

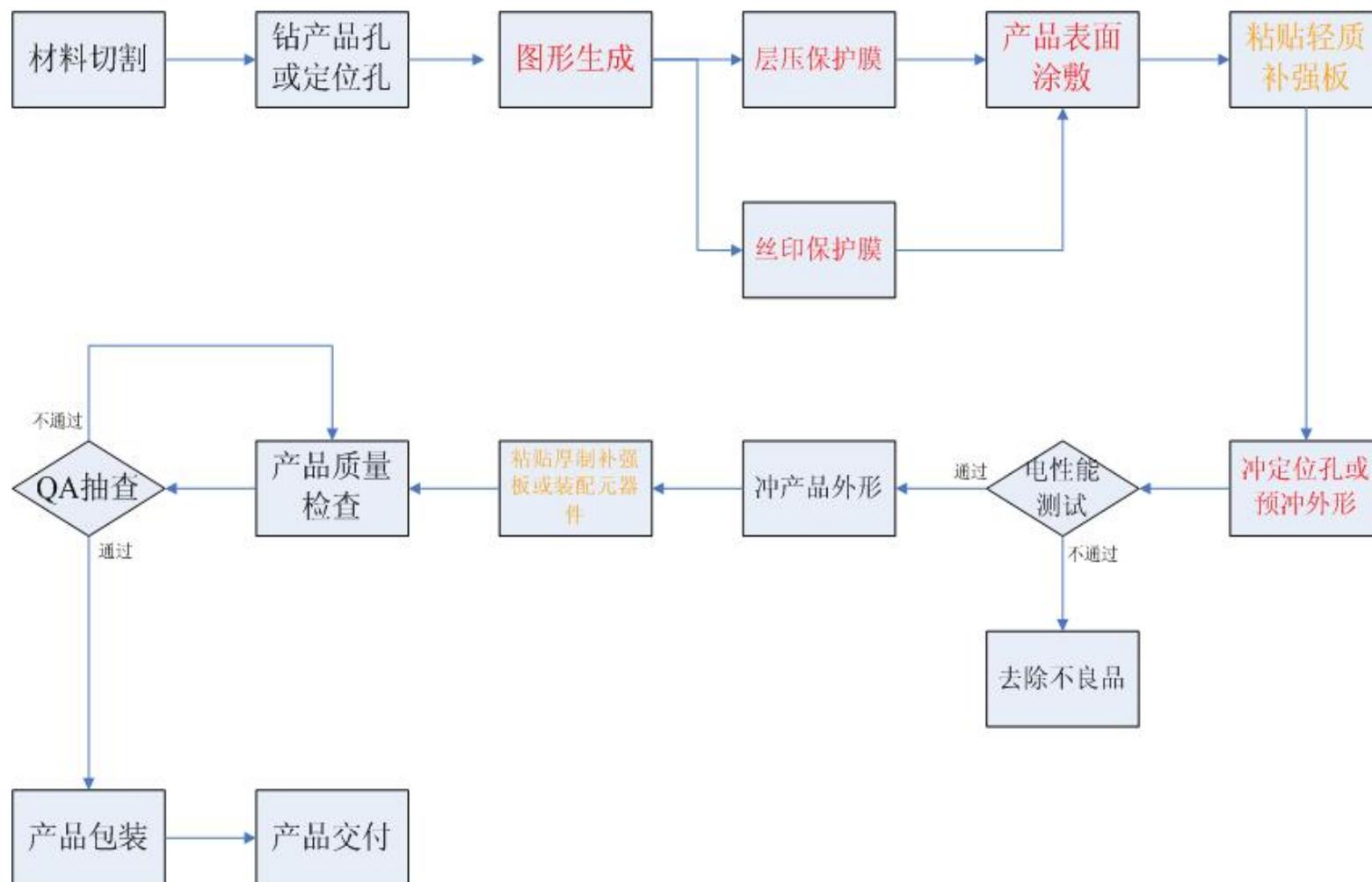
单片单面挠性印制板制造工艺

单片多层，刚挠印制板制造工艺

成立群

单片单面挠性印制板制造工艺

单片单面挠性印制板工艺流程



单片单面挠性印制板工艺（一）

- 材料的切割：

挠性印制板的材料主要分为二大部份：

第一类是：覆铜基板材料，按绝缘材料的类型又可分为聚酰亚胺和聚酯类；按导电铜箔的类型又可分为压延铜箔和电解铜箔；按结构又可分为三层结构（有胶基材）和二层结构（无胶基材）。

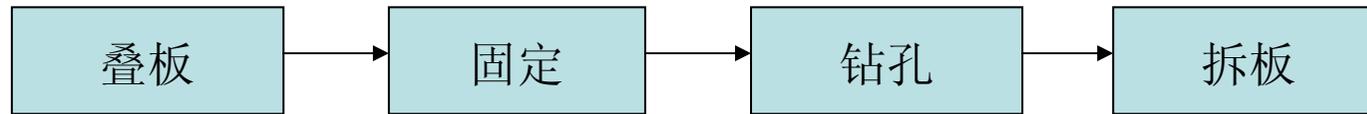
第二类是：保护膜材料，按材料的类型可分为聚酰亚胺和聚酯类。

在材料的切割过程要做到切割尺寸的规整，避免使用正方形的切割尺寸。对使用压延铜箔基材时要注意铜箔的压延方向与设计时的要求一致。

单片单面挠性印制板工艺（二）

- 钻孔：

钻孔是单面挠性印制板加工过程中一个重要的加工工序，由于挠性印制板的材料呈柔软易变形的特性所以在钻孔加工时同硬板有所不同。其工艺流程如下所示：



叠板：既是将要钻孔的覆铜基板材料或保护膜材料按一定的层数叠放在一起并在底部和顶部覆上垫板和压板用单面胶带紧紧地粘合在一起。

压板和垫板的选择：

钻孔质量的优劣，除与钻头质量和钻孔参数有关系外，与压板和垫板的选用也密不可分。

单片单面挠性印制板工艺（二）

使用压板的目的是：

- 防止产品表面产生毛边。
- 钻孔时散发热量。
- 可引导钻头进入**FPC**板的轨道作用。
- 钻头的清洁作用。

压板的种类有酚醛树脂板，铝合金板，纸苯酚板。酚醛树脂板本身有种轨道作用，铝合金板则散热好，纸苯酚板对钻头的磨损较小。但是铝合金板的耐热性能不佳，在加工热量很大的时候，会产生铝的熔化在钻头尖部附着成一硬块。所以一般在**FPC**钻孔加工中选用0.3mm—0.5mm厚度的酚醛树脂板作为压板。

单片单面挠性印制板工艺（二）

- 使用垫板的目的是：
 - 抑制毛边的产生。
 - 让FPC板能充分贯通。

垫板以1.6mm—2.0mm厚度的酚醛树脂板为主要材料。以材质来讲，比较软质的酚醛树脂板较为理想，太硬的板子会使钻头的切削部位与垫板接触时发生缺口现象。
- 有效钻头刃长的计算：
有效钻头刃长(mm)=钻头刃长(mm)-1.5mm
- 有效钻头刃长的组成：
有效钻头刃长=单片材料的厚度×叠层数+压板厚度（0.5mm）+
过钻量（0.3mm,既钻入下层垫板的深度）
- 在对保护膜材料进行叠层前，要对其粘结剂面的离形纸做“消应力”处理。

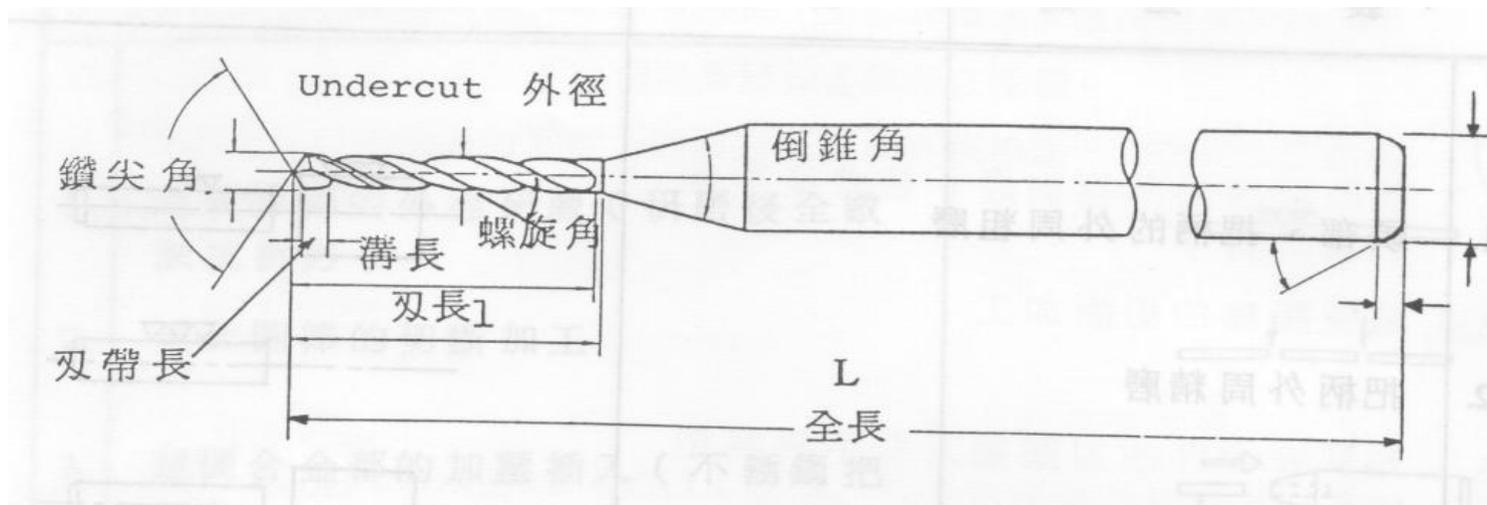
单片单面挠性印制板工艺（二）

- FPC的固定:

将叠层后在二端打孔并订入定位销钉，装入钻床台面后在用1.5inch宽的美文纸单面胶带固定四周，使FPC材料与台面牢固紧密地结合在一起不能有上下跳动和左右晃动的现象出现。

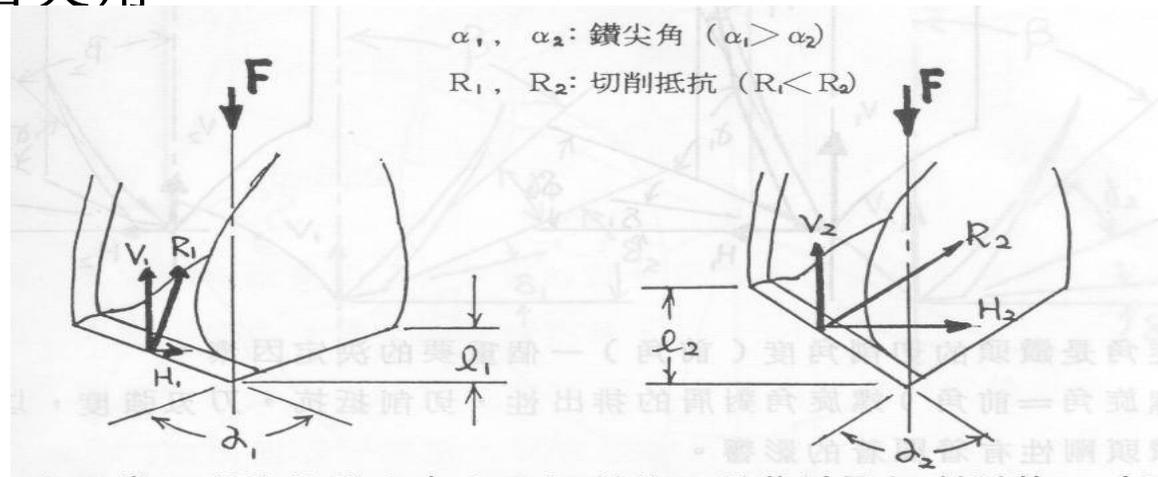
- 钻孔:

对钻头结构的认识:



单片单面挠性印制板工艺（二）

- 各部分的功能：
(1) 钻尖角



钻尖角影响切削物的排出方向和切削物的形状以及切削抵抗，毛边等的产生。

*钻尖角较大的钻头，其排出物成粒状，比较易于屑的排出，如果钻尖角比较小的话，排出物则成条状，易造成钻头的折断和孔壁的粗糙。

单片单面挠性印制板工艺（二）

- *切削抵抗是进刀速度， F 一定时，钻尖角如果比较小则在钻头上的推力（ V ）减小，扭矩（ H ）增加。反之，如果钻尖角较大，则推力增大，扭矩减小。综合起来切削抵抗是钻尖角大的时候比较小。
- *毛边的产生是由于钻屑不能及时被排出造成的。钻屑的排出能力与钻尖角有一定的关系，钻尖角比较小的时候其切削部长度比较长则会有不良的影响，又在一样的钻尖角情况下，如果钻头的外径增大时，切削部的长度也会加长，所以为了减短其长度的增加，以及及时钻屑的排出更容易，因此随着钻头外径的增大有必要将钻头的钻尖角角度也同时加大。

单片单面挠性印制板工艺（二）

（2）螺旋角

- *螺旋角是钻头的切削角度（前角）一个重要的决定因素。
(螺旋角=前角) 螺旋角对屑的排出性，切削抵抗，刀刃强度，以及钻头的刚性有着显著的影响。
- *有关屑的排出性，在一些适当的螺旋角度里，有助于钻屑的排出，但是切削屑移动到排出口的路程较远，如果吸尘效果不好的话，就容易有孔壁粗糙的现象产生，从力学角度分析螺旋角大的排出性比较好。
- *有关切削抵抗，螺旋角越大，则刀尖角越小刀刃部位则越锐利，则切削性能提高，因此所需的推力和扭矩减小，只要稍微力量，便可进去钻孔。但也存在缺点，由于刀刃强度减小，在比较差的切削条件下易造成钻头的缺口和异常磨损。
- *从钻头的刚性来讲，螺旋角越大，则刚性越差，钻头的刚性下降后易造成钻头的弯曲。

单片单面挠性印制板工艺（二）

- 钻头的保管

钻头的抗冲击性是非常脆弱的，而钻头的刀刃部位很锐利，因此在存取钻头的过程中必须加以保护和注意。如果不小心碰撞缺损的话，切削性能会降低，且会加大钻头的磨损和孔壁的钻污产生。所以就钻头的存取，处理等说明如下：

- 1) 钻头的存取

钻头在搬运过程中，要以装在盒子里的状态来搬运，不可以用手一把抓的样子，否则会使钻头的刃部相互碰撞在一起，在刃部角落会出现缺损的情况。

- 2) 钻头尺寸的测量

钻头的全长和外径的测量，避免用机械的方法，如（千分尺，游标卡尺等）来测量。要用激光，测定器或者光学式的测量方法比较好。

- 3) 其他要注意的几个项目

钻孔机上放置钻头的插具，当钻头在放置，取出的时候，钻头的钻尖不要与插具碰撞到。

钻头的夹头保持力是不是够，主轴的振动是否过大，有没有做定期的检查。

钻头再使用的时候，脏东西是否被清理干净。

单片单面挠性印制板工艺（二）

- 缺口钻头对加工孔壁的影响

使用有缺口的钻头，会造成钻头的异常磨损而导致孔壁的粗糙。

*当钻头一有崩裂后，其异常磨损情况则急速增加。

*当钻头钻尖部分崩裂时，对孔壁粗糙的影响并非很大，但会影响到推力及发生孔位偏差。若切削端崩裂，则会严重影响到孔壁。初期会有孔壁粗糙的情况发生，但影响比较小，但钻孔次数增加后，孔壁便有树脂和排出物的附着。

*刃带部有缺口的时候，对孔壁的影响不大。

单片单面挠性印制板工艺（二）

- 钻孔参数：

钻头外径 (mm)	主轴钻速 (rpm)	进刀速度 (m/min)	进刀量 (μ m/rev)
0.1—0.15	80,000-	1.0	12
0.2-0.25	70,000	2.0	15-30
0.3-0.45	60,000—70,000	1.5—2.45	25-35
0.5-0.65	55,000--65,000	1.65—2.925	30-45
0.7-0.85	55,000—65,000	1.925—3.25	35-50
0.9-1.15	55,000—65,000	2.2—5.2	40-80
1.2-1.45	50,000—60,000	2.2—5.2	40-80
1.5-1.65	40,000—50,000	1.6--3.5	40-70
1.7-2.0	35,000—45,000	1.6—3.5	40-70
2.1-2.3	35,000—45,000	1.6—3.5	40-70
2.4-2.7	30,000—40,000	0.9—2.4	30-60
2.8-3.1	(min)25,000—35,000	0.9—2.4	30-60
3.1-4.0	(min)25,000—35,000	0.9—2.4	20-50
4.0-6.0	(min)25,000—35,000	0.9—2.4	20-50

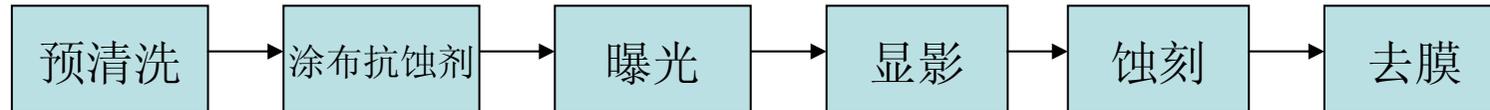
单片单面挠性印制板工艺（二）

- 拆板

钻孔完成后，将FPC板从钻床上取下，检查钻孔质量。

单片单面挠性印制板工艺（三）

- 图形生成



*预清洗:

为得到良好质量的蚀刻图形，就要确保抗蚀层与基板表面牢固的结合，要求基板表面无氧化层、油污、灰尘、指印以及其他的污物。因此在涂布抗蚀层前首先要对板进行表面清洗并使铜箔表面达到一定的粗化层度。

一般的前处理可分为三种：

- 1) 喷沙处理
- 2) 化学处理
- 3) 机械研磨法

由于挠性板材料易变形弯曲，所以益采用化学处理的方法。在操作过程中要特别注意板材的持拿方式，避免板材出现凹坑和皱折以免造成干膜贴不紧在蚀刻时造成断线等问题。清洗剂可选用酸性清洗剂，宜用喷淋的方式清洗，板面的清洗质量可用水膜测试法鉴定。

单片单面挠性印制板工艺（三）

*涂布抗蚀剂:

一般常用的抗蚀剂为二种，干膜型的和湿膜型的。

干膜（又称光致抗蚀膜），是由聚酯薄膜，光致抗蚀膜及聚乙烯保护膜三部分组成的。聚酯薄膜是支撑光致抗蚀膜的载体，使之涂布成膜，厚度通常为 $25\mu\text{m}$ 。聚酯薄膜在曝光后显影前去除。光致抗蚀膜层为干膜的主体，多为负性感光材料，其厚度视其用途的不同，有若干种规格，最薄的可以是 $12\mu\text{m}$ ，最厚的可达 $100\mu\text{m}$ ，常用的一般为 $25\mu\text{m}$ 和 $38\mu\text{m}$ 二种。贴膜时，先从干膜上剥下聚乙烯保护膜，然后在加热加压的条件下将干膜粘贴在铜面上。

贴膜时要掌握好三个要素：**压力、温度、传送速度（时间）**

不同的干膜类型性能、不同的温湿度、其贴膜的温度略有不同。膜涂布的较干、环境温度低、湿度小时，贴膜温度要高些，反之可低些。贴膜温度过高，由于胶膜层中的溶剂和其它挥发物的迅速挥发而产生气泡，且干膜图像变脆，耐镀性能下降。贴膜温度过低，由于抗蚀干膜得不到充分的软化和适当的流动，导致干膜与覆铜箔板表面粘贴不牢，在显影或电镀过程中，干膜易起翘甚至脱落。通常的控制的贴膜温度在 $100-110^{\circ}\text{C}$ 。目前所使用的多为水溶性干膜，空气中的湿度对其影响较大。当湿度较大时，干膜的粘结剂在贴膜温度较低时可以达到良好的粘结效果。同时适当加大贴膜胶辊的温度和压力，也可以获得良好的效果。

单片单面挠性印制板工艺（三）

传送的速度通常与贴膜温度有关，温度高，传送速度可以快些，温度低则将传送的速度调慢一些。通常使用的贴膜传送速度为1.0-2.0米/分，压力：30-60 psi。

湿法贴膜工艺：

由于铜箔表面存在凹凸不平、针孔、凹陷、划伤等缺陷，在贴膜时，有缺陷的部位同干膜的吻合不好，在铜箔和干膜之间形成界面空洞，蚀刻或电镀时出现断线或渗镀的问题。为适应高密度精细线路的要求，开发出一种新的贴膜方法称之为湿法贴膜工艺，即是在压膜前先板面上涂布一层水膜，以增加受压时干膜的流动性，降低了干膜胶层的粘度，增强了干膜的流动性，从而有效提高了干膜填埋深坑的能力。实践中发现，运用湿法贴膜可填埋 $16\mu\text{m}$ 的凹坑。完好的贴膜应是表面平整、无褶皱、无气泡、板面上无尘埃等。为保持工艺的稳定性，贴膜后应静止15分钟后再进行曝光。

*液态抗蚀剂：

对于高密度精细线路的制作通常采用液态光致抗蚀剂，它是由感光性树脂，配合感光剂、色料、填料及溶剂等成分所组成，当经过紫外光照射后产生聚合反应得到线路图形。与干膜相比，液态湿膜与基板密贴性好，可填充铜箔表面轻微的凹坑、划痕等缺陷。湿膜比较薄，其厚度一般在 $5\text{--}10\mu\text{m}$ 之间，仅为干膜的 $1/3$ 左右，湿膜的表面没有像干膜那样表面有一层 $25\mu\text{m}$ 的聚酯膜，所以在曝光时可大大减少散射时图形的解像度和清晰度得到提高。

单片单面挠性印制板工艺（三）

湿膜由于本身厚度较簿，物料成本降低且与干膜相比成本可以节约30%--50%。但是湿膜的厚度均匀性不及干膜，涂布后的烘干程度也不易掌握好，从而增加了曝光困难。另外湿膜中的助剂、溶剂、引发剂等挥发，对操作工有一定危害。因此工作场地必须通风良好。

液态感光抗蚀剂有多种涂布方式，如离心涂覆、浸涂、丝印、帘幕涂覆、滚涂等。

一般丝网印刷是目前常用的一种方式，其设备要求低，操作简单，成本低。但生产效率低，膜的均匀一致性不能完全保证。一般网印时，满版印刷采用100-300目的丝网（如果用于抗电镀的应采用150目的丝网）。

液态感光抗蚀剂涂覆操作要注意以下几方面：

- 1) 工作条件：无尘室（10000级或更高）黄光下操作，室温为23-25℃，相对湿度为55±5%，避免阳光和日光灯直射。
- 2) 要控制使用的丝网目数，使形成膜厚干燥后应达到8-15 μ m。
- 3) 预烘也是非常关键的，要注意烘箱内部的清洁。预烘的温度为80±5℃，时间约20-30分钟。控制好预烘的温度，时间很重要。温度过高或时间过长，会导致显影困难，不易去膜；若温度过低或时间过短，干燥不无完全，易粘底片而致曝光不良且易损坏底片。预烘后，涂覆到显影的时间最多不超过48小时，湿度大时尽量在12小时内完成曝光显影。

单片单面挠性印制板工艺（三）

*曝光：

曝光即在紫外光的照射下，光引发剂吸收了光能分解成游离基，游离基再引发光聚合单体产生聚合交联反应，反应后形成不溶于稀碱溶液的高分子结构。

影响曝光成像质量的因素除光致抗蚀剂的性能外，光源的选择、曝光时间（曝光量）的控制、照相底片的质量等都是影响曝光成像的重要因素。

光聚合反应取决于灯的光强和曝光时间，灯的光强与激发电压有关，与灯的使用时间有关。因此为保证聚合反应足够的光能量，必须由光能量积分仪来控制，其作用原理是保证曝光过程中灯光强度发生变化时，能自动调整时间来维持总曝光能量的不变。要使干膜的聚合效果好，就必须有一个最佳的曝光量。从光能量的定义公式可知，总曝光量 E 是光强度 I 和曝光时间 T 的乘积。若光强度 I 不变，则曝光时间 T 就是直接影响曝光总量的重要因素。 $E=I \times T$

若光强度 I 不变，则曝光的时间 T 就是直接影响曝光总量的严重因素。曝光不足时，由于聚合不彻底，在显影过程中胶膜溶胀变软，导致线条不清晰甚至膜层发毛，脱落，造成膜与同表面结合不良，抗蚀性下降；若曝光过度，使本来不应该发生光聚合反应的部分也发生了聚合反应，在显影时就会产生余胶和线间距减少的现象，蚀刻后会发现有短路的问题。所以解决的工艺措施就是严格控制曝光时间。

单片单面挠性印制板工艺（三）

同样底片质量的优劣，也直接影响曝光质量，因此，要求底片图形线路清晰，不能有发晕，虚边等质量问题，建议使用片基厚度为**0.18mm**的底片，对线宽、线间距小于**0.15mm**的直接使用银盐底片曝光。

曝光定位有三种方式：

1) 目视定位：目视定位通常适用于使用重氮盐底片，重氮盐底片呈棕色或桔红色的半透明状态；但不透紫外光，透过重氮图像时底片的焊盘与印制板的孔重合对准，用胶带固定即可进行曝光。

2) 脱销定位系统定位：脱销定位系统包括照相底片冲孔机和双圆孔脱销定位器。定位方法是：首先将正面、反面二张底片药膜面相对在放大镜下对准；将对准好的二张底片用底片冲孔器与底片有效图像外任冲二个定位孔，把冲好定位孔的底片去编钻孔程序，便能同时得到包含元件孔和定位孔的钻孔程序，一次性钻出元件孔及定位孔便可用双圆孔脱销定位器定位曝光。

3) 固定销钉定位：此固定销钉分两套系统，一套固定照相底片，另一套固定印制板，通过调整两销钉的位置，实现照相底片与印制板的重合对准。

曝光后，聚合反应还要持续一段时间，为保证工艺的稳定性，曝光后不要立即撕去聚酯膜，应停留**15**分钟以上，以时聚合反应继续进行。显影前撕去聚酯膜。

单片单面挠性印制板工艺（三）

曝光工序操作注意事项

- (1) 曝光机抽真空框架必不可少，真空度 $\geq 90\%$ ，只有通过抽真空将底片与印制板紧密贴合，才能保证图像无畸变，以提高精度。
- (2) 曝光停止后，应立即取出板件，否则灯内余光会造成显影后有余胶。
- (3) 工作条件必须达到：无尘（10000级或更高的）黄光下操作，室内温湿度（ $21 \pm 1^\circ\text{C}$ ， $55 \pm 5\%$ ）。曝光机应具有冷却排风系统。
- (4) 曝光时底片药膜面务必朝下，使其紧贴感光膜面，以提高解像力。
- (5) 定期校准曝光能量积分器，以确保得到准确的曝光量

单片单面挠性印制板工艺（三）

*显影

显影是感光膜中未曝光部分的活性基团与稀碱溶液反应生产可溶性物质而溶解下来，留下已感光交联固化的图形部分。

最常用的药液是以无水碳酸钠（ Na_2CO_3 ）加工而成，浓度由重量比在0.75%到2%之间，干膜或湿膜供应商的建议而定（一般通常使用1%的碳酸钠溶液视）。一般来讲较高的浓度可容许较高的已溶干膜或湿膜的负载量，但较不易清洗干净，而且容许操作范围较小；反之，过低的浓度所能承受的干膜或湿膜负载较小，因此正确的配制浓度是最基本的工作之一，为了准确地控制浓度，可用酸碱滴定法计算出溶液中碳酸钠的浓度，具体方法参考如下：

- （1）取样25ml 显影液于250ml烧杯中；
- （2）加入D.I.水100ml及3-5滴甲基橙；
- （3）用0.1N浓度的盐酸滴定至颜色转为红色；
- （4）计算： $\text{wt}\% \text{Na}_2\text{CO}_3 = 0.0212 \times \text{滴定量 (ml)}$ 。

一般干膜在1% Na_2CO_3 显影液的负载量约为12-15 mil-ft²/gal，在较高的显影压力与充分水洗之下可得到较高的负载量。

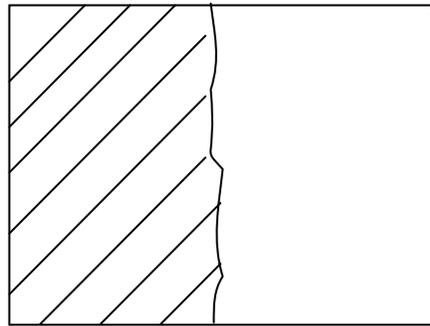
配制显影溶液的水质建议使用软水或D.I.水，使用硬水会产生硬垢导致喷嘴或喷管的堵塞。

单片单面挠性印制板工艺（三）

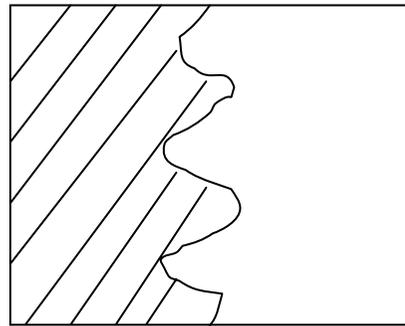
显影的均匀度测试：

为了了解显影的均匀情况可以用下列方法测试：

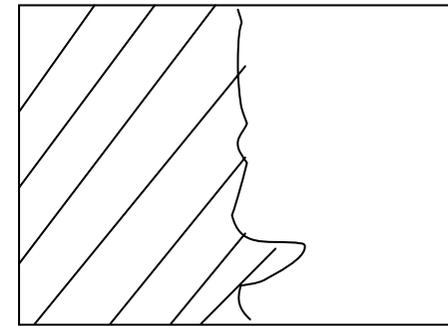
- 1) 压膜在一片较大的板子上，例如宽度**16-18英寸**，长度**20-22英寸**。
- 2) 撕掉保护膜后直接用比平常快**30%**的速度进行显影。
- 3) 当板子走到显影槽的**2/3**时停机，然后打开盖子观察已显影的板面情形。



正常显影



不正常显影



部分喷嘴堵塞

上图中左图为正常的显影情况显示喷嘴排列正常，喷嘴与喷嘴之间具有重叠作用，中图表现的参差不齐主要是喷嘴排列不佳，右图显示的情况可能有部分的喷嘴阻塞，形成局部的显影不良。

单片单面挠性印制板工艺（三）

显影断点的控制：

由于显影的速度受到许多因素的影响，例如：溶液的浓度，负载量，压力，温度等，因此在实际操作中常用显像点的位置来控制正确的显影速度。显像点（也被称作断点）的位置指在显影过程中，未曝光聚合的干膜被冲洗掉露出铜箔时的位置。一般干膜显像点均控制在显影槽的50%-75%之间，良好均匀度的设备可将显像点控制在较后面。

消泡剂的使用：

由于水溶性干膜在溶解过程中，实际上是一种皂化作用，因此在喷淋泵的搅拌下会产生泡沫，当大量的泡沫产生后，不但会溢出显影槽，而且会降低显影液与板面的冲刷压力造成显影不洁，因此适当的使用消泡剂是必须的，但消泡剂的选用有以下几个原则：

- 1) 避免使用含硅的消泡剂。虽然硅系列的消泡剂的破泡和抑泡效果非常显著，但由于十分不易与显影液乳化完全，对产品表面有沾污。
- 2) 会对槽壁留下油污。
- 3) 避免使用对干膜有破坏性的产品。

单片单面挠性印制板工艺（三）

在使用消泡剂时有以下几点供参考：

- 1) 适量：一般来讲消泡剂的用量与显影液的干膜负载量成正比，一般1ml/L的消泡剂可作用约4mil-ft²/gal的负载量。
- 2) 先稀释约4-5倍后再添加可得到最佳的分散效果。
- 3) 加在产生泡沫处附近。

槽内残渣的清除：

当使用的水质不好或使用不当的消泡剂后，通常会出现在槽内各处产生乳白色的污垢。用以下方法可有效地清除：

- 1) 用2%-3% 重量比的KOH溶液，加热到48-54℃循环约半小时可完全清除干膜残渣。
- 2) 彻底用清水洗涤。
- 3) 对轻微的污垢可用体积比为2%--5%的盐酸，以高于38℃的温度搅拌约1小时，若污垢严重的，可以用体积比为5%-10%的Na₄EDTA，在48-54℃的条件下搅拌约1小时。
- 4) 彻底用清水清洗。

单片单面挠性印制板工艺（三）

*显影质量的检查：

经过显影后的线路，即使有部分显影不洁，或者是过长的根底部，乃无法用放大镜检查出来；而氯化铜测试是一种非破坏性的检验。检验方法如下：

1) 显影后的板面先进行表面清洗，例如

显影后——酸性清洗——微蚀——稀酸

2) 置于5%重量比氯化铜溶液中30秒，最好轻微摆动液体，并用海绵细擦板面去除板面上的小气泡避免影响结果的判断。

3) 水洗

4) 吹干

5) 目视检查

显影正常的铜面，经以上方法处理后会形成一层灰黑色的氧化层，当板面上有残留的干膜余胶时，会出现仍保持光亮的铜原色，用此方法即可检验出显影是否良好。

单片单面挠性印制板工艺（三）

* 显影溶液的添加控制

显影液的干膜负载量与显影液的pH值呈线性关系，故只要控制显影液的pH值就可以得到一致的显影速度。这个值一般控制在10.3-10.4之间，测试方法可以使用pH仪。可以将pH仪的探头放在显影液中但要注意探头的维护，由于长时间浸在溶液中会有干膜残渣沉积在探头表面阻碍正常测量，因此要时常清洗和校正。检测周期可为每30分钟或60分钟一次并做好记录，建议使用SPC控制图进行控制。

添加的溶液原则上要与初配的槽液有同样的浓度，如此常会遇到需要较大的空间来储存大量的溶液。较理想的设计仍是配制高浓度的药液，例如10%的溶液，在加入槽内前用D.I.水稀释到需要的浓度后再加到槽内。

单片单面挠性印制板工艺（三）

* 蚀刻

在挠性印制板或印制板的生产过程中，以化学反应方法将不要部分的铜箔予以去除，使之形成所需的回路图形的称之为蚀刻。一般常用的蚀刻液种类有以下几种：

1) 氯化铁蚀刻液：

在过去氯化铁蚀刻液被广泛使用在单面板和及内层板的蚀刻中，但因蚀刻速度慢（ $20-25 \mu\text{m}/\text{min}$ ）和蚀刻能力低（ $35-40\text{g}/\text{L}$ ），对机器，工作场地污染，废液没有回收价值等原因现已被氯化铜蚀刻液逐步取代。

2) 氯化铜蚀刻液：

用氯化铜、盐酸、氯化钠或氯化铵配成，以氯气或氯酸钠或过氧化氢（双氧水）连续再生，成本较氯化铁蚀刻液便宜，废液也有回收价值。它具有良好的蚀刻系数，再生控制适当蚀刻速率蚀刻能量不错。但若氯化不足，则蚀刻速度降低，水洗后产生白色氯化亚铜沉淀；若氯化过量时，则会产生游离氯气，极易侵蚀蚀刻机的金属部分。冷却后，喷嘴又常因结晶被堵塞，需常清洗。

3) 碱性氯化铜蚀刻液

以氯化铜、氯化铵、氨水配成；并加助剂成份如氯化钴、氯化钠、碳酸铵、磷酸铵等，以加强蚀刻液的特性。此蚀刻液溶液稳定、安全性好、蚀刻速度快（可达 $70 \mu\text{m}/\text{min}$ 以上），蚀刻能量大，可达 $70\text{g}/\text{L}$ 以上，蚀刻系数佳，可达3.5以上，有机及金属抗蚀层除银以外均可使用。

单片单面挠性印制板工艺（三）

各种蚀刻液和抗蚀层的适用性：

蚀刻液 \ 抗蚀层	干膜/湿膜	油墨	锡	铅锡	金	镍
氯化铁	适合	适合	不适合	不适合	适合	不适合
酸性氯化铜	适合	适合	不适合	不适合	适合	不适合
碱性氯化铜	有些问题	有些问题	适合	适合	适合	适合

蚀刻系数：

蚀刻系数=铜箔厚度/侧蚀宽度

蚀刻系数越高说明侧蚀量越少，蚀刻质量越好。

一般挠性印制板使用酸性氯化铜蚀刻液加工，就酸性氯化铜蚀刻液详细介绍如下：

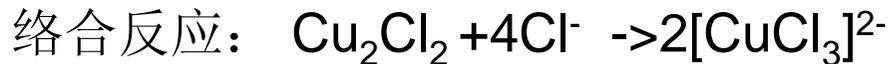
单片单面挠性印制板工艺（三）

酸性氯化铜蚀刻过程的主要化学反应

在蚀刻过程中，氯化铜中的Cu²⁺具有氧化性，能将板面上的铜氧化成Cu¹⁺，其反应如下：



形成的Cu₂Cl₂是不易溶于水的，在有过量的Cl⁻存在下，能形成可溶性的络合离子，其反应如下：



随着铜的蚀刻，溶液中的Cl¹⁺越来越多，蚀刻能力很快就会下降，直到最后失去效能。为了保持蚀刻能力，可以通过溶液再生的方式将Cu¹⁺重新转变为Cu²⁺，使溶液继续进行正常的蚀刻。

常用的酸性氯化铜蚀刻液配方：

组 分	1	2	3
CuCl ₂ ·2H ₂ O	130-190 g/l	200 g/l	150-450 g/l
HCl	150-180 ml/l	100 ml/l	
NaCl		100 g/l	
NH ₄ Cl			饱和
H ₂ O			

单片单面挠性印制板工艺（三）

影响蚀刻速率的因素：

影响蚀刻速率的因素很多，影响较大的是溶液中Cl⁻，Cu¹⁺的含量，溶液温度及Cu²⁺的浓度等。

Cl⁻含量的影响

在氯化铜蚀刻液中Cu²⁺和Cu¹⁺实际上都是以络合离子的形式存在的。一般情况下，当溶液中含有较多的Cl⁻时，Cu²⁺是以[Cu²⁺Cl₄]²⁻形式存在，Cu¹⁺是以[Cu¹⁺Cl₃]²⁻的形式存在。因此，蚀刻液的配制和再生都需要Cl⁻的参与。增加氯离子的浓度可以加快蚀刻速率。添加氯离子可以提高蚀刻速率的原因是：在氯化铜溶液中发生铜的蚀刻反应时，生产的Cu₂Cl₂不易溶于水，则在铜表面生成一层氯化亚铜膜，这种膜能阻挡反应的进一步进行。过量的Cl⁻能与氯化亚铜生成可溶性的络合物[CuCl₃]²⁻，从铜表面溶解下来，从而提高蚀刻速率。

Cu¹⁺含量的影响

根据蚀刻反应，随着铜在蚀刻过程中形成一价铜离子。较微量的Cu¹⁺，例如：在120g/l Cu²⁺的溶液中含有4g/l Cu¹⁺就会对蚀刻速率产生显著的降低。所以在蚀刻操作中要保持Cu¹⁺的含量在一个低的范围内。例如：小于2g/l。并要尽快地使其重新氧化成Cu²⁺。

在实际生产中如何控制溶液中的Cu¹⁺浓度？

根据奈恩斯特方程式： $E = E_0 + (0.059/n) \lg([Cu^{2+}]/[Cu^{1+}])$

从上面的公式可以看出，氧化-还原电位E与（Cu²⁺/Cu¹⁺）的比值有关。

单片单面挠性印制板工艺（三）

随着溶液中 Cu^{1+} 的浓度不断升高，氧化-还原电位不断下降，当氧化-还原电位在530mV时， Cu^{1+} 的浓度低于0.4g/l。能提供最理想的，高的和几乎恒定的蚀刻速率。所以在实际操作中都以控制溶液的氧化-还原电位来控制溶液中 Cu^{1+} 的浓度。一般氧化-还原电位多控制在510-550mV之间。

Cu^{2+} 含量的影响：

溶液中的 Cu^{2+} 含量对蚀刻速率有一定影响。一般情况下，溶液中 Cu^{2+} 浓度低于2克离子时，蚀刻速率较低；在2克离子时速度较高。随着蚀刻反应的不断进行，蚀刻液中铜的含量会逐渐增加。当铜含量增加到一定浓度时，蚀刻速度就会下降。为了保持蚀刻液具有恒定的蚀刻速率，必须把溶液中的含铜量控制在一定的范围内。随着溶液中铜含量的不断增加，溶液的比重也随之增加。在实际生产中采用控制溶液比重的方法来控制溶液的含铜量。在生产中比重一般控制在1.28-1.295(31-33° Be)，此时的含铜量大约在120-150 g/l 之间。

温度对蚀刻速率的影响：

随着温度的升高，蚀刻速率加快。但是温度也不宜过高，一般控制在40-55°C范围内。温度太高会引起HCl过多地挥发，造成溶液组份比例失调。另外，如果蚀刻液温度过高，某些抗蚀层会被损坏。

单片单面挠性印制板工艺（三）

蚀刻液的再生：

再生的原理主要是利用氧化剂将溶液中的 Cu^{1+} 氧化成 Cu^{2+} 。再生方法一般有以下几种。

1) 通氧气或压缩空气再生：

主要的再生反应为： $2\text{Cu}_2\text{Cl}_2 + 4\text{HCl} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

但此方法再生反应速率很低。

2) 氯气再生：

主要的再生反应为： $\text{Cu}_2\text{Cl}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{CuCl}_2$

由于氯气是强氧化剂，直接通氯气是再生的最好方法。因为它的成本低，再生速率快。但是，很难做到使氯气全部都参加反应，如有氯气溢出，会污染环境。故该法要求蚀刻设备密封。

3) 电解再生：

主要的再生反应为：在直流电的作用下，在阳极： $\text{Cu}^{1+} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + e$

在阴极： $\text{Cu}^{1+} + e \rightarrow \text{Cu}^0$

这种方法的优点是可以直接回收多余的铜，同时又使 Cu^{1+} 氧化成 Cu^{2+} ，使蚀刻液得到再生。但是此方法的再生设备投入较大且要消耗较多的电能。

单片单面挠性印制板工艺（三）

4) 过氧化氢（双氧水）再生：

主要的再生反应为： $\text{Cu}_2\text{Cl}_2 + 2\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

这种方法再生速度快，因为 H_2O_2 可以提供游离氧 $[\text{O}]$ ，因此只需要40-70秒即可再生。在自动控制再生系统中，通过控制氧化-还原电位、 H_2O_2 与 HCl 的添加比率，比重和液位，温度等项参数，可以实现自动连续再生的目的。

正像前面所述，随着蚀刻的进行，溶液中的 Cu^{1+} 浓度不断增加，溶液的电极电位要不断降低。当测得的电位低于给定的电位时，通过控制装置添加 H_2O_2 ，同时添加 HCl ，当电位升高到给定的值时，添加控制装置停止工作。按上面的再生化学方程式可知，每蚀刻1克分子铜要消耗2克分子的盐酸和1克分子的过氧化氢。据有关资料介绍，如果使用35%的 H_2O_2 和37%的 HCl ，就可以1：2的体积比进行添加。每蚀刻1克铜大约需要1.4ml 35% H_2O_2 和3ml 37%的 HCl 。在实际生产中按1：3体积比添加，蚀刻速率基本保持恒定。

另一个参数是溶液的比重，随着蚀刻的进行，溶液中的铜含量不断增加，使溶液比重不断升高。一般要求把溶液的比重控制在1.28-1.295之间。比重较低溶液的蚀刻速率不稳定，且蚀刻速率慢；溶液比重过高，蚀刻速率也会降低。所以，必要时加水到溶液中以调节比重。不过用过氧化氢-盐酸的再生系统，蚀刻过程中溶液的比重不会上升过快。因为再生的副产物中有水存在

单片单面挠性印制板工艺（三）

蚀刻过程中常出现的问题：

1) 蚀刻速度变慢

这通常是温度低，喷淋压力低或蚀刻液的化学组份控制不当造成的。在上述条件控制较好的情况下，蚀刻速率缓慢的原因可能是溶铜量过高。此时，就要对蚀刻液进行调整再生。

2) 溶液出现沉淀

这是由于溶液中缺乏络合剂 Cl^- 造成的，或用水稀释造成的。沉淀物是难溶于水的 Cu_2Cl_2 。

3) 抗蚀层损坏：

当过量的酸存在时，就会发生这个现象。尤其是在温度较高的情况下更容易发生。可以用 NaOH 中和或者用水替换部分溶液调整过来。如果酸的浓度和抗蚀层的条件是适合的，那么。出现故障的原因可能是在板面清洗时不当或者是曝光造成的。

4) 在铜表面有黄色残渣

这种残渣一般是氢氧化铜，它不溶于水。当板面被蚀刻或碱性清洗时，就作为残渣留在板上。另外，当蚀刻液中 Cl^- 浓度和酸度太低时，蚀刻后板面会有白色的沉淀出现，这可能是不溶性的氯化亚铜泥状沉淀。为了除去板面沉淀，可用5%的盐酸溶液清洗，然后再用水清洗。

单片单面挠性印制板工艺（三）

* 去膜:

去膜的目的是清除蚀刻后板面留存的抗蚀层使下面的铜箔暴露出来。去膜制成的操作是否能够顺利进行，依赖设备设计和药液配制二大部分。由于去膜制成较为单纯简单，设备的设计也不需同显影机蚀刻机那样复杂。但其“膜渣”过滤以及废液回收则须妥善处理。如果去膜后的水洗能完全清洗干净，则可以考虑不做酸洗。板面清洗后最后要完全干燥，避免水份残留。

去膜制程中所使用的化学药液，一般传统上使用氢氧化钠（NaOH）为主，药液浓度大约是在重量比1-3%左右。溶液的温度约在40-55℃之间。业界采用氢氧化钠做为去膜药液的主要理由：为其对已硬化的干膜具有不错的溶解性能，价格低廉及取得容易。但根据实际使用得知，低浓度氢氧化钠的去膜效果不佳，通常还要在溶液中加入助溶剂（如三乙醇胺等）以改善其对干膜的溶解性能。但加入的助溶剂除了会增加生产成本之外，其本身属于有毒性的有机溶剂，难免会对人体以及环境造成伤害，应尽量避免使用，而且由于去膜后的膜渣粒径较为粗大，还会使得膜渣的过滤效果降低。

为改善这些问题，现有使用氢氧化钾溶液代替氢氧化钠溶液作为去膜药液。氢氧化钾与氢氧化钠的化学性能基本相似，但由于钾离子对干膜的溶解性能极佳，因而提升了对干膜的去膜效果，对已有的生产设备不需要改变，对膜渣的过滤效果得到提升。

单片单面挠性印制板工艺（三）

效果的比较评估：

氢氧化钾的处理效果可以利用一下几个方面加以评估：

1. 氢氧化钾去膜的膜渣之颗粒直径较氢氧化钠的膜渣颗粒直径要小。
2. 使用氢氧化钾溶液的去膜时间比使用氢氧化钠溶液的时间要短。

浓度（%）	氢氧化钠（秒）	氢氧化钾（秒）
1	6 5	6 0
2	5 5	5 0
3	5 0	4 0

单片单面挠性印制板工艺（三）

二种溶液的比较：

使用情况	氢氧化钠	氢氧化钾
药液成本	较低	较高
添加助剂	需要	不需要
去膜时间	较长	较短
膜渣粒径	较大	较小
过滤处理	较难	较易
废弃污泥	较多	较少

结论：

由于氢氧化钾对干膜的溶解性能较佳，使得干膜的去膜效果较为理想，去膜时间较为短暂，且膜渣粒径也较为细小，膜渣的过滤较为容易，残余膜渣的废弃排放也较为方便。虽然氢氧化钾的药剂成本较高，但由于操作中不需添加其他溶剂，去膜效果原本极佳，加上过滤和废弃处理较为简易，所以总体成本并不见得会提高。

单片单面挠性印制板工艺（四）

*层压保护膜和丝印保护膜

单面挠性印制板的保护膜层压较刚性多层印制板的层压来的要简单一些。挠性板的层压主要有以下几个步骤：



叠片的作用是按一定的次序将覆有保护膜的板子叠放以来并置于二层钢板之间，如图所示：

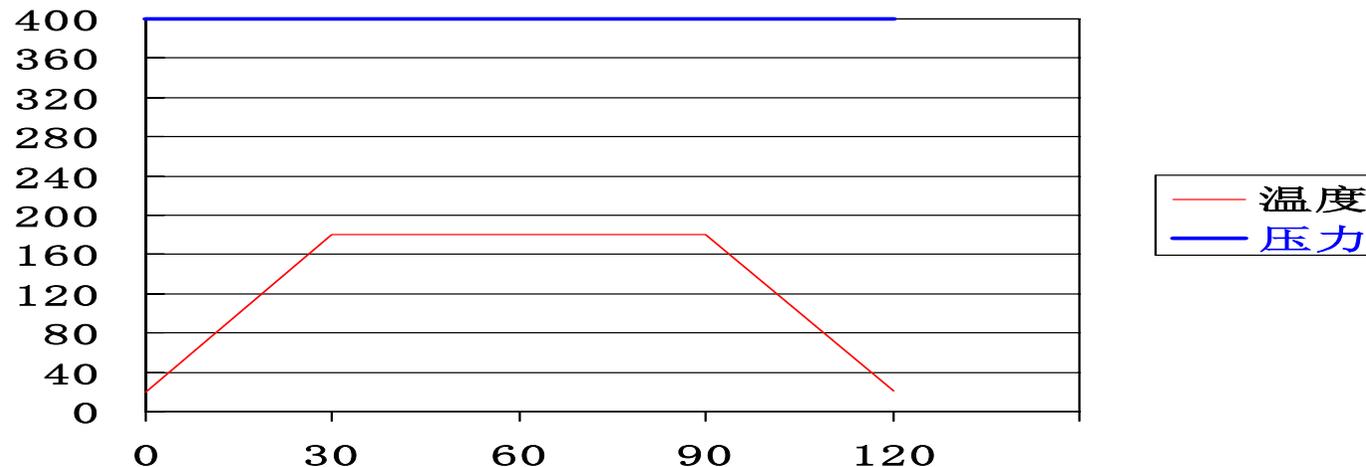


图中所使用的模板，要求使用热变性小，表面平整，厚薄均匀的铝合金板或合金钢板。顶层和底层的模板的厚度一般为8-12mm，中间层的一般为1.5-2.5mm即可。

单片单面挠性印制板工艺（四）

*层压参数的控制：

层压质量取决于以下几个因素：压力、温度、时间和敷形性能。一般常用的层压过程按下面描述的曲线进行。



但在实际操作中由于加热器的升温和热传递的滞后，实际产品上的温度曲线并不是这样的规整。所以要根据各自的设备情况对层压的参数进行调整。

单片单面挠性印制板工艺（四）

在这些参数中，有一些是要特别注意的地方：在挠性板的层压中，一般采用一步加压法，即在层压一开始就加全压这与硬板中的分步加压法有所区别。同时还要注意升温的速率，一般控制在 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。过快的升温速率容易造成气泡和板面不平整的情况出现。达到固化温度时（ 188°C 左右）将进入保温阶段，此时一定要控制好固化的时间（根据覆盖层材料的不同，一般为45-120分钟之间），固化时间不足会情况层压后的覆盖层剥离强度指标和耐焊接及耐电镀性能的下降，但过长的固化时间会导致胶层的老化从而会影响产品的弯曲性能。在降温阶段应采用水冷却，降温速率也应控制在 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ - $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 范围内，当温度低于 45°C 后才能释放压力。

层压系统中，使用的敷形材料主要起到驱赶气泡和使覆盖层能紧密地粘附在铜箔线路上，一般在挠性板的层压中使用的敷形材料有硅橡胶，PE薄膜，由于硅橡胶的变形性较PE膜相比要差很多所以在对小线距（ 0.3mm 以下）的产品层压时不适合使用，建议使用PE薄膜。在使用PE薄膜时要注意所选用的薄膜厚度，因PE薄膜在层压时流动性较大，如PE薄膜的厚度或摆放时上下没有对齐时会造成“滑板”现象的出现。

单片单面挠性印制板工艺（四）

使用的层压机一般分为普通层压机和真空层压机，从加热方式可分为电加热、热油加热和蒸汽加热这几种。一般生产常用的是电加热和热油加热二种方式。

在日常控制中，要注意层压板间平行度和层压板的温度均匀性。应定期地对平行度和温度均匀性进行检查。通用的方法是：

1：对平行度的检测

选用直径为**2mm**的无助焊剂焊锡丝盘成外径为**50mm**的螺旋环，环间间距控制在**5mm**左右，放置在工作区的四角和中心点上，在不加温的情况下，闭合层压机按正常的工作压强加压（工作压强×焊丝直径×焊丝长度）保持**15**分钟后打开层压机取出被压扁的焊锡丝，每个焊丝分别测量**10**个数据并计算出平均值。比较着五个平均值如厚度差超过**0.1mm**就需要对层压板的平行度进行调整。

2：对温度均匀性的检测

在工作区域的四角和中心点上，放置**5**个测温探头。按正常的层压程序执行，每**5**分钟分别记录**5**个测温点的数据。查看记录的数据如在保温阶段各点间的温差超过**5℃**时需对设备进行检查，如温度超过**10℃**时必须对设备进行检修。

单片单面挠性印制板工艺（四）

* 丝印保护油墨

除层压覆盖膜的方式外，还可以采用丝印油墨的方式作为铜箔的保护层。

由于挠性印制板在装配或使用时需要弯折所以使用的油墨（阻焊油墨）要求有柔韧性。各家大的油墨供应商均为挠性板提供专业的油墨。一般按固化方式可分为：热固化和UV（紫外光）固化油墨。按加工方式可分为：非感光型油墨和感光型油墨。就单片的生产方式建议使用热固化型的油墨，根据实际产品的焊盘大小和线路的精细程度选用非感光型油墨或感光型油墨。

非感光型的油墨加工方法，同一般硬板和抗蚀刻油墨的印刷没有大的区别，这里不再花时间探讨。

下面就感光型的阻焊油墨的工艺介绍如下：



1: 整板丝印油墨

A: 油墨的混合：油墨的按各家供应商提供的比率混合在一起，可以是人工搅拌、机械搅拌等方法。有的油墨要加入稀释剂以降低粘度。混合搅拌后要静置**15**分钟以上，目的是达到温度和粘度的稳定，也有利于搅拌中带入空气的逸出。

单片单面挠性印制板工艺（四）

B: 表面清洗处理

去除板面的氧化物，油脂等污物。建议采用化学清洗的方法，避免刷板等机械处理以免造成产品尺寸变形。

C: 涂覆油墨

一般使用丝网丝印的方法涂覆油墨，对聚酰亚胺类的产品可使用125T-200T/inch（49T-77T/cm）的聚酯丝网，通常情况下使用155T-180T/inch的网布，刮刀的硬度在肖氏65-75之间，刮刀角度在10-15°。针对1 OZ Cu的产品使用125T/inch丝网的时候可达到15-25 μm的油墨厚度。油墨厚度减薄可以增加产品的柔软性能。

2: 预烘

为时油墨中的溶剂被蒸发掉，使之在曝光时不粘底片。预烘干非常重要，所以要使用温度分布和抽风好的烘箱。在烘烤前，应在室温下将丝印好的板子静置10分钟左右以去除油墨中的气泡。烘箱中的空气流速要求达到1-1.5m/s，以达到充分去除溶剂的目的，如空气流量低于0.5m/s时，烘干会失效。板子在放置时板与板之间应保持30-40mm的间距，以保证板与板之间的空气能充分流动。烘干的温度为75-85℃间，烘烤时间25-40分钟。

单片单面挠性印制板工艺（四）

在预烘中的注意事项

（1）预烘过度

①预烘过度，会导致显影不净。

②预烘不足，曝光时易粘底片，留下底片的压痕；显影时易受显影液的侵蚀导致产品表面失去光泽甚至油墨层的脱离。

（2）烘箱抽风量的控制。

（3）烘箱实际温度和显示温度间的差异。

（4）烘箱温度分布的均匀度。

（5）预烘后的放置时间过长（大于72小时），会带来显影困难。

3: 曝光

使用额定功率为5-10KW，波长为300-400nm的超高压水银灯或金属卤素灯，曝光能量在400-600mJ/cm²（典型值在500mJ/cm²）。21级（stouffer）的级数控制在7-9级之间。在曝光时照相底片的温度应下于30℃，最佳温度在22-25℃间。避免底片变形。

单片单面挠性印制板工艺（四）

曝光中需注意的事项

- (1) 光源：可为超高压水银灯或金属卤化物灯。
- (2) 曝光过度，易产生散射引起分辨率降低。
- (3) 曝光不足，显影时油墨易受显影液的侵蚀而失去光泽、发白、严重侧蚀、油墨脱落。
- (4) 曝光机能量分布是否均匀。
- (5) 曝光机晒架温度控制。
- (6) 晒架的真空度控制。
- (7) 底片的遮光性和透光性（最大密度： >4.0 最小密度： <0.15 ）

4: 显影

可在1%-1.2%重量比的碳酸钠或碳酸钾溶液中显影，显影的温度在35-38℃之间，喷淋的压力在15-45PSI之间。显影时间在45-80秒间，最佳为60秒。显影后用15-30℃的去离子水冲洗板面。

单片单面挠性印制板工艺（四）

显影中需注意的事项：

- （1）显影液浓度过高或温度过高，阻焊层侧蚀严重，脱落。
- （2）显影液浓度过低或温度过低，会导致显影不净，如果焊盘上有油墨残留，会引起焊接不良。
- （3）显影液喷射压力低，显影速度慢，易造成显影不净；喷嘴压力高，则显影速度快但易造成侧蚀。
- （4）显影后水洗不充分，易引起焊接不良。
- （5）经常检查显影液浓度是否正常和喷嘴是否堵塞。
- （6）实践证明，扇形喷嘴效果优于锥形喷嘴。
- （7）不要与抗蚀干膜的显影液混用同槽溶液。

5：后固化

产品与产品间的间隔在30-40mm，使用热风循环烘箱。

温度：140-150℃，烘烤时间：60分钟。

单片单面挠性印制板工艺（四）

后烘需注意的事项

- （1）热固化程度-热固化不足，交联不够，阻焊膜无法充分发挥其性能；烘烤过度，油墨易变色。
- （2）烘箱抽风量的控制。
- （3）烘箱的温度均匀性。
- （4）烘箱的实际温度与显示温度的差异。

单片单面挠性印制板工艺（五）

* 产品的表面涂覆工艺

常用于挠性印制板上表面处理有：

1. 热风整平（**HASL**）：是一种常用的焊盘上铅锡焊料的方法，但由于此方法加工的焊锡表面不平整及焊料中含有铅故在现在越来越少用了。
2. 有机助焊保护膜：有机助焊保护剂（**OSP**）是在裸露的铜箔表面经涂覆形成一层有机铜络合物的棕色防氧化助焊膜。目前新型的有机助焊保护层可以耐受数次焊接，并保持不错的可焊性。**OSP**重要用于要求焊接面平整要求高的和不能有铅焊接的产品。
3. 可焊性镀层：主要有电镀锡铅合金；电镀镍金；化镍沉金；化学浸锡。其中化镍沉金是目前常用的表面处理方式，它有良好的可焊性，且较**OSP**相比又有较长的保存性。

单片单面挠性印制板工艺（六）

* 外形加工

挠性印制板的外形加工，通常用冲切的方法，所用冲切模具有钢模和刀模二种，这二种模具的差异比较如下：

	刀模	钢模
精度	±0.1mm	±0.01mm
孔加工	Φ3mm	Φ0.5mm
加工槽	容易	困难
弯角半径	R0.5MM(或0)	R0.1以上
寿命	1万次左右	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	方便	要较大场地
设计更新	可以，精度受到限制	可以，需要时间和较大费用
价格	低	高
开模时间	时间短	时间长

单片单面挠性印制板工艺（六）

不仅是外形加工中需要使用模具，在制作孔，粘结层开窗口，保护膜窗口，基材窗口，补强板加工等均要使用到模具。挠性板因其使用的材料柔软的特性，所以使用的模具与刚性板使用的模具有较大区别。

在大批量生产时通常是用无间隙精密钢模冲软板外形，其精度较佳，可一模一腔，也可一模多腔。刀模一般用于样品或小批量生产及双面胶，补强板等对精度要求不高的冲制加工。

* 产品的包装

为确保印制板良好的可焊性及运输性能，必须采用适合的包装。包装材料应能防潮，防止人为的手触摸和不良气体对产品的污染和腐蚀。

包装的形式和所用的材料取决于储存期限和储存环境。包装材料通常有无硫绵纸、聚乙烯密封袋等。客户最关心的是采购合同中，是否说清楚包装的形式和储存期限。包装印制板的材料本身应不是污染源。

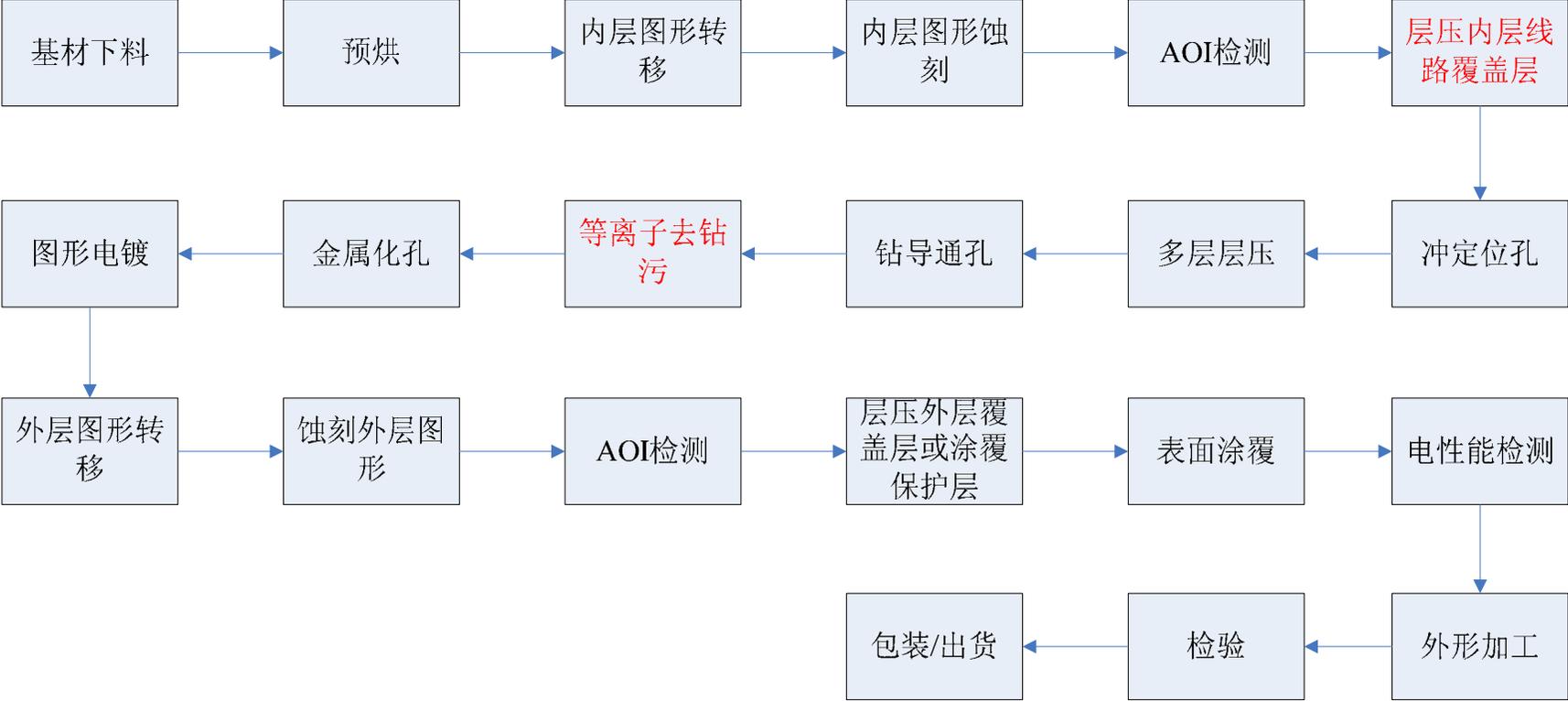
包装前通常要进行以下处理：

1. 印制板必须进行干燥处理，以去除潮气。
2. 干燥的温度和时间应与基材或与表面涂层相适宜。
3. 在进行包装时，应带手套，以减少包装过程中的污染。

单片多层，刚挠印制板制造工艺

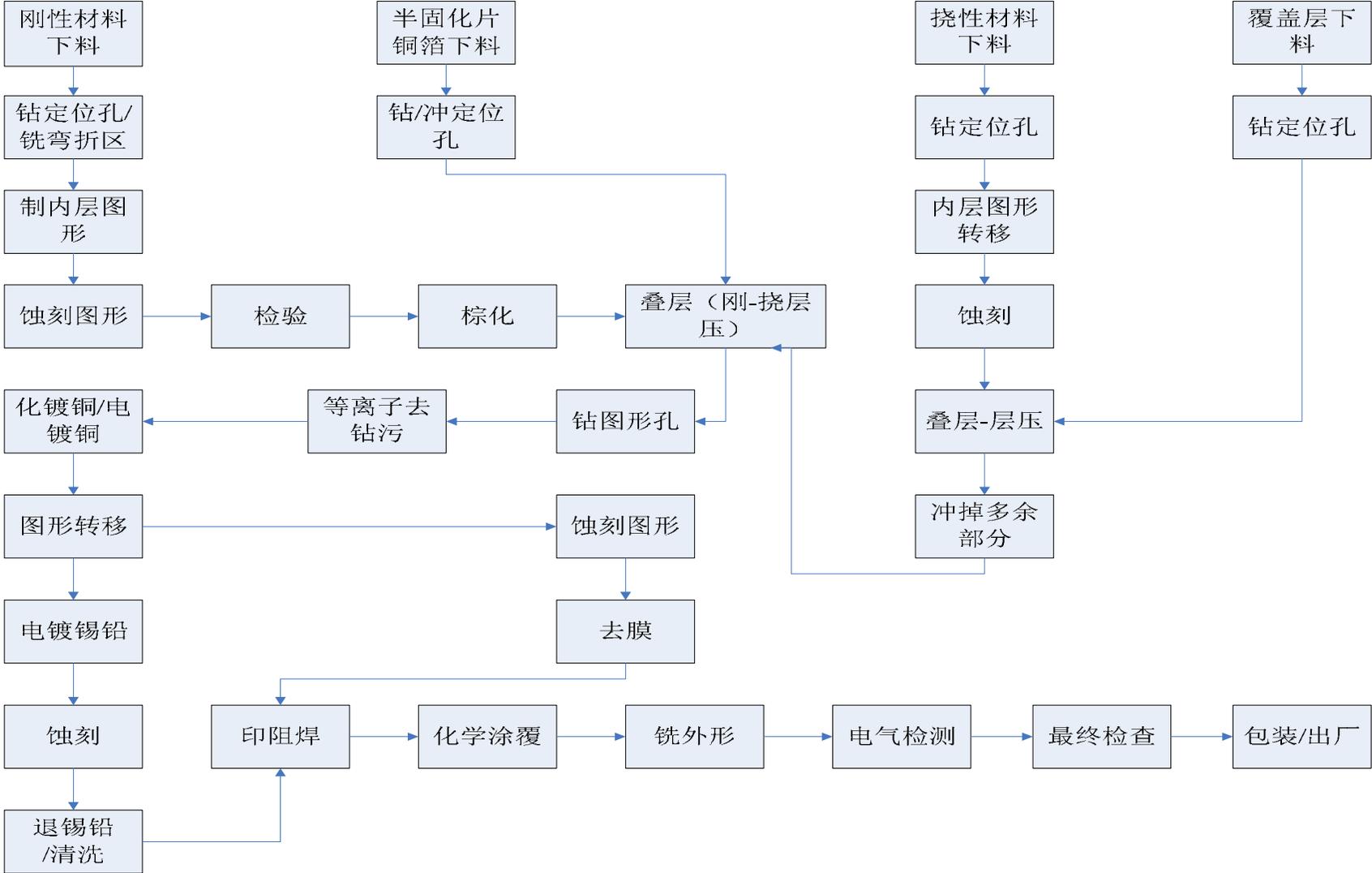
单片多层，刚挠印制板制造工艺

多层挠性印制板的制作流程



单片多层，刚挠印制板制造工艺

刚挠印制板的工艺流程



单片多层，刚挠印制板制造工艺

重点讨论的内容：

1. 产品在实际使用中的意义
2. 对使用材料的要求
3. 层压的特殊性
4. 对孔化孔的清洗要求
5. 产品的外形加工