

镗削逐层扫描加工的扩展应用

河南平原光电有限公司 (焦作 454001) 陈利波 梁兵 刘红德

数控铣削较深型腔类零件时,由于棒铣刀装夹方式属于悬臂结构,加工时刀具侧齿距离刀柄越远,铣削刚性越差,造成切削让刀量不一致,铣后造成内腔侧壁尺寸上大下小,俗称“倒梯形”。如果尺寸精度要求较低,深度方向可以用分层铣解决,但层间有接刀痕。如果加工7级及以上精密尺寸时,棒铣刀铣削将很难保证精度要求,侧壁表面粗糙度也较差。

笔者针对加工中心铣削时出现的实际问题,采用以镗刀代替铣刀逐层扫描的加工方法,很好地解决了型腔加工侧壁让刀问题,并保证侧壁表面粗糙度值 $R_a=0.8\mu\text{m}$ 。在承接多家研究所外协产品加工中,为保证异形腔体精密尺寸起到关键作用。此项工艺改进直接产生的经济效益超过百万元,因加工工艺方法领先,关键重要零件形位精度得到保证,回头客户签订加工合同量稳步增加,订价权多在我方。

1. 发展状况及趋势

随着电主轴高速数控机床的普及,镀钛等涂层刀具及陶瓷刀具的广泛使用,使我们的加工范围更广,刀具转速可以实现8 000~12 000r/min的准高速加工,15 000~50 000r/min高速加工,以镗代铣逐层扫描的加工方法,加工时间会大幅缩减,对关键零部件的加工将发挥更大作用,这一加工理念必将被广泛应用。

2. 创意设计内容

思路起源于我部承接某研究所大壳体零件加工时,零件精密尺寸出现直径相同圆孔套合扁孔共柱面结构,起初并没有得到重视,当加工中心实际铣

削时,发现孔口与孔底加工后尺寸不一致,俗称“喇叭口”,并且圆孔与扁孔二次铣削产生严重接刀痕现象,铣扁孔时伤到了圆孔,形成四段圆弧,不能保证形位尺寸精度。

经分析主要是棒铣刀夹紧属于悬臂结构,加工时刀具侧齿距离刀柄越远,铣削刚性越差,如果分层铣时,距离刀柄近的侧齿会二次铣伤前部侧齿已铣成形的腔体侧壁,造成让刀量不一致,形成“倒梯形”或“喇叭口”现象。要消除让刀量不一致及二次铣伤侧壁问题,受镗孔让刀量小的启发,创新求变,采用以镗刀代替铣刀逐层扫描的加工方法。

通俗理解:棒铣刀铣型腔时,是用侧齿按编程轨迹铣成形,较深内腔采用分层铣削,分层深度一般设定为1~5mm,适合于较低精度内腔加工。我们采用粗铣后,使用镗刀按编程轨迹镗内腔轮廓,内腔深度采用分层镗每层设定为 $t=2[h(2r-h)]^{1/2}$ (推算方法见图1),保证表面粗糙度值 $R_a\leq 0.8\mu\text{m}$,逐层扫描形成内腔侧壁。由于微量旋风镗削,每层切削力接近相等,型腔加工让刀问题得到解决,侧壁表面粗糙度值 $R_a\leq 0.8\mu\text{m}$ 。

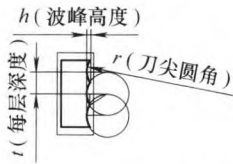


图1 内腔深度分层镗残留峰值

设:每层深度为 t ,已知:镗刀尖圆角为 r , $h\leq$ 表面粗糙度值 R_a ,则

$$(t/2)^2 = r^2 - (r-h)^2 = 2h(r-h)$$

$$t = 2[h(2r-h)]^{1/2}$$

(1) 技术原理及理论依据:加工中心常规镗孔的切削轨迹是致密螺旋线形成孔侧壁。

棒铣刀铣腔体侧面时,是以铣刀侧齿为母线按

编程轨迹使致密母线形成侧壁；铣孔及弧轨迹是采用微分圆弧插补原理，使致密母线形成柱孔或弧面侧壁。

以典型零件（见图2）为例，如果加工一个定轴心、定转向的铝合金零件，7级精度，上部是圆孔，下部是相同直径的扁孔（总深度50mm左右），粗糙度值 $R_a=0.8\mu\text{m}$ ，加工难题就出现了，要镗孔，下部是扁孔不能镗；要铣孔，加工精度差、表面粗糙度差，侧壁让刀，上部孔与下部圆弧二次加工将产生接刀痕。

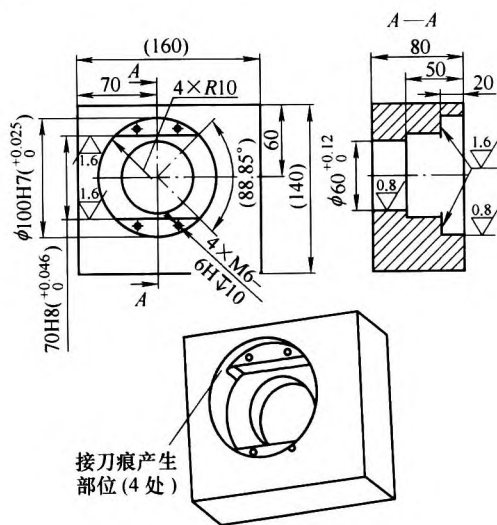


图2 典型零件示意图

零件加工的主要难点是：侧壁让刀，有接刀痕；表面粗糙度差。铣孔不可行，只能在镗孔方面寻求解决办法，镗扁孔似乎不可能，这就要打破传统思维观念，创新求变。我们自编工艺，编制程序与操作人员试加工，测试修正加工参数，采用先单边留量0.06mm粗加工腔体内形，再使用 $\phi 20\text{mm}$ 双刃对称镗刀，按编程轨迹旋风插补精镗上部圆孔和精镗下部扁孔直径相同的两段圆弧，深度进刀由常规镗孔的致密螺旋线切削轨迹改变为致密等直径同心圆组切削轨迹，不抬刀逐层按编程轨迹扫描精镗上部圆孔和精镗下部圆弧面。因为高速微量不换刀持续切削，切削力保持一致，镗刀是刀尖切削，刀尖处镗刀杆的刚性不变，加工中让刀及接刀痕问题迎刃而解，可保证侧壁表面粗糙度值 $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ 。

(2) 实现的途径及可行性分析：加工刀路已经确定，具体实现要靠计算。

用SolidWorks三维软件绘制计算型腔轮廓切削轨迹残留峰值图，要求达到图样（见图2）规定的表面

粗糙度值 $R_a=0.8\mu\text{m}$ 。

使用CK基础刀柄，代号TW2026E（参数来源于大昭和精机株式会社，BIG+KAISER CK模块式镗刀系列图册）。依据图2角部尺寸 $4 \times R10\text{mm}$ ，选用双刃对称镗刀，镗刀直径按 $\phi 20\text{mm}$ ，绘制计算圆周切削残留峰值图（见图3）。

根据圆弧切削残留峰值图计算设定切削参数：当进给量 $\leq 0.28\text{mm/r}$ ，计算得出切削残留峰值为0.00078mm，可以满足表面粗糙度值 $R_a=0.8\mu\text{m}$ 的要求。

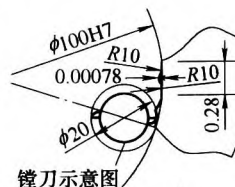


图3 型腔轮廓切削轨迹残留峰值放大图

设：刀具转速 $S=6000\text{r/min}$ ，则：圆弧轨迹进给速度 $F=6000\text{r/min} \times 0.28\text{mm/r}=1680\text{mm/min}$ 。

工件上半部分每层的加工周长按刀具中心轨迹计算为： $(100-20) \times 3.14=251.2\text{mm}$ ，刀具每加工一周的旋转数=加工周长÷进给量 $=251.2 \div 0.28 \approx 897\text{r}$ ，刀具每加工一层的切削时间=每加工一周旋转数÷刀具转速 $=897 \div 6000 \approx 0.15\text{min}$ 。

同理，我们可以计算出工件的下半部分环形腔的刀具中心轨迹的每层加工周长为232.92mm，刀具每加工一周的旋转数=环形腔刀轨中心轨迹周长÷进给量 $=232.92 \div 0.28 \approx 832\text{r}$ ，刀具每加工一层的切削时间=每加工一周旋转数÷刀具转速 $=832 \div 6000 \approx 0.14\text{min}$ 。

用SolidWorks三维软件绘制计算内腔深度吃刀逐层扫描切削轨迹残留峰值图，要求达到图样规定的表面粗糙度值 $R_a \leq 0.8\mu\text{m}$ （见图4）。

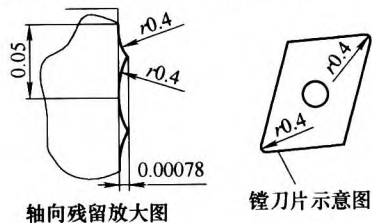


图4 内腔吃刀逐层扫描镗刀残留峰值图

使用机夹式镗刀片（代号CCGP060204FLA），镗刀修光刃圆角 $r=0.4\text{mm}$ （参数来源于大昭和精机株式会社，BIG+KAISER CK模块式镗刀系列图册）。

根据吃刀深度层间残留峰值计算设定切削参数：

当轴向每层吃刀深度 $\leq 0.05\text{mm}$ ；满足表面粗糙度值 $R_a=0.8\mu\text{m}$ ，每层吃刀深度 $=0.05\text{mm}$ ，切削残留峰值 $=0.78\mu\text{m} < 0.8\mu\text{m}$ ，已知工件上半部分加工深度为20mm，孔每加工一层切削时间 $=0.15\text{min}$ ，

每层吃刀深度 = 0.05mm, 可以计算出上半部分圆弧轨迹插补镗孔时间 = $0.15 \times (20 \div 0.05) = 59.8\text{min}$; 工件下半部分环形腔的深度为 30mm, 每加工一层的时间 = 0.14min, 下半部分环形腔的加工时间 = $0.14 \times (30 \div 0.05) = 83.16\text{min}$; 总加工时间 = $59.8 + 83.16 = 142.96\text{min}$ 。

该加工方法主要适用于转速较高的数控机床 (转速大于 8 000r/min), 用 SolidWorks 三维软件绘制计算切削轨迹残留峰值图, 在机床、刀具允许的条件下, 尽量提高刀具转速, 加大轨迹进给速度, 提高生产效率。

3. 创新点

我部承接某研究所大壳体零件加工时, 首次采用以镗刀代铣刀逐层扫描的加工方法, 高质量完成了该项航空产品加工任务, 得到甲方的赞扬。该项加工工艺创新, 打破了传统的镗刀只能加工圆孔的观念, 在高速切削的基础上, 内腔粗铣后, 镗刀既可以加工扁孔, 也能加工各类型腔, 很好地解决了铣削让刀引起的“倒梯形”或“喇叭口”现象。

4. 应用和推广情况

(1) 实际应用于某研究所大壳体零件加工 (思路起源), 如图 5 所示。

粗铣内形后, 镗刀按编程轨迹差补镗圆孔、镗断续台阶孔, 很好地解决了让刀“喇叭口”现象和台阶孔与圆孔衔接处产生接刀痕问题。

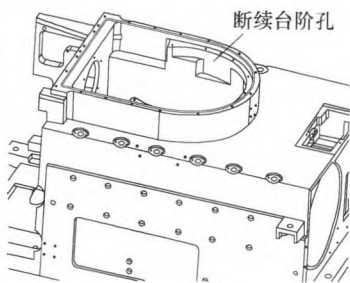


图5 应用以镗刀代铣刀逐层加工

(2) 推广应用于某研究所“U形架”零件加工, 如图 6 所示。

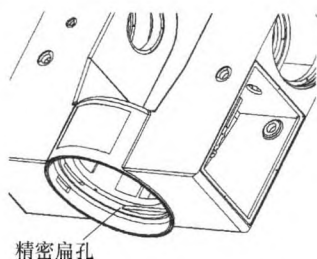


图6 以镗刀代铣刀逐层扫描法推广应用

(3) 思路拓展应用于加工某外协厂零件, 如图 7、图 8 所示。

加工 7 级精度长槽, 宽 4G7, 长 6mm, 深 10mm。铣削会产生让刀, 电脉冲

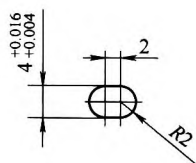
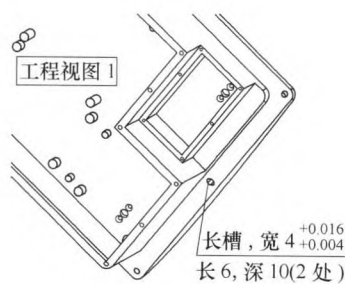


图7 精密槽放大图

会产生电极损耗形成锥槽, 线切割不能加工盲槽。我们采用密排镗孔, 叠压法加工制成长槽, 已知: $R = 2\text{mm}$, $h \leq 0.0008\text{mm}$ 。



$$t = 2 [h (2r - h)]^{1/2} = 0.113\text{mm}$$

槽长度方向阵列镗孔数 = 两端 R 中心距 $\div t = 2 \div 0.113 \approx 18$ 次

(4) 公式 $t = 2 [h (2r - h)]^{1/2}$ 的灵活应用: 当铣削内、外直线轮廓时, 若图样要求侧面粗糙度 $3.2\mu\text{m}$, 使用铣刀直径 $\phi 10 = 2r$, 则 $t = 0.358\text{mm}$; 若刀具转速 = 1 000r/min, 则刀具速度 = $1\,000 \times 0.358 = 358\text{mm/min}$ 。

若图样要求侧面粗糙度值 $R_a = 1.6\mu\text{m}$, 使用铣刀直径 $\phi 10 = 2r$, 则 $t = 0.253\text{mm}$, 若刀具转速 = 1 000r/min, 则刀具速度 = $1\,000 \times 0.253 = 253\text{mm/min}$ 。

依次套用公式, 可以作为选定刀具速度的依据, 最大限度缩短加工时间, 提高生产效率。

5. 经济效益及社会效益

推广应用于某研究所“U形架”零件加工, 首批零件单件加工费用 4 万多元, 共加工 3 件 (见图 6); 由于质量得到保证, 又签订、加工了类似零件 3 批次, 共 7 件, 包括该研究所各批次整套“跟踪装置”产品零部件加工、试装生产, 各批次整套产品累计产值约 170 余万元。

思路拓展应用于加工某外协厂零件, 首批零件

复杂薄壁曲面钣金零件成形分析及加工

成都凯天电子股份有限公司 (四川 610091) 吴 涯 倪 宏 吴 涛 张智斌 易 利

在航空工业中, 钣金零件是组成现代飞机机体的主要部分, 约占飞机零件总数的 70%, 制造工作量约占整架飞机劳动量的 15%, 并有品种多、数量少、结构复杂、外廓尺寸大及刚性小等特点, 直接影响飞机整机质量和生产周期。随着机械设计自动化的不断发展, 传统钣金加工方式, 需要反复进行工艺试验确定展开外形尺寸, 而传统的加工方式远远不能满足现代化企业生产需要, 特别是航空薄壁件更是一项高效、复杂、快速加工的工程。本文以现场某项复杂薄壁钣金零件为实践, 利用三维设计软件 UG 进行复杂薄壁钣金成形性分析、成形加工。

1. 零件分析

图 1 零件选用材料 316L 不锈钢板, 材料厚度仅为 0.3mm, 标准为 ASTM A240。零件钣金成形存在以下困难: ①转角处一次成形困难, 易起皱、拉裂。

②材料厚度仅为 0.3mm, 材料延展性差。③曲面未知, 模具设计制造困难。④零件为复杂三维曲面, 需要反复工艺试验确定展开外形尺寸。⑤采用焊接加工, 属于超薄板焊接, 三维曲面焊接难度大。

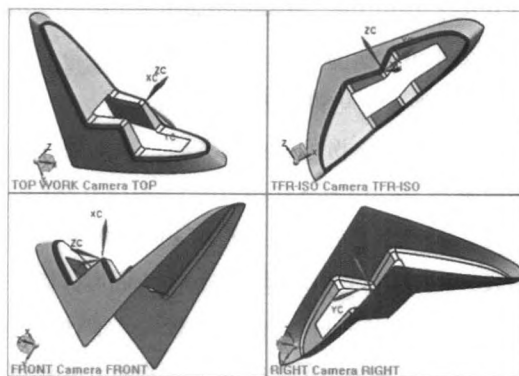


图 1

奥氏体不锈钢 316L 板化学成分与力学性能分析如表 1 所示:

表 1

化学成分	$w(C)$	$w(Si)$	$w(Mn)$	$w(P)$	$w(S)$	$w(Ni)$	$w(Cr)$	$w(Mo)$
	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.03	10.0 ~ 14.0	16.0 ~ 18.5	2.0 ~ 3.0
力学性能	抗拉强度/MPa		屈服强度/MPa		伸长率 (%)		面积缩减 (%)	
	≥ 620		≥ 310		≥ 30		≥ 40	

单件加工费用 4 千余元, 共加工 11 件 (见图 8); 由于质量得到保证, 又签订、加工第二批次。

笔者所在的制造部是精密制造车间, 生产的外协产品大部分是各研究所的重要零件, 任何一个零件出现质量问题不仅增加车间生产成本, 还将影响公司的形象和履约率。以镗铣逐层扫描工艺创新技术, 保证了产品的高质量, 为公司赢得了好声誉。MW

(收稿日期: 20131122)

不锈钢 316L 特性: ①因添加 Mo, 故其耐蚀性、耐大气腐蚀性和高温强度特别好, 可在苛刻的条件下使用。②加工硬化性优 (无磁性)。③高温强度优秀, 固溶状态无磁性。④冷轧零件外观光泽度好。⑤相对 304L 不锈钢, 价格较高。

2. 零件成形可行性分析

(1) 建立模型 在三维设计软件 UG 里, 通过参数化命令, 用数字化的方法建立三维模型坐标, 并在零件下面平生成另一个平面, 高于零件最底面