

机器人自动制孔系统钻削工艺参数优化

Optimization of Process Parameters About Automatic Drilling Holes System of Robot

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 张 辉 郭洪杰
空军驻沈阳地区军事代表局 王 巍
中航工业北京航空制造工程研究所 卜 泳

[摘要] 以铝铝、钛钛和钛铝3种典型叠层构件为研究对象,利用专用试切台和钻孔质量检测仪,研究了机器人自动制孔系统钻削工艺参数。研究表明,铝铝和钛钛叠层构件机器人自动制孔系统可采用一次连续制孔方式实现高精度钻孔,对于铝铝叠层制孔系统采用主轴转速为4000r/min和进给速度为1200mm/min的参数较为合适。钛钛叠层制孔系统采用主轴转速为800r/min和进给速度30mm/min的参数较为合适。钛铝叠层构件自动钻孔时,当叠层厚度大于10mm时,制孔系统采用多次变主轴转速方式钻孔较好,且根据各层材料选用工艺参数;当厚度小于10mm时,制孔系统采用一次连续方式钻孔,且以钛合金工艺参数进行钻孔。

关键词: 机器人 自动制孔 钻削参数 叠层构件

[ABSTRACT] Al/Al, Ti/Ti and Ti/Al etc. three typical laminated members are adopted as the target materials in this paper. Using a dedicated test cutting station and hole quality detector, process parameters about automatic drilling holes system of robot are studied. The results show that automatic drilling holes system of robot using Al/Al and Ti/Ti laminated members can achieve high-precision drilling holes through using a continuous way of drilling holes. Al/Al laminated member drilling holes system with a 4000r/min spindle speed and feed rate of 1200mm/min parameter are more appropriate. Whereas Ti/Ti laminated member drilling holes system with a 800r/min spindle speed and feed rate of 30mm/min parameter are more appropriate. During Ti/Al laminated member automatic drilling, when lamination thickness is greater than 10mm, using multiple variable spindle speed drilling is better. Moreover, process parameters are selected according to layers material. When lamination thickness is less than 10mm, drilling holes system uses a continuous manner, and drilling holes select the process parameters of the titanium alloy.

Keywords: Robot Automatic drilling holes Drilling parameter Laminated member

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.21.100

新一代飞机研制具备隐身、多品种、长寿命、小批量、轻质和高效等特点^[1]。隐身要求飞机表面质量高,因而对装配中铆窝深度控制提出了较为苛刻要求;长寿命对装配钻孔质量特别是孔的垂直度提出了较高要求;轻质使飞机中钛合金用量大幅度增加,导致装配制孔难度加大。为适应新型飞机的制造需求,手工制孔难以满足现代化飞机制造需求^[2],国内外学者主要围绕自动制孔技术进行了大量研究工作,其研究重点多集中于制孔装备和制孔工艺对孔加工质量、疲劳寿命及毛刺生成控制等方面,如徐红炉、刘军等^[3]分析研究了采用Winslow制孔工艺可较明显地提高紧固孔的疲劳寿命和降低分散性,并能使裂纹扩展区疲劳条带变窄。刘军、刘勇俊等^[4-5]利用有限元法分析了孔的圆度、表面粗糙度及孔口划伤等加工质量指标对孔疲劳寿命的影响。鉴于缺少基于机器人自动制孔系统,不同叠层构件钻削工艺参数方面的系统研究,合理制孔工艺参数是实现钻孔自动化的基础,本文以铝铝、钛钛和钛铝3种典型叠层构件为研究对象,研究了机器人自动制孔系统钻削工艺参数优化,为实现机器人自动制孔系统在飞机部件装配中应用奠定基础。

1 试验材料与设备

1.1 试验材料

选用牌号为TC4钛合金和牌号为7B04铝合金2种材料进行机器人自动制孔系统钻削试验,这2种采用试片均为板材,钛、铝试片尺寸都为350×220×(2.5~10)mm。

1.2 试验设备

试验所用机器人自动制孔系统主要由机器人和制孔执行器2部分组成。其中,机器人自动制孔系统具备高可靠性和高稳定性,可满足5×5×3m范围内自动钻孔,人机功能友好,制孔效率高,刀柄采用通用接口,可快速更换,操作简单。机器人自动制孔设备主轴为电主轴,主轴转速500~12000r/min,主轴扭矩8.0Nm,可加工的孔径范围是 $\phi 4\sim\phi 10$ mm。机器人自动制孔系统钻削工艺参数优化试验需要在专用试片台上完成。自动制

孔试验制孔质量检测工具的工作环境温度 10~35℃,工作环境湿度不大于 95%RH,有效测量范围 25×25mm,检测精度 0.01mm,测量时间小于 5s。钻削试验钻孔选用 2 种直径分别为 $\phi 5\text{mm}$ 和 $\phi 6\text{mm}$ 的刀具,刀具机体材料为硬质合金,刀具表面带有金刚石涂层。

2 钻削工艺参数优化

2.1 铝铝叠层构件钻削参数优化

以铝铝叠层构件为对象,机器人自动制孔系统钻削工艺参数试验分别以低转数小进给、中转数中进给和高转数大进给 3 大类进行,工艺参数试验变化区间范围是主轴转速在 3500~8000r/min、进给速度在 40mm/min~1500mm/min。工艺参数优化试验结果评价标准是通过孔径尺寸、内壁划痕情况、出口毛刺和钻削效率 4 个参数来进行判断。工艺参数优化试验从低转数小进给方式开始制孔,参数变化区间分别是主轴转数 3500r/min、进给速度 40~600mm/min。从试验结果可见,低转数小进给制孔试验结果均不理想,并且制孔效率低,且铝合金钻屑不断划伤孔壁,制孔质量不好。工艺参数优化试验选用高转数大进给方式开始制孔,参数变化区间分别是主轴转数大于 6000r/min、进给速度大于 1300mm/min。从试验结果可见,制孔噪音突然提高,共振现象严重,并且通过提高主轴转速仍然存在共振现象。工艺参数优化试验选用中转数中进给方式开始制孔,参数变化区间分别是主轴转数大于 4000r/min、主轴进给速度在 600~1200mm/min 之间时,共进行了 10 组钻削试验,其试验结果如图 1 所示。由图 1 可以看出,孔径实测值均分布在 6.000~6.018mm 精度范围之内,利用优化后工艺参数机器人自动制孔精度可以达到 H8,自动制孔效果良好,没有出现制孔缺陷。在制孔质量和钻削效率综合参考下,采用主轴转速 4000r/min,主轴进给速度 1200mm/min 进行钻削试切试验,通过上述试验研究表明:利用机器人自动制孔系统在铝铝叠层构件钻孔时,通过一次性连续制孔方式可实现高精度制

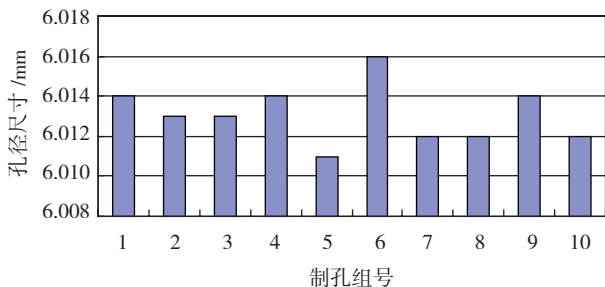


图1 以优化后的参数进行铝铝叠层自动制孔孔径尺寸
Fig.1 Hole diameter graph of aluminum-aluminum laminated automatic hole with the optimized process parameters

孔,其主轴转速为 4000r/min,进给速度为 1200mm/min 较为合适。

2.2 钛钛叠层构件钻削参数优化

以钛钛叠层构件为对象,机器人自动制孔系统钻削工艺参数试验分别以低转数大进给、中转数大进给和高转数小进给 3 大类进行,工艺参数试验变化区间范围是主轴转速在 500~1700r/min、进给速度在 5~30mm/min,工艺参数优化试验结果评价标准是通过孔径尺寸、内壁划痕情况、出口毛刺、钻削效率和刀具寿命 5 个参数来进行判断。其试验结果如图 2 所示。从图 2 试验结果可以看出,对钛钛叠层构件自动制孔,当工艺参数主轴转速大于 1000r/min 时,紧固孔孔径明显增大,明显超出精度要求范围,并伴随着切削粘刀和发热严重等现象,即使将主轴进给速度降低为 5mm/min 时,仍然出现切削粘刀现象。当工艺参数运用低转数大进给时,即利用主轴转数为 500r/min、主轴进给速度为 30mm/min 自动制孔,刀具寿命大幅度降低,并且孔的表面粗糙度急剧增大,制孔质量不好。通过对钛钛叠层构件反复试切试验,试验研究表明钛钛叠层构件可以通过一次性连续制孔方式完成高精度制孔,钻削工艺参数在主轴转速为 800r/min 和进给速度 30mm/min 下较为合适。

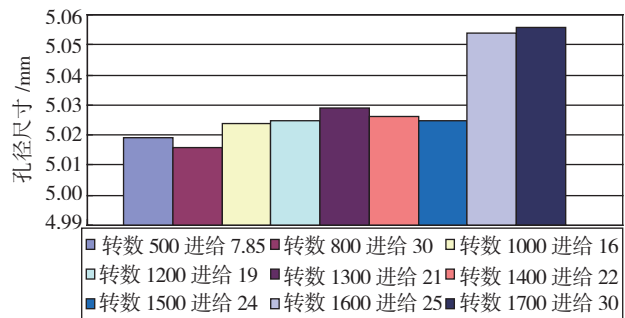


图2 不同工艺参数下进行钛钛叠层自动制孔孔径尺寸
Fig.2 Hole diameter graph of titanium-titanium laminated automatic hole under the different process parameters

2.3 钛铝叠层构件钻削参数优化

以钛铝叠层构件为对象,机器人自动制孔系统钻削工艺参数试验分别以改变主轴转数方式和不改变主轴转数方式 2 大类进行。工艺参数优化试验结果评价标准是通过孔径尺寸、内壁划痕情况、出口毛刺、钻削效率和刀具寿命 5 个参数来进行判断。试验结果表明,当叠层构件厚度大于 10mm 时,叠层构件的制孔采用多次变主轴转速方式制孔较好,其各层的制孔工艺参数可根据本层材料进行设定。当叠层构件厚度小于 10mm 时,采用多次变主轴转速方式制孔的制造效率较低,选取此种方式进行自动制孔不合适。钛铝叠层构件利用同样工艺

(下转第 111 页)

对横梁的定位精度和重复定位精度进行检验,最终得到其中一侧电机的定位精度为 0.011mm,重复定位精度为 0.008mm;另一侧电机的定位精度为 0.008mm,重复定位精度为 0.005mm。满足设备验收大纲要求指标。

4 安全防护

为了保证工装在部件装配过程中安全运行,在设计上主要考虑以下几点。

4.1 横梁防碰撞保护

由于定位器横梁间相互独立,为避免发生碰撞,在执行自动定位前需由数据服务器合理规划路径并计算出各横梁定位坐标值。手动定位时系统根据横梁之间的相互位置关系来进行防撞判断。工装和制孔横梁设置安全位置互锁开关,当工装横梁处于“安全位”时,制孔横梁操作有效,反之制孔横梁只有工装在“安全位”时才可以运动。

4.2 同步保护及限位

为了保证横梁在运行过程中的同步安全,在上位机中对横梁同步轴的实际位置进行实时监控,当监控到同步轴的位置误差超过设定允许误差时,系统紧急停止,并给出报警信息。同时对坐标硬限位、软限位、最大允许跟随误差也进行了设置,防止“超程”、“飞车”造成人身安全事故和设备的损坏。

4.3 人工参与防护

在部件的装配过程中,多个流程需要工作人员进入到设备装配加工区域进行作业,为保证工作人员的安全,系统中加入了“人工参与防护”控制。人工参与过程中,工装定位器被锁定,系统不响应操作;工作人员安全离开加工区域并经过确认后,系统才能解除人工参与状态,操作恢复正常。

5 结论

(1)根据飞机大部件实际装配需要设计的数字化控制系统,实现了在超过 6m 的大跨度横梁的同步运动,运行平稳,同步性能好,定位精度和重复定位精度高,满足设备的使用要求;

(2)为了获得尽可能好的控制响应,横梁两侧电机基本具有相同的增益。在调试过程中,根据系统负载情况进行了多次调整,以达到最优的同步效果;

(3)采用基于 EtherCAT 总线的多轴控制系统大大降低了现场总线的使用成本,分布式时钟机制保证了设备节点上伺服电机的高精度同步;

(4)根据带距离编码光栅尺的回零原理,结合 GMAS 伺服系统实现了新的回零方法,提高了回零效率。PLCOpen 指令作为 GMAS 伺服系统底层的运动

API,如果灵活运用可以实现比库函数更丰富的功能;

(5)通过研制数字化工装设备,解决了以往使用刚性工装装配时带来的弊端,简化了工艺流程。根据 GMAS 伺服系统特点设计的控制系统,具有完善的运动功能和良好的人机交互体验。

参考文献

- [1] 邹方. 飞机数字化柔性装配关键技术及其发展. 航空制造技术, 2006(9):30-35.
- [2] 郭洪杰. 飞机部件装配数字化柔性工装技术研究. 航空制造技术, 2011(22):94-97.

(责编 宁军)

(上接第 101 页)

参数一次性连续进给方式进行制孔时,如果以铝合金的工艺参数进行自动制孔,制孔刀具难以承受,导致刀具寿命大幅度缩短。而以钛合金制孔参数进行制孔,效果良好,可以满足评价标准要求。但当制孔转速过低时,出现了铝合金孔壁粗度较低等现象,可通过加入微量润滑改善孔壁粗糙度,且尽可能选择钛合金上限主轴转速。

3 结论

(1)铝铝叠层构件可通过一次性连续制孔方式实现高精度制孔,主轴转速为 4000r/min,进给速度为 1200mm/min 较为合适。

(2)钛钛叠层构件可以通过一次性连续制孔方式完成高精度制孔,制孔参数选择主轴转速为 800r/min 和进给速度 30mm/min 较为合适。

(3)钛铝叠层构件当厚度大于 10mm 时,采用多次变主轴转速方式制孔较好,且根据材料设计制孔参数;当厚度小于 10mm 时,利用一次性连续方式制孔,且以钛合金制孔参数进行制孔。

参考文献

- [1] 许国康. 大型飞机自动化装配技术. 航空学报, 2008, 29(3):734-740.
- [2] 范玉青. 飞机数字化装配技术综述——飞机制造的一次革命性变革. 航空制造技术, 2006(10):44-48.
- [3] 王黎明, 冯潼能. 数字化自动钻铆技术在飞机制造中的应用. 航空制造技术, 2008(11):42-45.
- [4] 徐红炉, 刘军, 章刚, 等. 制孔工艺对紧固孔疲劳性能的影响. 飞机设计, 2008, 28(3):25-30.
- [5] 刘军, 刘勇俊, 刘永寿, 等. 开孔试件的表面粗糙度对疲劳寿命影响的定量分析. 中国机械工程, 2008, 19(3):327-329.

(责编 古京)