

C919 上半框零件的数控加工

Numerical Control Machining of C919 Half Frame

中航工业沈阳飞机工业集团有限公司数控加工厂 王玉石



王玉石

助理工程师,主要研究领域为数控加工制造技术。曾多次受到表彰,其中“C919 上半框零件加工精益改进”曾获得沈阳飞机工业集团有限公司“精益改进”一等奖。

C919 大型客机是由中国商飞上海飞机研究所设计的中国首架大型客机,承载了国家大飞机战略的光荣使命,凝聚了全国人民的希望和航空人的心血。C919 大型客机后压力框部段采用了全新的材料和结构形式,结构复杂、制造难度大,无论是设计还是制造,在国内都是第一次。

C919 后压力框为飞机后机身所有零件中加工难度最大的零件之一,而上半框是后压力框中最大的零件,以多槽、大闭角、高筋为特点,被认为

刀具参数的确定是高速加工中的重要环节,程序的编制也是围绕这一环节展开的。在此零件中,球面闭角区的参数确定更是整个加工过程中的重点,一个合理参数的设置在保证零件尺寸与表面质量的同时也是保护刀具耐用度与机床寿命的必要条件。

是 C919 飞机后机身中加工难度最高的零件。

零件结构特点

C919 后压力框由上半框、下半框、左半框、右半框共同组成。在后机身所有机加零件中,上半框为最难加工的零件之一。由于上半框直接连接飞机垂尾,所以无论是对质量还是对强度,要求都很高。特别是角度为 37.36° 的大角度球面闭角,使用数控机床加工如此大角度的闭角已经是国内首次尝试,内表面的球形结构更是对数控加工提出了新的挑战。

加工方案的确定

工艺方案的确定对零件整个的加工过程起着至关重要的作用,一个好的工艺方案直接关系到零件的质量,关系到零件是否能够成功交付^[1],此次零件加工采用无工装两面加工。

1 零件特点

经过对零件的结构分析,影响零

件加工的主要因素如下:

(1) 零件需两面加工,且两面结构差距很大;

(2) 大角度球面闭角,角度为 37.36° ,闭角缘条高 75mm,缘条无连接、无支撑,闭角内有 2 个高度为 18mm 的立筋,伸入闭角底部;

(3) 零件侧壁厚 3mm,最高处为 70mm,属于薄壁高筋;

(4) 腹板厚度为 3mm,且多下陷。

2 机床的选择

该零件尺寸较大,结构复杂,闭角众多且角度较大,因此选择机床时必须选择操作平台长度大于 4m 的五坐标、A 角行程超过 $\pm 60^\circ$ 、C 角行程超过 $\pm 180^\circ$ 的机床。为保证加工可以顺利进行,选择德国 FZ37 五坐标龙门高速加工中心加工此零件。

3 刀具的选择

此零件加工只使用 5 把刀具(包括 1 把角度球头刀),保证了粗精加工的刀具分开使用,一次刀具装夹尽

可能地完成该刀具能完成的工序。

此零件由于结构特殊,在加工球面闭角时为保证机床刀具、主轴头部不与零件干涉,故使用了加长刀套与刀具。未用加长刀套时,主轴头部与零件毛料发生干涉。加长刀套刀柄长度为150mm,刀套总长度为200mm。刀具下刀深为100mm,刀具与刀套总长度超过250mm。

4 机加方案的确定

机加方案的确定直接关系到零件的质量能否保证,针对零件本身特点采用最优化工艺方案。

4.1 变形控制

零件毛料尺寸为2900mm×1100mm×155mm,机加去除率高达90%以上。多次翻面加工虽然可以很好地控制零件变形,但对工人劳动强度与技术水平的要求都过高。此零件采用应力抵消的方法,仅翻面2次,就达到了控制变形的目的。

第一面粗铣后留5mm加工余量,自然状态下去除变形量。进行第一次翻面,将第二面加工到零件尺寸,再次去除变形量。再次翻面,将第一面精加工到零件尺寸,切断取下零件。

切削效果表明,当零件单面加工时,由于应力不对称,零件变形量较大;当第二面加工完成时,由于零件两面都有去除量,应力相对对称,零件变形量较小,翻面后真空吸附良好。

4.2 腹板厚度的保证

此零件的加工不使用任何工装,腹板厚度仅有3mm,下无支撑工装,处于悬空状态,加工强度与振动是影响腹板尺寸的主要因素。针对上述情况,腹板尺寸只能通过工艺方法与加工策略来保证。

4.2.1 切削量的控制

腹板薄,而且不使用工装,下无支撑,腹板强度差,为保证加工过程中有较高的强度,粗加工后留余量5mm。采用轴向不分层加工,从中

心向外加工,一次性去除5mm余量。这样在过程中,始终可以保持未加工部位厚度在8mm以上,可以保证强度要求。为减小刀具切削力,刀具选择时以小直径为好,径向切削量要减小。如图1所示。

4.2.2 刀具底R对加工腹板的影响

影响腹板厚度的主要因素之一是加工过程中腹板的轴向振动。对切削过程中腹板的受力分析可得到以下结论,切削力分布如图2所示。

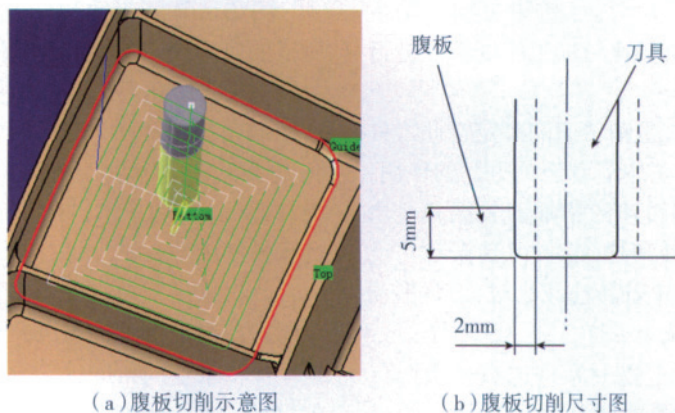


图1 加工方法示意图

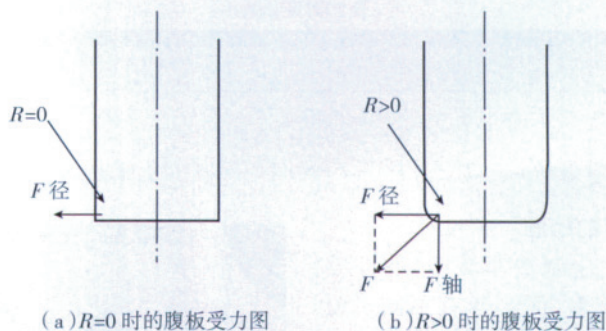


图2 腹板加工受力图

当 $R>0$ 时,腹板受径向力与轴向力,而轴向力就是腹板产生振动的主要因素;当 $R=0$ 时,腹板只受到径向力的影响,腹板振动明显降低。

上述结论还表明,随着刀具底 R 的增大,腹板所受到轴向切削力影响以随之增大,振动也相对明显。

在较薄的腹板加工过程中,在无工装支撑,也无真空吸附时,刀具很容易与腹板产生共振,通常我们认为腹板强度不够,其实不然,刀具的选择在切削腹板时也起着至关重要

的作用。

4.3 球面闭角区定角度加工

球面闭角区角度为 37.36° ,筋条厚度最薄处为2.6mm,高度为75mm,闭角内部两立筋高度为18mm。闭角区内侧为球面。如图3所示。

4.3.1 刀具的选择

闭角加工共使用刀具2把,分别为 $\phi 20R4$ 、 $\phi 8R4$ (锥度球头),下刀深均为100mm^[2]。同时,2把刀具均使用加长刀套。

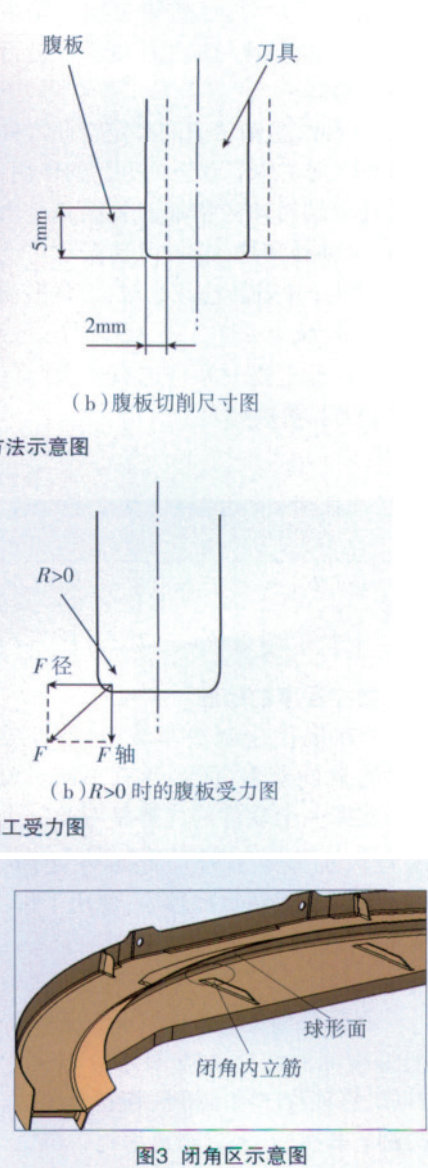


图3 闭角区示意图

4.3.2 加工参数的确定

刀具参数的确定是高速加工中的重要环节,程序的编制也是围绕这一环节展开的^[3]。在此零件中,球面

闭角区的参数确定更是整个加工过程中的重点,一个合理参数的设置在保证零件尺寸与表面质量的同时也是保护刀具耐用度与机床寿命的必要条件。

闭角定角度行切时,由于使用加长刀套,刀具过长(下刀深 $L=100\text{mm}$),刀具与刀套的总长度大于 250mm 。刀套本身和刀具与刀套的同心率都要降低,同时机床 A 角摆角过大 ($A=60^\circ$),行切过程中 C 角变化量在 180° 以上,机床主轴功率增加,故刀具转速与加工速度都要进行相应调整。

因此,主轴转速的确定在此零件闭角区加工中起着至关重要的作用,随着主轴转速的增加刀具振动会增加,主轴转速增加时,刀具振动角度 γ 增大;主轴转速减小时,刀具振动角度 γ 减小。

经过上述一系列的分析、计算,确定刀具参数如表 1 所示。

表1 刀具参数

加工内容	刀具规格	转速 / ($\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$)	进给 / ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)	加工余量 / mm
粗加工	$\phi 20R4$	10000	3000	0.5
精加工	$\phi 8R4$ (锥度球头)	9000	3000	0

5 数控程序的编制

在现代化制造领域中,数控编程的软件众多,优势各有不同。怎样发挥一个软件的优势是考验一个编程人的基本素质。此零件使用 CATIA V5 编制数控程序,使用了许多 CATIA V5 的编程优势和技巧^[4]。

5.1 编程方法

在保证编程速度的同时,高速切削编程需要注意的方面还有很多。首先,保证程序的准确性和安全性是关键。其次,五坐标高速编程中避免对刀具的磨损、机床的损害也是不可忽视的^[5]。

针对上述问题,此零件加工过程中采用了下述编程方法:

- (1) 闭角区定角度加工;

- (2) 轴向分层铣削;
- (3) 小切深、大进给量;
- (4) 转角处降速或圆滑过度;
- (5) 进退刀使用圆弧进退刀;
- (6) 半精加工保证余量均匀;
- (7) 保证刀具轨迹的平稳,避免机床功率的突变;
- (8) 外形加工,径向分层大于 25% 刀具直径,防止因排削困难而粘刀。

5.2 闭角区定角度加工程序的编制

闭角区加工一直以来都是数控加工的难点,按照以前的编程方法,刀具在加工闭角时,刀轴由垂直方向到摆动角度过程中,五轴联动,刀具底刃切削量瞬间增大,机床功率瞬间增加,从而影响了零件质量和刀具、机床的使用寿命^[6]。

此次采用定角度加工,刀具在加工闭角前以定角度进刀,加工过程中始终保持不变的角度,对于 C/A 角机床只有 C 角有小角度变化。闭角加

6.1 VERICUT 演示及注意事项

VERICUT 演示可以对程序进行切伤及残余检验,根据一些参数的设定,切伤及残余量可以用不同颜色来显示。VERICUT 演示可以用前置也可以用后置,检验时最好用后置程序演示,因为最终到达工段的程序是后置程序,这样可以避免中间环节出现错误导致的报废。

6.2 原程序的检验

单靠 VERICUT 演示来检验程序是不够的,在 VERICUT 演示的同时也要认真对原程序编制的合理性进行检验,很多时候 VERICUT 演示没有任何漏洞,但实际加工时还会出现各种各样的问题,如扎刀、打刀、带刀、颤刀、零件表面光度差等。

结束语

C919 上半框零件经数控加工取得成功,证明了工艺方案的正确性及合理性,是切实可行的方案。

在航空事业飞速发展的今天,我们要加快步伐,大胆尝试,不断完善和优化加工方式,任何技术问题都不应停滞在某一点上固步自封,而要大胆创新,加快步伐,不断进取,加强合作与交流,提高企业的经济效益和生产水平,使祖国的航空机械制造业赶上甚至超越世界先进水平,再上一个新的台阶。

参考文献

- [1] 杨叔子. 机械加工工艺师手册. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [2] 刘占斌, 黄东. 常用金属切削刀具的选用. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- [3] 王明红. 数控技术. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [4] 刘雄伟. 数控加工理论与编程技术. 北京: 机械工业出版社, 2003.
- [5] 詹才浩. CATIA V5 数控加工教程. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [6] 陈云. 现代金属切削刀具实用技术. 北京: 化学工业出版社, 2008.

(责编 夏宛)

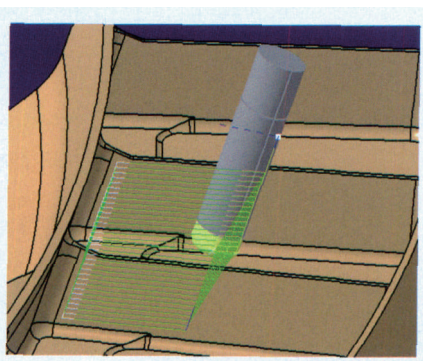


图4 闭角加工刀路图

工刀路如图 4 所示。

6 数控程序的检验

随着 VERICUT 演示功能的不断强大,零件被切伤的几率很小。但我们编制程序的宗旨不只要确保程序完好无损,同时还要考虑刀具路径及机加顺序的合理性。