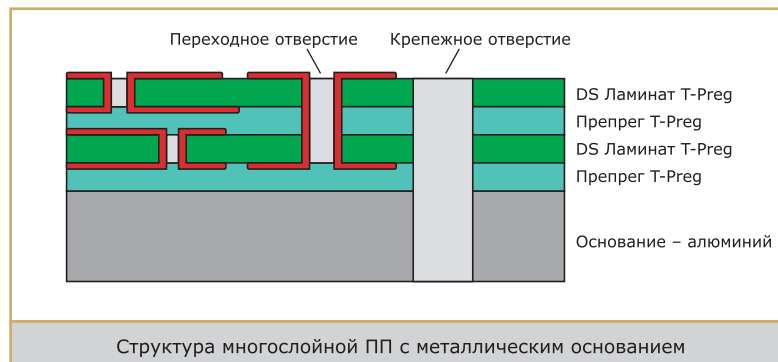
- **1100** (отечественный аналог сплав **АД**) - из-за небольшого количества примесей материал обладает хорошей теплопроводностью (220 W/mK), пластичен, недостатками являются: невысокая механическая прочность и вязкость, что затрудняет механическую обработку контура печатных плат;
- **5052** (отечественный аналог сплав **АМг2.5**) - наиболее употребительны, несмотря на относительно не очень высокую теплопроводность (порядка 140 W/mK), хорошо обрабатываются, относительно дешевы;
- **6061** (отечественный аналог сплав **АД33**) - применяется, когда требуется повышенная коррозионная стойкость, помимо этого обладает повышенной механической прочностью. К недостаткам можно отнести более высокую цену по сравнению с вышеперечисленными сплавами.

В случаях, когда требуется очень высокая теплопроводность, в качестве металлического основания используется медь. Теплопроводность меди 390 W/mK, к недостаткам можно отнести высокую стоимость и затрудненность механической обработки фрезерованием вследствие высокой вязкости. Когда требуется высокая коррозионная стойкость и механическая прочность, в качестве металлического основания используется нержавеющая сталь.

Плата на металлическом основании может служить конструкционным элементом устройства. Кроме того, с подобными

#### Сравнительная таблица свойств алюминиевых сплавов

Сплав	Теплопроводность W/mK	Коэффициент теплового расширения, $10^{-6} \text{ K}^{-1}$	Жесткость, НВ	Усилие резания, ksi
1100	222	23,6	32	11
5052	138	23,6	68	21
6061	167	23,6	95	30



платами можно выполнять трехмерное формование при помощи штампа и т.п.

Толщина металлического основания находится в пределах от 0,5 до 3 мм.

Проводники формируются обычными при производстве печатных плат способами: травлением или фрезерованием медной фольги. Толщина применяемой фольги — от 18 до 350 мкм.

Между металлическим основанием и медной фольгой находится слой диэлектрика толщиной 75-300 мкм.

На практике наиболее часто применяются материалы с толщиной основания от 0,8 до 1,5 мм, диэлектриком толщиной 75 – 100 мкм и фольгой 35 мкм.

В качестве диэлектрика могут быть использованы:

- препреги FR4 (стеклоткань с эпоксидным связующим);
- препреги на основе стеклоткани и эпоксидной смолы с теплопроводящим наполнителем;
- теплопроводящие композитные материалы;
- полиимид.

От свойств диэлектрика в значительной мере зависят свойства готового материала и, соответственно, печатной платы. Препреги FR4 являются наиболее экономичным решением, однако, обладают достаточно низкой теплопроводностью. Наиболее употребительны в качестве диэлектрика препреги с теплопроводящим наполнителем и композитные материалы. Точный состав диэлектриков — know-how фирм-производителей материалов, таких как Bergquist, Totking, Ruikai, ITEQ и др.

Номенклатура материалов для односторонних плат на металлическом основании, изготавливаемых компаниями Totking, Zhejiang Huazheng New Material Group, ITEQ приведены в таблицах:

### Свойства материалов Totking для ОПП на алюминиевом основании

Тип	Толщина основы, мм	Толщина диэлектрика, мкм	Теплопроводность диэлектрика, W/mK	Температура стеклования, °C	Типы сплавов основы	Толщина фольги, мкм	Термоудар, 288°C, сек
T-101	0,5 ~ 3,2	50 ~ 150	1,0 ~ 1,8	130	1100, 5052, 6061	18 ~ 343	30
T-110	0,5 ~ 3,2	50 ~ 150	1,0 ~ 2,0	100	1100, 5052, 6061	18 ~ 343	90
T-111	0,5 ~ 3,2	50 ~ 150	1,8 ~ 3,0	100	1100, 5052, 6061	18 ~ 343	120
T-112	0,5 ~ 3,2	50 ~ 150	2,5 ~ 5,0	100	1100, 5052, 6061	18 ~ 343	120
T-113	0,5 ~ 3,2	50 ~ 150	1,5 ~ 2,0	170	1100, 5052, 6061	18 ~ 343	120
T-114	0,5 ~ 3,2	50 ~ 150	1,5 ~ 2,0	100	1100, 5052, 6061	18 ~ 343	600
T-411	0,5 ~ 3,2	50 ~ 150	1,0 ~ 2,5	100 ~ 170	Нерж. сталь	18 ~ 343	60
T-511	0,5 ~ 3,2	50 ~ 150	1,5 ~ 3,0	100 ~ 170	Медь	18 ~ 343	60

### Свойства материалов Zhejiang Huazheng New Material Group для ОПП на алюминиевом основании

Тип	Толщина основы, мм	Толщина диэлектрика, мкм	Теплопроводность диэлектрика, W/mK	Температура стеклования, °C	Типы сплавов основы	Толщина фольги, мкм	Термоудар, 288°C, сек
HA50 Type1	0,8 ~ 2,0	75 ~ 150	1,1	121,2	5052, 1060	18 ~ 105	120
HA50 Type2	0,8 ~ 2,0	75 ~ 150	1,6	122,6	5052, 1060	18 ~ 105	120
HA50 Type3	0,8 ~ 2,0	75 ~ 150	2,2	121,8	5052, 1060	18 ~ 105	120
HA50 Type4	0,8 ~ 2,0	75 ~ 150	2,7	122,3	5052, 1060	18 ~ 105	120

### Свойства материалов ITEQ для ОПП на алюминиевом основании

Тип	Толщина основы, мм	Толщина диэлектрика, мкм	Теплопроводность диэлектрика, W/mK	Температура стеклования, °C	Типы сплавов основы	Толщина фольги, мкм	Термоудар, 288°C, сек
IT-158 T	0,5 ~ 3,0	75	0,8	150	1050, 5052, 6061	18 ~ 210	1800
IT-859 GTA	0,5 ~ 3,0	75 ~ 150	2,0	105	1050, 5052, 6061	18 ~ 210	3600
IT889 GT	0,5 ~ 3,0	75 ~ 150	2,0	105	1050, 5052, 6061	18 ~ 210	3600

Помимо односторонних печатных плат с металлическим основанием производятся также и многослойные платы. В качестве межслойного диэлектрика используются базовые материалы и препреги с высокими теплопроводящими свойствами, см. таблицу:

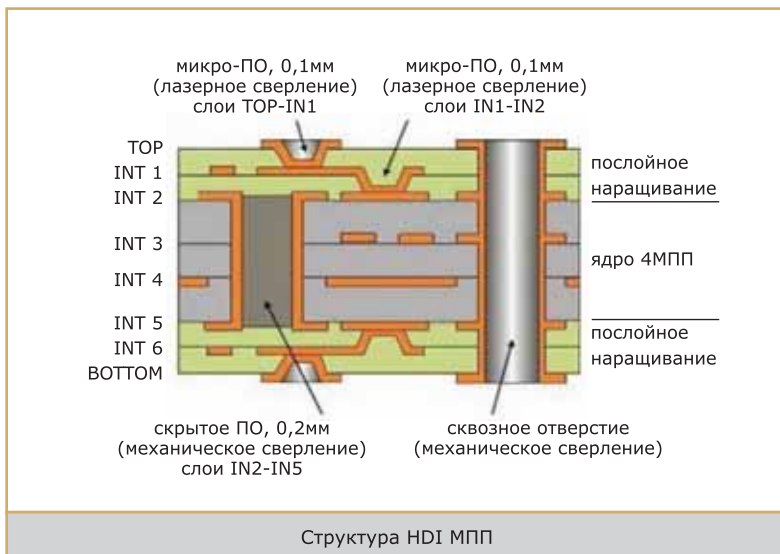
### Свойства материалов Arlon для производства многослойных печатных плат

Тип	Толщина препрега, mil (после прессования)	Теплопроводность диэлектрика, оси Z/XY W/mK	Температура стеклования, °C	Температура декомпозиции, °C	Диэлектрическая постоянная (при 1 МГц)	Термоудар, 288°C, сек	Напряжение пробоя, кВ
91ML	3,0; 4,0; 8,0	1,0/1,9	170	350	5,5	>450	>50
92ML	3,2; 4,2	2,0/3,5	170	350	5,2	>450	43

### МНОГОСЛОЙНЫЕ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ ПОВЫШЕННОЙ ПЛОТНОСТИ (HDI)

HDI (HDI - это аббревиатура High Density Interconnects) печатные платы являются многослойными платами с более высокой плотностью соединений на единицу площади в сравнении с обычными МПП. По сути, это дальнейший этап развития МПП в сторону повышения плотности соединений и уменьшения массо-габаритных показателей.

Отличие HDI печатных плат от типовых многослойных в основном состоит в типе переходных отверстий, диаметр которых составляет менее 0.2 мм (как правило, 0.15 мм и менее). Возможность уменьшения диаметра переходных отверстий позволила значительно увеличить плотность расположения компонентов. Существует несколько различных методов формирования микроотверстий, одним из которых является лазерная абляция (удаление диэлектрика и\или медной фольги при помощи лазера). Микроотверстия могут быть глухими или скрытыми, сквозные отверстия выполняются обычным методом (механическое сверление). Ключевую роль в изготовлении и заполнении отверстий малого диаметра играет очень тонкий слой диэлектрика. Тем не менее, такой тонкий слой неизбежно является очень хрупким, поэтому общая практика заключается в нанесении проводящих и диэлектрических слоев последовательно на подложку. Этой подложкой, как правило, является многослойная печатная плата, выполненная по традиционной технологии. На рисунке показан пример построения восьмислойной HDI ПП:

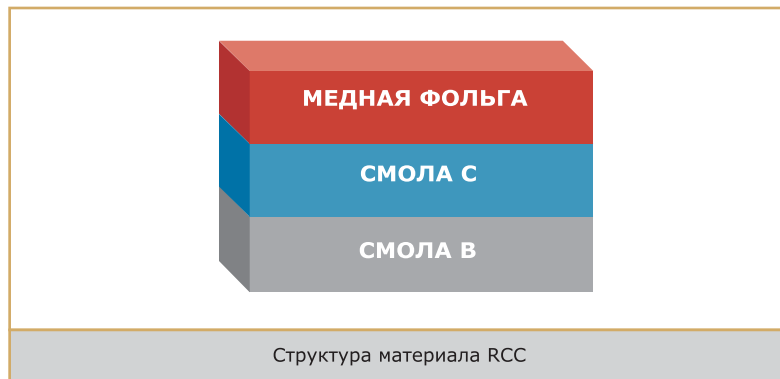


Здесь в качестве ядра использована 4-х слойная МПП, изготовленная по обычной технологии, на внешние стороны которой впоследствии были добавлены по два проводящих слоя методом послойного наращивания.

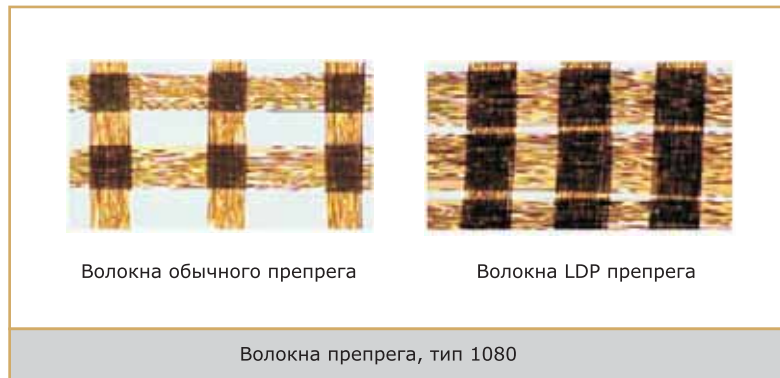
В зависимости от количества наращиваемых слоёв принято обозначать структуру HDI МПП как X+N+X, где X – количество наращиваемых слоёв с каждой стороны соответственно и N – количество слоёв в ядре. Обычно X не превышает двух слоёв, реже три слоя (каждый дополнительный наращиваемый слой существенно увеличивает стоимость), N может содержать до 14 слоёв и более (зависит от производителя).

Пожалуй, самыми распространёнными материалами для метода послойного наращивания являются: RCC (Resin Coated Copper) или RCF (Resin-coated Copper Foil) и LDP (Laser Drillable Prepreg).

**Материал RCC** представляет собой слой медной фольги, на который нанесена эпоксидная смола. Смола, как правило, наносится в два слоя: один слой с полной полимеризацией (С) и один слой с частичной полимеризацией (В). Нормальные значения толщины первого слоя лежат в пределах 25- 35 мкм и 35 мкм для второго слоя.

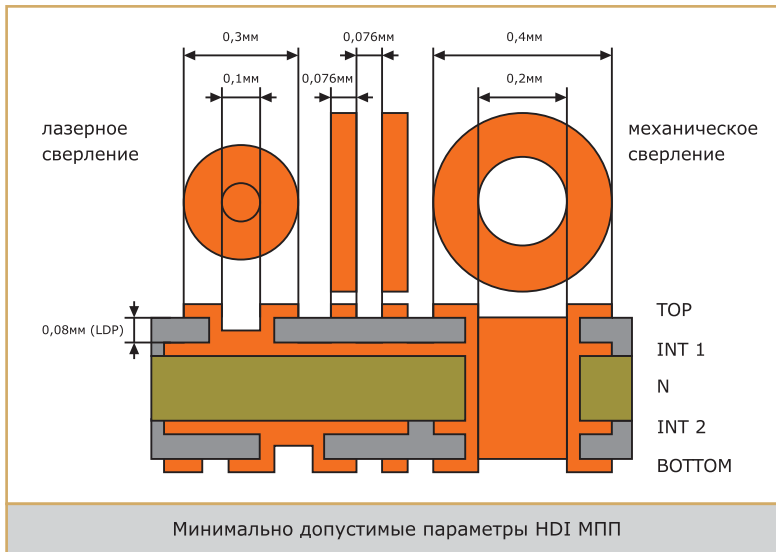


**Материал LDP** представляет собой препрег, структура которого оптимизирована для лазерного сверления. Основное отличие от обычных препрегов – использование армирующего слоя с более плотным плетением волокон. Производится и используется в основном 106 и 1080 типов.



Препрег LDP является более дешевым материалом, нежели RCC и имеет характеристики аналогичные материалу ядра, поэтому используется чаще. Помимо малого диаметра переходных отверстий, HDI печатные платы так же характеризуются малыми значениями зазоров и ширины проводников (до 50 мкм на внутренних слоях и до 65 мкм на внешних слоях).

Ниже показаны минимально допустимые параметры глухих микроотверстий, сквозных отверстий, ширины проводников и зазоров между ними для HDI ПП со структурой 1+N+1 (параметры скрытых микроотверстий и толщины LDP препрега для структуры 2+N+2 аналогичны). Параметры ядра N аналогичны обычным МПП.



### СВЧ ПЕЧАТНЫЕ ПЛАТЫ

Данный тип печатных плат отличается применением специальных диэлектрических материалов, характеризующихся повышенной (в сравнении со стандартным FR4) стабильностью величины диэлектрической проницаемости и низкими потерями в широком диапазоне рабочих частот (от единиц МГц до десятков ГГц).

Спектр материалов для производства СВЧ печатных плат весьма широк: в качестве диэлектрика, как в чистом виде, так и в различных комбинациях (для придания необходимых характеристик, например термостабильности) применяют различные полимеры, керамику. В основном, диэлектрик армируется стекловолокном (различного плетения, что так же влияет на результирующие параметры материала). Неармированные материалы используются редко и, как правило, являются наиболее дорогостоящими и сложнообрабатываемыми (очень мягкие, либо очень хрупкие).

В качестве проводящих слоёв используют как обычную электроизоляционную гальваностойкую медную фольгу, так и катанную, или специально обработанную для минимизации шероховатости. Так же существует фольга со специальным резистивным подслоем (NiCr) для изготовления встроенных тонкоплёночных резисторов.

Многослойные конструкции СВЧ печатных плат выполняют как с применением только специализированных материалов, так и с применением стандартных материалов FR4. Например, с целью снижения стоимости, СВЧ диэлектрик используют только для разделения одного или двух внешних сигнальных слоёв, а для остальных – используют обычный FR4 (такие конструкции МПП называются гибридными).

Следует отметить, что далеко не все СВЧ материалы подходят для изготовления многослойных печатных плат, что обусловлено различными температурными коэффициентами расширения применяемых материалов. Так или иначе, производители материалов четко указывают в спецификации, возможно ли использование данного материала для изготовления МПП или нет.

Достаточно часто мощные полупроводниковые элементы и ИМС, используемые в конструкциях СВЧ устройств, требуют обеспечения качественного отвода тепла, что делает необходимым применение металлического основания в конструкции СВЧ печатных плат. В качестве материала основания обычно выступают медь или алюминий, толщиной от 0.5 мм. Если используется медь, то для защиты от окисления её покрывают, к примеру, иммерсионным золотом. Электрический контакт с основанием обеспечивают, в основном, тремя способами:

- пайкой (медь);
- сквозной металлизацией (медь);
- с помощью токопроводящего препрега (медь, алюминий).

В основном, производители печатных плат используют последние два метода, но здесь есть некоторые особенности. Сквозные металлизированные отверстия, обеспечивающие электрический контакт с топологией платы, должны иметь большой диаметр (зависит от возможностей производителя, обычно для медного основания толщиной 1,5 мм делают отверстия диаметром не менее 0.8 мм - 0.9 мм). Токопроводящий препрег в свою очередь весьма дорог и требует специальных условий хранения, поэтому закупается, как правило, по предварительному заказу.

Некоторые производители материалов выпускают ламинаты, уже имеющие в своём составе металлическое основание необходимой толщины. Например, это может быть фторопласт фольгированный с одной стороны 18 мкм медной фольгой и 1 мм медное основание с другой. Материалы такого типа изготавливаются так же по предварительному заказу, что может занимать весьма продолжительное время.

## БАЗОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Материал	Мелкие и средние серии (ОПП и ДПП)	Мелкие и средние серии (МПП)	Срочное производство (ОПП и ДПП)	Срочное производство (МПП)	Суперэкспресс (ОПП и ДПП)
FR4 18/18 - 0,25 ± 0.025 мм	-	-	-	+	-
FR4-18/18-0,3 ±0,13 мм	-	+	-	+	-
FR4-18/18-0,7 ±0,13 мм	-	+	-	+	-
FR4-18/0-1,0 ±0,13 мм	+	-	-	-	-
FR4-18/0-1,5 ±0,18 мм	+	-	-	-	-
FR4-35/0-0,5 ±0,13 мм	+	-	-	-	-
FR4-35/0-1,0 ±0,13 мм	-	-	+	-	-
FR4-35/0-1,5 ±0,18 мм	+	-	+	-	-
FR4-35/0-2,0 ±0,18 мм	+	-	+	-	-
FR4-18/18-0,5±0,13 мм	+	-	+	+	+
FR4-18/18-0,8±0,13 мм	+	-	+	-	+
FR4-18/18-1,0±0,13 мм	+	-	+	-	+
FR4-18/18-1,5±0,18 мм	+	-	+	-	+
FR4-18/18-2,0±0,18 мм	+	-	+	-	+
FR4-35/35-0,5±0,13 мм	+	-	-	-	-
FR4-35/35-1,0±0,13 мм	+	-	+	-	-
FR4-35/35-1,5±0,18 мм	+	-	+	-	-
FR4-35/35-2,0±0,18 мм	+	-	+	-	-
FR4-70/70-1,5±0,18 мм	+	-	+	-	-
FR4-70/70-2,0±0,18 мм	+	-	+	-	-
FR4-105/105-1,5±0,18 мм	+	-	+	-	-
FR4-105/105-2,0±0,18 мм	+	-	+	-	-
FR4 HiTg 18/18-1,5±0,18 мм	-	-	+	-	-
FR4 HiTg 35/35-1,5±0,18 мм	-	-	+	-	-
T111 (5052) 35/0 - 1.0±0.10	-	-	+	-	-
T111 (5052) 35/0 - 1.5±0.15	-	-	+	-	-
T111 (5052) 35/0 - 2.0±0.20	-	-	+	-	-
T111 (6061) 35/0 - 1.5±0.15	-	-	+	-	-
T111 (1100) 35/0 - 1.5±0.15	-	-	+	-	-
T112 (5052) 35/0 - 1.5±0.15	-	-	+	-	-
Arlon AD600 18/18 - 0.508±0.038	-	-	+	-	-
Arlon AD250 18/18 - 0.508±0.051	-	-	+	-	-
Arlon AD255 18/18 - 1.016±0.076	-	-	+	-	-
Arlon AD255 35/35 - 1.016±0.076	-	-	+	-	-
Arlon AD255 18/18 - 1.524±0.076	-	-	+	-	-
Arlon AD255 35/35 - 1.524±0.076	-	-	+	-	-
Arlon AD255 18/18 - 2.032±0.102	-	-	+	-	-
Arlon AD255 35/35 - 2.032±0.102	-	-	+	-	-
Arlon AD1000 18/18 - 0.508±0.051	-	-	+	-	-
Arlon AD1000 18/18 - 0.635±0.051	-	-	+	-	-
Arlon AR1000 18/18 - 0.508±0.051	-	-	+	-	-
Arlon AR1000 18/18 - 0.635±0.051	-	-	+	-	-
Arlon 25N 18/18 - 0.508±0.051	-	-	+	-	-
Arlon 25N 18/18 - 0.762±0.076	-	-	+	-	-
Arlon 25N 18/18 - 1.524±0.102	-	-	+	-	-
Rogers RO4003 18/18 - 0.203±0.025	-	-	+	-	-
Rogers RO4003 18/18 - 0.305±0.025	-	-	+	-	-
Rogers RO4003 18/18 - 0.508±0.038	-	-	+	-	-
Rogers RO4003 35/35 - 0.508±0.038	-	-	+	-	-
Rogers RO4003 18/18 - 0.813±0.051	-	-	+	-	-
Rogers RO4003 35/35 - 0.813±0.051	-	-	+	-	-
Rogers RO4003 18/18 - 1.524±0.102	-	-	+	-	-
Rogers RO4350 18/18 - 0.254±0.025	-	-	+	-	-
Rogers RO4350 18/18 - 0.338±0.038	-	-	+	-	-
Rogers RO4350 18/18 - 0.508±0.038	-	-	+	-	-
Rogers RO4350 35/35 - 0.508±0.038	-	-	+	-	-
Rogers RO4350 18/18 - 0.762±0.051	-	-	+	-	-
Rogers RO4350 35/35 - 0.762±0.051	-	-	+	-	-
Rogers RO4350 18/18 - 1.524±0.102	-	-	+	-	-

МПП

ОПП и ДПП

Платы на алюминиевом основании

СВЧ платы

\* Материалы, используемые на крупносерийном производстве, имеют иные обозначения, их перечень приведен в тексте далее.

## БАЗОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЗУЕМЫЕ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

### Материалы, используемые на крупных сериях:

- FR4, HiTg FR4 (170 C);
- Rogers RO4003C – 0,203 мм /0,305 мм /0,406 мм /0,508 мм /0,813 мм /1,524 мм (толщина фольги - 17, 35, 70 мкм);
- Rogers RO4350B – 0,101 мм/0,168 мм /0,254 мм /0,338 мм /0,422 мм /0,508 мм /0,762 мм /1,524 мм (толщина фольги – 17, 35, 70 мкм);
- односторонний полиимид (Single-sided Polyimide):
  - Cu 1/2 oz, AD 13 мкм, PI ½ mil;
  - Cu 1 oz, AD 13 мкм, PI 1 mil;
  - Cu 1 oz, AD 20 мкм, PI 1 mil;
- двухсторонний полиимид (Double-sided Polyimide):
  - Cu 1/2 oz, AD 13 мкм, PI 1/2 mil, AD 13 мкм, Cu 1/2 oz;
  - Cu 1/2 oz, AD 20 мкм, PI 1 mil, AD 20 мкм, Cu 1/2 oz;
  - Cu 1 oz, AD 20 мкм, PI 1 mil, AD 20 мкм, Cu 1 oz;
- алюминиевые односторонние:
  - 1,5 мм Al/1oz – Chinese Domestic Brand (местное производство);
  - 2,0 мм Al/2oz Cu Bergquist;
  - 3, 18 мм Al/2oz Cu Bergquist.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВ

	Параметры проекта печатной платы										Допуск позиционирования при механической обработке контура, мм (минимально возможная толщина платы, мм) *	
	Проводник-зазор, мм для фольги, мкм					Мин. диаметр металлизированного отверстия, мм (соотношение толщины ПП к диаметру металлизированного отверстия)	Минимальный размер контактной площадки, мм			Минимальная ширина линий маркировки, мм	Фрезерование	Скрайбирование
	9	18	35	70	105		Металлизированные отверстия					
						до 1,1 мм	от 1,2 до 1,6 мм	свыше 1,6 мм				
Мелкие и средние серии (ОПП и ДПП)	-	0,24-0,24	0,24-0,24	0,31-0,31	0,35-0,35	0,4 (4 : 1)	+0,5	+0,6	+0,8	0,2	±0,2 (0,8)	±0,25 (1,0)
Мелкие и средние серии (МПП)	-	0,20-0,20	0,24-0,24	-	-	0,4 (4 : 1)	+0,5	+0,55	+0,8	0,2	±0,2 (0,8)	±0,25 (1,0)
Срочное производство (ОПП и ДПП)	-	0,10-0,10	0,24-0,24	0,31-0,31	0,35-0,35	0,2 (7 : 1)	+0,5	+0,55	+0,8	0,15	±0,2 (0,5)	±0,25 (1,0)
Срочное производство (МПП)	-	0,15-0,15	0,24-0,24	-	-	0,2 (7 : 1)	+0,5	+0,55	+0,8	0,15	±0,2 (0,5)	±0,25 (1,0)
Срочное производство (СВЧ)	-	0,15-0,15	0,24-0,24	0,31-0,31	0,35-0,35	0,3 (5 : 1)	+0,5	+0,55	+0,8	0,15	±0,2 (0,5)	±0,25 (1,0)
Суперэкспресс (ОПП и ДПП)	-	0,20-0,20	0,24-0,24	0,31-0,31	0,35-0,35	0,4 (5 : 1)	+0,5	+0,55	+0,8	0,15	±0,2 (0,5)	±0,25 (1,0)
Крупные серии	0,10 – 0,10	0,20-0,20	0,24-0,24	0,31-0,31	0,35-0,35	0,2 (8 : 1)	+0,3	+0,5	+0,5	0,15	±0,2 (0,5)	±0,25 (0,5)

\* Для печатных плат толщиной менее 0,5 мм механическая обработка не выполняется.

## ТИПЫ ФИНИШНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Вариант изготовления	HASL (ПОС63), мкм*	Lead Free HASL (бессвинцовый припой), мкм*	Никель, мкм	Au по подслою Ni (Gold fingers), мкм	Au по подслою Ni (Hard Gold), мкм	Иммерсионное Au по подслою Ni, мкм	Иммерсионное олово по подслою Ni, мкм	OSP (органическое покрытие по меди), мкм	Carbon Ink (графит)
Мелкие и средние серии	не менее 10,0	-	2,54...7,6	-	-	-	-	-	-
Срочное производство	не менее 10,0	-	2,54...7,6	0,25-0,76	-	0,025-0,1	-	-	-
Крупные серии	не менее 10,0	не менее 10,0	2,54...7,6	0,25-0,76	0,25-0,76	0,025-0,1	0,8-1,2	0,25-0,4	+

\* Покрытие имеет очень большую толеранцию.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СКРАЙБИРОВАНИЕМ (V-CUT)

Скрайбирование – один из проверенных методов обработки групповых печатных плат (мультиплат) под автоматический монтаж, при котором групповая печатная плата по прямым линиям надрезается парой дисковых фрез на заданную глубину скрайбирования.

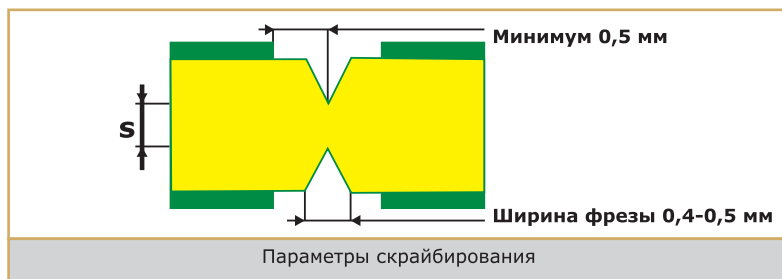
Каждый метод имеет свои плюсы и минусы. Скрайбирование, по сравнению с фрезерованием, имеет два бесспорных преимущества:

- в отход идет меньше материала по сравнению с фрезерованием, при котором печатные платы требуется раскладывать с зазором;
- не остаются следы от обломанных перемычек, на которых держались платы в составе мультиплаты.

### Параметры скрайбирования

Очень важен выбор глубины, которая обеспечит, с одной стороны, достаточную механическую прочность мультиплаты, а с другой стороны не затруднит последующее разделение печатных плат.

Знание параметров, которые определяют ширину остаточной перемычки, а также связанных с процессом допусков поможет разработчику получить технологичную печатную плату.



**Определение высоты остаточной перемычки материала (S)** для каждого индивидуального проекта – несложная задача. Нужно только учитывать потребности последующей сборки печатных плат, где следует обратить внимание на следующие производственные критерии:

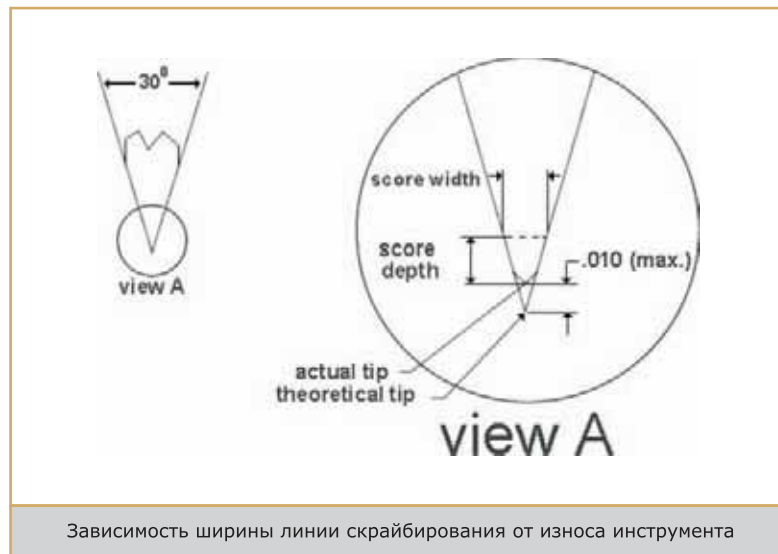
- допуск на точность позиционирования дисковых фрез по вертикали (+/- 0,1мм);
- необходимо обеспечить общую плоскостность мультиплаты;
- гарантировать легкость разделения печатных плат после установки компонентов и окончательной сборки).

### Высота остаточной перемычки в зависимости от размера ПП

Размер ПП, мм	Ширина остаточной перемычки, мм				
	Менее 12,7	12,7...25,4	25,4...76,2	76,2...152,4	Более 152,4
Менее 12,7	0,12	0,18	0,23	0,25	Не рекомендуется скрайбировать
12,7...25,4	0,15	0,20	0,25	0,30	0,30
25,4...76,2	0,18	0,23	0,25	0,30	0,30
76,2...152,4	0,12 (на разлом)	0,23	0,28	0,36	0,38
Более 152,4	0,12 (на разлом)	0,12 (на разлом)	0,30	0,33	0,38

**Ширину линии скрайбирования** определяет комбинация двух элементов: угол заточки фрезы и форма лезвия.

При той же глубине лезвие с большим углом вырезает более широкую канавку, чем лезвие с более узким углом. Более глубокий надрез оставит более широкий путь. Кроме того, ширина линии скрайбирования зависит и от износа инструмента.



### Взаимосвязь ширины и глубины линии скрайбирования

Глубина скрайбирования, мм	Ширина линии скрайбирования при нулевом износе инструмента с углом заточки 30°, мм	Ширина линии скрайбирования при максимальном износе инструмента с углом заточки 30°, мм
0,25	0,12	0,33
0,30	0,15	0,38
0,36	0,20	0,40
0,40	0,22	0,43
0,45	0,25	0,45
0,50	0,28	0,48
0,55	0,30	0,50
0,60	0,33	0,53
0,66	0,36	0,55
0,70	0,38	0,58
0,76	0,40	0,60



Защитная паяльная маска служит для защиты участков печатных плат от воздействия припоя. Существует два типа масок – сухая пленочная и жидкая.

Сухая пленочная паяльная маска наносится методом ламинирования, но в настоящее время используется редко, т.к. не подходит для печатных плат выше 3 класса точности. Жидкая паяльная маска наносится методом сеткографии через сетчатый трафарет, причем существует два варианта нанесения. Через готовый трафарет, когда в сетке уже сформированы все окна вскрытия, и маска наносится только на защищаемые участки печатной платы (такой вариант имеет невысокое разрешение и применяется, как правило, на односторонних печатных платах ниже 3 класса точности), и сплошное нанесение маски с использованием фотошаблонов и последующим проявлением.

Требования к совмещению фотошаблонов маски ниже, чем к фотошаблонам топологии, поэтому окна вскрытия должны быть шире контактных площадок. Это нужно учитывать при создании компонентов, особенно в САПР, где этот параметр задается непосредственно в компоненте (например, ORCAD). Как правило, размер вскрытия задается на 0,2 мм больше размера контактной площадки. Следует также отметить, что разрешение (мостики в маске) маски составляет не менее 0,10 мм, и это нужно учитывать для компонентов с шагом выводов 0,5 мм.

Следует подчеркнуть, что паяльная маска не должна играть роль диэлектрика, поскольку никаких сведений о напряжениях пробоя производитель не указывает, т.е. ее диэлектрические параметры не нормируются.

При выборе расстояния между элементами проводящего рисунка, с точки зрения электрической прочности, следует руководствоваться нормами ГОСТ 53429-2009.

### Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными в соседних слоях ПП

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В
От 0,1 до 0,2 включительно	25
Свыше 0,2 до 0,3	50
0,3...0,4	100
0,4...0,5	200
0,5...0,75	350
0,75...1,5	500
1,5...2,5	650

### Значения допустимых рабочих напряжений между элементами проводящего рисунка, расположенными на наружном слое ПП

Расстояние между элементами проводящего рисунка, мм	Значение рабочего напряжения, В			
	Внешние воздействующие факторы			
	Нормальные условия	Относительная влажность (93+/-3)% при температуре (40+/-2) °С в течение 48 часов	Пониженное атмосферное давление	
53600 Па (400мм рт. ст.)			666 Па (5мм рт. ст.)	
От 0,1 до 0,2 включительно	25	15	20	10
Свыше 0,2 до 0,3	50	30	40	30
0,3...0,4	150	100	110	50
0,4...0,5	300	200	160	80
0,7...1,2	400	300	200	100
1,2...2,0	600	360	300	130
2,0...3,5	830	430	400	160
3,5...5,0	1160	600	560	210
5,0...7,5	1500	830	660	250
7,5...10,0	2000	1160	1000	300
10,0...15,0	2300	1600	1160	330

## МАРКИРОВКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Маркировку печатных плат, как правило, наносят методом сеткографии специальной краской (с термическим или УФ-отверждением) белого, желтого или черного цвета. Разрешение (минимальная толщина линии) такого метода невелико – до 0,2 мм. Это обстоятельство необходимо учитывать при создании компонента и использовании шрифта, т.к. полочки и выноски имеют меньшую толщину относительно основных линий.

## ЭЛЕКТРОТЕСТИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Электротестирование – один из объективных методов контроля печатных плат на наличие обрывов и замыканий с измерением поверхностного сопротивления. Существует два метода – контроль с помощью универсального оборудования (Flight probe) и контроль с изготовлением адаптера под конкретную печатную плату.

Время на проведение контроля зависит от конструкции оборудования **Flight probe** (вертикальные, горизонтальные, с автоматической загрузкой, набор из 2 или 4 щупов с каждой стороны контролируемой печатной платы), а также от конструкции самой печатной платы (единичные ПП, мультиплаты или ПП сложной формы с дополнительной оснасткой), и может различаться в десятки раз. Привлекательность метода Flight probe – в отсутствии трудоемких затрат на изготовление специальной оснастки.

**Адаптерный метод** контроля печатных плат проводится также на специальном оборудовании, но с изготовлением дополнительной оснастки.

## РАСЧЕТ НОМИНАЛЬНЫХ МОНТАЖНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Приведем выдержки из РД 50-708-91:

4.6.2.1. Номинальный диаметр монтажных металлизированных и неметаллизированных отверстий устанавливаются, исходя из соотношения:

$$\Delta d - \left| \Delta d \right|_{н.о.} \geq d_{э} + r,$$

где  $\left| \Delta d \right|_{н.о.}$  – нижнее предельное отклонение диаметра отверстия;  
 $d_{э}$  – максимальное значение диаметра вывода ИЭТ\*, устанавливаемого на печатную плату (для прямоугольного вывода за диаметр берется диагональ его сечения);

$r$  – разность между минимальным значением диаметра отверстия и максимальным значением диаметра вывода устанавливаемого ИЭТ.

ИЭТ\* – изделия электронной техники.

Альтернативным методом (но более дорогим) является нанесение маркировки маской (как правило, белого цвета) – разрешение при этом до 0,1 мм.

В случаях, когда маркировка закладывается в топологию печатной платы, требования по разрешению к ней аналогичны требованиям, предъявляемым к проводникам.

Имеющееся оборудование для электротестирования по вариантам производств РЕЗОНИТ:

- Срочное производство: две установки Flight probe с двумя парами щупов;
- Мелкосерийное производство: одна установка Flight probe с двумя парами щупов;
- Крупносерийное производство: установки Flight probe с различными наборами щупов, а также адаптерные установки.

Для крупносерийного производства, при заказах свыше 200 дм<sup>2</sup>, мы рекомендуем адаптерный контроль, т.к. ориентировочно на этой границе стоимость контроля выравнивается, и при объеме производства более 200 дм<sup>2</sup> выгодным становится адаптерный метод.

Значение  $r$  рекомендуется выбирать с учетом допусков на расположение выводов на корпусе устанавливаемого ИЭТ и позиционного допуска расположения оси отверстия.

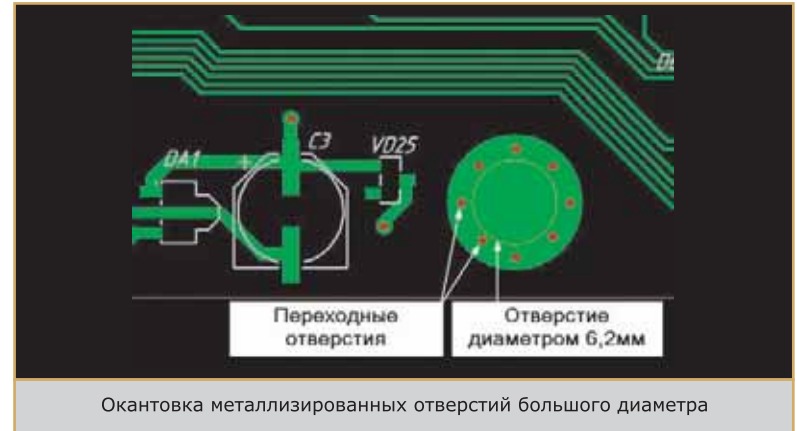
Расчетное значение диаметра монтажного отверстия следует округлять в сторону увеличения до десятых долей миллиметра.

4.6.2.2. Диаметр монтажного отверстия выбирают таким образом, чтобы значение  $r$  было от 0,1 до 0,4 мм при ручной установке ИЭТ и от 0,4 до 0,5 мм при автоматической. Уменьшение этого значения допускается по согласованию с заводом-изготовителем.

Предельные отклонения диаметров монтажных отверстий при автоматической установке ИЭТ устанавливаются не ниже 3-го класса точности по ГОСТ 53429-2009, независимо от класса точности печатной платы.

На производстве РЕЗОНИТ за основу принят ГОСТ 53429-2009, и желательно, чтобы ваши конструкторы также следовали этим нормам. Конечно, возможна ситуация, когда закладываются иные допуски, но тогда нам приходится перестраиваться, а это, как показывает практика, может приводить к произвольным ошибкам.

Заметим также, что максимальный диаметр сверл у разных производителей обычно не превышает 6..6,5 мм. Мы используем максимальное сверло 6 мм. То есть, для получения отверстия диаметром более 6 мм с металлизацией, его необходимо будет предварительно фрезеровать. В этом случае стабильность получения металлизации в стакане отверстия ниже, чем при сверлении, поэтому для больших отверстий мы предлагаем применять иной подход – окантовку краев отверстия с выполнением нескольких металлизированных переходов малого диаметра.



### Выбор диаметра монтажных отверстий (по ГОСТ 53429-2009)

Диаметр отверстия d, мм	Наличие	Предельное отклонение диаметра, для класса точности, мм				
		1	2	3	4	5
До 1,0	Без металлизации	±0,10	±0,10	±0,05	±0,05	±0,025
	С металлизацией без оплавления	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15	+0; -0,10	+0; -0,10	+0; -0,075
	С металлизацией и с оплавлением	+0,05; -0,18	+0,05; -0,18	+0; -0,13	+0; -0,13	+0; -0,13
Свыше 1,0	Без металлизации	±0,15	±0,15	±0,10	±0,10	±0,10
	С металлизацией без оплавления	+0,10; -0,20	+0,10; -0,20	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15	+0,05; -0,15
	С металлизацией и с оплавлением	+0,10; -0,23	+0,10; -0,23	+0,05; -0,18	+0,05; -0,18	+0,05; -0,18

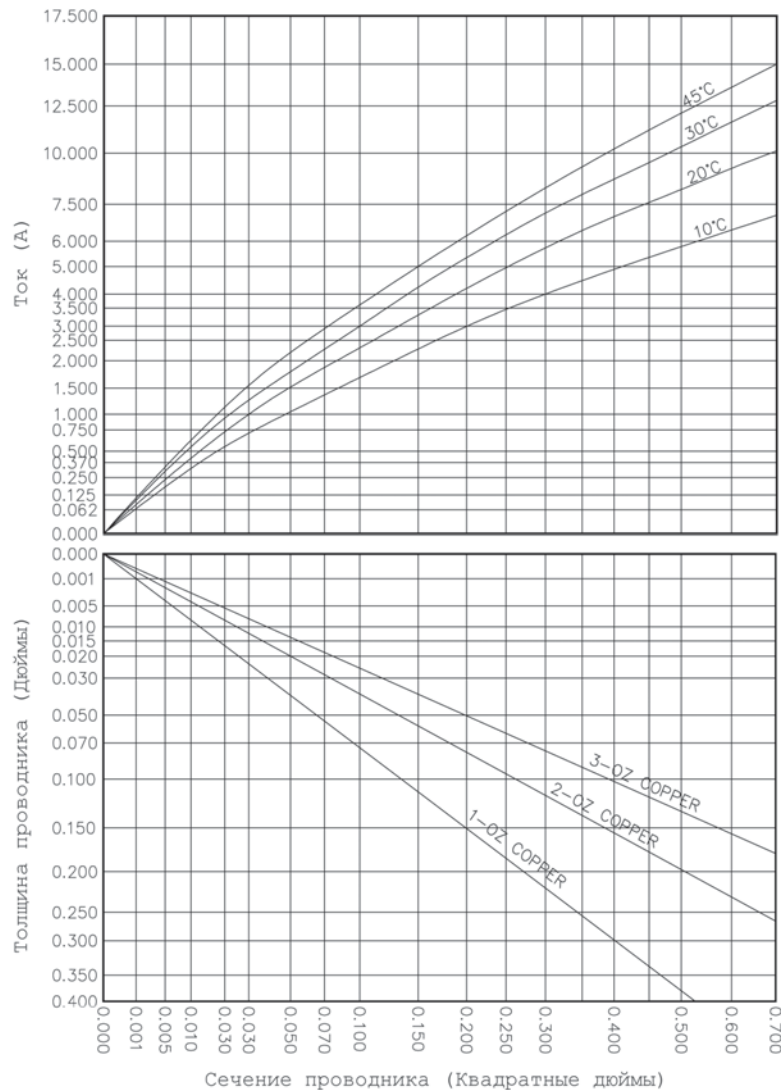
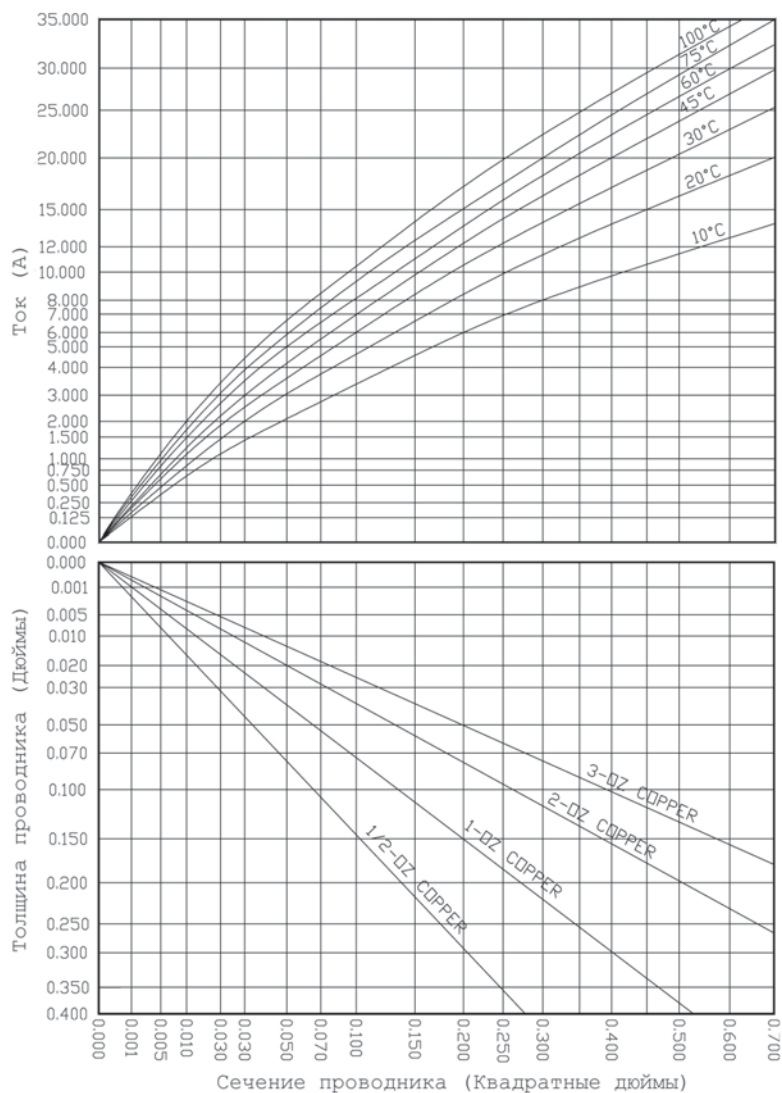
## РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ БАЗОВОЙ ТОЛЩИНЫ ФОЛЬГИ

Ниже приведены номограммы, позволяющие выбрать толщину и ширину проводника ПП, в зависимости от силы тока в цепи (необходимо оговориться, что авторство номограмм принадлежит не нам). Кривые в верхней части номограмм – повышение температуры на проводнике.

Существуют так же электронные калькуляторы.

Наиболее удобный: <http://www.circuitcalculator.com/wordpress/2006/01/31/pcb-trace-width-calculator/>

Кроме того, обращаем внимание конструкторов, что поверх базовой фольги, при металлизации отверстий на поверхность топологии печатной платы осаждается от 20,0 мкм до 35,0 мкм гальванической меди.



Выбор ширины и толщины проводников ПП в зависимости от силы тока: внешние слои

Выбор ширины и толщины проводников ПП в зависимости от силы тока: внутренние слои

Статистика нашей работы показывает, что более 50% конструкторов из числа наших заказчиков проектируют в PCAD200X. Поэтому отдельно остановимся на распространенных ошибках, допускаемых разработчиками в этой САПР.

**1.** Настоятельно рекомендуем полигоны топологии (фольги) задавать командой PLACE-COPPER POUR, а не PLACE-POLYGON. Команда POLYGON, по видимому, не предназначена для рисования сложных фигур, и в ситуации, когда вершины располагаются близко друг к другу, при экспорте в Gerber-формат, такой полигон игнорируется. Эта проблема решается уменьшением апертуры (хотя есть примеры, когда и это не помогает), но это влечет увеличение объема САМ-файла, что затрудняет работу с ним. С технологической точки зрения, также рекомендуем зазор между COPPER POUR и элементами топологии задавать на класс ниже (для 3 класса Backoff-Fixed = 0,5 мм) – это связано с тем, что в узких местах образуется застой травильного раствора, что снижает скорость травления и, как следствие, возможно образование замыкания или повышенный подтрав остальной части топологии. Линию заполнения следует задавать равной минимальной линии (для 3 класса Line Width = 0,25 мм), иначе линии обводки элементов рисунка могут стравиться полностью или частично.



**2.** Не менее настоятельно рекомендуем создавать собственную библиотеку компонентов (в крайнем случае, использовать «проверенную» библиотеку знакомых инженеров). Если приходится обращаться к чужой библиотеке, то, как минимум, просматривайте свойства незнакомого компонента. Поясним. В PCAD есть два типа предварительно созданных (Default) контактных площадок: Pad (отверстие 0,965 мм и площадка 1,52 мм) и Via (отверстие 0,457 мм и площадка 1,02 мм). Получить отверстия с такой точностью

невозможно. Если с переходным отверстием в большинстве случаев можно поступить просто, уменьшив отверстие до 0,4 мм (хотя и это не всегда возможно, особенно для печатных плат толщиной более 1,5 мм, т.к. для этого требуется специальное оснащение гальванического оборудования), то как быть с отверстием 0,965 мм (особенно когда они запроектированы для установки DIP-микросхем и штыревых разъемов типа PLD)? Уменьшить нельзя, и увеличивать – некуда (не позволяет площадка 1,52 мм). Все описанное справедливо для 3 класса точности; можно, конечно, перейти в 4 класс, но это повышает стоимость изготовления печатной платы без всякой на то необходимости.

**3.** При производстве плат все отверстия, в том числе и отверстия без металлизации, сверлятся в один проход. Для того, чтобы гарантировать отсутствие металлизации в отверстиях, на этапе проектирования необходимо обеспечить отсутствие металла (контактные площадки, области заливки и т. п.) на расстоянии не менее 0,25 мм от отверстий, которые не должны металлизироваться.

**4.** Часто возникают проблемы с тем, что конструктор пренебрегает (или не отдает себе отчет в том, как будет обрабатываться контур печатной плат) отступом элементов рисунка от края печатной платы. В итоге получаем срезанные проводники по краям печатных плат и повышенный износ режущего инструмента. Для расчета предлагаем рекомендации РД 50-708-91:

4.6.1.17. Элементы проводящего рисунка, кроме экранов, шин земли, концевых печатных контактов, знаков маркировки и технологических печатных проводников рекомендуется располагать на расстоянии  $Q$ :

- от края печатной платы - не менее толщины печатной платы с учетом допуска на размеры сторон;
- от края паза, выреза, неметаллизированного отверстия по формуле:

$$Q = q + k + \frac{1}{2} \sqrt{(T_D^2 + T_d^2 + \Delta t_{в.о.}^2)},$$

где  $q$  – ширина ореола, скола по ГОСТ 23752 или техническим условиям (ТУ) на конкретную печатную плату;

$k$  – наименьшее расстояние от ореола, скола до соседнего элемента проводящего рисунка по ГОСТ 23752 или ТУ;

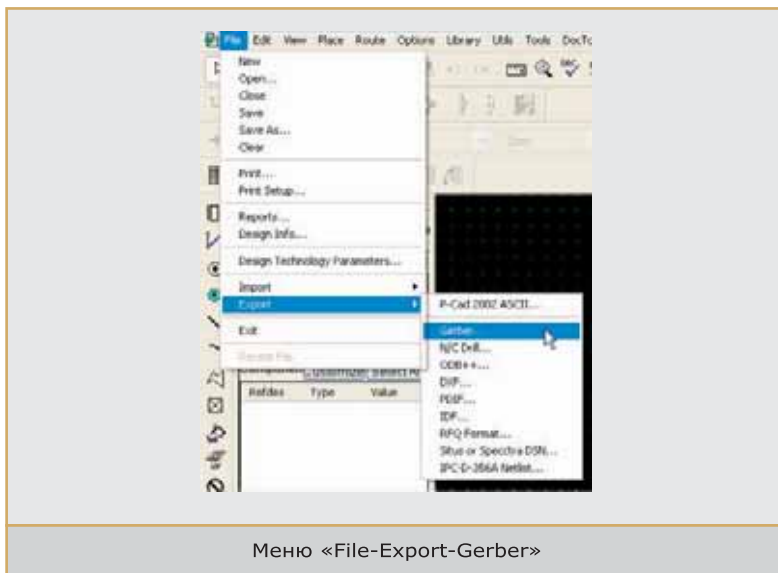
$T_D$  – позиционный допуск расположения центров контактных площадок;

$T_d$  – позиционный допуск расположения осей отверстий;

$\Delta t_{в.о.}^2$  – верхнее предельное отклонение размеров элементов конструкции (ширины печатного проводника).

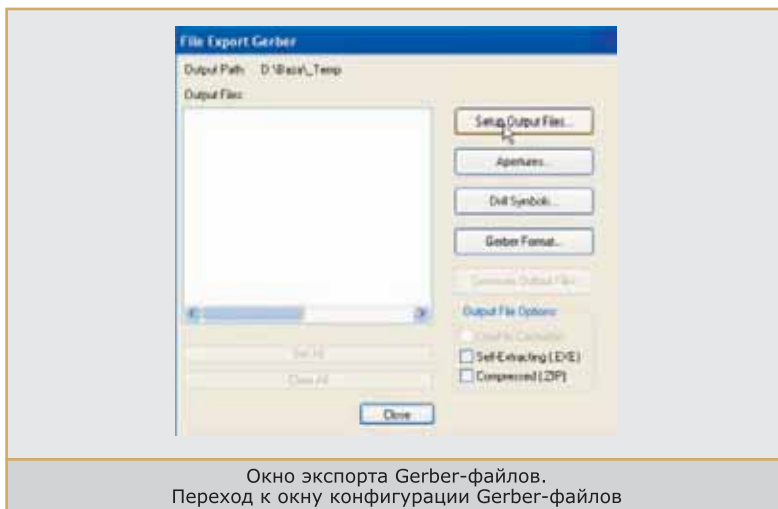
Несмотря на исключение экранов в РД 50-708-91, рекомендуем без особой надобности не доводить экраны (полигоны) до края печатной платы, т.к. это приводит к задиру фольги и повышенному износу режущего инструмента.

1. Входим в меню экспорта Gerber-файлов: «File-Export-Gerber»



Меню «File-Export-Gerber»

2. Для конфигурирования экспорта Gerber-файлов входим в «Setup Output Files...»



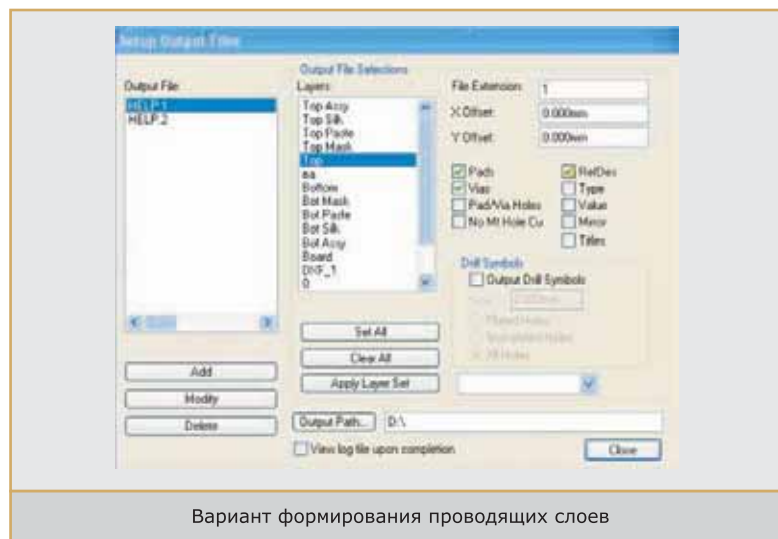
Окно экспорта Gerber-файлов.  
Переход к окну конфигурации Gerber-файлов

3. В открывшемся окне необходимо задать конфигурацию Gerber-файлов. Каждый слой печатной платы – это отдельный Gerber-файл. Каждому Gerber-файлу необходимо задать расширение (File Extension). Оно может быть произвольным, но в сопроводительном описании к заказу укажите назначение каждого файла. Поля X Offset и Y Offset можно оставлять нулевыми. Но если координаты начала топологического рисунка ПП превышают 1000 мм, необходимо ввести

отрицательные значения, чтобы в Gerber-файлах сместить левый нижний угол платы ближе к координате (0; 0).

В правом нижнем углу необходимо задать путь для экспорта Gerber-файлов. Поставьте галочку на параметр "View log file upon completion", тогда на экране отобразится файл отчета о завершении процесса экспорта.

Для простоты в дальнейшем будем говорить "файл" вместо Gerber-файл и "слой" вместо слой печатной платы.



Вариант формирования проводящих слоев

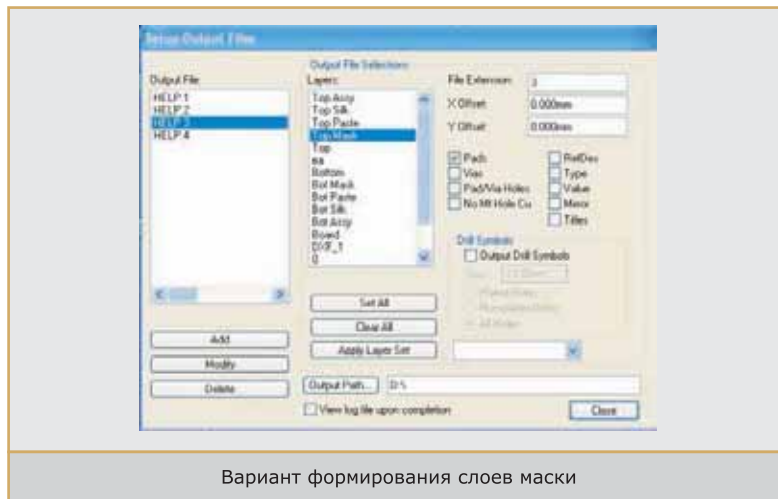
Для формирования металлических (проводящих) слоев выбираем соответствующий слой в проекте (Top, Bottom и внутренние слои, если они есть) и галочками в правой части меню задаем комбинацию следующих параметров:

- Pads, Vias - отмечаем всегда;
- Pad/Via Holes и Mt Hole Cu - отмечать не нужно, их целесообразно применять при ручном сверлении и рассверливании отверстий;
- RefDes, Type, Value - отмечайте, если нужно, чтобы на печатной плате было сформировано позиционное обозначение, тип и/или номинал элемента. Обращаем внимание: в топологический рисунок попадет только та информация об элементе, которая не скрыта в его свойствах и выполнена в соответствующих металлических слоях. Не стоит забывать, что требования к тексту, помещенному в металлические слои, аналогичны требованиям к топологии, т.е. минимальный проводник (линия текста) и зазор должны выдерживаться в соответствии с возможностями производства иными словами, мелкий текст, отлично видимый на экране, может не различаться на ПП;
- Mirror - отмечать не нужно, т.е. вся плата в итоге будет сформирована "на просвет". Технологи на производстве при необходимости самостоятельно сформируют зеркальные изображения;
- Titles - выбирать не нужно.

Закладка "Output Drill Symbols" служит для формирования графических карт сверления металлизированных и неметаллизированных отверстий. Формировать эти карты не нужно, так как операции сверления на современных производствах выполняются на станках ЧПУ с контролем диаметра отверстия.

После конфигурирования каждого слоя нажмите кнопку "Add", чтобы добавить слой в список для экспорта. Если необходимо внести изменения в какой-то из слоев, выберите его, измените конфигурацию и нажмите "Modify". Для удаления слоя из списка для экспорта выберите его и нажмите "Delete".

**4.** Для формирования слоев маски поступаем аналогично формированию металлических слоев. Выбираем соответствующий слой в проекте (TopMask, BottomMask и/или слой, заданный пользователем) и галочками в правой части меню задаем комбинацию следующих параметров.

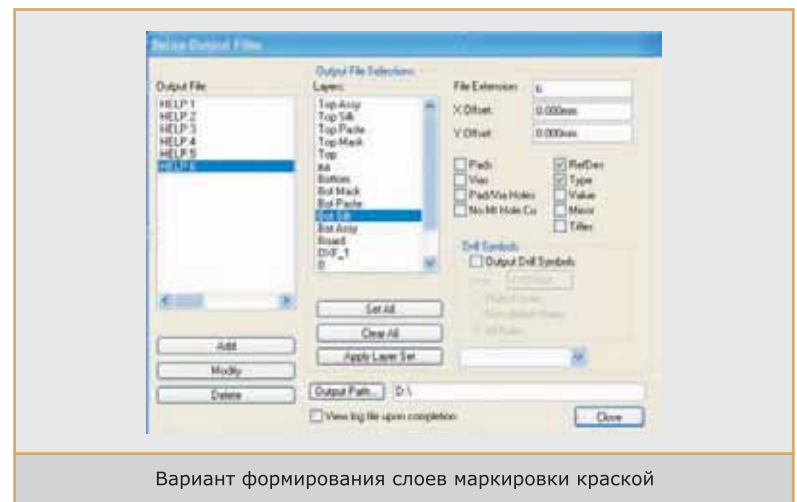


Вариант формирования слоев маски

- Pads - отмечаем всегда;
- Vias - отмечаем, если требуется открыть переходные отверстия от маски и покрыть финишным покрытием вместе с Pads (припоем и т.п.);
- Pad/Via Holes и Mt Hole Cu - отмечать не нужно;
- RefDes, Type, Value - отмечаем, если нужно отобразить на ПП сведения об элементе вскрытием маски. Не забывайте, что разрешение маски - 0,15 мм, т.е. минимальный проводник (линия текста) и зазор должны быть не менее 0,15 мм. Обратите внимание, если надписи находятся над металлическими полигонами, качество нанесения на них финишных покрытий (внешний вид надписи) не стандартизовано и производителем не гарантируется;
- Mirror и Titles - отмечать не нужно.

**5.** Для формирования слоев маркировки краской выбираем соответствующий слой (TopSilk, BottomSilk и/или пользовательский слой) и задаем комбинацию следующих параметров.

- Pads - отмечать не нужно. Трудно себе представить случай, когда контактные площадки требуется закрыть краской;
- Vias - выбирать не нужно, хотя можно представить случай, когда переходные площадки требуется закрыть краской поверх маски;
- Pad/Via Holes и Mt Hole Cu - выбирать не нужно;
- RefDes, Type, Value - выбирайте, если вам нужно, чтобы на печатной плате краской была сформирована информация об элементе. Не забывайте, что разрешение маркировки - 0,15 мм. Если не выбран ни один из этих параметров, в слое маркировки попадут только изображения элементов (если изображение есть в библиотеке элемента), текст в изображении элемента (если есть) и текст, введенный в проект командой Place Text;
- Mirror и Titles - отмечать не нужно.



Вариант формирования слоев маркировки краской

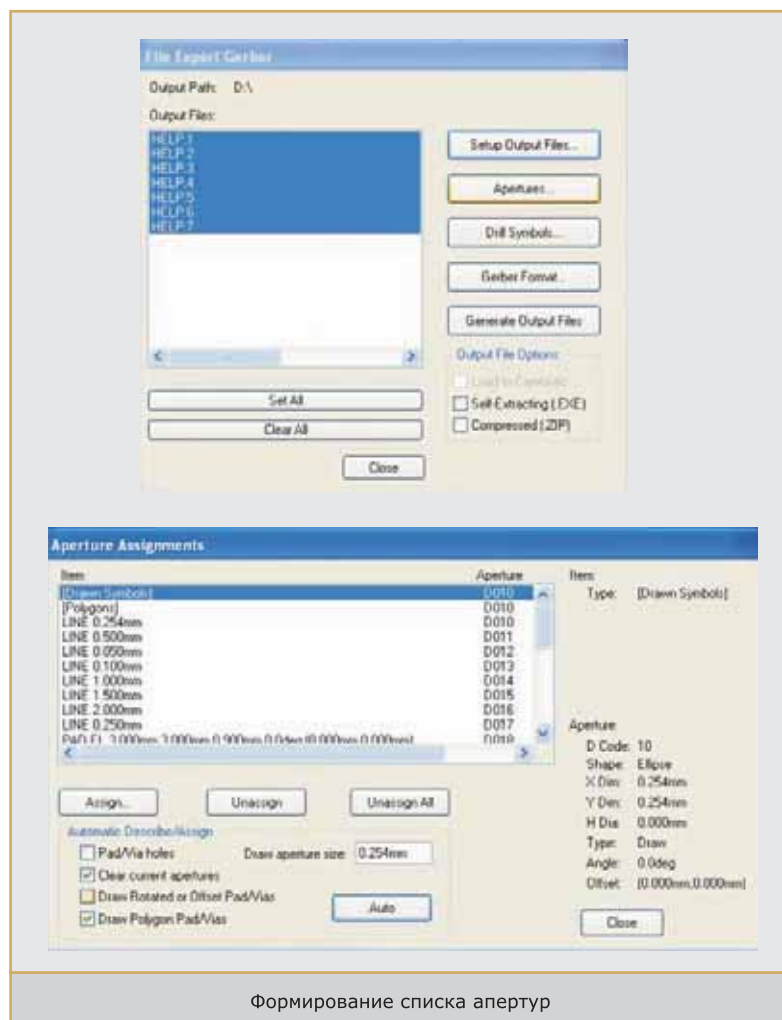
Для формирования слоя контура печатной платы и различных окон в ней выбираем соответствующий слой в проекте (Board и/или пользовательский слой).

**6.** Закрыв окно конфигурации слоев, входим в меню формирования списка апертур.

- параметр "Pas/Via Holes" - использовать не нужно, его целесообразно применять при ручном сверлении и рассверливании отверстий;
- параметр "Clear current apertures" - обнуляет список апертур перед новым автоматическим формированием, его лучше отметить;
- параметр "Draw Rotated or Offset Pad/Vias" - преобразует повернутые не под прямыми углами площадки и нестандартные элементы топологического рисунка в векторные полигоны, поддерживаемые форматом Gerber. Для PCAD ранних (до 2004 г.) версий галочку лучше установить, для PCAD-2004 и старше она не нужна.

- параметр "Draw Polygon Pad/Vias" необходимо отметить, если в проекте есть сложные (сложнее круга или прямоугольника) контактные площадки звездочки, стрелки и т.п.

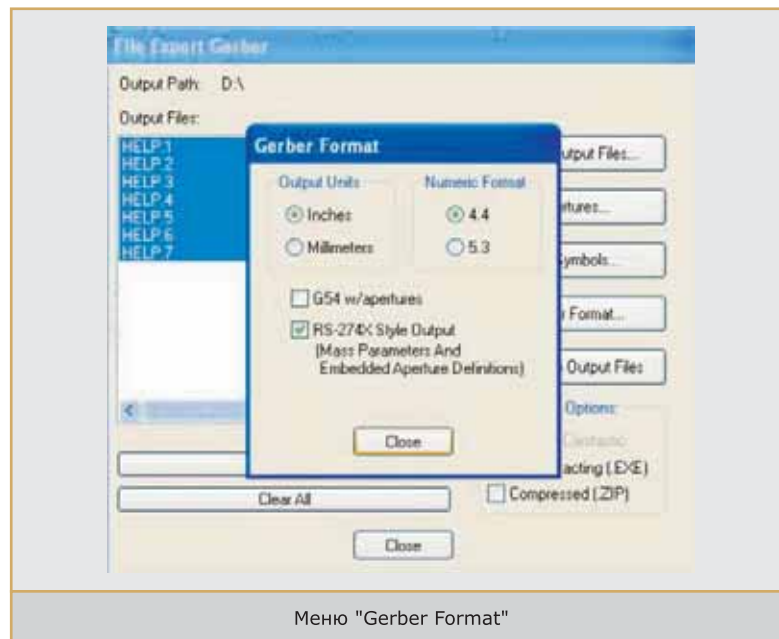
Как правило, достаточно автоматического формирования списка апертур нажатием кнопки "Auto".



Формирование списка апертур

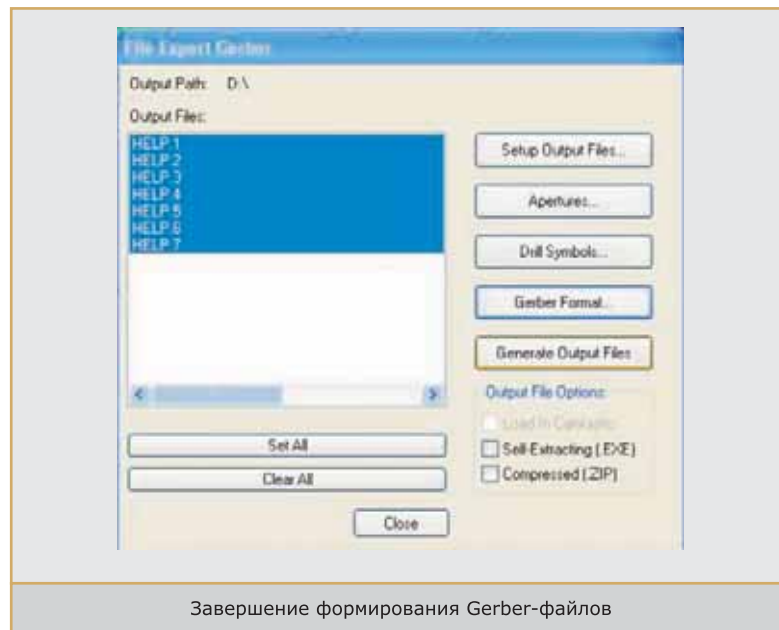
7. Закрыв окно формирования апертурного списка, переходим в меню "Gerber Format".

Здесь необходимо поставить галочку в поле "RS-274X..." и не трогать "Output Units" и "Numeric Format", так как в проектах, как правило, используются и миллиметровые, и дюймовые компоненты. Меню "Drill Symbols" необходимо для формирования графических карт сверления, его мы не используем.



Меню "Gerber Format"

8. Завершаем формирование Gerber-файлов нажатием "Generate Output Files".

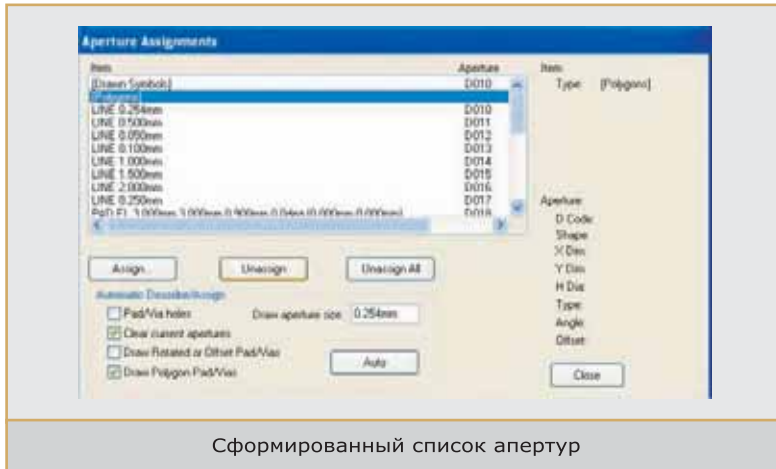


Завершение формирования Gerber-файлов

Признаком безошибочности информации служит соответствующее сообщение и пустой Log-файл.

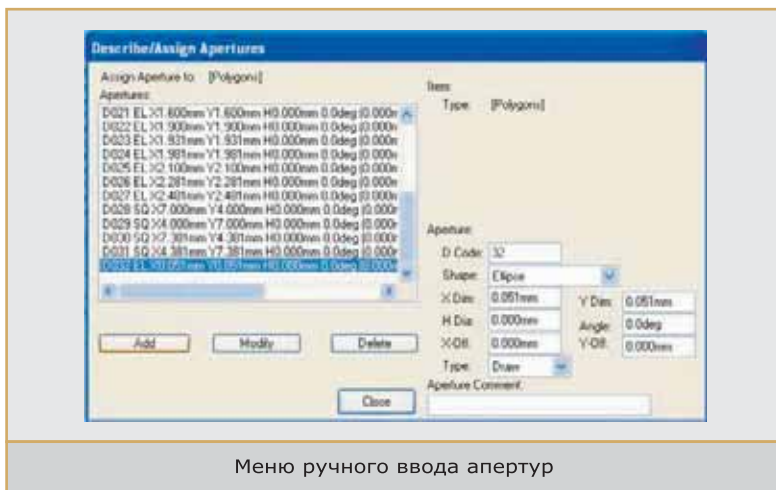


**9.** Наиболее распространенная ошибка – слишком большая апертура для рисования полигонов "ERROR: PcbPolygon at (40.775 mm, 47.300 mm) is incomplete or missing from output". В таком случае величину апертуры рисования полигона следует задать вручную. Для этого уже сформированного списка апертур удаляем апертуру рисования полигона (в приведенном примере D010), нажав клавишу "Unassign". Затем входим в меню ручного ввода апертур, нажав "Assign".



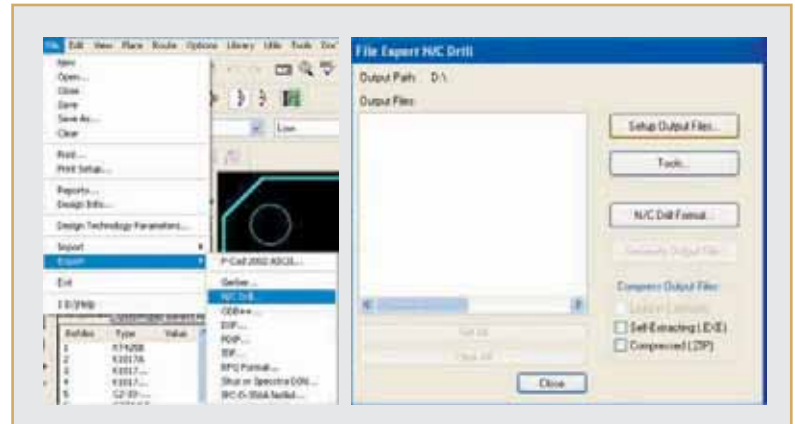
Сформированный список апертур

**10.** В открывшемся окне выберите очередной D-Code (в приведенном примере – D032), задайте размер 0,051мм (мм прописывать обязательно!) и нажмите клавишу "Add". Если ошибка возникает вновь, эту величину можно уменьшить и до 0,001мм. Но не задавайте такое значение сразу, так как объем Gerber-файлов при этом значительно возрастает.



Меню ручного ввода апертур

**11.** Для формирования файла сверления выбираем меню "File-Export-N/C Drill" и входим в "Setup Output Files."

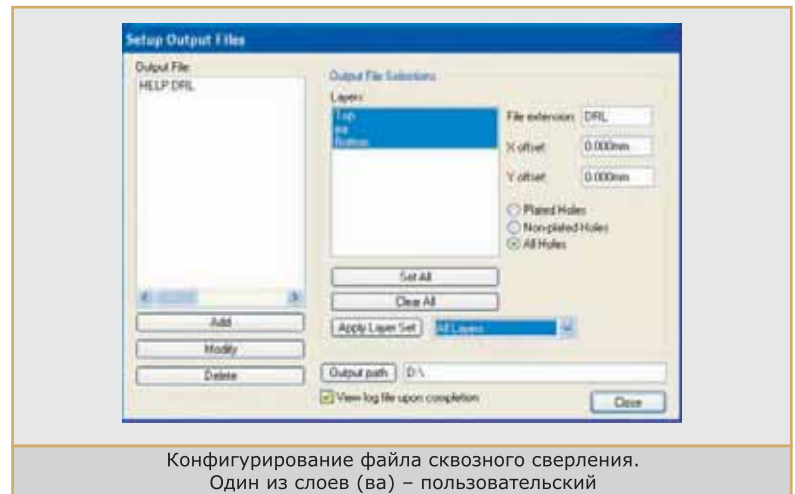


Вход в меню конфигурирования файлов сверления

Если проект описывает многослойные ПП с межслойными переходами, файлов сверления может быть несколько.

Далее выполняем действия, аналогичные описанным в разделе о конфигурировании Gerber-файлов. Каждому файлу задаем расширение, приводим в соответствие поля X Offset и Y Offset, отмечаем параметр "View log file upon completion".

**12.** Для сквозного сверления нажимаем кнопку "Set All", в поле и "Apply Layer Set" выбираем "All Layers".



Конфигурирование файла сквозного сверления.  
Один из слоев (va) – пользовательский

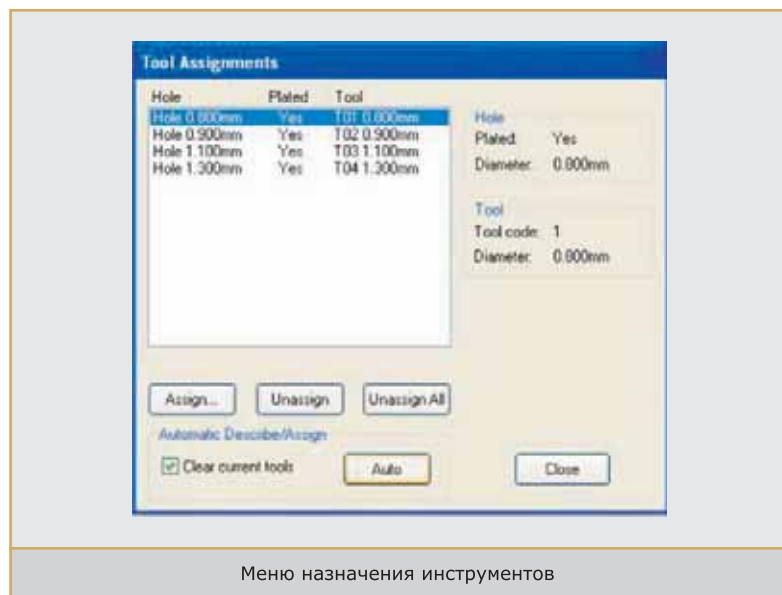
Создавать два файла сверления – для отверстий с металлизацией и без металлизации не нужно. Это разделение выполняют технологи при дальнейшей обработке файлов. Поэтому ставим флажок в поле "All Holes".

Если необходимо разнести по разным программам металлизированные и неметаллизированные отверстия, то конфигурируем два файла.

Для конфигурирования файлов межслойного сверления нужно указать, с какого на какой слой выполняется сверление. Для этого, удерживая клавишу Ctrl, отмечаем курсором нужные слои.

После конфигурирования каждого файла не забывайте нажимать кнопку "Add", чтобы добавить файл в список для экспорта! Для модификации или удаления файлов пользуйтесь кнопками "Modify" и "Delete".

**13.** Далее для каждого файла необходимо задать список инструментов, нажав кнопку "Tools" и вызвав меню "Tool Assignments".



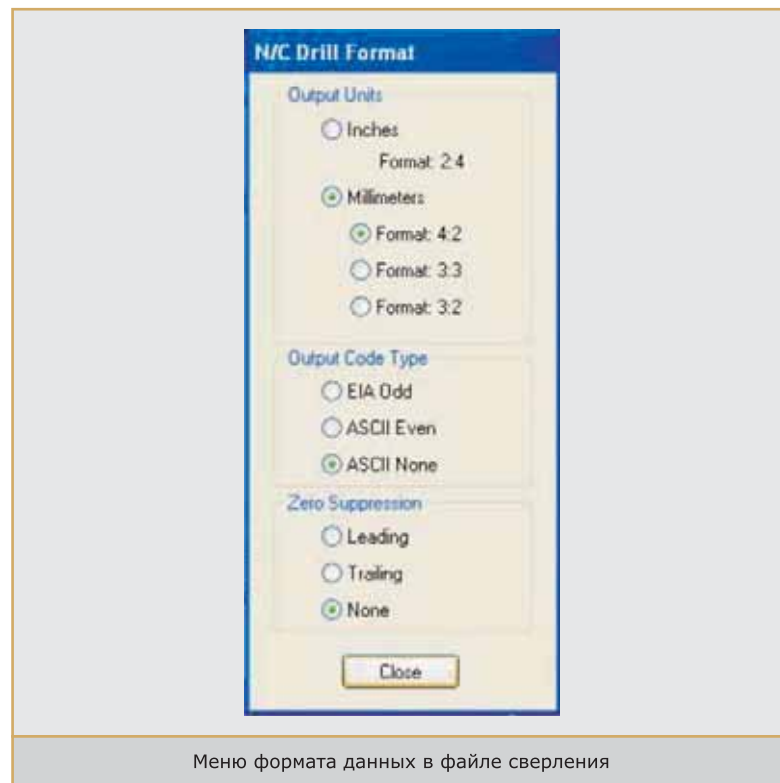
Меню назначения инструментов

В этом меню, если точность диаметров отверстий не превышает один знак после запятой, список инструментов можно формировать, нажав "Auto". В противном случае лучше сформировать его вручную, нажимая "Assign" для каждого отверстия. Подчеркнем, что при создании Pads и формировании программ сверления лучше оперировать конечным диаметром отверстия, независимо от того, будет оно металлизированным или нет.

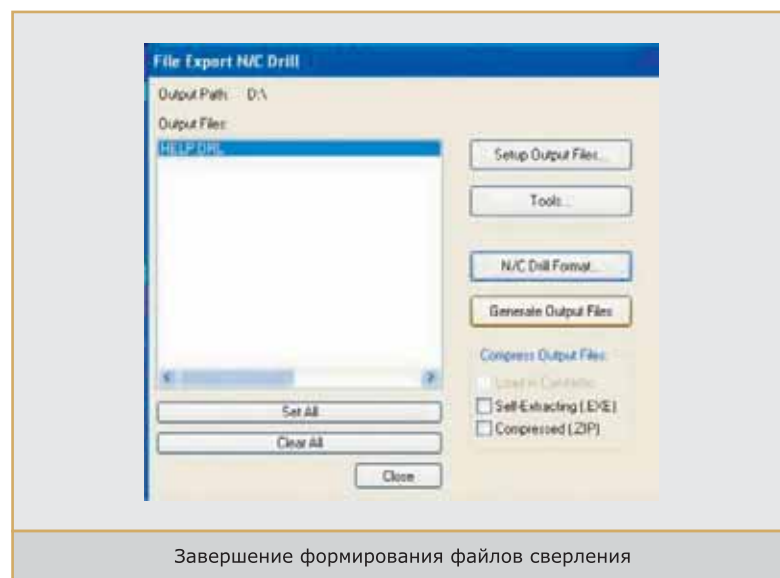
Нам осталось задать формат данных в файле сверления. Для этого вызываем меню "N/C Drill Format" и в открывшемся окне отмечаем:

- "Output Units" – все равно, миллиметры или дюймы;
- «Output Code Type» – рекомендуем установить в "ASCII None", это лучше воспринимается CAM-системами при дальнейшем импорте;
- "Zero Suppression" – установите "None".

Завершаем формирование файлов сверления, нажав "Generate Output Files". Признаком безошибочной информации служит соответствующее сообщение и Log-файл.



Меню формата данных в файле сверления

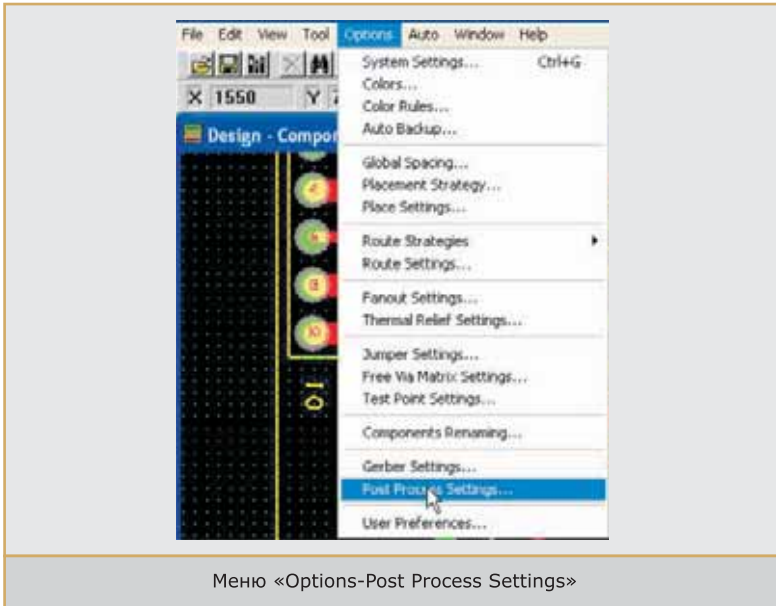


Завершение формирования файлов сверления

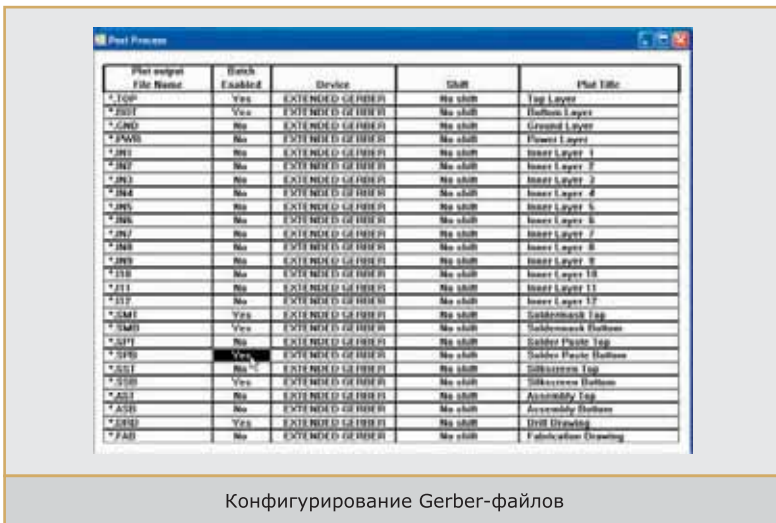
## ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-X И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ ORCAD LAYOUT

Несмотря на то что система Orcad является одним из мощнейших инструментов проектирования печатных плат, процедура экспорта слоев в Gerber формат одна из самых простых.

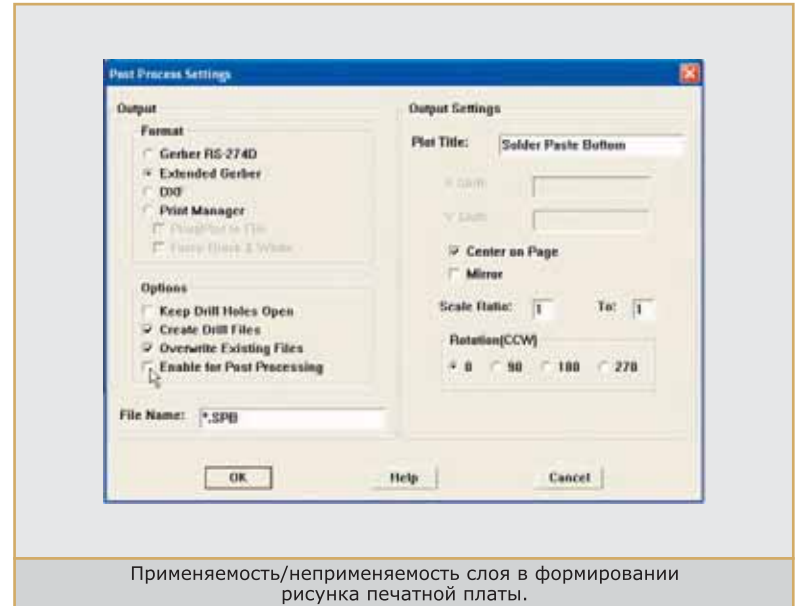
1. Выбираем меню «Options-Post Process Settings».



2. В открывшемся окне необходимо задать конфигурацию Gerber-файлов (слоев печатной платы). Для присутствия соответствующего слоя в экспорте, необходимо, чтобы в колонке «Each Enabled» напротив слоя было отмечено «Yes».



3. Для металлических (проводящих) слоев выбираем соответствующий слой (Top layer, Bottom layer, Inner layer# и т.п.), двойным кликом левой кнопки мыши входим в следующее окно, в котором, в соответствии с необходимостью, ставим или нет галочку «Enable for Post Processing».

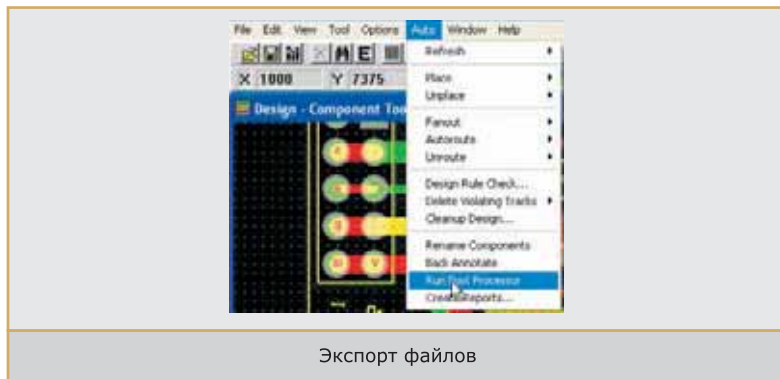


4. Аналогично повторяем набор действий:

- для слоев маски (Soldermask Top, Soldermask Bottom). При проектировании не забывайте о том, что разрешение маски - 0,15мм, т.е. минимальный проводник (линия текста) и зазор должны не менее 0,15мм. Если надписи находятся над металлическими полигонами, допускается частичное непокрытие ПОС или другим финишным покрытием.
- для слоев маркировки краской (Silkscreen Top, Silkscreen Bottom). Маркировку печатных плат, как правило, наносят методом сеткографии специальной краской (с термическим или УФ-отверждением) белого, желтого или черного цвета. Разрешение (минимальная толщина линии) такого метода невелико до 0,2 мм. Альтернативным методом (но более дорогим) является нанесение маркировки маской (как правило, белого цвета) разрешение при этом до 0,15 мм. Эти обстоятельства необходимо учитывать при создании компонента и использовании шрифта, т.к. полочки и выноски имеют меньшую толщину относительно основных линий.

5. Для экспорта механических слоев (контур печатной платы и вырезы в ней) необходимо аналогично выбрать соответствующий слой. Если Вы не создавали пользовательский слой, то это, как правило, слой Drill Drawing и Fabrication Drawing. Некоторым конструкторам удобно внешний контур печатной платы изображать в одном слое, а вырезы и пазы в другом, в таком случае необходимо экспортировать оба слоя и описать это производителю.

6. После закрытия окна конфигурации Gerber-файлов экспортируем их:



Экспорт файлов

7. Выбранные для экспорта файлы (слои) записываются в текущую директорию. В нее же помещаются файлы отчета экспорта и программа сверления **thruhole.tap**. Если Вы использовали не только сквозные переходные отверстия, то программ сверления будет несколько (файл с расширением \*.tap).

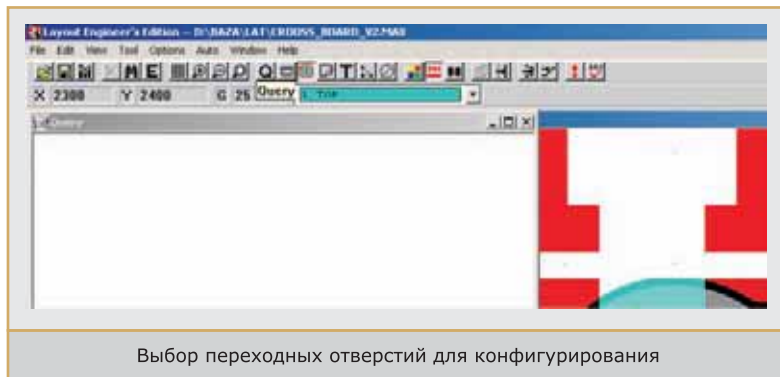
### В заключении несколько типовых ошибок.

1. При проектировании в Orcad Layout не используйте слой Global Layer для формирования рисунка и контура печатной платы, т.к. этот слой полноценно отображается на экране, но не экспортируется.

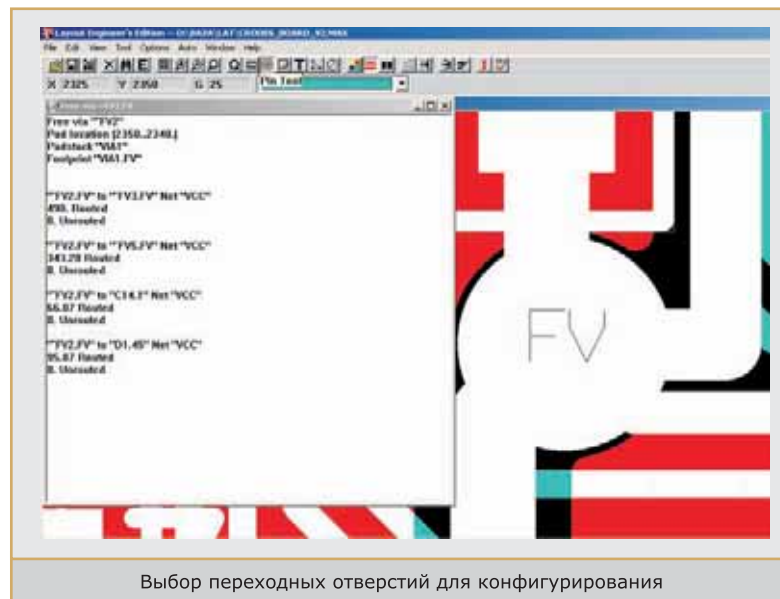
2. В отличие от САПР PCAD, Orcad Layout не имеет возможности конфигурировать переходные отверстия (ПО) при процедуре экспорта:

- «переходные отверстия открыты от маски», т. е. в готовой печатной плате будут покрыты финишным покрытием;
- «переходные отверстия покрыты маской», т. е. в готовой печатной плате будут под масочным покрытием;

Свойства переходного отверстия жестко задается в библиотеке. Перед экспортом это можно проконтролировать. При нажатой кнопке «Pin Tool» нажмите кнопку «Query» и выберите интересующее Вас ПО.

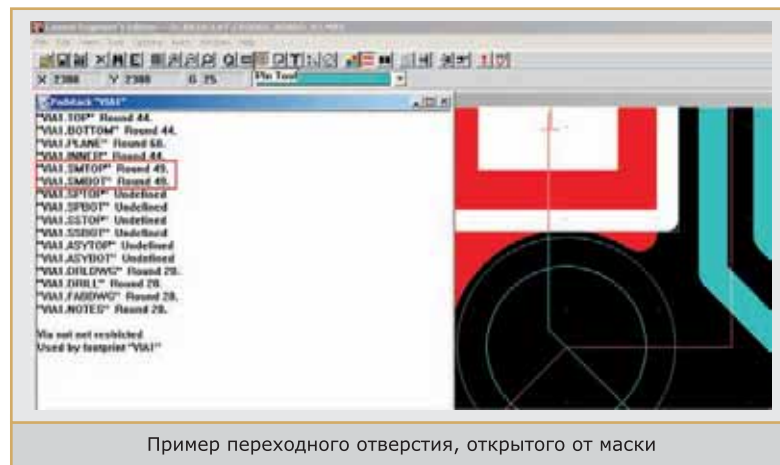


Выбор переходных отверстий для конфигурирования



Выбор переходных отверстий для конфигурирования

В появившемся списке выберете Padstack. В выбранном примере видно, что в слоях маски присутствует вскрытие, т. е. ПО открыто от маски.



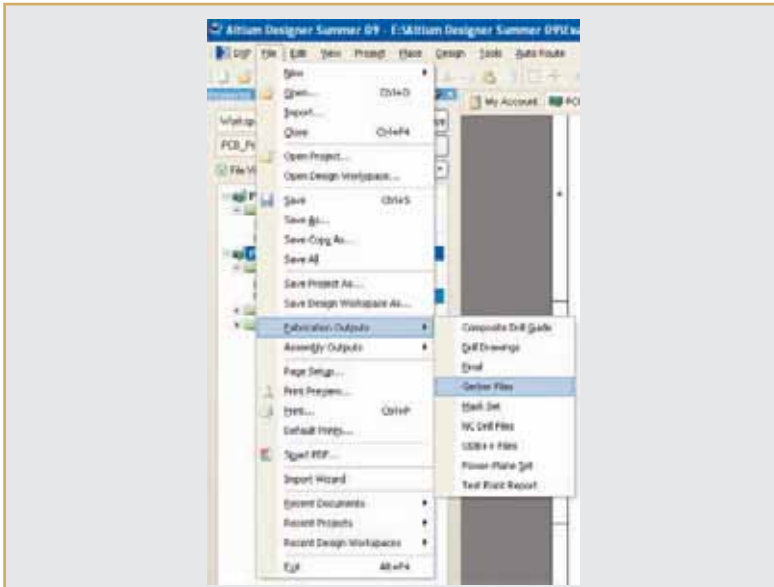
Пример переходного отверстия, открытого от маски

Если требовалось другое, то измените свойства ПО.

3. С технологической точки зрения также рекомендуем зазор между полигонами и элементами топологии задавать на класс ниже – это связано с тем, что в узких местах образуется застой травильного раствора, что снижает скорость травления и, как следствие, возможно образование замыкания или повышенный подтрав остальной части топологии. Линию заполнения полигона следует сделать не тоньше минимального проводника на печатной плате, иначе линии обводки элементов рисунка могут стравиться полностью или частично.

## ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-X И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ PROTEL DXP (ALTIUM DESIGNER)

1. Для входа в меню экспорта Gerber-файлов выбираем «File-Fabrication Outputs-Gerber Files»



Экспорт Gerber файлов

2. Altium Designer предлагает сохранить конфигурацию проекта:

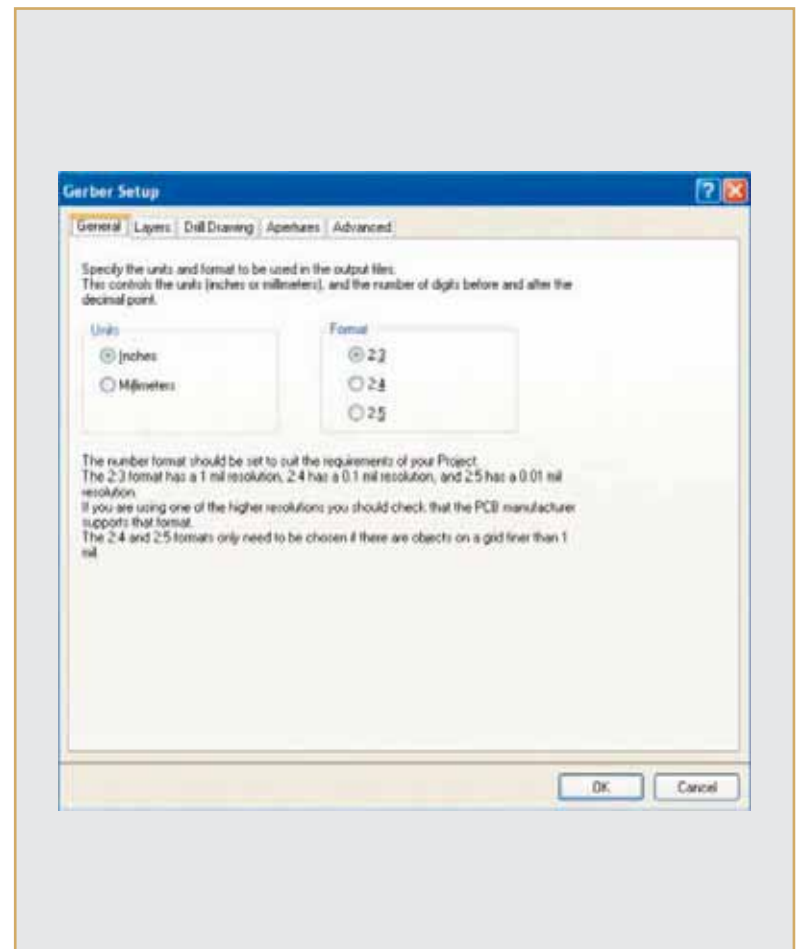


Сохранение конфигурации проекта

3. В открывшемся окне необходимо задать конфигурацию Gerber-файлов. В первой закладке «General» необходимо задать единицы измерения и формат вывода Gerber-файлов:

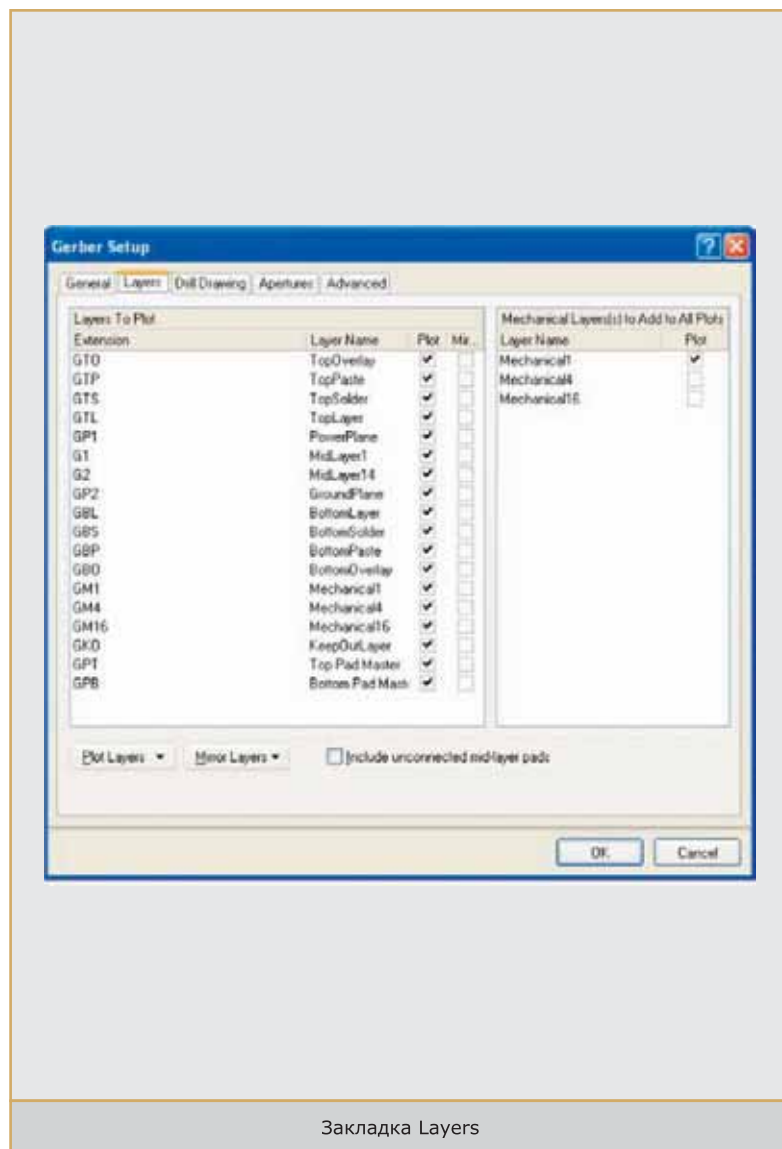
- единицы измерения: дюймы или миллиметры. Одновременное присутствие в проекте компонентов с миллиметровым и дюймовым шагом сводит выбор единиц измерения к чисто эстетическому восприятию.
- формат вывода - количество цифр в координатах площадок, линий и т.п. до и после десятичной запятой.

Использование формата вывода для дюймов 2:4 и 2:5 целесообразно, если Вы работаете в сетке менее 1mil, в остальных достаточно выбрать 2:3. Для миллиметров формат вывода 4:3 применим для сетки 1кмк, а 4:4 - для 0,1кмк, в остальных достаточно выбрать 4:2.



Закладка General

4. Далее переходим к закладке «Layers», в которой необходимо сконфигурировать набор слоев, необходимых для изготовления печатной платы.



Закладка Layers

Предлагаемый пример – четырехслойная печатная плата с маской и маркировкой с двух сторон. В приведенном рисунке выбраны все слои (в колонке «Plot» все галочки проставлены) и в правом окне выбран слой Mechanical1 – его предполагается

добавлять во все Gerber-файлы. Так делать не нужно! Необходимо выбирать только требуемые слои для изготовления печатной платы.

- **TopOverlay** - контуры элементов и позиционные обозначения. Выбирать его нужно, если на изготовленной печатной плате Вам требуется соответствующая маркировка на верхней стороне. Важное замечание: маркировка должна присутствовать в библиотечном элементе.
- **TopPaste** - слой паяльной пасты для монтируемых на поверхность элементов. Для изготовления печатной платы это слой не нужен (не нужно его выбирать). Если требуется изготовление трафарета для последующего нанесения пасты, согласуйте с производителем необходимость предоставления этого файла, т.к. чаще всего при производстве трафаретов используются слои топологии.
- **TopSolder** - слой формирующий вскрытия в паяльной маске под последующее финишное покрытие контактных площадок и других вскрытых областей. Выбирать его нужно, если на изготовленной печатной плате Вам требуется паяльная маска на верхней стороне. Вскрытие/закрытие от паяльной маски задается в библиотеке на каждый элемент. Если требуется вскрыть от маски какие то элементы топологии (проводники, полигоны), в соответствующем месте в слое TopSolder необходимо линиями или полигоном изобразить само вскрытие, т.к. масочный слой инверсный, т.е. все изображенное в слое будет вскрыто от маски. Выбирать его нужно, если на изготовленной печатной плате Вам требуется паяльная маска.
- **TopLayer** - слой топологии на верхней стороне печатной платы. Выбирать его нужно, если в проекте есть топология на этой стороне и она необходима на изготовленной печатной плате.
- **PowerPlane** - внутренний негативный слой топологии (слой питания). Выбирать его нужно, если в проекте есть топология в слое и она необходима на изготовленной печатной плате.
- **MidLayer1** - внутренний позитивный слой топологии. Выбирать его нужно, если в проекте есть топология в слое и она необходима на изготовленной печатной плате.
- **MidLayer14** - внутренний позитивный слой топологии. Выбирать его нужно, если в проекте есть топология в слое и она необходима на изготовленной печатной плате.
- **GroundPlane** - внутренний негативный слой топологии (слой питания). Выбирать его нужно, если в проекте есть топология в слое и она необходима на изготовленной печатной плате.
- **BottomLayer** - слой топологии на нижней стороне печатной платы. Выбирать его нужно, если в проекте есть топология на этой стороне и она необходима на изготовленной печатной плате.

- **BottomSolder** - слой формирующий вскрытия в паяльной маске под последующее финишное покрытие контактных площадок и других вскрытых областей. Выбирать его нужно, если на изготовленной печатной плате Вам требуется паяльная маска на нижней стороне. Вскрытие/закрытие от паяльной маски задается в библиотеке на каждый элемент. Если требуется вскрыть от маски какие то элементы топологии (проводники, полигоны), в соответствующем месте в слое BottomSolder необходимо линиями или полигоном изобразить само вскрытие, т.к. масочный слой - иверсный, т.е. все изображенное в слое будет вскрыто от маски.

- **BottomPaste** - слой паяльной пасты для монтируемых на поверхность элементов. Для изготовления печатной платы это слой не нужен (не нужно его выбирать). Если требуется изготовление трафарета для последующего нанесения пасты, согласуйте с производителем необходимость предоставления этого файла, т.к. чаще всего при производстве трафаретов используются слои топологии.

- **BottomOverlay** - контуры элементов и позиционные обозначения. Выбирать его нужно, если на изготовленной печатной плате Вам требуется соответствующая маркировка на верхней стороне. Важное замечание - маркировка должна присутствовать в библиотечном элементе.

- **Mechanical1, Mechanical4, Mechanical16** - механические слои для задания конструктива (контура) печатной платы - внешний контур, пазы, пропилы. Если в Вашем проекте контур сложный и задан несколькими слоями, выбирайте их.

- **KeepOutLayer** - слой ограничения размещения топологии на печатной плате. Для изготовления печатной платы это слой не нужен (не нужно его выбирать).

- **Top Pad Master** - назначение этого слоя, откровенно говоря, не понятно. Для изготовления печатной платы это слой не нужен (не нужно его выбирать).

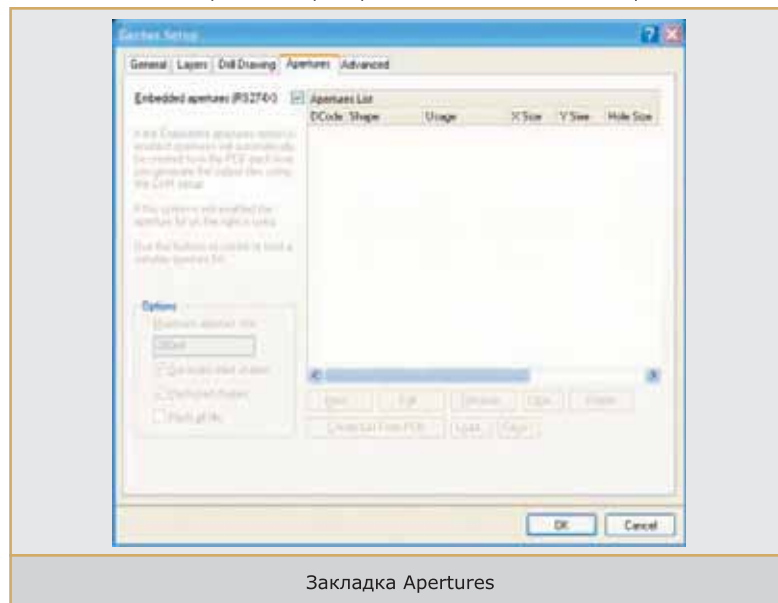
- **Bottom Pad Master** - назначение этого слоя, откровенно говоря, не понятно. Для изготовления печатной платы это слой не нужен (не нужно его выбирать).

Колонку «Mirror» необходимо оставить пустой, т.к. для дальнейшей проверки на технологичность изготовления печатной платы требуется такое же ее представление как и в проекте, а уже при выводе фотшаблонов производитель отзеркалит требуемые слои самостоятельно, в зависимости от типа фотоплоттера.

Необходимость наличия галочки в поле «Include unconnected mid-layer pads» (включая неподключенные площадки на внутренних слоях) для многослойных печатных плат можно согласовать с производителем. Для нашего производства ее лучше поставить.

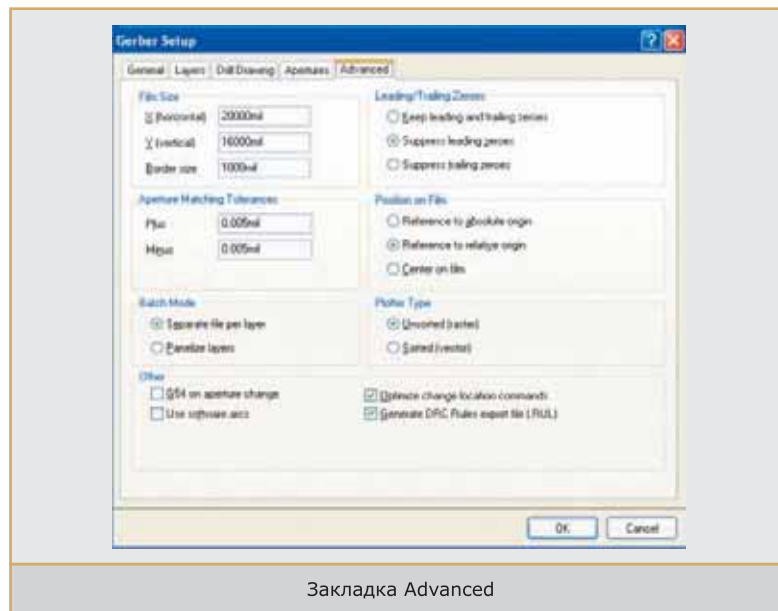
Закладка «Drill Drawing» необходима для установления соответствия диаметрам отверстия соответствующих символов для формирования графических карт сверления. Его мы пропускаем, т.к. на современных производствах сверление выполняется на станках с ЧПУ и в картах нет необходимости.

5. В закладке Apertures проверяем наличие галочки напротив RS274-X.



В результате список используемых апертур (набор примитивов) для формирования рисунка печатной платы будет располагаться в начале каждого Gerber-файла.

6. Закончить конфигурирование Gerber-файлов необходимо в закладке «Advanced».

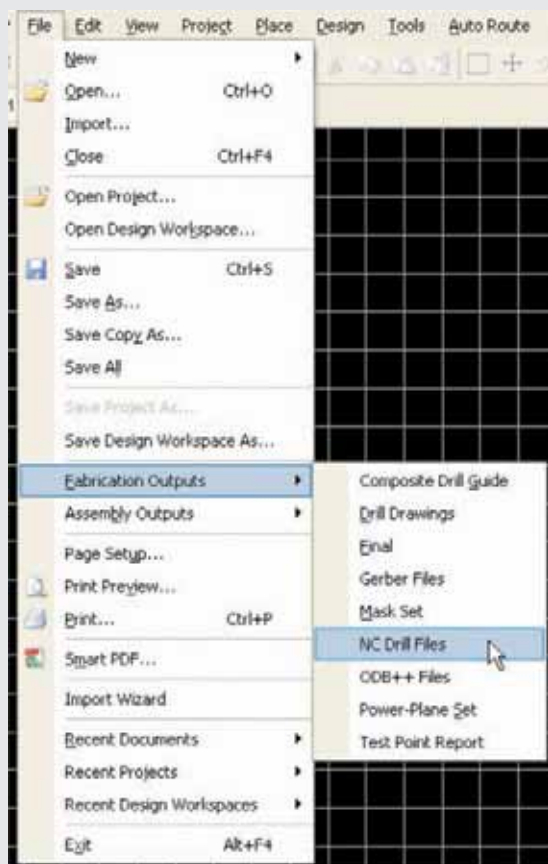


## ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-X И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ PROTEL DXP (ALTIUM DESIGNER)

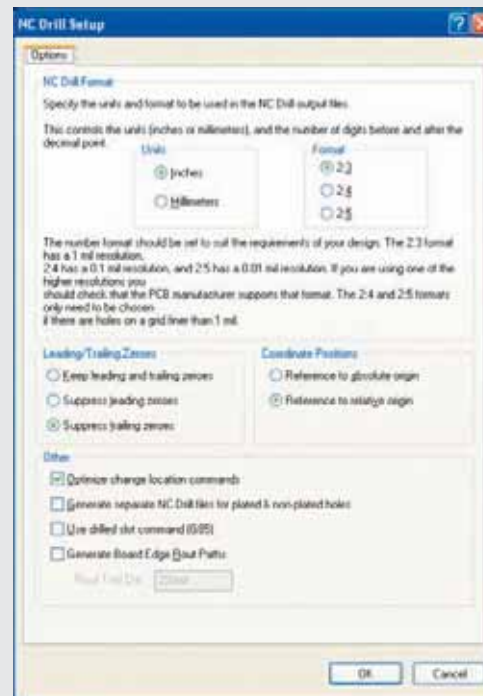
В большинстве случаев всю информацию можно оставить без изменений, но иногда может потребоваться ее изменить. Как правило, это может потребоваться в случае смещения точки привязки левого нижнего угла платы в координату превышающую предустановленный размер пленки фотошаблона (Film Size). В этом случае достаточно изменить значение параметра «Position on Film» на «Center on film».

7. Для экспорта программы сверления выбираем меню «File-Fabrication Outputs-NC Drill Files». В появившемся диалогом окне устанавливаем требуемые параметры или оставляем их без изменений.

После подтверждения сделанных установок (нажатия «ОК») в текущую директорию экспортируется файл с программой сверления.



Экспорт программы сверления



Установки для программы сверления

В открывшемся меню конфигурации программы сверления необходимо задать:

- единицы измерения: дюймы или миллиметры. Одновременное присутствие в проекте компонентов с миллиметровым и дюймовым шагом сводит выбор единиц измерения к чисто эстетическому восприятию.
- формат вывода - количество цифр в координатах отверстий до и после десятичной запятой.

Использование формата вывода для дюймов 2:5 целесообразно, если Вы работаете в сетке менее 0,1 mil, в остальных достаточно выбрать 2:4. Для миллиметров формат вывода 4:3 применим для сетки 1 мкм, а 4:4 - для 0,1 мкм, в остальных достаточно выбрать 4:2.

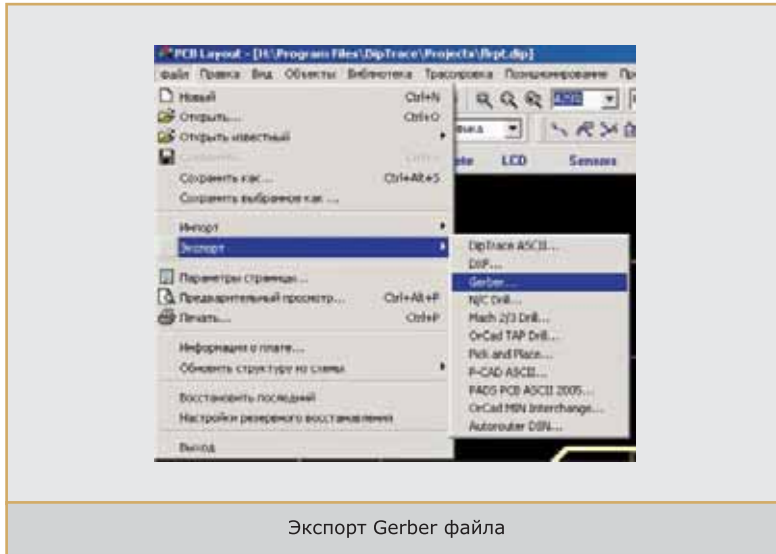
Остальные параметры можно оставить без изменений.

В результате в папке Out сформируются все необходимые файлы для производства печатной платы и файлы отчетов:

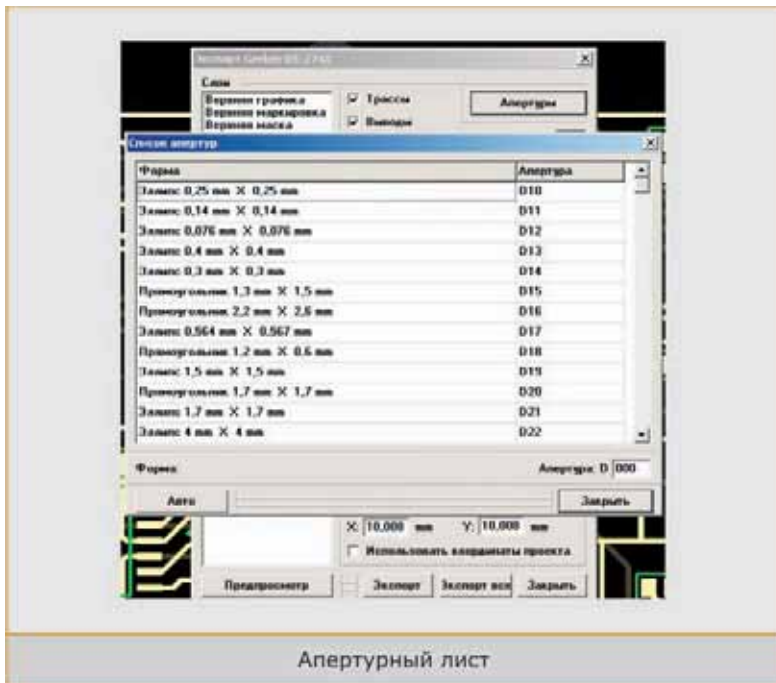
- Name.EXTREP - отчет о наборе Gerber-файлов;
- Name.DRR - отчет о программе сверления.



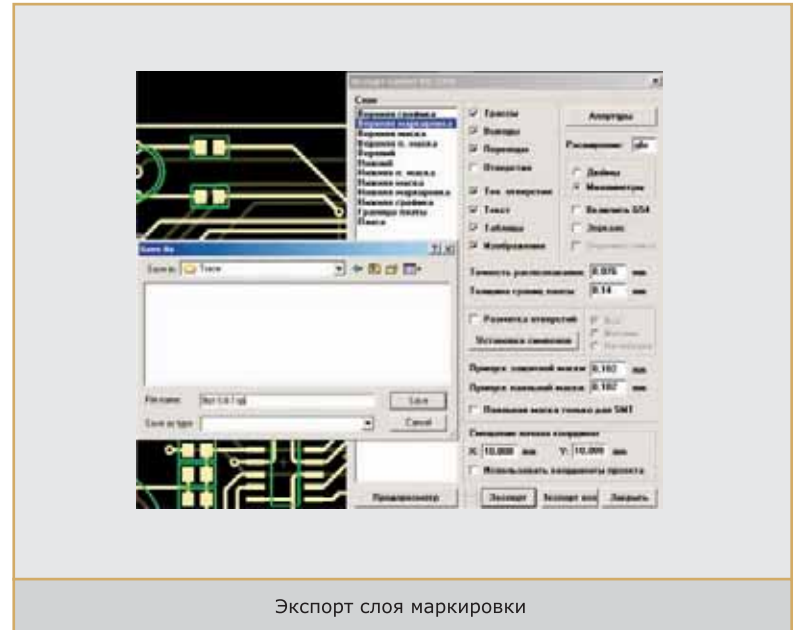
1. Для входа в меню экспорта Gerber-файлов выбираем «Файл-Экспорт-Gerber...»



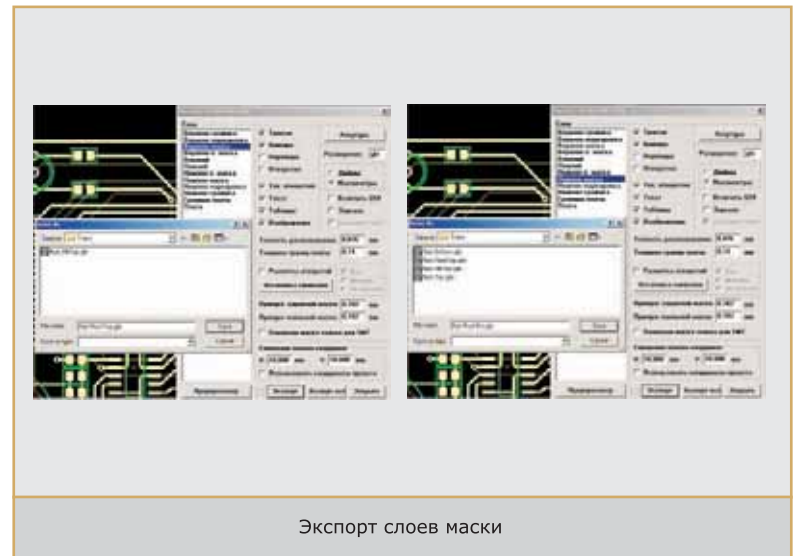
2. Формируем апертурный лист («Апертуры») нажатием кнопки «Авто».



3. Экспортируем слой маркировки краской (в примере на верхней стороне платы):



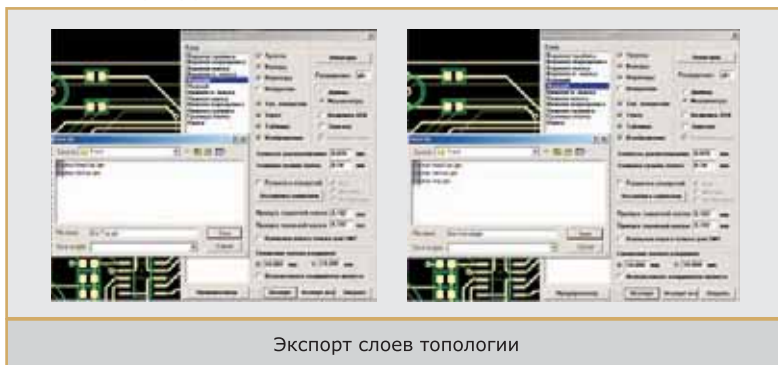
4. Экспортируем слои маски:



Для нижнего слоя галочка «Зеркало» должна быть снята.

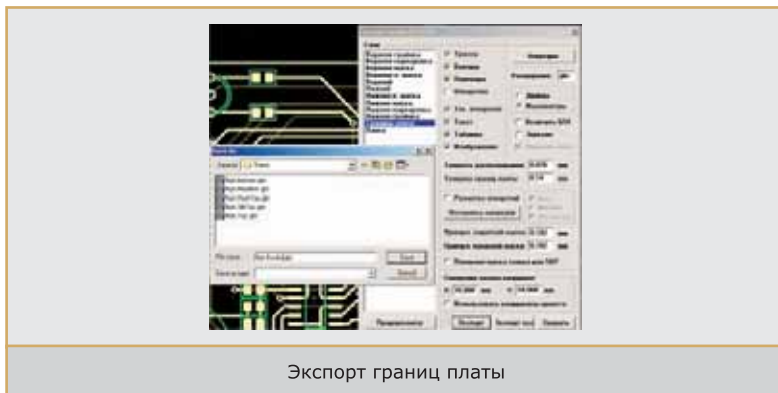
## ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-Х И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ DIPTRACE

5. Экспортируем слои топологии:

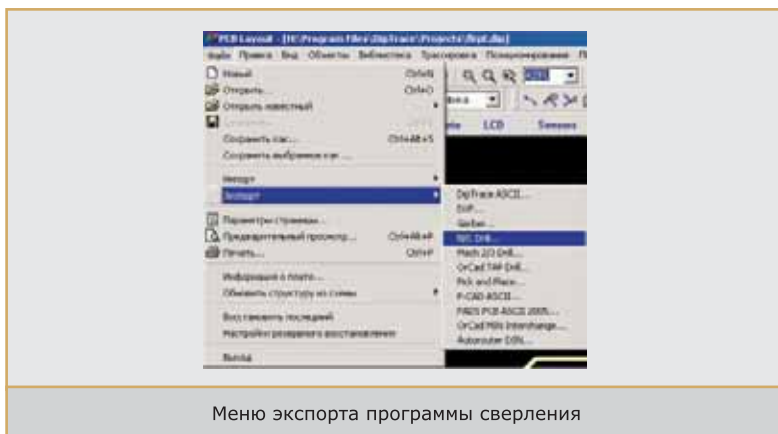


Для нижнего слоя галочка «Зеркало» должна быть снята.

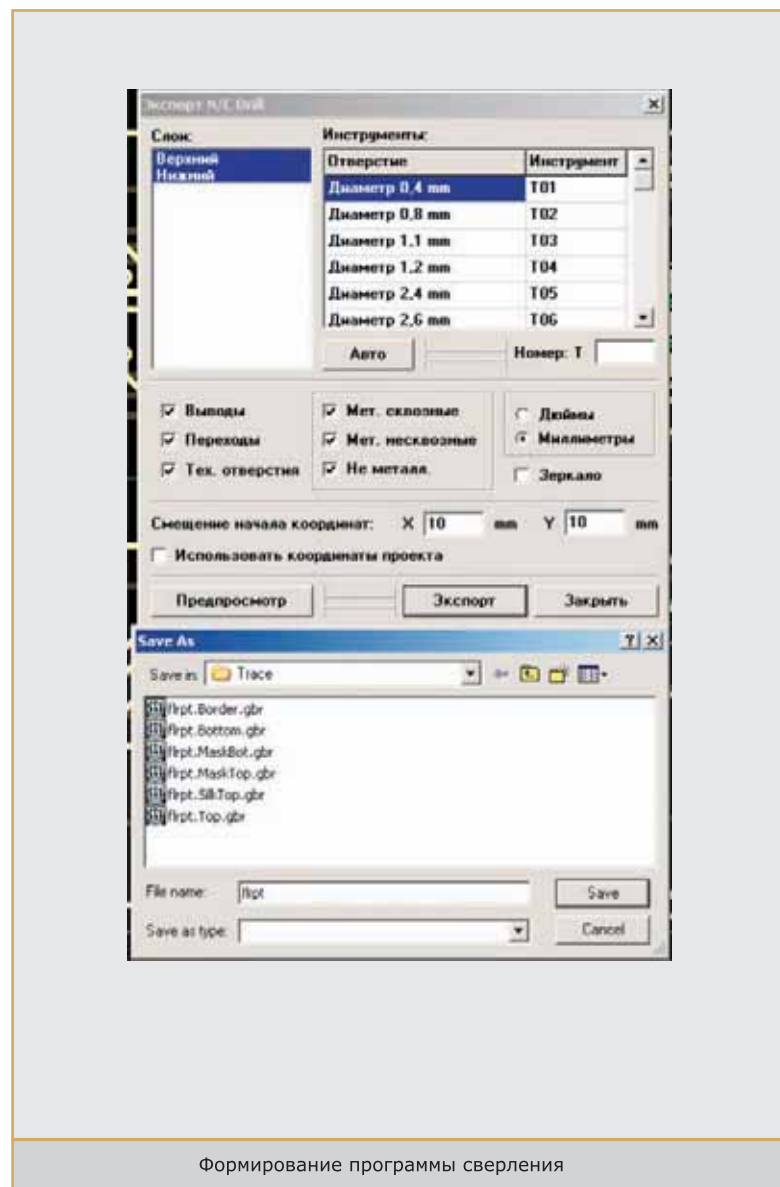
6. Экспортируем границы платы:



7. Для входа в меню экспорта программы сверления выбираем «Файл-Экспорт-NC/Drill...»

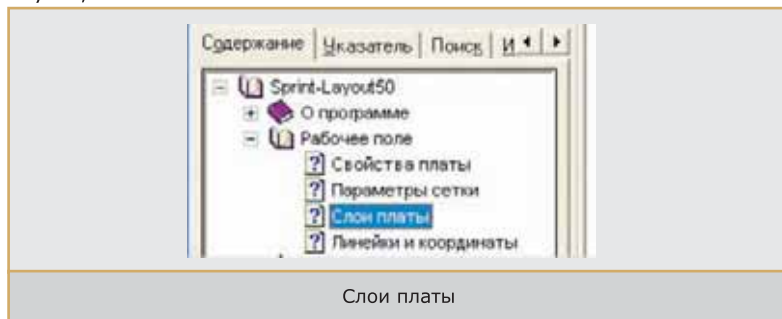


8. В поле «Слой» выбираем с какого на какой слой формируем программу сверления и нажатием кнопки "Авто" под списком инструментов заполняем таблицу инструментов.



Таким образом, сформированы файлы для изготовления двусторонней печатной платы с маской с двух сторон и маркировкой элементов на верхней стороне.

1. Впервые приступая к проектированию в программе Sprint-Layout, обязательно ознакомьтесь с назначением слоев:



Далее приведем содержание без купюр:

## СЛОИ ПЛАТЫ

В программе предусмотрена возможность использования 7 слоев. На экране они отображаются в виде полупрозрачных рисунков.

Расположение слоев:

- Страница платы M1 - медное покрытие верхнего слоя
- Страница платы K1-компоненты, размещенные на верхнем слое
- Страница платы M2-медное покрытие нижнего слоя
- Страница платы K2-компоненты, размещенные на нижнем слое
- Ф-слой для создания принципиальной схемы или сложного контура платы
- V1-внутренний слой1 (только для многослойной платы)
- V2-внутренний слой2 (только для многослойной платы)

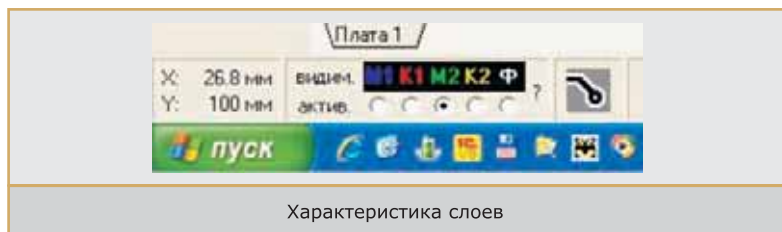
Верхняя и нижняя стороны имеют по два слоя для создания проводников и для установки компонентов.

Следует обратить внимание:

- Страница платы 1 - верх платы.
- Страница платы 2 - низ платы.
- Устанавливать элементы следует, как будто плата прозрачна.
- Компоненты и тексты на нижней стороне платы (сторона 2) должны быть зеркальными (по умолчанию программа их так и ставит).

Только один из слоев может быть активным в данный момент. Это означает, что все новые элементы будут помещены в активный слой. Если слой меди активен, весь рисунок будет сделан в виде проводников. Если активен слой компонентов, рисунок будет сделан непроводящими линиями.

В нижней части экрана можно выбирать активность и видимость слоев:

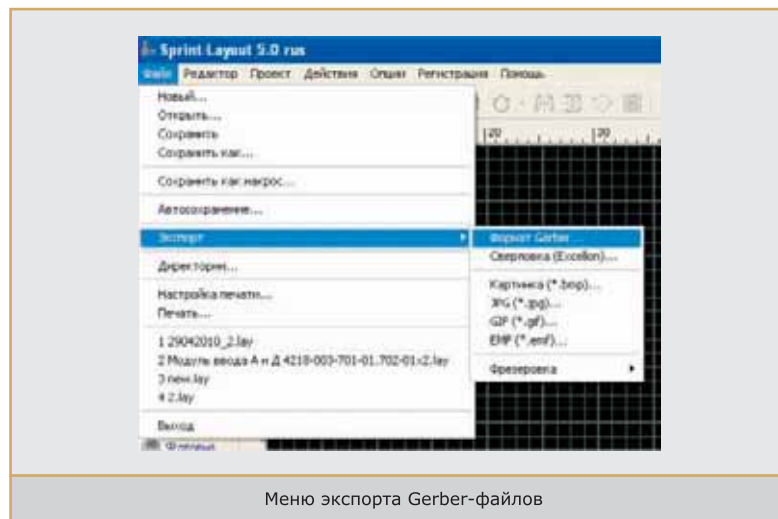


Кнопки M1, K1, M2, K2, V1, V2 и Ф переключают соответствующие видимые/невидимые слои. Текущий активный слой всегда видим. Кнопки с установкой точки выбирают активный слой.

Щелчком левой кнопки мышки по значку "?" вызывается информация о слоях:



2. Для экспорта Gerber-файлов необходимо войти в меню экспорта:



## ЭКСПОРТ ФАЙЛОВ GERBER 274-Х И ФАЙЛОВ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ SPRINT-LAYOUT

3. Далее необходимо последовательно экспортировать необходимые для изготовления печатной платы слои:



Меню "Экспорт формата Gerber"

При экспорте нижних слоев 0.10 (M2, K2 и B2) необходимо снять галочку в поле «Дополнительно»- «Передавать зеркально».

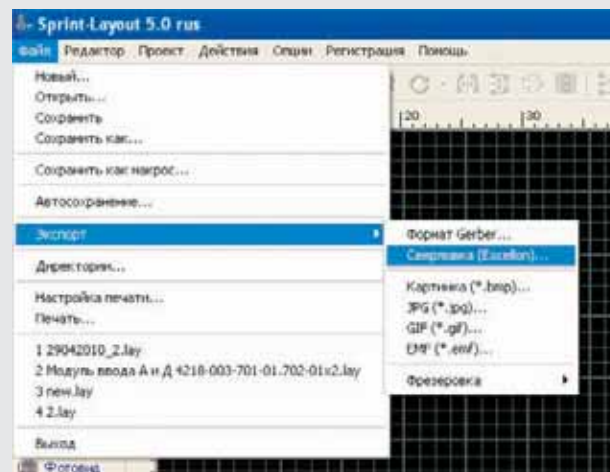
При экспорте одного из слоев печатной платы необходимо включить «контур платы» (поставить галочку).

4. Перед экспортом масочных слоев «зазор маски по олову/клею» необходимо выставить 0,1мм для всех параметров.



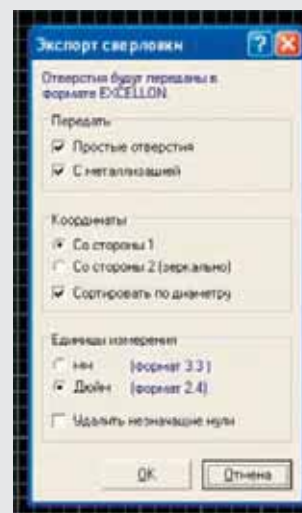
Меню "Экспорт формата Gerber"

5. Для экспорта программы сверления:



Экспорт программы сверления

6. Все типы отверстий (простые и с металлизацией) передаются одним файлом. Поле «Координаты» необходимо заполнить так, как показано на рисунке. «Единицы измерения» значения не имеют.



Меню "Экспорт сверловки"

Иногда заказчики сетуют: «Я полностью подготовил печатную плату к производству, вот мой проект, я затратил на него столько-то недель, а вы с меня требуете деньги за какую-то дополнительную подготовку». Поясняем, подготовка к производству это:

1. Экспорт-импорт ваших файлов в программу подготовки к производству CAM350.
2. Проверка проекта на технологические возможности производства.

3. Мультиплицирование плат на технологической заготовке.
4. Генерация программ сверления, формирование программ фрезерования и скрайбирования.
5. Вывод фотошаблонов на фотоплоттере.
6. Создание технологической карты на печатную плату.
7. Архивирование документации и управляющих программ.

## ПОВТОРНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

При повторном изготовлении печатных плат все вышеописанные операции за исключением п. 7 (архивирование документации и управляющих программ) пропускаются, информация берется из архива и выдается в работу. Отсюда следует, что для оформления

повторного заказа нам потребуется знать только название печатной платы (имеется в виду название файла проекта, присланного ранее) и количество плат, подлежащих изготовлению.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Определения по ГОСТ 27473-87.

**2.1. Трекинг.** Прогрессирующее образование токопроводящих мостиков, которые появляются на поверхности твердого электроизоляционного материала в результате комбинированных воздействий электрического напряжения и электролитического загрязнения его поверхности.

**2.3. Сравнительный индекс трекингостойкости (СИТ).** Величина максимального напряжения в вольтах, при которой

материал выдерживает 50 капель без образования токопроводящих мостиков.

Примечание. Величина каждого испытательного напряжения и СИТ должна делиться на 25.

**2.4. Контрольный индекс трекингостойкости (КИТ).** Величина контрольного напряжения в вольтах, при которой материал выдерживает 50 капель без образования токопроводящих мостиков.

### Пересчет площади

$1 \text{ м}^2 = 100 \text{ дм}^2 = 10,764 \text{ фут}^2 = 1550 \text{ дюйм}^2$

### Зависимость веса печатных плат от толщины материала

Толщина материала, мм	Вес, г/дм <sup>2</sup>
0,5	12
0,8	17
1,0	22
1,5	32
2,0	40
4-слойная ПП (1,6 мм)	42

### Типовые размеры листов FR4

$36" \times 48" = 914 \times 1220 \text{ мм} = 1,115 \text{ м}^2$
$40" \times 48" = 1020 \times 1220 \text{ мм} = 1,244 \text{ м}^2$
$41" \times 49" = 1041 \times 1245 \text{ мм} = 1,295 \text{ м}^2$
$42" \times 48" = 1067 \times 1220 \text{ мм} = 1,302 \text{ м}^2$

### Толщина стеклоткани

Тип препрега	Вес, г/м <sup>2</sup>	Толщина, мм	Основа/плетение
106	25	0,050	22 x 22
1080	49	0,065	24 x 18,5
2112	70	0,090	16 x 15
2113	83	0,100	24 x 23
2125	88	0,100	16 x 15
2116	108	0,115	24 x 23
7628	200	0,190	1 x 23

### Толщина прочих связующих

Тип	Толщина, мм
Speedboard	0,038
Arlon 6700	0,038
Arlon 6250	0,038
Rogers 3001	0,025
Rogers Rt6002	0,097

### Приблизительный вес листа стеклотекстолита

(оценочные сведения, получены путем замера, могут варьироваться в зависимости от производителя)

Материал	Вес, кг/м <sup>2</sup>
FR4 1,5 мм 18/18	3,166
FR4 1,5 мм 35/35	3,398
FR4 1,5 мм 18/0	3,012
FR4 1,5 мм 35/0	3,166
FR4 2,0 мм 18/18	3,861
FR4 2,0 мм 35/35	4,093

### Соответствие толщины медной фольги к ее весу в унциях (oz)

Вес меди, oz	Толщина, мкм
1/8	5
1/4	9
1/2	18
1	35
2	70
3	105
4	140

### Основные параметры базовых материалов

Тип покрытия	Tg, град	Коэффициент диэлектрической проницаемости (измеренный на 1 МГц)
FR4	143	4,5
FR5	185	4,5
BT (CB4)	180	-
Полиимид (твердый)	260	4,2
Полиимид (гибкий)	220	3,2
Фторпласт	-	3,6...3,9
Тефлон	280	3,4

Технология поверхностного монтажа на сегодняшний день является основной технологией сборки изделий на основе электронных модулей. Ее достоинствами являются: уменьшение размеров компонентов, повышение плотности размещения элементов, увеличение количества выводов интегральных микросхем и одновременное уменьшение шага между этими выводами и т.д. Важными преимуществами применения поверхностного монтажа являются: его технологичность, возможности по автоматизации процессов сборки и, как следствие, повышение качества и надежности изделий при снижении стоимости их сборки. Появление новых технологий и направлений, таких как компоненты с массивом шариковых выводов (BGA) и Chip-Scale компоненты (CSP), монтаж кристаллов на плату (Chip-On-Board) и перевернутых кристаллов (Flip-Chip), внедрение микроэлектромеханических систем (MEMS), позволяют этой технологии развиваться в соответствии с современными требованиями к изделиям электроники, основными из которых являются миниатюризация и повышение функциональности, снижение стоимости и быстрое внедрение в производство новых изделий.

Следующие разделы посвящены этой технологии и связанными с ней аспектами проектирования печатных плат, которые в последствии будут смонтированы по технологии поверхностного монтажа SMT.

Типовая последовательность действий при монтаже печатных узлов методом поверхностного монтажа состоит из нескольких этапов:

- нанесение паяльной пасты (дозирование или трафаретная печать);
- установка компонентов на плату;
- групповая пайка (в конвекционной, инфракрасной или парофазной печи);
- оптический контроль качества монтажа;
- отмывка печатных узлов (при необходимости).



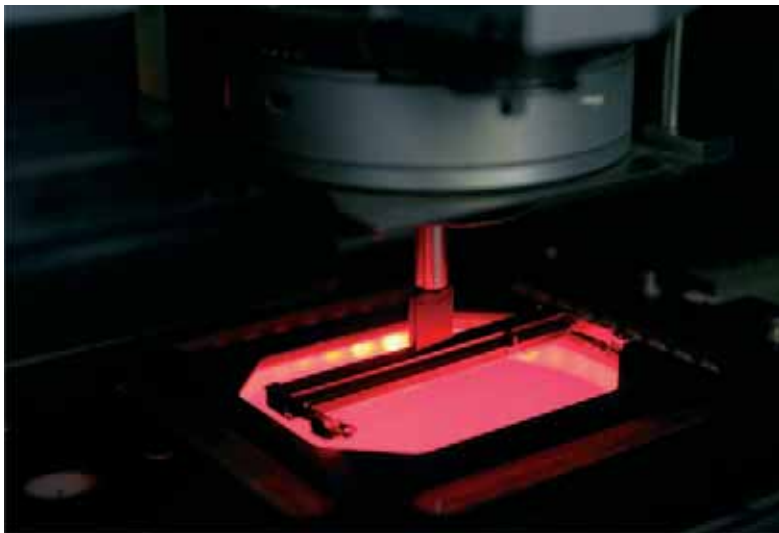
Для пайки элементов и удержания их на поверхности платы до момента образования паяного соединения используется паяльная паста, которая представляет собой порошкообразный припой с добавлением флюса и различных активаторов и присадок. Паста имеет гелеобразную консистенцию и должна обеспечивать очистку контактных площадок ПП и компонентов от оксидной пленки (и др. примесей мешающих образованию паяного соединения, активации флюса), а также равномерное образование качественного паяного соединения, удержание компонента на поверхности платы до момента пайки, т.е. обладать клеящими свойствами.

Паста наносится на контактные площадки ПП через трафарет, отверстие в котором – апертурой – повторяют рисунок – расположение и форму контактных площадок на плате. Нанесение пасты происходит на автоматических принтерах трафаретной печати. Эти устройства оснащены видеосистемой, обеспечивающей точное совмещение трафарета с платой. Затем, с помощью специальных ракелей, происходит продавливание пасты через отверстия в трафарете и ее нанесение на контактные площадки платы. Специальные устройства принтера контролируют различные параметры этого процесса (скорость перемещения ракеля, давление, скорость отрыва трафарета от платы и т.д.), а также выполняют такие операции, как контроль состояния, очистка трафарета и т.д.

Во многих случаях после этого процесса может выполняться контроль нанесения пасты, позволяющий выявить возможные дефекты. Эта операция может выполняться как отдельной специализированной установкой автоматической оптической инспекции, стоящей в линии после принтера и выполняющей контроль платы целиком, так и с помощью специальной опции – 2D инспекции, входящей в состав многих современных принтеров, которая выполняет контроль наиболее ответственных участков.

На следующем этапе происходит установка компонентов на плату. Сегодня существует множество автоматов, выполняющих данную операцию. Они отличаются по устройству, конструкции, производительности, возможностям и назначению. Зачастую, в одной линии можно встретить два и более автомата установки компонентов, выполняющих свои определенные задачи. Например, скоростная установка простых чип-компонентов и установка компонентов, требующих высокой точности, компонентов больших размеров или сложной формы и т.д. Но, независимо от устройства станка, основная последовательность действий выглядит примерно одинаково: захват компонента из питателя, его центрирование с помощью видеосистемы, лазера или механическими захватами и установка на плату. Перед началом монтажа специальная видеосистема определяет координаты реперных меток на плате и вносит поправки на неточность позиционирования платы в рабочей области станка.

Для пайки собранных ПП в современных автоматических линиях могут применяться конвейерные печи для пайки методом конвекции, ИК-нагрева и другие. Наиболее высокое качество пайки и производительность обеспечивают конвекционные печи. В этих устройствах собранная плата перемещается по конвейеру между несколькими зонами с разной температурой, горячий воздух в которые передается от нагревателей с помощью вентиляторов.



Это обеспечивает равномерный прогрев всего изделия, плавный управляемый рост температуры до нужного пикового значения, и дальнейшее постепенное охлаждение спаянной платы, предотвращающее температурный стресс. Специальные модули печи

контролируют распределение потоков воздуха внутри рабочей зоны и удаление из него продуктов, выделяющихся при нагреве флюса и активаторов паяльной пасты.

Спаянные модули проходят контроль с помощью установки автоматической оптической инспекции, которая позволяет распознать такие дефекты, как пропуск компонентов, их смещение, образование перемычек между выводами микросхем, непропаи, холодные пайки и т.д. Наиболее передовые установки также позволяют оценивать качество образованных паяных соединений. Проверка происходит в автоматическом режиме: платы, на которых были выявлены дефекты маркируются, либо эти данные передаются на ремонтную станцию, либо выводятся в наглядной форме оператору АОИ. Если на собираемых модулях присутствуют элементы со скрытыми выводами, такие как BGA, CSP, QFN и другие, качество пайки которых невозможно определить с помощью оптических систем, применяются установки рентгеноскопического контроля. Они помогают обнаружить отсутствующие или не припаянные выводы, пустоты в паяном соединении, перемычки припоя между выводами и др. дефекты скрытых соединений.

Если требования к изделию подразумевают полное удаление остатков флюса и ионных загрязнений, то их отмывка производится в специальных установках, с помощью специальных жидкостей и применения их активаторов, таких как: нагрев, ультразвук или барботаж.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОНТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Одним из необходимых этапов полного цикла монтажного производства является изготовление трафаретов для поверхностного монтажа для ручной и автоматической сборки.

Большинство производственных компаний отказалось от изготовления трафаретов из бронзы методом химического травления, в том числе, из-за сильно ограниченного срока их возможной эксплуатации. На нашем производстве для изготовления трафаретов из нержавеющей стали методом лазерной резки и контроля качества их выполнения используется оборудование компании LPKF (Германия). Высокоточные автоматизированные установки лазерной резки позволяют технологам гибко контролировать дальнейший процесс монтажа.

На нашем предприятии функционируют три автоматических линии поверхностного монтажа, укомплектованные современным оборудованием ведущих мировых производителей.

Все операции – загрузка и выгрузка плат на линию, нанесение паяльной пасты, установка компонентов, оплавление, оптический контроль, осуществляются в полностью автоматическом режиме, что позволяет минимизировать участие человека, повысить производительность и качество выпускаемых изделий.

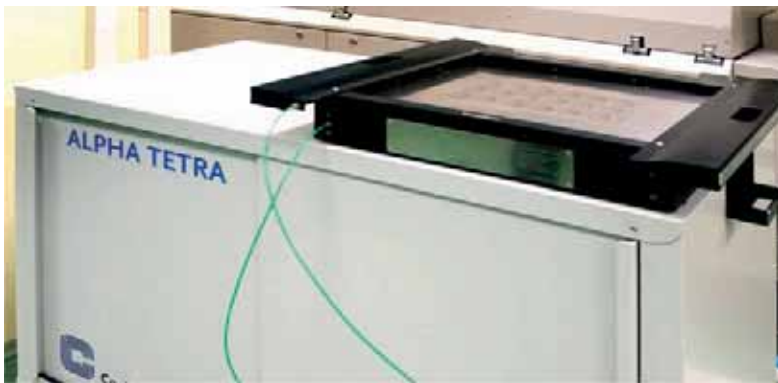




Для нанесения паяльной пасты используются принтеры MPM концерна Speedline: UP2000HiE, Momentum. Они оснащены современными видеосистемами для высокоточного совмещения трафаретов и плат, системами очистки трафаретов, 2D контролем нанесения пасты, что позволяет добиться точного, повторяемого, качественного нанесения пасты.



На всех принтерах используется пневматическая система натяжения трафаретов Alfa Tetra компании Cookson Electronics, что обеспечивает корректное натяжение полотна трафарета, повышает качество нанесения пасты и продлевает срок службы трафаретов.



Основой линий поверхностного монтажа являются установщики компонентов. На нашем предприятии используются автоматы фирмы Assembleon: хорошо зарекомендовавшие себя гибкие многофункциональные машины TorazXII и MG1, специализированные установщики – высокопроизводительные Sapphire и AX-501, универсальный прецизионный установщик Ax201.

Именно это оборудование позволяет нам обеспечить монтаж самого широкого спектра компонентов: от чипов 01005 до микросхем QFP, BGA, QFN любых размеров и с малым шагом выводов, широкой номенклатуры разъемов, длиной до 160 мм, держателей сим карт и карт памяти, деталей высотой до 45 мм. Высочайшая производительность установщика AX-501 позволяет справиться с любыми объемами заказа в кратчайшие сроки, а точность и функциональная оснащённость Assembleon AX201, позволяет применять его даже в микроэлектронных приложениях.



Пайка происходит в конвекционных печах Electrovert и Ersa. Печи имеют по 7 зон нагрева и по 2 зоны охлаждения, что позволяет выстраивать температурные профили, максимально соответствующие требованиям изделия, а так же применяемых материалов и компонентов. Все печи подготовлены для работы в инертной среде и имеют водяное охлаждение. Рабочие параметры печей позволяют применять их для пайки изделий по бессвинцовой технологии, а различные опции – поддержка ПП по центру, подогрев конвейера в пиковых зонах, специальные системы циркуляции воздуха в рабочей зоне – обеспечивают высококачественную пайку любых изделий.



Для точного подбора профиля пайки используется система термопрофилирования AutoM.O.L.E.®Xpert3, которая позволяет не только считывать текущие параметры, но и создавая температурную «подпись», каждой печи автоматически подбирать оптимальные

режимы для конкретных изделий, контролировать и корректировать параметры работы, наглядно сопоставляя требуемые, заданные и реальные показатели.

После пайки изделия проходят проверку на системах Автоматической Оптической Инспекции. На нашем предприятии применяются установки Orbotech Vantage S22 и Cyberoptics Flex Ultra 18M. Данные системы позволяют: выявлять различные дефекты пайки (смещение, отсутствие компонентов, непропаи и перемычки между выводами, и т.д.); считывать маркировку компонентов; распознавать полярность; оценивать качество паяных соединений. Важной особенностью этих систем является их способность работать с изделиями, собранными по бессвинцовой технологии.



Для контроля изделий с микросхемами в корпусах BGA, QFN и других элементов со скрытыми выводами, на нашем предприятии используется установка рентгеноскопического контроля DAGE XD7600. Запатентованная конструкция данной установки дает возможность просматривать изделия под большими углами наклона без потери увеличения, что является важным для оценки паяных соединений некоторых типов компонентов.

Отмывка плат после монтажа происходит в автоматической системе отмывки FinnSonic. Данная установка состоит из последовательных ванн, оснащенных модулями для подогрева, барботажа и ультразвуковой очистки. Она позволяет применять различные промывочные жидкости и технологии очистки плат в зависимости от требований изделия и материалов. Перемещение плат между ваннами происходит автоматически. Контроль параметров работы отдельных модулей осуществляется общим контроллером, на котором и задаются все параметры программы отмывки.



Современные технологии изготовления печатных плат предоставляют широкие возможности по выбору финишного покрытия плат в зависимости от тех или иных особенностей или параметров изделия. В данном разделе мы коснемся некоторых свойств наиболее распространенных финишных покрытий, которые отражаются на монтаже изделий.

Наиболее популярным на сегодняшний день остается покрытие на основе сплава **олово-свинец (ПОС-63)**. Способ нанесения и выравнивания припоя на поверхности контактных площадок и открытых участков меди называют **HASL (или HAL)** – Hot Air Solder Leveling, т.е. выравнивание припоя горячим воздухом. Это покрытие давно и хорошо зарекомендовало себя благодаря отличной паяемости, высокой прочности паяных соединений, долгим сохранением свойств до пайки, высокой ремонтпригодностью сборок с таким покрытием. Вместе с тем, это покрытие обладает значительной неплоскостью и неравномерной толщиной покрытия на контактных площадках разного размера и ориентации, что может вызвать проблемы при монтаже ряда современных компонентов, таких как: BGA, QFN, компоненты с термальными выводами под корпусом и компоненты с малым шагом выводов.

Если на печатной плате присутствуют такие компоненты, то в качестве финишного покрытия лучше выбрать одно из т.н. иммерсионных покрытий: **ENIG** (electroless nickel/immersion gold, иногда обозначается **ImAu**) – химический никель/иммерсионное золото, **ImSn** – иммерсионное олово, **ImAg** – иммерсионное серебро. Благодаря применению данных покрытий контактные площадки на плате получают идеально ровными, что облегчает монтаж компонентов с шариковыми выводами, безвыводных компонентов и других современных типов корпусов.

Достоинствами иммерсионного золочения является хорошая паяемость, золото хорошо растворяется в припое и не подвержено быстрому потускнению и окислению (высокая долговечность покрытия). Иммерсионное серебро относительно недорогое и очень технологичное покрытие с отличной паяемостью и высокой прочностью паяных соединений. Отличное покрытие для производства клавиатур и сенсорных панелей. Покрытие из иммерсионного олова хорошо подходит для коммутационных плат, а благодаря толстому слою покрытия и хорошей скользящей поверхности, это, пожалуй, лучшее покрытие для установки разъемов по технологии Press-Fit.

Важно отметить, что все перечисленные типы покрытий, кроме HASL, соответствуют требованиям директивы RoHS, направленной на ограничение использования свинца в электронной промышленности, и пригодны для бессвинцовой пайки. Также, в последнее время получило распространение органическое защитное покрытие – **OSP** – organic solderability preservative. Его основное отличие от вышеописанных методов в том, что вместо металлов непосредственно на медные контактные площадки наносится органический слой, защищающий медь от окисления. При пайке этот слой полностью растворяется. Данное покрытие, как в прочем и любое другое, имеет ряд недостатков: короткий срок хранения до пайки, паяемость ниже вышеописанных, его не рекомендуется применять для высокочастотных изделий, наличие непроводящего слоя может вызвать проблемы с внутрисхемным электрическим тестированием и т.д. Но по некоторым данным прочность паяных соединений на таких покрытиях даже выше, чем у HASL-покрытий и иммерсионного золота. Плоскостность контактных площадок, которую обеспечивает OSP, очень высока, поэтому данное покрытие прекрасно подходит для установки компонентов типа BGA, безвыводных компонентов и компонентов с малым шагом выводов.

Несмотря на то, что требования директивы RoHS на Россию не распространяются, они оказывают косвенное влияние на российских производителей. Очень многие производители электронных компонентов или полностью перешли на производство компонентов с бессвинцовыми выводами, или осуществляют постепенный переход на таковые. Сейчас зачастую очень сложно бывает укомплектовать то или иное изделие только обычными, или только бессвинцовыми компонентами. И, хотя, монтаж одновременно и тех и других компонентов является не вполне корректным, порой этого избежать просто не удастся, но благодаря применению соответствующих материалов и параметров технологических процессов, в таких случаях, все-таки, удастся получить стабильную качественную пайку.

В случаях, когда содержание свинца в устройстве не имеет значения, можно выбирать любое финишное покрытие контактных площадок. Если же речь идет о **бессвинцовой технологии**, то, в качестве покрытий рекомендуются иммерсионные золото или серебро, OSP или т.н. бессвинцовое лужение (Lead-Free HASL).

## ПОДГОТОВКА ПРОЕКТА ПОД АВТОМАТИЧЕСКИЙ МОНТАЖ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Во многом качество SMT-монтажа обеспечивается еще на этапе проектирования печатного узла. Для того, чтобы уменьшить вероятность возникновения проблем при монтаже, а также снизить его стоимость, необходимо учитывать требования предприятия, производящего монтаж. Их соблюдение позволит получить наиболее полную реализацию тех преимуществ, которые заключает в себе технология поверхностного монтажа.

Поэтому уделим внимание тем вопросам разработки, которые непосредственно отражаются на процессе и качестве монтажа.

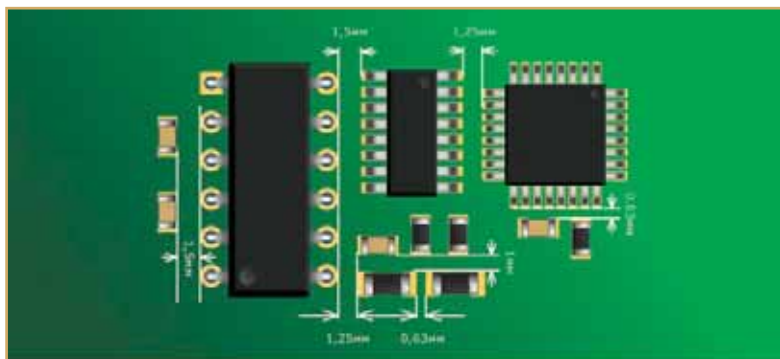
Некоторые из приведенных здесь сведений носят общий характер и применимы к любому производству. Они основаны на рекомендациях и стандартах организаций IPC (Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuits) и JEDEC (Joint Electronic Device Engineering Council). Другие сведения были получены нашими специалистами на основе собственного опыта работы с нашим оборудованием. В любом случае, применение изложенной информации на практике поможет смонтировать ваши изделия более качественно, быстро и эффективно.

### РАЗМЕЩЕНИЕ КОМПОНЕНТОВ

Наше оборудование позволяет размещать компоненты с минимальным расстоянием друг от друга 0,2 мм, а от края платы – 1 мм (при условии наличия технологических полей на заготовке). Но использование максимальных технических возможностей не всегда оправдано. В данном случае, слишком близкое размещение компонентов очень сильно снижает ремонтопригодность изделия, оптическую инспекцию компонентов, проверку паяных соединений. Близкое расположение компонентов, разных по размерам и теплостойкости может сказываться на качестве пайки.

Кроме того, важно учитывать, что размеры корпусов многих компонентов выходят за размеры контактных площадок, поэтому при создании графики компонентов желательно прорисовывать их реальные габариты или зону, занимаемую компонентом, с учетом пространства, необходимого для инспекции и ремонта. Это поможет правильно разместить компоненты и позволит избежать ошибок.

Рекомендуемые зазоры – 0,6...0,8 мм между чип-компонентами; 1 мм – между чип-компонентами и крупными элементами платы; 1,2...1,5 мм – между микросхемами и крупными компонентами; и 1,5 мм между SMD и выводными компонентами.



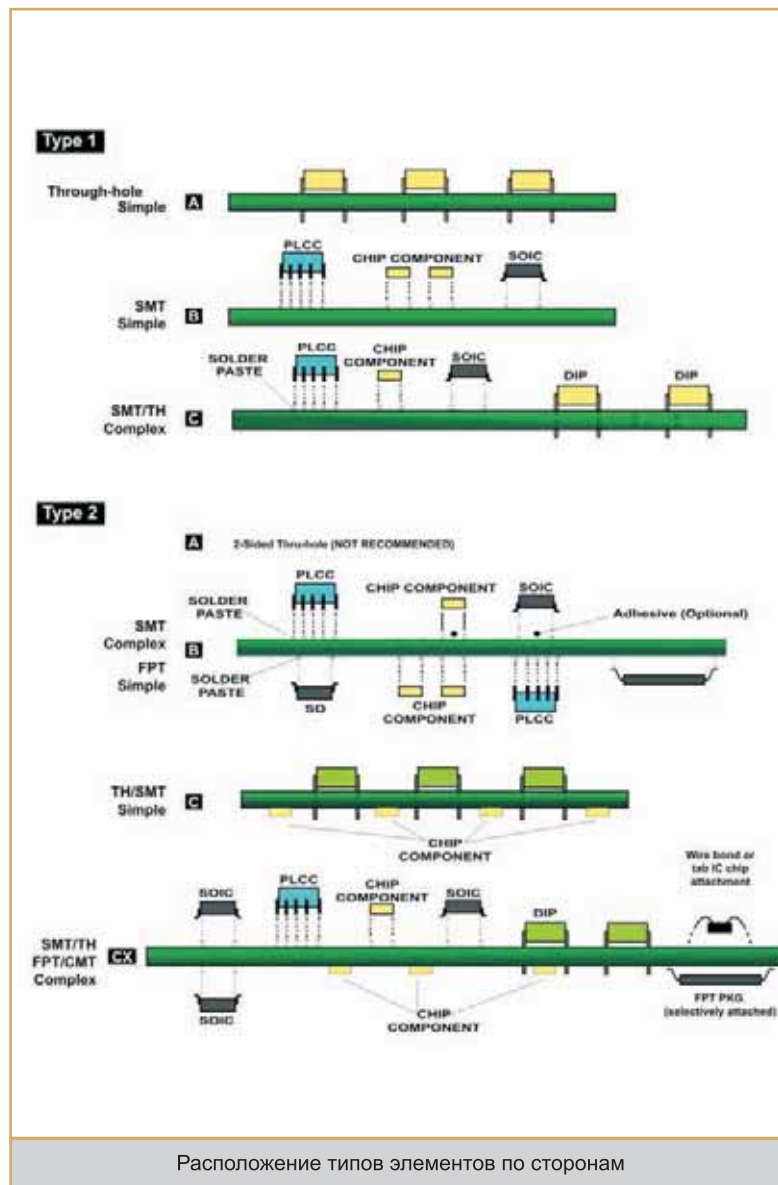
Расстояния между компонентами

Ориентация компонентов не имеет значения, т.к. на нашем предприятии метод пайки волной припоя не применяется.

Некоторые разработчики, не раздумывая, спешат располагать SMD-компоненты на обеих сторонах печатной платы. В этом случае изделие дважды проходит стадию монтажа, для него дважды пишется программы на оборудование, дважды происходит его переналадка, изготавливается два трафарета и т.д. Это стоит делать только в том случае, если габариты самой платы, всевозможные ограничения на зазоры между проводниками, контактными площадками и другими элементами платы и прочие требования не оставляют выбора. Помните, что стоимость монтажа каждой стороны платы рассчитывается как за отдельное изделие. Кроме того, значительно возрастает стоимость тестового оборудования для проверки таких печатных плат.

В том случае, если одностороннее размещение компонентов невозможно, рекомендуется небольшие, например, пассивные, компоненты разместить на одной стороне платы, а микросхемы и другие «тяжелые» компоненты на другой стороне.

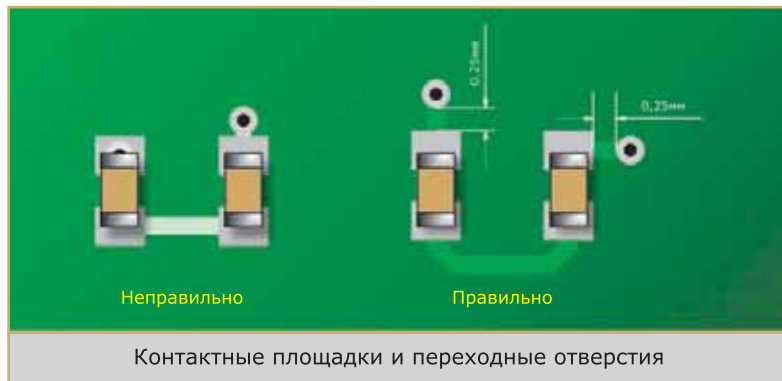
На рисунке приведена классификация размещения элементов на сторонах печатной платы по IPC.



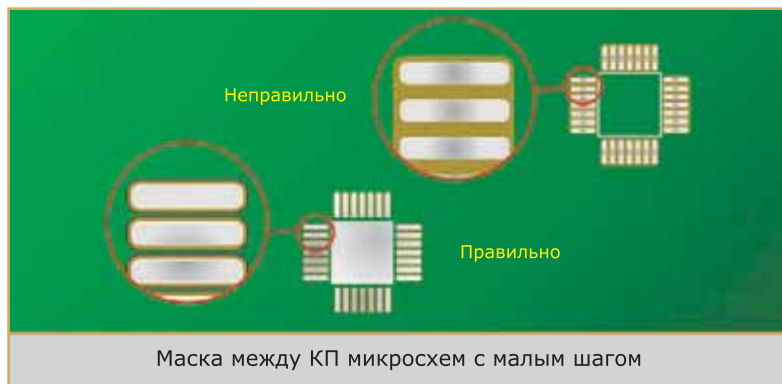
Расположение типов элементов по сторонам

## КОНТАКТНЫЕ ПЛОЩАДКИ

Чтобы избежать перетекания припоя, произвольного смещения компонентов и других дефектов пайки, нельзя допускать расположения переходных отверстий на контактных площадках элементов или в непосредственной близости от них. Как уже говорилось, необходимо, чтобы контактные площадки компонентов были отделены от переходных отверстий, других контактных площадок и т.д. паяльной маской.



Подобное правило очень важно для микросхем с малым шагом выводов – их контактные площадки обязательно должны быть разделены маской. Сами переходные отверстия, расположенные в непосредственной близости от контактных площадок, желательно закрыть паяльной маской.

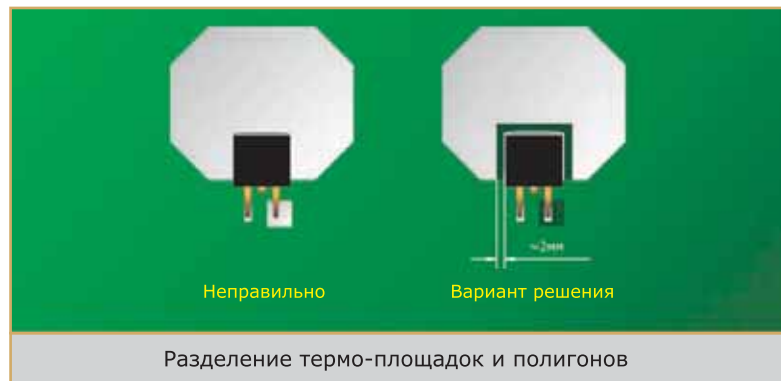


Элементы, расположенные внутри полигонов, должны быть отделены от них термоварьерами. Это позволит избежать неравномерного прогрева разных контактных площадок одного и того же компонента во время пайки и, как следствие, например, смещения этого компонента, дефектов «холодной пайки», «надгробного камня» и т. д.

Так же, желательно соединять контактные площадки и широкие проводники не напрямую, а узким проводником. Параметры этого соединительного проводника выбираются в зависимости от проходящего по нему тока. Это позволит избежать эффекта «холодной пайки».



Если же необходимо, что бы при работе устройства теплоотвод от компонента осуществлялся именно через полигон, не покрытый маской (например, на СВЧ платах), то термо-площадку компонента лучше обозначить поясом маски на полигоне. Это предотвратит его смещение при пайке.



При унифицировании посадочных мест на плате для возможности установки на них компонентов в разных типах корпусов и их размерах, необходимо разделять их площадки соблюдая рекомендуемые зазоры, указанные выше. Это позволит избежать дефектов монтажа, связанных с неправильным количеством паяльной пасты и ее распределением.





Одним из наиболее важных моментов при проектировании печатных узлов является соблюдение форм и размеров контактных площадок. Именно несоответствие этих параметров зачастую приводит к возникновению таких нежелательных явлений, как эффект «надгробного камня» или «транспаранта», непропай одного из выводов компонента, отсутствие контакта в паяном соединении, недопустимо большое смещение элемента. Поэтому при проектировании изделия необходимо учитывать рекомендации производителей компонентов, пользоваться их спецификациями, а для наиболее распространенных компонентов – стандартами IPC и JEDEC, и в частности, новым стандартом IPC-7351A, регламентирующим размеры контактных площадок и другие параметры печатных узлов, критичные для поверхностного монтажа плат.

### Микросхемы в корпусах BGA

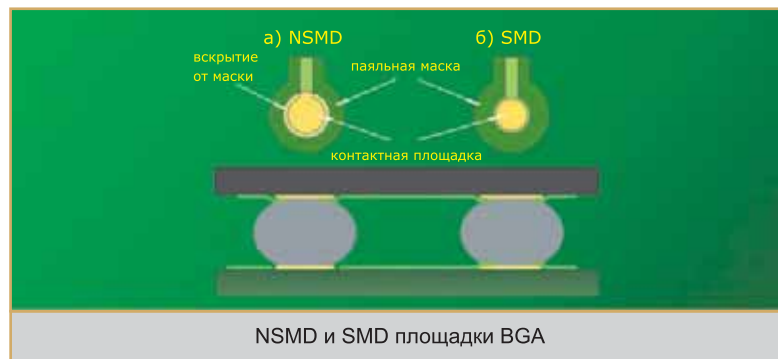
При проектировании контактных площадок под компоненты в корпусе BGA мы настоятельно рекомендуем внимательно ознакомиться и следовать рекомендациям разработчиков микросхем. Среди общих моментов, касающихся контактных площадок таких компонентов, можно выделить следующее.

Контактные площадки BGA, также как и других компонентов, должны быть изолированы термобарьерами от полигонов питания и «земли».

Переходные отверстия должны быть отделены проводником и закрыты маской.

Различают два типа контактных площадок под BGA, в зависимости от вскрытия вокруг них паяльной маски: NSMD – Non Solder Mask Defined – не определенные вскрытием от паяльной маски, и SMD – Solder Mask Defined, то есть определенные паяльной маской. В первом случае, площадка и небольшая область вокруг нее полностью вскрыты от маски. Во втором случае вскрытие от маски выполняется с небольшим покрытием контактной площадки маской.

Первый вариант обеспечивает большую прочность паяного соединения, за счет большей площади контакта и контакта с боковыми сторонами контактной площадки, а так же лучшее центрирование компонента и является более гибким и технологичным, как при производстве печатных плат так и при монтаже.



Преимуществом второго варианта является повышение прочности соединения самой контактной площадки и диэлектрика печатной платы. Его применение оправдано, если в процессе дальнейшей сборки, тестирования или эксплуатации плата может подвергаться значительным изгибам или другому физическому напряжению, а так же при эксплуатации при высоких перепадах температуры или если изделие будет проходить очень жесткие температурные испытания.

Если в документах производителя нет специальных указаний на тип площадки, рекомендуется применять NSMD тип.

Особенностью микросхем BGA является то, что их выводы скрыты под корпусом, что затрудняет проверку качества их монтажа. Основным средством инспекции паяных соединений таких микросхем является рентгеноскопический контроль. Но и в этом случае некоторые дефекты, даже такие как непропай отдельных выводов, бывает сложно обнаружить. Для того, что бы повысить эффективность контроля пайки этих микросхем рекомендуется придавать контактным площадкам специальную форму.

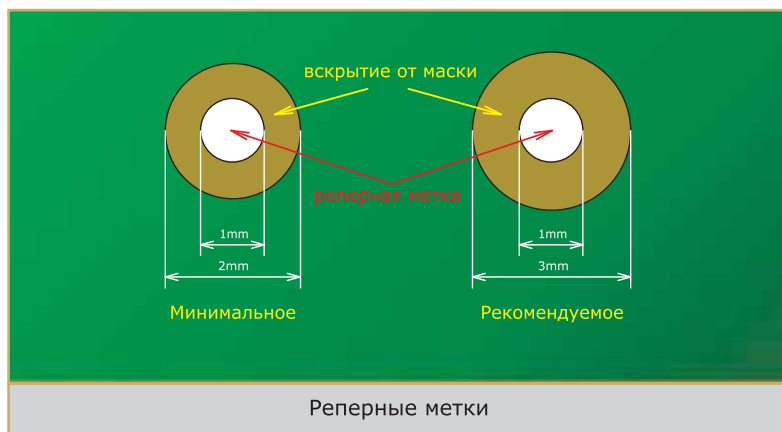
При использовании таких контактных площадок паяное соединение принимает характерную форму, что значительно повышает эффективность проверки, особенно в автоматическом режиме.



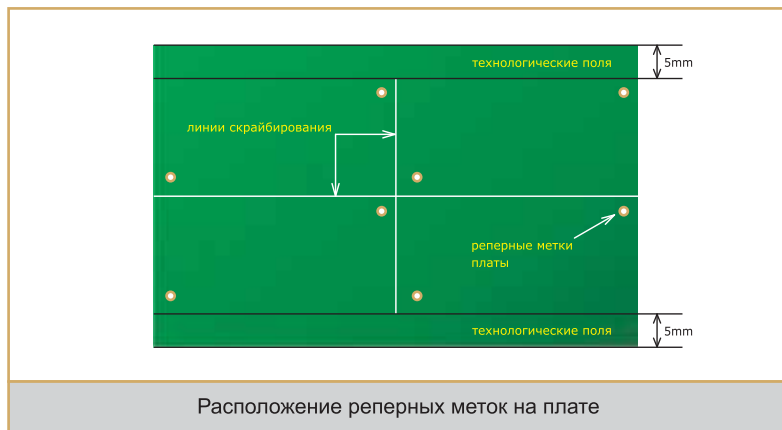
### РЕПЕРНЫЕ МЕТКИ

На каждой плате необходимо предусмотреть наличие как минимум трех реперных меток, необходимых для систем технического зрения автоматического оборудования.

Реперные метки должны представлять собой круглые площадки диаметром 1 мм, вскрытые от маски на диаметре 3-4 мм.



Они должны располагаться по углам платы (но несимметрично) и быть максимально удалены друг от друга.



Желательно, чтобы проводники, контактные площадки, переходные, крепежные отверстия и другие элементы печатной платы, располагались не ближе 5 мм от центра реперных меток.

Если на плате недостаточно места для размещения реперных меток, они должны быть размещены на технологических полях, что повлечет за собой увеличение их площади.

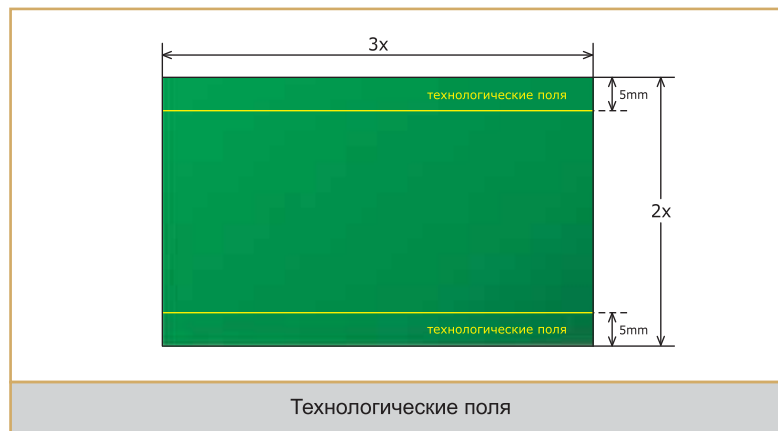


## ПОЛИГОНЫ

Если на плате размещаются большие металлизированные полигоны, то их желательно размещать с обеих сторон платы насколько возможно равномерно, и выполнять в виде сетки из проводников. Это необходимо для предотвращения деформации платы при ее производстве и монтаже, при нагреве в печи оплавления.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОЛЯ

Наше оборудование позволяет осуществлять монтаж отдельных плат или групповых заготовок, не имеющих специальных технологических отверстий и полей. Однако в этом случае по длинным сторонам платы компоненты должны быть расположены не ближе 5 мм от края. Если поверхностномонтируемые элементы размещены с обеих сторон платы, это правило должно соблюдаться и для второй стороны. В противном случае, по длинным сторонам платы или мультизаготовки необходимо разместить технологические поля шириной 5 мм.



### РАЗМЕРЫ ПЛАТ И ГРУППОВЫХ ЗАГОТОВОК

Для оптимизации автоматического монтажа применяется объединение нескольких небольших плат в одну мультизаготовку. Допустимые размеры печатного узла или мультиплицированной заготовки, состоящей из нескольких одинаковых плат зависят от параметров оборудования, на котором будет производиться сборка. Для оборудования, которое применяет наша фирма, эти размеры должны находиться в пределах от 50x50 мм до 320x240 мм (допускаются отклонения в большую сторону, но это необходимо согласовать с нашими технологами). При этом рекомендуемое отношение длины к ширине групповой заготовки примерно 3 : 2.

### РАЗДЕЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК НА ПЛАТЫ

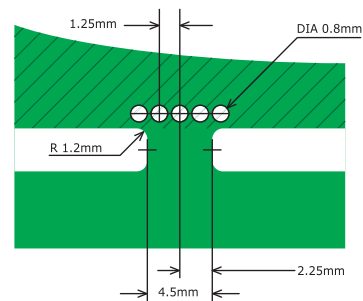
Для разделения плат между собой и технологическими полями существует два метода: скрайбирование и фрезеровка по контуру платы.

В первом случае по прямым линиям раздела плат и полей наносятся надрезы, которые оставляют в этих местах перемычку, размер которой определяет как жесткость всей заготовки в целом, так и легкость ее последующего разделения. Если платы будут монтироваться на автоматических линиях, используют более толстые перемычки, в последующем, для обеспечения более высокой жесткости заготовки в целом. Для разделения плат используется специализированное оборудование, не создающее стрессовых нагрузок на печатную плату. Для ручного монтажа и разделения, эти перемычки делаются значительно тоньше что обеспечивает легкое ручное разделение без последствий для печатной платы или спаянного изделия.

Если плата имеет сложный контур или требуется высококачественная и точная обработка этого контура, то разделение плат выполняется методом фрезеровки с формированием перемычек между платами и полями, которыми они объединяются в заготовку. По краям этих перемычек делается ряд отверстий, облегчающих их последующее разделение.

Для таких случаев необходимо на контуре платы предусмотреть места для размещения минимум 3-х 4-х таких перемычек.

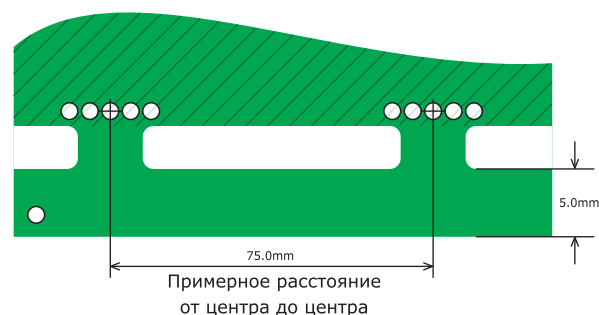
Подобный метод так же необходимо применять в случаях, когда на платы устанавливаются поверхностно монтируемые разъемы (USB, SIM, карт памяти и т.д.), габариты которых выходят за край платы. Иначе, при применении скрайбирования, корректное разделение заготовок на специализированном оборудовании будет невозможно.



Разделение плат фрезерованием



Разделение плат скрайбированием



Разделение плат фрезерованием



### ПОДГОТОВКА ДОКУМЕНТАЦИИ

Для размещения заказа на монтаж необходимо предоставить файлы следующих документов:

- файл с проектом вашего изделия в формате P-Cad (4.5 – 200X), OrCad или Protel;
- файл, содержащий мультиплицированную заготовку в форматах CAM или Gerber (если платы изготавливались не нашим предприятием);
- подробную спецификацию, в соответствии с которой будет производиться монтаж в форматах Word, Excel, PDF и т.д. (содержащий, в том числе, указание не устанавливаемых компонентов);
- сборочный чертеж (форматы AutoCad, PDF и т.д.);
- передаточную накладную на компоненты, передаваемые для монтажа вами;
- дополнительные требования к монтажу (высота установки компонентов и т.д. если таковые требования имеются);
- дополнительные требования к отмывке и проверке изделий, если таковые имеются.

Основным документом является спецификация, именно в соответствии с ней будет происходить подготовка к запуску вашего заказа. Крайне важно подготовить документацию тщательно, проверить наличие в спецификации всех компонентов на плате, указания замен, соответствие номиналов, указанных в спецификации, номиналом компонентов в поставке и накладной и т.д. Любые, даже малейшие отличия реально поставленных компонентов от спецификации должны быть отражены в предоставляемых документах. Это поможет подготовить заказ быстрее, избежать ошибок и лишних вопросов.

### КОМПЛЕКТАЦИЯ

В зависимости от специфики вашего предприятия или особенностей изделия мы можем предложить вам полную комплектацию ваших изделий, частичную комплектацию или выполнить монтаж изделий используя компоненты, поставленные заказчиком.

В случае полного комплектования ваших заказов мы несем ответственность за поставленные компоненты, их соответствие предоставленной спецификации, надлежащее хранение и упаковку. В случае невозможности укомплектовать ваш заказ какой-либо позицией, мы предложим замену и как согласуем с вами ее применение. Как цены, так и сроки поставки комплектации нашим предприятием проходят обязательное согласование с заказчиком.

В ряде случаев может быть удобна частичная комплектация заказов, когда, скажем, нами поставляются пассивные компоненты и т.д., а микросхемы, программируемые, редкие или изготовленные по вашему заказу компоненты поставляются заказчиком.

Так же, мы принимаем заказы полностью укомплектованные «давальческими» компонентами. В данном случае, при комплектовании заказов необходимо учитывать следующее:

- вся комплектация должна поставляться только в заводской упаковке – ленты, пеналы, матричные поддоны;
- все катушки с компонентами для SMT-монтажа должны быть полными или содержать заправочный конец (свободные от компонентов основная и покровная ленты) длиной 20 мм;
- все чип-компоненты для автоматического монтажа должны поставляться с запасом 3-5% на технологические потери. Так же необходим запас в 3-5 штук на крупные и прочие компоненты;
- микросхемы и другие влагочувствительные элементы, поставляемые в поддонах, должны быть в вакуумной упаковке и содержать MSL-маркировку (указание класса влагочувствительности);
- исключения допустимы только для сборки прототипных изделий. В данном случае, допускаются обрезки лент, длиной не менее 10 см., каждый номинал должен быть упакован в отдельную коробку или пакет и четко промаркирован.

Несоблюдение указанных правил – отсутствие технологического запаса, дефицит комплектации, недостаточная длина заправочных концов приводят к неполному выполнению заказа, передаче заказчику некомплектных изделий, к задержкам и вопросам на этапах подготовки и проверки изделий.

Мы ценим ваше время, и стремимся организовать работу с вами таким образом, чтобы она была максимально быстрой, удобной и эффективной.

### ПРОГРАММА ЭКСПОРТА GERBER-ФАЙЛОВ И ПРОГРАММ СВЕРЛЕНИЯ ИЗ PCAD2004 И PCAD2006

Для облегчения процесса экспорта Gerber-файлов и программ сверления из PCAD2004 и PCAD2006, нашими специалистами была создана программная оболочка, позволяющая автоматизировать эти процедуры.

Эта программа разработана на основе собственного опыта и используется нашими специалистами при подготовке к производству уже не первый год. Программа доступна для скачивания на нашем сайте [www.rezonit.ru](http://www.rezonit.ru).

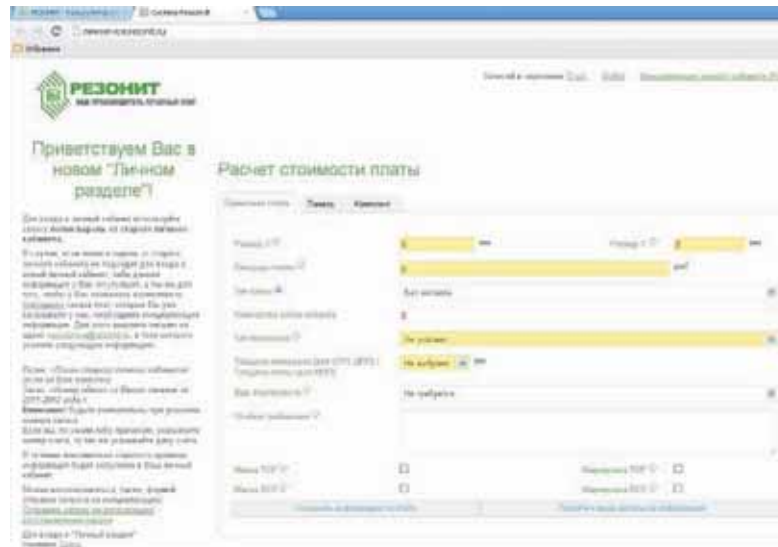


### КАЛЬКУЛЯТОР СТОИМОСТИ ЗАКАЗА

Для подсчета ориентировочной стоимости и выбора оптимального типа производства печатных плат, на нашем сайте [www.rezonit.ru](http://www.rezonit.ru), вы можете воспользоваться приложением «Калькулятор стоимости производства печатных плат»

### ЛИЧНЫЙ РАЗДЕЛ КЛИЕНТА

Мы разработали совершенно новую систему, позволяющую нашим клиентам создавать заказы на печатные платы без утомительных звонков и поездок к нам в офис. Размещенный на сайте [www.rezonit.ru](http://www.rezonit.ru), новый Личный раздел клиента позволяет работать со всей цепочкой прохождения заказа: от создания заявки на производство плат – до получения счета и оплаты заказа электронными деньгами или банковской картой. С помощью этой системы наши клиенты могут практически в режиме реального времени отследить все этапы оформления заказа и его производства.



### ДОСТАВКА

Мы осуществляем доставку заказов в любой регион России.

Способы доставки:

- Транспортные компании. Сроки и стоимость зависят от удаленности адресата и веса груза. Оплачивается клиентом.
- Почтовые компании (экспресс-доставка). Срок доставки 1-4 рабочих дня. Сроки и стоимость доставки зависят от удаленности адресата и от веса груза. Оплачивается клиентом.
- Почтовые бандероли. Срок доставки 1-4 недели. Сроки и стоимость доставки зависят от удаленности адресата и от веса груза. Оплачивается клиентом.
- Курьерская служба доставки «Резонит» по Москве и Санкт-Петербургу, стоимость включается в общий счет.


### Бесплатная доставка

- Если вы сделали заказ через представительство нашей компании в Воронеже, Екатеринбурге, Ижевске, Краснодаре, Нижнем Новгороде, Перми, Саратове или Уфе, доставка заказа в наше представительство осуществляется бесплатно;
- Доставка крупных заказов (более 500 дм. кв.) осуществляется бесплатно транспортными компаниями (кроме служб экспресс-доставки), независимо от региона.

К сожалению, мы не имеем возможности доставлять нашу продукцию за пределы России.

Мы дорожим каждым клиентом, и ваше мнение, любые замечания и предложения очень важны для нас! Пожалуйста, обращайтесь к нашим специалистам по любым вопросам, которые у вас возникнут в ходе работы с нашей компанией.

Если у вас возникли какие-либо вопросы **по текущему заказу** – прежде всего, обращайтесь к **персональному менеджеру**, если он у вас есть.

<b>Обращайтесь к нашим специалистам по любым вопросам</b>				
По вопросам, касающимся получения и обработки <b>входящей почты</b>	<b>Фролова Елена Николаевна</b> менеджер по работе с клиентами	<b>584-475-514</b>	<b>frolova@rezonit.ru</b>	<b>frolova555</b>
По вопросам, касающимся запуска, готовности заказов и сроков изготовления печатных плат на <b>срочном</b> или <b>крупносерийном</b> производствах	<b>Тулинова Мария Ивановна</b> менеджер по работе с клиентами	<b>577-837-936</b>	<b>mtulinova@rezonit.ru</b>	<b>mtulinova</b>
По общим вопросам, касающимся <b>крупносерийного</b> производства печатных плат и по вопросам <b>контрактной сборки</b>	<b>Никулин Алексей Иванович</b> начальник отдела продаж	_____	<b>202@rezonit.ru</b>	_____
По вопросам, касающимся запуска, готовности заказов и сроков изготовления печатных плат на <b>мелко-</b> или <b>среднесерийном производстве</b>	<b>Никонова Елена Викторовна</b> менеджер по работе с клиентами	<b>341-927-818</b>	<b>enikonova@rezonit.ru</b>	<b>elena_vikt</b>
По вопросам, касающимся <b>технологии</b> производства плат, технологическим параметрам заказа, и т.п.	<b>Топоров Сергей Александрович</b> руководитель отдела Техбюро	<b>160-595-620</b>	<b>stoporov@rezonit.ru</b>	<b>toporov777</b>
По вопросам, связанным с <b>монтажным</b> производством	<b>Мищенко Анастасия Викторовна</b> менеджер по работе с клиентами	_____	<b>ma@rezonit.ru</b>	<b>Anastasiya7778080</b>
По вопросам, связанным с изготовлением <b>трафаретов</b>	<b>Кочетков Михаил Юрьевич</b> инженер	<b>341-858-451</b>	<b>mik@rezonit.ru</b>	_____
По вопросам <b>доставки</b> заказа	<b>Арефьев Артур Александрович</b> менеджер отдела доставки	<b>257-841-878</b>	<b>turan@rezonit.ru</b>	_____
Если вам необходимо связаться с <b>бухгалтерией</b>	<b>Костылева Ольга Викторовна</b> бухгалтер	_____	<b>documents@rezonit.ru</b>	_____
По вопросам <b>продажи материалов</b> для производства печатных плат	<b>Максимов Андрей Александрович</b> начальник отдела продаж материалов	_____	<b>max@rezonit.ru</b>	<b>andrew_maximoff</b>
Претензии по <b>качеству плат и работы</b> любого из подразделений нашей компании, а так же, если у Вас имеются предложения по усовершенствованию нашей работы	<b>Боровков Сергей Валерьевич</b> зам. ген. директора по качеству	<b>353-469-549</b>	<b>borovkov@rezonit.ru</b>	<b>sergbu788</b>
В случае, если вы хотите связаться с <b>генеральным директором компании</b>	<b>Кучерявый Андрей Ильич</b> генеральный директор	_____	<b>rew@rezonit.ru</b>	_____

## АДРЕСА ОФИСОВ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЬСТВ

124460, г. Москва, Зеленоград, а/я 31  
(495) 777-80-80  
(495) 730-50-00  
[pcb@rezonit.ru](mailto:pcb@rezonit.ru)

197342, г. Санкт-Петербург, ул. наб. Черной речки, д. 41, корп. 10, офис 313  
(812) 677-80-80  
[spb@rezonit.ru](mailto:spb@rezonit.ru)

620137, г. Екатеринбург, ул. Сулимова, д. 50, офис 6.15  
(343) 216-56-62  
[ekt@rezonit.ru](mailto:ekt@rezonit.ru)

### Региональные представительства

г. Воронеж ООО «Процессор-Вега»	(4732) 24-08-94, 75-86-71	<a href="mailto:procvega@mail.ru">procvega@mail.ru</a>
г. Ижевск ООО «Элитан Трейд»	(3412) 67-88-11, 50-33-30	<a href="mailto:info@elitan.ru">info@elitan.ru</a>
г. Краснодар ИП Бескровный	(861) 265-11-55, 264-64-40	<a href="mailto:0618@mail.ru">0618@mail.ru</a>
г. Н. Новгород ООО «ИнтерАвтоматика»	(831) 415-45-35	<a href="mailto:iravt@inbox.ru">iravt@inbox.ru</a>
г. Н. Новгород ИП Анохин Д. В.	(831) 247-78-58	<a href="mailto:dima_a@rezonit.ru">dima_a@rezonit.ru</a>
г. Пермь ООО НПП «Тик»	(342) 213-50-00, 213-55-51	<a href="mailto:rezonit@tik.perm.ru">rezonit@tik.perm.ru</a>
г. Саратов ООО «Виаторис-Микроэлектроника»	(8452) 27-80-98, 27-79-21	<a href="mailto:info@viatoris.ru">info@viatoris.ru</a>
г. Уфа ООО НПЛ «Компьютерная связь»	(347) 223-79-07	<a href="mailto:pcb@nplks.ru">pcb@nplks.ru</a>

