

碳纤维椅盆钻削技术研究

Research on Drilling Technology of CFRP Seat Bucket

中航工业直升机设计研究所 吴继东 秦 武

[摘要] 碳纤维(CFRP)作为一种先进的增强复合材料在机械工程中应用广泛,但成型构件的制孔技术却始终制约着其应用和发展。通过对乘员座椅中的碳纤维复合材料椅盆钻孔时的技术问题、加工工艺等进行归纳和总结,摸索出适合碳纤维复合材料椅盆钻孔的工艺方法,并在相关刀具材料、几何形状及角度、工艺参数等方面提出了建议。

关键词: 碳纤维 椅盆 钻孔夹具 钻削

[ABSTRACT] CFRP is widely used in mechanical engineering field as a kind of advanced composites, but the technology of drilling in molding components restricts its application and development. The problems and processing technic of drilling in CFRP seat bucket is concluded, so a method of drilling in CFRP seat bucket is found and advice on related tool materials, geometrical shape, angles, technological parameters and so on is given.

Keywords: CFRP Seat bucket Drilling fixture Drilling

碳纤维(CFRP)是一种高性能、多功能的新型材料,在航空航天、汽车、建筑等领域的应用非常广泛。目前,国内随着碳纤维复合材料应用的不断推广,成型后的二次加工越来越多,其中钻削加工量比例非常大,约占总切削加工量的50%以上^[1]。虽然该材料具有诸多优点,但其切削加工性差,在机械加工中仍存在很多需要解决的技术问题,如碳纤维加工理论研究、专用刀具开发、刀具的磨损、工艺参数的选择等,这些问题不仅影响产品加工精度和生产效率,而且会严重制约国内碳纤维复合材料的应用与发展。

某乘员座椅中的椅盆材料是碳纤维复合材料,采用金属模具成型。在椅盆成型后二次加工过程中,针对钻孔时普遍存在的技术问题进行了不同参数下的切削试验,包括在零件定位、装夹、刀具的选用、切削参数的选择以及钻孔夹具的设计等方面都进行了试验和总结。在借鉴了国内对碳纤维复合材料钻孔技术研究经验的基础上,对椅盆的钻削加工方法进行探索,总结出一套碳纤维椅盆钻削加工的成熟工艺,为今后加工类似零件

提供了解决方法和借鉴。

1 工艺性分析

1.1 材料切削加工性

碳纤维复合材料由碳纤维多层叠加固化成型,按纤维方向的不同分为单向和多向复合材料,固化后的硬度可达HRC62~65,与高速钢钻头常温硬度极为接近,用一般的碳素工具钢或高速工具钢钻头切削,钻头磨损严重^[2],因此,碳纤维复合材料的切削加工性很差。另外,碳纤维还具有强度大、导热性差、各项异性等特点,钻削时纤维面与刀具剧烈摩擦从而产生高温,极易产生残余应力,使孔口纤维组织发生剥离、分层、起毛、翻边、甚至撕裂等现象^[3]。

1.2 零件结构工艺性

椅盆零件是座椅中的重要承力件(如图1所示),其外形结构复杂,外表面除有4处安装沉孔外,其余均为曲面。在安装表面和部分曲面上分布有很多螺栓孔和铆钉孔,其中24个 $\phi 6.1\text{mm}$ 和2个 $\phi 8\text{mm}$ 螺栓孔,14个 $\phi 4.1\text{mm}$ 铆钉孔,所有孔均成型后钻削加工。由于椅盆的外表面为曲面,其设计基准与工艺基准不重合,孔的标注尺寸多为空间尺寸,加工时没有可靠的定位基准和测量基准。试验件按照单件生产的工艺方法,由钳工划线后采用手电钻手工钻孔,由此加工的零件表面加工质量和互换性较差,孔位置精度很难保证。

1.3 加工技术难点

综上所述,椅盆钻削加工中存在以下技术难点:

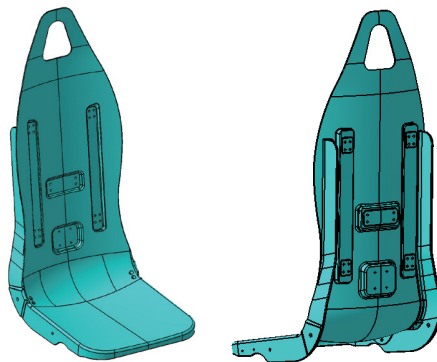


图1 椅盆零件外形图

Fig.1 Outside view of seat bucket

(1)设计基准与工艺基准不重合,加工时没有可靠的定位基准;(2)外形多为曲面,设计基准与测量基准不重合,加工时测量困难;(3)碳纤维复合材料的切削加工性很差,钻孔加工时极易产生残余应力,使孔口纤维组织产生剥离、分层、起毛、翻边、撕裂等缺陷;(4)碳纤维复合材料硬度高,钻孔加工时刀具与纤维面剧烈摩擦,引起刀具较快磨损,降低了刀具耐用度;(5)切屑形式多为粉尘,不易排屑、增加摩擦,切削区温度高,尺寸精度和表面粗糙度不易达到要求。

2 解决措施

通过上述对碳纤维加工性分析,针对其硬度高、强度大、导热性差、各项异性等特点,选用强度高的刀具材料并采用高转速、低进给量的工艺参数控制钻孔的表面质量。此外,由于椅盆的外表面多为曲面,具有直接加工定位困难、孔表面加工质量和位置精度难以保证、互换性差的特点,结合椅盆的结构特点,设计钻孔夹具以解决椅盆加工时的定位和测量困难问题,确保椅盆孔加工质量。

2.1 刀具的选择和刃磨

首先,针对碳纤维硬度高的特点,选取 YG6X 整体硬质合金麻花钻头来减少刀具磨损,提高刀具耐用度;实际加工过程中,钻头承受的切削抗力越大,越容易产生各种缺陷,而切削抗力主要来自主切削刃和横刃,其中横刃产生的切削抗力占 50% 以上^[3]。因此将钻头修磨成三尖两刃型式的群钻,有利于定中心;修磨钻心处螺旋沟表面,增大该处前角,缩短横刃长度为原来的 1/2~1/4,可减小切削力,能够有效减少钻孔时产生的各种缺陷,提高钻孔质量。

2.2 切削用量的确定

钻孔加工是碳纤维复合材料最主要的切削加工形式,切削力是切削加工中最重要的参数之一^[1]。为进一步了解碳纤维复合材料的钻削加工性能,定性地掌握切削力与切削参数之间的关系,结合椅盆零件上孔的特点,选取几组常用的切削用量进行试验,从试验结果中分析其特性,为后续切削用量的确定提供依据。

按要求钻孔试验安排在摇臂钻床上进行,试验工件为 8 mm 厚多向碳纤维复合材料板,钻头选择材料为 YG6X 整体硬质合金麻花钻头,孔径为 $\phi 4.1\sim 8$ mm。试验参数为:主轴转速 1620r/min 和 2240r/min,进给量为 0.01~0.07mm/r,进给速度为 22.4~113.4mm/min,切削时不加冷却液,选用采取或不采取保护措施(即孔口周围用铝板和橡胶板进行夹紧加固)。具体钻削条件及参数见表 1。

按表 1 中的工艺参数组合钻削后发现,影响钻孔切

表1 碳纤维钻削条件及工艺参数

孔径 ϕ /mm	主轴转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	进给速度 / ($\text{mm} \cdot \min^{-1}$)	进给量 / ($\text{mm} \cdot r^{-1}$)	保护措施	孔口质量
8	1620	113.4	0.07	无	很差:分层、翻边
6.1	1620	112	0.05	无	差:毛刺、翻边
4.1	1620	89.6	0.04	无	较差:毛刺、少翻边
8	2240	67.2	0.03	有	较好:毛刺
6.1	2240	32.4	0.02	有	好:少量毛刺
4.1	2240	22.4	0.01	有	好:光滑

削力变化的主要因素有主轴转速、进给速度、进给量、钻头直径等,试验结果主要是通过观察孔口质量来衡量,经过多组试验件的钻孔试验对比得出以下规律:

(1)主轴转速越高,切削力越小;(2)进给速度和进给量越大,切削力越大;(3)钻头直径越大,切削力越大;(4)孔口周围采取保护措施能防止撕裂、分层,明显减少毛刺翻边。

通过对试验结果进行分析,最终确定切削用量为:主轴转速 2240r/min,进给速度为 22.4mm/min,进给量为 0.01mm/r,切削时不加冷却液。

2.3 钻孔夹具设计

根据椅盆使用要求并结合其结构特点,钻孔夹具采取分体式,上下模板用铰制螺栓定位,便于椅盆的安装、调整和拆卸。安装时,选择椅盆内表面的凹形方孔面作为高度方向的基准,使夹具的下模板与椅盆内型面贴合,前后位置用椅盆头部三角形安装孔定位,左右位置由椅盆两侧边定位。此外,由于椅盆钻孔部位为薄壁,刚性差,加工时容易产生震动,结合碳纤维复合材料的切削性加工能差的特点,为防止孔口产生毛刺、撕裂和分层等缺陷,钻孔时在孔的出口部位周围用铝板和橡胶板夹紧,以增加加工部位刚性,防止缺陷产生。综上所述,再考虑到加工、测量和生产周期等方面的情况,设计的钻孔夹具(见图 2)应具有以下特点:

(1)定位准确合理,调整、装夹方便可靠、夹紧力通过方形钻套调节;(2)孔径和孔距尺寸均用钻模来保证,并配制方形钻套方便更换;(3)在孔的出口处垫上一层薄橡胶板和铝板,增加刚性并补偿构件制造偏差,确保装夹牢固;(4)便于加工和检测,确保椅盆装配的互换性。

2.4 椅盆钻孔

按零件图纸要求钻孔安排在摇臂钻床上进行,利用上述钻孔夹具,选择 YG6X 硬质合金麻花钻头,径孔分别为 $\phi 4.1$ mm、 $\phi 6.1$ mm 和 $\phi 8$ mm;切削用量为:主轴转速 2240r/min,进给速度为 22.4mm/min,进给量为

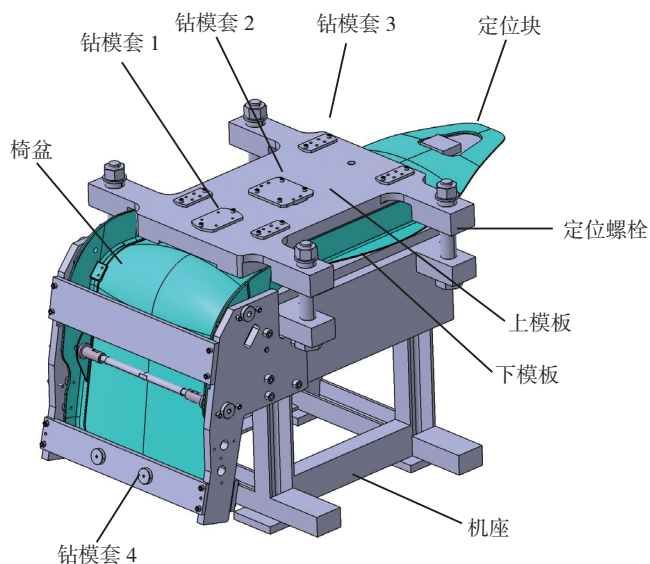


图2 钻孔夹具示意图

Fig.2 Diagram of drilling fixture

0.01mm/r, 切削时不加冷却液, 并将钻头刃口修磨成三尖两刃式的群钻, 缩短横刃长度, 有利于定中心, 减少切削力。在操作过程中应做到以下几点要求:

(1) 保持进给速度均匀, 尤其在开始和结束时进刀不能过快; (2) 钻孔过程中及时排屑和清理切削粉尘, 减少摩擦, 避免温度升高过快; (3) 及时修磨钻头, 始终保持刀刃锋利; (4) 结束退刀时不反转。

按照上述工艺要求钻孔, 椅盆孔口表面无撕裂、分层和翻边等缺陷, 孔边光滑无毛刺, 孔径和表面粗糙度均达到图纸要求, 而且位置精度也满足装配要求。

3 结论

通过椅盆钻削加工的实践摸索, 对碳纤维复合材料加工机理有了进一步理解, 在加工类似零件时, 可结合零件的结构特点, 有针对性设计工装, 能保证孔加工尺寸和位置精度要求。在碳纤维复合材料钻削加工中, 如何减少切削力是提高加工质量最有效的途径。在今后的研究和应用中可从以下几方面考虑:

(1) 选用高硬度的硬质合金钻头, 修磨切削刃, 选择合理的结构和钻削角度; (2) 采用高速钻削方法, 合理选择切削用量, 改善加工条件; (3) 对碳纤维复合材料椅盆薄壁件的钻削加工, 利用钻孔夹具对孔口周围进行加强保护, 可增加钻孔时的刚性和补偿零件制造误差, 同时能有效减少钻孔时各种缺陷的产生。

参考文献

- [1] 张厚江, 樊锐, 陈五一, 等. 高速钻削碳纤维复合材料钻孔力研究. 航空制造技术, 2006(12):76-79.
[2] 蔡闻峰, 周惠群, 何颖, 等. 树脂基碳纤维复合材料制孔缺

陷及其钻孔工艺研究. 工程塑料与应用, 2005, 33(10): 32-34.

[3] 鲍永杰, 高航. 碳纤维复合材料构件少无缺陷钻孔技术. 航空制造技术, 2007(S): 88-92.

(责编 亿霖)

(上接第 108 页)

然使用双面胶带粘结蜂窝芯与垫板, 非加工区域上表面直接覆盖一层薄膜, 利用真空的吸附力来固持蜂窝芯。较其他固持方法, 该方法能极大地提高固持效率, 节约成本。

(3) 建立了机床功率、真空压力、切削参数以及刀具参数与最小薄膜面积之间的解析表达式, 根据具体的机床参数求解最小薄膜面积, 并据此来判断蜂窝芯零件是否可选用新型的固持方案。

参考文献

- [1] 梅德茂. 金属蜂窝芯的数控加工. 西飞科技, 1997(2): 38-43.
[2] 刘刚. 纸基蜂窝芯零件高速铣削加工固持系统 [D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
[3] 周原, 孙晓, 刘明山, 等. 新型磁粉探伤设备控制系统的研究与开发. 吉林大学学报, 2003, 33(1): 73-76.
[4] 高涛, 骆金威, 林勇, 等. 基于超声波机床的蜂窝芯数控加工技术研究. 机械制造, 2013(1): 41-43.
[5] 张永岩, 张超, 李微. 超声波机床基于 CATIA V5 复合材料蜂窝件数控编程方法研究. 航空制造技术, 2012(9): 79-82.

(责编 叶枫)

(上接第 112 页)

- [16] 杨延清, 朱艳, 马志军. SiC 长纤维增强 Ti 基复合材料的制备. 稀有金属材料与工程, 2002, 21(3): 424-426.
[17] Gorsse S, Petitcorps Y L. A new approach in the understanding of the SiC/Ti reaction zone composition and morphology. Composites Part A, 1998, 29(9-10):1221-1226.
[18] Yang Y Q, Zhu Y, Ma Z J. Formation of interfacial reaction products in SCS-6 SiC/Ti2AlNb composites. Scripta Materialia, 2004: 51(11): 385-396.
[19] Baik K H, Grant P S. Chemical interaction between Sigma 1140 SiC fiber and Ti-6Al-4V. Scripta materialia, 2001, 44(7): 607-611.
[20] 曾立英, 邓炬, 白保良, 等. 连续纤维增强钛基复合材料研究概况. 稀有金属材料与工程, 2000, 29(3): 211-215.
[21] Chou T W, Kell A, Okura A. Fiber-reinforced metal matrix composites. Composites, 1985, 16(3): 187-192.
[22] Mall S. Titanium matrix composites-mechanical behavior. Lancaster: Technomic Publishing Co, 1997: 41-53.
[23] Bednarczyk B A, Arnold S M. A new local debonding model with application to the transverse tensile and creep behavior of continuously reinforced titanium composites, NASA/TM-2000-210029.
[24] 莱茵斯 C, 皮特尔斯 M. 钛与钛合金. 北京: 化学工业出版社, 2005:268-302.
[25] Barney C, Beevers C J, Bowen. Fatigue crack propagation in SiC continuous fiber-reinforced Ti-6Al-4V alloy metal-matrix composites. Composites, 1993, 24(3): 229-236.

(责编 小城)