

仅供参考



## 双面 FPC 的制造工艺

### 目 录

- 01 FPC 所使用的材料
- 02 设计注意事项
- 03 开料
- 04 孔加工
- 05 孔金属化
- 06 图形转移
- 07 蚀刻
- 08 覆盖膜加工
- 09 端子加工
- 10 外形加工
- 11 增强板加工
- 12 检查
- 13 包装

## 01 FPC 所使用的材料

### 1.1 市场选择了聚酰亚胺 (PI)

符合 FPC 要求的材料，有很多种，出众点的，有四种。但由于性能、价格、生产技术、专利、易用性等方面的因素影响，最后，杜邦开发的聚酰亚胺 (PI) “KAPTON-H” 独霸了天下。据统计，目前其已占到整个 FPC 材料的 80%。

我们惯常所说的 PI，是指在聚酰亚胺薄膜上涂上环氧树脂或丙烯酸类粘接剂，制成覆铜板或覆盖膜。

### 各种软性材料性能对比

	聚酰亚胺	聚酯	聚砜	聚四氟乙烯
比重	1.42	1.38~1.41	1.24~1.25	2.1~2.2
抗拉强度 (kg/mm <sup>2</sup> )	21.5	14.0~24.5	5.9~7.5	1.1~3.2
拉伸率 (%)	70	60~165	64~110	100~350
边缘抗撕裂强度 (kg/mm <sup>2</sup> )	9	17.9~53.6	4.2~4.3	—
抗拉裂 (传播) 强度 (kg/mm <sup>2</sup> )	0.32, 0.5~1.1	0.4, 0.5	0.4~3.9	—
耐热性 (°C)	400	150	180	260
燃烧性	自熄	易燃	自熄	不燃烧
耐有机溶剂性	优	优	优	优
耐强酸性	良	良	优	优
耐强碱性	差	良	优	优
吸水性 (%)	2.7	<0.8	0.22	<0.01
介电常数 (1kMz)	3	3.2	3.07	2.0~2.1
介质损耗因数 (1kMz)	0.0021	0.005	0.0008	0.0002
耐电压 (Kv/mm)	275	300	300	17
体积电阻率 (Ω-cm)	5×10 <sup>17</sup>	1×10 <sup>18</sup>	5×10 <sup>10</sup>	1×10 <sup>10</sup>

## 1.2 FPC 所用主要材料一览

### FPC 使用主要材料规格一览

材料名称		厚度规格
基材	聚酰亚胺膜	12.5, 25, 50, 75, 125um
	粘结剂	15um~50um
	铜箔层	(12), 18, 35, 70um
保护膜	膜层	12.5, 25, 50, 75, 125um
	粘结剂层	15um~50um
粘合剂	压敏胶	25um~100um
	热固胶	12.5, 25, 50um
铜箔	电解	(12), 18, 35, 70um
	压延	18, 35, 70um
	电镀导体	(1), 5, 10, 15, 18, 35um
涂覆油墨层		10um~20um
光致阻焊	DF 型	25um 50um
	油墨型	10um~20um
增强板	薄膜	12.5, 25, 50, 75, 100, 125, 188um
	FR4	0.1~2.4mm
	PET	25um~250um
	金属板	没有特别限制
	酚醛纸板:	0.5~2.5mm
粘接片		12.5, 25, 40, 50, 75um
备注: ( ) 是指特殊规格加工, 需要定制的厚度		

这只是大体的材料划分, 细致部分, 有很多需要注意的点: 比如电解铜箔有

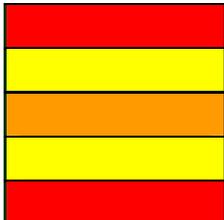
高延展性铜箔和普通电镀铜箔，比如压敏胶有三明治式和纯胶型等，在此就不一一赘述了，待得有空，另开篇幅专题来讲。

### 1.3 FPC 的主材料组成和结构

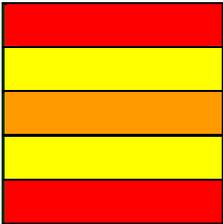
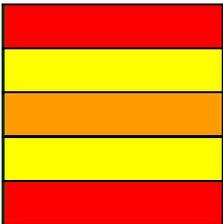
FPC 所使用的材料众多，无法在这里一一展开了讲，但是，其主材料覆铜板（PI）和保护膜（PI），还是需要在这里讲讲的。

在此，为了方便初识者易于理解，所以以极其简单的图示来表达，待得理解了基本组成和结构后，如有兴趣，可另觅更深层次的材料钻研。

#### 材料组成

<b>1. 覆盖膜 (Bonding sheet):</b>		聚酰亚胺 粘合剂
<b>2. 单/双面覆盖膜 (Bonply):</b>		粘合剂 聚酰亚胺 粘合剂
<b>3. 粘合剂</b>		粘合剂
<b>4. 单面结构:</b>		铜箔 粘合剂 聚酰亚胺
<b>5. 单/双 结构:</b>		铜箔 粘合剂 聚酰亚胺 粘合剂 铜箔

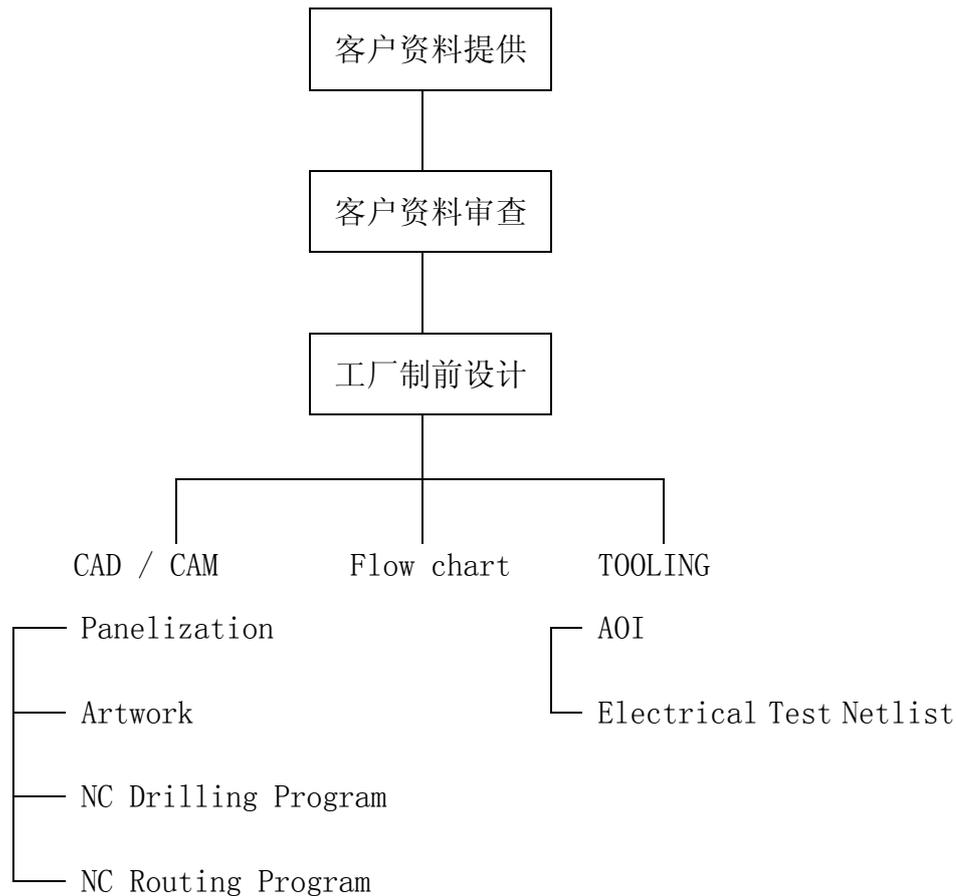
## 常用组成结构

1. 单/单面压合:		18um 铜箔 12.5um 粘合剂 12.5um 聚酰亚胺	
		35um 铜箔 20um 粘合剂 25um 聚酰亚胺	
		18um 铜箔 12.5um 粘合剂 12.5um 聚酰亚胺 12.5um 粘合剂 18um 铜箔	
2. 单/双面压合:		35um 铜箔 20um 粘合剂 25um 聚酰亚胺 20um 粘合剂 35um 铜箔	
	3. 覆盖膜: (Bonding sheet)		15um 粘合剂 12.5um 聚酰亚胺
			25um 粘合剂 25um 聚酰亚胺
4. 单/双面覆盖膜 Coverlay:(Bonply)		15um 粘合剂 12.5um 聚酰亚胺 15um 粘合剂	
		25um 粘合剂 25um 聚酰亚胺 25um 粘合剂	

## 2.1 制前设计流程

绝大多数 FPC 工厂，几乎是 OEM，也就是受客户委托制作空板（或制作空板+SMT 贴装），因此，在这里只讲接收客户资料后的故事。

一般的制前设计流程如下：



## 2.2 柔性板设计的基本项目

接收订单，下表资料制前设计中必备的项目。也许，有的客户会提供实物样品，或者零件图等。但这些其实属于额外资料，可靠性是大打折扣的。如果公司是处于市场战略需要，或者其它商机需要，则可酌情接收。但工程设计部门要抖擞起百般精神来应对。在这里，差之毫厘，可真是谬以千里的。

### 柔性板设计基本项目

层的结构	单、双、多 结构（如线路悬空等） 孔（有无通孔） 覆盖层 增强板
材料	铜箔层压板 覆盖层 粘结剂 增强板
插接头及焊盘表面	电镀、OSP、HAL 等 形状、尺寸精度
电路密度	线宽/线隙 尺寸精度

## 2.3 主要材料选用

FPC 的布线、尺寸等很多地方设计，与 PCB 类似。主要不同处材料上。下面，我将着重讲 5 个方面的材料及相关特性对比，供设计、工艺人员参考。

### 2.3.1 覆盖层及其与教材的匹配性

FPC 的覆盖层，一般包含保护膜、丝印型覆盖层和光致型覆盖层三种。三种覆盖层不同，其性能也不同。

## 覆盖层可加工性对比

类 型		厚度	最小孔径	孔可加工精度	孔位精度	耐弯曲性	可生产性	材料成本	加工成本
保护膜	先开孔①	30um~160um	Φ0.5mm	±0.2mm	±0.3mm	高	低	高	中
	后开孔②	30um~160um	Φ0.05mm	±0.01mm	±0.05mm	高	低	高	高
丝印		10um~25um	Φ0.8mm	±0.2mm	±0.5mm	中	高	低	低
光致型	干膜型	25um~50um	Φ0.1mm	±0.03mm	±0.05mm	低	中	中	中
	液态型	10um~25um	Φ0.07mm	±0.03mm	±0.05mm	中	高	低	低

备注：

①所谓先开孔，是指在保护膜定位层压前，先在保护膜上加工孔。

②所谓后开孔，是指把保护膜全部层压的 FPC 上之后，再做孔加工。

## 保护膜和基材的组合搭配匹配性

保护膜		基材	有胶基材		无胶基材
			PI 基底	PET 基底	PI 基底
保护膜	有胶 PET 基底		●	○	○
	PI 基底		×	●	○
	无胶 PI 基底		×	×	●
丝印类覆盖层	PET 基		●	○	×
	环氧树脂基		○	●	○
	PI 树脂基		×	×	●
光致型覆盖层	液态环氧		×	●	●
	液态 PI		×	×	●
	DF 型丙烯酸类		×	●	●
	DF 型 PI		×	×	●

●匹配性良好

○基本可以

×不匹配

### 2.3.2 增加板

在前面的材料介绍中，我已经有涉及到增强板及粘结胶的规格，这里主要给出增强板的性能对比，供参考：

## 增加板用材料及性能比较

	酚醛板	环氧玻璃布板	PET	PI	金属板
厚度 (mm)	0.6~2.4	0.1~2.4	0.025~0.25	0.0425~0.125	没有特别限制
耐浮焊性	可	良好	不可	良好	良好
实用温度	~70℃	~110℃	~50℃	~130℃	~130℃
机械强度	大	大	小	小	大
热固胶	不可	可	不可	可	可
自燃性	UL94V-0 可	UL94V-0 可	UL94V-0 可	UL94V-0 可	UL94V-0 可
成本	中	高	低	高	中

- 有些厂家能达到 UL94V-0 阻燃级别，有些达不到

## 增强板用粘接剂比较

	压敏胶	热固胶
厚度	25um~100um	25um~50um
粘接强度	中	高
蠕变特性	低	良好
耐药品性	低	高
耐浮焊性	良好	良好
生产率	高	低
材料成本	低	低
加工成本	低	高

### 2.3.3 表面处理

接触端和焊盘表面的处理，因客户的需求不同，也有所不同。下面，给出了

适合各种用途的表面处理列表：

## 接触端表面处理

	厚度	用途
不处理	—	机械连接
OSP 处理	单分子层	预焊，防蚀
焊接	~2um (HAL)	防触，焊接
	5um~15um	SMT, FC, 连接器
	15um~25um	回流焊
(镍) / 金 (硬)	~0.1um (闪镀)	焊接用
	~0.5um	防蚀用，连接器插入用
	0.5um~1.0um	连接器用 (高可靠性)
(镍) / 金 (软)	0.5um~2.0um	压接用

## 焊盘表面处理

	厚度	用途
OSP 处理	单分子层	预焊，防蚀
HAL	~5um	焊接用
电镀金	~0.1um (闪镀)	防蚀/焊接用
电镀 Sn/Pb	20um~50um	防蚀/压焊用
化学镀 Sn	5um~10um	焊接用
氧化锡	~1um	焊接用
化学镀金	~0.1um	防蚀用，焊接用

当然，客户实际的需求可能比这个更复杂，以上表格中数据，仅作为一个速查索引，供参考。

#### 2.3.4 孔及尺寸变化问题

#### 2.3.5 线路及尺寸变化问题

### 03 开料

FPC 的材料绝大部分都是卷材，而带通孔的双面 FPC 都无法用 RTR 工艺，所以需要对材料进行片状开料加工。

FPC 的材料非常薄，因此也非常脆弱。所以开料时特别需要注意对材料的防护。

如果量小，可采用手工裁剪。如果量大，就需要自动切片机来切了。

开好的料，最好能用采用设备自动叠放整齐，这样可以有效减少压坑、折痕、褶皱的问题的发生。

如果需要手工叠，记得一定要采用不易掉纤维的手套，最好是采用乳胶之类的手套，防止材料表面污染。

如果所裁切的材料是覆铜板，还需要注意压延铜的压延方向。

一般的裁切机，可确保裁切尺寸精度达到 $\pm 0.3\text{mm}$ 之内。

需要注意的是，在制前设计，或者后续加工中，千万不要采用开料边框当做后工序的定位基准。

### 04 钻孔

FPC 基材孔的加工方法有 NC 钻，机械冲，激光钻，等离子蚀刻、化学蚀刻等。

理论上，NC 钻机目前可钻出 0.1mm 以下的孔来。但从生产角度考虑，孔小

于 0.25mm 时，成本就会大幅度上升，如果孔小于 0.15mm 时，其生产成本相当高，工艺难度大，不适于量产。

**机械冲孔**不是新技术，但有两个问题制约着它：1) 批量冲孔仅限于 0.6~0.8mm；2) 开料后加工孔阶段，材料都很大，模具也大，费用太高，成本仍然太高。

模具冲目前主要还是用在加工保护膜开窗和胶开窗方面。

其余的孔加工法，目前对于普通 FPC 厂的来说，尚属于“天方夜谭”，所以这里就不细谈了。

以下是几种孔加工的技术对比：

## 钻孔技术比较

	NC 钻	等离子蚀孔	激光钻孔	冲孔	化学蚀刻孔
孔径	0.25mm~	0.05mm~	0.03mm~	0.8mm	0.05mm~
盲孔	困难	可	可	不可	可
垂直性	良好	有倾斜	良好	良好	有倾斜
生产率	高	中	低	中	高

### 05 孔金属化

FPC 孔金属化的过程，与 PCB 基本相同，因此在这里也不赘述。

在这里，主要讲讲 FPC 在金属化孔生产中需要注意的几点：

- 1) FPC 需要使用特殊夹具，确保在化学镀铜缸中不被弄皱；
- 2) 全板镀铜时，也需要能很好固定 FPC 的夹具，以确保 FPC 不移动，能获得良好的镀层，且保证不把板弄皱；
- 3) 如外发，最好发给有 FPC 生产经验的厂，否则，会变成白老鼠。

## 06 图形转移

图形转移前，先要对铜箔表面进行清洗处理。主要是目的是为了保证铜表面清洁，减少蚀刻时造成断线或者短路的机会。

一般工厂采用化学清洗和磨刷处理相结合的方式来处理。

但请注意，如果可以，应尽量减少处理次数和返工。FPC 的基材实在是太脆弱了，每处理一次，基材受力后可能就会拉长一次，这会引入后续加工中尺寸的变化。

### 6.1 抗蚀剂技术对比

图形转移中，使用蚀材料大致有三种：

#### 抗蚀剂技术对比

	丝印	DF	液态感光材料
线宽/线隙	0.3mm	0.04mm	0.01mm
成本	低	中	低
生产效率	高	中	高
可操作性	需熟练工	容易	容易

其中以使用干膜 DF 者居多，故给出干膜参数：

#### 干膜厚度及尺寸公差技术要求

规格名称		标称尺寸	公差	
			一级	二级
厚度/ $\mu\text{m}$	聚酯片基光致抗蚀层	25~30	$\pm 2.5$	$\pm 3$
		38、50	$\pm 3$	$\pm 3.5$
	聚乙烯保护膜	25~30	$\pm 5$	$\pm 10$
		总厚度	75~110	$\pm 10.5$
宽度/mm		485, 300	$\pm 5$	
长度/m		100		

## 6.2 图形形成

单片曝光，柔性板与刚性板所使用的设备相同，但定位夹具有所不同。

柔性板专用的图形掩膜定位家具，一般情况下，都是厂家自己制作的，大多都采用销钉定位。

但由于柔性板容易收缩变形，一般很难达到  $50\mu\text{m}$  以上的精度。而线路在  $80\mu\text{m}$  以下的精密图形，如果使用散射光的曝光机，线路边缘会形成明暗不清的晕边，不能得到清晰的线条。最好是使用平行光光源。

特别是  $50\mu\text{m}$  以下的线路，必须使用平行光曝光机。

如果图形定位要求精度很高，可采用在原版照片的不同位置上设置 3~4 个定位孔，采用 CCD 确定出定位孔位置，使台面移动进行重合定位。

若想得到高精细和高尺寸的精度图形，底片掩膜最好能使用玻璃，如果再配以高精度的曝光机，上下图形的重合精度可以达到  $\pm 15\mu\text{m}$  以下。

## 07 蚀刻

我们都知道，蚀刻液一般有三氯化铁、氯化铜、碱性等三种。

PI 的耐碱性不好，加上碱性蚀刻速度很快，难以控制，所以一般情况下，FPC 的生产都采用酸性蚀刻。

FPC 的线路大多较细，三氯化铁与氯化铜相比，更适合于精细线路社会科，所以大多数厂都采用三氯化铁。但也有用氯化铜的，觉得氯化铜更适合于精细线路蚀刻。算是仁者见仁，智者见智了。其实两者的差异并不大，用那一种，就看使用人的经验和偏爱了。

蚀刻机和显影机，大多相似，不详述了。倒是线路蚀刻完成后，后段的传输要特别注意。因为铜很少，FPC 很软，容易褶皱，卷到传输装置里面去。如果可以，尽量用引导板，效果会好一些。

我想，做过蚀刻的人都知道，同一蚀刻机，同样蚀刻液，同样宽度的线路，蚀刻出来后，密部线路铜蚀刻未净，疏部线路已过蚀。这与蚀刻设备和工艺参数及补偿参数有关，细致的知识点很多。在这里举一些影响蚀刻项目的因素，供参考：

## 影响线路蚀刻的一些项目

		材料	装置	条件	设计
铜箔层压板	铜箔厚度及其偏差	○			○
	铜箔表面状态	○		○	
	铜箔缺陷	○			
	平整度	○			
孔金属化	镀层表面的均匀性		○	○	
	表面状态		○	○	
抗蚀剂	与铜箔的密着性	○		○	
	厚度、解像力	○			
	涂布条件		○	○	
	柔软性	○			
曝光	光源的平行性		○		
	曝光量			○	
显影	显影液的稳定性	○		○	
	显影条件			○	
蚀刻	蚀刻液的稳定性	○		○	
	蚀刻条件		○	○	
	蚀刻因子		○	○	○

至于它们影响到的程度和数据，每家厂都不一样，所以就不给出来了。有时间，最好还是自己积累一些。这样操作起来才会得心应手。

覆盖层有保护膜层压、丝网漏印、光致涂覆等。因保护膜层压加工是柔性板特有的工艺之一，也与 PCB 阻焊加工最为不同，故在这里我只讲保护膜加工。

保护膜的结构在上面讲过了，不再重复。

供货时，在粘结剂膜上贴有一层离型膜（纸），半固化状态的环氧树脂类粘结剂在室温条件下会逐步固化，所以应低温储存（5℃左右）。如果储存条件达不到要求，则其保质期会缩短。

但丙烯酸类粘结剂在室温条件下几乎不固化，所以即使不在冷藏条件下保管，存放半年以上仍可用。但这种粘结剂的层压温度很高。

大多数保护膜，加工前要开窗。因保护膜一般在冷藏间存储，所以在开料加工前，要适当除冷，防止 PI 突然暴露在常温下凝结水珠吸潮。除潮的方法是：从仓库中取出保护膜后，不要马上打开密封袋，应连同密封袋在室温中放置几个小时，使得保护膜也达到室温时，再开袋加工。

保护膜开窗有 NC 和冲两种。

小孔一般采用 NC 钻，窗口大时用冲模；小批量用钻，大批量用冲模；大小孔间有，则 NC 和冲模并用加工。

完成保护膜加工后，可开始向蚀刻好或者加工好的 FPC 上贴膜。

片式加工，一般采用手工对位，对准度相对要差些。如果精度高，用夹具定位。

如果排版大，尺寸容易发生变化，则需要把保护膜裁成几小块来定位了。

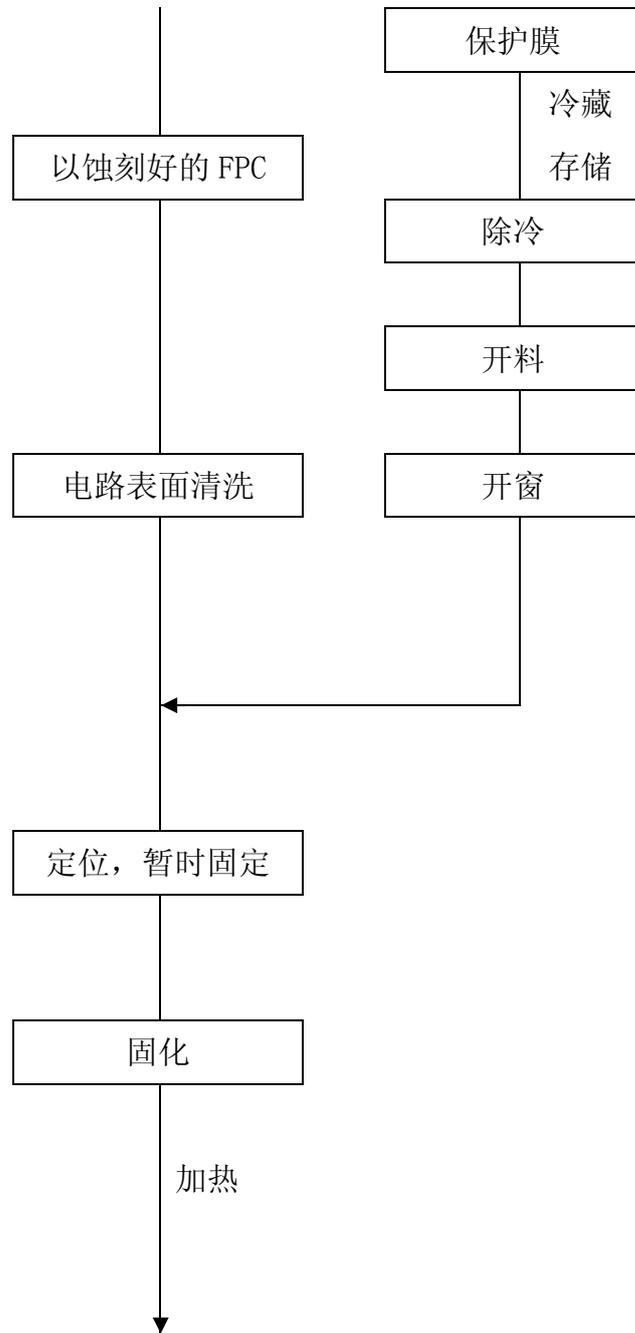
对位完成后，要用烙铁（也有用发热夹具、电熨斗）暂时把保护膜固定，等待层压。

层压时，保护膜表面的温度需要达到 160℃~200℃，时间 1.5~2 个小时。

为了加快进度，提高效率，现在越来越多的工厂采用快压机，时间大幅度缩短，只几分钟。但其可靠度要略差。但现在改善的也还不错，逐渐追上了传统压机的品质。

以下是流程图：

# 保护膜加工工艺流程



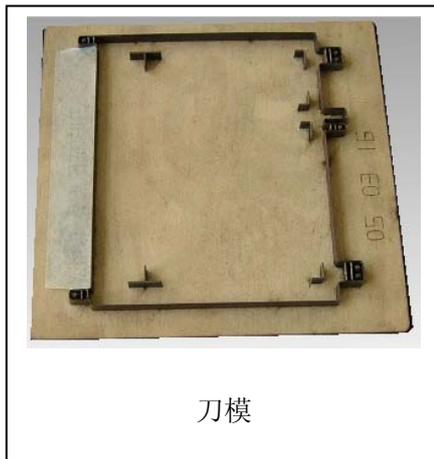
## 09 端子加工

关于端子镀层的加工，我在上文 2.2.3 部分讲过了，这里不详述了。

## 10 外形

### 10.1 刚模和刀模特点对比

FPC 的外形加工通常用冲切的方法，所用的冲切模具有刀模和刚模两种。



它们的特点比较如下：

### 刚模和刀模对比

项目	刀模	刚模
精度/mm	±0.1	±0.01 以上
加工孔/mm	Φ3	Φ0.5
加工槽	容易	困难
拐角曲率半径/mm	0.5 (或 0)	0.1 以上
寿命	1 万次	数十万次
生产效率	低	高
模具更换	快	慢
落料结构	不可	可以
保管	可以小的空间	较大场所

设计更改	可以，但受精度限制	可以，需要时间和费用
价格	低	高
开模时间	不满 1 周	4-8 周

## 10.2 一些注意事项

### 1) 尺寸精度

有些尺寸精度较高的产品，难以一次成型达到要求，可以分两次加工。比如一般尺寸的部位，采用一般精度刚模，某一部位严格尺寸部分，才用二次加工。

一般来讲，模具小一些，所能保证的精度就高一些。但相应的，加工效率也可能就降下来了。

### 2) 位置偏移

虽然位置偏移也属于尺寸精度的管制范围，但在控制管理中，应分开考虑。很多设计人员并不知道这其中的差别，而全部当同一尺寸精度处理。其实位置偏移是工序不同系统中的尺寸变化造成的，如图形与外形的的位置，定位孔和线路图形的关于等等。

### 3) 拼板

FPC 加工中，为了提高材料利用率，往往要采用拼板。所以，有时候会出现冲次多效率低的情况。若加大模具，提高效率，则模具成本又会上升。因此，设计人员应根据自己工厂的实际加工能力，收集相关数据，计算最佳拼板和冲次。

## 11 增强板加工

增强板也是 FPC 所特有的。

增强板的材料，在前面已经讲过，不详述。主要说说增加板加工的注意事项。

增强板很难实现自动化，基本上都是手工完成的。因此，增强板拼板设计和夹具使用，就成了提高效率的关键所在。

### 1) 增强板设计

建议尽量采用成条和成片设计，能一次补几个，十几个，乃至几十个，如果补强板小且多，最好不要设计单个贴，那会贴死人的。此处，考验的是工厂的设计能力。

## 2) 使用夹具

使用夹具，除了能帮忙提高效率外，另外一个目的，是为了提高精度。当客户对加强板的精度要求 $<0.3\text{mm}$ 时，不使用夹具，几乎无法加工。

## 3) 调整加强板加工顺序

在柔性板加工之前，就把增强板贴上去，在外形加工时，同步成型，这也是提高效率的一大法宝。不过，设计人员要特别注意增强部位的厚度，冲外形时，容易产生裂纹等问题。要想解决它，还是从模具设计上入手吧。

## 12 检查

线路导通性，必须用电性测试机 100%测试。即使如此，因为 FPC 的柔软特性，也会造成漏检。如 FPC 在平行状态下测试，是导通的，可能在受力弯曲后，有裂纹导体就会开路了，这种情况，即使机器也无能为力。

目视检查：

普通线路	2~3 放大镜检查
100um 线路	5~10 倍放大镜检查
50~100um	10~20 倍放大镜检查
$<50\text{um}$ 线路	$>20$ 倍以上放大镜检查

另外，也可用 AOI 代替目视检查。但 AOI 最大的问题是，只能检查线路的外形，不能检查到线路的导通性。

但无论如何检查，理论上还是会出现漏检。

因此，在出货前，采用双方（客户和供应商）都认可的 AQL 值抽样。

一般缺陷采用 AQL 0.65 大家都可接受。

重大缺陷，需采用 AQL 0.001 比较适当。

## 13 包装

FPC 比较脆弱，因此在包装防护上需要格外小心，如 PCB 搬要用橡皮筋一扎，或者叠一叠抽真空包装，是会有大问题的。

常用的方法，一般是把 10~20 片 FPC 迭到一起，用纸条固定硬的夹板住（注意，尽量不要使用胶带，因为胶带的粘结剂会渗出，导致焊盘和端子氧化变色），再放入干燥剂，抽真空，密封。硬质板要比 FPC 略大。

在装箱时，要使用好的缓冲材料。千万不要为了多装而硬塞。那一，大把的银子可就要变成废纸了。

最可靠的方法，就是使用专用托盘。

