

大型整体钛合金框的数控加工技术

NC Machining Technology of Large Integral Titanium Alloy Frame

北京航空制造工程研究所 王文理



王文理

北京航空制造工程研究所数字化与柔性装配技术研究室高级工程师,长期从事数字化制造与航空产品数控加工工艺相关技术研究,参与过多项重大课题和军品型号攻关任务,曾获航空科学技术一等奖、国防科学技术三等奖,发表论文 10 余篇。

随着材料技术、制造技术的发展以及飞机性能和结构的需要,在国内外先进主力战斗机的结构设计中,为满足飞机轻量化、长寿命、易维护等需求,机体零件结构向整体化、薄壁化、结构承载与功能综合化等方向发展,因此越来越多地采用了整体结

我国大型飞机整体结构件的数控加工仍然处于起步阶段,加工效率及质量方面都还明显落后于发达国家,这已成为制约整个飞机研制和生产的“瓶颈”之一。

构设计,其典型的代表就是整体框结构,将以前需要数个框段通过机械连接而成的框改为一个整体结构的大框,这样可以大幅减少零件数量,增加强度,减轻结构重量。

钛合金材料具有高韧性、高强度、低密度、组织纤维性和无磁性等突出优点,可降低飞机的结构质量系数,延长使用寿命,是现代飞机承力构件中最有应用前景的材料之一,发达国家军机结构件中钛合金用量不断增加,美国 F-22 钛合金用量已达 39%,F-22 后机身钛合金隔框精密模锻件投影面积达 5.53m^2 。钛合金的综合优势使得新型战机的主承力框采用钛合金整体结构将是极佳的选择。

目前,发达国家设备精良,工艺技术先进,并针对飞机大型整体结构零件的特点进行了大量的工艺技术研究。另外,通过对难加工材料的加工工艺方法进行研究,也大大提高了以钛合金为代表的难加工材料的加工效率。但我国大型飞机整体结构件的数控加工仍然处于起步阶段,加工效率及质量方面都还明显落后于发达国家,这已成为制约整个飞机研制和生产的“瓶颈”之一。

大型整体钛合金框的生产方式

由于大型钛合金结构毛坯锻造难度极大,需要超大型专用锻造设备,目前我国还没有此类锻造设备,

2010 年第 24 期·航空制造技术 65

暂时不能满足钛合金框整体毛坯的锻造,只能采用分段锻件加工后焊接的方式。目前大型钛合金框的研制大体有2种方案可供选择:分段精加工—焊接—补充加工焊接接头部位;分段粗加工—焊接—整体数控精加工。俄罗斯 Su-27 的 42 框是钛合金整体框,其基本工艺方法采用了第一种方案,这样生产效率高,但对焊接精度要求高。第二种方式适合更大更复杂并且焊缝多、焊接变形情况复杂的框,整框最终精度由数控加工来保证,这种方式的弊端就是造成焊后数控加工只能在一台机床上进行,加工周期长,质量风险大。

大型整体钛合金框的结构特点及加工工艺性

大型整体钛合金框的投影面积可达 $4\sim 5\text{m}^2$,通常为双面加筋的加强框,外形为符合蒙皮走向的变斜角,每面有数十个槽腔结构,腹板较薄,有复杂的加强筋。框的两侧通常具有与机翼连接的耳片结构。框中间通常有2个较大圆形开口,其边缘为变斜角,符合发动机的外形。此类框还具有飞机结构件轻质、薄壁、深槽、变斜角外形、高精度等通用特点。总之,此类框不但为难切削材料,而且焊缝多,焊接变形及焊缝收缩量复杂,尺寸大,结构复杂、精度要求高,切除率超过90%,这些特点决定了此类框必须用大型五坐标数控机床加工,数控加工难度和强度均很大。

焊前分段数控加工工艺

焊前分段加工的目的主要是为了保证焊接工序的需要,加工出焊接面、焊接基准,并为焊接变形留有足够的余量。焊前分段加工的工艺直接影响焊接工艺,影响到焊后整框的变形及加工余量,焊前数控加工工艺需要关注以下方面:

(1) 所有焊缝设计为直线,且焊缝两端各往外延长一些,这样可以使

焊缝的头端和末端的引弧位置处于零件以外。

(2) 焊前加工外形、槽底面和侧面都留足够余量,用来抵消焊后整框的翘曲变形。

(3) 焊前焊口面注意留合适的余量,用来抵消焊缝的收缩。

(4) 焊口面的垂直度和表面粗糙度精度要高,保证焊接时对接缝隙要足够小。

(5) 为提高切削加工效率,这一阶段以大规格尺寸刀具为主,采用机夹式带涂层可转位刀具,以大切深、宽切削、快进给,实现高效切削。

经实践证明,上述的焊前加工方案设计总体是成功的,能够满足整体框的焊接和加工要求。

焊后整框的数控加工工艺

钛合金的切削加工瓶颈就是加工效率低,仅为45号钢的20%~40%。整体框的数控加工工艺主要考虑切削效率、零件尺寸精度控制、平面度控制和曲面形状控制。焊后整框工艺规程设计需要采取以下工艺措施:

(1) 焊接式整体框数控加工之前要对零件焊后变形进行测量,根据测量数据确定加工坐标系的原点。

(2) 由于焊接变形和各框段间有错位,所以要安排定位基准孔与基准面的修复加工。

(3) 加工前铣掉焊接引弧块,以保证外形加工余量的均匀分布。

(4) 此类加工属重型切削,必须选择主轴、大扭矩和足够功率的机床。

(5) 压板数量要足够多,保证装夹系统和工艺系统的刚度。

(6) 选择可以提高刀具表面硬度、耐高温、抗磨损、高强度、减小摩擦系数、提高温度和化学稳定性的涂层。加工过程中应严格监控刀具的磨损与破损,及时更换磨损的刀具。

(7) 应保持切削液的充分、连续

供给。

(8) 粗加工侧面时,有硬的氧化皮,应采用逆铣,其余处则采用顺铣方式较好。

(9) 严格执行工艺规程中规定的每个程序的切削参数,不能盲目追求加工效率而提高切削速度,确保零件表面不被烧伤。

(10) 槽腔的侧面和底面要分别加工。

(11) 先加工筋顶面,先三轴后五轴,先面后孔,这样可以减少崩刃、让刀,降低孔加工难度。

(12) 大型整体框应合并工序,减少翻面。

(13) 外形精加工采用焊接式长刃立铣刀,采用小切宽,大切深,一次加工完成,表面粗糙度小。

数控编程与模拟仿真技术

1 整体框的数控编程

在钛合金整体框的数控编程中,应将工艺规程所制定的加工方案充分体现在程序中,包括切削部位、方式和参数,刀位轨迹规划、刀具选择、余量设置、加工轴数和程序名称,另外还应注意以下事项。

(1) 最好料外下刀,没有条件应该先钻下刀孔,不要螺旋下刀或斜线下刀。

(2) 严格按工艺规程设置分层,不能某一刀的切除量突然很大。

(3) 槽腔的加工侧面和底面要分开加工。

(4) NC 程序必须在计算机上进行模拟切削,必须首先确保刀具轨迹的正确。仿真只是几何学方面的仿真,物理学方面的问题很难被发现,所以要注意仿真不能解决所有问题,加工时还要认真观察。

(5) 应划分粗精加工阶段,双面对称去余量,分层去余量,控制变形。

2 数控程序的模拟仿真验证

大型整体框的数控加工程序通常可达数百条,也无巨大的毛坯可提

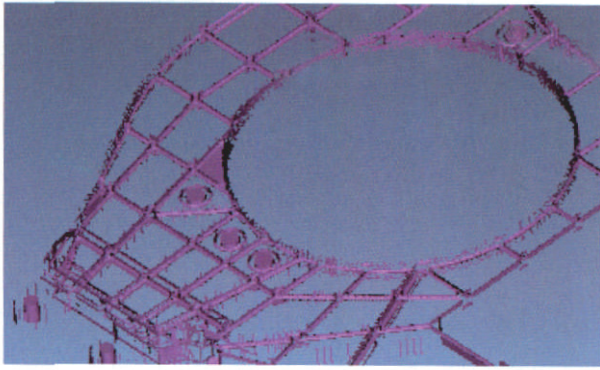


图1 比较检查后得到的残留量模型



图2 比较检查后得到的切伤部位模型

供试切。在无法试切的情况下,要确保一次加工合格,这对数控程序的要求非常高,所以,必须采取有效手段花大量时间在计算机上进行模拟切削,检验程序,确保程序正确。

(1) 程序在 CAM 环境中进行单步回放检查,检查刀位轨迹的边界、切削深度。

(2) 在加工仿真软件中建立毛坯模型,建立加工坐标系,将所有 CLS 刀位文件装载进来,进行模拟仿真加工。

(3) 检查加工模型的所有尺寸,如有超差,立即终止程序,修改后再查。

(4) 将设计模型调入加工仿真软件,与加工后的模型与理论模型进行比较检查,见图 1 为比较后得到的未切除的残留量的模型。

(5) 进行比较检查后,得到切伤部位模型,见图 2,要仔细测量过切

尺寸,检查切伤是否在公差范围内。

(6) 利用仿真软件生成的检查报告,认真检查每一个产生误差的程序段。

(7) 发现程序有问题立即修改,

修改后输出刀位文件,重新再进行仿真检查,直到所有问题解决。

(8) 最好能进行 G 代码程序仿真。

大型框的在线检验技术

此类大框焊后必须通过测量,精确掌握焊接变形情况和余量分布情况,这样才能为整框的加工确定基准和分配余量。由于此框焊后尺寸大,北京航空制造工程研究所现有测量机无法测量,利用雷尼绍测头在机床上进行在线测量是一个很好的方案,测量后就可直接找正零件,并建立加工坐标系,如图 3 所示。

结束语

大型钛合金整体框是先进战斗机大型复杂结构零件的典型范例,是数控加工领域内公认的难题之一,价格很贵,生产周期长达 1~3 个月,因而对加工中所涉及的机床、刀具、工装、切削参数、编程方法、仿真技术、

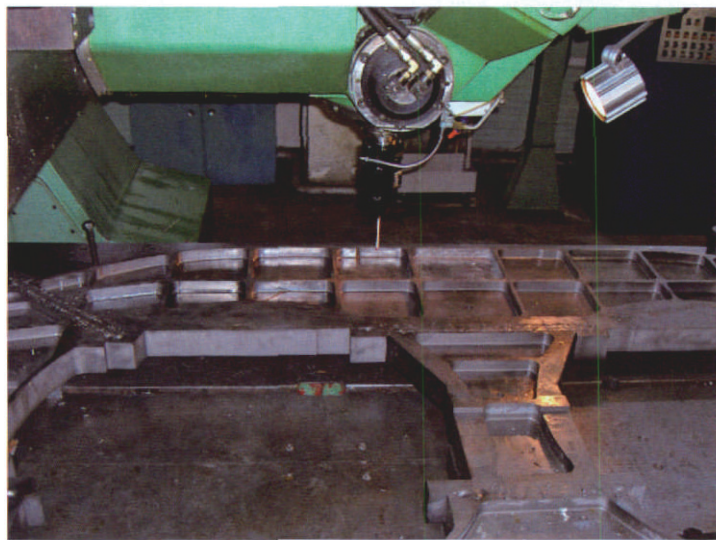


图3 利用雷尼绍测头在机床上进行大型整体框焊后测量

测量技术、变形控制、切削效率等技术都提出了更高的要求,必须设计科学严谨的工艺流程才能保证大型钛合金整体框数控加工的质量。

(责编 泰山)