

航空发动机整体叶盘叶片预变形控制研究

叶忠宇¹, 高晓斐¹, 李婷婷¹, 蔺小军², 同更强¹

(1. 中国航发西安航空发动机有限公司, 西安 710021;

2. 西北工业大学机电学院, 西安 710072)

[摘要] 数控加工是航空发动机整体叶盘最主要的加工方法,数控加工工序是保证整体叶盘几何精度符合设计要求的重要环节。按照设计三维数模精铣后的叶片型面虽满足图纸尺寸公差,但后续叶片表面光整及强化工艺会对叶型特征产生不同程度的影响,导致最终叶型几何特性超出设计要求。通过对抛光、振动光饰、喷丸等表面光整及强化工艺进行分析,确定其对叶型参数的影响规律及量值,再根据预变形技术对精铣工序的加工模型和程序进行修正,使叶片在精洗后获得与后续表面光整及强化工艺变形规律相反的形状和位置,再在后续加工中消除这些预变形量,从而达到在最终交付状态获得合格整体叶盘的目标。

关键词: 整体叶盘叶片;表面光整;强化工艺;变形规律;预变形控制

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2018.15.096



叶忠宇

研究员级高级工程师,研究方向为质量控制及检测技术研究工作。

整体叶盘是新一代航空发动机实现结构创新与技术跨越的重要部件,是未来航空发动机的发展趋势,具有结构紧凑、体积小、重量轻、推重

比大等一系列优点,在发动机中应用日益广泛^[1]。

整体叶盘加工对叶片型面产生影响的主要有精铣、抛光、振动光饰和喷丸等工序。精铣工序按照设计理论模型加工,此状态叶型参数满足设计要求,但后续表面光整及强化工艺对叶片型面产生较大影响,导致整体叶盘最终交付状态叶片型面参数超差。本文通过研究某高压压气机整体叶盘叶型几何特性在精铣工序后经过抛光、振动光饰、喷丸后的变化情况,探索出叶片表面光整工艺及强化工艺对整体叶盘叶片型面各特性的影响规律,确定整体叶盘预变形控制方案,保证产品最终交付质量。

整体叶盘叶片变形规律分析

数控加工时按照设计理论模型精铣叶片型面,叶型尺寸符合设计要求,但经过抛光、振动光饰和喷丸

工序后叶型的部分特性会出现超差。主要原因是整体叶盘在后续的表面光整及强化工艺中受加工应力影响产生了变形,其中抛光和振动光饰主要影响叶片的形状误差,喷丸主要影响叶片的位置误差。

航空发动机中各级高压压气机整体叶盘的结构、规格、材料各异,但制造工艺方法基本一致,为获取高压压气机整体叶盘叶片变形规律,分别从工艺流程、结构特点、材料3个方面进行分析。

1 按工艺流程分析

1.1 精铣叶型

高压压气机整体叶盘在精铣叶型后,叶型的主要偏差集中在各截面轮廓的扭转上,并且扭转量比较集中,这一点可以从精铣叶片型面的走刀过程得到印证。刀具与叶片接触的 F 点由于切削力的影响,叶型会绕积叠点产生变形^[2],呈现叶尖扭转量

相对较大,叶根部位扭转量较小的规律(图1)。

1.2 抛光

抛光的主要目的是去除精铣过程中所留下的刀纹,并形成规则的抛光纹理^[3],抛光对叶片前后缘截面轮廓影响较大。叶型精铣后都留有余量,且一致性较好,手工抛光后前后缘会出现削边、尖头、平头等缺陷,各叶片之间差异较大。

1.3 振动光饰

在振动光饰工艺中,磨料受光饰机振幅、频率和转速的影响,对叶片型面产生不同程度的磨损,导致高压压气机整体叶盘叶片前后缘形状及弦长产生变化,叶片前后缘越薄,磨损越大,振动光饰工艺使叶片前后缘更光滑,弦长变小。

1.4 喷丸

喷丸是提高叶片抗疲劳寿命的有效方法之一^[4],受弹力影响,喷丸工艺对叶型前后缘形状、弦长、位置度、扭转均有影响,因工艺参数不同影响程度各异。

2 按高压压气机整体叶盘结构特点分析

高压压气机整体叶盘叶片的叶根与盘连接为一体,叶片为悬臂结构。根据力学原理,在加工应力作用下,叶片展弦比大,叶型薄,变形量大;叶片展弦比小,叶型厚,变形量小。

3 按高压压气机整体叶盘材料分析

高压压气机整体叶盘一般采用钛合金和高温合金。相比高温合金,钛合金弹性模量小,高压压气机整体

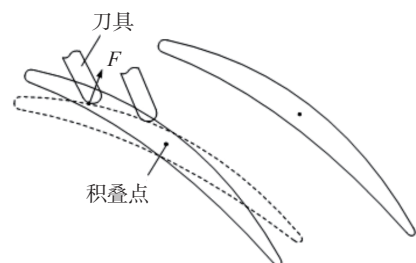


图1 精铣叶片型面时扭转变形示意图

Fig.1 Fine milling blade surface torsional deformation

叶盘在表面光整及强化工艺过程中受加工应力变形更大。

高压压气机整体叶盘变形量规律验证

为了验证各工序对高压压气机整体叶盘叶片变化规律以及变化量值,选取某一级高压压气机整体叶盘进行检测,并对检测数据进行对比分析。该高压压气机整体叶盘材料为钛合金,叶展长度大于40mm,叶尖最大厚度不超过1mm,属于薄壁易变形叶片。

1 检测方法

1.1 建立基准

采用三坐标测量对高压压气机整体叶盘进行测量,以叶盘轮毂基准面建立X轴方向和零点,叶盘安装孔和工艺孔的连线确定Z轴方向,安装孔确定Y轴和Z轴的零点,建立第一坐标系。以首叶片为基准进行坐标系迭代,微调首叶片与工艺孔的位置关系,重新建立以首叶片为基准的测量坐标系,记录微调坐标系时角向旋转量。同一级别的高压压气机整体叶盘在不同工序检测时应使用相同的旋转量,保证所有测量在同一基准下测量^[5]。

1.2 叶片型面检测

叶根和前后缘区域曲率变化比较大,当采用二维扫描测量和半径近似补偿方式时数据存在失真,且侧头半径越大,测量准确性越差。为提高准确性,对曲率变化比较大的复杂叶型和叶根检测采用三维测量和评价^[6]。

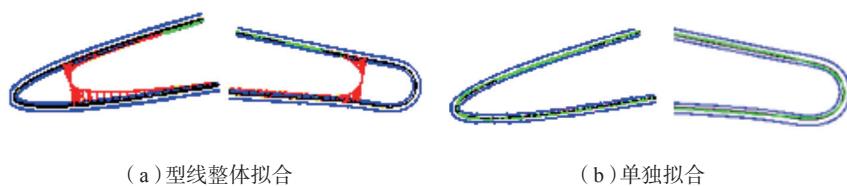


图2 叶片前后缘整体拟合与单独拟合误差分析示意图

Fig.2 Leaf margin before and after the whole fitting with separate fitting error analysis diagram

1.3 叶片前后缘检测

在前后缘的评价方法上,主要存在的问题是叶片弦长过短或弦长过长时对于前后缘轮廓度评价的影响。当实际轮廓大大偏离理论轮廓位置时,叶片分析软件评价轮廓偏差的算法无法使理论轮廓上每一点都在实际轮廓上找到对应点。前后缘轮廓度采用单独拟合的方式评价,可以准确判断前后缘的实际加工形状,获得较为合理的前后缘轮廓度评价结果。前后缘所在位置可以用弦长和前后缘点位置等参数判断。叶片前后缘整体拟合与单独拟合误差分析如图2所示。

2 变形规律分析验证

2.1 总变形量分析

选取相同序号的叶片分别在精铣后和喷丸后进行测量,对比对应叶片各截面叶型参数变化情况,横坐标为叶片截面,纵坐标为叶片各参数喷丸后实测值减去精铣后实测值的差值,不同颜色的曲线为不同序号的叶片,叶型参数变化趋势如图3所示。

由图3分析得出:经抛光、振动光饰、喷丸后,叶片前后缘轮廓度减小,变化量最大值为0.16mm,超出公差下限;弦长缩短,从叶根到叶尖截面变化量为-0.05~-0.11mm;扭转从叶根截面到叶尖截面变化0~-0.25mm。

2.2 分工序变形量分析

为进一步探究各个工序对叶型各参数的影响量,分别在抛光先后、振动光饰前后、喷丸前后设置检验点,评价叶型参数的变化规律。检验

点设置后的高压压气机整体叶盘叶片主要加工工艺流程如图4所示。参数变化如表1所示,前后缘形状变化如图5所示。

通过验证,高压压气机整体叶盘叶片经表面光整及强化工艺后,叶片各参数的变化与前期理论分析基本一致,抛光工艺受手工操作因素影响对叶片前后缘形状有影响;振动光饰对高压压气机整体叶盘叶片前后缘形状及弦长的影响,使叶片前后缘形状更光滑;喷丸对高压压气机整体叶盘叶片前后缘形状、弦长有影响,叶型扭转的变化主要来自喷丸工艺^[7]。

3 喷丸工艺变形控制研究

为了减少喷丸工艺对叶片产生的变形,结合精铣工艺中已经产生的变形,采用3种方案对高压压气机整体叶盘进行喷丸试验。采用同一喷丸机,喷丸时间都为15min,喷丸强度为0.10N,覆盖率 $\geq 100\%$,喷丸方案如表2所示。

从表2分析可知:方案1和方案3会使叶片积叠点在X、Y方向上产生较大的偏移,并产生一定的扭转;方案4在X、Y方向产生较大的偏移,扭转量比较小。方案2使叶片在X、Y方向上的偏移量小于0.03mm,对叶片扭转有较大影响,且变化规律清晰,从叶根到叶尖依次线性增大,易于采用预变形工艺进行修正。

预变形控制技术

1 预变形技术模型建立

在传统的薄壁件精密加工变形控制技术中,预变形补偿加工是针对某一个工序进行的,使其在工序完成后达到理想状态^[8]。在高压压气机整体叶盘叶片表面强化预变形控制研究中,将精铣到喷丸工序视为一个复合工序,根据变形规律分析进行整体的预变形补偿加工。在复合工序的第一道工序精铣时,根据变形规律对试制件的理论模型进行反方向修正,使其作为数控精铣的加工模型^[9]。

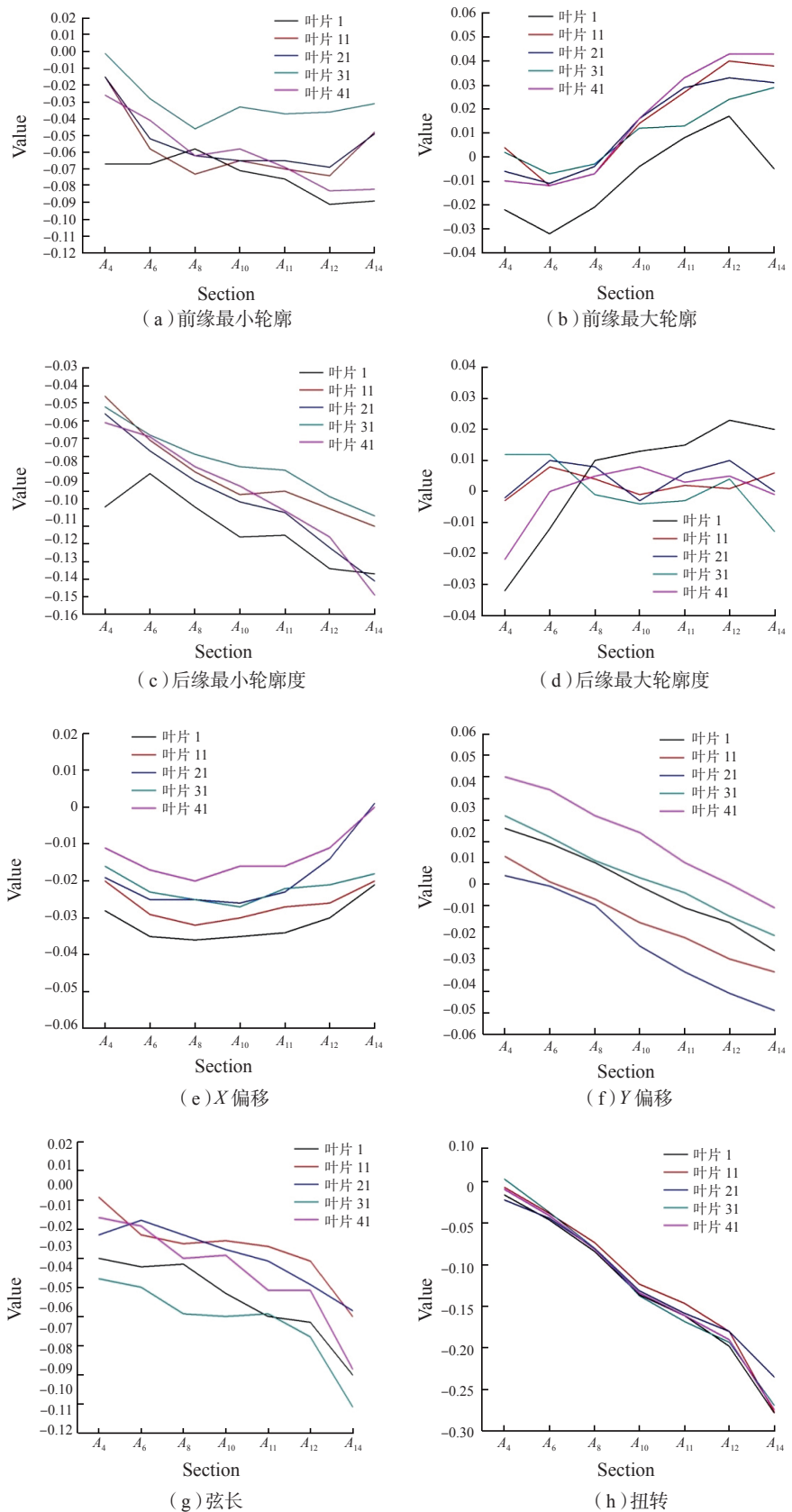


图3 叶型参数变化趋势对比示意图

Fig.3 Parameters change trend contrast diagram

为了建立工序间的加工模型,需要准确知道在工序内的变形情况,并按照倒序在理论模型的基础上反过来进行修正。为此,首先要做出每道工序前后的加工质量评价。在此基础上,修正该道工序的加工模型,并进行验证。以此类推直到做出精加工的加工模型,其调整后的工艺流程如图6所示。

每一道工序中,涉及加工模型和检验模型。加工模型是用于工序工艺参数制定的几何模型^[10]。检验模型是用于检验时指定三坐标测量机触测到准确位置和评价工序工艺质量是达到规定要求的模型。需要说明的是,检验模型是在工序工艺固化的条件下,多次加工,基于统计分析的样本零件的数学期望模型。并且,各工序之间的加工模型和检验模型是通过工艺去除量和工序内变形量相互连接并构成尺寸链的。以某一截面的近似扭转和弦长量为例,说明检测模型和加工模型与理论模型之间的关系,变形量传递过程如表3所示。可以看出,加工模型是检测模型与加工变形量的复合,也就是将该工序工艺的变形反方向叠加到检测模型上。在叶型各参数之间是相互耦合的,当叶型的扭转角调整后,叶片截面的位置度、前后缘的轮廓度也相继的变化。基于修正模型精铄的叶型与基于设计模型精铄的叶型存在差异,这在后续工艺上会造成差异的映射和复现。尤其是弦长增加相当于增加进排气边的厚度,减小振动光饰过程中的尖端效应,会进一步凸显增加弦长的作用效果。而叶片的截面轮廓绕积叠轴调整后,将会在一定程度上影响喷丸过程中弹丸的碰撞方向,进而影响喷丸工艺对叶型扭转的作用效果。

质量评价时,所有参数都是基于一个整体的检测数据,进而分离出单项误差。在调整了单个截面的轮廓后,需要验证补偿效果以及调整后其

表1 各检验点叶型参数变化最大值

| 工艺 | 叶型参数 | 变化量/mm | | | |
|--------|-------|----------|----------|-------------|-------------|
| | | 截面 A_4 | 截面 A_8 | 截面 A_{12} | 截面 A_{14} |
| 抛光工艺 | X 偏移 | -0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.02 |
| | Y 偏移 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | 弦长 | -0.04 | -0.06 | -0.05 | -0.04 |
| | 扭转 | -0.01 | -0.01 | -0.02 | -0.02 |
| | 进气边轮廓 | -0.03 | -0.05 | -0.04 | -0.05 |
| | 排气边轮廓 | 0.03 | 0.05 | -0.06 | 0.04 |
| 振动光饰工艺 | X 偏移 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| | Y 偏移 | -0.01 | -0.01 | -0.02 | 0.03 |
| | 弦长 | -0.05 | -0.03 | -0.04 | -0.04 |
| | 扭转 | -0.01 | 0.0 | -0.01 | -0.01 |
| | 进气边轮廓 | -0.02 | -0.03 | -0.04 | -0.01 |
| | 排气边轮廓 | -0.03 | -0.04 | -0.05 | -0.04 |
| 喷丸工艺 | X 偏移 | -0.08 | -0.10 | -0.06 | 0.10 |
| | Y 偏移 | 0.06 | 0.04 | -0.03 | -0.06 |
| | 弦长 | -0.02 | -0.02 | -0.02 | -0.04 |
| | 扭转 | -0.02 | -0.08 | -0.21 | -0.22 |
| | 进气边轮廓 | 0.01 | -0.01 | -0.01 | 0.01 |
| | 排气边轮廓 | 0.01 | 0.02 | -0.03 | 0.05 |

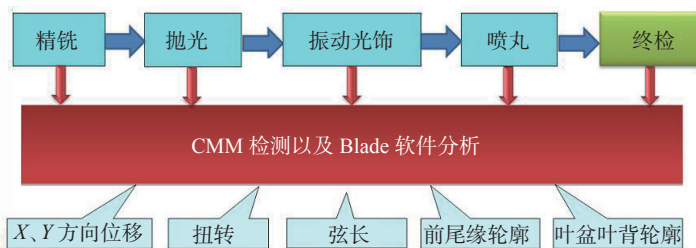


图4 高压压气机整体叶盘叶片工艺流程示意图

Fig.4 Overall semal high-pressure compressor blade process flow diagram

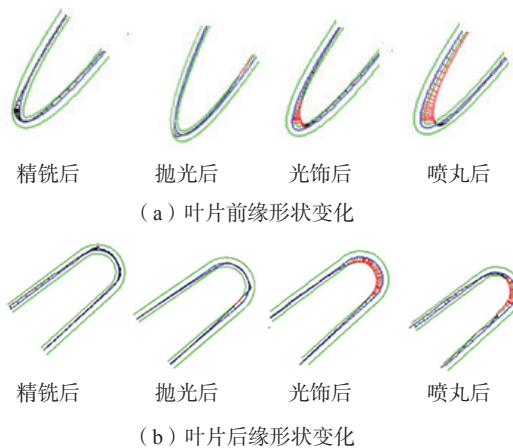


图5 各检验点叶片前后缘形状变化示意图

Fig.5 All inspection points before and after the blade edge shape change

表2 喷丸方案

| 方案编号 | 喷丸方案 | 测试叶片序号 | 测试结论 |
|------|---|----------|---|
| 方案1 | 先喷叶盆,后喷叶背 | 1、2、3 | X 偏移相对变化量: 0~0.10, 变化无规律 Y 偏移相对变化量: 0~0.11, 从叶根到叶尖向负向偏移, 依次增大 扭转变化量: -0.03~-0.17, 从叶根到叶尖向负向偏移, 依次增大 |
| 方案2 | 先喷丸叶背,后喷丸叶盆 | 4、5、6 | X 偏移相对变化量: 0~-0.03, 变化无规律 Y 偏移相对变化量: 0~0.01, 从叶根到叶尖向正向偏移, 依次增大 扭转变化量: 0.01~0.15, 从叶根到叶尖向负向旋转, 依次增大 |
| 方案3 | 先喷叶盆,保证 50% 覆盖率;后喷叶背,保证 50% 覆盖率;再喷叶盆,保证 100% 覆盖率;再喷叶背,保证 100% 覆盖率 | 7、8、9 | X 偏移相对变化量: 0~0.11, 变化无规律 Y 偏移相对变化量: 0~0.11, 从叶根到叶尖向负向偏移, 依次增大 扭转变化量: 0.03~-0.17, 从叶根到叶尖向负向旋转, 依次增大 |
| 方案4 | 双面对喷形式 | 10、11、12 | X 偏移相对变化量: 0~0.10, 变化无规律 Y 偏移相对变化量: 0~0.13, 从叶根到叶尖向负向偏移, 依次增大 扭转变化量: -0.01~0.04, 从叶根到叶尖向正向偏移, 依次增大 |

余评价参数的受影响情况^[10]。

2 预变形技术控制应用

以某高压压气机一级整体叶盘

为例,验证应用预变形加工技术的应用效果。根据前期收集的样本量,经过变形规律分析结合积累的加工经

验以及零件的结构和材料,制定补偿量。将理论数模各高度的截面线绕积叠轴顺时针旋转补偿角度,旋转后的截面线分割出前后缘部分,沿弦长方向向两端各移动 0.05mm,并与等截面高度上的叶盆、叶背线光滑桥接。调整后的截面线放样成完整的三维模型裁剪后即为调整后的加工模型如图 7 所示,旋转补偿角度及弦长补偿值如表 4 所示。

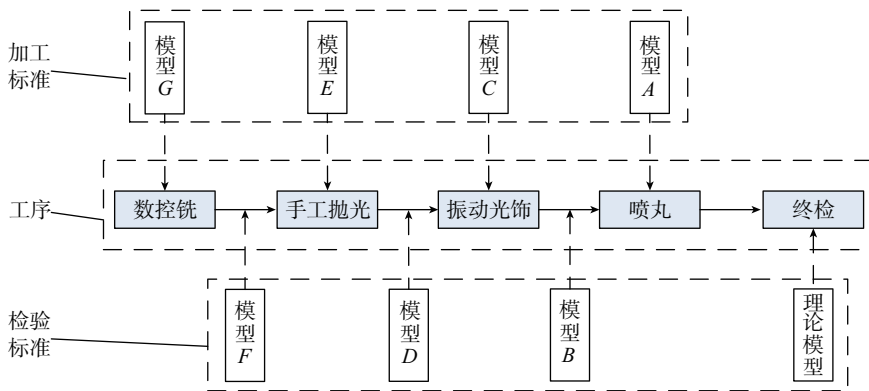


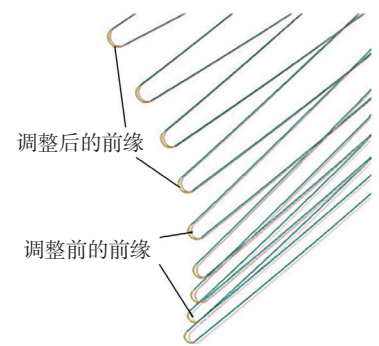
图6 工艺流程示意图

Fig.6 Process flow diagram

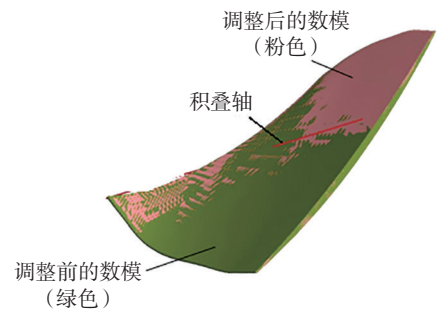
表3 变形量传递过程

| 工序 | 工序前 | 工序后 | 加工模型 | 检测模型 | 理论去除量 | 工序变形量 | 修正量 | 工序内关系 | 工序间关系 |
|----|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-------|
| 喷丸 | A0.2 L50 | A0 L50 | A-0.2 L50 N1 | A0.0 L50 M1 | A0 L0 D1 | A0.2 L0 T1 | A-0.2 F1 | F1= -(T1+D1) | M1=M0 |
| 光饰 | A-0.2 L50.01 | A-0.2 L50 | A-0.2 L50.01 N2 | A-0.2 L50 M2 | A0.0 L-0.01 D2 | A0.0 L0 T2 | A0.0 L0.01 F2 | F2= -(T2+D2) | M2=N1 |
| 抛光 | A-0.2 L50.06 | A-0.2 L50.01 | A-0.2 L50.01 N3 | A-0.2 L50 M3 | A0 L-0.05 D3 | A0 L-0.01 T3 | A0 L0.06 F3 | F3= -(T3+D3) | M3=N2 |
| 精铣 | A-0.1 L50.19 | A-0.1 L50.06 | A-0.2 L50.01 N4 | A-0.1 L50.01 M4 | A0 L-0.15 D4 | A0.1 L0.02 T4 | A0.1 L0.13 F4 | F4= -(T4+D4) | M4=N3 |

注:A为叶型扭转角;L为叶片弦长;N为加工模型;M为测量模型(M0为理论模型);D为去除量;T为变形量;F为工序内关系。



(a) 型线调整前后对比局部放大示意图



(b) 修改前后加工模型对比示意图

图7 调整模型示意图

Fig.7 Model for the adjustment

表4 某高压压气机整体叶盘叶片反变形补偿量

| 截面 | A_0 | A_1 | A_2 | A_3 | A_4 | A_5 | A_6 |
|-------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|
| 扭转补偿量 | 0° | 0° | 0° | -0.01° | -0.02° | -0.02° | -0.03° |
| 弦长补偿量 | 0.1mm | | | | | | |
| 截面 | A_7 | A_8 | A_9 | A_{10} | A_{11} | A_{12} | A_{13} |
| 扭转补偿量 | -0.03° | -0.04° | -0.06° | -0.08° | -0.11° | -0.13° | -0.14° |
| 弦长补偿量 | 0.1mm | | | | | | |

3 预变形技术控制效果

通过精铣过程的预变形加工工艺使叶片弦长及扭转参数的合格率较之前有很大的提升。某高压压气机整体叶盘叶片在未采用预变形技术时,弦长、位置度、扭转、前后缘轮廓度单项参数合格率不足 50%,采用预变形工艺后加工的试件叶型参数单项合格率提高到 80% 以上。

结论

本文首先对高压压气机整体叶盘叶型在精铣、抛光、振动光饰、喷丸工序中的变性规律和变形量进行了分析及检测验证,开展了预变形技术在高压压气机整体叶盘加工过程中的应用研究,提出了一套预变形加工模型及检验模型的建立思路,经过实际对试件的加工及检测验证,叶型参数合格率显著提高,为整体叶盘加工质量提升奠定了技术基础。

参考文献

[1] 杨金发,张军,李家永,等.整体叶盘加工技术探索与实践[J].航空制造技术,2015,58(12):70-73.
YANG Jinfa, ZHANG Jun, LI Jiayong, et

al. Exploration and practice of blisk machining technology[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(12): 70-73.

[2] 李成武.高温合金材料高精度薄壁盘环类零件加工变形控制研究[J].航空制造技术,2018,61(8):88-92.

LI Chengwu. Research on deformation control of high-precision superalloy disk and baffle with thin-wall[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61(8): 88-92.

[3] 郭文友.航空发动机叶片机械加工工艺[M].北京:国防工业出版社,1994.

GUO Wenyu. Aircraft engine blade machining process[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1994.

[4] 李明.几何坐标测量技术及应用[M].北京:中国质检出版社/中国标准出版社,2012.

LI Ming. Coordinate geometry measurement technology and its application[M]. Beijing: China Quality Press/Standards Press of China, 2012.

[5] 李存华.基于矢量补偿技术精密测量三维空间曲面及逆行工程[J].仪器仪表学报,2008,29(11):2451-2455.

LI Cunhua. Compensation technology based on vector precision measuring three-dimensional curved surface and reverse

engineering [J]. Journal of Instruments and Meters, 2008, 29(11): 2451-2455.

[6] 尚建强.钛合金喷丸强化影响因素分析研究[J].航空制造技术,2015,58(12):157-159.

SHANG Jianqiang. Titanium alloy shot peening influence factors analysis[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2015, 58(12): 157-159.

[7] 李成武.高温合金材料高精度薄壁盘环类零件加工变形控制研究[J].航空制造技术,2018,61(8):88-92.

LI Chengwu. Titanium alloy shot peening influence factors analysis[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2018, 61(8): 88-92.

[8] 陈惠贤.数控加工中叶片的变形分析及二次造型[J].机床与液压,2011,39(5):53-55.

CHEN Huixian. Blade in the NC machining deformation analysis and the quadratic model [J]. Journal of Machine Tools and Hydraulic Pressure, 2011, 39(5): 53-55.

[9] 王文理.整体叶盘自适应加工技术及其工程化探索[J].航空制造技术,2014,57(13):26-29.

WANG Wenli. Adaptive milling technology of blisk and engineering exploration[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2014, 57(13): 26-29.

[10] 吴雁.基于非均匀余量的整体叶轮加工工艺优化策略[J].航空制造技术,2017,60(5):72-74.

WU Yan. Overall semal adaptive processing technology and engineering exploration[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2017, 60(5): 72-74.

通讯作者:叶忠宇, E-mail: hkd1js@126.com。

Pre-Deformed Control Technology for High-Pressure Compressor of Blisk Blade

YE Zhongyu¹, GAO Xiaofei¹, LI Tingting¹, LIN Xiaojun², TONG Gengqiang¹

(1. Xi'an Aircraft Engine Co., Ltd., Xi'an 710021, China;

2. School of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

[ABSTRACT] The NC machining is the most important processing method for the blisk of aero-engine. The NC machining process is an important step to ensure that the geometric precision of the blisk meets the design requirements. According to the design of three-dimension digital model, the shape of the blade after finish milling can meet the dimensional tolerance of the drawing, but the flow-up blade surface finishing and strengthening process have different degrees of influence on the character of the blade shape of the blisk, resulting in final geometric dimensions of the blade shape beyond design requirements. By analyzing the surface finishing and strengthening process such as polishing process, vibratory finishing process, shot peening process, the paper determine its influence law and magnitude on the blade shape parameter, then according to the pre-deformed control technology, revise the machining model and program of the finishing process, allowing the blade to obtain the shape and position opposite to the deformation law of the subsequent surface finishing and strengthening process after finishing milling. At last, eliminate these pre-deformations in subsequent processing to achieve the goal of obtaining a qualified blisk in the delivery state.

Keywords: Blisk blade; Surface finishing; Strengthening process; Deformation law; Pre-deformed control

(责编 大漠)

(上接第 95 页)

34(11): 2442–2450.

[9] 毕超, 刘京亮, 刘飞, 等. 激光测头的光束空间矢量标定方法[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(2): 3775–3781.

BI Chao, LIU Jingliang, LIU Fei, et al. Calibration method of space vector of beam for point laser sensor[J]. Infrared and Laser Engineering, 2015, 44(2): 3775–3781.

[10] 毕超, 吕来鹏, 房建国, 等. 光学

坐标测量机的搭建与实现[J]. 宇航计测技术, 2015, 35(4): 19–23.

BI Chao, LÜ Laipeng, FANG Jianguo, et al. Establishment and realization of the optical coordinate measuring machine[J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement, 2015, 35(4): 19–23.

[11] 张军锋, 史耀耀, 蔺小军, 等. 叶片前后缘百页轮抛光工艺参数优化[J]. 计算

机集成制造系统, 2017, 23(7): 1502–1510.

ZHANG Junfeng, SHI Yaoyao, LIN Xiaojun, et al. Process parameters optimization of flap wheel polishing in leading and trailing edges of blade[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2017, 23(7): 1502–1510.

通讯作者: 毕超, E-mail: 773721278@qq.com。

Study on Measuring Technology of Blade Sections Based on Optical Scanning

BI Chao, WANG Jin, LI Di, FANG Jianguo

(Aviation Key Laboratory of Science and Technology on Precision Manufacturing Technology, Beijing Precision Engineering Institute for Aircraft Industry, Beijing 100076, China)

[ABSTRACT] Aero-engine blades have a great influence on the overall performance of the engine. Therefore, inspection of the blade surfaces in a rapid and accurate manner has become a key segment to improve the manufacturing quality of blades, as well as the performance and lifetime of the engine. In order to measure the geometrical shapes and dimensions of those workpieces with complex surfaces such as blades in a way of high accuracy and efficiency, the study on application of an optical scanning system in measuring of section parameters of a blade is carried on in the paper. Taking the traditional coordinate measuring machine (CMM) as the system platform, the optical scanning system is equipped with a new laser scanning probe, which is based on the measuring principle of circumferention triangulation. Also, combining with the special data processing software, the system can be used to inspect and evaluate the geometrical parameters of the specified sections of a blade, which could serve as an advanced solution for the shape inspection and quality control of blades. For verifying the application effect of the optical scanning system in the measurement of blade surfaces, a twisted fan blade is selected as the target. In the measuring procedure, 5 sections of the blade are scanned and measured by the system. After the model matching, the errors of profile, centroid position and chord angle on every section are derived, which fully manifests the effectiveness and practicality of the measuring system.

Keywords: Non-contact; Blade surface; Optical sensor; CMM (coordinate measuring machine); Scanning

(责编 铃兰)