

第十二章

复合材料二次加工



第一节 概述

- 树脂基复合材料的一个重要特点是设计的自由度大。对于诸如凸台，筋，孔等不同成型细节都可以直接成型而获得。但是在实际的应用中往往考虑到成型的难易程度，磨具加工的复杂程度以及整个制造成本，因此要磨具一次成型所有所需细节是不可行的，也是没有必要的，这就需要用到二次修整与加工。

复合材料的机械加工，是借用切削金属和木材加工等方法对复合材料制品进行加工的总称。注意两点：机械加工不能影响产品质量，尽量为机械加工提供方便，必要时应在制品上留出加工余量。



第一节 概述

- 复合材料连接在复合材料结构设计中占有重要地位。合理的连接设计，不但能够满足使用要求，减轻结构质量，而且可以延长结构的使用寿命。否则可能首先在结构连接处产生破坏，甚至造成重大事故。
- 复合材料连接的方法主要分成两大类：即胶接连接和机械连接。在连接设计中，采用胶接或者机械连接，要根据具体使用技术条件决定。一般来说，对于受力不大的薄壁结构，尤其对纤维增强树脂类复合材料元件，应尽量采用胶接连接。对于连接元件较厚；受力大的结构件，多采用螺接或铆接；在某些情况下，为了提高结构件的安全特性而采用混合连接，即胶—螺连接。



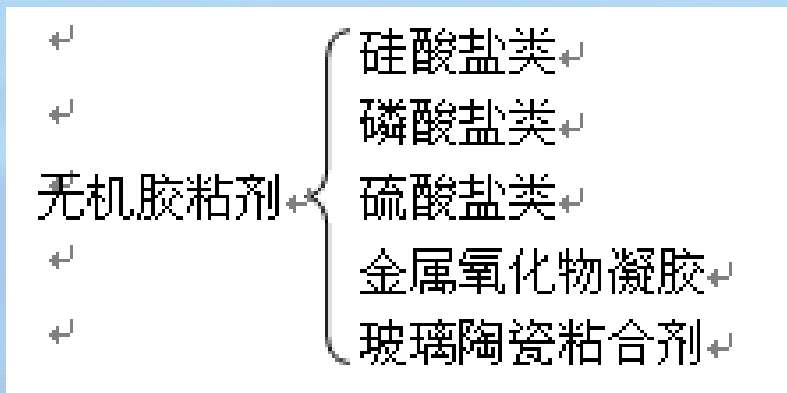
第一节 概述

- 机械连接是指铆接、螺栓连接、销钉连接等。优点：易于检查、易于装拆。缺点：孔切断了纤维，削弱了受力截面，会引起应力集中，从而降低接头的疲劳强度，质量增加，密封性差，外观不好等。
- 胶接连接优点：胶接结构质量轻、强度高，应力分布均匀；外形光滑整齐，工艺简单，周期短，可省功省时。

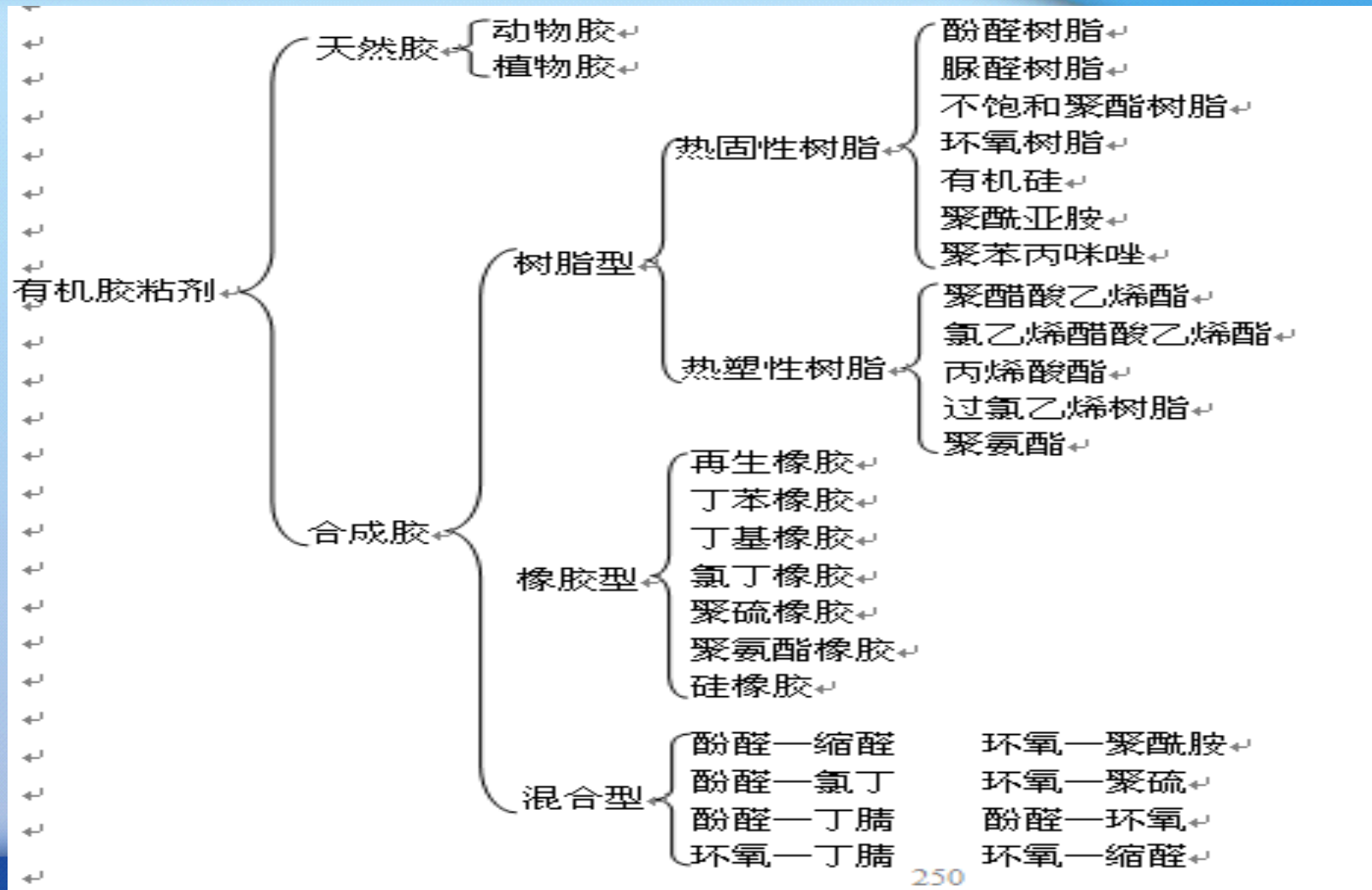


第二节 复合材料胶接连接

- 12.2.1 胶粘剂的分类
- (1) 按成分分类
- 按成分分类主要有无机胶粘剂和有机胶粘剂。具体分类如下：



• 第二节 复合材料胶接连接



250



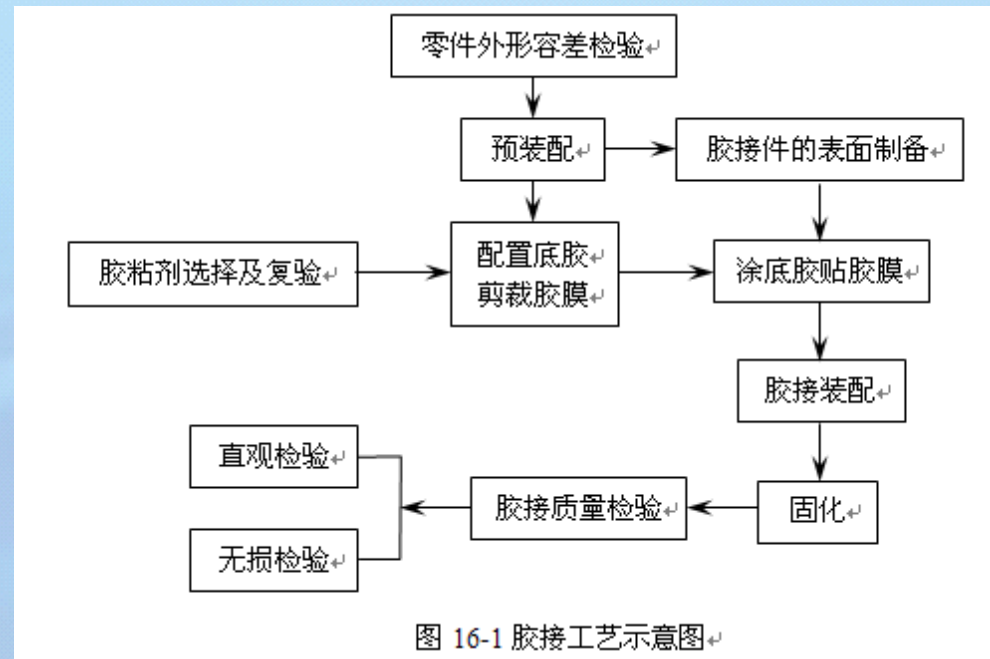
第二节 复合材料胶接连接

- (2)按胶接强度分类
- 按胶接强度分类，可分为结构型、次结构型和非结构胶粘剂。结构胶粘剂有较高的胶接强度，其胶接接头能够承受较大的载荷，可用来胶接各种承力构件。复合材料的胶接中主要用结构胶粘剂。
- (3)按固化形式分类
- 按固化形式分类，可分为溶剂挥发型、化学反应型及热熔型等三种。
- (4)按外观分类
- 按胶粘剂的外观形式，可分为溶液型、乳液型、膏糊型、粉末型、固体型等五种。



第二节 复合材料胶接连接

• 12.2.2 胶接工艺



第二节 复合材料胶接连接

- 1各种材料的表面处理
 - (1)金属的表面处理
 - 金属的表面处理方法有溶剂清洗、机械处理和化学处理。处理后的表面尽可能快地进行胶接。操作时应戴干净手套和使用干燥工具。
 - (2)复合材料的表面处理
 - 未经加工的复合材料胶接表面，先用砂纸和铜丝刷打磨，以去除脱模剂及其它有机物，并使表面粗糙度在 $0.8\ \mu\text{m}\sim 3\ \mu\text{m}$ 范围内，经加工的复合材料胶接表面，用毛刷除去粉末，再用丙酮或四氯化碳做去尘脱脂处理，最后用风机吹干待用。
 - (3)塑料的表面处理
 - 塑料首先用相应的溶剂去除污染物，然后才能进行机械处理或化学处理。



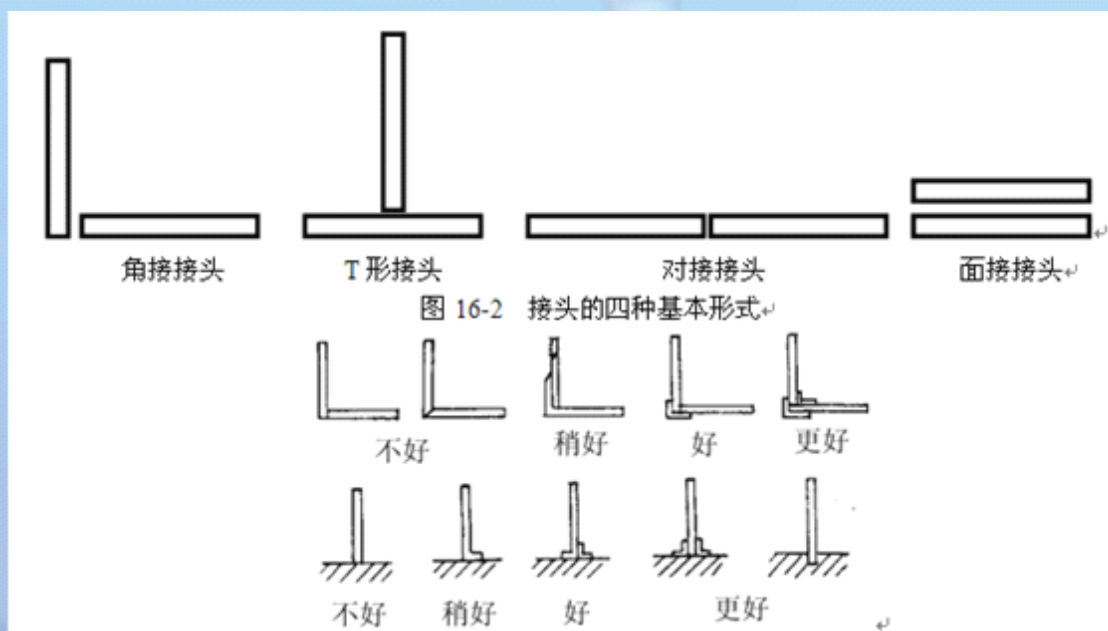
第二节 复合材料胶接连接

- 2胶粘剂的涂敷
- 涂胶的关键是保证胶层厚度合适，且均匀无气泡，无缺胶。涂敷方法主要有：刷涂法、自流法、喷涂法、滚涂法。
- 3胶粘剂的固化
- 加热和加压的方法很多，主要加热方式有：直接加热固化(电热、液体加热或蒸汽加热)，辐射(红外或远红外线)加热固化，电热器加热、感应加热；高频电介质加热、超声波加热等方法。
- 胶粘剂固化采用的加压设备有：液压床或风动压床；气(液)压垫；重量加压；机械加压；真空加压，热压罐加压，热压机或热压板加压等。



第二节 复合材料胶接连接

- 4接头形式:
- 角接接头、T形接头、对接接头、面接接头。



第二节 复合材料胶接连接

- 12.2.3 几种常用胶粘剂
- (1) HY1-6胶粘剂
- 是一种容易固化的胶状液体。它以618环氧树脂为基体，四乙烯五胺为固化剂并加有增塑剂及无机填料的一种胶粘剂。优点：粘附力强，固化收缩小，能耐化学药品、有机溶剂和油类等介质的侵蚀，电绝缘性能较好，使用方便，可室温固化，固化时只需接触压力。缺点：固化后耐热性及韧性较差。可用于复合材料与复合材料，复合材料与钢，复合材料与铝及钢与钢之间的结构胶接。
- 使用方法：用毛刷或刮刀在已处理好的胶接面上均匀地涂上一层胶液，涂胶量约为 $150\text{g}/\text{m}^2 \sim 200\text{g}/\text{m}^2$ 。将两胶接面叠合，施加接触压力使相对位置保持固定，在不低于 20°C 的环境下，静置3昼夜，或于 60°C 烘4h或 80°C 烘2h能完全固化。



第二节 复合材料胶接连接

- (2) 环氧聚酰胺胶粘剂
- 它是以环氧树脂为基体，聚酰胺为固化剂的一种胶粘剂。优点：有很好的韧性，粘结力强、挥发性小、无毒、配比范围大、耐磨及电性能好等特性，适用周期长，常温固化和加热固化均可。反应放热低，容易控制，因而应用很广。对铝、铁、有色金属及非金属如复合材料、玻璃、陶瓷等的胶接效果都较好。
- 使用工艺：在经 150°C 预热半小时的胶接面上均匀涂上一层 0.15mm 以下的胶，在室温下晾置 $5\text{min}\sim 10\text{min}$ ，使胶能在胶接表面上充分扩散渗透。叠合胶接面，施加接触压后，使相对位置固定。在不低于 20°C 的环境下，放置3昼夜，即可完全固化。最佳的固化条件是： 60°C 固化 2h 后再经 100°C 固化 1h 或 100°C 固化 2h 。



第二节 复合材料胶接连接

- (3) 201胶粘剂(即FSC-1胶粘剂)
- 这种胶粘剂是酚醛树脂和聚乙烯醇缩甲醛树脂溶于苯和乙醇混合溶剂中制成。可在 $-70^{\circ}\text{C}\sim 150^{\circ}\text{C}$ 温度范围内使用, 优点: 具有高强度和较好的耐老化、耐水、耐油性能。性能稳定且价廉, 适应于铝、铜、钢等金属之间的粘接, 对于非金属材料如玻璃纤维复合材料、陶瓷、玻璃等胶接效果也良好。可用作使用温度在 150°C 以下的耐热结构胶。
- 使用时, 在胶接面上均匀地涂刷三次, 每次涂后在室温下晾置 $15\text{min}\sim 20\text{min}$ (视空气湿度而定), 然后将两胶接面叠合, 加上接触压 0.1MPa 的压力, 于 160°C 固化 3h 或 140°C 固化 6h 。



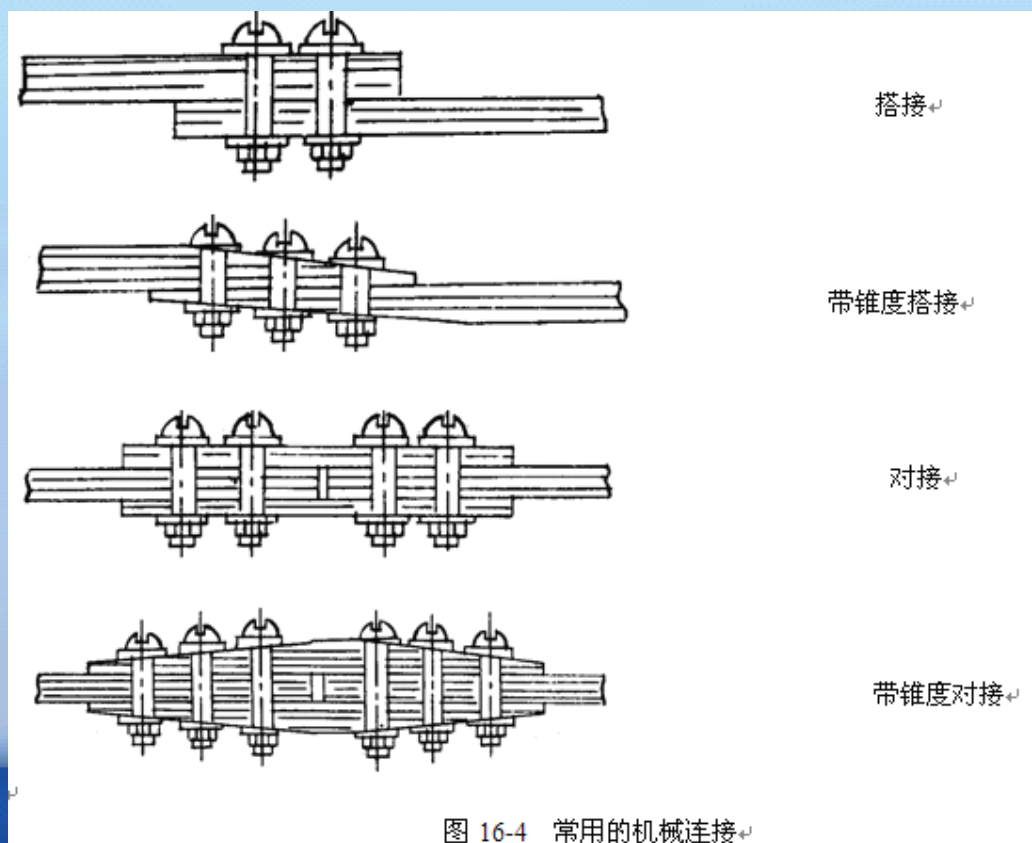
第二节 复合材料胶接连接

- (4) 204胶粘剂
- 204胶粘剂(即JF-1胶)是改性酚醛树脂溶于有机溶剂的溶液。特点: 优良的耐热性及较高的结构强度, 可在300℃下工作5h, 在200℃下长期工作; 良好的耐水性, 对汽油、乙醇等有机溶剂是稳定的, 对各种金属也不产生腐蚀, 胶缝的密封性较好。它可有效地用于各种碳钢、合金钢、铝, 镁, 钛等合金; 耐热酚醛层压板; 各种玻璃纤维复合材料, 金属与非金属的蜂窝材料等自身或相互之间的胶接。
- 使用时, 用毛刷进行涂胶, 共涂三次, 每次在湿度小于70%的清洁环境下晾置20min~30min, 叠合, 加0.1MPa~0.2MPa的压力, 于180℃下固化2h或160℃下固化4h即可。



第三节 复合材料的机械连接

- 复合材料的机械连接，是指铆接、螺栓连接、销钉连接等。机械连接形式主要有搭接和对接两种，具体机械连接方式如图：



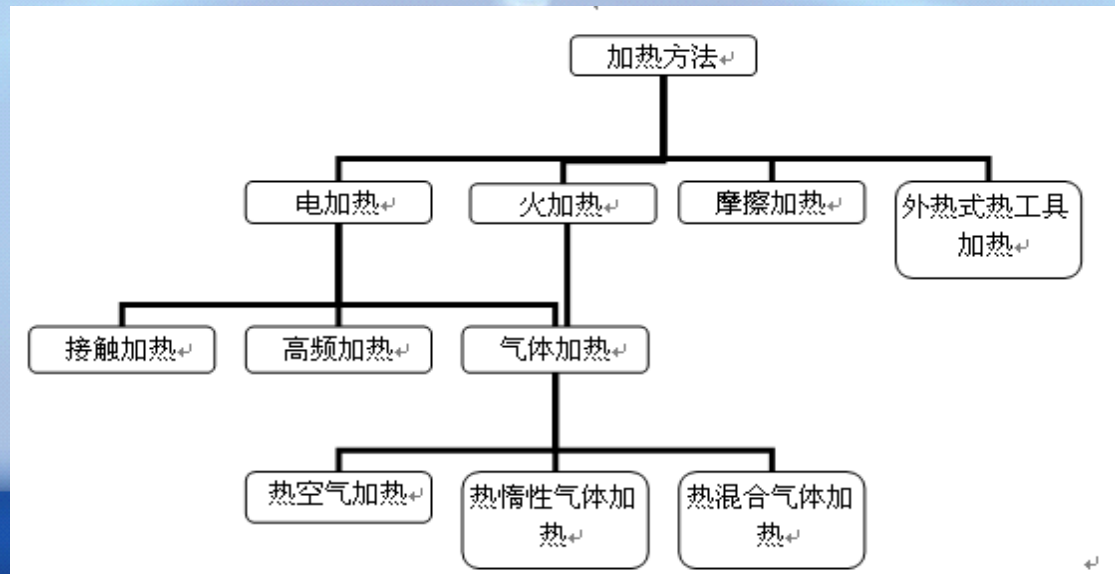
第三节 复合材料的机械连接

- 复合材料夹层结构连接中，大多采用胶接，但是对受力较大的构件之间的连接，则多采用胶接和螺接的混合形式。混合连接有胶—螺、胶—铆和胶—焊等混合连接形式。
- 根据工艺上的先后次序，混合连接可以有两种办法，拿胶—铆来说，一是将接头按正常的胶接工艺进行操作，待胶凝全部固化以后，再在需要的地方打几个铆钉。另一个办法是在胶接施工以前，先定好铆接位置，钻好孔，胶接以后，再进行铆接，最后固化。借助铆钉的压力进行加压，胶接零件相互位置的准确，但缺点是胶层厚薄不易控制，特别是当制件较薄的时候，有的地方就不容易加上压力，可能影响胶接质量。如果接头需要密封，可以在铆钉头上先涂上一些胶，再进行铆接。



第四节 热塑性复合材料的焊接连接

- 焊接是塑料的主要加工方法之一，塑料焊接技术已成功地应用于很多工业部门。其也可以作为热塑性复合材料的一种连接方式。
- 塑料焊接，就是利用加热的方式，将塑料母材及焊条加热到流动点以上，使之成为粘流态，在一定的压力下填满焊缝，而使各零部件相互熔接在一起的方法。



第五节 复合材料的机械加工

- 复合材料机械加工基本上沿用了对金属材料的一套机械加工方法，如车、铣、刨、磨、钻等，它可以在一般木材加工机床或金属切削机床上进行。
- 复合材料制品最好不要机械加工，如确实需要机械加工，也要在产品设计中考虑周到，加工量要尽量少，且应在制品上留出加工余量。
- 机加工方式包括：车削加工，铣削加工，锯(磨)削，钻孔、攻丝和车螺纹。



第五节 复合材料的机械加工

- 12.5.1 复合材料机械加工特点
- (1) 纤维复合材料是由硬度高的纤维增强材料和软质的树脂组成，切削加工时，是软硬相间，断续切削，每分钟可达百万次以上冲击，致使切削条件恶化，刀具磨损严重。
- (2) 复合材料切削加工性比金属材料差，在切削过程中，金属刀具和复合材料摩擦所产生的热主要传给刀具和制品，由于制品导热性能差，极易造成局部过热，致使刀具发生退火，硬度下降，加速刀具的磨损，缩短使用寿命，因此，要求刀具耐热和耐磨性要好。



第五节 复合材料的机械加工

- (3) 复合材料的线膨胀系数比金属高(约为金属的1.5倍)，弹性模量低(为钢材的1/10~1/20)，所以在切削加工时，制品加紧力要适当，要采用刀口锋利的刀具。
- (4) 复合材料在机械加工时，由于过热和震动，容易发生分层、起皮、撕裂等现象，所以要考虑切削力方向，选择适当的切削速度。
- (5) 复合材料中的树脂不耐高温，高速切削时胶粘状的碎屑遇冷又硬化，碎屑极易粘刀，故切削速度要适当，不能太高。
- (6) 复合材料制品在进行机械加工过程中，会产生大量粉尘，因此，必须采取有效的除尘通风措施。



第五节 复合材料的机械加工

- 12.5.2常用的机加工方式
- 1. 车削加工
- 车削工序是复合材料切削加工中主要组成部分，绝大部分复合材料零件都离不开车削工序。
- 切削加工可进行车外圆、端面、内孔、切槽、切断、螺纹等。一般车削时侧面和前面的间隙必须比加工金属时略大一点，刀具安放的位置最好稍微偏中心线下方。切削速度要高，吃刀要浅，进刀要慢，刀具必须保持锋利。在需要粗切削和高进刀速度时，应采用冷却剂。
- 2 铣削加工
- 复合材料铣削加工，是复合材料层压件非常广泛的加工方法之一。它不仅可以进行各种平面、沟槽、台阶、螺旋槽、齿轮、螺纹、异形面，还可以加工各种异形试体。铣削时的切削速度为 $30\text{m}/\text{min}\sim 50\text{m}/\text{min}$ 左右。一般情况下，采用较低的转速是改善加工质量的有效途径。



第五节 复合材料的机械加工

- 3 锯(磨)削
- 复合材料机械加工中，锯切是主要加工方法之一，应用很广。特点：生产效率很高。
- 复合材料锯(磨)削加工，常用的砂轮一般多采用黑色碳化硅和人造金刚石磨料，有时也用氧化铝微晶刚玉磨料(氧化铝)。砂轮磨料选择，一般情况下，脆性较大材料，如酚醛/玻璃纤维复合材料，应选择黑色碳化硅磨料，环氧和聚酯类复合材料选用氧化铝（白钢玉和微晶刚玉）。
- 锯(磨)削过程中，要特别注意防止因摩擦过热及振动使制品分层，要采用冷风或液体冷却剂。如果是干锯，则必须加除尘装置。

第五节 复合材料的机械加工

- 4 钻孔、攻丝和车螺纹
- 钻孔在复合材料加工中应用非常广泛，工具是麻花钻。由于复合材料的导热系数小，而热膨胀系数和弹性回复都较金属大，故钻孔时摩擦热很大，钻孔材料有一点收缩。因此，对精密孔应钻得略大一点。
- 攻丝是指在孔眼内制出内螺牙。车螺纹则是在圆柱体上制出外螺牙。攻丝工具是丝锥。目前主要采用高速钢丝锥进行攻丝，特点：成本低，制造容易，但材料损坏严重。
- 车螺纹一般是在车床上进行，切削速度采用 $10\text{m}/\text{min}\sim 20\text{m}/\text{min}$ ，吃刀深度要严格控制，合理选择切削用量。
- 复合材料螺纹车削时，冷却除尘对切削效果有极大影响，除尘差不仅严重影响刀具的使用寿命，而且还明显地影响螺纹加工质量，因此，在生产实践中应充分冷却除尘。



本章结束

