

滚磨光整技术在航空发动机产品制造中的应用研究

杨印权,张亚双,梁巧云

(中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司,沈阳 110043)

[摘要] 介绍了一种用于航空发动机零件表面质量提升的滚磨光整工艺,并分别研究了离心式滚磨光整用于小型工件的尖边倒圆,主轴回转滚磨用于复杂型面叶片叶身刀纹去除,旋转振动式滚磨用于大型盘件的表面应力分布状态改善的实例情况。为航空发动机及其他行业机械制造摆脱传统手工抛光工艺,实现精密制造开辟了新的途径。

关键词: 航空发动机;滚磨光整;表面质量;精密制造

Research on Application of Barrel Finishing Technology in Manufacture of Aeroengine

YANG Yinquan, ZHANG Yashuang, LIANG Qiaoyun

(AVIC Shenyang Liming Aero-Engine (Group) Corporation LTD, Shenyang 110043, China)

[ABSTRACT] The article introduces technology of barrel finishing about improving part surface in aeroengine. The classification and characteristics of barrel finishing technology are introduced. The little part fillet of centrifugal barrel finishing, and knife pattern removal of spindle barrel finishing, and plate stress distribution of vibratory barrel finishing are researched, which gets rid of polishing of handcraft in aeroengine, and inaugurates the new pass of precision manufacturing.

Keywords: Aeroengine; Barrel finishing; Surface quality; Precision manufacturing

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.11.069

航空发动机零件的表面质量是评价产品的一个重要指标。目前,一些复杂型面航空零件的边缘倒圆、机加叶片零件表面的残留刀纹去除仍未完全摆脱手工抛光方式,除了耗费大量的人力资源,也易造成产品质量不稳定,甚至影响发动机整机性能与寿命。滚磨光整技术能有效地提高零件表面质量等级,清除毛刺、刀痕等表面缺陷,还能使零件金属表层产生微弱的塑性变形,改善表面残余应力状况。当前在一些航空发动机零件制造中应用滚磨光整技术,已取得了较好的经济效益与社会效益。本文对滚磨光整这项新工艺技术进行了介绍,并研究了滚磨光整技术在航空发动机产品中的应用。

1 滚磨光整加工的基本类型及特点

滚磨光整加工是将工件、磨块和磨剂按一定混合比装入滚筒中,当滚筒运动时,在工件和磨块间产生强大的挤压力和强制流动力,迫使磨块对工件产生碰撞、滚压、滑擦和刻划,从而实现对工件表面的光整加工。

1.1 滚磨光整加工的类型

根据滚筒的运动方式,滚磨光整加工可分为以下四种形式^[1]:

(1) 回转式滚磨: 滚筒作单一的回转运动,其转速

n 必须小于某固定值,否则工件与磨料将紧贴在滚筒周壁,相互间不产生相对运动而无法实现表面的光整加工。因此,这种加工方法效率低、质量差,现已逐渐被其他方法所取代。

(2) 振动式滚磨: 滚筒作三维的空间振动运动,工件和磨料在圆环形容器中沿螺旋轨迹运动,形成复杂的运动轨迹。这种加工方法对细化表面质量较好,对表面物理机械性能的改善不大,不适用于较大较长的工件。

(3) 离心式滚磨: 滚筒既自转又公转作行星运动。这种加工方法可以获得较高的加工质量和加工效率。

(4) 主轴回转滚磨: 滚筒作回转运动,夹持工件的主轴作逆向回转。这种加工方法工件有固定的位置,当滚筒与主轴选择合适的相对转速时,便可以获得较好的加工质量和较好的加工效率。

(5) 旋转振动式滚磨: 滚筒兼具回转运动与空间振动运动方式。磨料运动轨迹复杂,更易加工一些复杂型面的大型工件。

1.2 滚磨光整的功能特点及适用范围

滚磨光整主要有以下特点^[2]:

- (1) 操作简单,生产效率高,环境污染小;
- (2) 可实现铸锻件的去飞边、去氧化层和表面清洁

处理,也可用于切削加工后零件去毛刺、棱边倒圆和细化表面,降低表面粗糙度值;

(3)可适度改善表面应力分布状态;

(4)对于内孔、沟槽及凹陷表面的光整加工相对较难,对易变形、易磕碰零件需在光整过程中作防护处理。

2 滚磨光整加工技术在航空发动机产品制造中的应用研究

2.1 离心式滚磨光整加工用于小型工件的尖边倒圆

摇臂是发动机可调叶片操纵系统中的传动件,材料为TC4,体积小。传统工艺采用手工打磨方式进行尖边倒圆,倒圆质量差,打磨痕迹明显,严重的在放大镜下可看出有沟槽存在,影响摇臂在工作中的传动平稳性。研究中利用离心式滚磨光整设备(BJG-LL05型光整设备),使零件在滚筒中自由摆放,选择合适的磨料与磨液完成滚磨光整,并从表面形貌、表面粗糙度和疲劳寿命方面进行了对比。

(1)表面形貌测试对比。

摇臂板片光整前后尖边倒圆情况用金相显微镜放大观察,见图1。

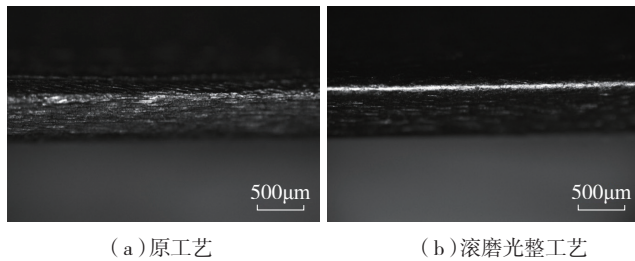


图1 尖边倒圆情况对比
Fig.1 Fillet contrast

未经过光整加工的零件表面存在手工打磨痕迹,锐边有些锋利,槽内有凸起点、毛刺等,经滚磨光整加工后槽内凸起点、毛刺、锐边等均被光整至圆滑状态,且表面纹理均匀。从图1可看出,原工艺尖边倒圆不均匀,打磨纹理明显。经滚磨光整后的摇臂零件倒圆均匀、光滑,打磨纹理明显消除。

(2)表面粗糙度检测对比。

用触针式轮廓仪对滚磨光整前后的摇臂表面6个点的粗糙度值进行了检测及对比,检测数据见图2。

试件滚磨光整后表面粗糙度 R_a 值平均降低 $0.35\mu\text{m}$ 左右。

(3)疲劳寿命测试情况。

疲劳寿命是在DC-660-5电磁振动台上,在420MPa交变应力载荷作用下进行测试的,对6件摇臂的疲劳寿命测试数据见图3所示。

上述研究证明,采用新的滚磨光整加工工艺,改善

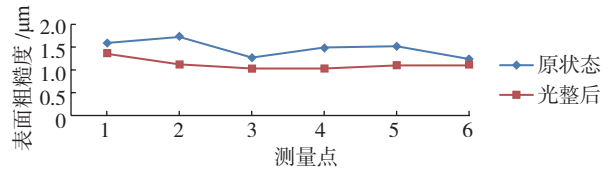


图2 离心式滚磨表面粗糙度检测对比

Fig.2 Detection contrast of surface roughness of centrifugal barrel finishing

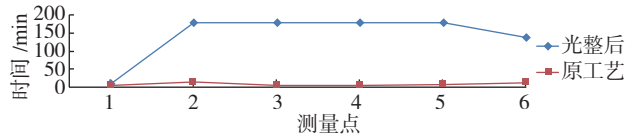


图3 离心式滚磨疲劳寿命对比

Fig.3 Fatigue lifetime contrast of centrifugal barrel finishing

了摇臂板片部位的棱边质量及表面粗糙度,通过疲劳寿命测试对比,滚磨光整后的试件疲劳寿命提高到原来的18倍,证明通过滚磨光整改善表面质量、棱边质量等表面完整性指标,对提高零件疲劳性能是很有效的。

2.2 主轴回转滚磨用于复杂型面的叶片叶身刀纹去除

航空发动机压气机叶片型面复杂,经数控铣削后留有铣加工痕迹,表面粗糙度及表面纹理无法满足设计要求。采用传统的手工抛光方法由于受人为因素的影响,造成叶片型面几何精度下降,不能满足设计要求。由于压气机叶片型面薄,进、排气边缘相当于“尖边”,光整过程中要注重保护叶片的几何精度不变,尤其是保持叶片进排气边缘的形状不被破坏。研究中采用主轴回转滚磨光整加工,综合考虑了包括工件、夹具、设备、工艺参数、磨料及磨液、叶片进排气边缘的保护方式等多项影响叶片光整质量的因素,对叶身铣加工痕迹去除进行了研究,并从表面形貌、表面粗糙度、棱边质量3个方面进行了测试。

(1)表面形貌。

叶片光整前表面有明显的纵向刀纹,光整后消除了铣削刀纹,并形成了均匀的P型纹理(微观鱼鳞坑),对提高零件的耐磨性是非常有益的。

(2)表面粗糙度值测试对比。

用触针式粗糙度仪,对滚磨光整前后的24个点的粗糙度值进行了检测及对比,检测数据见图4。

(3)叶片型面进排气边缘形状检测。

进排气边缘形状用叶片白光测量仪检测,某截面检测结果见图5所示。

从图5可看出,叶片经机械光整后完整地保留了数控铣后边缘的形状,叶片进排气边缘圆滑转接良好,圆滑的棱边质量可以降低气流产生的噪音和振动,增加了叶片的抗疲劳性能。

通过表面粗糙度检测对比可知,叶片经滚磨光整后

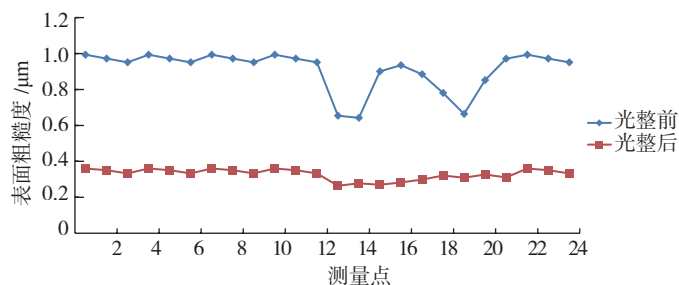


图4 主轴回旋滚磨表面粗糙度检测对比
Fig.4 Detection contrast of surface roughness of spindle barrel finishing

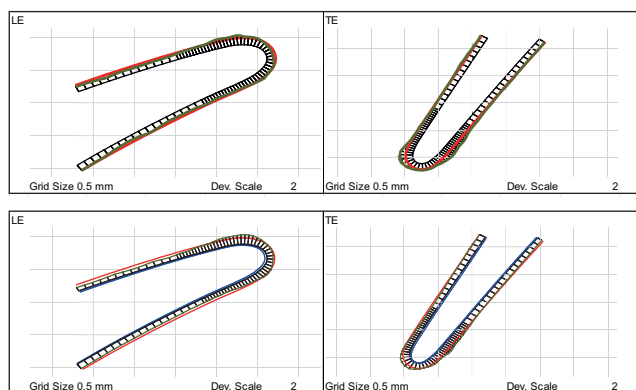


图5 叶片进排气边缘形状对比
Fig.5 Shape contrast of blade inlet and exhaust edge

表面质量提高 1~2 个等级;通过表面形貌测试对比可知,光整后消除了铣削刀纹,并形成了均匀的 P 型纹理(微观鱼鳞坑),这种表面纹理对提高零件的耐磨性是非常有益的。通过对叶片进排气边缘即棱边质量进行检测可知,滚磨光整完整地保留了数控铣后边缘的形状,叶片进排气边缘圆滑转接良好。

2.3 旋转振动式滚磨用于大型盘件的表面应力分布状态改善

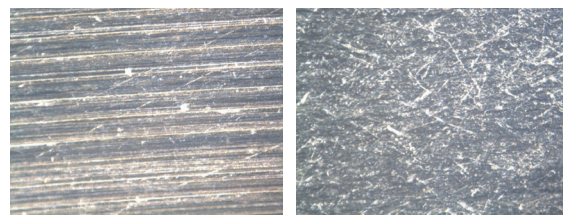
某机篦齿盘故障率高,表面孔边缘质量一直不稳定,前工序经车加工后表面应力状态为拉应力,为了改善表面应力状态,同时改善零件表面质量,采用旋转振动式滚磨光整方式对盘件进行光整。

(1) 表面形貌检测对比。

对篦齿盘进行光整加工,光整前后的宏观对比可知光整后车削刀纹及毛刺等表面缺陷已去除,所有棱边圆角光滑一致。图 6 是在放大 180 倍的显微镜下观测到的表面纹理。从图片中可以明显看出,在经过滚磨光整后表面加工(抛修)痕迹明显去除,形成均匀的加工纹理。

(2) 表面残余应力状态检测。

对滚磨光整前后两种状态的 5 个点的表面应力状态检测对比,检测数据见图 7 所示。从图 7 可知,光整后表面应力状态改善效果明显,应力由车加工的拉应力



(a) 光整前 (b) 光整后

图6 光整前后表面纹理对比
Fig.6 Surface texture contrast before and after finishing

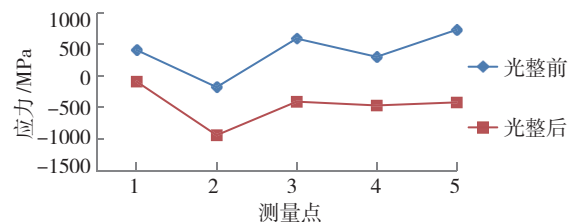


图7 表面应力状态测试对比
Fig.7 Comparison of surface stress state detection

状态改变为压应力状态,平均压应力值为 -458MPa 。

(3) 表面粗糙度检测。

对滚磨光整前后的粗糙度值进行了检测及对比,光整后表面质量平均提高一个等级。

篦齿盘经滚磨光整后所有棱边圆角光滑一致,目视检查加工刀痕及毛刺等表面缺陷已去除。篦齿盘的表面残余应力由车加工的拉应力改变为压应力状态,粗糙度平均提高一个等级,改善了篦齿盘表面的完整性,提高了篦齿盘的抗疲劳性能。

3 结束语

以上开展的滚磨光整加工技术应用研究是针对不同的典型零件特点及工艺要求进行的,研究表明,滚磨光整加工不仅能有效地提高零件表面质量等级,清除毛刺、加工刀痕等表面缺陷,改善表面形貌及棱边质量,而且可以改善表面残余应力状态,使零件表面形成均匀的压应力状态,以上技术指标的改善对提高零件的表面完整性,进而提高零件的抗疲劳性能具有明显的效果。因此,滚磨光整加工技术是一项值得推广和应用的新技术、新工艺。

参考文献

- [1] 杨胜强,李文辉,陈红玲,等. 表面光整加工理论与新技术[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
- [2] YANG Shengqiang, LI Wenhui, CHEN Hongling, et al. Surface finishing technology theory and new technology[M]. Beijing: National Defence of Industry Press, 2011.
- [3] LI W H, YANG S C, YANG S Q, et al. Process characteristics research on horizontal spindle barrel finishing[J]. Advanced Materials Research, 2008, 53-54:15-19.

(责编 冬月)