

飞机装配自动制孔刀具技术研究

王任沙

(中航西安飞机工业集团股份有限公司, 陕西 西安 710089)

摘要 在飞机制造业中,复合材料由于具有良好的材料性能,而被广泛的应用。复合材料和金属材料叠层构件进行装配时,大量应用到铆接工艺,而铆接工艺必须要在复合材料上进行制孔,但复合材料的多层结构在制孔过程中很容易产生劈裂、分层等问题,严重影响了自动制孔的效率和质量。文章对飞机装配自动制孔的要求和工艺特点进行了简要介绍,分析了其对于设备及刀具的需求和加工工艺上的难点,并列举一些自动制孔刀具结构设计与制造的案例。

关键词 飞机装配 自动制孔 复合材料 制孔工艺

中图分类号: V22

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2021)06-0006-02

进入新世纪以来,各类飞机的更新迭代为飞机装配技术提出了更高的要求,需要在保证生产质量的前提下,降低生产成本,提高生产效率,飞机装配自动制孔技术应运而生。目前自动制孔技术主要应用到CNC机床等设备,尤其是近年来飞速发展材料科学,大量的复合材料被应用于飞机结构当中。复合材料和金属材料叠层构件进行装配时,需要应用到铆接工艺,所以需要大量的制孔作业。

1 飞机装配自动制孔的要求

1.1 飞机装配自动制孔的优势

自动制孔技术具有自动化程度高、适应性强和集成度好等优点,并且还能配合激光测量、移动导轨和终端执行器等设备联机使用,进而建立高效、高精度的制孔系统,是目前飞机装配过程中必不可少的制造工艺之一。通过应用该技术可以在很大程度上提高飞机装配的工作效率和飞机制造的整体质量,是未来飞机装配的必然发展趋势。

1.2 飞机装配自动制孔的工艺特点

在飞机装配过程中,如何在碳纤维复合材料(CFRP)和金属的叠层中钻削结构孔是非常重要的一项工作内容。相较于金属材料的制孔工艺而言,复合材料制孔有着不同的工艺特点,其制孔质量受到复合材料分层和纤维破裂情况的影响。对于那些不能直接检测到的缺陷,刀具的切削效应就显得十分重要了。^[1]CFRP纤维的硬度相对较高,在孔的切削过程中,刀具的磨损情况也更加严重,当黏合层存在树脂时就会有可能会导致纤维剥离、层间破裂的问题。此外,当加工过程中,CFRP叠加了钛或铝等金属时,切削刀具还必须具备一定的穿透能力,进而保证制孔质量。

2 当前飞机装配自动制孔对刀具的需求

2.1 高效率精密飞机自动制孔技术

在进行CFRP复合材料进项钻削作业时,需要对钻削刀具设计和加工工艺进行相应的优化,这就要求制孔设备具有精确地准确的进给以及必要的转速调整。实现这两个功能有着以下两种困难:首先,对于制孔设备的进给以及转

速变化的准确性和及时性提出了更高的要求,由于实际加工工件在结构特性和应力分布上与数学模型之间存在一定的差异,因此需要在制孔设备上设置扭矩传感器,以此保证进给与转速调整的准确性;其次,即便通过设置切削力与扭矩传感器的方式可以在一定程度上保证加工工艺的准确性,但是加工设备调整参数的过程依然相对缓慢。^[2]因此,高精度的制孔技术不仅在加工方法上提出相对较高的要求,而且对工艺装备及加工刀也需要进行相应改善及优化。

2.2 飞机自动制孔的刀具技术

2.2.1 对刀具的需求

随着复合材料技术的不断发展,其加工工艺所面临的挑战也越来越多。理论上而言复合材料的加工并不存在技术难题,但是相较于科技研发而言,加工过程更加注重的质量和效率,如何快速地制造出符合相关质量要求的孔,对于目前飞机制造业而言是一个巨大的挑战。而在复合材料的加工过程中,孔的加工又处于十分重要的地位,因此制孔刀具的发展及应用就显得尤为重要了。

2.2.2 制孔刀具的特点

通过分析复合材料的结构特点和制造需求,可以看出CFRP复合材料制造过程中会涉及分层和劈裂等问题,制孔刀具需要根据材料的特性和结构进行相应的调整。一般而言,在CFRP或CFRP-金属叠板构件的加工部位相对较少,但是其加工特性对关键技术的要求更为苛刻。

第一,CFRP复合材料的导热性能相对差,且在加工过程中没有切屑产出,这导致了切削过程中产生的热量无法快速的散出,进而造成局部温度过高,树脂存在融化而失去粘结的作用;第二,在强调整节能的背景下,CFRP复合材料的使用率不断提高,飞机的零部件中广泛使用到了CFRP复合材料,这为切削工艺增加了难度。^[3]

2.2.3 制孔刀具的新方案

通过优化钻尖和增强钻柄的设计,可以在保证刀具后角和排屑能力的基础上,提升切削效应。目前,在CFRP复合材料切削工艺中比较前沿的技术是在钻头复合聚晶金

刚石(PCD), PCD是当前已知能够应用的最硬刀具材料,且其耐磨性十分优秀。通过不同钻尖形式的PCD涂层刀具,可以提升刀具的强度和加工精度,进而延长刀具使用寿命,保证加工精度,提高制孔工作效率。

3 飞机装配自动制孔的工艺难点

3.1 单一材料的切削加工性能

3.1.1 复合材料的切削加工性能

结合碳纤维复合材料的结构特点,其一般是以碳纤维为增强体,环氧树脂为基体,一层层铺叠加工开来。在进行制孔作业时,由于各层碳纤维的纤维方向的差异,以及切削刃角度的不同,制孔过程中会出现多种缺陷。一般而言,在使用麻花钻加工时,其加工入口处不易产生缺陷,缺陷往往集中在出口处,缺陷的形式一般为分层、毛边和撕裂等,其中又以毛边的问题最为突出。在使用麻花钻进行加工时,由于其钻尖位置为负前角,切削的负荷也相对较大,因此钻尖处的磨损也最大。因此复合材料的加工质量在一定程度上与钻尖的锋利程度成正比,一旦钻尖出现磨损,钻尖的锋利程度就会下降,就不可能对碳纤维丝形成剪切效应,只能通过挤压作用,这样就很容易造成撕裂现象的产生。^[4]此外,麻花钻有着较长的横刃,在钻削过程中,一般的钻削轴向力位于横刃处,而钻削轴向力又是衡量刀具加工性能的重要指标之一。轴向力越大产生孔壁分层的概率就越高。即便在加工孔在出、入口处的加工合格,但是内部有分层现象,同样也是导致孔不合格的主要原因之一。

3.1.2 钛合金材料的切削加工性能

当钛合金硬度大于HB350时,切削加工难度相对较大,而当其硬度小于HB300时,优惠导致则粘刀现象。总结钛合金制孔工艺具有以下特点:

第一,钛合金变形系数小,钛合金的变形系数普遍小于或接近1,增大了切屑在前刀面上滑动摩擦的行程,导致刀具的磨损加快。

第二,钛合金传热系数相对较低,热量的传输困难,热量的集中导致局部切削温度很高。

第三,钛合金主切削力比切钢时20%,切屑与前刀面的接触长度非常短,导致单位接触面积上的切削力十分大,在加工过程中很容易造成崩刃的现象。

第四,钛单质的化学性能较为活泼,切削温度较高时,钛合金内的钛很容易与氧和氮形成化合物,这部分化合物具有硬度大而结构脆弱的热点,这在一定程度上降低了零件的疲劳强度,加剧了加工刀具磨损。

3.2 复合叠层结构特征及其自动制孔的切削加工性能

碳纤维复合材料在机翼和尾舵中的应用十分广泛,碳纤维复合材料的层间结构具有明显的差异,加之金属和碳纤维复合材料之间的性能存在十分巨大的差异,其制孔质量难以得到保证。要实现高精度、高效率的飞机装配制孔,

飞机装配自动制孔刀具设计需要注意以下几个方面。

3.2.1 自动制孔刀具的设计

在对多种材料叠层结构进行制孔加工时,刀具需要以切削加工性能最差的材料为研究对象进行设计,结合其他材料的特点对刀具进行适当的调整。

在对复合材料与钛合金或者铝合金叠层结构进行制孔加工时,刀具需要以复合材料为主进行设计,同时结合钛合金或者铝合金材料的特点对刀具进行适当的调整。对钛合金与铝合金叠层结构进行制孔加工时,刀具需要以钛合金材料为主进行设计,同时结合铝合金材料特点对刀具进行适当的调整。为保证刀具的钻尖强度,应该增加工作部分钻芯厚度,进而增加钻孔的轴向力。因此,在钻尖必须做修薄横刃,不仅可以提高切削性能,还可以减小钻孔的轴向切削力。

3.2.2 自动制孔刀具的修磨技术要求

在实际的加工使用过程中,为了提高刀具的使用寿命,降低生产成本,一般都会对刀具进行多次的修磨,其能够修磨次数主要不仅取决于自身材料和结构,而且还受到加工材料的影响。刀具修磨的关键问题是其结构上的几何参数和切削性能。^[5]修磨的原则一般为“谁制造谁修磨”,刀具供应商在刀具自身的加工工艺和结构特点上更为了解,在修磨过程中能够结合刀具的特点制定相应的修磨方案。

4 结语

随着复合材料在飞机结构中的大量应用,如何对复合材料进行制孔加工成为了当前飞机制造业所面临的主要问题之一。笔者结合切身实践,分析了单一材料的切削加工性能、复合叠层结构切削加工性能的自动制孔工艺难点进行了分析,希望能为飞机装配的自动制孔工艺的进步提供一定的帮助。

参考文献:

- [1] 罗群,薛宏,刘博锋,刘思悦,李城.飞机自动制孔离线编程数据准确提取技术[J].航空制造技术,2021,64(04):97-102.
- [2] 杨超.大飞机活动翼面机器人自动制孔应用[J].装备维修技术,2020(02):379.
- [3] 朱文杰.飞机壁板机器人制孔系统换刀技术研究[D].浙江大学,2020.
- [4] 薛宏,罗群,刘博锋,刘义明,郑炜,肖潇.大飞机活动翼面机器人自动制孔应用研究[J].航空制造技术,2019,62(19):86-91,98.
- [5] 王俊玲,谢贺年.复材制孔刀具磨损工艺参数研究[C].中国航空学会.2019年(第四届)中国航空科学技术大会论文集.中国航空学会:中国航空学会,2019:555-568.