

加工指南

LEXAN* 板材

9030, EXELL D, MARGARD, SG305, ULG1003 and GEPAX

成型，加工，磨光与装饰

目录

本手册是 LEXAN 聚碳酸酯板的加工指南。在随后的章节内，我们会讨论一些基本的成型，加工，磨光和装饰技术。如果需要更详细的信息或咨询建议，请联系沙伯创新塑料集团。

1	成型	3
1.1	预烘干	4
1.2	热成型技术	5
1.3	加热和冷却	7
1.4	覆盖成型	8
1.5	压力成型	9
1.6	双板成型	10
1.7	产品设计	12
1.8	模压和模具设计	15
1.9	圆顶和金字塔	16
1.10	热折成型	17
1.10	冷弯成型	18
2	加工技术	21
2.1	裁割	22
2.2	钻孔	24
2.3	铣削	26
2.4	紧固装置	27
2.5	螺丝和螺栓	28
2.6	铆接系统	30
2.7	其他加工技术	31
3	磨光，装饰和清洁	32
3.1	耐化学性	33
3.2	涂装	35
3.3	丝网印刷	36
3.4	抗静电处理	37
3.5	密封胶和粘着剂	38
3.6	清洁注意事项	41

1. 成型

从高速列车到街边装饰，从雪地车辆到高速路牌，LEXAN 系列板材产品可以满足客户的不同需求而量身定做。在众多的设计和制造工艺中，热成型法是最经济的方式之一。

作为一种业已成熟的加工工艺，对 LEXAN 聚碳酸酯板材进行热成型加工可以为设计师提供广泛的设计自由度。由于热加工模具成本低，产品产量大，整体加工周期短，从而使得设计者以良好的性价比制造出大量具有复杂形状的产品，而这往往是其他传统加工方法所不具备的。

表 1. 成型性能

材料	真空 成型	覆盖 成型	双板 成型	压力 成型	热/冷折 成型	冷弯 成型	平板 层压	弯板 层压
Lexan 9030	√	√	√	√	√	√	√	√
Lexan ULG 1003	√	√	√	√	√	√	√	√
Margard MR5E					√			
Margard MRA3					√			
Margard HLG5					√		√	
Margard HLGA3					√		√	
Margard MR5 IR					√			
Margard FMR		√			√	√		
Margard FLG5 XT		√			√		√	√
Exell D	√	√	√	√	√	√		
Exell D SC IR	√	√	√	√	√	√		
Exell D ST	√	√	√	√	√	√		
Sign grades	√	√	√	√	√	√		
CTG		√						
FR grades	√	√	√	√	√	√		
Gepax	√	√	√	√	√	√		
Ultem	√		√	√	√	√		

*透明板材一旦接触模具表面会引起表面雾度增大和光学畸变

**折弯过程中在弯折区域的耐磨涂层或者耐 UV 涂层表面可能会受到损害

1.1 预烘干

大部分热塑性树脂，包括板材产品，是吸湿性的，这意味着湿气在高分子板材生产，运输和储存过程中逐渐积累。在刚挤出状态没有问题的塑料板材，随着潮气的积累，过量的潮气会在成型过程中造成起泡和其他表面问题，严重的甚至影响产品的宏观性能。同其他热塑性材料相比，聚碳酸酯的吸湿问题并不是特别严重，但在成型加工前依然需要对其进行适度的干燥处理。我们推荐在热空气循环炉里对板材进行干燥，干燥的大致温度为 $125\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。为避免板材翘曲变形，干燥温度不应该超过 $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。炉子内的空气循环速度应满足每小时更换 6 次，以保证完全去处残留的水蒸气。

干燥前应该去除保护膜，板材应当垂直悬挂在干燥炉内并依据表 1.1 的推荐进行烘干。板材也可以放置在烘干架上，相邻的两块板应保持 1.0 到 2.5cm 距离。在干燥完毕后板材应该在几小时内加工完毕。具体的存放时间依赖于板材的厚度和当时的环境条件。

表 1.1 推荐烘干时间

板材厚度 (mm)	烘干时间 (小时)
0.375	0.15
0.50	0.25
0.75	0.5
1.00	1
1.50	1.5
2.00	3
3.00	4
4.00	10
5.00	16
6.00	24
8.00	36
9.50	40
12.00	48

1.2 热成型技术

LEXAN 聚碳酸酯板的易热成型性使得其在很多领域都得以应用。热成型加工涉及到对板材的加热，成型和冷却。在实际应用中，热成型的方法是多种多样的，有些方法如覆盖成型法，仅仅需要板材受热变形后覆盖到简单的阳模或阴模上；而其他的方法，例如真空或压力成型，则需要对板材加热后再通过施加压力或抽取真空来让板材靠模。尽管存在着细微的差别（如图 1.1-1.4 所示），真空热成型加工的基本步骤是很相似的。首先需要把板材四边固定在紧固框架内，然后将热源移到板材表面，对其加热直至板材可塑化。随后移开热源升起模具，通过真空装置将板材和模具间的空气抽出，板材在此过程中被拉向模具，靠模成型。

压力成型则是通过对模具阳面施压从而在板材表面复制出精细的图案。板材在冷却后，模具向下方移开，随后将产品从机器中取出。固定用的边缘部分可以通过机加工从产品上除去，部分产品可能需要附加的抛光处理。

由于技术简单生产成本较低，热成型加工应用相当广泛。但应指出的是，由于表面有保护性硬涂层存在，LEXAN Margard 板材不适于热成型。

热成型加工的主要优点：

- 生产量涵盖范围广（小批量到大量）
- 加工周期短
- 产品尺寸涵盖范围广（小到中等尺寸均可）
- 灵活

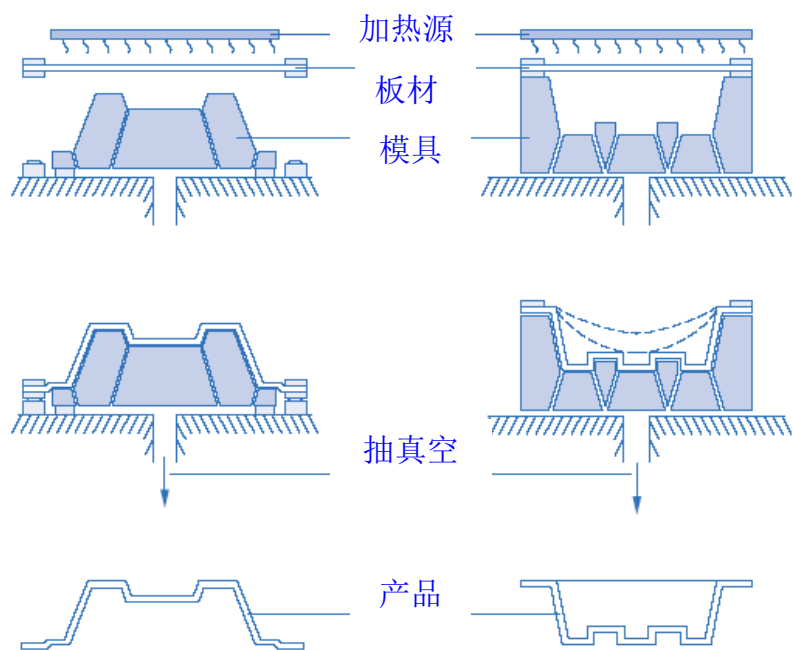


表 1.1 阳模成型

表 1.2 阴模成型

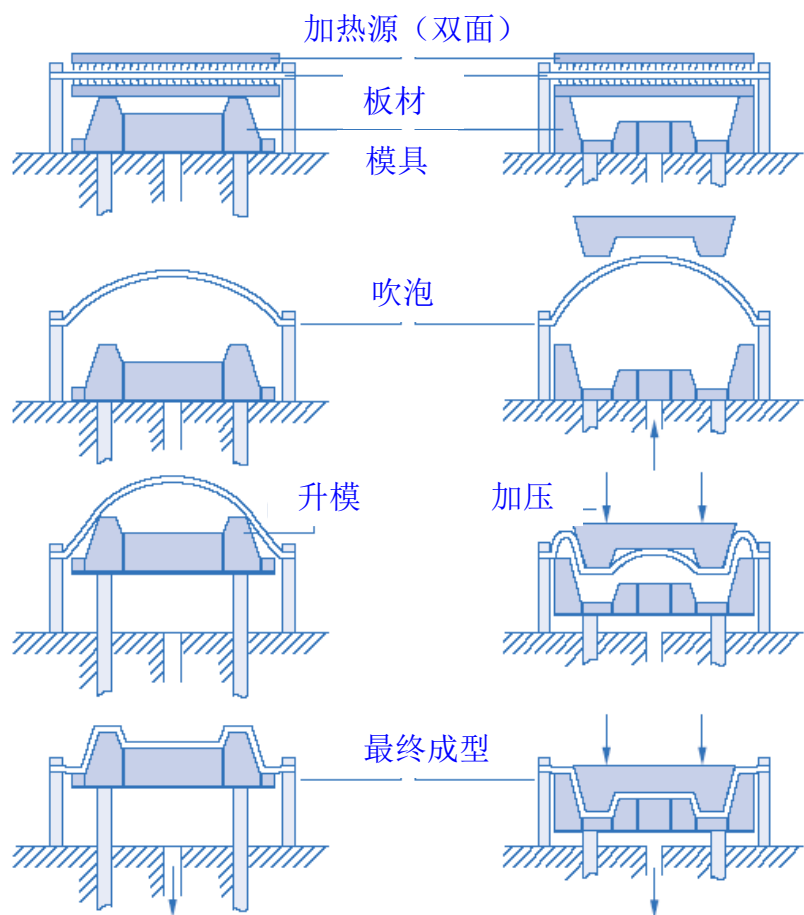


表 1.3 鼓泡成型

表 1.4 压力成型

1.3 加热和冷却

加热

对 LEXAN 聚碳酸酯板材进行精确控制的均匀加热是制造高品质热成型部件的关键。我们推荐夹心型的加热器来对板材的两面进行缓慢均一的加热。这种加热器可以是陶瓷的也可以是红外石英型的，推荐使用精确的 PID 控制加热器。较慢的加热速度可以减少局部热点的形成，并且保证板材的边缘部分也达到所要求的成型温度。推荐在成型前将紧固边框加热到 120°C 到 130°C。由于聚碳酸酯板材降温速度较快，所以最终的加热控制应该在成型机内完成。正常来说，板材的成型温度在 170°C 到 225°C 范围内。

优化的成型条件依赖于部件的设计，拉伸率，板材厚度和成型所使用的技术。这里仅仅列出一些基本的因素：

- 低温成型能赋予板材最好的熔体强度，最小的局部拉薄和较短的成型周期
- 高温成型能减少板材的内部应力但缩模可能增加，而且部件的最终厚度可能不均匀
- 折中的成型温度通常会使部件拥有可接受的性能，同时兼具令人满意的成型周期。

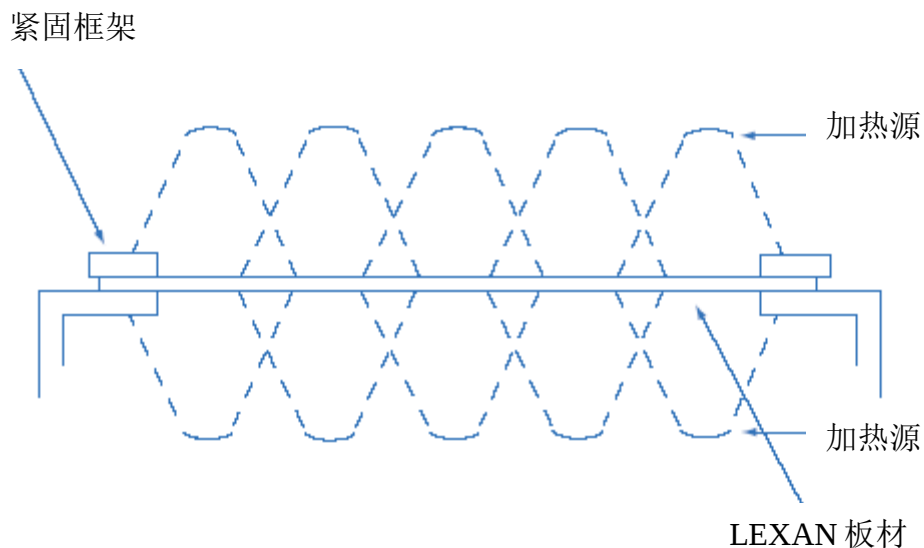


图 1.5 夹心型加热器

冷却

有很多因素会影响冷却时间，例如室温，成型温度，模具温度，模体材料，冷却系统设计，部件尺寸和厚度等。但由于 LEXAN 聚碳酸酯板具有相对较高的热变形温度，所以成型后的部件在大约 125°C 时即可以出模。不推荐使用强制的空冷和水冷。

1.4 覆盖成型

覆盖成型是所有热成型技术中最简单的。适用于或者公模或者母模，板材首先被加热，然后覆盖到模具的表面，在板材自重或轻微机械压力的作用下靠模。在加工过程中，除去保护膜的板和模具被放置在热空气循环炉内，升温到 140°C-155°C，板材开始下垂并覆盖模具表面。随后板材和模具被移出加热炉开始降温。图 1.6 和图 1.7 展示了基本的成型步骤。需注意的是，在高于玻璃态转化温度以上对 LEXAN 板材进行加工会导致板材光学性能有所降低。同时由于覆盖成型温度较低，并不需要对板材进行预加热处理。

覆盖成型也可以同其他工艺联合使用，如

- 在 155°C 温度条件下靠材料自重覆盖成型
- 在 155°C 温度条件下，靠材料自重和轻微的压力成型
- 在夹具上将板材冷弯，随后连同夹具放置在 140°C 到 155°C 加热炉内成型
- 在模具上对板材冷弯，随后在 150°C 加热，最后抽真空以得到 3D 形状。

在冷弯过程中必须遵循的一些注意事项如下：

为避免带涂层的板材表面开裂，务必允许板材自然缓慢冷却。当靠材料自重覆盖成型时，为避免材料收缩所造成的尺寸问题请使用放大尺寸的板材。或者可以将模具放在加热炉外，一旦炉内的板材升高到所需温度，快速将板移出炉子，放置在模具上让其覆盖成型。由于 LEXAN 板材在移出炉后将很快降温定型，所以板材在炉子和模具间移动的速度必须尽快。这中工艺典型应用于汽车的安全玻璃和防护面具等，在成型这些产品时，模具应当由高光泽材料（例如钢，铝，甚至玻璃）制备来保证最终产品具有所需的光学品质。

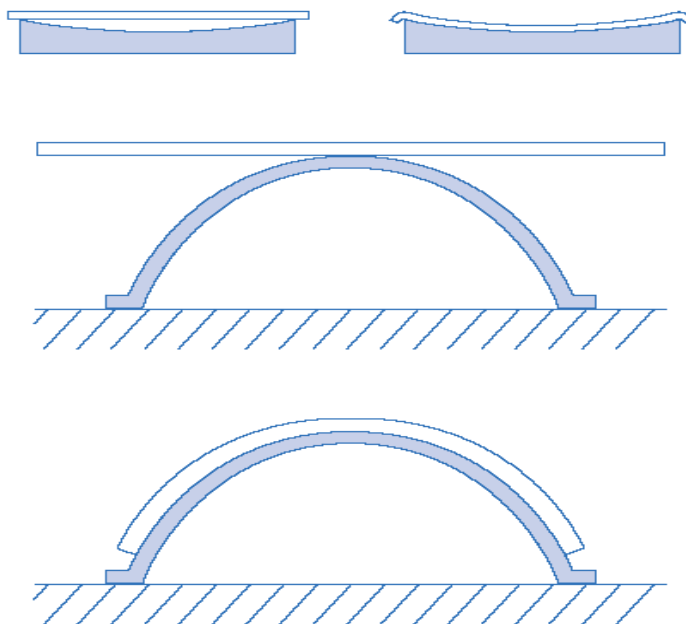


图 1.6 和图 1.7 典型的覆盖成型工艺示例

1.4 压力成型

压力成型从本质上和真空成型是相似的。不同之处在于在成型的最后阶段，使用压缩空气使模具的阳面和板材更紧密的接触，从而可以得到更精细的图样和更准确的尺寸。图 1.8 中展示了基本的加工步骤。在图中压力腔放置在模具的上方。通过压力成型法，可以得到精细的表面图样和小的成型弯曲半径。

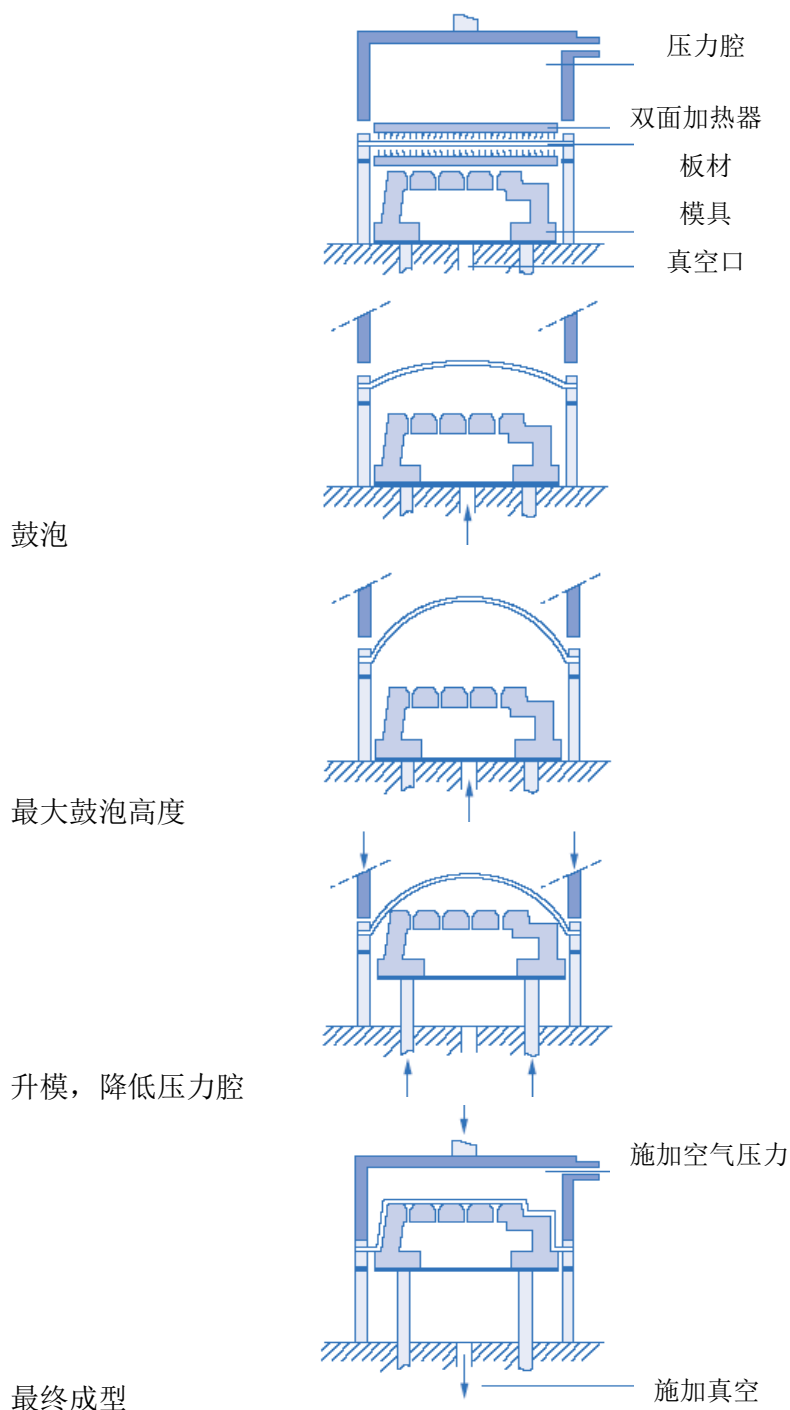
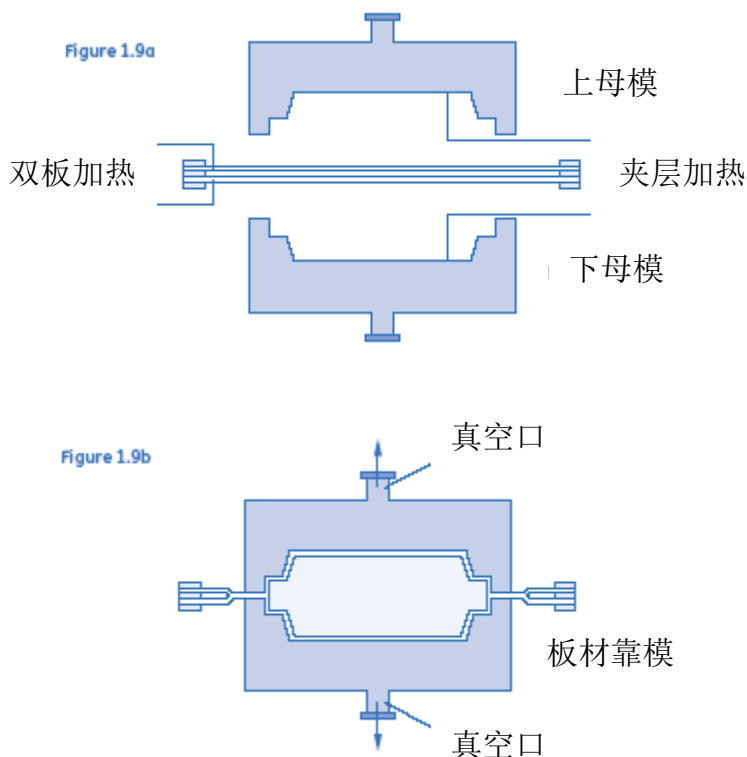


图 1.8 压力成型

1.6 双板成型

双板成型是在真空成型的基础上发展而来的，它可以一次成型两块板材，并在两板材间形成密闭的中空空腔。这个工艺的基本步骤见图 1.9a-d。由于板材仅有单面受热，所以在此工艺中最关键的部分就是精确的温度控制，同时还需要对板材的具体区域能够进行精确控温。为控制板材下垂度，可能需要格外的光电控制机构。而为防止两板材相互接触，需要在板间通热空气。作为一种具有高度竞争力的中空产品制造工艺，这种技术非常适合于加工尺寸较大的产品，如行李箱，空气管道，住宅圆顶等。

两块板材之间的连接密封主要是通过板材受热熔化以及施加压力完成的，因此不需要额外的胶水或者粘接剂。这种工艺能够用来生产由两种不同材质，颜色和厚度组成的产品部件。德国的 GEISS 公司和英国 SHELLEY 公司均可生产这样的自动加工设备。



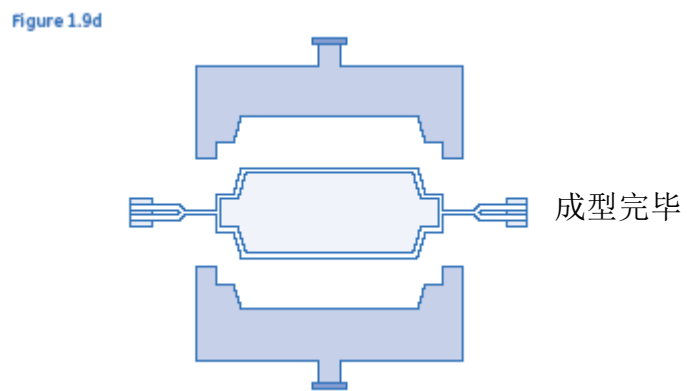
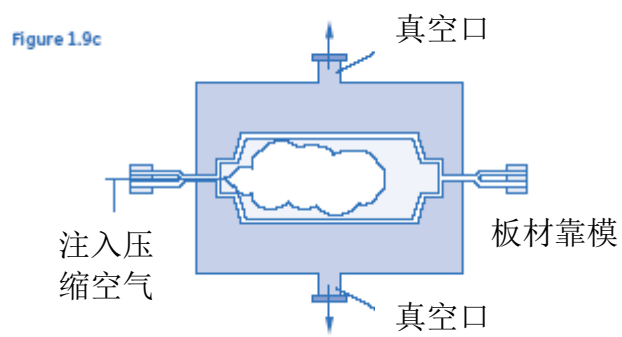


图 1.9 a 到图 1.9 d

1.7 产品设计

影响热成型产品设计的主要因素有四类：功能，经济性，美学和制造。前三个因素主要依赖于实际的产品，而在制造方面，热成型加工的本性限制了某些产品设计。下文讨论了这方面的影响，以供产品设计者和生产者参考。

产品几何尺寸

产品的几何尺寸决定了板材的拉伸程度（拉伸率）。拉伸率是热成型产品外表面积和紧固框架内板材表面积的比率。（见图 1.10.a-b）

$$\text{拉伸率 } (Q_s) = S/s = (LW + 2LH + 2WH) / LW$$

拉伸率也可以用板材厚度和产品平均厚度的比率来表示

$$Q_T = T/T'$$

上述公式假设部件的厚度基本均匀一致，同时其几何形状是近似对称的。如果部件形状长而薄，那么在成型的时候往往受各向非异性的拉伸，而导致某些区域可能偏薄。在这样的拉伸情况下，建议拉伸后产品的深度不大于产品的最小的宽度。对真空成型产品，可接受的最大拉伸率为 3: 1。

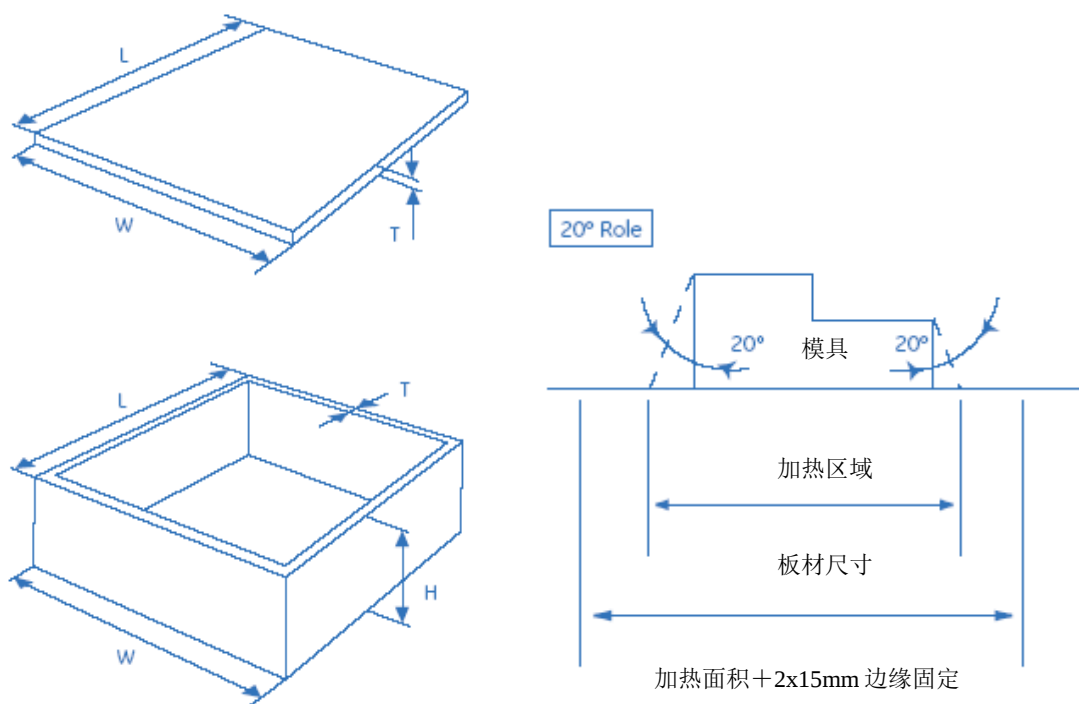


图 1.10 和图 1.11 成型所需要的板材尺寸

产品曲率半径

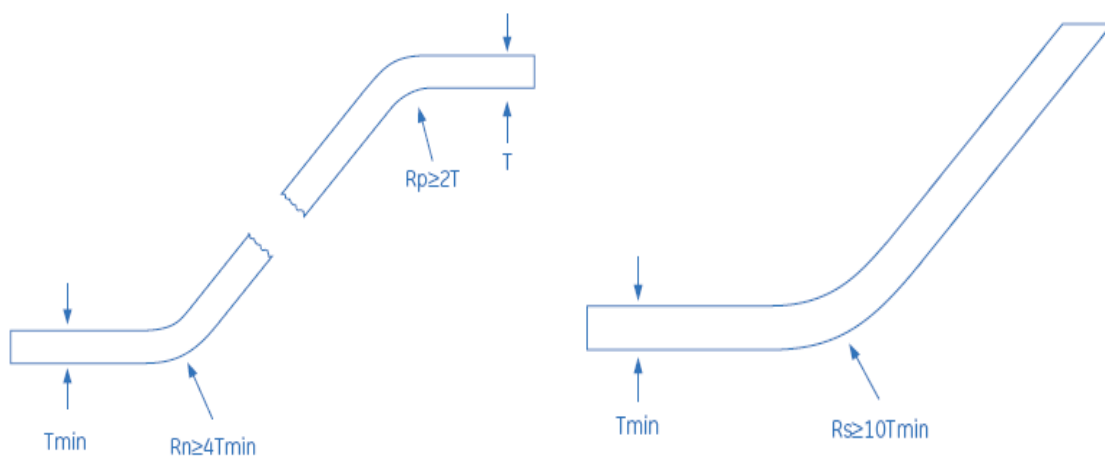
无论是阳模成型还是阴模成型，所有的几何形状变化都应该伴随着较宽松的曲率。基本判据是所有的曲率半径应该不小于产品壁厚。图 1.12 给出了有关曲率半径的一些常见建议。

脱模角

和其他热塑性材料相似，LEXAN 聚碳酸酯板材在降温时会收缩。因此要在模具表面设计适当的脱模角来保证产品能够从模具中释放出来。对阳模，我们推荐最小 2°到 3°的脱模角。当产品尺寸允许时，最好能把脱模角放大到 5°到 7°。对阴模，最小的脱模角为 0.5°到 1°，如果模具表面有花纹，则建议最小脱模角为 2°到 3°。为避免应力积累和模具冷却后收缩（0.8-1%）造成脱模困难，应当在部件温度为 120°C 时开始脱模。

侧凹

通过真空成型制造侧凹也是可行的。但是，伴随而来的往往是更复杂的模具和更严格的加工工艺。侧凹常见于阴模加工，最简单的方法就是在模具中添加一个可拆卸部件。图 1.13 中显示了采用这种方法制造侧凹的一个典型例子，该例中要在部件周边制出凹陷的轮缘，为此，两块（或几块）可拆卸的环状模块在成型前被安装在模具上，而成型后将环块拆除来实现脱模。利用这种方法来生产侧凹无疑要耗费更多的人工和生产时间。如果产品批量较大，可以将移动部件用气压或液压方式和模具组合来提高生产效率。



- T - 板材起始厚度
 Tmin - 成型后最小厚度
 Rp - 阳模曲率半径
 Rn - 阴模曲率半径
 Rs - 高应力区曲率半径

图 1.12 推荐最小曲率半径

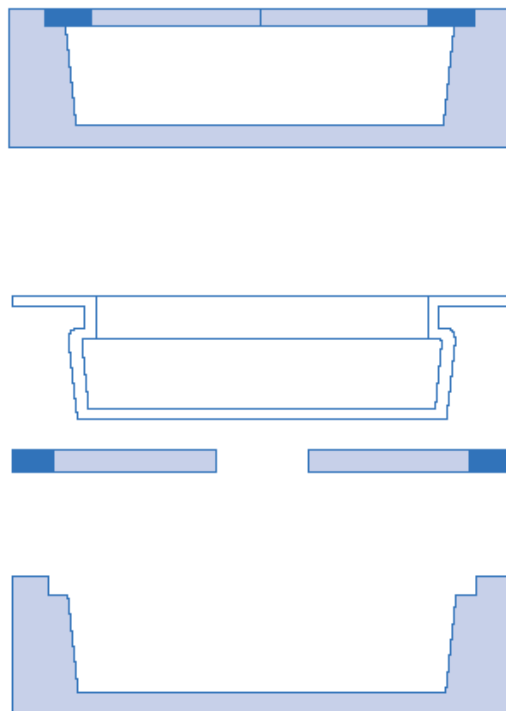


图 1.13 典型侧凹加工工艺

1.8 模具和模具设计

聚碳酸酯板材成型模具价格相对比较便宜，而且模具材料的选择比较多样化。依赖于最终制件的数量和对他们的品质要求，模具的材质可以是木材，石膏，环氧树脂，金属填充聚酯或者金属。由于塑料对模具表面的冲刷作用有限，而且模具承受的一般都是大气压力（真空），所以模具的磨损很小。对原型件或者小批量生产，可以采用木制模具。木模具加工容易而且来源广泛，但木材尺寸稳定性差（尤其是高温成型时），并且模具尺寸大时，脱模压力常常会给模具表面造成损伤。对中等批量和大批量生产，我们推荐使用交联环氧树脂，亚克力树脂，或者铝填充成模材料。在制作模具时，往往需要设计冷却通道来降低成型时的热累积。在成型聚碳酸酯板材时，要保证所有最终产品具有稳定的尺寸必须保证模具的温度在加工过程中也是稳定的。

缩模

为弥补缩模所造成的尺寸变化，应该在模具设计时考虑添加 0.8-1% 的缩模量。

真空孔

在抽真空时需要尽可能快的把空气从模具中抽除，但真空孔的大小应该仔细设计，来避免由于孔过大而造成产品成型后有可见的抽真空痕迹。要解决这个问题，推荐真空孔直径为 0.50-0.75mm。真空孔可以如图 1.15a 所示凹进模具内表面。图 1.15b 是间隔条和真空槽的设计示例。



图 1.14 典型的真空成型模具

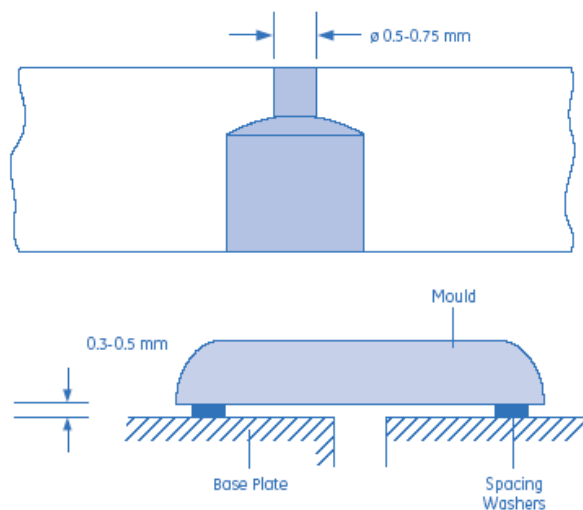


图 1.15a 和图 1.15b 真空孔以及真空槽设计

1.9 圆顶和金字塔

制作圆顶可能是热成型加工最简单的应用。这个工艺设计卡住板材边缘，在加热后在下面施加较小的压力，板材就会和弹性薄膜一样拉伸形成圆顶。通过精确控制压力，圆顶形状会得以保持直到板材冷却固化。基本的加工步骤如图 1.16 所示。如果再添加一道工序（见图 1.17），则可以制造出金字塔型的结构。模具可以是木质的，再加压后，升模然后板材在模具上冷却。这种工艺中，板材仅仅和模具在边缘接触，因此可以制造出具有较高光学品质的部件。推荐的加工温度在 170°C-180°C 之间。

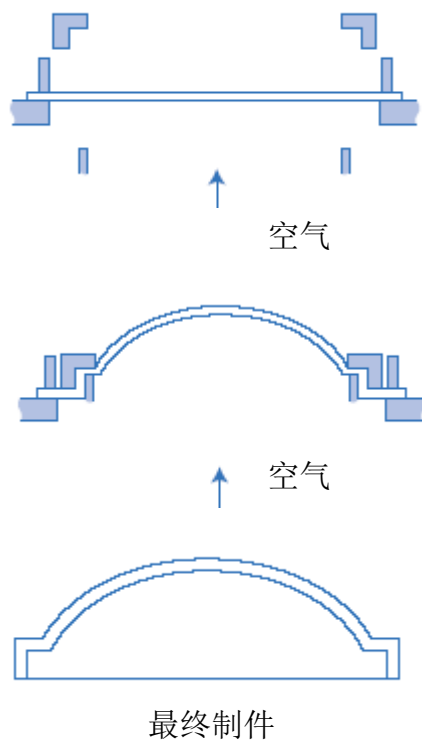


图 1.16 吹塑成型圆顶

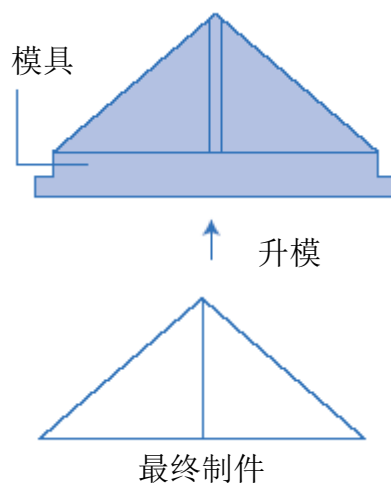


图 1.17 典型金字塔结构成型

1.10 热折成型

热折成型中，板材弯折区域受热，从而可以允许对厚板进行加工，而且可以成型出更精确的折角。板材沿着折线方向通过辐射加热（通常是用电阻加热器）来进行局部加热。依赖于加热装置，板材可以是单边受热也可以是双面加热。在单面加热时，需要每隔几分钟把板材换面来保证两边温度相近。在热折成型中，板材表面的保护模可以视情况留在表面。当板材受热达到 155°C - 165°C 时，关掉加热器，把板材折弯到所需要的角度。对需要大量生产，或者要求较高的精度时，推荐使用带有精确温度控制系统的双面加热折弯机。图 1.18 是这种机器的示例图。由于热折成型涉及到局部加热，整个板材受热膨胀的情况往往是难以完全预测的。当板材宽度小于 1m 时，折线通常是直的。但当板材宽度大于 1m 的时候，折线常常向内侧成香蕉型弯曲，如图 1.19 所示。可以设计一些简单的固定夹具，让板材在夹具上/内冷却从而减少变形程度。在进行热折加工时推荐在生产前制造原型件来决定加工是否可行。

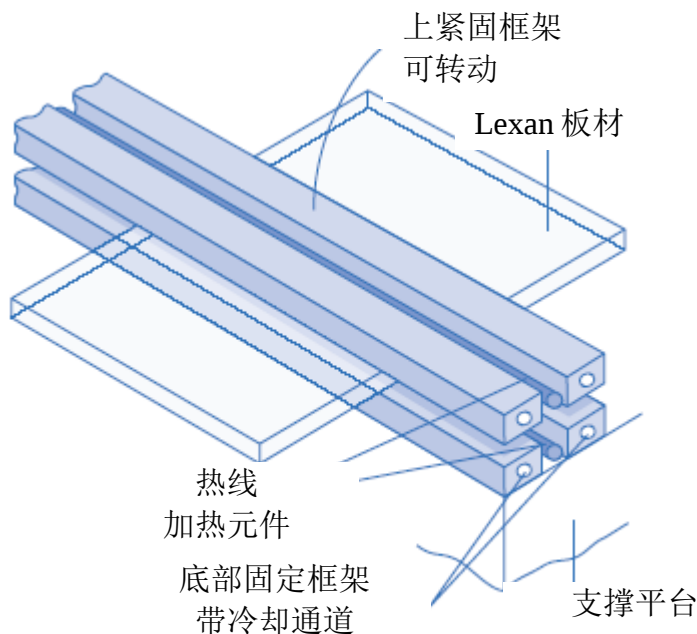


图 1.18 典型的热折设备装置图

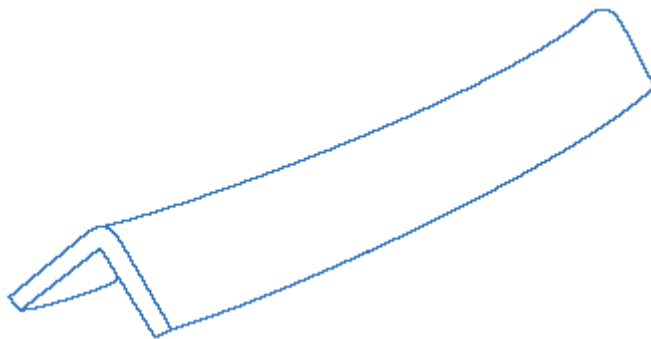


图 1.18 宽板成型后的内凹变形

1.11 冷弯成型

本技术会在板材中形成内应力，但如果加工时足够谨慎，板材的表观性能并不会会有本质的改变。

冷弯

这里冷弯仅是指安装时板材弯曲，在板材内可能存在轻微的应力。应力值是板材厚度和弯曲曲率的函数，当应力不超过推荐值时，不会对板材的表观性能造成影响。对板材弯曲曲率基本的判断标准为：对不带涂层的 Lexan 板材，曲率是板材厚度的 100 倍，对 Exell*D 板材是厚度的 175 倍，对 Lexan Margard*FMR 板材，则为板材厚度的 300 倍。表 1.2a 给出了一些曲率半径的推荐值。这种冷弯不适于 Lexan Margard MR5 板材。由于在高应力和某些化学品作用下板材可能产生局部环境应力开裂，因此在安装前务必对所有材料进行化学兼容性测试。Lexan CTG 或不含涂层的 Lexan 板材在覆盖成型前，也可以进行适度的弯曲，其最小曲率半径是板材厚度的 100 倍。

表 1.2a 最小弯曲曲率半径

Sheet Thickness (mm)	Lexan Exell D Min. Radius (mm)	Uncoated Lexan Products Min. Rad. (mm)
1.0	-	100
1.5	-	150
2.0	350	200
3.0	525	300
4.0	700	400
5.0	875	500
6.0	1050	600
8.0	1400	800

表 1.2b 最小弯曲曲率半径

Sheet Thickness (mm)	Lexan XT Margard FMR5XT/FLG5*XT
2	600
3	900
4	1200
5	1500
6	1800
8	2400

*带单边涂层的 FMR5XT 板材

冷弯（线）成型

由于 LEXAN 聚碳酸酯板材产品即使在低温条件下也具有高度的延展性，因此对其进行冷弯线成型也是可能的。但该加工涉及到板材某种程度上的永久塑性变形，因此成型的结果依赖于板材厚度，工具和应变角度。图 1.20 和图 1.21 是冷弯线成型的示例说明。

冷弯（线）成型注意事项

- 使用的工具边缘应锋利
- 在弯曲后给板材以足够的松弛时间（±1-2 天）
- 在安装时不要试图再减小弯折角度，或者把板材用强力卡入所需位置
- 未达到较好的效果，弯曲操作应该以较快的速度完成
- 带花纹的板材应该注意使花纹面弯曲时受压缩应力
- 在弯曲后不要马上卸去应力，为达到所需角度，往往要进行过弯加工
- 带颜色的板材在弯曲后沿弯折线会有颜色变浅或变白现象

为避免沿侧边开裂，板材冷弯成型前应对边缘进行处理。光滑无缺口的边缘或者 45°切口是成型成功的关键。为减小应变，冷弯变形通常局限于大于等于 90°角（板材厚度小于 6mm）。较厚的板材，如 8，9.5 和 12mm 板可以被冷弯到 135°角。在冷弯后，残余应力会存留在板内，而降低材料在冷弯区域的冲击强度。因此该技术的应用范围有一定局限性。耐磨 Lexan Margard MR5E，FMR 板材以及有 UV 保护的 Lexan Exell D 板材其弯曲区域表面涂层在冷弯过程中可能受到破坏。如需与成型相关的其他信息，请联系您当地的 SABIC 技术服务中心。

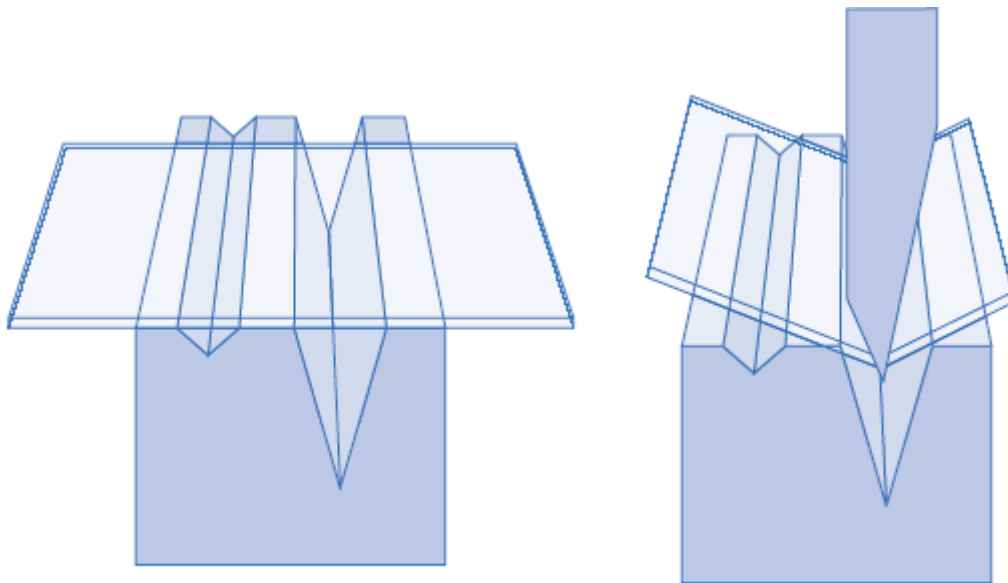


图 1.20 和图 1.21 典型的冷折成型加工

表 1.3 Lexan 板材加工参数

厚度 (mm)	弯曲速度 (mm/min)	槽宽 (mm)	刀尖 半径 (mm)	刀角 (°)	压入深 度(mm)	保持 时间 (s)	方向（挤 出/宽度）	起始 弯角 (°)	弯后 24 小时弯曲 角(°)	裂 纹
4	500	30	1	28	10.75	4	宽度	82.5	88.5	无
5	1000	30	2.5	30	18	4	挤出	85.5	91.5	无
8	500	40	2.5	30	17	0	宽度	84.5	90.5	无
12	1000	40	2.5	30	23.93	4	宽度	84	90	无

2. 加工技术

加工技术可以被定义为建造，生产或者组装一系列与产品相关的零部件。对 LEXAN 聚碳酸酯板材产品来讲，加工技术涉及很多方面，例如窗户系统的组装搭建，高速公路指示牌的生产，或者机器周围安全护罩的组装等等。在随后的章节里，我们会着重讨论从 LEXAN 聚碳酸酯板材加工制造最终产品的一些技术和工艺，同时提供一些建议以帮助客户取得最佳的产品效果。

2.1 板材裁割

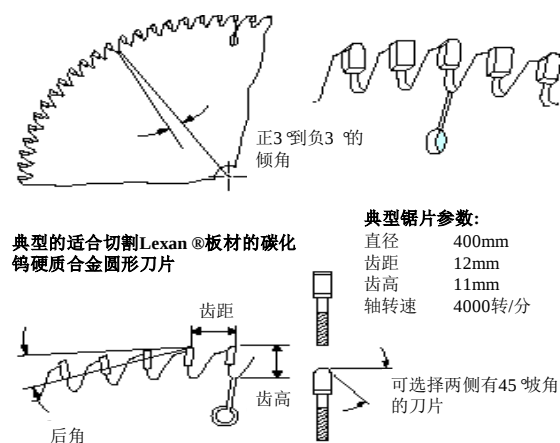
LEXAN 聚碳酸酯板材产品可以用标准的加工设备进行准确而方便的切割加工。圆盘锯，带锯，曲线锯或者普通的手锯均可以被用来加工聚碳酸酯板材并达到满意的切割效果。但是，在加工过程中必须遵循一些重要的注意事项。接下来我们会给出切割加工一些基本的注意事项，并且针对不同的加工工具，会给出一些相应的推荐与说明。

基本注意事项：

- 在切割加工过程中，板材必须保持牢固的固定状态，从而减少不必要的震动，同时防止最终切口毛边的形成。
- 所有的切割、锯断工具都应该为塑料加工而设定的，工具应该使用细齿刀片。
- 为防止板材刮花或其它表面损伤，请勿在切割之前撕去板材所附带的保护膜。
- 切割完成后，所有板材边缘应该是清洁而光滑的，不应有毛刺和缺口。
- 如果在切割过程中有切屑和灰尘堆积，应该使用压缩空气吹除。

圆盘锯

切割聚碳酸酯板材最常用的工具是圆盘锯。和其他塑料产品相比，对聚碳酸酯进行切割时，圆盘锯的切割速度和进锯速度要求并不是特别的严格。但依然有如下注意事项敬请遵循：



典型的适合切割 Lexan ®板材的碳化钨硬质合金圆形刀片

- 建议使用碳化钨合金刀片,可以选择两侧有 45° 坡口的刀片以增加切割力和减少侧边压力。
- 始终使用低速进刀速度以得到整齐切割边。

- 只有当切割刀片在达到全速时才能开始切割操作。
- 对单板厚度少于 3mm 的板材，推荐使用带锯或者曲线锯来进行切割。

带锯

带锯可以是传统的竖直型，或者是专为塑料板材设计的水平类型。在这两种切割操作情况下，板材都必须被充分支撑和完全压紧。锯床的导向口应尽可能靠近板材以避免锯片扭曲和偏离切割线。

表 2.1 常用切割条件

	圆盘锯	带锯
间隙角	20°—30°	20°—30°
刀尖角度	5°—15°	0—5°
锯片转速	1800—2400m/min	600-1000m/min
齿距	9-15mm	1.5-4mm

曲线锯和手锯

这种切割方式最重要的注意点是支撑和压紧，尤其是对于竖锯。理想的是使用 2-2.5mm 齿距的刀片，采用低的切割进刀速度。

2.2 钻孔

可以用标准的高速钢螺旋钻或者带楔型头的角钻来加工 LEXAN 聚碳酸酯板材。由于聚碳酸酯板材硬度较低，不易造成刀具磨损，硬质合金刀头也可以用于此类加工。在钻孔中最应该注意的应该是加工所造成的热累积。为了在板材上加工出干净美观且无内应力残留的孔洞，热累积效应应该被控制在最小的程度。如下加工注意事项敬请遵循：

- 在钻孔加工过程中请经常清理钻孔，以避免钻屑和摩擦热的累积。
- 加工中，钻头应经常从钻孔中抬起，并用压缩空气对钻头进行冷却。
- 在加工过程中，板材必须保持牢固的固定状态，从而减少不必要的震动，以保证孔的尺寸稳定性。
- 孔与板材的边缘应保持足够的距离，通常不应小于 1—1.5 倍孔直径。
- 孔的直径必须比要用螺丝或螺钉的直径大，以满足板材热膨胀/收缩所必须的尺寸要求。
- 对长期大批量的生产加工，推荐使用硬质合金螺旋刀头。

钻头的旋转速度和进钻速度以及其他条件请参见表 2.2 和图 2.3 到 2.6

表 2.1 常用钻孔条件

孔直径	转速 rev/min	进钻速度 mm/min
3	1750	125
6	1500	100
9	1000	75
12	650	50
18	350	25

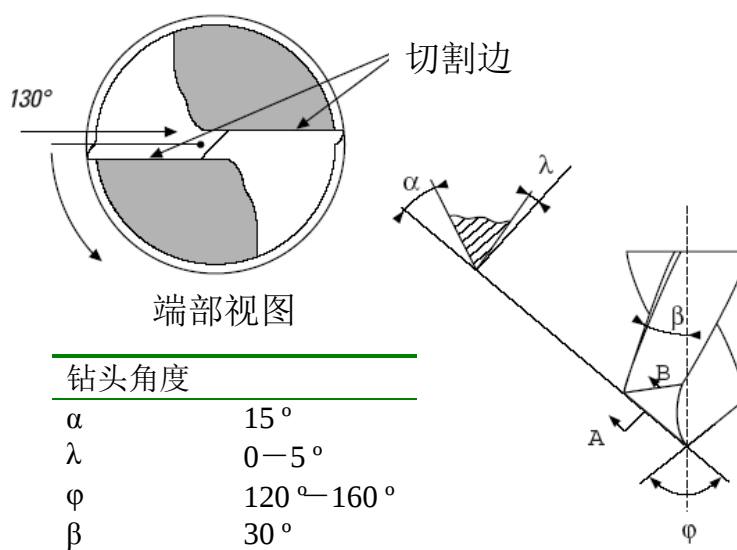


Fig. 2.3 and 2.4: Typical Drill Configuration

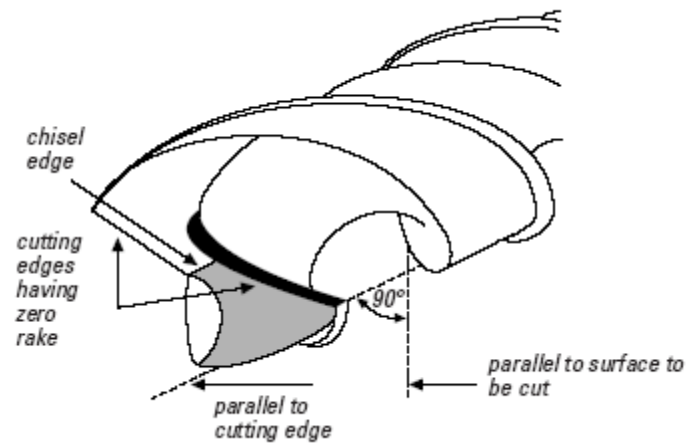


图 2.3 和 图 2.4 常见钻头外形图

Fig. 2.5: Drill suitable for large holes

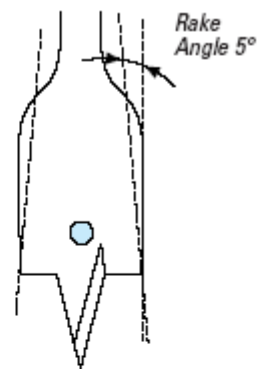


Fig. 2.6: Drill suitable for thin sheet

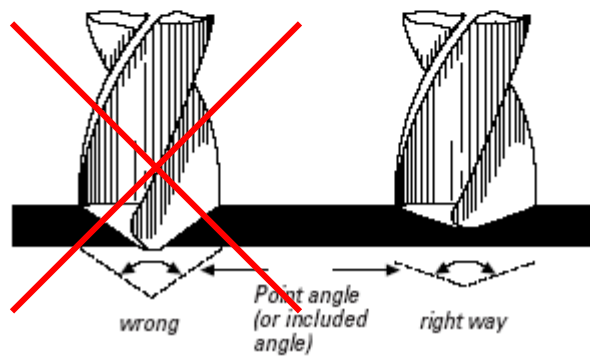


图 2.5 适用于开大孔的钻头外形图

图 2.6 适用于薄板的钻头外形图

2.3 铣削

LEXAN 聚碳酸酯板可以用带标准高速钢铣刀的铣床进行铣削加工。在加工中应注意，板材必须保持牢固的固定状态，从而减少不必要的震动。应合理利用金属夹具或真空卡盘来得到合适的夹紧作用。表 2.3 列出了合适的铣削速度和刀头转速。图 2.7 为典型铣削头外形图示例。合理采用强制空气对流可以加快铣削速度，但在铣削过程中应防止板材和刀头局部过热。对聚碳酸酯板材加工，不推荐使用流体润滑和冷却。

数控机床可以实现加工过程的自动化，同时能为板材加工提供精确的外形尺寸控制。而使用真空卡盘可以避免板材震动，从而保证切削的平稳进行。铣削加工推荐使用碳化钨高速合金钢铣头，当板材厚度 4mm，铣头转速 25000—30000rpm 时，铣削速度大致为 250m/min。

表 2.3 常用铣削条件	
圆盘锯	
间隙角	5°—10°
刀尖角度	5°—15°
铣削速度	100—150m/min
进刀速度	0.1-0.5 mm/rev

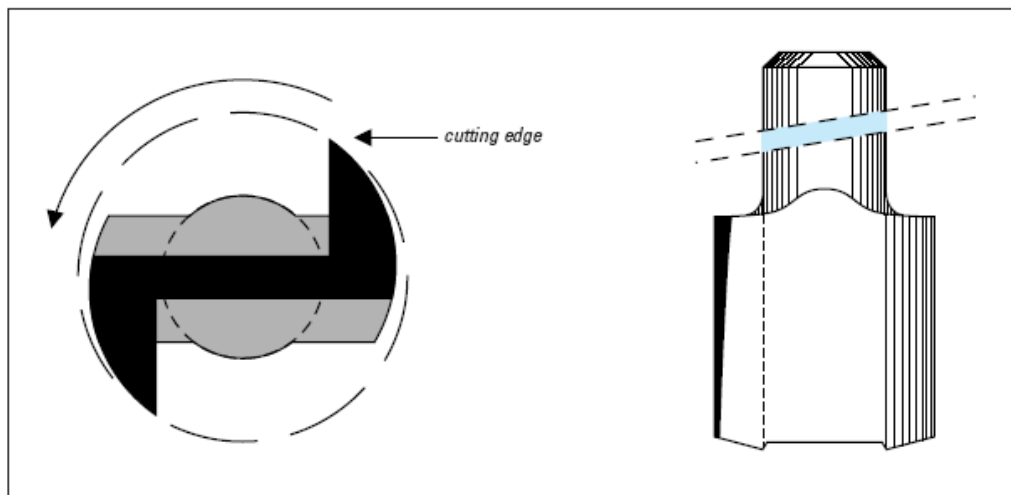


图 2.7 典型铣削头外形图

2.4 紧固装置

除少数特例外，部件的组装基本上都要用到紧固装置。选用哪种装置常依赖于紧固系统自身的要求。例如铆钉多用于永久性的紧固，而螺丝和螺栓则常见于需要重复拆卸的构件。弹簧夹具则依赖于设计可满足不同的紧固条件。

对聚碳酸板材来讲，市场上现已经出现了许多种不同类型的紧固装置。本指南仅讨论其中常见的一些类型。

简单讲这些紧固装置可分为：

- 螺丝，螺母及螺栓
- 铆钉
- 弹簧夹及其他装置

在选择和安装这些紧固装置时必须考虑两点因素，第一，紧固装置必须满足板材热膨胀和收缩的需求。由于使用过程中温度会发生变化，板材的几何尺寸也会随之改变，所以板材上所加工出的钻孔和开槽必须比螺栓或螺丝的尺寸要大。第二，紧固时所用的紧固力必须是均匀分布的。在紧固时合理使用橡胶垫圈，采用大的螺丝和铆钉，有利于紧固力尽可能广的分布在板材表面，从而减小局部应力过大的可能性。

表 2.3 一些材料的热膨胀系数

材料	热膨胀系数 $m/m\ ^\circ C \times 10^{-5}$
LEXAN 聚碳酸酯板材	6.7
玻璃	0.7-0.9
铝型材	2.1-2.3
钢	1.2-1.5

2.4.1 螺丝，螺栓和螺母

普通螺丝

大多数普通螺丝的材料都是钢铁，但在一些特种应用领域也有其他的金属或合金螺丝。本页展示了一些螺丝紧固装置的例子。见图 2.9 和图 2.10.

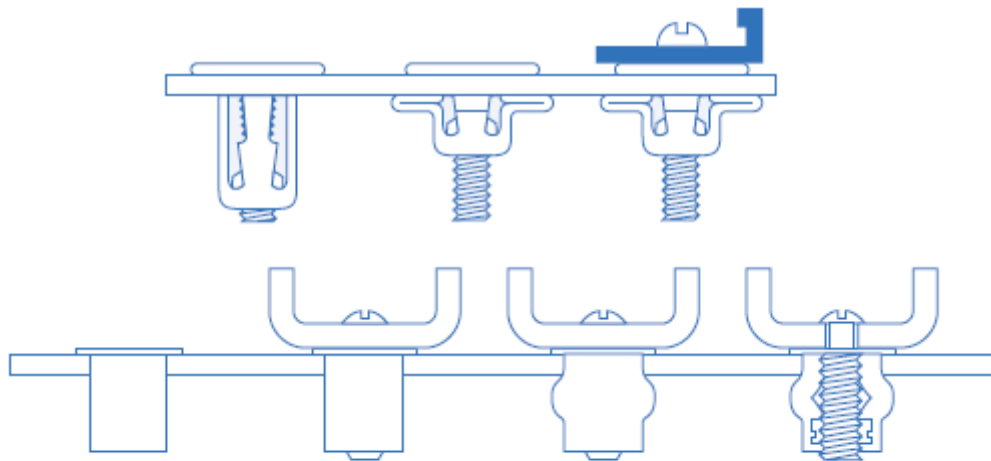
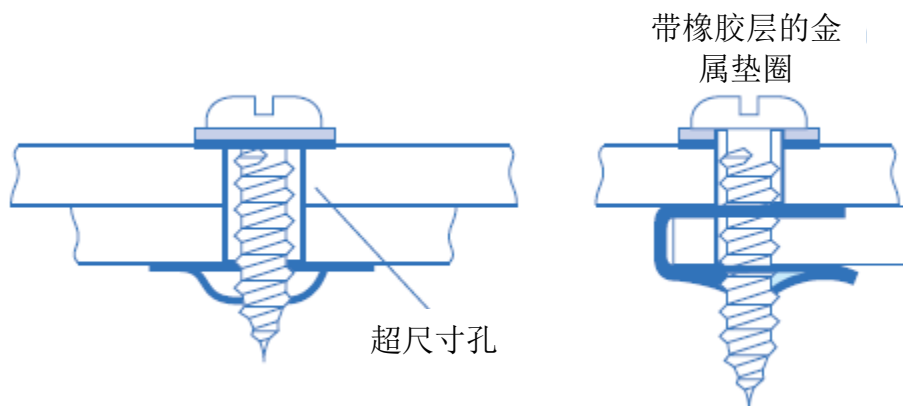


图 2.9 和图 2.10 用于聚碳酸酯板安装的螺丝紧固装置

自攻螺丝

在塑料行业自攻螺丝目前已经广泛应用。由于自攻螺丝本身带有起钻头作用的尖锥，当它被钻入塑料时，自攻螺丝可以在塑料内自动钻出螺纹。这种螺丝可以应用于固定需要拆卸和重新安装的系统组件。虽然市场上出售的自攻螺丝多数是为塑料模塑件设计的，但如果和弹簧夹具或垫片相配合，自攻螺丝也可以用于塑料板材的紧固。图 2.11 到图 2.14 展示了一些用自攻螺丝紧固的例子。



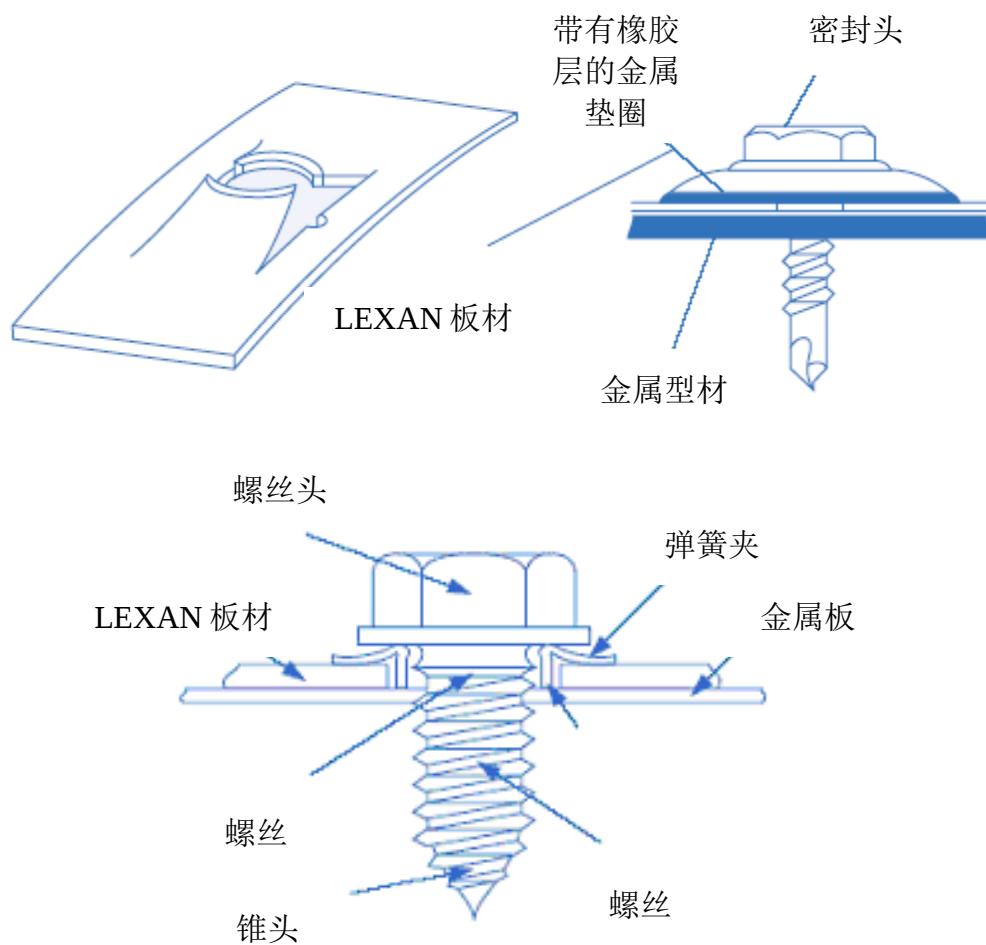


图 2.11 到 2.14 用于聚碳酸酯板安装的其他螺丝紧固装置

注意事项

- 当用螺丝紧固方式安装聚碳酸酯板材时，请遵循下列安装建议：
- 不要使用埋头螺丝。埋头螺丝的楔型头容易造成局部应力集中，从而导致紧固失效。
- 在组装前，请确保油脂或保护层已经从螺丝上清除干净。某些油脂可能导致聚碳酸酯板材应力开裂。

2.4.2 铆钉系统

铆接作为一种有效的组装技术，已经得到了广泛的应用。但铆接中依然有一些注意事项需要在此重点提及。铆接工艺会在板材中同时引入径向和压缩应力，所以在施工中需要把这些力尽可能广的分布开来，以防止局部应力过度集中。在实际的塑料—塑料连接中，我们推荐使用带有橡胶层的金属垫圈来减少压缩应力。采用比铆孔尺寸稍大的垫圈，铆接所造成的环形应力会被垫圈所承受，而不是直接应用于塑料板材。对金属—塑料连接，铆钉头所粘接的橡胶垫圈应该和塑料板面相接触，而非金属表面。同时板材上所打出的铆接孔直径应该满足材料受热膨胀所带来的位移。孔直径应该是 1.5 倍的铆钉直径。同时铆钉直径应该在设计允许的范围内足够大，相邻铆钉之间的距离应该在 5-10 倍铆钉直径范围内。SABIC 创新塑料集团推荐使用铝，黄铜和铜铆钉。目前市面上有不同类型的多种铆接系统，但最常见的还是“波普”空心铆钉，图 2.15 和图 2.16 是该种铆接系统的示意图。

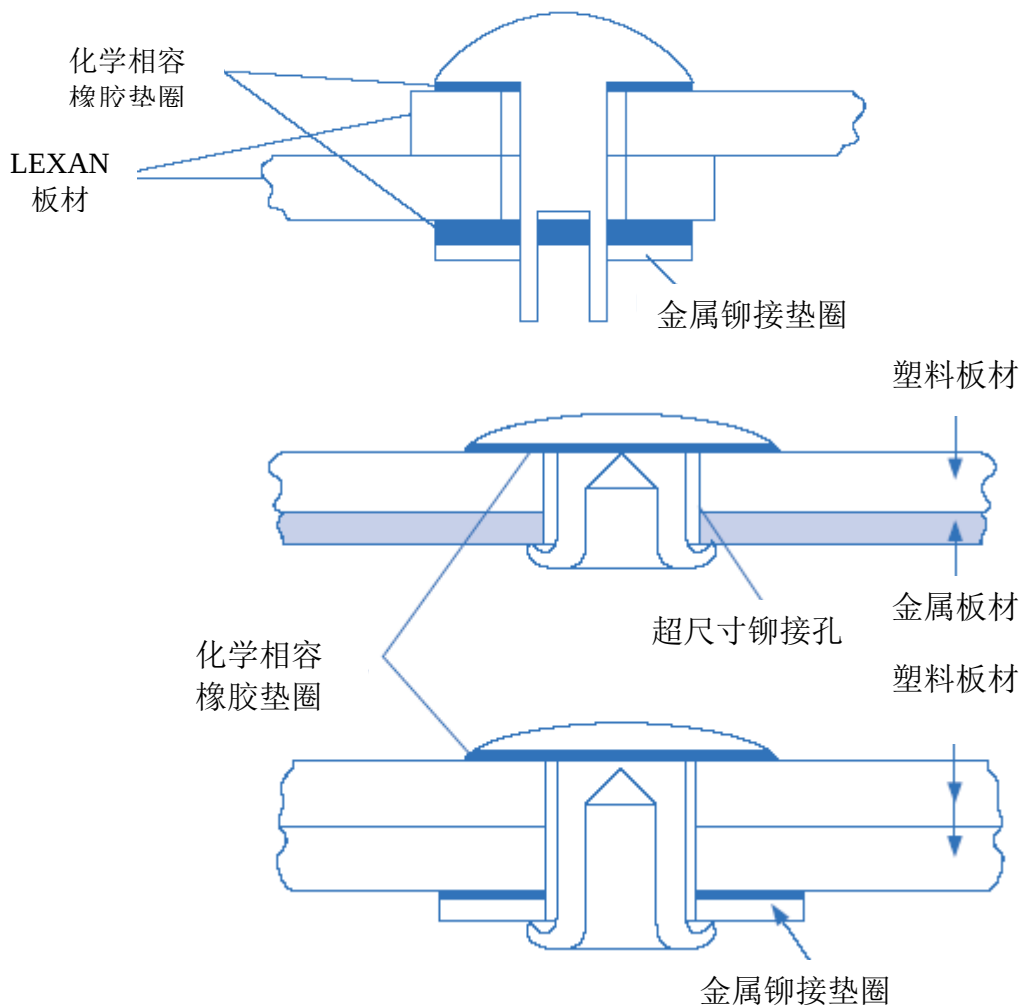


图 2.15 和图 2.16 典型的铆接系统

2.5 其他加工技术

除了上文所提及的几种技术以外，目前还有一些其他类型的技术被用于切割和加工 LEXAN 聚碳酸酯板材， 如：

- 剪切
- 冲裁
- 攻螺纹
- 激光切割
- 高速水流切割

由于这些技术往往在最终产品中引入不必要的应力，或者是造成切割表面粗糙，所以我们并不推荐用它们来加工聚碳酸酯板材。剪切或者冲裁后的表面往往比较粗糙，这种粗糙的表面常含有微小的裂纹，从而引起板材的提前失效。在聚碳酸酯材料中攻螺纹通常仅限于模塑件，自攻螺丝和普通螺丝需要足够的螺纹深度来提供必须的紧固力，而板材产品局限于厚度往往不能满足这方面的需求。

激光切割由于以下缺点并不被推荐来切割聚碳酸酯板：

- 切割边缘粗糙
- 切割边上有碳黑沉积
- 在厚板上切割时造成内应力较高
- 脱色

高速水流切割的缺点：

- 边缘需要磨光处理
- 切割速度低
- 设备价格昂贵

如您欲了解其他的切割技术或者对组装工艺有疑问，敬请联系 SABIC 创新塑料技术服务中心。

3. 抛光，装饰与清洁

作为加工工艺的最后一步，抛光可以改善 LEXAN 聚碳酸酯板材的美学性能和实际使用性能。安装完毕后的聚碳酸酯板材日光暴晒下，承受着长期的风载荷和循环热膨胀收缩，板材上的粗糙或不平直边缘往往成为银纹或裂纹萌生的起始区域。而由于这些边缘经常暴露在外，所以建筑师或业主常常要求对他们进行平整和抛光，以满足美学品质上的要求。在随后的章节里，我们会讨论对 LEXAN 聚碳酸酯板材进行抛磨的技术和工艺，同时提供一些清洁方面的建议以帮助客户取得最佳的长期使用效果。

3.1 耐化学性

塑料的耐化学性依赖于以下 5 个主要因素：

- 使用中的应力等级
- 温度
- 暴露时间
- 化学品浓度
- 化学品类型

室温条件下，聚碳酸酯树脂材料对一般的有机或无机酸，水，蔬菜油，中性盐溶液，脂肪族碳氢化合物和酒精等均具有良好的耐化学性。当塑料受某种化学品侵袭时，一般遵循以下某种模式：第一，化学品被塑料产品所吸收，从而造成材料的塑化或结晶，其表现现象为塑料的膨胀或表面白化。低分子量醛和醚，酮，酯，芳香族碳氢化合物，全氯代碳氢化合物均会对聚碳酸酯材料造成类似影响。第二，当接触到碱，碱盐，胺和高浓度臭氧时，聚碳酸酯材料会发生部分甚至全部分解。第三，特殊环境条件下的化学侵蚀，而这也往往是最难以预测的。例如在某种环境条件下，材料内部残留有应力或应变从而会造成表面裂纹或银纹。在这些环境条件下，低分子量的碳氢化合物会造成中、高应力表面银纹化。而丙酮和二甲苯甚至在低应力表面也会造成应力开裂，而这无疑是可以避免的。考虑到化学兼容性的复杂性，在实际应用过程中，应当实验测试所有可能接触到聚碳酸酯材料的化学品与聚碳酸酯的兼容性。对聚碳酸酯板材而言，最常接触的材料是密封胶，胶条和各种清洁剂。

在 SABIC 创新塑料技术中心，长期进行各种化学品与聚碳酸酯板材的兼容性测试，许多市场上常见的产品已经在此得以检测。如您需要，可向技术中心咨询推荐产品清单（包括清洁剂，密封胶和胶条）。在表 3.2 到 3.6 中，您也可以查询到最基本的兼容性信息。

LEXAN MARGARD*MR5E 耐化学性

LEXAN MARGARD 表面的耐刮花涂层同时也为板材提供了额外的耐化学性保护。这种 SABIC 所拥有的涂层在正常条件下可以耐受很多化学溶剂的侵蚀，而这些溶剂是普通聚碳酸酯材料所不能耐受的。表 3.1 是在 MARGARD 涂层和普通聚碳酸酯表面上进行的系列对比测试的结果。同时我们还进行了化学品对 MARGARD 板材冲击性能影响的测试，测试结果表明在 MARGARD 涂层保护下，尽管接触了化学品，板材的冲击性能并没有受到影响。该组测试的条件是：三毫米板材，室温，无残余应力，化学品接触 5 分钟。

表 3.2 LEXAN 板材耐化学性简表

化学品种类	影响
酸（无机）	常见浓度及温度条件下不影响
酒精	通常兼容
碱类	低浓度条件下可接受，高浓度和高温导致腐蚀和分解
脂肪酸碳氢化合物	通常兼容
胺类	表面结晶，化学侵蚀
芳香族碳氢化合物	溶剂，剧烈应力腐蚀开裂
清洁剂或洗涤剂	温和的肥皂溶液是兼容的，但强碱性及氨水类材料应当避免接触
酯类	引起剧烈结晶，部分溶解
果汁和软饮料	低应力条件下兼容，高浓度应当避免
汽油	高温和应力条件下不兼容
油脂	纯的石油炼化油脂通常兼容，但由于往往有添加剂存在，需测试添加剂是否兼容
氯化碳氢化合物	溶剂，剧烈应力腐蚀开裂
酮类	引起剧烈结晶和应力腐蚀开裂
硅油	到 80 ℃，通常兼容

表 3.2 LEXAN MARGARD 耐化学性测试

化学品	没有涂层	LEXAN MARGARD* MR5E
甲苯	W/S	OK
丙酮	S	OK
甲基乙基酮	S	OK
二氯甲烷	W/S	OK
硫酸（95—97%）	OK	OK
氢氯酸（32%）	OK	OK
氨水（25%）	OK	OK
稀释剂（Sikkens1-2-3）	W/S	OK
汽油（ESSO）	W/S	OK
柴油（ESSO）	OK	OK
燃料 C	OK	OK
头发定型剂	OK	OK

W=表面白化

S=表面溶解

3.2.1 涂装

无论图案简单或复杂，涂装工艺自动或手动，涂装是为装饰用途或功能用途，LEXAN 板材产品均为设计者提供了足够的自由度，从而实现在板材表面创造所需要的效果。如果满足一些基本的条件，应用于木材，金属，建筑材料和其他塑料表面的涂装技术也可以被移植到聚碳酸酯板材产品上来。化学兼容性无疑是其中重要的条件之一。只有业已证明化学兼容性的涂装材料才可以使用。一些市场上销售的涂料和稀释剂并不与聚碳酸酯材料兼容，他们能引起应力腐蚀开裂，或者造成板材冲击性能的下降。涂料体系应该是柔性的，也可以采用柔性的底漆和刚性的上部涂层相结合的方式来满足要求。任何应用于聚碳酸酯板材上的涂料在亚零度时都应该是柔性的。至于粘接力问题，我们不推荐在 LEXAN MARGARD*MR5E 或者 LEXAN MARGARD FMR 板材的带涂层表面进行装饰性涂装。

涂装的注意事项

- 在涂装前用潮湿的海绵布或者离子化空气对板材表面进行清洁处理，以除去静电。
- 在涂装区域覆喷涂膜前对板材进行适当的干燥处理
- 涂装中避免过快的喷涂速度和过厚的湿膜厚度。
- 在干燥过程中不要把涂装表面暴露在低温和高湿环境下
- 在所有压缩空气管路中使用干燥空气
- 采用合适的空气流通速度以帮助溶剂从涂装表面挥发
- 使用推荐的加工和整边方法来对涂装后表面进行抛磨光

对涂料体系如有问题，请咨询涂料供应商。

3.2.2 丝网印刷

作为一种成熟的装饰工艺，丝网印刷技术现已可以给客户提供多样化的选择。但在大多数情况下，丝网印刷步骤必须在安装前来完成，这是由于印刷机通常是水平型的，而且对印刷件的尺寸有所要求（限于小面积到中等面积）。印刷过程中，黏性的油墨在外力驱使下通过一张薄丝网，由于网孔尺寸的限制，只有油墨能够通过网格进入图案区域。这些黏性油墨都是特别为丝网印刷设计的，由于其本身具有足够的粘度，并不会四处铺展开来，从而维持了图案的完整和精确。这种丝网印刷工艺经常用于标牌工业，市场上已经有很多专用油墨和稀释剂出售。这里我们再次强调化学兼容性的重要—只有通过测试并被推荐和 LEXAN 聚碳酸酯板材产品相配合的油墨和稀释剂才应当使用。丝网印刷并不适合于装饰 LEXAN MARGARD*MR5E，LEXAN MARGARD* FMR5XT 和 LEXAN MARGARD*MRA3。对单面硬化处理过的 LEXAN MARGARD 产品，例如 LEXAN MARGARD*HLG5，LEXAN MARGARD*FLG5XT 和 LEXAN MARGARD*HLGA3 可以在非硬化表面进行印刷。

丝网印刷的注意事项

- 仅使用已经测试过的油墨和稀释剂
- 不同的油墨不要混合使用
- 不要用涂装用的稀释剂来替代丝网印刷稀释剂
- 不要在油墨中添加如下溶剂：甲苯，二甲苯，纤维素乙酸酯，甲基乙基酮或其他相关化学品
- 在印刷前使用潮湿的软皮或软布清洁板材，避免划伤板材表面
- 使用正确的油墨颜色来得到所需要的光学效果
- 在干燥时提供所需的空气循环和通风

对丝网印刷油墨如有问题，请咨询油墨供应商。

3.2.3 抗静电处理

正如绝缘材料所共有的，LEXAN 聚碳酸酯板材易于在表面积累静电。因此在喷涂或丝网印刷前经常必须对表面进行清洁和除静电。通常情况下只需要用湿润的软布对表面进行擦洗或者用离子化空气对表面进行去静电处理。另外一种减小电荷积累的有效方法是控制湿度：相对湿度越高，表面静电积累效应越低。可取的相对湿度应该总是大于 60%。

3.3 密封胶与粘着剂

用胶粘剂来粘接不同类型的材料在现实生活中已属常见。过去二十年中，高分子材料研究者们已经发展出了大量的不同性能的粘着剂来满足不同应用领域的需求。胶粘剂现在甚至已经发展成为塑料工业中一个独立的子分支，他们是塑料件间，以及塑料与其他材料之间连接最为有效和经济的方式之一。但是伴随他们而来的不仅仅是优点，这些材料也往往是很多问题的根源。在胶粘剂中，有些是形成柔性的粘接，有的是形成刚性粘接；有的可以作为填缝胶，有的却只能粘接紧贴的表面；有的可以承受很高的使用温度，而有些则在高温时就会失效。正如同它们所面对的应用领域一样，胶粘剂的种类也是非常多样化的。因此，在选择胶粘剂时，必须尽可能的谨慎，要保证胶粘剂和所接触的材料以及工作环境之间的兼容性。其中化学兼容性业已经在 3.1 章节中讨论过。正如同 3.1 章节所述，SABIC 创新塑料技术中心正在对市场上大量的胶粘剂进行分析和测试，如您对所用的胶粘剂和聚碳酸酯的化学兼容性有疑问，敬请与我们联系。同时强烈推荐您在使用胶粘剂前，对它和与之接触的物品进行兼容性测试。表 3.5 和 3.6 给出了一些基本的判断标准来帮助客户选择合适的胶粘剂。图 3.2 和图 3.3 给出了一些典型的粘接点构型，可以以此来作为实际粘接应用中的指南。

表 3.5 胶粘剂选择表

胶粘剂类型	粘接 LEXAN 板材和	供应商
环氧	金属，塑料，橡胶	3M
环氧	塑料	3M
聚氨酯	塑料，金属，木材	Henkel（汉高）
聚氨酯	塑料，金属，木材	Henkel（汉高）
热熔胶	塑料，木材	3M
热熔胶	塑料，木材，玻璃，陶瓷	Henkel（汉高）
硅胶	LEXAN 无涂层板，LEXAN Exell D，LEXAN Margard MR5E + FMR，建筑材料	GE Bayer Silicones（迈图有机硅）
改性硅胶	LEXAN 无涂层板，LEXAN Exell D，LEXAN Margard MR5E + FMR，建筑材料	Bostik（波士）， Henkel（汉高）
胶带	塑料，玻璃，金属	3M
胶带	金属，塑料	Fasson（法森）
胶带	—	Velcro（维克罗）
胶带	—	Multifoil
胶带	—	Sellotape

对胶粘剂的选择依赖于接口的设计，接口所处的位置以及周围的工作环境。在最终选用胶粘剂前，务必在真实地条件下对胶粘剂进行完备的测试，以保证具有良好的粘接性和兼容性。

表 3.6 胶粘剂基本分类和性能比较

	冲击性能	耐潮湿性能	组分	温度上限（℃）	填缝性能
环氧	差	非常好	1 或 2	200+	+
聚氨酯	非常好	好	1 或 2	140	+
热熔胶	好	好	1	60	+/-
硅胶	优秀	非常好	1 或 2	250	+

重叠型连接

双平口连接，在承载区域提供最一致的应力分布



比 3 型连接提供更一致的应力分布



允许连接边在应力下弯曲，比 5 型连接更有效



双边重叠比单边重叠连接刚度更大



在载荷作用下可能会产生开裂或剥离应力尤其是当连接较薄板材时



圆形重叠粘接可以为组装件提供更好的刚性和强度，减少平板的变形



双切口重叠相比双平口连接 1 具有更好的弯曲变形抗力



图 3.2 典型的粘接构型

接头粘接

圆头卡笋型连接具有自对齐性



切口卡笋型连接可以用来控制胶线条厚度



凹型卡笋连接改善了平口接头的耐开胶性能



平口接头，通常不推荐采用



图 3.3 典型的粘接构型

3.4 清洁注意事项

对聚碳酸酯板材进行周期性的清洁并不需要特别指定的清洁剂，整个清洁过程也比较简单。但和其他塑料板材一样，LEXAN 板材面临类似的问题，即某些化学品能够造成聚碳酸酯板材结构或表面的损伤。因此在选择清洁剂时请避免使用过分强烈的清洁剂产品。适合 LEXAN 聚碳酸酯材料使用的最基本的清洁剂是温水同温和的肥皂溶液（或家用洗涤剂）的混合液。如有灰尘或污点堆积，请使用软布或海绵蘸混合液浸泡，然后用冷水漂洗干净，用干净的软布擦干来防止水斑形成。但在某些情况下，单纯用上述方法可能无法去处牢固的污点或脏痕（例如某些乱涂乱画所形成的痕迹）。在这些情况下，下列清洁溶剂可能需要使用，清洁工作请在室温下进行。

- 甲醇
- 乙醇
- 丁醇
- 异丙醇
- 油漆溶剂油
- 庚烷
- 己烷
- 石油醚（BP 65）

成型前清洁步骤

如果在成型前需要对 LEXAN 聚碳酸酯板材进行清洁，推荐使用离子化空气来吹除灰尘，或者用软布蘸取异丙醇同水的混合液来轻轻擦除。

清洁 LEXAN Margard 板材的注意事项

LEXAN Margard 板材的涂层表面提供了优良的耐化学侵蚀性能，即使喷漆所形成的涂鸦也可以很容易便捷的擦除。但虽然 LEXAN Margard 板材表面有耐刮花涂层，使用磨料型清洁剂或锋利的清洁工具依然可能破坏涂层表面，因此在清洁中应当避免。

下述步骤推荐用来清除涂鸦（乱涂乱画所形成的图案）

- 涂料，记号笔，墨水，唇膏等，用前面所提到的清洁溶剂（或咨询 JOHNSON DIVERSEY，网站 www.diverseylever.com）
- 标签，胶水等，用煤油或油漆溶剂油
- 用温肥皂溶液清洗，最后用清水漂洗干净。

着重提醒：

- 不要用磨料或强碱性清洁剂清洗
- 不要用橡胶扫帚，剃刀片或其他锋利工具刮擦
- 不要在炎热的阳光下或高温环境内清洁 LEXAN 板材，这会导致污斑的形成

Americas:

SABIC Innovative Plastics
Specialty Film & Sheet
One Plastics Avenue
Pittsfield, MA 01201
USA
Tel. (1) (413) 448 5400
Fax. (1) (413) 448 7506
Toll free: 1-800 451 3147

Europe:

SABIC Innovative Plastics
Specialty Film & Sheet
Plasticslaan 1
NL - 4612 PX Bergen op Zoom
The Netherlands
Tel. (31) (164) 292911
Fax. (31) (164) 293272

Pacific:

SABIC Innovative Plastics
Specialty Film & Sheet
1266 Nanjing Road (W)
16th Floor, Plaza 66
Shanghai, China
Tel. (86) 21 6288 1088
Fax. (86) 21 6288 0818

THE MATERIALS, PRODUCTS AND SERVICES OF SABIC INNOVATIVE PLASTICS HOLDING BV, ITS SUBSIDIARIES AND AFFILIATES ("SELLER"), ARE SOLD SUBJECT TO SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, WHICH CAN BE FOUND AT <http://www.sabic-ip.com> AND ARE AVAILABLE UPON REQUEST. ALTHOUGH ANY INFORMATION OR RECOMMENDATION CONTAINED HEREIN IS GIVEN IN GOOD FAITH, SELLER MAKES NO WARRANTY OR GUARANTEE, EXPRESS OR IMPLIED, (i) THAT THE RESULTS DESCRIBED HEREIN WILL BE OBTAINED UNDER END-USE CONDITIONS, OR (ii) AS TO THE EFFECTIVENESS OR SAFETY OF ANY DESIGN INCORPORATING SELLER'S PRODUCTS, SERVICES OR RECOMMENDATIONS. EXCEPT AS PROVIDED IN SELLER'S STANDARD CONDITIONS OF SALE, SELLER SHALL NOT BE RESPONSIBLE FOR ANY LOSS RESULTING FROM ANY USE OF ITS PRODUCTS OR SERVICES DESCRIBED HEREIN. Each user is responsible for making its own determination as to the suitability of Seller's products, services or recommendations for the user's particular use through appropriate end-use testing and analysis. Nothing in any document or oral statement shall be deemed to alter or waive any provision of Seller's Standard Conditions of Sale or this Disclaimer, unless it is specifically agreed to in a writing signed by Seller. No statement by Seller concerning a possible use of any product, service or design is intended, or should be construed, to grant any license under any patent or other intellectual property right of Seller or as a recommendation for the use of such product, service or design in a manner that infringes any patent or other intellectual property right.

SABIC Innovative Plastics is a trademark of SABIC Holding Europe BV

www.sabic-ip.com

Latest update SABIC (09/2008)