内埋密封罩零件的高速铣削方法

宋杭霖
航空工业沈阳飞机工业（集团）有限公司数控加工厂　辽宁沈阳　110034

摘要：结合内埋密封罩零件的壳体结构特点和高速切削技术的优点，制定初步加工方案，对加工过程中存在的问题进行原因分析和工艺改善，通过增加辅助支撑和优化切削路径的方法，解决了零件外表面颤纹和斜筋“错牙”缺陷等问题，并总结出一套实用的多筋条壳体铣削方法，为此类零件提供了优质、高效和可行的数控加工方法。

关键词：内埋密封罩，数控加工，高速切削技术，变形控制

1　序言

随着航空技术的飞速发展，对航空产品的性能要求越来越高，零部件整体化趋势已经成为主流，零件结构越来越复杂，航空产品的表面质量和加工精度要求也越来越严格，传统的机械制造方法已经无法满足现代航空工业的发展需求，高速切削加工技术以其加工效率高、表面质量好的显著特点被逐渐应用于航空制造业[1]。本文以内埋密封罩为例，阐述高速切削技术在航空制造业中的实际应用。

2　零件结构及加工难点

内埋密封罩作为承力结构件，其产品质量关系着整个结构的承重能力，为了保证零件的整体强度，零件的加工精度及表面质量起着至关重要的作用。

零件材料选取7050铝合金板材，其属于高强度可热处理合金，具有极高的强度、抗剥落腐蚀和抗应力腐蚀断裂的性能，特别适用于制造结构及其他强度高、耐蚀性强的高应力结构体。

图1所示内埋密封罩零件外轮廓尺寸150mm×150mm×900mm，材料厚度δ=160mm。零件外形存在多处筋条、型腔及不规则下陷区域，且不均匀地分布在零件内外表面，结构性较差；零件缘条与壳体表面存在闭角区域，且范围较大；零件筋条厚度为1.5～6mm不等。

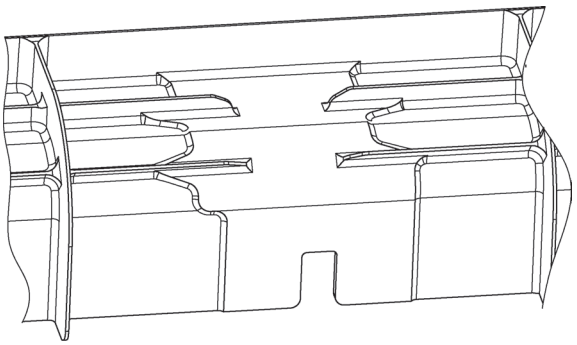


图1　内埋密封罩零件局部示意

零件的加工难点分析如下。

1）由于零件的结构特点，整体加工材料去除率高达90%，加工过程中材料本身的内应力平衡被严重破坏，因此极易发生变形。

2）由于材料本身厚度为160mm，因此在实际加工过程中，需要大量使用长径比＞5的长刀进行切削，如果切削力过大，将会产生强烈的颤刀现象，严重影响零件表面质量。

3）壳体内腔最小筋条厚度为1.5mm，筋条高度为28mm，属于高薄筋条类型。由于筋条强度较弱，因此在加工过程中容易产生变形，导致零件尺寸超差进而报废。

4）由于壳体外形存在大范围闭角及不规则下陷区域，因此大大增加了零件的编程难度和清除闭角残留的工作量。

5）由于零件外廓尺寸较大，结构较为复杂，整

体加工周期较长，因此缩短零件的加工周期、提高加工效率显得尤为重要。

3　高速切削技术的优点

高速切削技术具有以下优点。

（1）提高了切削加工的平稳性　与常规切削相比，高速切削时的切削力可以减少30%以上，对于减少零件变形具有重要意义[2]，尤其是对于一些刚性较差的零件，可以实现工件的精加工、薄壁加工，保证了零件的加工精度。

（2）提高了切削加工的精度　在进行高速切削时，切屑以极高的速度排出，与此同时，因切削产生的热量绝大部分也被切屑带走，进而传递给工件的热量大幅减少，加工过程中产生的热应力也大幅度减少，零件的变形相对减小，有利于提高零件的加工精度。

（3）提高了零件的表面质量　切削速度的增加可以使整个切削系统的工作频率远离机床固有频率，避免因产生共振而影响零件的表面粗糙度，也可以有效地抑制积屑瘤的产生，避免积屑瘤对零件加工表面产生影响，从而提高零件的表面加工质量。

（4）提高了零件的加工效率　一般情况下，高速切削的进给速度是常规切削的5～10倍，随着切削速度的提高，单位时间毛坯材料的去除率增加，切削时间减少，加工效率显著提高，从而达到缩短加工周期的目的。

（5）提高了资源利用率　由于高速切削的切削力较小，刀具的磨损程度较轻，因此可以大大提高刀具的使用寿命[3]。与此同时，高速切削带来零件加工效率的提升，也能大大提高数控设备的利用率。

选用高速切削的加工方式来实现内埋密封罩的数控加工，是我厂当前的最优选择。

4　初步加工方案

鉴于零件材料特性及结构特点，采用压板压紧的定位方式进行三面加工。

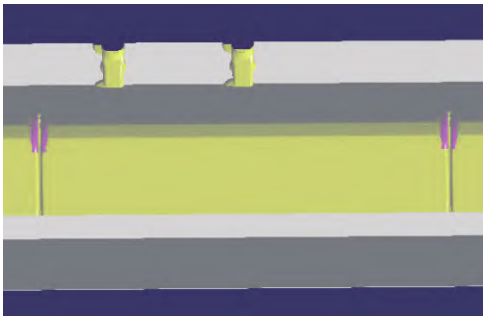
第一面优先加工壳体内腔，因为壳体内腔的金属去除量最大，是毛坯内应力破坏最严重、零件变形量最大的区域，且零件整体最薄筋条正位于壳体内腔，在第一面将薄筋条加工到位是零件整体强度最好的阶段。

在第二面加工之前，将毛坯进行时效处理，人工释放零件的内应力，待毛坯充分变形后，重新校准零件加工原点，进行第二面加工。因第二面与第三面壳体外形相比，少了两处长约900mm的筋条连接，故第二面零件外形强度不如第三面，所以选择优先加工。

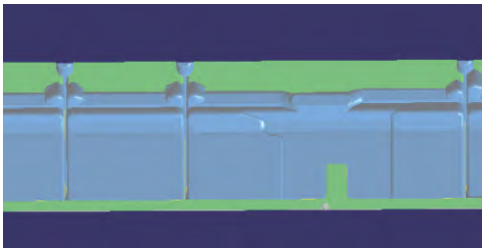
在进行第三面加工时，需要考虑好零件连接筋的预留位置，既要保证零件加工过程中的强度要求，又要符合常规操作人员卸下零件的可操作性。优先加工壳体型腔内形，最后加工零件外形的同时，将零件切断。

在整个加工过程中，选用小切削量（缩小轴向切削量，适当增加径向切削量）、快进给量的加工参数，在保证零件均匀高速切削的同时，减小切削力对零件表面质量的影响。

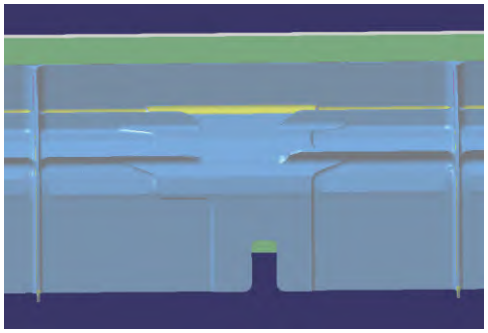
内埋密封罩数控加工过程如图2所示。



a）第一面加工



b）第二面加工



c）第三面加工

图2　内埋密封罩数控加工过程示意

5 存在的问题及原因分析

在实际生产加工完成后，零件存在部分质量缺陷，主要表现在3个方面：①壳体外表面存在明显的颤纹。②壳体外形上一处长约640mm的45°角斜筋存在“错牙”现象。③壳体内腔厚度为1.5mm的筋条表面存在明显颤纹。

原因分析如下。

1）在加工壳体外表面时，壳体内腔已经完全加工到位，壳体厚度只有4mm，而整个壳体表面大约长900mm，零件强度得不到保证，导致在加工过程中，刀具旋转时沿轴向方向的切削力带动壳体上下颤动，从而导致颤纹的产生。

2）壳体外形上45°角斜筋的两侧外形是在两个工位下加工完成的，由于存在操作人员的定位误差、机床系统误差以及零件二次装夹过程中释放残余内应力引起的变形等因素，因此会导致斜筋外形产生“错牙”现象。

3）在加工1.5mm的筋条时，编程方案采用筋条一侧外形完全加工到位，再进行另一侧外形的精加工。由于筋条厚度较小、强度较差，因此在精加工另一侧筋条外形时，筋条产生弹性变形，从而导致颤纹的产生。

6 解决措施

针对加工中存在的问题，采取如下解决措施。

1）制作三块辅助支撑，在加工壳体外形时，将壳体内腔垫实，增加壳体外形强度，防止颤纹的产生。自制三块辅助支撑加工如图3所示。

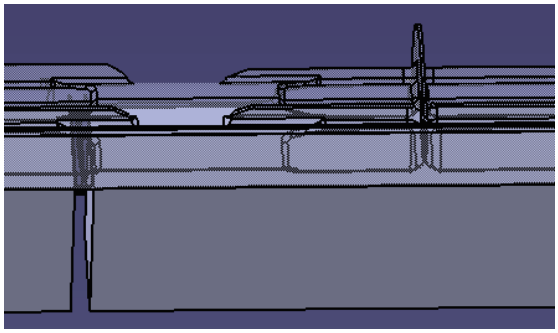


图3 自制三块辅助支撑加工示意

2）采用基准统一原则，在同一个工位下完成对壳体外形上45°角斜筋的精加工。

3）更改1.5mm筋条编程方案，将原来的单侧精加工更改为刀具环切（见图4）方式，即两侧同时精加工。

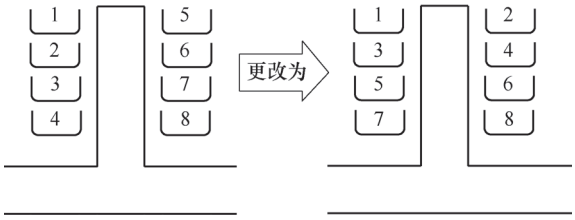


图4 单侧精加工更改为刀具环切示意

7 加工效果

采用新的数控加工方案后，零件整体加工状态良好，壳体表面无颤纹，加工精度符合设计要求，产品合格率得到保证。

8 结束语

本文介绍了内埋密封罩零件的壳体结构特点和数控加工方案，突出了高速切削技术的优势，通过后续工艺改善，解决了壳体外表面颤纹和斜筋“错牙”缺陷等问题，并总结出一套实用的高速铣削方法。

高速切削技术作为一种先进的制造技术，不仅能够有效地提高产品的加工精度，还能够提升产品的表面质量，在如今飞速发展的航空制造业中具有非常广阔的应用前景。

参考文献：

[1] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册[M]. 3版. 北京：机械工业出版社，2009.

[2] 陈明. 机械制造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2012.

[3] 王庆明. 机械制造工艺学[M]. 上海：华东理工大学出版社，2017.

MW 20250505

专家点评

文章介绍了内埋密封罩零件的结构特点和加工方案，突出高速切削技术的优势，并总结出一套实用的复杂型腔铣削方法，为此类零件的加工积累了经验。

文章结构合理，内容简练，循序渐进，有条不紊，亮点是高薄筋条壳体零件的高速铣削技术，通过对加工过程中存在的问题进行原因分析和工艺改善，解决了壳体外表面颤纹和斜筋“错牙”缺陷，具有一定的创新与突破。