

碳纤维复合材料与钛合金结构制孔工艺研究

Investigation of Drilling Process for Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) and Titanium Sandwich Structure

西北工业大学 于晓江 曹增强
上海飞机制造有限公司 蒋红宇 龚佑宏

[摘要] 针对碳纤维复合材料(CFRP)与钛合金夹层结构钻削中存在的问题,进行了系统的工艺研究。主要从钻入侧的选取、钻削参数、制孔中存在的问题以及大直径孔加工工艺等几个方面进行试验研究,结果表明目前的钻削工艺需要改进。提出了适合实际操作的工艺方法,解决了夹层结构制孔中出现的问题,并对钻削刀具进行分析。

关键词: 碳纤维复合材料 钛合金 夹层结构 钻削工艺

[ABSTRACT] The intensive study on the damages of drilling process for carbon fibre reinforced plastic (CFRP) and titanium sandwich structure is carried out. The experimental investigations on drilling sides, drilling parameters, damages in the drilling and large diameter hole drilling process are put forward. The results show that the current process needs to be improved. Practical drilling process is presented and the damages in the drilling is solved. The drilling tools are analyzed.

Keywords: CFRP Titanium alloy Sandwich structure Drilling process

碳纤维复合材料(简称复合材料)和钛合金都是典型难加工材料。钻削碳纤维复合材料一般采用高转速和小进给量,由于切削液对复合材料的性能有不良的影响^[1],一般采用干切加工。复合材料热导率小,线胀系数和弹性恢复都较大,导致复合材料存在缩孔现象。钻削钛合金一般采用低转速和适量进给量,钻削过程中,需加切削液(32号机油加煤油,比例为3:1)。钛合金导热系数小,弹性恢复大,冷硬、粘结、扩散现象严重且易于氧化,导致钛合金钻削性能差,钻削中有回弹,尺寸不稳定^[2]。

由于钻削碳纤维复合材料和钻削钛合金所采用的钻削参数(转速、进给量)和加工条件不同,有时为了保证孔配合精度,不允许单独加工。因此,生产中对这种夹层结构的钻削工艺及加工条件要求都比较高。目前,这种夹层结构的制孔,一直是生产中的难题。

波音公司针对碳纤维复合材料与钛合金夹层结构钻削,花费大量的人力和物力专门研制了适合这种夹层结构钻削的组合钻头^[3],钻孔数量得到了较大的提高,质量也有所改善,提高了加工效率。但此类钻头制作工艺复杂,价格昂贵,是普通硬质合金钻头的几百倍。另外,其工艺细节保密。

我国目前钻削碳纤维复合材料与钛合金夹层结构,主要采用整体硬质合金麻花钻,按钻钛合金转速和进给量钻削,直至钻通^[4]。这种方法制孔精度差,容易出现钛合金翻边和复合材料烧蚀现象。本研究主要对碳纤维复合材料与钛合金夹层结构钻削工艺进行研究,改进钻削工艺,解决钻削中出现的问题。

1 试验内容

试验是在立式钻床上进行的,钻床具体参数见表1。

表1 可靠性分配与预计值对照表

钻床型号	Z5140A
最大功率/kW	3.0
最大扭矩/(N·m)	350
主轴转速/(r·min ⁻¹)	31.5 ~ 1400
进给量/(mm·r ⁻¹)	0.056 ~ 1.80

试验中,采用的刀具为Y330(金刚石涂层)整体硬质合金麻花钻。材料为T800碳纤维复合材料和Ti6AL4V钛合金板,如图1所示。



图1 试验材料

Fig.1 Experimental material

试验中,从不同侧钻入,钻削不同厚度的夹层材料: 4.512mm 碳纤维复合材料与 3.0mm 钛合金夹层结构, 4.512mm 碳纤维复合材料与 6.0mm 钛合金夹层结构,以及 8.648mm 碳纤维复合材料与 10.0mm 钛合金夹层结构。测量所有孔径和钻削过程中的轴向力,对钻削过程中出现的问题进行分析。

钻削轴向力测量平台如图 2 所示,钻头钻削时,产生一个向下的轴向力, Kistler 测力仪将力信号转换成电信号,电信号经 Kistler 电荷放大器放大后,由数据采集器和专用测力软件 3010DEWE 在计算机上形成动态轴向力曲线图。

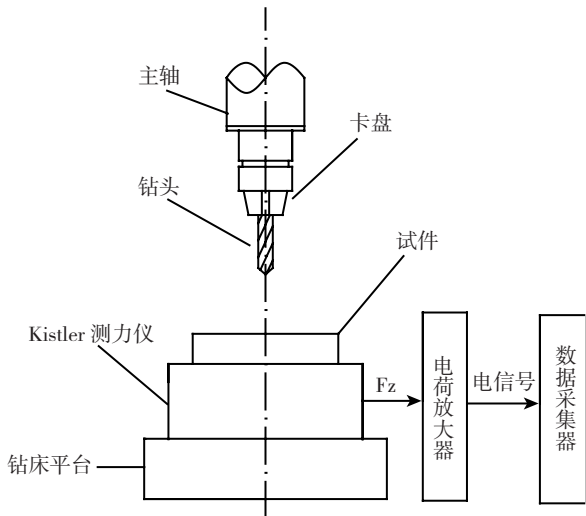


图2 轴向力测量平台示意图

Fig.2 Diagram of experiment platform to measure axial force

2 试验结果与讨论

2.1 钻入侧

碳纤维复合材料与钛合金夹层结构制孔,钻入侧的选取直接影响制孔质量。通过试验研究发现:从复合材料侧钻入,钛合金切屑易划伤复材孔壁,且复合材料孔径精度低于从复材侧钻入;不同侧钻入的钛合金孔径尺寸几乎没有变化。

表 2 是钻削 4.512mm 碳纤维复合材料与 3.0mm 钛合金板夹层结构所测孔径数据。刀具采用 5.0mm 的 Y330(金刚石涂层)麻花钻。为了减小刀具磨损的影响,采用交叉方式钻孔,即:1、3、5、7、9 孔从复合材料侧钻入,2、4、6、8、10 孔从钛合金侧钻入。

图 3 为不同钻入侧钻削过程中的轴向力曲线,从图中可以看出:钻削钛合金时,轴向力明显大于钻削复合材料。由于轴向力变大,从而易导致钻头从复合材料钻入钛合金时产生振动,增大了复合材料孔径误差。

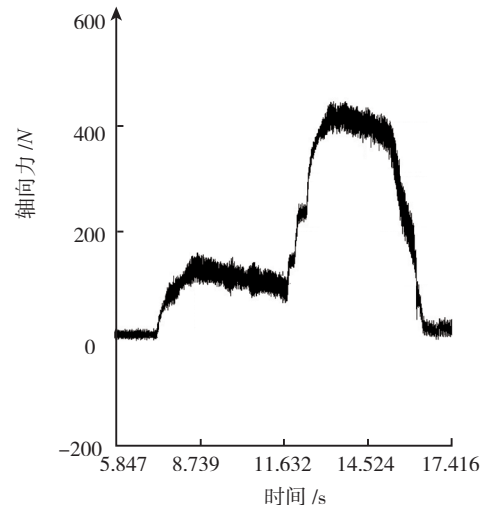
2.2 钻削参数

采用整体硬质合金钻头钻削钛合金时,转速一般取

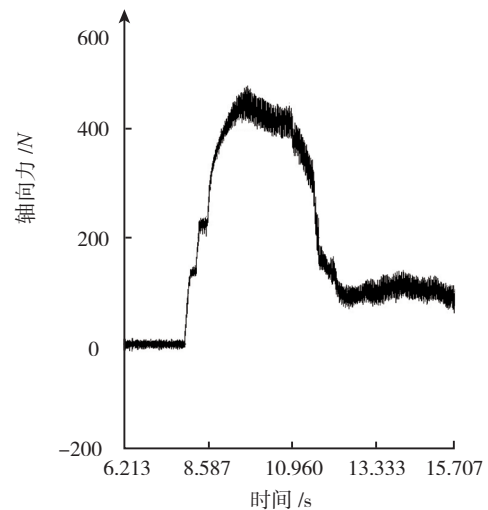
表2 可靠性分配与预计值对照表

编号	入刀侧	转速/(r·min ⁻¹)	进给/(mm·r ⁻¹)	孔径/mm	
				复材	钛合金
1	复合材料	1000	0.056	5.045	5.035
3				5.005	5.020
5				5.005	5.021
7				5.005	5.023
9				5.010	5.015
2	钛合金	1000	0.056	4.998	5.030
4				4.995	5.022
6				4.995	5.025
8				5.001	5.023
10				4.998	5.030

注:所测孔径为孔深方向中间处的尺寸。



(a) 复合材料侧钻入



(b) 钛合金侧钻入

图3 不同钻入侧轴向力曲线

Fig.3 Curve of axial force for different drilling sides

500 ~ 1800r/min,进给量取 0.04 ~ 0.10mm/r。

分别在 4.512mm 碳纤维复合材料与 3.0mm 钛合金夹层结构,4.512mm 碳纤维复合材料与 6.0mm 钛合金夹层结构,以及 8.648mm 碳纤维复合材料与 10.0mm 钛合金夹层结构进行试验。通过试验得出,在转速为 500 ~ 1000r/min,进给量为 0.04 ~ 0.10mm/r 钻削参数下,比较适合这种复合材料与钛合金夹层结构钻削。

2.3 存在问题及解决方法

钻削碳纤维复合材料与钛合金夹层结构,存在 3 点问题:

(1) 孔径尺寸精度差。复合材料存在缩孔现象,缩孔量集中在 0 ~ 0.02mm;钛合金存在扩孔现象,扩孔量集中在 0.02 ~ 0.03mm。要获得高精度的孔,需进行铰孔。采用硬质合金铰刀,转速 250 ~ 355 r/min;铰削余量,粗铰:0.10 ~ 0.20mm,精铰:0.05 ~ 0.10mm。

经过 2 次或多次铰孔后,碳纤维复合材料孔径与钛合金孔径的极差可以控制在 0.01mm 内。

(2) 钛合金孔壁入口和出口处有翻边、毛刺产生,如图 4 所示。复合材料孔壁树脂有烧蚀的痕迹,如图 5 所示。采用锉刀和砂纸对钛合金翻边、毛刺进行打磨。通过加鲸蜡醇钻孔润滑剂,可以缓解复合材料的烧蚀现象。制孔完毕后,需采用二氯乙烷清洗残留在孔壁上的鲸蜡醇润滑剂。

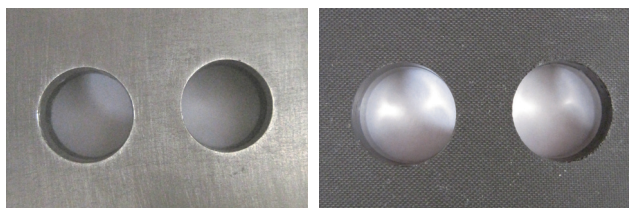
(3) 钻削时,易卡刀。自动进刀钻削钛合金时,由于排屑比较困难,易发生卡刀现象。采用啄钻方式加工,

可以减少卡刀现象,从而提高刀具寿命。

2.4 大直径孔加工

对于小于 8.0mm 夹层结构的孔,可以采用整体硬质合金钻头直接钻孔。当直径大于 8.0mm 时,直接钻孔无法完成,可以采用钻孔—扩孔方式加工,每次扩孔量取 0.5 ~ 2.0mm,如图 6 所示。

2.5 刀具分析



(a) 入口侧

(b) 出口侧

图6 12.0mm孔的制造

Fig.6 Drilling of 12mm holes

钻削碳纤维复合材料和钛合金,对刀具的锋利性、硬度要求都比较高。钻削时,刀具容易磨钝和崩刃。一支新制 Y330 (金刚石涂层) 麻花钻钻 30 ~ 40 个孔后,即需要换刀或重新刃磨。这种刀具在钻孔数量上无法同国外专用刀具相比,但这种刀具成本低廉,对设备要求低(国外专用刀具一般要求在数控中心上应用),且刃磨容易,适合小批量孔加工。

3 总结

通过对 T800 碳纤维复合材料与钛合金夹层结构制孔试验研究,得出以下结论:

(1) 钻削时,从钛合金一侧钻入,可以提高孔径尺寸精度。

(2) 加鲸蜡醇钻孔润滑剂,可以缓解复材的烧蚀现象。

(3) 要获得高精度孔,需要对夹层结构进行铰孔。经两次或多次铰孔后,碳纤维复合材料孔径与钛合金孔径的极差可以控制在 0.01mm 内。

(4) 对大于 8.0mm 夹层结构的孔,可以采用钻孔—扩孔方式加工,每次扩孔量可以取 0.5 ~ 2.0mm。

参考文献

- [1] Sala G. Composite degradation due to fluid absorption. Composite Part B: Engineering, 2000,31 (5):357-373.
- [2] 毕秀国,卜繁岭,康健. 钛合金钻削加工及其新发展. 工具技术,2008,42(12):19-22.
- [3] 伊洁华. 钻削钛和复合材料的新型刀具. 产品与技术,1996(3):67.
- [4] 国防科学技术工业委员会,中华人民共和国航空行业标准航标 HB/Z223.21-2003,中国航空综合技术研究所,2003.

(责编 小城)



图4 钛合金孔缺陷

Fig.4 Titanium hole damage



图5 复材孔缺陷

Fig.5 CFRP hole damage