

整体叶盘叶片磨抛工艺参数优化

赵 晖¹,董艳彬²,史耀耀¹,赵 涛¹

(1. 西北工业大学现代设计与集成制造教育部重点实验室,西安 710072;

2. 中航工业西安航空发动机有限公司,西安 710021)

[摘要] 以整体叶盘作为加工对象,为提高其叶片表面加工质量,降低表面粗糙度,展开整体叶盘磨抛工艺参数(如砂带粒度、砂带线速度、进给速度)的优化。首先,进行整体叶盘数控磨抛试验,其次,应用信噪比优化磨抛工艺参数,最后,选最优工艺参数对整体叶盘进行磨抛试验,加工表面测量结果表明,整体叶盘表面粗糙度显著降低,满足叶盘表面加工质量要求。

关键词: 整体叶盘;表面粗糙度;磨抛工艺;信噪比试验设计;工艺参数优化

Optimized Surface Roughness of Grinding and Polishing in Blisk

ZHAO Hui¹, DONG Yanbin², SHI Yaoyao¹, ZHAO Tao¹

(1. Key Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology, Ministry of Education, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2. AVIC Xi'an Aeroengine Ltd., Xi'an 710021, China)

[ABSTRACT] Take blisk as research subjects, to improve surface quality of the blisk blade and reduce surface roughness, the paper carry out optimizing the blisk grinding and polishing process parameters, such as particle size, belt speed and feed rate. Firstly, conducted grinding and polishing experiment. Secondly, applied the method of signal to noise ratio to optimize the grinding and polishing parameter. Finally, select the optimized process parameters to conduct grinding and polishing test, the result shows that the surface roughness of blisk is significantly is lower to meet the requirements of processing quality.

Keywords: Blisk; Surface roughness; Grinding and polishing process; Signal to noise ratio; Optimized process parameter

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2016.08.097

整体叶盘由于其重量轻、气动性能好,已成为新一代航空发动机的核心部件,它在提高发动机性能、降低发动机质量、提高发动机可靠性、减小故障率中起到关键作用^[1]。因此,其加工质量的优劣很大程度影响发动机的工作效率和寿命。为保证发动机具有良好的使用性能及寿命,要求整体叶盘具有较高的表面质量,而表面粗糙度作为表征加工表面质量的主要参数,其预测及控制在整体叶盘加工领域的应用已成为近年研究的重点。

Yonga 等^[2]运用响应面法建立表面粗糙度预测模型,并通过预测模型获取最小的表面粗糙度;Ho 等^[3]提出了基于自适应模糊系统的田口遗传算法建立端铣工件的表面粗糙度预测模型的方法;Hanafi 等^[4]利用人工神经网络研究切削速度、切削深度及进给率与表面粗糙度之间的复杂关系;MOOLA MOHAN 等^[5]采用响应面

法预测端铣陶瓷表面粗糙度;WANG 等^[6]对回归分析方法预测单晶金刚石刀具超精密加工表面粗糙度进行了研究;池龙珠^[7]通过信噪比试验设计法对磨削表面粗糙度进行预测。上述研究普遍用于车削、铣削加工,而磨抛作为加工的最后一道工序,对表面质量的要求更高,在这方面却研究甚少。

目前,国内外用于优化及控制表面粗糙度的方法主要有神经网络算法、遗传算法及信噪比设计法。神经网络算法是通过大量处理单元相互连接形成的复杂并行网络结构,整个网络构成高度复杂的非线性系统,因此,神经网络存在学习缓慢、容易陷入局部极小以及振荡而导致难以收敛等缺陷。遗传算法是通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法,其搜索速度较慢,稳定性差。信噪比分析方法是通过使用正交试验设计表,以信噪比作为产品稳健性的评价指标,运用统计方法进行分析,

确定最佳水平组合。与神经网络算法、遗传算法相比信噪比试验设计法具有较高的精度及拟合效率^[8-9]。

本文拟在上述研究基础上,以整体叶盘为研究对象,进行数控磨抛试验,对磨抛工艺参数:砂带粒度、砂带线速度及进给速度进行优化。为预测与控制表面粗糙度,优化磨抛工艺参数提供了有效、可靠的方法。

1 试验方案

试验选用自主研发七轴五联动整体叶盘数控柔性磨抛机,如图1所示。该机床进行整体叶盘叶片磨抛时,工作轴主要包括3个直线轴X、Y、Z,摆动轴A,叶片旋转轴C。

在磨抛过程中,影响表面粗糙度的工艺参数很多,本试验选取对表面粗糙度影响较大的砂带粒度、砂带线速度、进给速度为研究的工艺参数,以表面粗糙度为试验研究的结果,选取每个参数3水平,建立磨抛因素水

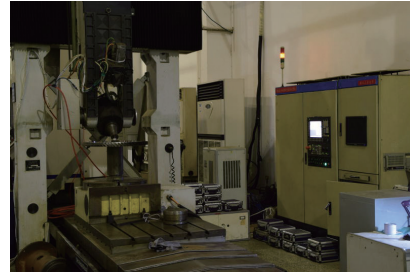


图1 整体叶盘数控柔性磨抛机

Fig.1 Blisk CNC flexible grinding and polishing machine

表1 磨抛因素水平分布表

因素		水平		
		0	1	2
A	P	80	150	240
B	$V_c / (m \cdot s^{-1})$	7	11	15
C	$f / (m \cdot min^{-1})$	0.1	0.3	0.5

表2 正交表设计试验及结果

试验号	因素													结果	S/N
	A	B	(A×B)1	(A×B)2	C	(A×C)1	(A×C)2	(B×C)1	e	e	(B×C)2	e	e		
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.38	8.4
2	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.47	6.6
3	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.49	6.2
4	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	0.33	9.7
5	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	0	0	0	0.34	9.4
6	0	1	1	1	2	2	2	0	0	0	1	1	1	0.43	7.3
7	0	2	2	2	0	0	0	2	2	2	1	1	1	0.38	8.4
8	0	2	2	2	1	1	1	0	0	0	2	2	2	0.39	8.2
9	0	2	2	2	2	2	2	1	1	1	0	0	0	0.42	7.5
10	1	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0.30	10.5
11	1	0	1	2	1	2	0	1	2	0	1	2	0	0.36	8.9
12	1	0	1	2	2	0	1	2	0	1	2	0	1	0.39	8.2
13	1	1	2	0	0	1	2	1	2	0	2	0	1	0.23	12.8
14	1	1	2	0	1	2	0	2	0	1	0	1	2	0.30	10.5
15	1	1	2	0	2	0	1	0	1	2	1	2	0	0.25	12.0
16	1	2	0	1	0	1	2	2	0	1	1	2	0	0.30	10.5
17	1	2	0	1	1	2	0	0	1	2	2	0	1	0.24	12.4
18	1	2	0	1	2	0	1	1	2	0	0	1	2	0.36	8.9
19	2	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0	2	1	0.36	8.9
20	2	0	2	1	1	0	2	1	0	2	1	0	2	0.34	9.4
21	2	0	2	1	2	1	0	2	1	0	2	1	0	0.47	6.6
22	2	1	0	2	0	2	1	1	0	2	2	1	0	0.32	9.9
23	2	1	0	2	1	0	2	2	1	0	0	2	1	0.32	9.9
24	2	1	0	2	2	1	0	0	2	1	1	0	2	0.38	8.4
25	2	2	1	0	0	2	1	2	1	0	1	0	2	0.41	7.7
26	2	2	1	0	1	0	2	0	2	1	2	1	0	0.39	8.2
27	2	2	1	0	2	1	0	1	0	2	0	2	1	0.43	7.3

平分布表,如表 1 所示,并按标准正交表 $L_{27}(3^{13})$ 进行整体叶盘数控磨抛试验。由于砂带粒度、砂带线速度、进给速度 3 个因素之间相互影响,因此,在 $L_{27}(3^{13})$ 正交表中 9、10、12、13 列是空列,为试验误差估计项^[11]。试验所采用的工件材料为钛合金 TC11;接触轮硬度为 35A;接触轮表面形貌为 45° 斜槽;磨抛次数为 4 次。选德国 Mahr 公司生产的粗糙度测量仪 MarSurf M300C 对整体叶盘加工后表面粗糙度进行测量,测量时每次选取叶片 3 个不同测试点,测量后取平均值,正交试验及测量结果如表 2 中所示。

2 磨抛工艺参数优化

2.1 信噪比优化磨抛工艺参数

信噪比是参数设计过程中衡量指标波动大小的指标。信噪比分析法是通过进行正交试验,将不可控制因素对试验结果的影响程度变换成特性值,并寻求其最小影响的设计法。其基本思想就是选择系统中参数,建立正交试验表,通过分析试验数据确定系统中所有参数的最佳组合。

根据使用条件的不同,信噪比分为望大特性、望小特性、望目特性^[10]。望大特性:产品性能指标不为负值,可取 0~∞ 任何值,期望产品性能指标越大、波动越小越好;望小特性:产品性能指标不取负值,可取 0~∞ 任何值,期望产品性能指标越小越好,其期望值为 0;望目特性:产品性能指标 Y 不为 0,且存在某个固定的目标值,期望产品性能指标围绕目标值波动,且波动越小性能越好。

由于本文主要研究磨抛工艺参数对表面粗糙度的影响,希望粗糙度值越小越好,因此,仅对望小特性进行分析。对于望小特性而言,总期望其产品性能指标越小越好,因此,希望其期望 EY 和方差 σ^2 都越小越好,即 $(EY)^2 + \sigma^2 = EY^2$ 越小越好,故为了得到最小指标,令 $(EY^2)^{-1}$ 为信噪比,将 EY^2 用其无偏估计 替代,再对其取对数并乘以 -10,即可得到信噪比的计算公式(1):

$$\eta = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (1)$$

因素 A 在各水平下的影响力(η_{A1} 、 η_{A2} 、 η_{A3})及影响力之差($\Delta \eta$)可按下述公式计算:

$$\eta_{A1} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3}{3} = 8.0 \quad (2)$$

$$\eta_{A2} = \frac{\eta_4 + \eta_5 + \eta_6}{3} = 10.5 \quad (3)$$

$$\eta_{A3} = \frac{\eta_7 + \eta_8 + \eta_9}{3} = 8.5\pi \quad (4)$$

$$\Delta \eta = |\eta_{A1} - \eta_{A2}| + |\eta_{A2} - \eta_{A3}| = 2.0 \quad (5)$$

因素 B、因素 C 在水平下的影响力与影响力之差,

表3 各因素不同水平对表面粗糙度的影响力

因素	不同水平的影响			影响力之差	总合	影响率 / %
	0	1	2			
A	8.0	10.5	8.5	2.0	5.1	39.2%
B	8.2	10.0	8.8	1.8		35.3%
C	9.6	9.3	8.0	1.3		25.4%

与因素 A 计算方法相同,将各因素的影响力及影响力之差列于表 3。

表 3 表明,选取的 3 个磨抛工艺参数对表面粗糙度的影响从大到小依次是砂带粒度、砂带线速度、进给速度。从表 3 中选择影响力最大的因素水平数,即表面粗糙度最小的最优工艺参数:砂带粒度 150#,砂带线速度 11m/s,进给速度 0.1m/min。

2.2 试验验证

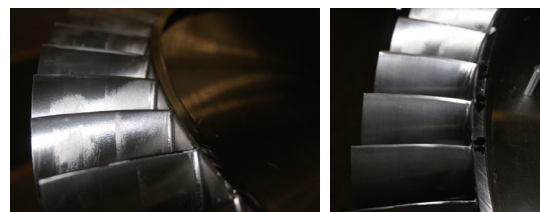
采用上述得到的最优工艺参数(砂带粒度 150#、砂带线速度 11m/s、进给速度 0.1m/min)进行磨抛试验,试验前整体叶盘叶片表面粗糙度为 1.0~1.5 μm ,试验结果用德国 Mahr 公司生产的粗糙度测量仪 MarSurf M300C 进行检测,如图 2 所示,检验其表面粗糙度为 0.23 μm 。

试验结果表明,信噪比试验设计法得出的工艺参数对优化整体叶盘表面质量有显著的效果。图 3 (a)、(b)为工艺参数优化前后叶表面对比,优化后效果显著。



图2 表面粗糙度检测

Fig.2 Detection of surface roughness



(a) 优化前

(b) 优化后

图3 工艺参数优化前后叶片表面

Fig.3 Blade surface before and after optimizing process parameter

3 结论

(1) 通过信噪比试验设计法优化工艺参数,确定最

(下转第104页)