

第五章

层压工艺



层压成型是采用增强材料，如：玻璃纤维布、碳纤维布、棉布、纸等浸胶机浸渍树脂（热塑性树脂、热固性树脂）经烘干制成预浸料（prepreg）——成型材料，然后预浸料经裁切、叠合在一起，在压力机中施加一定压力、温度，保持适宜的时间层压而制成层压制品的成型工艺。采用这种工艺可生产各种层压板、绝缘板、波形板、覆铜箔层压板等。整个生产流程可简单表示如图5-1



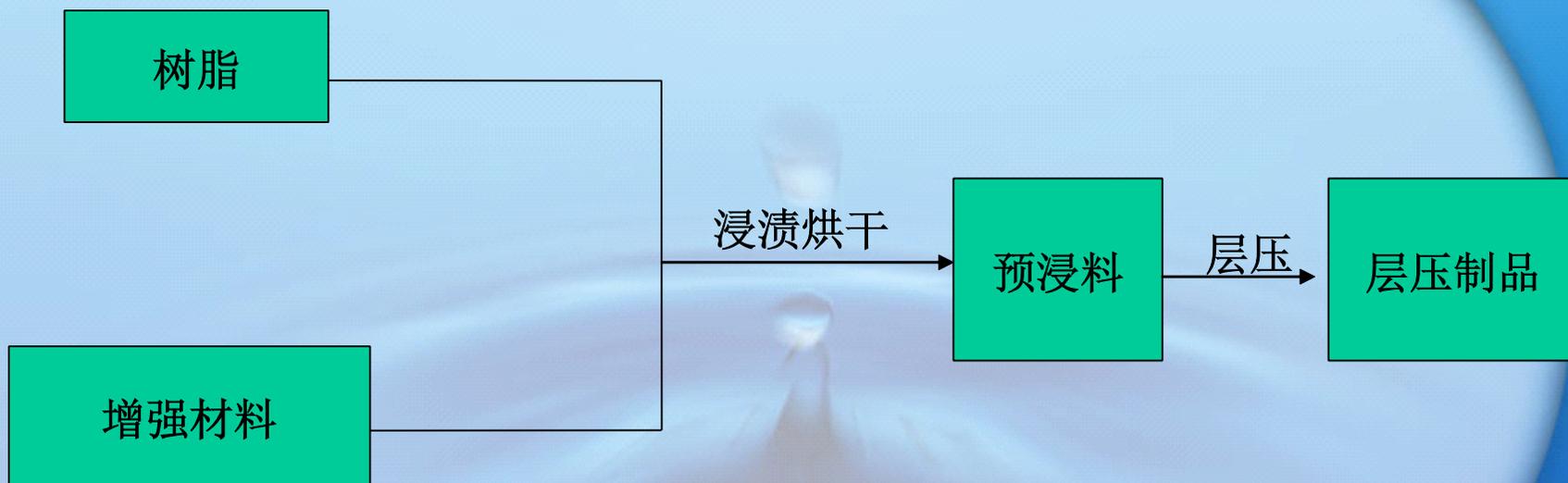


图5-1 层压成型工艺流程图

第一节 预浸料的制备

制备预浸料所用原材料主要有基体树脂和增强材料。但树脂和增强材料千差万别，也导致了层压产品性能的差异。所以原材料的合理选择对最终产品尤为重要。

一. 原材料

1. 树脂 适合作预浸料的树脂主要有：聚酯、环氧、酚醛、聚酰亚胺、有机硅树脂、聚四氟乙烯乳液、聚酰胺树脂等。
2. 增强材料 适合于制造预浸料的增强材料有：玻璃布、高硅氧石英纤维织物、石棉、碳纤维织物、芳纶布、粉云母纸、棉布、纸等。



3. 辅助材料 指固化剂和促进剂、染色剂等。主要根据树脂及其性能和制品的要求选择辅助材料。
4. 溶剂 溶剂的选择主要根据树脂的种类，原则上有4点：
 - (1) 能使树脂充分溶解；
 - (2) 毒性小；
 - (3) 价格低廉；
 - (4) 适当的沸程。在实际生产中常采用混合溶剂，如：环氧树脂主要用丙酮、乙醇和甲苯。



二. 浸胶

用粘度被严格控制的树脂（部分树脂反应进入“B”阶段）、浸渍连续纤维织物，熟化，达到半熔阶段加热，烘干成为预浸料——供模压或冲压成型的中间成品（也叫：半成品）。加工预浸料的工艺叫浸胶。以布为增强材料的预浸料称为胶布。胶布的质量是影响层压制品的一个重要因素。



1. 预浸织物

选择好的浸胶机后影响浸胶的主要因素有胶液的浓度（或粘度）、浸渍方法。

- (1) 胶液的浓度，是指树脂质量在浸渍溶液总质量中所占的百分率，它直接影响树脂溶液对织物的渗透能力和织物表面粘结的树脂量。
- (2) 胶液的粘度，它直接影响到织物的浸渍能力和胶层的厚度。

浸胶机主要有立式和卧式两种，分别见图5-2和图5-3。



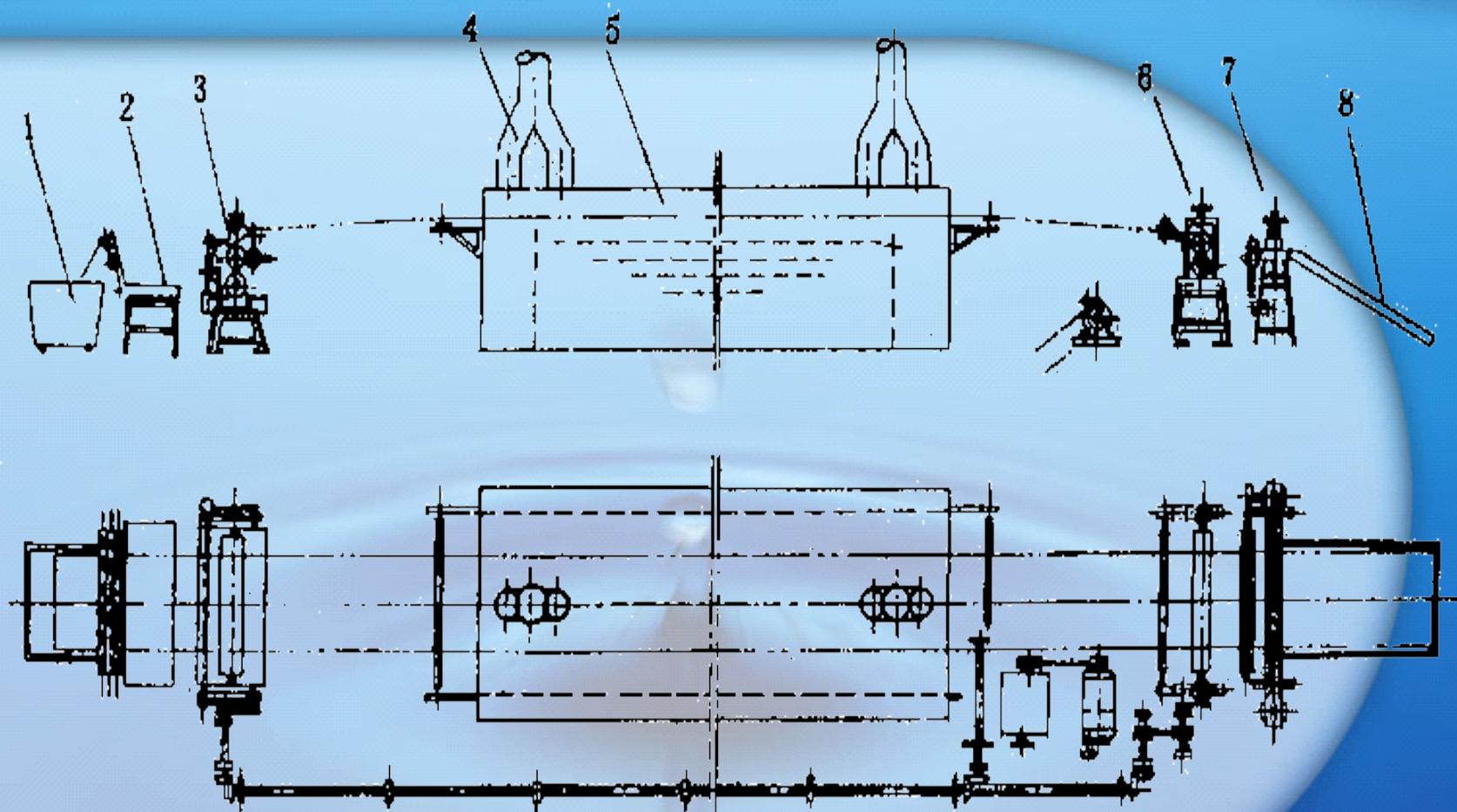


图5-2 卧式浸胶机

1玻璃布存放装置；2干燥装置；3浸胶装置；4除尘装置；5烘干箱体；

6牵引装置；7切割装置；8收料



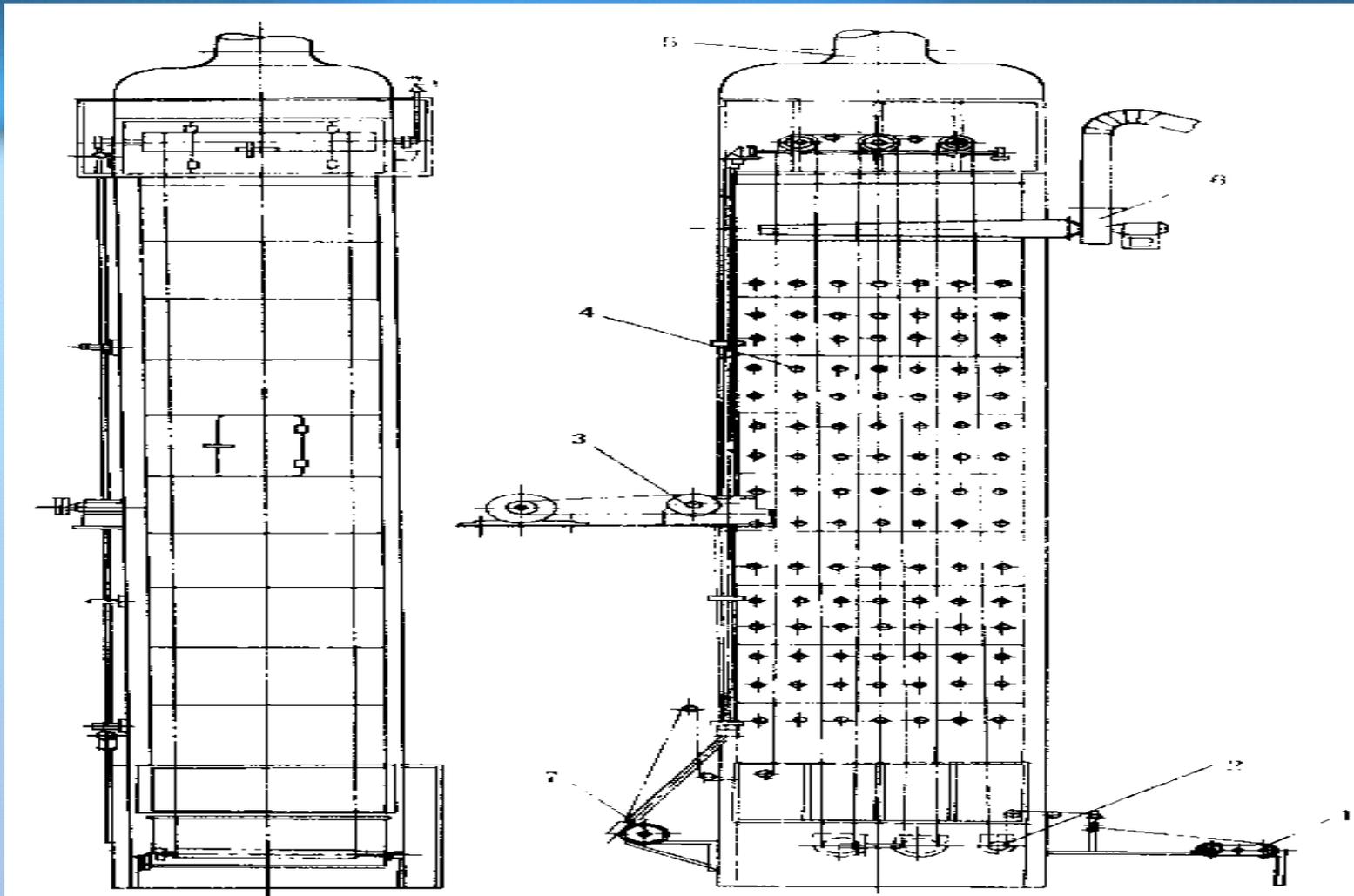


图5-3 立式浸胶机

1送布装置；2浸胶装置；3牵引装置；4烘干装置；5除尘装置；6热风循环装置；7收卷装置



- (3) 浸胶时间，是指纤维织物通过胶液的时间。实践证明，一般浸胶时间为15—30s，时间过长则影响生产效率，过短则导致胶布含胶量不高。
- (4) 张力。在浸胶过程中，纤维织物所受张力和均匀性会影响胶布的含胶量和均匀性。
- (5) 浸渍方法。浸胶工序中胶液必须浸透玻璃布。低捻布或薄玻璃布可采取一次浸胶法，而厚玻璃布应采取两次浸渍法。



2. 干燥

(1) 干燥设备 根据烘箱的形式，浸胶机分为立式和卧式2中。表5-1列出了这2种浸胶机的特点。

表5-1 立式和卧式浸胶机特点

类型	适用的纤维织物的种类与特点
立式浸胶机	适用于拉伸强度较高的增强材料，如玻纤布。占地面积小，但要求厂房较高。热能利用率高。
卧式浸胶机	适用于强度较低质量较小的增强材料，如纸。长度较长，占地面积大。热能利用率低。



(2) 干燥工艺 在胶液一定的情况下，主要影响烘干的因素有：烘干温度和胶布在烘箱里的运行速度。

①烘胶温度的控制 表5-2是预浸料的干燥温度与不溶性树脂的干系。

表5-2 烘干温度对胶布挥发份和不溶性树脂含量的影响

温度/°C	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
挥发份/%	5.11	4.23	3.85	3.47	3.41	1.70	1.32	1.25	1.04	0.86
不溶性树脂含量/%	—	—	—	0.54	1.16	26.0	55.6	59.3	76.7	90.4



②浸胶速度 纤维织物浸胶的速度取决于胶布里树脂的可溶性成分的含量与其流动性。在烘箱温度固定的条件下，烘干时间 $t = \text{烘箱长度} / \text{胶布运行速度}$ 。不同种类的树脂可适当调整浸胶温度和浸胶速度。



3. 胶布质量的指标及其相互关系

- (1) 胶含量 通常是用树脂含量的质量百分率来表示。不同规格的纤维织物，含胶量也各不相同。层压板的质量指标中除机械强度中拉伸强度和弯曲强度等取决于增强材料外，其他性能如吸湿性、电气性能等主要取决于树脂种类及含量。
- (2) 挥发分含量 挥发分含量通常是胶布里的挥发性物质在胶布中所占的百分率。基层增强材料浸胶后所含的挥发分要求适中。



- (3) 可溶性树脂含量 可溶性树脂含量表示可溶性树脂在树脂总质量中所占的百分率。可溶性树脂的含量适中，不能过高或过低。
- (4) 流动性 物料的流动性也与可溶性树脂含量一样，要求适中。如果流动性好，胶布里的树脂显得“嫩”，说明可溶性树脂含量多；反之，胶布里树脂较“老”。



4. 浸胶中易产生的问题及解决方法

影响胶布的质量因素很多，一旦出现异常情况，找出原因，确保生产的正常进行。具体见下表：

表5-3 生产中出现的问题分析及对策

问题	原因	对策
胶布的含胶量不均	1.胶液不均匀 2.浸胶时张力不均	1.搅匀胶液 2.调节张力
胶布的流动性、挥发分含量突然增多	1、烘箱温度没调节好，风量不均； 2.浸胶速度过快	1，待烘箱温度达到要求后再开动机器； 2.适当调节浸胶速度
胶布上有黑斑或黑点污迹	烘箱出口处墙壁和排风管口有集聚的低分子物	用棉布将墙壁和排风管擦干净
挤压辊间发生多层布反卷	胶布运行速度与收卷速度不同	立即停止电机运转，检修挤压辊



5. 胶布的贮存条件

层压工艺一般都是大批量的生产，而大批量生产必须需要大量的胶布，这就涉及到胶布的贮存问题。随着胶布存放时间的延长，胶布的各项质量指标都会有不同程度的变化，由于环境温度和湿度的升高常使胶布发生流胶、发粘，甚至导致胶布无法使用，所以在胶布存放时，必须注意它的存放条件。



表5-4 干燥室温度与湿度相对关系

温度 ℃	相对湿度	
	储存高级电气用胶布	储存一般电气用胶布
20~25	55~75	60~80
25	55	60
25~30	42~55	45~60
30~36	30~40	32~35



第二节 层压工艺

层压工艺是层压成型中的重要工序。层压工艺是将浸渍胶布，按压制厚度要求配选板坯，置于两个抛光的金属模板中，放在热压机上，对两层模板之间加热、加压，经热压固化，然后冷却脱模。包括胶布裁剪、叠合装模、热压、冷却脱模和后处理。



一. 胶布裁剪

此过程是将胶布剪成一定尺寸。为了尽可能避免胶布挥发分的增加，胶布应贮存在干燥室内。干燥室里的相对湿度与室温的关系见下表。

表5-5 干燥室里的相对湿度与室温的关系

干燥室温度/°C	相对湿度/%	
	优级电气用胶布	一般电气用胶布
20—25	55—75	60—80
25	55	60
25—30	42—55	45—60
30—36	30—40	32—45



二. 胶布配送

胶布配送工序对层压板的质量好坏至关重要，如配送不当，会发生层压板裂开、表面花麻等弊病。

1. 在配送板材的面层，每面应放2—3张表面胶布。其含胶量和流动性应比里布略高。
2. 挥发物含量不易太大。如果挥发物含量太大，应干燥处理后再用；否则会影响制品的电性能、耐热性、易产生边角气泡及花麻。



三. 热压工艺

将装料车的组合，推入多层压机的热板中间，热板缓缓上升，闭合后加压通入蒸汽压制。

压制工艺中的关键是确定工艺参数，其中最重要的是温度、时间和压力。

压力制度首先取决于物料的品种和性质，其次考虑制品的厚度、板面积和设备条件。



1. 温度

一般压制工艺的升温过程可分为5个阶段，如图5-5所示。

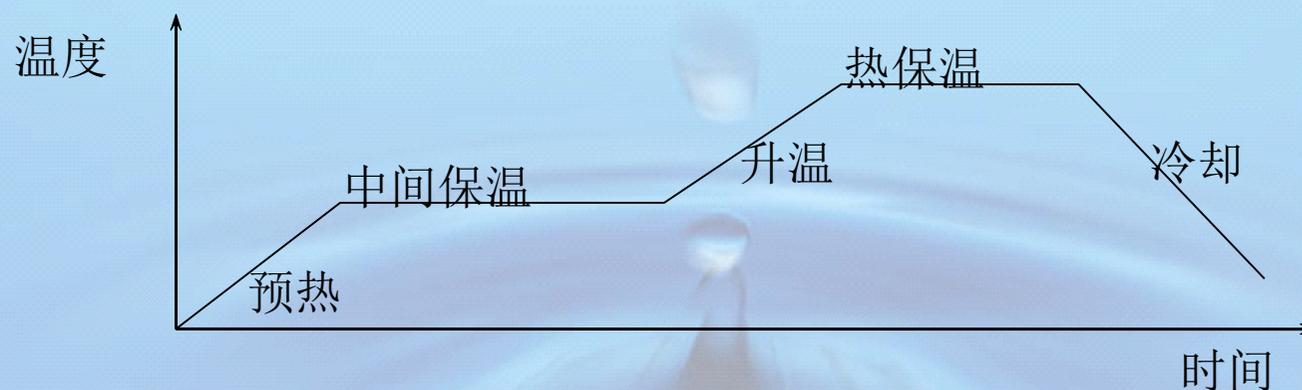


图5-4 热压工艺五个阶段的升温曲线示意图

第一阶段是预热阶段；第二阶段是中间保温阶段；第三阶段是升温阶段；第四阶段是保温阶段；第五阶段是冷却阶段。



2. 压力

压力的控制，主要包括：压力大小、加压次数、加压时机。其作用主要有：

①来克服挥发分产生的蒸汽压力。热压过程中，产生一定量的挥发物，成型压力就是用来约束这些挥发物，否则，挥发物很容易在玻璃钢中形成大量的气泡和微孔，这样大大影响板材的性能。一般来讲，产生的挥发物越多，热压温度越高，需要成型压力就越大。②使树脂具有一定的流动性，进一步浸渍纤维，使层间粘接紧密，提高层间粘接强度。③冷压过程，也就是最后保压冷却过程，防止玻璃钢形变。



3. 压制时间

分为：预压、热压、冷却三块。

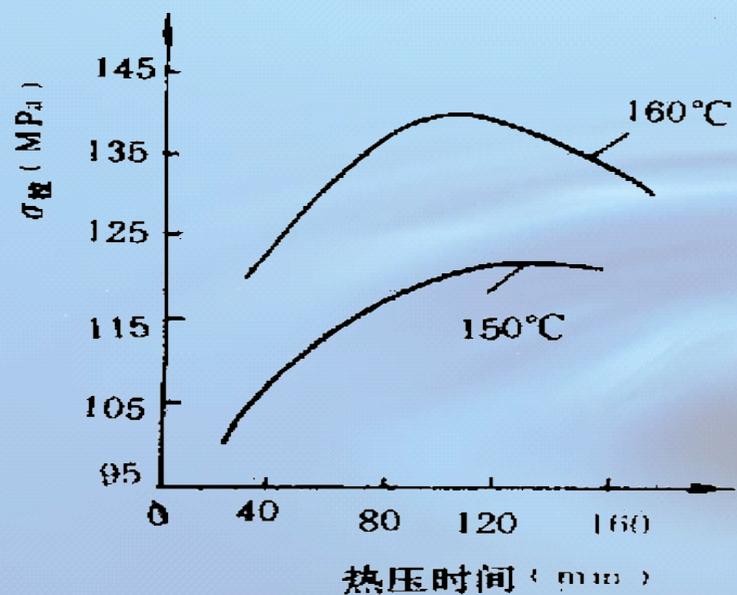


图5-5热压时间对拉伸强度的影响

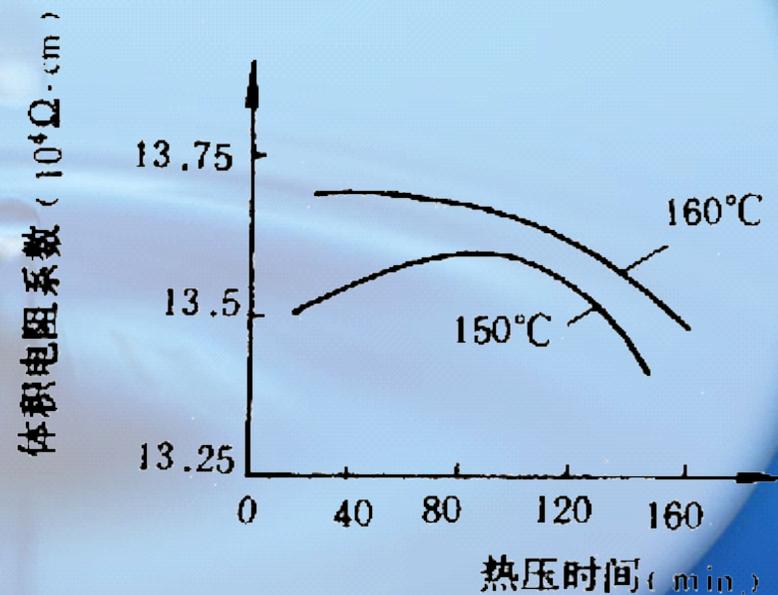


图5-6热压时间对体积电阻系数的影响



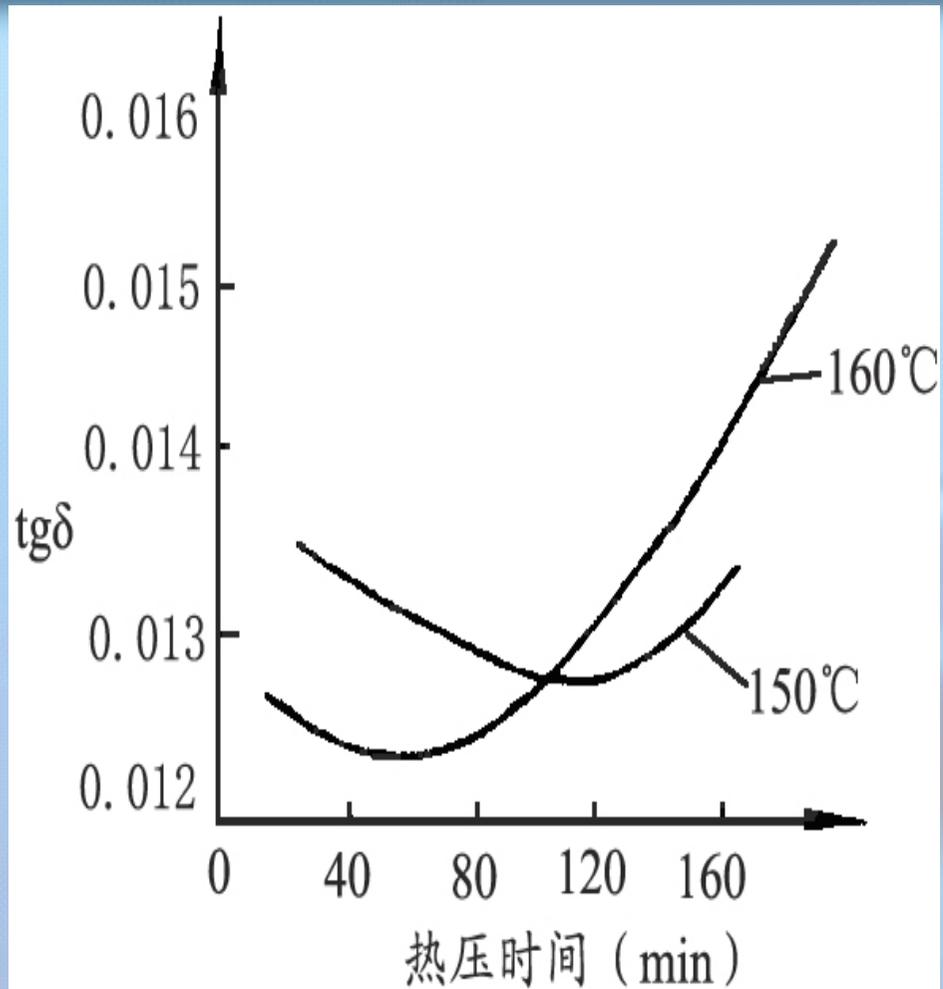


图5-7热压时间对tgδ的影响

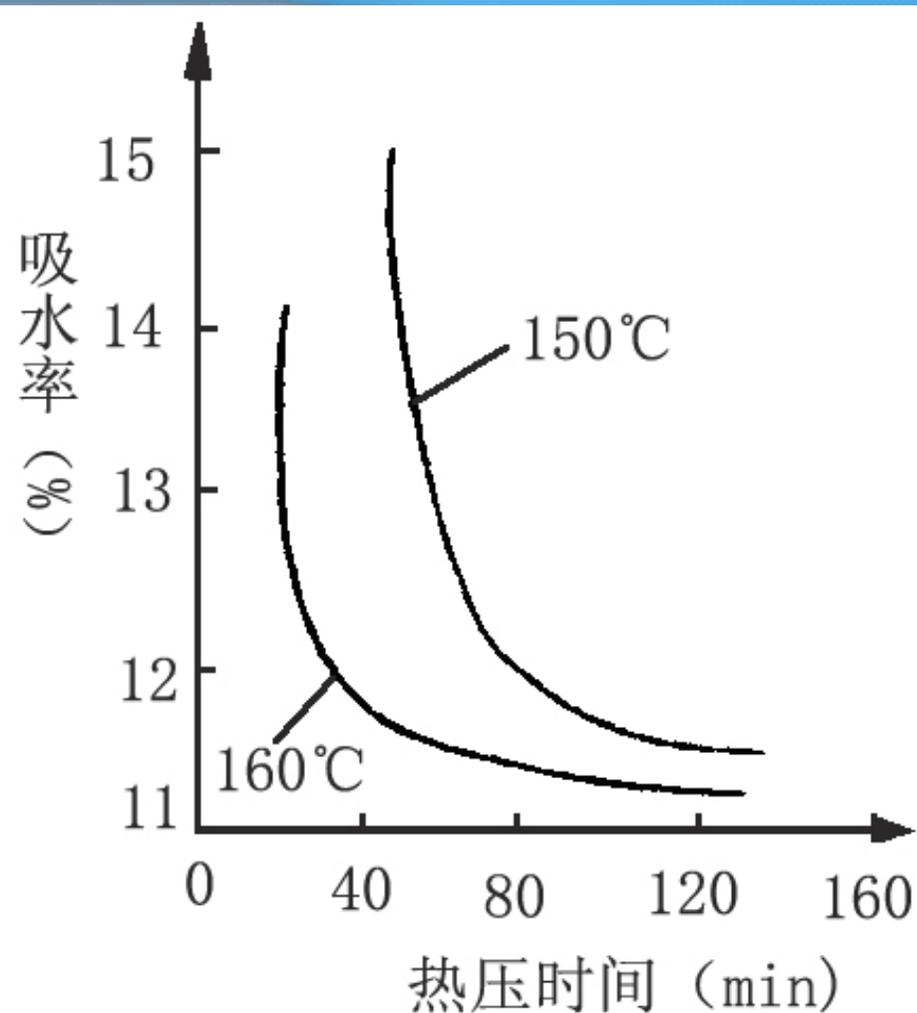


图5-8 热压时间对吸水性的影响



四. 后处理

后处理的目的是使树脂进一步固化直到完全固化，同时部分消除制品的内应力，提高制品的性能。环氧板、环氧酚醛板的后处理是在120—130°温度的环境中持续120—150min，这样可以提高制品的机械性能和电气性能。



第三节 层压成型实例——覆铜箔层压板成型技术

覆铜箔层压板，是由绝缘基材、粘合剂、铜箔经一系列成型工艺制作而成，是现代电子工业发展的重要的基础材料。覆铜板经照相制板、化学刻蚀和电镀等工序，可制成印制电路板。印制电路简化了错字发杂的布线，使电路紧凑地排列在绝缘板上，它广泛应用于宇航、电脑、电讯、电子及机电产品中。



覆铜箔按所用的基材可分为许多品种，按所覆铜箔又可分为单面和双面。双面覆铜箔可两面布线，并可与半固化片粘结复合制成许多层线路板。不同品种的覆铜板各具特性和用途。

一. 覆铜板使用的主要原材料

1. 铜箔 用于覆铜板的铜箔，其技术要求符合GB/T5230《电解铜箔》，铜箔的单位面积质量及允许偏差见表



表5-6 铜箔的单位面积质量及允许偏差见

单位面积质量/ (g/m^2)	名义厚度/ 10^{-9}m	单位面积质量/ (g/m^2)	名义厚度/ 10^{-9}m
44.6	5.0	610.0	69
80.3	9.0	916.0	103.0
107.0	12.0	1221.0	137.0
153.0	18.0	1526.0	172.0
230.1	25.0	1831.0	206.0
305.0	35.0		

铜箔表面一面是光面。另一面是粗糙面，铜箔表面须经化学或电化学处理，以提高铜箔与基材的粘结力。



2. 增强材料

- (1) 浸渍纸。要求具有良好的吸收性，一定的机械强度和绝缘性能。
- (2) 玻璃纤维布。生产玻纤布基覆铜板使用无碱玻璃纤维布，碱金属氧化物含量不大于0.5%，织物组织为平纹。
- (3) 粘结剂。不同型号的覆铜板使用不同种类和牌号的粘结剂。如酚醛覆铜板的粘结剂一般使用改性酚醛树脂，环氧覆铜板使用的是环氧树脂等等。



用于覆铜板生产的环氧树脂常用固化剂和促进剂有双氰胺（DICY）、4,4'-二氨基二苯砜（DADS）、苕基二苯胺（BDMA）等等，溶剂有二甲基甲酰胺、二甲基乙酰胺、乙二醇甲醚、丙酮等等。



二. 成型方法

覆铜板成型方法同一般层压板材制品方法相同，一般情况下：配胶、浸胶、裁边，再经叠合层压、切边而成。浸渍设备有卧式、立式浸胶机，一般纸基板胶纸采用卧式浸胶机，布基板胶布采用立式浸胶机。层压机根据版面的大小，常压或真空压制而取决于液压机的吨位。根据不同的覆铜板型号采用不同的树脂配方及成型工艺参数。



1. 粘结剂配制

(1) 双氰胺溶液配。制典型的双氰胺溶液组分见表5-7。

表5-7 双氰胺溶液组分

组分	双氰胺	PGME	DMF
配方一	3.25	15	15
配方二	3.25		15



(2) 粘结剂配方。见表5-8

表5-8 粘结剂配方

组分	配比	组分	配比
溴化环氧树脂	100	苜基二甲苯	0.1—0.3
双氰胺溶液	2—4 (以 100% 双氰胺含量计)	丙酮	适量

(3) 粘结剂凝胶速度和胶液浓度的控制

凝胶时间一般为180—200s/170℃。凝胶速度慢，即树脂“嫩”；凝胶速度快，即树脂“老”。凝胶速度直接影响浸胶的流动性、压制工艺及产品性能。一般地说凝胶速度快，可缩短压制时间。凝胶浓度用密度或粘度控制，一般用丙酮调节。胶液太浓不利于胶液渗透玻璃布。胶液的相对密度一般为1.05—1.1。



2. 浸胶

玻璃布在立式浸胶机上进行浸胶，采用两次浸胶法，第一次采用反挤辊或胶液喷涂法，使胶液从玻璃布的一面向另一面渗透，以利于玻璃布间隙内气体的排除与胶液渗透均匀。第二次为浸渍，再通过一对挤辊控制间隙而调节胶量大小和均匀性。浸胶机烘箱的温度应分段控制，一般采用四温区控制，即上行、下行各两个温区。胶布从烘箱出来后收卷或裁片。



3. 叠合

叠合必须在净化室中完成。根据覆铜板的厚度，确定每张板所需胶布的张数。叠合前将所有有瑕疵的胶布挑出来，然后将每块板所需的胶布层数选配为一叠并错位成叠。再按铜箔-胶布-铜箔（双面覆铜板）；铜箔-胶布-薄膜（单面覆铜板）叠合在一起，作为叠本，以利于在铺模整理时铺模。



4. 铺模

在净化室中使用铺模整理机完成。铺模中注意每模所压的块数和总厚度。以1.6mm厚覆铜箔为例，每模以8块为宜，块数多对排除气泡和平整度均不利。铺模时在垫板上和盖板下应加放20层左右绝缘层，作为压制缓冲层，以保证压制时物料内的气泡排除。



5. 压制

层压板一般含有18层或20层。先将已铺模好的一单元一单元地堆放在装卸机里的各层上，然后开动机器将所有的一次推进层压机里，15—25min，这时，胶布里的树脂凝胶。如采用真空压制，在压制时可把真空度升至91.2—96.3/kPa，预压和最高压力均可减少1/3。这样有利于边缘里气泡排除，并提高覆铜板的平整度。



6. 裁剪

按规定的尺寸裁剪，采用剪板机或自动剪板机裁边。裁边时为避免损伤覆铜板铜箔面，剪板机面上垫放软质材料后才裁边，裁剪时应保持版面的垂直度。

7. 成品检验

按国家标准GB4725—92技术要求、订货合同要求的标准和技术指标进行检验。



第四节 层压设备

一. 层压生产线的组成

目前，国内外覆铜板层压工艺，工艺控制等基本相同，所不同的是自动化程度：手工操作，半自动化，或全自动化。主要设备基本相同，只是单机的质量水平和生产能力存在差异。层压生产线的组成如下：

1. 制胶系统

主要设备有：反应锅、冷凝器和真空泵及辅助设备和装置（如称量、输送、控制）等。



2. 半固化片（胶布、纸）制作

主要设备有立式浸胶机或卧式浸胶机。

3. 层压成型

主要设备为热压机组。辅助设备有装卸机、模板回转线、模板清洗机（又名叠铺机）等设备。

4. 切边包装

一般采用剪板机或组合剪板机和锯铣机。一般采用手工或包装机进行包装。



5. 检验系统

- (1) 中间检测：主要设备和仪器有凝胶速度测试仪、天平、电阻炉、流动度测试机等。
- (2) 常规检测：剥离强度测试仪、厚度测量仪、浸焊测试仪。
- (3) 例行检测：电性能测试仪、玻璃化温度测试仪。



二. 主要设备的基本性能

层压生产线分为3大部分：制胶系统；半固化片（胶布）的制作设备、覆铜板成型设备。下面主要介绍后面两部分，也即：立式（或卧式）浸胶机和热压机组。

制作复合材料板，尤其是印制电路用覆铜板，对生产设备的性能和参数要求很高。也即是说良好的工艺和配方，没有良好的生产设备生产不出优良的覆铜板。



1. 立式（卧式）浸胶机

机组的组成一般包括：开卷机、接头机、储布机、前牵引机、浸渍机、干燥机箱、转向机（立式才有）、纠编机、后牵引机、修边机、收卷机或切边机、叠层机、粘度调节系统、张力控制系统、电控系统等，有的配有废气焚烧炉。



2. 热压机组及辅助设备

目前国内外使用的热压机主要有两种：开式压制热压机和封闭真空热压机（即真空热压机）。从生产组合上分为单机热压、冷却和两台热压-冷却机。

热压机为覆铜板层压成型设备，其性能和控制水平直接影响产品的质量，同时与成型工艺有直接关系。热压机主要控制加热板的温度场和压力。



其中，真空热压机在复合材料成型中的使用越来越广泛。为确保产品的表面质量，层压成型工艺必须有一些辅助设备，例如：模板清洗机、辅模清洗机（又名叠铺机）、模板分检、回转机组等等。



层压工艺中常出现的问题及解决措施

表5-8 层压板生产常见缺陷、产生原因及解决措施

常见缺陷	产生原因	解决措施
颜色不均 板芯发黑 四周发白	颜色不均多发生在薄板中，原因是胶布中树脂流动性差：压力过小或受压不均。板芯发黑，四周发白其原因是：胶布可溶性树脂含量和挥发分含量过大。	选择流动性好的胶布；调整成型压力适当增加衬纸用量。 降低胶布中可溶性树脂含量和挥发分含量，防止胶布受潮。
板面开裂	此种情况常出现于薄板和纸基层压板中，其原因：表层胶布含胶量过大，流动度过高；坯布本身强度低，施加压力过高造成。另外叠合体配叠不当，加压不及时也会产生表面开裂。	控制胶布的含胶量及流动度，适当调节成型压力和加压时机，合理组成叠合体。
厚度偏差	钢板边缘不平；热板安装不水平，有倾斜角。	检查钢板平整度，修整后使用；调整热板达水平位置。



常见缺陷	产生原因	解决措施
板材滑移	胶布中不溶性树脂含量低，且含胶量分布不均匀；升温过快，且初压力过早，过大；压机本身受力不均。	严格控制胶布的含胶量；同一压机的胶布含胶量，要基本相同，出现“滑移”时，即时关闭热源，调整压力，待稳定后加热，加压。
板材翘曲	在热压过程中热板各部位温度不均匀；胶布的质量不均匀，主要是含胶量不均匀造成的。	热板升温缓慢使其各部温度均匀；严格控制胶布中含胶量的分布，使其均匀。
厚板的树脂集积和开裂	压制厚度大的酚醛玻璃钢板时，因热压过程中，树脂固化反应不一致；加压时机不当，造成层间粘结不良和开裂。	严格控制胶布的不溶性树脂含量，适当延长预热和热压时间，降低预热和热压温度。



本章结束

