

型腔及薄壁类零件的高速铣削加工试验



扫码了解更多

■ 武汉华中数控股份有限公司 (湖北 430223) 胡 涛 文 闻 熊 翔 孙 楠

摘要: 本文在介绍高速加工技术特点基础上,通过切削用量的选择和加工工序的排序,设计了铝合金材料型腔及薄壁类零件高速铣削加工试验,试验过程可分析出高速加工对于常规加工工艺的改进。同时展示了高速加工的工艺特点及适用条件。

1.高速切削加工的特点

(1) 高速切削的加工效率高。高速切削加工允许使用较大的进给率,比常规切削加工提高5~10倍,单位时间材料切除率可提高3~6倍,加工时间可大大减少。可用于加工需要大量切除金属的零件,特别是对于航空工业具有十分重要的意义。

(2) 高速切削的切削力小。和常规切削相比,高速切削加工时切削力至少可降低30%,这对于加工刚性较差的零件来说,可减少加工变形,使一些薄壁类精细工件的切削加工成为可能。

(3) 高速切削的切削热对工件的影响小。高速切削加工过程极为迅速,95%以上的切削热量极少,零件不会由于温升导致翘曲或膨胀变形。高速切削特别适用于加工容易热变形的零件。对于加工熔点较低、易氧化的金属(如镁),高速切削具有一定的意义。

(4) 高速切削的加工精度高。因为高速旋转时,刀具切削

的激励频率远离工艺系统的受迫振动,保证了较好的加工状态。由于切削力太小,切削热影响小,使得刀具、工件变形小,保持了尺寸的精确性,另外也使得刀具工件间的摩擦变小,切削破坏层变薄,残余应力小,实现了高精度、低表面粗糙度值加工。

2.铝合金高速铣削加工试验目的

铝合金高速切削加工是集高效、优质、低耗于一身的先进制造技术,在常规切削加工中备受困扰的零件易变形与表面质量不好的问题,通过高速切削加工可得到解决。针对铝合金高速加工“小切削、快进给”的特点,通过型腔及薄壁类零件的高速铣削加工试验,来论述高速加工工艺和操作方法,展现如何选择高速切削刀路的优化技巧,以及切削参数的选择,从而提高加工效率及保证加工质量。

3.试验准备

国际标准定义金属材料壁厚

在1mm以下为薄壁件,本次高速铣削加工试验采用图1所示样件,该样件符合“型腔、薄壁”两个标准特点,因样件尺寸的特殊性,如:壁厚0.8mm、圆柱直径1.5mm、多处圆弧相接,零件型腔内结构复杂。零件品质在加工过程中难以保证,常规的加工方法既无法保证零件不变形,也难提高加工效率,故将图1样件作为高速加工试验模型。同时该样件被多家数控企业作为高速加工试验标准件。

本次高速铣削加工试验选取一个样件,样件需符合两个标准“型腔、薄壁”。因这类零件品质难以保证,所以选用的机床为T-500高速钻攻加工中心,该机床主轴最高转速可达40 000r/min,进给速度30 000mm/min。刀柄结构:HSK高速刀柄或BT30刀柄(刀柄形式根据机床确定,BT30刀柄需动平衡处理);刀具:整体硬质合金三刃立铣刀D8;检测仪器包括手持红外测温仪:测量工件表面温度(如AR300)和

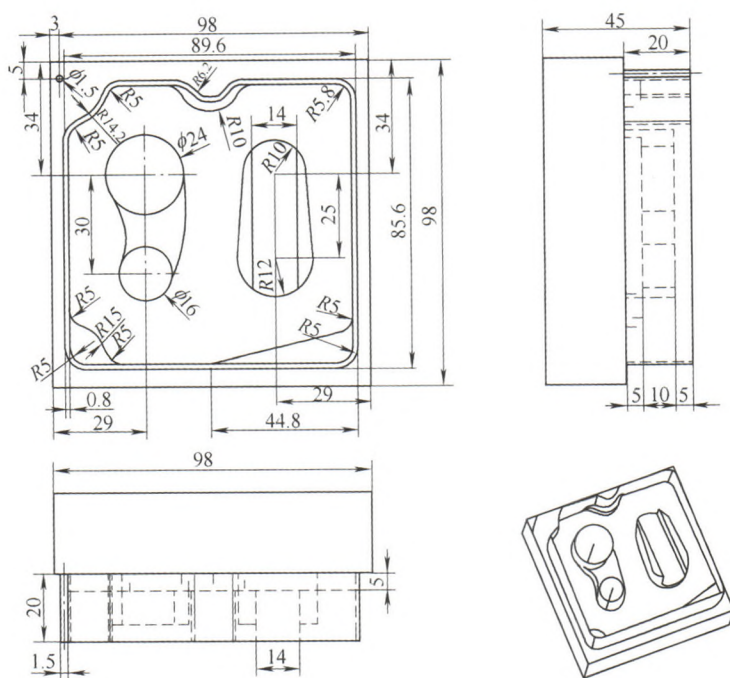


图1 型腔及薄壁类零件尺寸

粗糙度仪：检测工件表面粗糙度（如TR200）。并应用手机上的噪声测量APP。机床负载显示：监控主轴及运行轴的负载状况（一般机床自带该功能）。测量采用0~125mm游标卡尺及三坐标测量仪。

4.试验过程

薄壁类零件在加工中经常会遇到变形问题, 常规加工方法的“大切削量、慢走刀”切削方式造成零件表面大量的切削热无法被及时带走, 残留在零件表面, 使得零件易变形。而型腔类零件在加工时受刀具、零件尺寸的影响, 每次下刀的层切深度不宜太深, 故常规加工工艺不适合型腔及薄壁类零件加工。如图1所示的型腔及薄壁类零件由型腔、岛屿和小圆柱构成, 其中型腔壁厚0.8mm、高20mm, 小圆柱直径1.5mm、高20mm, 两处侧向刚性很差, 极易产生振颤, 导致侧壁

破损或圆柱折断，故常规加工工艺不适合该零件加工。由于该类型零件的加工工艺限制了层切深度，为了提高加工效率并保证零件质量，采用高速加工是非常合适的选择。

此外，薄壳类零件的整体刚性也较差，也很适合选择偏小直径刀具（刀具直径小于零件拐角圆角尺寸，且小直径刀具可减少工件底面的振颤），高转速、小吃刀量、大进给量的高速加工工艺。高速加工工艺切削时产生的热量95%会由切屑和切削液带走，这样零件表面处于室温。而且高速加工产生的切削力及切削

功率都很小, 这样刀具对零件表面不会造成挤压, 从而减小了零件变形, 故选择高速加工工艺对该零件进行加工。

对于图1所示型腔及薄壁类零件的加工,应尽量减少最后精加工时零件的侧面受力。故采取侧壁两侧同时层切加工(层优先原则)工艺,在各层完成粗、精加工,并达到壁厚尺寸要求。为了减小最后精加工一侧的侧面受力,每层深度不宜过大。同时采用摆线铣削刀路进行高速加工,还可减小第一刀加工和中间加工时的刀具受力差别。

5.刀具及刀具轨迹分析

图1所示零件型腔中的拐角圆弧最小为 $R5\text{mm}$ ，为了减小刀具在拐角处的振动，应回避 $\phi 10\text{mm}$ 刀具，而采用 $\phi 8\text{mm}$ 立铣刀。模型加工时，总体工序如表1所示。

(1) 整体粗加工工艺分析: 整体粗加工时, 采用1.5mm的层切深度, 并保证零件底部加工至尺寸要求, 各岛屿径向保留0.1mm精加工余量, 型腔薄壁内外均保留1mm单边径向余量 (以保证薄壁精加工时的工件刚性), 小圆柱保留1mm单边径向余量 (以保证小圆柱精加工时的工件刚性)。刀具路径如图2所示。

表1 工序清单

序号	工序名	加工子类型	加工区域
1	整体粗加工	型腔铣	全部区域加工
2	槽区域粗加工	实体轮廓	槽区域加工
3	岛屿外形精加工	实体轮廓	各岛屿（含槽宽）外形
4	薄壁外形精加工	实体轮廓	薄壁腔体外形
5	小圆柱外形精加工	实体轮廓	小圆柱外形

(2) 槽区域粗加工工艺分析：槽区域粗加工采用摆线铣削，层切加工，每层深度1.5mm，槽底部加工至尺寸要求，槽宽保留0.1mm精加工余量。刀具路径如图3所示。

(3) 岛屿外形精加工工艺分析：岛屿外形精加工采用轮廓铣削，一次将岛屿周边（含槽宽）余量加工至尺寸要求。刀具路径如图4所示。

(4) 薄壁外形精加工工艺分析：0.8mm薄壁外形采用层切铣削，每层包含内、外两侧加工，每层切深0.3mm。薄壁内侧或外侧加工均分粗、精两刀加工（层优先），第一刀粗加工后保留0.1mm精加工余量，第二刀精加工达到尺寸要求。刀具路径如图5

所示。

(5) 小圆柱外形加工工艺分析：采用“层切加工”，每层切深0.2mm，每层分粗、精两刀加工（层优先），第一刀粗加工后保留0.1mm精加工余量，第二刀精加工达到尺寸要求。刀具路径如图6所示。

6. 切削参数选择

整体硬质合金立铣刀加工有色金属的切削速度一般可达1 000m/min，因此当前使用的D8立铣刀，其切削参数的选择主要受限于机床主轴转速及进给速度，为扩大实训的适用度，参照一般较低水平的高速加工机床，本试验确定主轴转速18 000r/min（该速度下一般锋钢刀具也适用），粗加工进给速度设定为6 000mm/min，精加工进给速度考虑薄壁工件的刚性及零件表面质量的要求，可选为2 000~3 000mm/min。若机床性能高，可适当提高切削速度和进给速度。该零件加工时，切削参数主要体现在程序中，表2所示为该零件加工

时的切削参数和程序名称。

7. 试验报告

薄壁零件加工完成后，可参照表3，检测表中各项内容。

检测完成后，将检测数据填入检测记录表4。

8. 结语

本项目内容为“2016年智能制造新模式应用项目：便携式电子产品结构模组精密加工智能制造新模式”的一部分。通过对上述零件的加工试验摸索，在高速加工方面积累了一些经验。随着机械工业的发展，结构复杂类零件越来越多，对零件的加工要求逐渐提高。为了适应市场的需求，生产周期也逐渐缩短，特别对于一些结构复杂的零件，常规加工已无法满足要求，采用高速加工是一条有效途径，不仅在很大程度上提高了加工效率，而且能够有效减小零件的变形，提高零件品质。

高速加工是相对常规加工而言的，常规加工中，有很多行之有效的经验，如“粗加工时选择切削用量的顺序是：首选切削深度，其次是进给速度，最后是切削速度”、“切削深度每增加50%，刀片磨损增加20%；走刀量每增加20%，刀片磨损增加20%；切削速度每增加20%，刀片磨损增加50%”等。这些经验是广大从业者常年智慧的结晶，为机加工行业的发展做出了巨大贡献，而且还会继续发挥作用，这些经验总结了过去常态下加工效率、刀具寿命和成本的相互关系。

随着机床及刀具等行业的

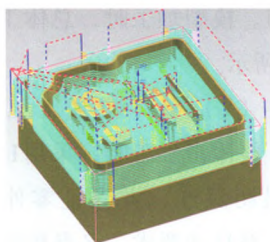


图2 整体粗加工刀路

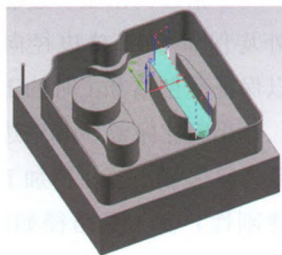


图3 槽区域粗加工刀路

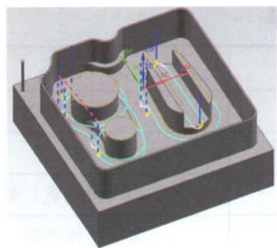


图4 岛屿外形精加工刀具路径

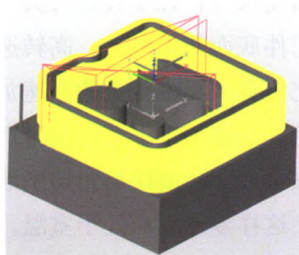


图5 薄壁外形精加工刀具路径

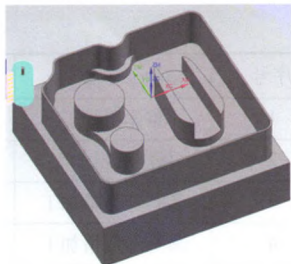


图6 圆柱外形精加工刀具路径

表2 薄壁型腔零件切削参数

序号	加工区域	程序名称	刀具	加工子类型	主轴转速/ (r/min)	进给速度/ (mm/min)	切削深度/ mm	切削宽度/ mm
1	全区域粗加工	oKC01.ptp	D8三刃立铣刀	型腔铣	18 000	6 000	1.5	5.6
2	槽区域粗加工	oKC02.ptp		实体轮廓		6 000	1.5	3
3	岛屿外形精加工	oJJ01.ptp		实体轮廓		2 000	20	0.1
4	薄壁外形粗加工	oJJ02.ptp		实体轮廓		3 000	0.3	0.9
	薄壁外形精加工							0.1
5	圆柱外形粗加工	oJJ03.ptp		实体轮廓		2 000	0.2	0.9
	圆柱外形精加工							0.1

注：①工件零点在工件上表面中心。②加工薄壁及圆柱时，若选用CAM软件可以分别设定粗、精加工速度，可以适当提高粗加工进给速度。

表3 薄壁零件试验检测项目

序号	检测内容	检测方法	检测仪器
1	薄壁厚度尺寸	测量薄壁4边及上、下8个部位尺寸值	三坐标测量仪
2	小圆柱直径尺寸	测量圆柱上下直径值及圆度	千分尺
3	槽宽尺寸	测槽宽度尺寸值	三坐标测量仪
4	型腔内、外尺寸	测量两个对边的内外距离值	三坐标测量仪
5	加工效率	各程序运行时间总和	CNC系统
6	零件外观质量	目测	三坐标测量仪

表4 薄壁零件加工检测结果

序号	检测内容	检测项目	检测结果	备注
1	薄壁厚度尺寸	0.8mm	0.72mm/0.8mm；0.7mm/0.76mm；0.74mm/0.78mm；0.7mm/0.82mm	尺寸公差范围内，合格
2	小圆柱直径尺寸	1.5mm	上部1.29mm/1.41mm，下部1.35mm/1.46mm	尺寸公差范围内，合格
3	槽宽尺寸	14mm	13.96mm	尺寸公差范围内，合格
4	型腔外边尺寸	89.6mm	89.5mm	尺寸公差范围内，合格
5	加工效率		56min	
6	零件外观质量		L良好	

结论：零件合格

发展，刀具更耐热、寿命更长、更耐冲击，机床精度更高，刀具轨迹可以更复杂等因素，使大家对效率、成本的关系有了新的认识。推广使用高速加工工艺，有利于效率提升、成本下降和工件质量提高。与此同时，高速加工技术正越来越多地被应用于模具

制造业、航空制造业、汽车制造业、难加工材料及超精密微细切削加工等领域。

参考文献：

[1] 范钦武. 模具数控加工技术及应用[M].北京：化学工业出版社，2004.
 [2] 汪德才，李从心. 基于PC的离

线插补高速加工数控系统[J]. 机床与液压，2002（2）：52-54，51.

[3] 梅文涛. 高速铣削过程动力学建模研究及其仿真系统设计[D]. 太原：中北大学，2011.
 MW（收稿日期：20180703）