

# 涡轮盘的设计生产协同改进研究

## Research on Collaborative Improvement Design and Production of Turbine Disk

中航工业沈阳发动机设计研究所 梁伟 韦文涛 乔迈  
中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 姜雪梅

**[摘要]** 针对涡轮盘加工过程中的榫槽边缘和孔边缘加工一致性差、表面质量差问题,工艺和设计协同攻关,设计将边缘倒圆改为倒角,制造过程中采用边缘自动倒角工艺、增加了振动光饰工艺,不仅保证了边缘加工的一致性,而且提高了表面加工质量。

**关键词:** 榫槽边缘 孔边缘 边缘自动倒角 振动光饰

**[ABSTRACT]** Turbine disk is the core rotational part of aeroengine. In order to solve the problem that the mechanical groove edge and hole edge always have bad conformity and rough surface during the turbine disk processing, process and design are combined, chamfer instead of edge round is used, edge auto chamfer process is applied, and vibration-finishing process is also added to the turbine disk processing. In this way, it not only guarantees the conformity of edge processing, but also improves surface quality.

**Keywords:** Groove edge Hole edge Edge auto chamfer Vibration-finishing

涡轮盘是航空发动机的核心转动部件,尺寸精度要求高,技术条件要求严格。如果在设计过程中,产品设计图纸只有几何尺寸、形状及表面粗糙度要求,没有在加工过程上提出具体控制要求;在生产过程中,仅对保证产品的几何尺寸及形状要求考虑较多,且对产品表面质量的认知仅限于表面粗糙度、外观缺陷等,就会导致在榫槽、孔边、花边等边缘加工时,大多采用传统的手工操作方式,依靠工人的经验和技能水平完成加工,因而人为影响因素大,质量不够稳定。所以设计和生产须协同贯彻改进措施,提高涡轮盘的加工质量。

### 1 涡轮盘制造过程中存在问题

在涡轮盘制造过程中,如果对涡轮盘的榫槽和孔边设计要求分别为:所有榫槽均沿榫槽型面的两边倒圆并抛光,圆角为  $R0.1\sim R0.3\text{mm}$ ,粗糙度为  $0.8\mu\text{m}$ ,按标准件

验收;孔边倒圆  $0.1\sim 0.3\text{mm}$ ,粗糙度为  $0.8\mu\text{m}$ 。

在榫槽和孔边加工过程中,采用手工抛修的方式进行加工。榫槽边缘加工形貌如图 1(a)所示,可以看出榫槽边缘的倒圆一致性不好,对榫槽附近的寿命有较大影响;孔边缘加工形貌如图 1(b)所示,可以看出孔边缘的倒圆质量较差,圆角半径变化较大,对孔边缘的寿命有较大影响。

涡轮盘的边缘加工质量对零件性能有重要影响,目前加工方式在一定程度上是依靠工人的经验和技能水平来完成零件的榫槽边缘成形加工和孔边缘抛光,因此人为影响因素大,劳动强度大,处理后的榫槽边缘尺寸一致性较差,表面粗糙度值高,加工效率低。

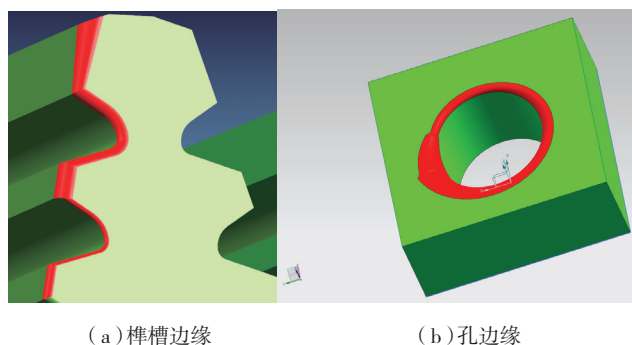


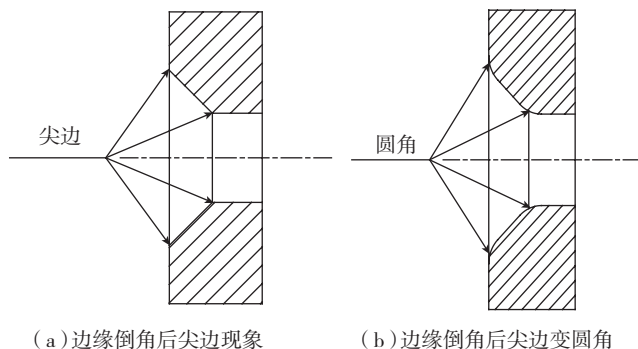
图 1 榫槽和孔边缘手工加工形貌  
Fig.1 Hand finishing appearance of groove and hole edges

### 2 涡轮盘的设计生产协同改进

边缘倒圆在手工倒圆过程中会出现倒圆一致性较差的现象,对边缘的寿命有重要影响。边缘倒圆改成倒角,可以采用自动倒角机进行加工,倒角一致性较好,然而倒角会出现尖边现象,示意图如图 2(a)所示,会影响盘件的寿命,边缘倒角后再进行振动光饰,能将尖边变成圆角,且一致性较好,形貌如图 2(b)所示。

在某型发动机涡轮盘的加工过程中采用自动倒角机先对榫槽和孔边缘进行边缘自动倒角,倒角后的形貌如图 3(a)和图 3(b)所示,倒角边缘存在尖边现象。

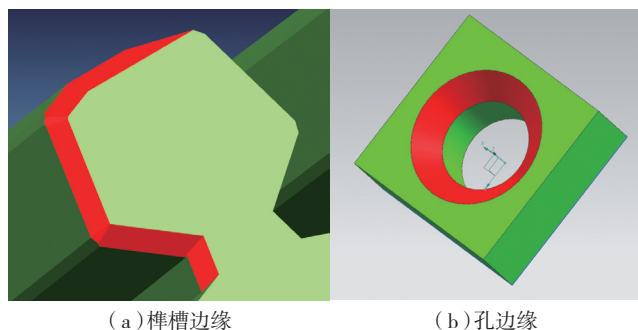
采用振动光饰工艺涡轮盘进行振动光饰,振动光饰工艺如图 4 所示,振动光饰过程中可能会改变盘件的尺



(a) 边缘倒角后尖边现象 (b) 边缘倒角后尖边变圆角

图2 孔边缘加工示意图

Fig. 2 Diagram of hole edge processing



(a) 槽槽边缘 (b) 孔边缘

图3 槽槽和孔边缘自动倒角加工

Fig.3 Groove and hole edge auto chamfer processing

寸。振动光饰完成后的槽槽的孔边倒角尖边已变成圆角,如图 5 (a)和图 5 (b)所示,倒角边缘的尖边已变成圆角,半径  $R0.1\sim R0.2\text{mm}$ ,且一致性较好。振动光饰前后对槽槽的尺寸(通过滚棒测量)、部分形位公差和其他部位尺寸进行了测量,测量结果见表 1~3,表面粗糙度形貌和测量结果见图 6 和图 7。

可以看出振动光饰前、后涡轮盘尺寸基本未发生改变,即振动光饰工艺未改变盘件的尺寸,同时盘件的表面粗糙度得到了较大的提高。

### 3 结论

针对涡轮盘加工过程中的槽槽边缘和孔边缘加工

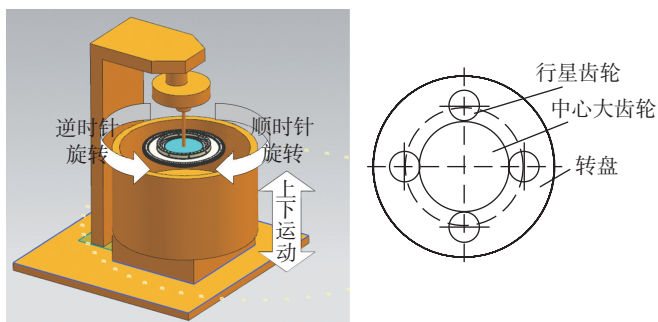
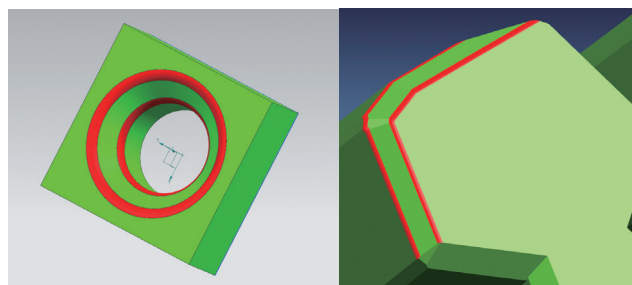


图4 振动光饰工艺

Fig.4 Vibration-finishing processing



(a) 孔边缘 (b) 槽槽边缘

图5 振动光饰后槽槽和孔边缘自动倒角尖边变圆角示意图

Fig.5 Sharp edge of groove and hole edge auto chamfer turning to round edge after vibration-finishing

表1 涡轮盘试件振动光饰前后滚棒距尺寸对比

槽槽编号	滚棒值/mm			
	第一齿		第二齿	
	振动光饰前	振动光饰后	振动光饰前	振动光饰后
1	8.55	8.55	3.52	3.52
2	8.55	8.55	3.52	3.52
3	8.55	8.55	3.52	3.52
4	8.55	8.55	3.52	3.52
5	8.55	8.55	3.52	3.52

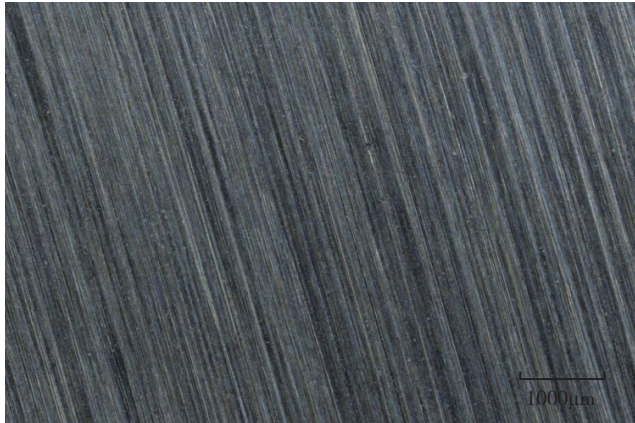
表2 振动光饰前后位置度变化对比

图纸尺寸/技术条件	振动光饰前测量值/mm	振动光饰后测量值/mm	变化值/mm
$\sqrt{R} 0.03 \text{ B H}$	0.020	0.020	0
$\sqrt{R} 0.02 \text{ B H}$	0.025	0.020	-0.005
$\sqrt{R} 0.01 \text{ B H}$	0.020	0.010	-0.010
$\sqrt{R} 0.03 \text{ B H}$	0.030	0.030	0
$\sqrt{R} 0.03 \text{ B H}$	0.030	0.020	-0.010
$\sqrt{R} 0.03 \text{ B H}$	0.020	0.030	+0.010
$\sqrt{R} 0.03 \text{ B H}$	0.0250	0.020	-0.005

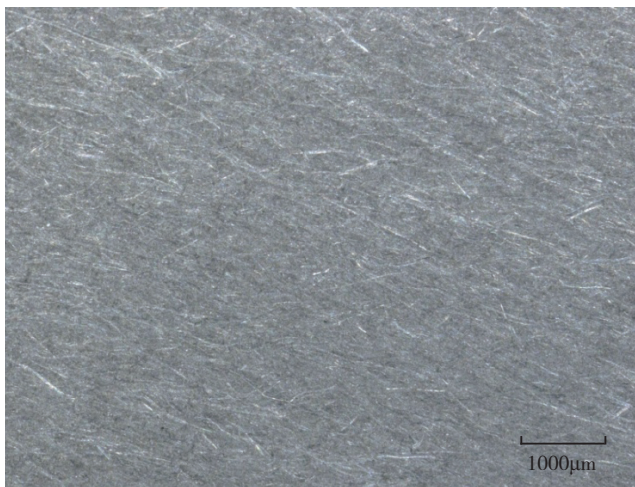
表3 振动光饰前后尺寸变化对比

mm

图纸尺寸/技术条件	振动光饰前测量值	振动光饰后测量值	变化值
$11_{-0.1}^{+0.1}$	11.10	11.09	-0.01
$\phi 335_{0}^{+0.051}$	$\phi 335.005$	$\phi 335.010$	+0.005
$\phi 412_{0.05}^{+0.09}$	$\phi 412.08$	$\phi 412.07$	-0.01
$6.3_{-0.12}^0$	6.25	6.24	-0.01
$\phi 276_{0}^{+0.051}$	$\phi 276.015$	$\phi 276.020$	+0.005
$\phi 416_{0}^{+0.051}$	$\phi 416.01$	$\phi 416.02$	+0.01



(a) 振动光饰前辐板表面形貌



(b) 振动光饰后辐板表面形貌

图6 振动光饰前后表面形貌对比

Fig.6 Surface appearance comparison before and after vibration-finishing

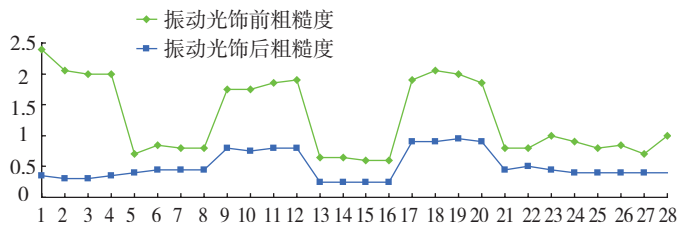


图7 振动光饰前后表面粗糙度对比

Fig.7 Surface roughness comparison before and after vibration-finishing

一致性差、表面质量差问题,工艺和设计一起攻关,设计将边缘倒圆改为倒角,制造过程中采用边缘自动倒角工艺,增加了振动光饰工艺,不仅保证了边缘加工的一致性,而且提高了表面加工质量,可以用于涡轮盘及其他类似零件的加工,具有广阔的应用前景。

(责编 小城)

(上接第 169 页)

同步更换感应圈,生产效率较低。

JQGP-80-2 型为双工位,一次装载可以实现多个种类叶片的手动焊接,主要适用于较大批量生产,加工效率较高。

JQGP-80-3 为自动型,可通过编程联动实现叶片自动、半自动焊接,主要用于某新型发动机超大尺寸钛合金叶片阻尼台耐磨层焊接。

### 3 推广应用情况

研制的 JQGP-80 型系列焊接设备,稳定可靠、操作简便、性能优异。采用该系统焊接的叶片阻尼台外观成形良好,耐磨层硬质合金颗粒分布均匀,结合良好。精加工后与进口叶片对比发现采用该焊接系统的叶片耐磨层致密,无气孔等缺陷,焊接质量达到并优于进口叶片的焊接质量。

综上所述,采用所研制的 JQGP-80 型真空充氩高频感应钎焊系统焊接的发动机钛合金叶片在外观和微观组织方面,均达到国外样件水平。装机考核表明,叶片的耐磨性及综合性能优异,能够满足发动机的设计和使用要求,已经应用于各型航空发动机的科研和批量生产。

### 4 结束语

研制的 JQGP-80 型系列真空充氩高频感应钎焊设备克服了同类设备的缺点和不足,采用类 PFM 方式实现对工件加热温度的均匀控制,能自动补偿工件和环境温度的变化,防止钎料的侧流,保证焊接质量的一致性。

通过采用微负压工作气氛调节系统,可实现正、负压自适应密封。结合采用独特设计的气孔排逸电路,解决了钛合金焊接气孔问题,更好地满足了叶片焊接的工艺要求,工件焊接质量优于国外标准及样件水平。

该系统工作可靠,使用方便,性能优异,特别适合航空发动机钛合金转子叶片阻尼台耐磨层的批量科研生产,受到外方专家好评,达到国际先进水平。

该系列焊接设备的开发成功,突破了国外的技术封锁,填补了行业焊接设备制造领域的一项空白。结合国产化材料及焊接技术的突破,大大提高了航空发动机钛合金转子叶片减振凸台的耐磨性,有效保障了国防重点型号的顺利进行,具有重要的经济、军事和社会意义。

### 参考文献

- [1] 邹僖. 焊接方法及设备. 北京: 机械工业出版社, 1986.
- [2] 庄鸿寿. 航空材料的钎焊. 北京: 国防工业出版社, 1964.
- [3] 郑宜庭. 弧焊电源. 北京: 机械工业出版社, 1991.

(责编 深蓝)