

钛 - 复合材料复合结构快速制孔技术研究

Research on Drilling Holes Technology in Titanium and Composites Complex Structure

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 秦 月

[摘要] 为了解决工程生产中钛-复合材料复合结构制孔效率低、工艺稳定性差等问题,总结了国内外此类技术的发展现状,制定了一套完整的制孔试验方案,通过试验验证,制孔效率明显提高,后续增加工艺稳定性试验后,即可转入工程生产中。

关键词: 复合结构 自动进给钻 微量润滑

[ABSTRACT] In order to solve problems such as low efficiency and low technology stability in drilling holes in Titanium and composite material complex structure during program manufacturing, this paper analyses current developing state of this kind of technology in our country and oversea, and work out a set of drilling holes test plan. After testing and verifying, efficiency of drilling holes enhances obviously. After testing in adding technology stability, it can be used in program manufacturing.

Keywords: Complex structure Auto drilling Micro lubricating

随着高强度、高疲劳寿命轻质材料(碳纤维复合材料、钛合金、铝合金等)在飞机结构中的大量应用,飞机装配越来越多地存在金属材料(钛合金、铝合金等)和复合材料混合叠层结构的孔加工^[1]。但由于金属材料与复合材料之间巨大的加工差异,特别是钛合金与复合材料中,钛合金需要低转速、高进给速度加工参数,复合材料需要高转速、低进给速度的加工参数,使得对钛-复合材料复合结构进行制孔存在挑战,制孔经常出现复合材料分层、出口劈裂,钛合金出口毛刺大、过热,整体孔径不稳定、效率低等现象^[2]。

为了尽快解决现有产品在大曲面上复合材料与钛合金叠层结构进行大直径紧固孔加工时的制孔质量不稳定、加工烦琐等问题,开展了 $\phi 10\text{mm}$ 、 $\phi 12\text{mm}$ 两种直径孔的加工研究。通过试验研究,最终实现3~4次完成孔加工,孔径满足设计要求的H9,从而简化现有加工流程,提高加工效率,保证加工质量。

1 国内外现状

(1)国外情况。

国外开展复合材料与钛合金叠层结构的孔加工技

术研究较早,目前主要集中在采用半自动化的自动进给钻、螺旋轨迹自动制孔头或自动化制孔设备进行加工。此类工具或设备虽然出口我国,但对于复合材料与钛合金叠层结构的孔加工技术仍处于封锁状态。

相关资料表明,国外民机在装配生产过程中,叠层复合结构大直径孔通常采用自动进给钻配合钻模板或自动化设备进行制孔。但民机主要是铝合金-复合材料形式的复合结构,没有钛合金-复合材料形式的复合结构大孔径制孔方法的一些相关资料^[2]。

(2)国内现状。

目前为止,国内并没有针对钛-复合材料复合结构的制孔进行系统研究,小叠层厚度、小直径孔采用手风钻配合钻、扩、铰的传统加工工艺可以满足设计技术要求,但对大叠层厚度、大直径孔加工时,传统的加工工艺无法满足设计要求,超差现象非常严重。针对此类结构的孔加工,国内刚刚起步,采用自动进给钻、螺旋轨迹自动制孔头和自动化制孔设备进行加工的研究均有开展,但并未系统解决。

(3)综合对比。

由于螺旋轨迹自动制孔头和自动化制孔设备需要购买或自主开发,资金和时间投入较大,同时直接应用于工程生产需要更长的研究时间,无法满足现阶段装配需求;自动进给钻与钻模板配合制孔方法,投入少、试验准备时间短,试验成果可以很快应用到工程生产。从目前情况看,自动进给钻与钻模板配合制孔方法依旧是最经济、最有效的工艺平台

2 工程生产需求

在工程生产中,出现制孔问题的集中出现在 $\phi 10\text{mm}$ 以上的钛-复合材料叠层孔。以 $\phi 12\text{H9}$ 的孔为例,现有装配过程中,首先在钛合金零件上加工 $\phi 4.1\text{mm}$ 初孔,其次借助钻模板协调在复合材料上钻出 $\phi 4.1\text{mm}$ 初孔,最后将复合结构孔一同扩铰至 $\phi 12\text{mm}$ 。其中扩铰至 $\phi 11.5\text{mm}$ 时,每次扩铰量 $\phi 0.5\text{mm}$,共扩铰15次;扩铰至 $\phi 12\text{mm}$ 时,每次扩铰量 0.1mm ,共扩铰5次。制孔共计21此加工,耗时约30min,同时存在严重超差现象,几乎全部孔都无法达到设计技术要求,而现有产品单一部件上数百个 $\phi 10\text{mm}$ 以上(含)大直径孔,

严重影响了工程生产,亟待解决。

3 试验条件

(1) 试验件。

根据现有工程生产中复合结构各材料及厚度,试验件组合情况为:复合材料厚度 $t8.0\text{mm}$,钛合金厚度 $t10.0\text{mm}/13.0\text{mm}$,不加工初孔。

(2) 试验夹具。

为了配合本次试验,专门设计制造一套试验夹具,如图 1 所示,模拟产品实际加工状态,方便试验件装夹。

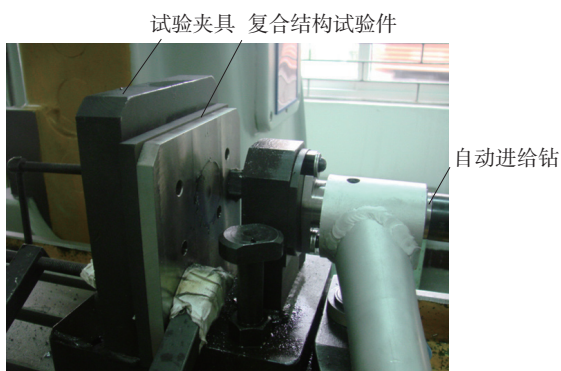
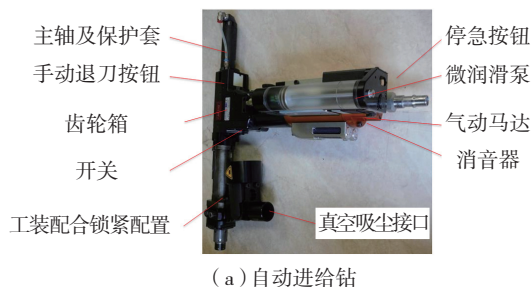


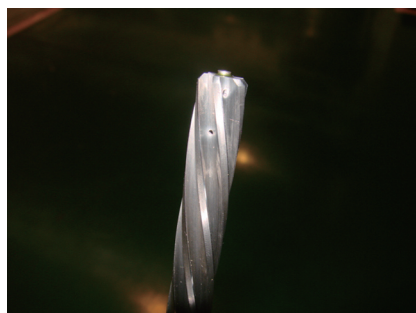
图1 试验件夹持情况
Fig.1 Clamping of test part

(3) 试验工具。

自动进给钻: APEX 公司(法国)枪式自动进给钻 2 把,分别用于钻初孔和铰孔,如图 2 (a)所示。特点:带有 MITIS 微振动切削装置进行断屑,避免长钻屑对孔划伤,减小钻孔进给力,延长刀具寿命;集成吸尘附件和微



(a) 自动进给钻



(b) 硬质合金刀具

图2 APEX公司自动进给制孔套件
Fig.2 Auto drilling sets of APEX

量润滑系统;整体重量小于 5kg,最大进给行程 100mm (可调),1/4 Twist Lock 锁紧。

制孔刀具: APEX 公司(法国)硬质合金刀具,如图 2 (b)所示。刀具带有内冷孔,可进行内部冷却或润滑。

检测量具: 通孔塞规分别为 $\phi 10\text{H}8$ 、 $\phi 10\text{H}9$ 、 $\phi 12\text{H}8$ 、 $\phi 12\text{H}9$ 。

(4) 试验参数。

$\phi 10\text{H}9$ 孔的加工参数: 转速为 750r/min,进给速度为 0.06mm/r;加工步骤为①钻孔至 $\phi 8\text{mm}$;②扩孔至 $\phi 9.6\text{mm}$;③铰孔至 $\phi 10.0\text{mm}$;孔数量在各状态不少于 5 个。

$\phi 12\text{H}9$ 孔的加工参数: 转速为 750r/min,进给速度为 0.06mm/r;加工步骤为①钻孔至 $\phi 10\text{mm}$;②扩孔至 $\phi 11.6\text{mm}$;③铰孔至 $\phi 12.0\text{mm}$;孔数量在各状态不少于 5 个。

4 试验结果

结合不同的试验条件,共进行了 7 次试验,试验结果见表 1。

5 试验结论

(1) 自动进给钻对钛-复合材料复合结构进行制孔时,如果复合材料与贴合板未贴实,复合材料出口容易出现劈裂,在贴合面之间增加无纺布后,制孔效果好;

(2) 复合材料处于复合结构出口一侧时,在复合材料外侧增加垫板后,出口劈裂消失;

(3) 自动进给钻对钛-复合材料复合结构进行制孔时,通过钻扩铰 3 次加工工序完成终孔,加工时间由原来的 30min 减少到 1min 以内,加工效率提升明显,孔径精度可达 H8;

(4) 采用内部微量润滑的冷却方式,可以很好地改善切削条件,钛合金钻削加工时的烧蚀、粘刀现象消失。

综上,采用自动进给钻配以内部微量润滑化的钻扩铰三步法加工方式,可顺利完成加工钛-复合材料符合结构 $\phi 10\text{mm}$ 直径以上的大孔,大大缩短加工周期,孔径精度可达 H8。后续增加工艺稳定性试验后,可转入工程生产中。



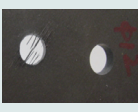
6 存在的问题和改进建议

本试验主要存在的问题及改进建议如下:

(1) 钛合金孔出现轴向细微凸起毛刺,增加了后续去毛刺和清理时间,初步分析其原因在于进给速度偏大,建议调整自动进给钻进给速度,减小进给速度,尽量消除钛合金孔的轴向凸起毛刺;

(2) 微润滑泵容积不足,仅能完成少许孔加工,实

表1 钛-复合材料复合结构制孔试验结果

试验次数	试验件组合情况	试验结果	实物照片	备注
1	Ti(t10)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测初孔复材入口有轻微劈裂,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金,钻套不匹配,未进行终铰,钻套返厂修理后进行下次试验
2	Ti(t10)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测初孔复材入口有轻微劈裂,铰孔后劈裂消失,φ 10H9 和 φ 12H9 塞规检测合格,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金
3	Ti(t10)+CFRP(t8) (中间加无纺布后压紧)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测初孔复材入口有轻微劈裂、出口光滑、铰孔后劈裂消失,φ 10H9 和 φ 12H9 塞规检测合格,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金
4	Ti(t10)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,增加铝板后目测初孔复材入口和出口均未劈裂,φ 10H8 和 φ 12H8 塞规检测合格,单次工序加工时间 35~40s		加工由钛合金进入复合材料,首次完成扩孔(扩至 φ 9.6 和 φ 11.6)工序后复材分层严重,第二次在复材出口一侧增加铝板
5	Ti(t13)+CFRP(t8)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测第一层复材出口和第二层复材入口有劈裂,钛出口有轴向细微凸起毛刺,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金,只进行了直径 φ 10 孔的加工,复材试片有小颗粒胶状突出物
6	Ti(t10)+Ti(t10)+CFRP(t8)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,目测复材未劈裂,钛出口有轴向细微凸起毛刺,φ 12H8 塞规检测合格,单次工序加工时间 35~40s		加工由复合材料进入钛合金,只进行了直径 φ 12 孔的加工
7	Ti(t10)	钛合金钻屑 1/4 指甲壳大小,入口和出口均有轴向细微凸起毛刺,φ 10H8 塞规检测合格		只进行了直径 φ 10 孔的加工

备注:制孔试验完成后,所有复合材料试片均进行无损检测,结果显示复合材料无分层现象。

际生产中存在数量巨大的钛-复合材料复合结构大直径制孔,若频繁补液,效率过低。

参考文献

[1] 于晓江,曹增强,蒋宏宇,等.碳纤维增强复合材料结构钻削工艺.航空制造技术,2010(15):66-70.

[2] 中国航空研究所.复合材料结构设计手册.北京:航空工业出版社,2001.

(责编 深蓝)

(上接第 84 页)

引入能够增加磨削表面的残余压应力,能够起到强化加工表面的作用。

3 结束语

通过对纳米陶瓷残余应力的试验分析,得出以下结论:

(1) 研究表明,磨削热会使工件表面产生残余拉应力,陶瓷在磨削过程中发生的表层塑性变形将会使工件表面产生残余压应力。(2) 两种磨削方式下表面残余

应力皆为压应力,且随着磨削深度的增加,两种磨削方式下表面残余应力均呈现减小趋势,但超声磨削残余应力的减小趋势较普通缓慢。相同磨削参数下超声振动磨削表面残余应力大于普通磨削。其他参数不变,随着磨粒的增大两种方式表面残余应力都呈上升趋势。(3) 增大磨粒将会改善磨削过程中的散热性能,从而减小磨削热引起的拉应力,从而使表面压应力增加,超声振动磨削表面残余压应力大于普通磨削。

参考文献

- [1] 李伯民,赵波.现代磨削技术.北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 柯宏发,张耀辉,赵燕.陶瓷半延展性磨削试验研究.金刚石与磨料磨具工程,1998,1(103):25-28.
- [3] Swain M V.陶瓷的结构与性能.郭景坤译.北京:科学出版社,1998.
- [4] 王宏志,高濂,陈红光,等. Al₂O₃ 基复合材料中纳米 SiC 对微观结构的影响.无机材料学报,1998,13(4):603-607
- [5] David J.Green.陶瓷材料力学性能导论.龚江宏译.北京:清华大学出版社,2003.

(责编 小城)