叶片6点定位快换夹具研究与应用

沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司　（辽宁　110043）　赵西松　彭会文　申玉萍

摘要：本文通过对夹具夹持定位与快换技术的研究，设计了一套叶片磨榫齿用夹具，采用精密定位、零点快换与消除装夹应力结构，高效快捷地装夹叶片，取代了传统的浇注低温合金作为辅助基准的工艺，并可实现离线装夹，改进了加工工艺，提升了加工效率，是夹具6点定位设计原理和快速换装应用的典型代表。

航空发动机叶片为典型的薄壁结构零件，一般都具有壁薄、刚性差和精度要求高等特点，加工工艺性差，在切削力、夹紧力和切削热等因素的影响下，易发生加工变形，因此，控制加工变形是保证叶片加工质量的关键。对薄壁件变形控制的研究，一般从调整切削参数、修正刀具轨迹、优选刀具、改进装夹方案、改进毛坯的结构工艺性和使用高精度机床等方面入手，改进装夹方案是其中的重要一项。本文对航空发动机叶片加工6点定位的装夹方案进行了研究，给出了装夹方式和消除装夹应力的结构形式。

叶片6点定位夹持技术是采用精密6点定位夹持与零点快换技术，来计算与确定叶片定位点的空间位置，实现设计基准与制造基准的统一，降低因基准转换与夹具设计制造引起的人为误差影响。精密6点定位夹持技术是应用6点定位全约束原理，对叶片进行空间坐标点定位，然后采用无应力夹紧装置，将叶片牢牢固定，防止叶片偏摆，保证加工稳定性。零点快换技术是应用零点快换元件，在机床和夹具之间建立高精密的标准接口，不同零件的加工夹具，与设备都具有统一的安装接口，进行夹具的快速精密定位与转换，重复定位精度≤0.005mm，同时零点快换元件具有自动锁紧功能，可通过气、液压控制解锁，实现夹具的装卸和自动夹紧，极大地减少了夹具换装的调整时间。

本研究设计的夹具结构应用6点定位原理，分别在前端榫头、中间叶身和尾部锯齿冠采用3-2-1定位方式精密定位，进行空间点定位，保证定位精准性。夹紧方式是在前端缘板位置采用钳式四面夹紧，固定工件；在后端通过双侧同步夹紧方式紧固工件，消除额外装夹应力的产生。此技术取代了之前采用低熔点合金浇铸方箱的工艺方法，优化工艺路线，节省成本。同时整套夹具采用零点快换技术，可实现在线加工与离线装夹同步，减少在线调整时间，缩短生产周期。

1. 工艺需求与夹具结构实现

（1）工艺需求。本文研究的涡轮叶片加工榫齿的定位基准（见图1），共有6点定位，分别是叶身$S2$-$S2$截面的$A1$、$B1$点，榫头$S1$-$S1$截面上的$A2$、$A3$点，叶身$S3$-$S3$截面的$B2$，以及叶冠内缘的$F1$点。$A1$、$A2$与$A3$点限制叶片Y轴移动，X、Z轴转动三个自由度；$B1$、$B2$点限制叶片Z轴移动和Y轴转动；$F1$点限制叶片X轴移动，叶片零件实现了完全定位。零件定位完成后，需要进行压紧固定，而叶片榫头$S1$-$S1$截面上的$A2$、$A3$点，距加工位置很近，夹具定位件与加工砂轮干涉，同时由于是点定位，还会压伤叶片型面，所以在夹具结构上要兼顾定位与夹紧的协调统一。

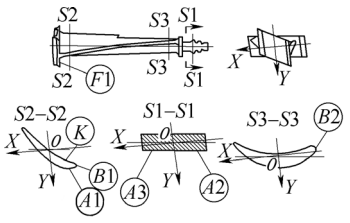
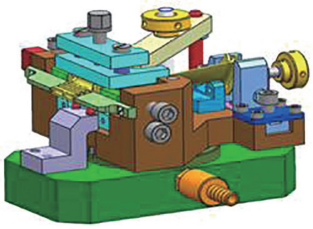


图1　叶片定位基准示意图

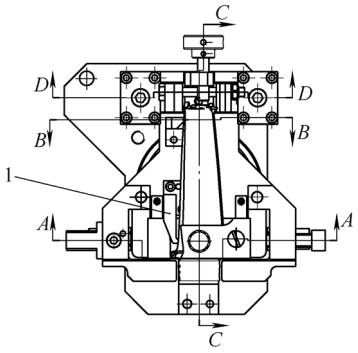
（2）夹具结构研究及设计。为提高加工质量，改进加工方式方法，对夹具结构进行研究，设计1套精密6点定位快换夹具（见图2）。该夹具结构主要分为4部

分：第1部分为夹具体，是整个夹具的基础，是夹具定位与压紧的安装主体；第2部分为定位部分，分为前、中及后三部分，对叶片实现精密6点定位；第3部分为夹紧机构，分为缘板四面夹紧与锯齿冠双侧夹紧机构，起到固定叶片位置且不产生装夹应力的作用；第4部分为快换机构，可实现离线装夹与在线加工的快速转换，换装方便快捷。该夹具结构合理紧凑、操作简单便捷，与机床设备连接可靠。

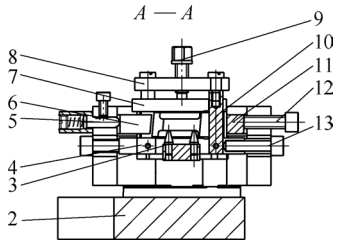
该夹具充分利用了夹具6点定位原理，在叶片榫头底部2点、叶身底部1点、侧面2点以及叶片锯齿冠1点的定位，实现叶片的精密6点定位，保证了叶片加工位置的准确。叶片位置准确后，还需要进行固定，以抵抗加工切削力的影响。前端缘板位置刚度好且靠近加工区域，需要在此处严格夹紧以抗拒切削力，所以采用上、下、左、右4面同步钳式夹紧方式（见图3）。钳式夹紧方式是采用类似卡钳的工作原理，两个压紧板通过导杆或转轴进行相对运动，在此过程中夹紧基体是浮动的，夹紧过程可以看作是叶片本身的内部作用力，无外力干涉，消除了装夹应力的产生，且保证了定位点不移动。尾部锯齿冠位置固定作为前端缘板夹紧的辅助，可增强叶片整体的刚性，提升加工稳定性，同样也采用同步夹紧的方式实现叶片水平方向的固定（见图4）。



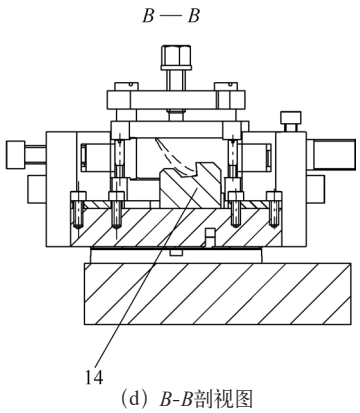
（a）夹具整体结构图



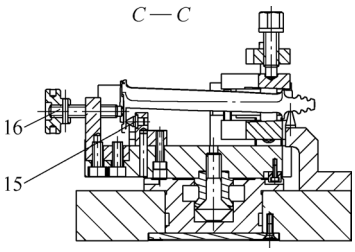
（b）夹具整体结构俯视图



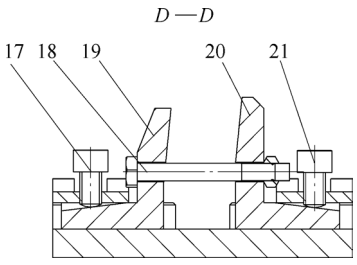
（c）*A-A*剖视图



（d）*B-B*剖视图



（e）*C-C*剖视图



（f）*D-D*剖视图

图2　夹具结构图

1.侧面定位件　2.底座　3.前定位顶尖　4.下夹板　5.支承　6.左夹板　7.中夹板　8.上夹板　9.压钉　10.导柱　11.右夹板　12.13.17.18.21.螺钉　14.中间定位件　15.尾部定位顶尖　16.尾顶尖　19.左尾夹板　20.右尾夹板

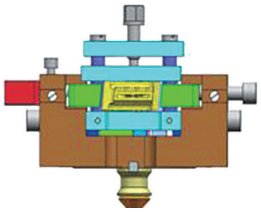


图3　缘板四面同步夹紧方式

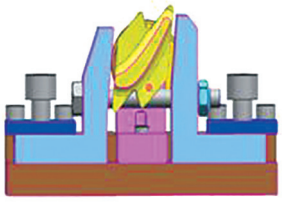


图4　锯齿冠同步夹紧结构

2. 夹具装夹过程与应用

本夹具由离线装夹定位座（见图5）和叶片夹具体（见图6）两部分实现高效装夹。离线装夹定位座上装有一个零点定位器，根据叶片夹具定位要求，把榫头*S*1-*S*1截面上的*A*2、*A*3两个定位点和预压紧机构设计在离线装夹定位座上，其余定位点设计在叶片夹具体上，通过零点定位接头和定向键保证离线装夹与在线加工的空间位置的相对一致性。装夹叶片时，夹具体通过零点定位器与离线装夹定位座精密

连接成为离线装夹夹具，叶片在夹具上定位后，采用自适应夹紧装置，夹紧叶片上下缘板与锯齿冠，使叶片与夹具体固定成一体。然后，叶片连同夹具体从离线装夹定位座上卸下，再安装到加工设备上的零点定位基座上，不用调整即可进行零件加工，两者定位误差小于0.005mm。使用时可以配备两套叶片夹具体，轮换进行叶片的加工和装夹，使叶片的加工效率大大提高。

叶片装夹后，由于加工时定位点已不再受力，不会对叶片造成损伤，榫头$S1-S1$截面上的$A2$、$A3$两个定位点不在夹具体上，加工时不会有干涉现象。整个夹具实现了零件在前端、中部及尾部的定位与夹紧，定位准确、装夹便捷及安全可靠，大大提升了零件的刚性，对此类零件的装夹方案设计有重要的借鉴作用。

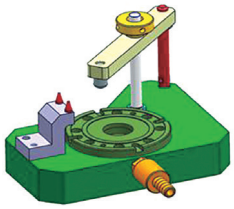


图5　离线装夹定位座

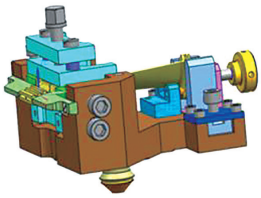


图6　叶片夹具体

3. 结语

（1）6点定位快换夹具实现了叶片加工的精密定位与快换，在零件加工中充分体现了它的优势，减小了由于装夹受力不均而引起的变形，避免了零件定位点的压伤。

（2）离线装夹方式解决了设备空间小、操作不便等问题，更是保证了加工的连续性，提升了设备利用率。

（3）该夹具改变了之前对叶片叶身进行合金浇铸辅助工艺台进行定位夹紧的方式，对优化工艺路线、提升加工制造水平、减少费用和缩短研制周期有重要意义。

参考文献：

[1] 王聪梅．航空发动机典型零件机械加工[M]．北京：航空工业出版社，2014．

MW（收稿日期：20170717）

（上接第39页）

切面，面2、面5为卡齿的顶面，限制面1、面3、面4及面6切面的长度，让开零件，避免干涉。

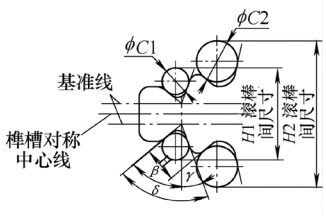


图　4

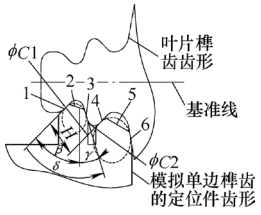


图　5

4.卡齿式叶片榫齿定位装置在测具上的应用

卡齿式叶片榫齿定位装置是模拟单边榫齿的齿形设计，还需给一个压紧力才能将零件固定住。测具如图 6 所示。

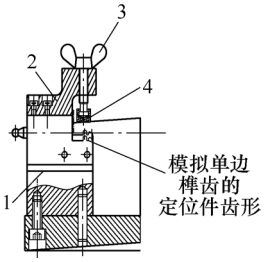


图　6

1.底座　2.支撑　3.碟形螺钉
4.橡胶定位块

图 6 所示的橡胶定位块与带动其运动的碟形螺钉以及支撑一起固定在定位座上，设置在卡齿的上方，当叶片榫齿与卡齿配合好后，碟形螺钉带动橡胶定位块将叶片榫齿与卡齿压紧，避免叶片榫齿发生窜动而降低测量精度。选用橡胶定位块是为了面接触零件榫齿，避免点接触压紧使零件榫齿不能与卡齿完全接触，导致定位不准。

5. 结语

卡齿式榫齿定位装置实现了如下技术效果：采用多个卡齿代替现有的叶片榫槽齿形定位件，卡齿通过定位斜面与需定位的叶片榫齿的齿面配合，从而避免了叶片榫齿中心与定位件间的空间尺寸存在间隙，而产生重合偏差的问题。卡齿之间不相对移动，避免了定位件间的空间尺寸无法定检的问题。卡齿式叶片榫齿装置依靠多个卡齿与叶片榫齿实现更可靠的配合，并且卡齿式叶片榫齿定位装置自身的稳定性良好，因此具有更好的测量精度。

参考文献：

[1] 航空工艺装备设计手册编写组．航空工艺装备设计手册量具设计[M]．北京：国防工业出版社，1975．

MW（收稿日期：20170718）