

粉末冶金篦齿盘光整加工技术研究

Research on Powder Labyrinth Disc Finishing Technology

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司技术中心 沈志云 陈国文

[摘要] 篦齿盘位于高压压气机转子的末端,工况条件相对较差,特别是均压孔边静应力高,在一定振动应力作用下,均压孔边易产生疲劳裂纹。为保证零件在使用温度范围内要有尽可能高的疲劳性能,篦齿盘采用粉末冶金高温合金 FGH97。本文通过粉末冶金篦齿盘光整加工技术研究,改变传统的手工抛光的工艺方法,有效地去除毛刺、刀痕波纹,降低表面粗糙度值,改善表面应力状态,提高零件加工表面质量。

关键词: 光整加工 表面质量检测

[ABSTRACT] Labyrinth disc is at the end of the high pressure compressor rotor, working conditions are poor, especially the pressure hole edge stress is high, the pressure hole is easy to produce fatigue crack with the vibration stress. In order to ensure the parts in the use temperature range have a fatigue performance as high as possible, it is very important to improve the quality of the machined surface. In this paper, the finishing technology of powder labyrinth disc is studied, the traditional manual polishing process is changed, which can remove the burr and, cut corrugate, reduce the surface roughness value, improve the surface stress state, effectively improve the physical mechanical parts surface properties.

Keywords: Finishing technology Surface quality inspection

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.S1.100

零件经各种机械加工后,几乎都不可避免地要在零件表面留下一定的缺陷,如表面不平、凸棱明显、刀痕波纹、飞边、毛刺及一定的拉应力等。由于切削加工后的缺陷及表面层的变化对零件的使用性能有很大影响,其表面粗糙度影响零件表面的抗腐蚀性、疲劳强度;残余应力(尤其是残余拉应力)易引起裂纹,使零件产生疲劳断裂,影响零件的使用寿命和可靠性。因此,零件加工表面质量必须满足使用要求。而传统的加工工艺是采用手工抛光的方法去除毛刺、刀痕波纹和减小表面粗糙度值,其加工效率低,可控性差,质量不稳定。特别是粉末高温合金,组织均匀、致密,手工抛光劳动强度大,抛光后的零件表面粗糙度、纹理很难得到有效的改善,

零件加工表面质量不易保证。

1 零件类型及材料特点

篦齿盘位于高压压气机转子后面,主要功能是限制高压空气从压气机流道直接漏入高压压气机后部的卸荷腔,使卸荷腔的压力保持相对稳定,从而保证发动机轴承承受合理的轴向力。其辐板上的均压孔,用于保持相应各级盘前后压力一致。由于均压孔边静应力高,在一定振动应力作用下,均压孔边易产生疲劳裂纹,是压气机中唯一有寿命限制的零件。为此,该零件选用屈服强度和疲劳性能较好的粉末高温合金材料 FGH97。

粉末冶金材料具有粉末颗粒细小,合金成分均匀,无宏观偏析,屈服强度高,抗疲劳性能好,性能稳定等特点。粉末高温合金的机械性能远远高于传统的锻造高温合金,特别在相当高的温度范围内,随温度升高,其硬度反而有所提高,这给切削加工带来很大困难。

2 工艺方案设计

对于盘类件来说,其加工质量,除了加工精度之外,表面质量是极其重要的一个指标。发动机的工作性能,尤其是耐久性、可靠性,在很大程度上取决于所加工零件的表面质量。传统的工艺方法是采用手工抛光来提高零件表面质量,对于复杂狭窄型面手工抛光难度大,效率低,可控性差,质量不稳定。特别是对于粉末高温合金材料,手工抛光劳动强度大,抛光后的零件表面粗糙度、纹理很难得到有效的改善。为此,我们必须采用自动抛光工艺方法,提高零件表面质量。而光整加工技术正是实现粉末高温合金材料自动抛光的有效方法。光整加工主要目的是:降低零件表面粗糙度,改善零件物理力学性能、去除毛刺、飞边、棱边倒圆,提高零件表面质量。

3 光整加工的概念、功能及特点

在机械法光整加工中,按磨料所处状态或以某种形式构成的磨具在加工过程中所处状态不同,可分为非自由磨具光整加工和自由磨具光整加工2类。所谓自由磨具光整加工,即加工过程中,磨料始终与工件没有确定的相对位置,而是处于游离状态,仅以一定的相对运

动速度和作用压力来实现对工件表面的加工。在自由磨具光整加工中,自由磨具总是通过某种特定的运动方式,以一定的作用力对工件表面随机地进行挤压(滚压)、刻划和微量切削。

从目前实际应用情况可知,自由磨具光整加工技术以应用范围广、加工效果好、成本低、效率高的优势,在表面光整加工技术中占据重要位置。

光整加工的主要功能:

(1) 降低零件表面粗糙度,去除划痕、微观裂纹等表面缺陷,提高和改善零件表面质量;

(2) 提高零件表面力学性能,改善零件表面应力状态;

(3) 去除棱边毛刺、倒圆倒角,保证表面之间光滑过渡,提高零件装配工艺性;

(4) 改善零件的光泽度和光亮度,提高零件清洁度。

光整加工的主要特点:

(1) 光整加工的加工余量小,原则上只是通过前道工序公差带宽度的几分之一。一般情况下,只能改善表面质量,不影响加工精度;

(2) 光整加工设备不需要很精确的成形运动,但磨具与工件之间的相对运动应尽量复杂。因为光整加工使用细粒度的磨料对工件表面进行滚压和滑擦刻划的微量磨削过程,只要保证磨具与工件加工表面能具有较大的随机性接触,就能使表面误差逐步均化到最终消除,从而获得很高的表面质量;

(3) 光整加工时,磨具相对工件的定位基准没有确定的位置,一般不能修正加工表面的形状误差,其精度靠先行工序保证^[1]。

4 粉末冶金篦齿盘光整加工工艺试验

自由磨具光整加工时,将篦齿盘通过夹具固定在主轴上,通过升降机构将主轴及篦齿盘没入盛有辅料的料箱中(见图1)。主轴带动篦齿盘在自转的同时采用偏心运动,料箱带动磨料、磨液和水上下往复运动,使磨料和零件之间产生旋流状的相对运动,形成流动阻力和摩擦力,磨料碰撞、挤压和滑擦零件表面,从而实现对零件表面的光整加工,改变加工表面残余应力状态,实现粉末冶金篦齿盘自动抛光及棱边、孔边自动去毛刺。

设备:BJG-Z500自由磨具光整设备。

磨料型号:刚玉MS150目, ϕ 3mm球形磨料;陶

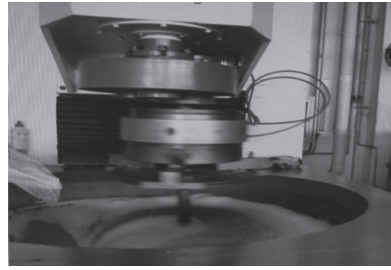


图1 光整加工设备

Fig.1 Finishing equipment

瓷300目,多边形磨料。

磨液型号:HYF。

试验内容:

(1) 确定磨料:采用不同磨料,对篦齿盘表面粗糙度、纹理及残余应力测试,确定合理的加工参数。

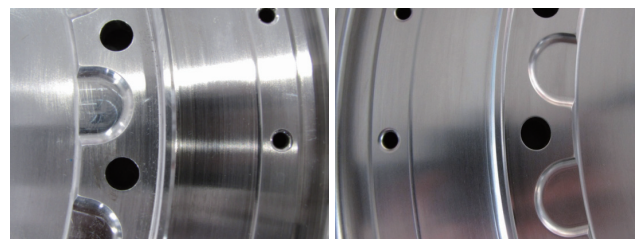
(2) 确定篦齿盘光整加工工艺过程:由于零件具有正转和反转,选择正反转交替进行,会使磨块对零件表面作用的方向不断变化,而使零件不同的表面受到抛磨作用。如果零件只有一种转向时,由于毛刺具有方向性而不能完全去除,使加工表面的质量降低。因此,零件必须有正反转运动,才能去除不同方向的毛刺,同时还可以缩短光整时间,提高加工效率。测试结果见表1。

表1 不同磨料光整后测试结果

零件	磨料类型	滚筒转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	零件转速 / ($r \cdot \min^{-1}$)	加工时间 / h	表面粗糙度 $Ra/\mu m$	表面纹理类型	表面残余应力 / MPa
篦齿盘1	刚玉 MS 150 目 ϕ 3mm 球形磨料	50~60	10	正转 1h+ 反转 1h	0.16~0.80	P 型纹理	185~623
篦齿盘2	陶瓷 300 目多边形磨料	50~60	10	正转 2h+ 反转 2h	0.306~1.60	P 型纹理	237~331

从表1可以看出:采用刚玉球形磨料,在切削参数不变的情况下,篦齿盘表面粗糙度、纹理及残余应力均好于陶瓷多边形磨料,且加工时间缩短了1/2,效率高。

图2、图3是采用刚玉球形磨料光整前、后的篦齿盘表面及均压孔边倒圆、去毛刺照片。



(a) 光整前

(b) 光整后

图2 光整前、后的篦齿盘

Fig.2 Labyrinth disc before and after finishing

5 表面质量检测

零件的表面质量是评价零件质量的一个重要的指

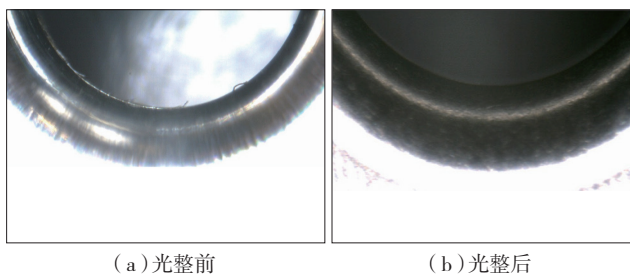


图3 光整前、后均压孔边倒圆、去毛刺
Fig.3 Hole edge round before and after finishing

标,对零件的使用性能,尤其是对高速、高温和高压条件下工作的零件的可靠性有很大的影响。表面质量虽然只反映表面的几何和表面层特性,但对零件的耐磨性、疲劳强度、耐腐蚀性等较大的影响,直接影响零件的可靠性和使用寿命。因此,为了保证和提高零件的表面质量,采用光整加工方法是十分必要且有效的措施。

我们对篦齿盘进行光整加工,选取其中2个篦齿盘,对零件光整前、后的表面粗糙度、宏观形貌及表面残余应力进行测试、分析。

(1) 表面粗糙度。

篦齿盘各表面粗糙度的要求见图4;光整前、后的表面粗糙度见表2。

从表2零件表面粗糙度检测结果可看出:零件机械加工后,进行光整加工,可有效提高零件表面粗糙度等级。

(2) 宏观形貌。

不同工艺方法,零件加工表面呈现不同的纹理,对产品的质量有较大影响。见图5,零件表面宏观形貌车削表面为C型纹理,呈近似同心圆且圆心与表面中心相关,加工痕迹清晰可见,见图5(a);抛光表面纹理近似为R型纹理,与表面圆心相关,微见加工痕迹,见图5(b);光整加工表面为P型纹理,纹理呈微粒、凸起、无方向,不可辨加工痕迹的方向,见图5(c)。

从宏观形貌照片可以看出:零件经光整加工后,表面纹理有较大的改善,对提高零件抗疲劳性能、抑制均压孔孔边裂纹的发生起到积极的作用。

(3) 表面残余应力。

①测试取位说明:

将盘的两面分为4个分等截面,

每个截面测试6点表面残余应力,测试方向为周向应力。测试点取位见图6。

②测试设备:美国产 Ixrd-X 射线应力分析仪

(4) 测试结果。

分别选取篦齿盘大端A、C截面、小端E、G截面光整前、后测试数据,进行零件光整前、后表面残余应力对比。见图7。

从图7可看出,光整前零件表面以拉应力为主,光整后零件表面以压应力为主,只有在6点轮毂处,应力改变不明显。其原因是该部位是光整加工夹具的定位压紧面。

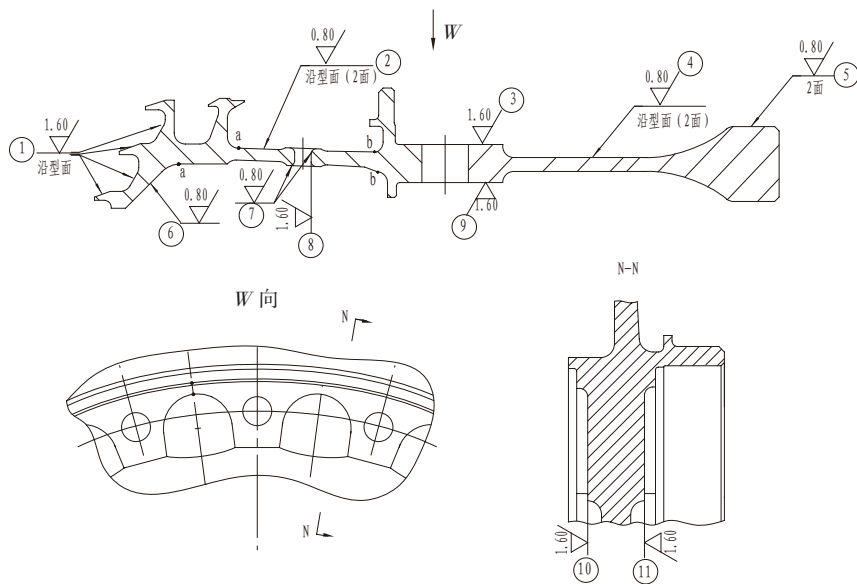


图4 篦齿盘表面粗糙度要求
Fig.4 Labyrinth disc surface roughness requirements

表2 篦齿盘光整前、后表面粗糙度Ra对比

测量部位	图纸要求	篦齿盘 1		篦齿盘 2	
		光整前	光整后	光整前	光整后
1	1.60	0.95~1.51	0.30~0.80	1.20~1.60	0.70~1.60
2	0.80	0.66	0.19	0.60~1.40	0.40~0.80
3	1.60	0.92~1.00	0.17~0.21	1.40~1.60	0.80~1.20
4	0.80	0.76~0.82	0.16~0.37	1.60	0.80
5	0.80	0.76	0.32	0.80	0.40
6	0.80	0.78	0.16	0.80~1.20	0.70~1.00
7	0.80	0.60~0.80	0.40~0.60	0.60~0.90	0.50~0.80
8	0.80	0.60~0.80	0.40~0.60	0.70~1.60	0.60~0.80
9	1.60	0.96~1.10	0.16~0.23	0.80~1.20	0.70~1.10
10	1.60	0.34	0.18	0.40~0.80	0.30~0.60
11	1.60	0.36	0.17	0.40~0.80	0.30~0.60

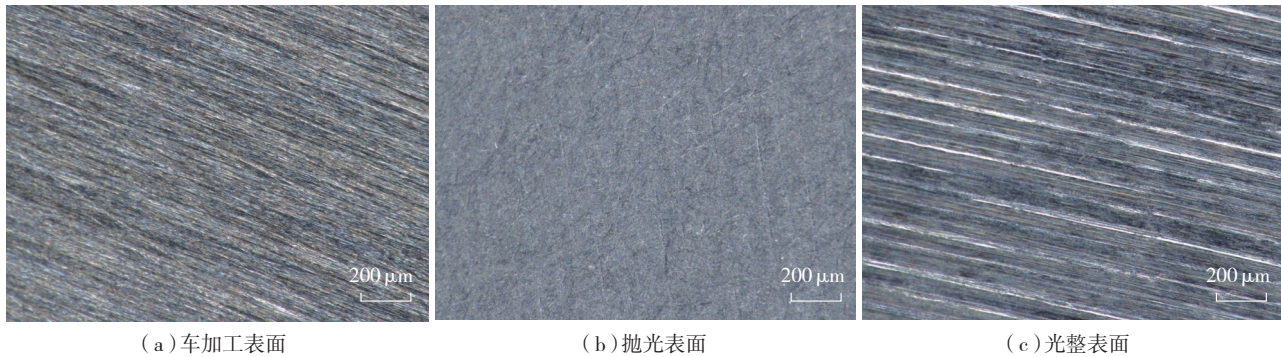
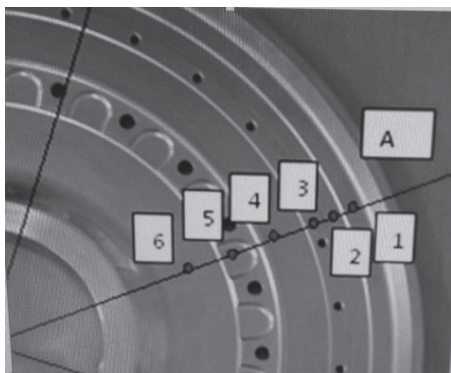


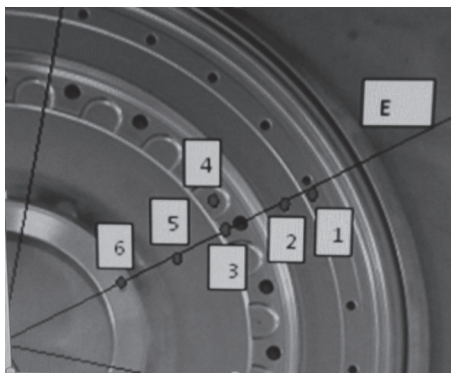
图5 不同工艺方法加工表面宏观形貌

Fig. 5 Surface macro morphology by different processes

从篦齿盘光整前、后表面残余应力测试可知：光整后零件表面的应力状态有较大的改善。



(a) 篦齿盘大端



(b) 篦齿盘小端

图6 表面残余应力测试取位示意图

Fig.6 Locations of surface residual stress detection

6 结果讨论与分析

粉末冶金篦齿盘经过光整加工后,表面质量有较大的提高。

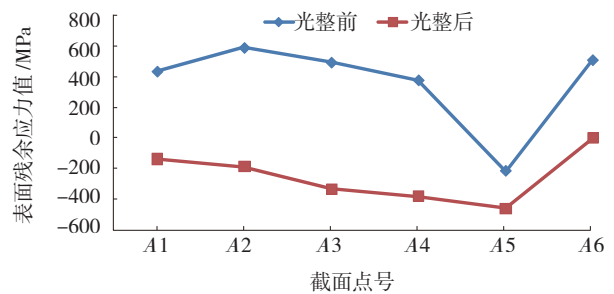
从表面粗糙度检测数据看,均压孔及倒圆处的粗糙度由光整前的 $Ra0.60\sim Ra0.80$ 转化为光整后的 $Ra0.40\sim Ra0.60$,提高了零件关键部位表面粗糙度等级。其他部位表面粗糙度等级均有不同程度的提高。

从宏观形貌对比看,篦齿盘光整后,表面平滑,呈P型纹理。表面纹理的改善,可提高零件抗疲劳性能,有利于防止均压孔边裂纹的产生。

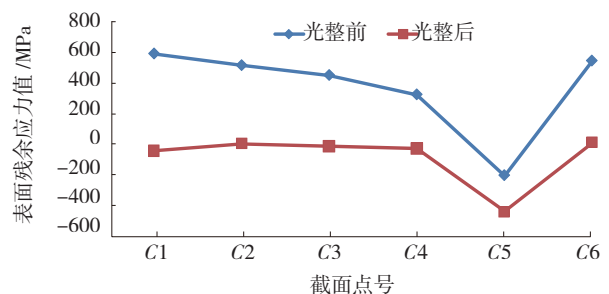
从表面残余应力检测及对比分析看,光整前大端面应力在 $-200\sim 600\text{MPa}$ 之间,小端面在 $-200\sim 900\text{MPa}$ 之间,光整后大端面应力在 $-450\sim 10\text{MPa}$ 之间,小端面在 $-600\sim 180\text{MPa}$ 之间,零件表面由光整前的拉应力转变为压应力且应力波动范围有所减小,相对比较均匀。

7 结论

粉末冶金篦齿盘通过光整加工,解决传统的手工抛光劳动强度大、效率低,可控性差,质量不稳定等瓶颈问题。其优势在于可实现粉末盘高效自动抛光,大大提高了加工表面的光整及光亮度,提高加工效率、改善零件表面质量,其加工流程可控并可获得恒定一致的质量保



(a) 篦齿盘大端 A 截面



(b) 篦齿盘大端 C 截面

(下转第 107 页)

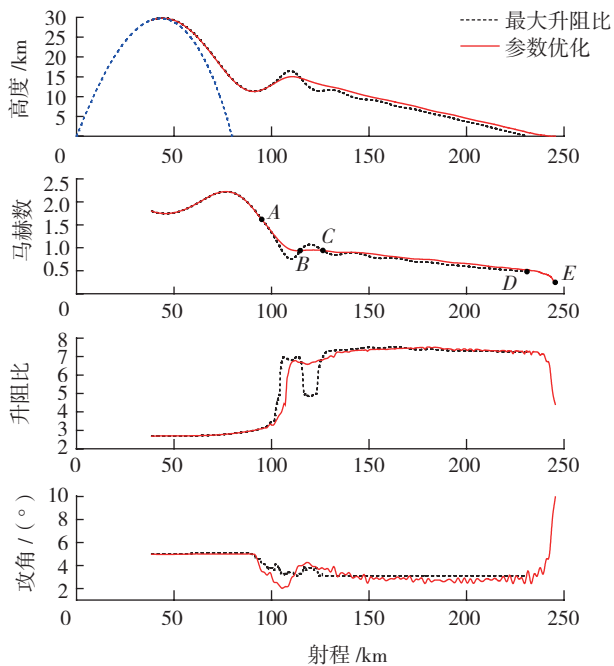


图4 参数优化弹道与最大升阻比弹道的对比曲线

Fig.4 Comparison curve of parameter optimization trajectory and maximum lift-to-drag ratio trajectory

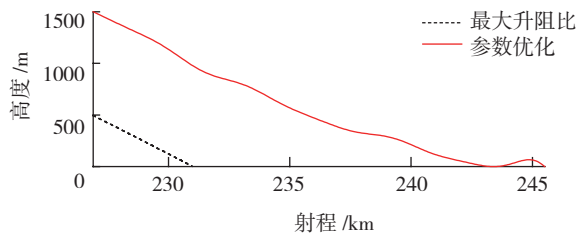


图5 飞行末段曲线

Fig.5 Trajectory curve at the end of flight

拉大攻角,导致进行了2次跨音速飞行,损耗了能量;而在飞行末段,又没有很好地利用剩余动能,导致了比参数优化弹道的射程小了。而参数优化弹道很好地解决了这两个问题,在其余阶段,基本上是以最大升阻比飞行的。

6 结束语

综上所述,可以得到如下结论:

(1) 本文采用的自适应变终端反复趋近的参数优化方法,可以很好地解决终端未知的复杂模型的弹道优化问题,在工程实际中具有很大的应用价值。

(2) 自适应模拟退火算法处理此类飞行器的复杂多约束多变量弹道优化问题是行之有效的。

(3) 除去特殊段(跨音速段和结束段),最大升阻比飞行确定是一种非常有利的飞行方式。在以后的研究中,可以只对特殊段进行优化,其他部分则采用最大升

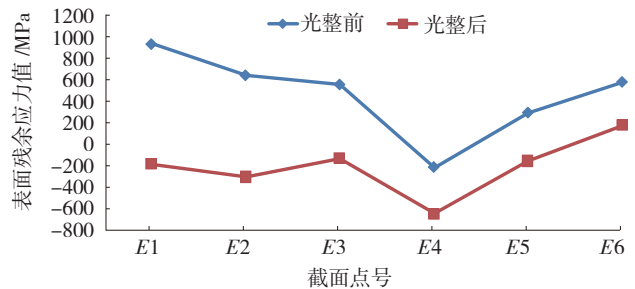
阻比飞行,减小优化难度。

参考文献

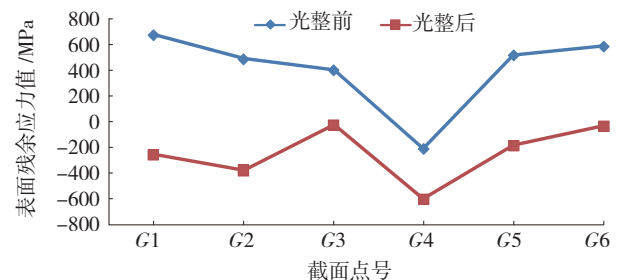
- [1] 雍恩米,唐国金,陈磊. 飞行器轨迹优化数值方法综述. 宇航学报, 2008, 29(2):398-406
- [2] 钱杏芳,林瑞雄,赵亚男. 导弹飞行力学. 北京: 北京理工大学出版社, 2000.
- [3] 贾沛然, 陈克俊, 何力. 远程火箭弹道学. 长沙: 国防科技大学出版社, 1993: 40-42.
- [4] 丁丽娟. 数值计算方法. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [5] INGBER L. Adaptive simulated annealing(ASA): Lessons learned. J Control and Cybernetics, 1996, 25(1):33-54.
- [6] Padula S L, Korte J J, Dunn H J, et al. Multidisciplinary optimization branch experience using iSIGHT software. An Overview of An Experimental Demonstration Aerotow Program, 1999, 20(2-4):216-224.

(责编 玲犀)

(上接第70页)



(c) 迷宫盘小端E截面图



(d) 迷宫盘小端G截面

图7 迷宫盘光整前、后表面残余应力对比

Fig.7 Labyrinth disc surface residual stress construct before and after finishing

证。重要的是该工艺方法可改变零件表面残余应力状态,有效提高零件表面的疲劳强度。

能够提高零件表面质量的光整加工技术已经成为改善零件和产品的使用性能、提高可靠性、延长使用寿命的重要途径之一。

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. 北京: 国防工业出版社, 2011. (责编 一凡 古京)