

树脂基碳纤维复合材料制孔缺陷及其钻削工艺研究

蔡闻峰 周惠群 何 颖 李河清

(西北工业大学, 西安 710072)

摘要 针对树脂基碳纤维复合材料制件制孔时存在的几何缺陷及其钻削时特有的缺陷等质量问题, 根据树脂基碳纤维复合材料的特性, 提出了在树脂基碳纤维复合材料制孔过程中应采用的工艺方法, 并提供了合理的钻削工艺参数。实践证明, 该工艺方法解决了树脂基碳纤维复合材料制孔这一加工难题, 提高了加工效率, 改善了飞机零部件的连接及装配质量。

关键词 树脂基碳纤维复合材料 制孔 缺陷

树脂基碳纤维复合材料具有质轻、强度高、成型性较好, 且具有耐腐蚀和优良的电磁波穿透性等特性, 已被广泛应用于军用、民用等众多领域。特别是先进复合材料在现代飞机结构上的应用越来越广泛, 这对树脂基碳纤维复合材料零部件的连接和装配质量亦提出了很高的要求。

复合材料制件之间、复合材料制件与金属件之间主要采取铆接和螺接的连接形式。相对于金属件的连接, 复合材料的连接接头是结构的薄弱环节。据统计, 航空航天飞行器 60% ~80% 的破坏都发生在连接部位^[1]。因此, 研究复合材料的制孔及连接方法, 对减轻结构质量, 提高飞行器性能, 促进复合材料在航空航天和其它领域的应用具有非常重要的意义。

1 树脂基碳纤维复合材料的特性

树脂基碳纤维复合材料的主要特性是性能的可设计性和制件的易成型性。飞机上使用的大多是环氧树脂或酚醛树脂基碳纤维复合材料。碳纤维具有密度小, 弹性模量高, 高、低温力学性能好, 且具有好的耐化学腐蚀性、导电性和低的摩擦系数等优点^[2]。碳纤维还具有纤维的柔曲性和可编性。树脂基碳纤维复合材料的弹性模量高, 是玻璃钢的 3 ~6 倍, 比模量、比强度高, 其比模量高于钢、铝和玻璃钢, 这是由碳纤维和树脂基体的性质决定的。

树脂基碳纤维复合材料大多采用叠层成型工艺制造, 由于碳纤维脆性大、硬度高、表面光滑, 与环氧树脂或酚醛树脂的结合力差, 因此层间剪切强度低、抗剥离性能差。此外, 树脂基碳纤维复合材料断裂应变小、抗冲击性能差^[3]。

2 采用传统钻削法制孔的缺点

树脂基碳纤维复合材料是一种新型结构材料, 采用传统钻削金属的方法制孔, 存在诸多问题。

2.1 刀具磨损严重

树脂基碳纤维复合材料的硬度(62 ~65 HRC) 和高速钢钻头常温硬度(62 ~65 HRC) 极为接近。传统钻削多采用碳素工具钢或高速工具钢, 刀具磨损严重。如采用高速钢钻头钻削树脂基碳纤维复合材料时, 每个钻头钻削 3 ~5 个孔, 钻头就需要重新磨刃。

2.2 制孔时存在的主要缺陷

钻削树脂基碳纤维复合材料时, 主要存在两类缺陷^[4], 一是孔的尺寸精度、位置精度不合格, 圆度超差等几何缺陷, 如孔形不圆、孔的尺寸收缩, 这些缺陷在金属零件制孔中也存在。二是孔出、入口处的纤维劈裂或撕裂, 孔内壁周围材料分层等树脂基碳纤维复合材料制孔时存在的特有缺陷, 这也是树脂基碳纤维复合材料制件连接和装配中导致报废的主要原因。

2.3 工艺参数难以控制

对树脂基碳纤维复合材料的切削、钻孔必须严格控制进刀量、速度、润滑液及工装复位等工艺参数。以防背面纤维崩断。高度方向性铺叠的层压板在铺叠区钻孔时容易出现沟槽。

2.4 手工钻孔可引起大的损伤

在树脂基碳纤维复合材料钻孔加工中, 由于手风钻在控制进给量方面比较困难, 尤其是快要钻透时进给量控制不当, 易出现复合材料的分层和劈裂, 且孔的垂直度不好。为此需采用在钻孔全过程能自动控制进给量的工具。

3 原因分析及解决方案

产生上述缺陷的主要原因是碳纤维与树脂基体结合力差, 承受非纤维轴向负荷的能力, 亦即层间剪

切强度不好,抗冲击能力差。同时压缩强度也较低,钻孔时钻头轴向进给力过大时易造成制件层间分层,叠合层(出口段)的分层、撕裂、起毛及入口劈裂等缺陷。

树脂基碳纤维复合材料钻孔出口附近、孔壁周围材料的分层是整个孔分层缺陷的最严重部位,它主要是由于钻削轴向力引起的张开型裂纹破坏造成的。为此,应依据树脂基碳纤维复合材料的特性,从树脂基碳纤维复合材料制件成型到制孔过程中采用相应的成型方法和合理的钻削工艺参数,从而解决其制孔的加工难题。

3.1 出口处加垫板法

在制件结构和开敞性允许时,生产或维修中常采用在孔出口处加垫板(如硬塑料板、夹层胶木板或铝板等)的方法,防止出现分层和劈裂,如图1所示。

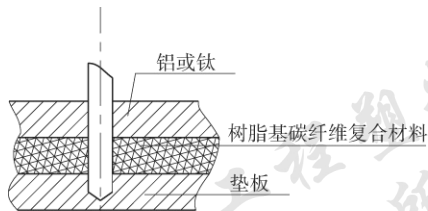


图1 从铝或钛面钻入示意图

当从树脂基碳纤维复合材料面钻入时,可不加垫板支撑,用硬质合金麻花钻按钻铝或钛的转速钻削,直至钻通为止(见图2)。为防止金属切屑划伤复合材料孔壁,应注意断屑。

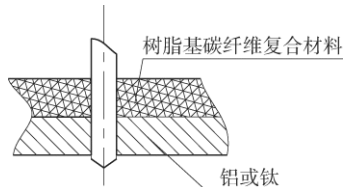


图2 从树脂基碳纤维复合材料面钻入示意图

当用可控进给钻配上钻模板钻孔时,应采用四直槽钻铰复合钻头,转速为4000 r/min、进给量控制在0.007~0.02 mm/r时可不加垫板,这是因为在进给速度恒定的前提下,主轴(钻头)转速越高,进给量就越小,钻头轴向进给力也就越低。

3.2 制件加强法

在树脂基碳纤维复合材料制件要钻孔部位的出口面粘贴可剥布或固化胶层,对孔的出口面进行加强,可防止孔出口面的分层和劈裂。

3.3 采用高硬度刀具^[5]

试验证明,用传统碳素工具钢、高速工具钢钻头

钻削树脂基碳纤维复合材料时,刀具磨损极为严重,因而必须选用高硬度的刀具。航空部门在参考国外硬质合金选材基础上,经试验认为用钨-钴硬质合金刀具是比较合适的。因为这类硬质合金(显微硬度可达13000~18000 MPa)有较高的弯曲强度和韧性,可以减少钻削时崩刃,同时磨削加工性好,适于磨出锋利的刃口。

对于8 mm以上的树脂基碳纤维复合材料制件孔的加工,优选人造金刚石(显微硬度可达10000 MPa)大直径套料钻和人造金刚石磨轮,可获得满意的加工质量。

金刚石套料钻和铤窝钻的钻体采用经调质的45[#]钢或工具钢,切削部分用电镀法均匀镀上一层人造金刚石,具有内韧外刚的特点,耐用度高,克服了整体式硬质合金刀具的脆性,可满足树脂基碳纤维复合材料制件实际装配的使用要求,实际成本低于硬质合金刀具。

金刚石粒度可按加工需要选择,对工件表面粗糙度和精度要求不高的选粗粒度(180~300 μm),切削轻快,工作效率高,刀具寿命长。对有精度和表面粗糙度要求的选用较细的粒度(106~150 μm)为宜。

3.4 钻头几何参数及钻型选择

影响钻头轴向进给力的因素包括钻头的几何参数、进给量、转速、钻头磨损等。通过调整钻头的几何参数和钻削工艺参数,将钻头的轴向进给力控制在一定的范围内,可在不加垫板的情况下钻出高质量的树脂基碳纤维复合材料连接孔。

材质为Y330的3~8 mm的整体式麻花钻头、铤窝钻、铰刀,可满足树脂基碳纤维复合材料制件的制孔要求。这种钻头的顶角(2φ)为100°~120°、螺旋角为25°~30°、钻芯厚度为0.9~1.3 mm,后角对钻削性能有较大影响,其角度以15°~25°为好。轴向进给力较小,钻头耐用度较高。可改进钻头形状,如双刃扁钻和四直槽钻铰复合钻等,也可获得满意的质量。一次磨刃,钻孔可达100个以上。

整体式硬质合金铤窝钻制造工艺复杂,目前尚不能进行工业化生产,所以用该钻头加工大孔时,成本高、经济效益低。且钻削时轴向进给力随钻头直径加大急剧增大,易引起树脂基碳纤维复合材料分层。铤窝钻铤190个窝即磨钝,不能重新修磨,故使用寿命较短。

3.5 制孔工艺

(1) 钻削工艺

对于树脂基碳纤维复合材料, 当孔径小于 8 mm 时, 应使用整体式硬质合金麻花钻钻孔, 孔的出口面必须加垫板或在复合材料的上下表面同时加工, 一般选用低进给量 (0.02 ~0.06 mm/r) 和较大转速 (1400 ~2400 r/min)。当转速小于 1000 r/min 时, 易出现分层和劈裂。当转速介于 1000 ~1500 r/min 时, 无分层和劈裂现象, 且孔壁光滑。当进给量为 0.02 ~0.04 mm/r 时, 孔的加工质量最好。当孔径大于 8 mm 时, 为降低钻孔时的切削力, 特别是轴向进给力, 避免分层和劈裂, 可采用以镗代钻的方法, 也可先采用硬质合金钻头钻一小孔, 然后用电镀金刚石套料钻制出大孔。此时, 孔径精度小于 0.03 mm, 位置精度小于 0.15 mm。

(2) 铰孔工艺

如需铰孔, 钻孔时应留出铰孔余量 (0.15 ~0.4 mm), 然后采用与普通直槽刀相同的 YG330 硬质合金短铰刀以 500 r/min 的速度铰至最后尺寸。

(3) 铤窝工艺

应尽量将钻孔出口面放于铤窝面, 可用普通三刃式 YG330 硬质合金铤窝钻以 500 ~800 r/min 转

速进行, 或人造金刚石铤窝钻以 1400 ~2400 r/min 转速进行, 为防止表面纤维劈裂, 铤窝钻必须在旋转以后接触工件。人造金刚石铤窝钻铤窝质量及使用寿命均远高于 YG330 硬质合金铤窝钻。铤窝时铤窝深度不应超过层压板厚度的 70%。因为铤窝过深会使材料挤压性能退化, 并增加孔的摩擦, 影响制孔质量。孔需倒角时, 需用金刚石铤窝钻, 倒角转速为 600 r/min 左右, 经无损检测, 此时铤窝质量较佳。

4 结语

在树脂基碳纤维复合材料制孔过程中采用相应的工艺方法和合理的钻削工艺参数, 可解决树脂基碳纤维复合材料制孔这一加工难题, 进而提高加工效率, 改善飞机零部件连接及装配质量。实践表明, 这一方法值得推广和应用。

参考文献

- 1 官焕华. 复合材料的加工工艺与连接技术. 宇航材料工艺, 1998 (4): 28
- 2 Savage G. Carbon-Carbon Composites. London: Chpman & Hall, 1992.
- 3 沈观林. 复合材料力学. 北京: 清华大学出版社, 1996.
- 4 Konig W, Grap P. Quality definition and assessment in drilling of fibre reinforced thermosets. Annals of the CIRP, 1989, 38: 119
- 5 B. B. 沃洛别依, O. C. 西洛特金 复合材料结构连接技术. 张国梁译. 北京: 国防工业出版社, 1991.

STUDY ON DEFECT AND DRILLING PROCESS OF CARBON FIBRE REINFORCED RESIN COMPOSITE

Cai Wenfeng, Zhou Huiqun, He Ying, Li Heqing

(Northwest Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

ABSTRACT The corresponding technology of carbon fiber reinforced resin composite in drilling was put forward according to the geometry defects and special flaws combining the material charactics. The proper drilling parameter was given. The practice proved that the problem of drilling was solved by using this technology. The drilling efficiency, connetction and assembling qualities were improved.

KEYWORDS carbon fiber reinforced resin composite, drilling, defect

Forton 和 Chevron Phillips 公司都将翻番 PPS 产能

Forton 工业公司 (Ticona 技术聚合物和 Kureha 化工公司的合资企业) 决定提高其在美国北卡罗来纳州 Wilmington 的线性聚苯硫醚 (PPS) 装置的生产能力, 扩容后的产能将提高 1 倍, 达 15 kt/a, 2007 年上半年建成投产, 总投资 6 500 万美元, 使该装置成为世界上最大的 PPS 装置, 这是 Forton 工业公司 1993 年成立后第 6 次也是最大规模的装置扩容。Forton 公司估计, 目前全球 PPS 的总产能约为 40 kt/a, 消费年均增幅大于 10%, 预计 2008 年的消费量将超过 50 kt。

雪佛龙-菲利普斯 (Chevron Phillips) 化学公司计划提高其在德州 Borger 的 PPS (商品名 Ryton) 装置的生产能力, 产能将提高 1 倍, 达 11 kt/a, 预计将在 2007 年中期开车投产。

(唐伟家)

汽车制造青睐碳纤维材料

碳纤维材料现在已成为汽车制造商青睐的材料, 在汽车的内外装饰中开始大量采用碳纤维替代金属材料。

碳纤维作为汽车材料, 最大的优点是质量轻、强度大, 质量仅相当于钢材的 20% ~30%, 硬度却是钢材的 10 倍以上。所以汽车制造采用碳纤维材料可以使汽车的轻量化取得突破性进展, 并节省能源。业界认为, 今后碳纤维在汽车制造领域的用量会越来越大。据悉, 福特和保时捷生产的 GT 型赛车的发动机机罩已全部采用碳纤维材料; 奔驰 57S 型轿车原来的内装饰全部是木质材料, 现在则以碳纤维替代; 通用的雪佛莱轿车底盘的内装饰材料也采用碳纤维; 宝马公司的 M6 型轿车的顶篷全部采用碳纤维, 并进行技术处理, 使其保持金属材料的光泽。

(牛序谋)