

某机典型接头高效加工工艺

■ 中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司数控加工厂 (辽宁 110850) 张 伟



扫码了解更多

摘要: 全面阐述某机典型接头零件在高效全数字化加工环境下的具体加工过程。采用无工装六面加工, 结合高强度钛合金TC21的材料特点和切削性能, 摸索出一套合适的整体合金刀具加工方案, 并通过工艺试验得出最佳的切削效率, 形成指导性工艺资料。



在某型飞机上, 为满足接头类零件的性能要求, 其材料多采用高强度钛合金, 如TC21。此类接头零件数量较多, 典型特点是结构复杂, 曲面筋条缘条相互穿插, 筋薄槽深, 配合精度、形位精度要求高。此类零件对数字化机加工水平提出较高要求, 现有技术水平加工此类零件难度较大, 质量风险较高, 研制周期得不到有力保证, 于是开展针对此类零件的高效数字化加工方法研究项目。

在此类零件中选择一项作为研究对象, 通过合理设置工艺凸台, 利用超长整体合金刀具, 开

发应用“浅切加工”、“转角插铣”等加工技术, 加入“防颤控制”、“变形控制”等先进技术手段, 实现该类零件的全数字化加工, 建立钛合金高效加工工艺参数库, 为未来机型研制提供技术基础和技术支持。

1. 接头的工艺性分析

(1) 接头结构特点。该零件是吊挂部分最重要受力构件之一, 具有安全传递载荷和实现飞机各部位连接之功用。毛坯料为钛合金锻件, 材料牌号TC21, 零件形状较为复杂, 弧面为理论外形面, 贴合飞机蒙皮, 其余五面均为槽型结构, 且都为配合表面, 加工工艺性极差, 是整个飞机吊挂部分最复杂的结构件之一, 其结构如图1所示。

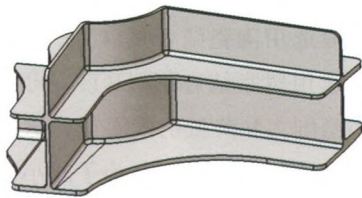


图1 接头结构

(2) 零件毛坯料信息。毛坯料为钛合金锻件, 材料牌号TC21-DT-M(退火)。毛坯料

外廓尺寸为 $340\text{mm} \times 310\text{mm} \times 160\text{mm}$, 质量为75kg。

(3) 加工方案论证。工艺方案的确定对零件整个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。此次零件加工采用无工装六面加工。

对零件进行结构分析认为, 影响零件加工的主要因素有: ①零件需六面加工, 五面为槽型结构, 一面为弧面结构, 定位不好。②槽深。每个槽的下刀深都在100mm以上, 最深的达到150mm。③大角度球面闭角为 35° , 闭角处缘条高达150mm, 开角并且外侧无支撑。④零件壁厚4mm, 最薄处为2.5mm, 属薄壁高筋。⑤唯一一处腹板面为大弧面, 壁厚5mm。⑥零件的六个加工表面都有配合关系, 尺寸精度和形位精度要求高, 材料去除率高达94%, 极易变形。

(4) 机床的选择。该零件六面加工, 结构复杂, 闭角众多且角度较大, 因此必须选择操作平台长度大于4m的五坐标、A角行

程为 $\pm 30^\circ$ 、 B 角行程为 $\pm 30^\circ$ 的机床。为保证加工顺利进行,选择五坐标立式铣床加工此零件。

(5) 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,使用了加长刀套与刀具。未用加长刀套时,主轴头部与零件毛坯料发生干涉。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。

2.加工基准的确定

该零件为六面加工,采用两侧留工艺凸台、正反两侧翻面加工的方法已经不能满足加工要求,由于零件结构的特殊性,六面需同时留工艺凸台(见图2),每面凸台既可以定位,又作为基准面,为降低多次装夹的误差,控制每两相对两平行平面之间的平行度为0.1mm,每相邻两垂直平面之间的垂直度为0.1mm。在零件的加工过程中,要严格控制凸台的尺寸,既要保证在本工步

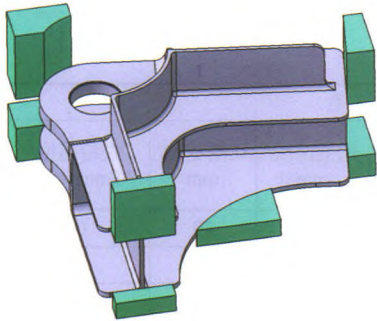


图2 工艺凸台

中零件内形的有效切削面积,还要保证在下道工序中该凸台对零件的有效定位。

3.插铣内形防颤技术应用

(1) 插铣的优势。为防止零件在加工过程中,由于转角处切削量突然变大而引起的刀具折断或者零件窜动等问题,转角处理采用插铣法,插铣法就是Z轴铣削法,其优点在于:①减小工件变形。②采用插铣法加工,机床主要承受轴向力,可降低机床的磨损。③插铣法加工效率高,经加工验证,采用轮廓铣加工一个40mm深槽口的时间约为2.5min,而采用插铣加工,时间仅为1min。因此加工大型钛合金框等腹板为多槽多转角型零件,效果尤为明显。

(2) 插铣加工的技术要求。

①插铣的工序安排:插铣加工钛合金零件型腔时,一般用于粗加工后、精铣四周缘条筋条前,由于转角处余量过大,避免加工转角时,由于切削量过大造成刀具折断,而进行转角插铣处理。②对刀具的要求:一般加工量不超过刀具直径的1/3(整体刀具),对于镶齿焊接刀具或镶刀片刀具,其轴向的切削宽度不超过刀齿(刀片)宽度。③余量的要求:加工时,轮廓留0.3mm精加工余量。④插铣速度:加工钛合金零件时,利用整体硬质合金刀具进行插铣时,刀具直径一般选 $\phi 16\text{mm}$ 或者 $\phi 20\text{mm}$,速度一般为 $v_f = 60\text{mm/min}$ 。

4.机加工过程中零件变形控制

该零件的材料去除率高达

94%,极易变形,而且环形槽的下刀深超过155mm,侧 R 为 $R4\text{mm}$,因此,在编程过程中,刀具库中的长刀均不能满足加工要求。针对上述问题,该环形槽的加工采用了如下加工方法:

(1) 采用机夹刀片进行浅切加工,这也是一种新的加工方式。所谓浅切加工就是轴向分层铣切,小切深、大进给,每层切深1mm,切削速度 $v_c = 1\,000\text{mm/min}$ 。采用这种方法进行切削,既可减小零件在加工过程中产生的应力集中(即控制变形量),又可提高加工效率,同时也减小了机床主轴的功率,能延长机床的使用寿命,如图3所示。

(2) 为解决侧 R 小、大直径刀具难加工的问题,采用 $\phi 8\text{mm}$ 直柄刀具安装加长细套,利用五坐标立式铣床五轴联动高精度的加工特点进行摆角加工的方法,进行 R 角余量的去除,如图4所示。

(3) 程序编制过程中,毛坯料基础状态的实时模拟技术应用。由于该零件多次进行翻面加工,各面均要留凸台,考虑到最终零件外形去除时,在最后一个工位,凸台的准确位置无法确

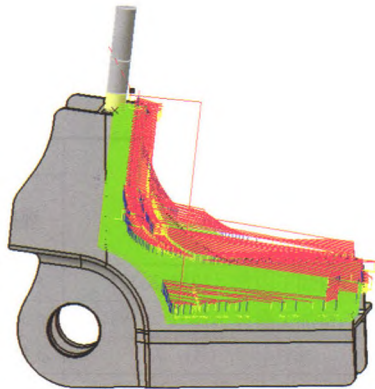


图3 浅切刀具路径

定，因此采用在软件CATIA V5编制时，存储本道工序切削后的毛坯料实体，作为下道工序切削时的毛坯料，经过这样处理后，余料的位置及尺寸很清晰直观，这样可以避免撞刀。这种编程方法在实际编程应用中是值得借鉴的，如图5所示。

5.刀具的选择及切削参数

由于钛合金材料本身变形系数小，所以刀具的每齿进给量不宜选择过大，否则会加剧刀具的磨损，使刀具寿命下降。粗加工使用国产 $\phi 40R4$ 立铣刀，进给量一般选择 $f_z=0.15\sim 0.20\text{mm/z}$ ，半精加工及精加工采用进口刀具，进给量一般选择 $f_z=0.10\sim 0.15\text{mm/z}$ ，精加工进给量一般选择 $f_z=0.03\sim 0.15\text{mm/z}$ 。在精加工中主要通过切削速度的提高来弥补每齿进给量的不足，最终达到表面的光整加工。此外，精加工时切削钛合金材料刀具线速度一般选择 $v=40\sim 60\text{m/min}$ 。附表所示为加工中所使用的刀具及相应的切削参数。

实际在粗加工过程中，严格限制了轴向切深，每层最大深度10mm，避免因切削深度过大产生过多的切削热，导致零件变形。此外，切削过程中的切削液一定要充分供给，切屑的清理要

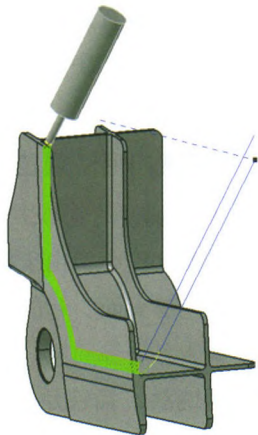


图4 加长刀具摆角铣切路径

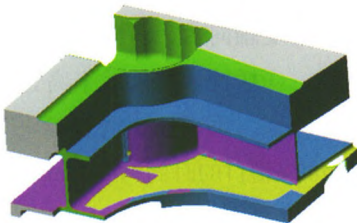


图5 实际编程过程中毛坯料效果

及时，否则会对刀具的切削性能产生不利影响，严重时会影响已加工面的表面质量。

6.结语

该零件在数字化加工过程中，采用预留工艺凸台的方法，解决了零件的装夹和变形问题。采用插铣、浅切等加工策略，解决了零件上的环形槽铣削问题。而在整个零件的编程过程中，采用清转角处理法，防止圆角和转角余量过大带刀啃伤零件，保证了零件的加工质量。经工艺试验和批量生产，产品质量稳定，效

率大幅提高。高效加工工艺的成功实施，为今后类似零件的生产提供了宝贵经验。

参考文献：

[1] 刘峰. 机械制造工程训练[M]. 东营：石油大学出版社，2003.
[2] 上海市金属切削技术协会. 金属切削手册[M]. 2版. 上海：上海科学技术出版社，1998.
[3] 王兴达. 机械制造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，1996.

专家点评

文中的接头属于典型的薄壁类复杂零件，曲面和筋条相互穿插，装夹和定位都非常困难。作者通过预留工艺凸台解决了零件的装夹和变形问题，通过插铣、浅切等加工策略，解决了零件的环形槽铣削难题。

文章思路清晰，措施得力，针对接头零件筋薄槽深的特点，成功采用无工装六面加工的方法，总结出高效工艺在数控加工中的具体实施过程，为类似零件提供了实用的生产经验。

加工刀具选择及切削参数

加工类别	刀具规格			切削参数					
	规格	齿数	刃长/mm	线速度/(m/min)	进给量/(mm/z)	主轴转速/(r/min)	切削深度/mm	切削宽度/mm	进给速度/(mm/min)
粗加工内形 (1251-2637)	$\phi 40R3$	4	55	25.0	0.06	200	10	40	60
精加工腹板 (1251-2619)	$\phi 30R3$	4	60	25.0	0.08	265	1	15	85
插铣转角 (B1-273)	$\phi 16R3$	4	60	28.2	0.03	600	30	2.9	50
精加工缘条、筋条 (B1-273)	$\phi 16R3$	4	60	34.8	0.04	700	30	1	140
精加工缘条、筋条 (B1-197)	$\phi 16R6$	3	55	24.6	0.05	490	30	1	85