

飞机钢梁结构件的数字化高效加工

■ 中航工业沈阳飞机工业（集团）有限公司（辽宁 110850） 张吴双

摘要：以飞机某钢梁结构件为例，就如何优质、高效、经济地完成钢梁粗加工进行工艺性研究，通过实际生产中对加工参数的设定及实践验证，选择正确的刀具和插补方法，有效控制钢梁变形，达到提高效率和质量的目的。

作为某型号飞机的主要承力结构件，某钢梁长度1.5m，属于细长梁结构，零件的刚性很差，加工变形一直是一个很难解决的问题。加之零件材质为30CrMnSiNi2A，属难加工材料，对刀具的磨损消耗很大，因此怎样选择工艺方案、刀具成为影响钢梁加工效率、质量及经济性的重要因素。

1. 零件结构

该钢梁零件结构如图1所示，其在飞机结构中起着重要的支撑作用。

2. 零件分析

(1) 零件毛料信息：零件材料牌号为高强度钢30CrMnSiNi2A，毛料已经过粗加工，单边余量5mm，但是为了符合零件的探伤需求，零件的来料状态为头部槽内填平，导致余量不均匀，给后续加工带来一定的影响。

(2) 零件材料特点：高强度钢30CrMnSiNi2A是一种综合性能优良的结构材料，经过热处理后可以获得高的强度、好的塑性和韧性、良好的抗疲劳性能和断裂韧性以及低的疲劳裂纹扩散速

率，淬透性较好，因而选择该材料作为飞机某部位的主要承力结构件材料。

在具有优良的综合性能的同时，高强度钢的切削加工性能不是很好，刀具易磨损，且由于其具有较好的塑性，也使其在加工后的内应力释放过程中易产生零件变形。

(3) 零件结构特点：零件外廓尺寸为160mm×210mm×1500mm，且具有结构复杂及理论外形缘条高度高、内形深度深等特点，属于细长梁结构。

(4) 加工难点：①加工过程中易产生翘曲、侧弯及扭曲等加工变形，变形不但容易使零件形位公差超过图样规定要求，而且

在内形加工时，对于保证缘条腹板厚度造成一定的难度。②有装配协调要求的重要表面，其尺寸精度和表面粗糙度要求很高，加工比较困难。

3. 加工方案设计的目标

加工方案的制定主要是从零件结构、加工过程以及刀具等方面进行分析，同时要兼顾生产单位的实际生产能力与技术水平、工装及设备精度等，统筹考虑零件的加工质量、加工效率及加工成本，这样制定出的工艺方案才是一个好的、成熟的工艺方案。

加工方案设计最终要实现的目标主要包括以下几方面：①数控加工程序优化设计，运行时达到无人干预状态。②加工周期降

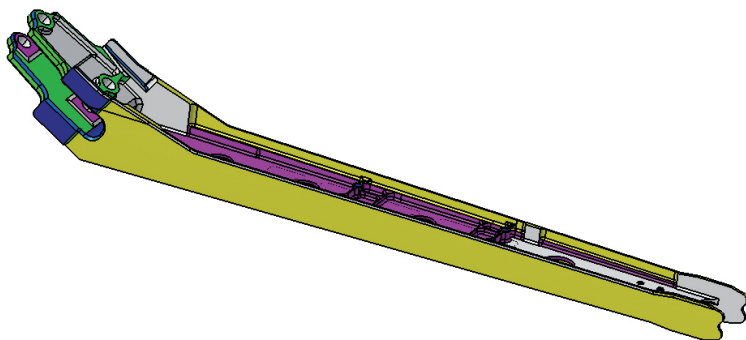


图1 钢梁零件结构

到最短。③重点机床利用最少。
④加工过程完全实现全数字量传递、数字化加工以及数字化检测。⑤加工出的零件质量满足设计要求。

4. 数控设备的选择

零件为“工”字形钢梁，外形为鼓形曲面的垂直尾翼理论外缘，内形有3处套合面加工精度较高，头部与梁身腹板的夹角为 31.4° ，其余部位角度不是很大。综合考虑现场设备的刚性、加工精度、最大角度及忙碌程度等各方面因素，头部孔用ML100镗铣加工中心加工，其余部位用五坐标数控铣床加工。

5. 加工工艺方案的制定

在零件的加工中，由于零件材料热处理后极易发生变形，因此工艺方案的制定必须在控制变形的基础上再考虑其他因素。因此，制定了以下措施来减少和控制变形：①热处理时应用专用工装，在热处理之后对零件进行校正。②热处理前留加工余量，精加工安排在热处理之后。

通过以上对零件变形的控制，确定垂尾梁的具体加工方案如下：数控铣基准面→钻基准孔→粗加工零件内外形→粗加工槽口→半精加工内外形→半精加工头部及槽口→热处理→精加工内形及槽口→精加工各套合区→加工腹板孔→钳工修整。

6. 刀具的选择

零件加工中刀具的选择遵循粗加工用大的刀具提高金属去除率，半精加工和精加工选择的刀具直径较为相近，用来保证筋条及腹板厚度，并顺带去除转角余

量。

(1) 粗加工刀具的选择：两种用于零件粗加工的刀具比较如附表所示。

综合以上因素考虑，采用第三种方案进行钢梁的粗加工，可以提高加工效率和零件质量，减少刀具费用支出，对零件后续精加工尺寸的保证更加有利。

(2) 精加工刀具的选择：选择 $\phi 32\text{mm}$ 和 $\phi 20\text{mm}$ 棒铣刀进行精加工，采用径向分层的方法，由于是刀具侧刃切削，对刀具刀齿的利用比较充分，提高了刀具的使用寿命。

7. 侧刃渐进插补法

侧刃渐进插补法原理如图2所示，即利用刀具侧刃在被加工曲面上沿着既定的程序轨迹“滑动”。刀具的侧刃在切削过程中

始终与被加工曲面保持相切（也可偏移等距离），按曲面的加工容差来分配轴向偏移量的大小（见图2a），最终实现曲面的近似加工。显然，侧刃渐进插补法只能进行凸曲面的加工，对凹曲面加工一定要慎重使用，再者凸曲面曲率半径一定不要过大，不然就会出现轴向偏移量减小、侧刃插补次数过多的现象，导致零件的加工效率下降。从图2c可以看出，实际加工曲面轮廓不完全与理论曲面（见图2b）一致，存在一定的偏差，在数控程序编制之前，首先要依据加工容差分配实际插补理论偏差，进而计算出轴向偏移量，控制刀具侧刃按照曲面的切矢方向运动。

对于外形曲率不大的垂尾梁，应用此方法在保证零件质量

粗加工刀具参数比较表

参数	$\phi 40\text{R4}$ 焊接齿式 硬质合金刀具	$\phi 63\text{R4}$ 机夹端 铣刀/刀片	$\phi 63\text{R4}$ 机夹端 铣刀/刀片
转速 $n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	140	900	1 300
背吃刀量 a_p/mm	10	2	1
切宽 a_f/mm	40	63	63
进给速度 $F/(\text{mm}\cdot\text{min}^{-1})$	80	1 250	2 500
金属去除率 $Q/(\text{mm}^3\cdot\text{min}^{-1})$	32 000	157 500	157 500
加工零件变形量	大	小	小
加工一批零件(8根) 刀具损耗费用/元	20 000	11 400	400
加工后表面质量	一般	一般	好

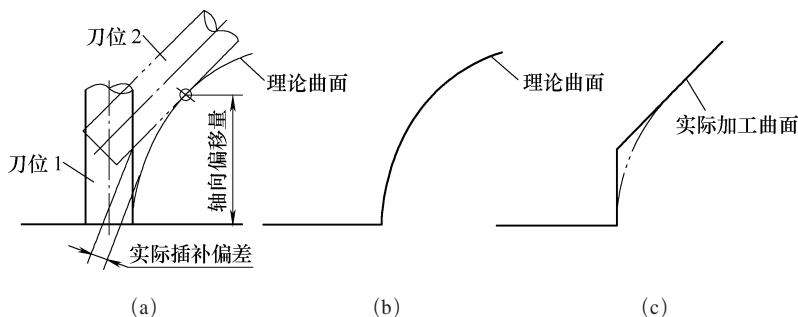


图2 侧刃渐进插补法原理

的同时也提高了加工效率,所以在外形精加工时采用此方法进行加工。

8. 加工中出现的问题及解决方案

(1) 加工中出现的问题。

①最初工艺准备时,按照附表第一种方案进行加工,但是此种加工方法效率很低,刀具费用又高,而且零件变形很大。②采用附表中第二种方案进行粗加工时,由于零件的来料状态余量不稳定,局部位置的余量很大,导致在加工中刀片磨损很严重,经常有颤刀、崩齿现象,有时还会打刀体,对零件的质量造成很大的威胁。

(2) 解决方案及实施效果。

在出现以上问题后,通过对现场加工情况进行分析,确定用浅切的办法粗加工钢梁,这样才能保证零件的变形量在可控范围内。针对刀具在快速切削中由于零件的局部余量过大造成的崩齿、颤刀和打刀体现象,对加工参数进行调整后试切,各组试切参数分别为:① $F=1\ 300\text{mm/min}$, $n=1\ 200\text{r/min}$, $a_p=2\text{mm}$ 。② $F=1\ 000\text{mm/min}$, $n=800\text{r/min}$, $a_p=2\text{mm}$ 。③ $F=800\text{mm/min}$, $n=600\text{r/min}$, $a_p=2\text{mm}$ 。④ $F=2\ 500\text{mm/min}$, $n=1\ 300\text{r/min}$, $a_p=1\text{mm}$ 。

通过试切加工,发现①、②、③组参数依然存在打刀体现象,而通过重新编程序,采用第④组参数并加入转角降速的程序,没有再出现打刀体、崩齿和颤刀现象,而且较之前的加工来看,刀片的损耗也小很多,加工

后的表面质量很好,对后续的半精加工、精加工尺寸的保证也更为有利。

9. 结语

对于该钢梁的数字化加工,我们制定了合理有效的工艺方案。浅切快跑加工技术的推广和应用,控制了零件的变形。同时对加工中出现的问题进行认真的分析,采用新的参数及编程方式对零件进行加工,保证并提高了零件质量。

实践证明,该加工方案、加工参数合理有效,能够确保加工出合格的产品,为今后此类零件的加工提供了技术上的借鉴与参考。在航空制造业飞速发展的今天,我们不能一成不变地按照原有的加工方式进行加工,而是应该结合外部设备、刀具的发展变化,调整工艺方案,以保证工艺方案适应外部技术改革的步伐,使零件的加工达到新的高度。

参考文献:

- [1] 郑文虎. 难切削材料加工技术问答[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] 韩布愈. 机械制造工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [3] 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.

MW (收稿日期: 20160510)

专家点评



文章以飞机某钢梁结构件的粗加工为例,通过在实际生产中对加工参数的设定及实践验证,制定了合理有效的工艺方案。同时也对加工中出现的问题进行了认真的分析,选择性价比比较好的铣刀,以高速、浅切、快跑的加工方法,控制零件变形,提高零件质量。为此类细长梁结构件的加工提供了技术参考。

《金属加工(热加工)》2016年第16期要目

电机壳铸件焊修及配件焊接工艺

铝合金车体底架边梁结构修复工艺

现代有轨电车枕梁焊接工艺及质量控制

SA387Gr11CL2材料焊接工艺

等离子/TIG焊缝正面保护关键技术的研究

双相不锈钢换热器材料选用及焊接技术

某异形容器设备焊接工艺的制定

槽钢+钢板组合箱型柱加工制造工艺

钢结构立体停车库梳板焊接用工装的设计技术

全位置自动焊接技术在长输管道工程中的应用

Q345B钢盾构机的焊接工艺研究

Q690低合金高强钢焊接参数的确定

激光划线功能和切割圆孔在生产中的实际应用

履带起重机桁架式臂头拼焊质量提升