

自动制孔机器人在翼面类部件应用中的问题及研究

Problem and Research About Auto Drilling Robot Used on Wing Structure

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司 李建川 侯捷 刘兰 杨利民

[摘要] 主要侧重于自动制孔机器人在加工应用中存在的问题,针对翼面类部件在装配时的特点以及特殊要求,进行了必要的分析与研究,提出了相应的解决方案,以实现自动制孔机器人在翼面类部件的装配加工中顺利应用。

关键词: 自动制孔机器人 翼面类部件 加工动作 基准扫描 法向找正

[ABSTRACT] Analysis and research about problems of auto drilling robot in process and application is mainly placed particular emphasis on, aiming at characteristics and specific requirements in assembly of wing structure, corresponding solving project is put forward to successful application of automatic drilling robot in assembly process of wing structure.

Keywords: Automatic drilling robot Wing structure Machine movement Scan basic standard Normal direction seeking

自动制孔技术是航空制造领域应用最广泛、最成熟的机器人应用技术,自 20 世纪 70 年代开始在国外得到普遍应用,现已发展出较为成熟的工艺加工方法,并被广泛应用于碳纤维复合材料、钛合金、铝合金等多种材料的装配生产中。国外铆接装配技术几十年的应用证明,采用自动制孔机后装配效率较之手工铆接装配提高了至少 10 倍,并能节约安装成本、改善劳动条件,更能确保安装质量,大大减少人为因素造成的缺陷^[1]。

随着我国航空工业研制的新机种性能、水平的不断提高,在铆接装配生产过程中,自动制孔技术得到了更加广泛的应用。目前,自动制孔机器人加工系统主要以飞机壁板、翼面类部件为加工对象,本文将针对自动制孔机器人在翼面类部件的应用中出现的问题及难点进行研究。

1 自动制孔机器人加工流程

使用自动制孔机器人进行加工生产,是一个复杂的数控加工控制过程,整个过程总体上分为两个步骤,即离线编程阶段和现场加工阶段。其中,离线编程阶段需

要完成数模创建、数控加工程序编制、加工程序仿真等加工准备工作,并设定机器人加工时的参数,保证在加工过程中不会出现机器人与工件或工装出现碰撞,如图 1 所示。

现场加工阶段则是机器人系统根据离线编程得到的加工程序进行实际加工的过程,具体流程如图 2 所示。

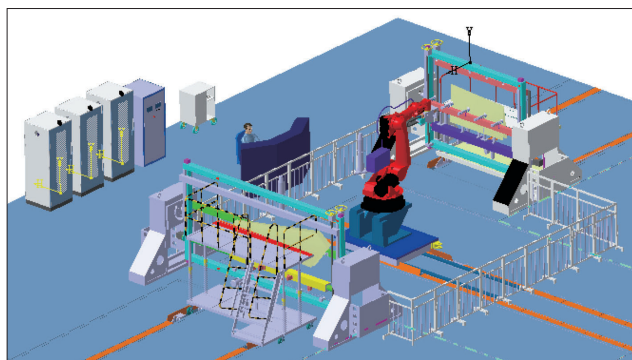


图1 机器人加工设备精确建模

Fig.1 Accurate modeling of automatic drilling robot machine

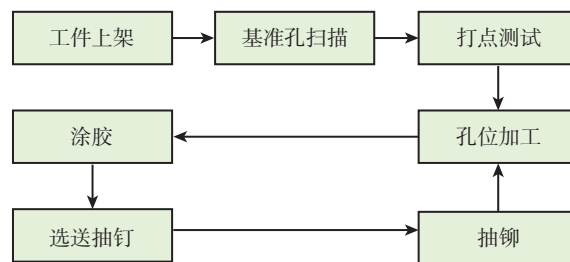


图2 机器人现场加工流程示意图

Fig.2 Process flow of robot fieldwork

2 翼面类部件装配加工特点

随着航空工业对新机种性能、水平要求的不断提高以及复合材料在航空工业中的广泛应用,翼面类部件目前大多都采用复材叠层结构形式,于是,在使用机器人系统进行钻孔加工过程中,对加工参数的要求变得更高、更复杂。

同时机器人自动制孔系统加工翼面类部件时,一般

都会使用柔性装夹系统,以达到节约加工成本、减少占用空间的目的,其机构形式如图3所示。

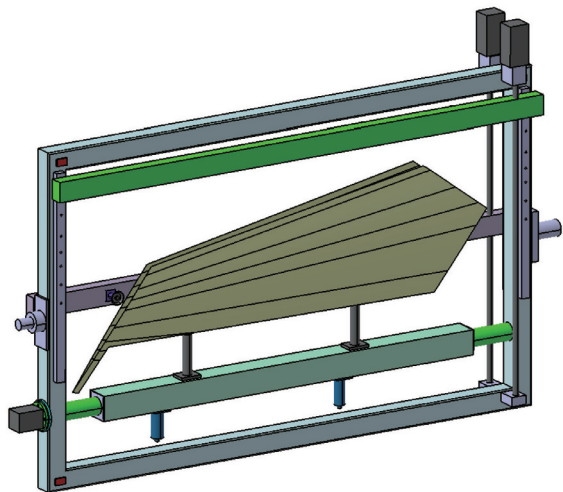


图3 柔性装夹系统示意
Fig.3 Flexible fixture system

柔性装夹系统的特点是:只需要改变使用的定位器的种类与数量,就可以在一个工装上装夹不同的零件;具备翻转功能,保证一次装夹能够加工零部件的正反面。在加工翼面类部件时,实际零件在机器人加工系统中的位置与离线编程时的理论位置会存在一定的偏差,此时自动制孔机器人系统加工的优越性就得到了体现。因为机器人加工系统在加工之前都会进行基准孔扫描,来确认产品在加工系统中的实际位置,然后根据测量值重新安排需要加工孔的坐标值,这样就可以最大限度地保证加工精度。

由于复合材料在实际成型加工时,难免会出现一定的形变,致使翼面类部件使用的复合材料蒙皮与理论数模无法完全匹配。但是为了保证蒙皮的气动外形特征,在加工时需要保证钻孔垂直于蒙皮外表面,此时就不能完全使用在离线编程中设定的孔的理论法向参数,而需要机器人系统在加工过程中,实时进行实际法向找正的工作。

3 加工中存在的主要问题

3.1 加工动作与加工参数问题

影响加工质量的因素主要包括:主轴转速、进给速度、材料种类、钻通阶段参数、压力脚夹紧力等。其中钻通阶段参数,是为了保证所钻孔的出口毛刺等质量指标达到要求,而压力脚压紧力,则是为了防止加工过程中产品发生过大抖动,造成孔壁质量不合格。在机器人自动制孔系统进行制孔加工时一般选用复合刀具,即刀具一次动作就完成钻孔、铰孔、铤窝等加工工序。

但是对于翼面类部件,因为其材料组成为复合材料叠层结构,机器人在加工叠层结构时,其加工动作与参数设置变的更加复杂:在刀具从一种材料进入另一种材料时,由于两种材料的主轴进给和转速等参数不相同,就需要额外设定主轴的加工动作,使主轴进给和转速能够顺利地进行转换,尽量减少对加工孔质量的影响;此外,由于两种材料之间存在间隙,压力脚的压力值只有保持在特定的范围内,才能在不损伤外蒙皮的表面质量的同时,尽可能减小两种材料之间的间隙,防止钻头在间隙位置发生震动。

3.2 加工基准问题

目前机器人系统提供的定位基准方式有3种,分别是无基准扫描、2个基准孔扫描以及4个基准孔扫描。

无基准扫描时,机器人完全按照理论坐标值来进行加工,这种情况要求产品的制造十分精确、没有过大的变形、产品在工装上定位准确,同时对于系统自身的精度、位置等也有较高要求。

2个基准孔扫描的方式适用于一些比较特殊的情况,即当需要加工的点在一条直线上时,可以将端点2个孔手工加工作为基准孔,然后通过扫描这两个孔的实际位置,来确定需要加工孔所在直线的实际状态与理论状态的偏差,机器人将根据这些偏差自动计算每个孔的补偿值,使得孔的实际位置得到保证。

4个基准孔扫描的方式具有普适性。在加工之前要在要加工产品上提前加工出4个孔,机器人在加工时首先扫描这4个基准孔,然后通过4个孔的实际位置与理论位置的差值,计算出产品的实际位置的补偿参数,并根据计算得出的补偿值,自动对所需要加工的所有点进行偏移,以保证加工孔在实际产品上的位置精度。

由前文可知,由于采用了柔性装夹系统,翼面类部件在机器人系统中的实际位置会与理论位置存在一定的偏差,同时,由于部件上需要加工的孔位不会只集中在一条直线上,所以对于翼面类部件而言,只能选择4个基准孔扫描的方式来确定加工基准。

由于基准孔是工人手工制孔得到的,鉴于工人的加工经验和加工技能熟练度,手动加工得到的基准孔的位置必然会与理论位置出现一定的偏差,同时由于柔性装夹系统的定位精度不高,在进行基准孔扫描时,很有可能出现一个或者多个基准孔的实际与理论值差异过大的情况。此时机器人系统在计算偏移补偿时,就会因为偏差过大而无法计算,程序无法继续向下执行。

3.3 法向找正问题

为了保证制孔加工时的加工精度,尤其是法向垂直度,机器人系统一般都会有法向找正功能。

其具体工作原理为:机器人系统采用4个距离传感

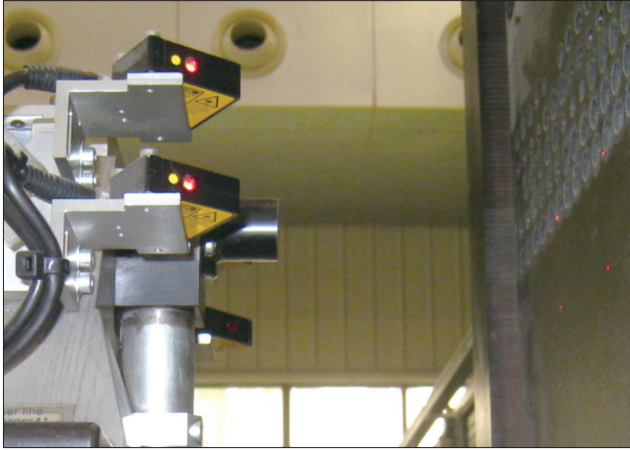


图4 法向找正工作示意

Fig.4 Diagram of normal direction seeking

器,在机器人到达需加工孔位时,距离传感器的激光集中在需加工孔位四周较小的一个区域内,然后机器人系统自动调整位置以及各轴摆角,最终达到4个法向传感器的测量距离一致,如图4所示。因为需要加工的部件的表面曲率较小,所以可以认为,4个激光传感器所确定的法向方向就是所需加工孔的法向方向。

在理论上,寻找法向需要最少3个距离传感器,所

以即使在一些特殊位置,例如某一个距离传感器的激光点掉落在零部件表面之外时,系统也能够准确地找到所需加工孔的法线方向。但是在加工工件的部分区域,尤其是翼面类部件的加工边缘位置,也会出现最多只有2个传感器的位置落在零件上的情况,此时机器人系统就无法自动调整至所需加工孔的法线方向。

4 解决方案

4.1 加工动作解决方案

针对翼面类部件的加工特点,为了使机器人在加工时,能够顺利地从一种材料过渡到另一种材料,需要在过渡区域对机器人的加工动作进行额外设定。其具体方法如下:

(1)在距离钻通第一种材料之前1mm时,加工动作暂停,如图5(a)所示;

(2)退出到零件表面之外,将刀具转速和进给变换为第二种材料的加工参数,如图5(b)所示;

(3)前进至距离第一种材料钻通前2mm处,如图5(c)所示;

(4)使用新的参数加工剩下的第一种材料以及全部第二种材料,如图5(d)所示。

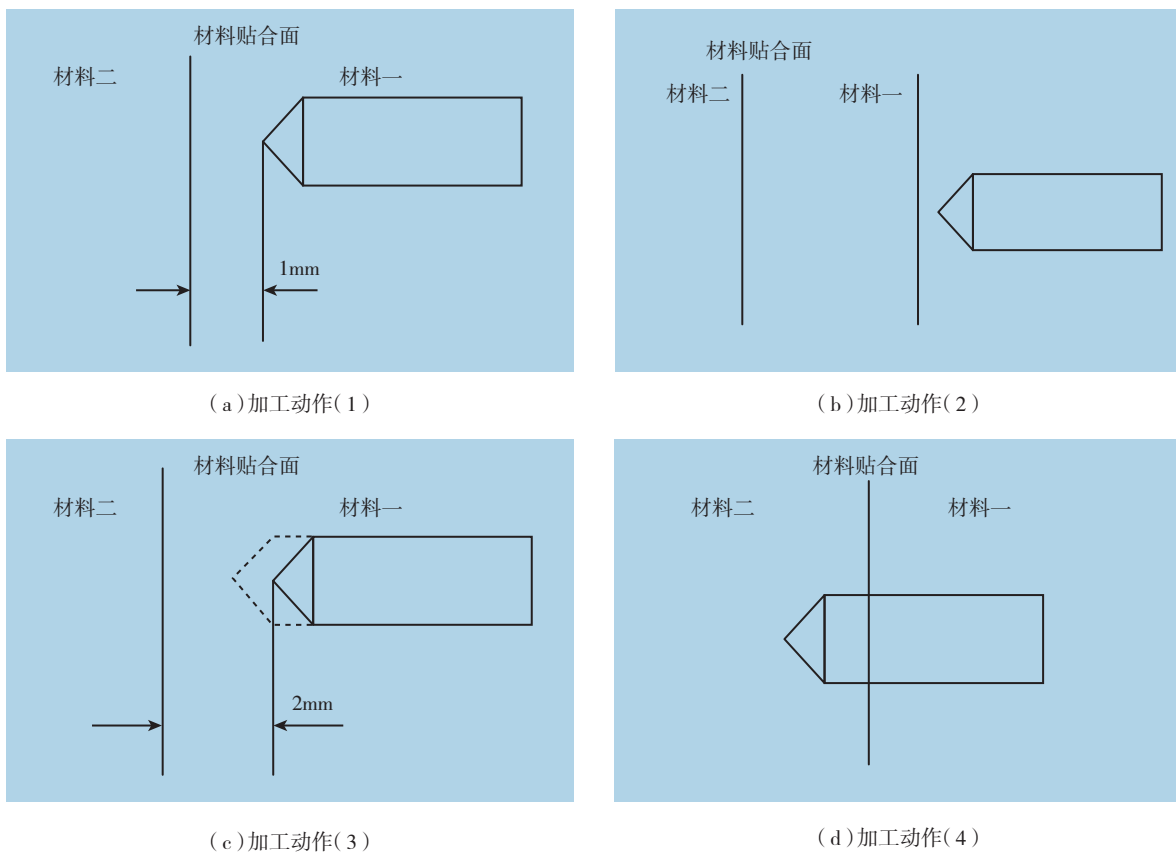


图5 加工动作示意图

Fig.5 Diagram of drilling process

经过大量的试验之后发现,使用这种加工动作,能够有效地解决刀具在两种材料之间的过渡问题,减少过渡时刀具的抖动现象,使刀具对孔壁磨损降低,提高孔的加工质量。

4.2 基准扫描解决方案

为了保证机器人系统能够通过加工之前的基准孔扫描。首先在预装工装之上加装钻套,钻套的位置根据理论数模中基准孔的位置确定,这样能够尽可能地减少人工加工基准孔的误差;然后在柔性装夹系统中增加定位器数量,使工件在装夹系统中的位置定位更加准确和牢固,实现减少因装夹导致的位置偏差的目的;同时可以修改柔性装夹系统的转动控制系统,更加精确地控制工装的转动,减少因工装旋转造成的位置精度丢失。

4.3 法向找正问题解决方案

在最多只有 2 个传感器的位置落在零件上时,如果加工工件外形曲率变化不大,可以使用冻结法向的方法来确认待加工孔的法线方向,即在加工完最后一个能够使用法向传感器找到法向的孔之后,将这个孔的法向参数固定在程序中,之后需要加工的孔,沿用该孔的法向参数。

使用这种方法能够在法向传感器无法产生作用时,最大限度地满足加工需求,保证待加工孔的法向精度。同时可以对系统进行改进,采用其他的法向找准方式,例如可以采用扫描待加工孔位附近表面曲率的方式,但因这种方法将会改变系统的现有模式,对系统产生较大影响,而且改进时的成本也较高,所以较少采用。

5 结论

自动制孔技术是提高飞机钻孔质量和加工效率的重要手段,本文针对翼面类部件的加工特点,分析了在使用自动制孔机器人加工该类零件时出现的难点及问题,提出了相应的解决方案,并通过试验验证了解决方案的可行性。本文提到的这些问题,只是机器人自动制孔系统在实际加工应用时遇到的问题中较为突出的,除此之外还存在其他问题,例如在离线编程阶段,会涉及到坐标融合;实际加工阶段,加工路径的合理安排等问题。

综上所述,想要使机器人加工更加顺利、效率得到有效提高,还有很多问题亟待解决,需要我们进行更多的学习研究。

参考文献

[1] 毕树生,宗光华,梁杰. 机器人技术在航空制造业中的应用. 机器人技术与应用,2009(3):29-35.

(责编 亿霖)

(上接第 45 页)

7 结论

翼身融合整体结构装配涉及多学科多领域,通过柔性装配技术规划研究,确定了不同阶段应用的不同柔性装配技术,得到了柔性装配工装的输入,自动制孔设备的利用率,统计出所需的工艺装备和专用设备,为实现翼身融合整体结构优异性能,满足设计技术要求,提高装配质量提供了有效保障。同时,翼身融合整体结构涵盖了机翼和机身,其他型号的非翼身融合结构在开展柔性装配时,本研究成果也可提供一些支持和服务。

参考文献

[1] 彭亮,薛红军,张玉刚. 翼身融合飞机结构研究. 科学技术与工程,2009(8):244-247.

(责编 小城)

(上接第 49 页)

为独立完成的全过程数字化制造模式,从根本上提高了管路系统制造的响应速度,为后续日益增长的型号任务提供了必要的技术支持和保障。

参考文献

- [1] 高慎斌. 卫星制造技术(下). 北京:中国宇航出版社,2006.
- [2] 孙伟,闫荣鑫,韩琰. 航天器密封管路的气态与示漏气体漏率等效关系研究. 航天器环境工程,2009.
- [3] 王奇娟,薛忠明,杨颂华,等. 钛合金、不锈钢和铝合金异材管路结构钎焊工艺. 航天制造技术,2007(6):25-27.

(责编 亦非)

(上接第 54 页)

对舱体变形、装配应力大,采用增加调整垫片的工艺措;针对设备安装支架精度要求高,引入了离线加工的工艺措施,保证了舱内结构装配后满足各项技术指标要求。该装配工艺技术可在未来空间站等大型密封舱内结构的高精度装配提供借鉴。

参考文献

- [1] 熊威,甘忠. 测量辅助飞机装配技术. 航空制造技术,2011(8):57-60.
- [2] 张于. 基于统一空间测量网络的大尺寸测量方法. 航天器环境工程,2011,28(3):277-281.
- [3] 王莉,方伟,邢宏文. 大尺寸空间测量方法的实施及应用. 南京航空航天大学学报,2012,44(S):48-51.
- [4] 刘建新,马强,杨再华. 激光跟踪测量系统及其在航天器研制中的应用. 航天器环境工程,2008,25(3):286-290.

(责编 良辰)