

铝合金结构件加工变形分析与控制

张起宏, 李梦龙

中航光电科技股份有限公司 河南洛阳 471003

摘要: 对铝合金结构件加工过程中影响变形的工艺方案、加工顺序和刀具轨迹3方面因素进行分析, 制定合理的加工路线以及较优的参数选取原则, 从而减少变形, 提高加工精度。

关键词: 铝合金; 结构件; 变形; 工艺分析; 加工优化

1 序言

铝合金结构件的加工一般是采取将板料以“雕刻”的形式进行切削, 原材料去除量通常在70%以上, 余量较大。对于薄壁工件, 粗加工时会产生较大的切削力和较多的热量, 工件会出现应力变形和热变形。同时, 在加工过程中, 由于原材料被部分去除, 毛坯原始残余应力均衡受到破坏, 工件自身应力重新分布, 形成新的均衡, 以至于造成工件变形。因此, 抑制和降低数控加工中的变形是确保加工精度的关键所在。

在工件加工过程中, 自身刚性低、加工时受力变形、装夹变形, 以及撤除压紧力时因回弹而造成的工件变形等, 都会影响零件的加工精度。有的工件由于变形量较大, 所以直接报废。影响工件加工精度的因素主要有: 工艺方案、定位和装夹方式、加工用刀具、加工顺序以及走刀轨迹等。

2 工艺方案

工艺方案是否合理最能反映在加工过程的稳定性和加工精度上。

针对有必要进行两面加工的结构件, 一般有两种工艺: 一种是一面进行粗、精加工合格后, 再加工另一面; 另一种是先进行双面粗加工, 然后进行双面精加工, 粗加工时去除大量材料, 释放残余应力, 然后进行精加工, 从而减少工件变形。

对于工件外形尺寸较小且自身刚性高的工件, 一般采用第一种加工方式, 工件变形对加工过程的影响不大, 不影响最终的零件质量, 而且可降低反

复装夹次数, 缩短加工时间; 对于工件外形尺寸大的薄壁类工件, 若采用第一种加工方式, 由于在加工完一面时, 工件变形严重, 容易出现翘曲变形, 此时另一面还没有加工, 使用矫正步骤降低变形量很不容易实现, 而且会使另一面加工时厚度不一, 表面质量较差, 因此薄壁类工件更适于采用第二种加工方式。

此外, 工艺方案设计要考虑到加工过程中的刚性改变, 最好能提高工件在加工过程中的刚性, 这就要求确定好外形和内腔的加工顺序。当工件自身刚性高时, 第一步不论是加工外形, 还是加工内腔, 加工过程中刚性改变不大, 不影响加工精度。而对于需要双面加工的薄壁工件, 通常在粗加工后, 应先精加工内腔, 外形留有余量, 这样工件的刚性才比较稳定, 不易出现加工变形。最后再精加工外形。

3 定位和装夹方式

3.1 定位方式

一面双孔定位是加工中使用最多的一种定位方式, 其定位精确, 定位结构简单, 拆装工件快捷。圆柱销定位结构如图1所示, 圆柱销1限定 X 、 Y 方向的自由度, 圆柱销2限定 X 方向移动和 Z 方向旋转, 两个销共同限定了 X 方向平移的自由度, 出现了重复定位。由于定位用孔的中心距和孔的大小会有加工误差, 所以同一批工件会出现圆柱销干涉, 导致出现工件不能顺利安装的现象。在实际生产中, 由于粗加工工件变形量大, 所以使用这样的定位方

法，加工后频繁出现圆柱销无法取出的现象，而强制取出后，二次装夹和首次装夹的误差大，甚至无法使用先前的孔定位，致使工件随后的加工无法进行。

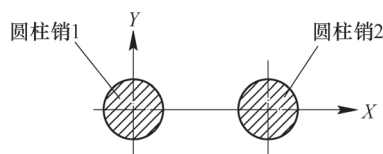


图1 圆柱销定位结构

为了防止X方向平移的多余定位，并完全考虑工件变形的影响，可采用在机床工作台上安装定位块的方法来处理。图2所示为两定位块方式定位结构，定位块1可以限定Y方向平移，定位块2可以限定X方向平移，定位块1和定位块2同时限定了Z方向的旋转。这种定位方式能够快速定位，并且能确保工件重复定位的精准性和可靠性，降低了加工过程中工件变形的影响，即使粗加工的变形量较大，也不影响工件的取放。

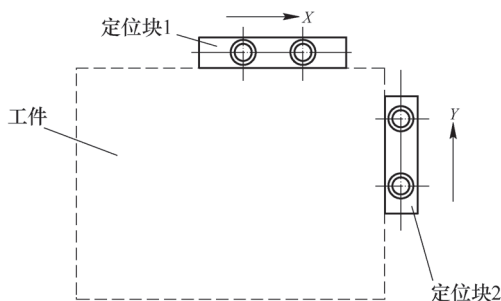


图2 两定位块方式定位结构

除了上述定位方式外，目前还有采取专用工装定位的，即在工装上加工出与零件外形一样的型腔，单边余量0.05~0.1mm，深度为零件厚度的一半。图3所示为定位工装定位结构，加工时将工件放入工装内，能够快速定位。由于工装定位用的型腔

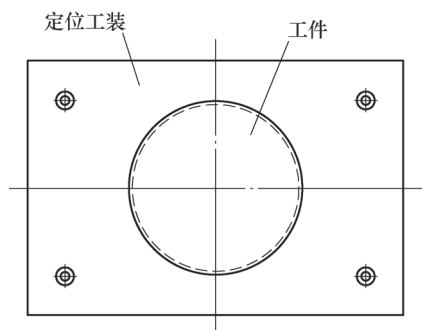


图3 定位工装定位结构

与零件外形一致，所以保证了重复定位的准确性。

3.2 装夹方式

壁厚较薄的工件在加工过程中，其刚性大小会影响加工精度。刚性不仅与工件自身结构相关，还与夹持工艺方式紧密相关。好的夹持工艺不仅能提升加工过程中的刚性，还能降低装夹变形。

图4所示为压板和螺栓压紧方式，是在装夹中使用最多的一种方式。在目前的加工模式下，虽然工件上提前准备了压紧的平台位置，但是由于操作原因，使得在出现压块的装夹位置，每次压块的伸出长度、压块的数量都不相同，所以造成压紧力的大小也不一样，以致同一个工件出现不同的加工精度，且相差较大。为了防止压块压紧位置不统一，可采定位工装加压板压紧方式（见图5）弥补，使用前述专用工装，工装上装有压块，通过螺钉压紧工件，与此同时，需要注重压紧部位数量的分配。若工件压紧部位设置得较少，则压紧工件区域所需的压紧力较大，会加大工件的变形，影响加工精度。在确保工件有充足压紧力的前提下，应增多压紧部

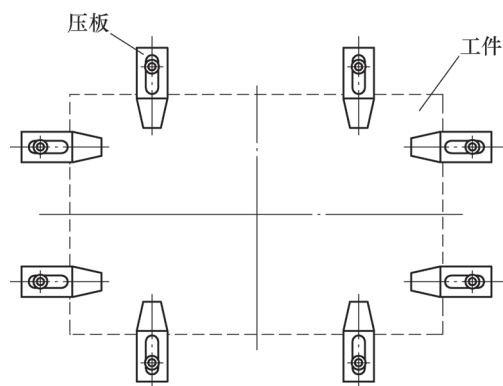


图4 压板和螺栓压紧方式

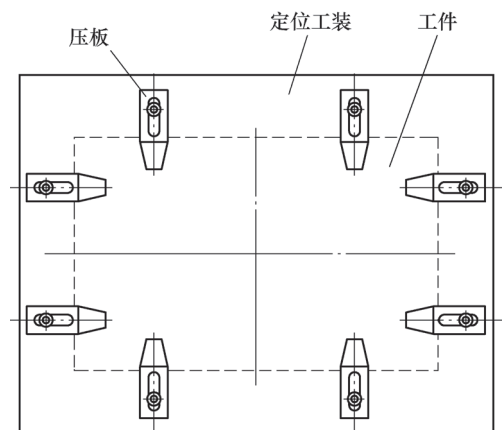


图5 定位工装加压板压紧方式

位数量，以降低每一个压紧部位上的压紧力，确保在整个工件上有均匀的压紧力。另外，压紧部位最好选在刚性较强的部位。

对于薄壁工件来说，应全面考虑效率和精度质量因素，充分研究工件的压紧部位及数量，尽可能均布压块。但是由于压板只压紧工件四周，中间无压紧，所以在切削加工时，切削力破坏了工件初始残余应力的平衡，残余应力重新分布，而压板压紧的位置会阻止应力的均匀分布，导致应力会向工件中间无压板位置聚集，当加工完成压板压紧力撤销后，工件会出现中间凸起的变形。因此，薄壁工件夹持一般使用特殊的夹具，以保证受力均匀，且夹持便利，装夹平稳。例如使用磁力吸盘夹紧方式（见图6），可使吸附力均布，降低壁厚较薄工件加工中的夹持变形。为了确保夹持的稳定性，应同时均布压板进行辅助压紧。

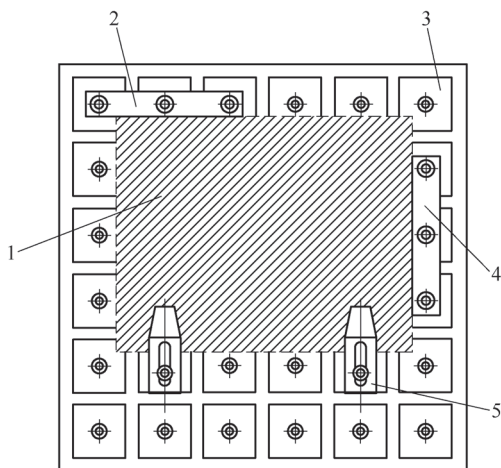


图6 磁力吸盘夹紧方式

1—工件 2、4—定位块 3—磁力吸盘 5—压板

4 加工顺序

加工过程中优化工件各个区域的加工顺序，可明显抑制变形量。确定加工顺序的一般规律是在加工过程中，最大能力地维持工件的刚性处在最优状态。首先加工刚性最低的区域，然后加工刚性相对高的区域，这样在刚性低的区域加工后、应力重新分布时，刚性较高的区域变形量相对较小，能够有效地控制工件总体变形。

5 刀具轨迹

加工过程中，不同的刀具轨迹形成的切削力，对工件在加工过程中的刚性影响程度是不一样的，

产生的变形也有差别。根据机床选用较优的刀具路径，可以提升工件的加工精度。

首先，选用适当的走刀方法，尽可能使用沿轮廓的切向或斜向切进的方法缓慢地切进工件，确保刀具路径平稳光滑。壁厚较薄的工件应先考虑采取螺旋或圆弧走刀方式，禁止竖直走刀。应使刀具缓慢进入工件，减少晃动，这样就不会在工件外表面的进入处出现驻刀印痕，从而获得较高的表面加工精度。

其次，在加工过程中选取适当的切削路径，走刀方法通常有两种：环切和行切。环切通常是从中心部位下刀，由中心向周围环切至端面，加工过程中都是顺铣，所承受的力的变化小，切削平缓，在实际加工中应用效果较好。行切是顺铣和逆铣结合加工，力的方向不定，易出现振动，相邻轨迹之间刀痕严重，表面加工精度不如环切好，通常不在精加工中使用。受机床本身精度的影响，采取环切方式加工时，切削轨迹反向时主轴降速明显，加工中会有暂时的停留，且在切削轨迹反向的部位存留圆形的痕迹，影响加工质量，需打磨处理。

环切加工时，在轨迹的对角线以及在每次反向的部位产生驻刀痕，基本遍布整个工件。行切加工后，只会在筋的根部产生一圈驻刀痕，若行切后再添加一个清根的走刀轨迹，则工件只会在拐角处产生为数不多的驻刀痕。

改进刀具走刀反向以及环形走刀的过渡方式，可降低加工过程中切削力的变化量。一般程序默认直角过渡，当刀具以一个进给速度移动到此部位时，切削力会忽然变化，不仅影响刀具寿命，还降低了表面加工精度。因此，在壁厚较薄的零件加工中，所有走刀必须圆滑过渡，在拐角处增添一定的圆角，环形走刀增添圆弧过渡，以提高表面质量。

6 结束语

通过对加工工艺、加工顺序和刀具轨迹3方面的分析，阐述了铝合金结构件加工过程中变形的影响因素，以及较优的参数选取原则，对实际加工具有一定的指导意义。

参考文献：

- [1] 高翔，王勇. 薄壁零件精密数控铣削关键技术研究[J]. 机床与液压，2009，37（9）：14-17.