

干气密封螺旋槽的激光加工和动压效应分析*

杜 鹏**¹ 韩明君¹ 丁雪兴^{1,2} 张伟政^{1,2}

(1. 兰州理工大学; 2. 兰州理工大学温州泵阀研究院)

摘 要 采用激光加工法对螺旋槽干气密封端面动压槽进行加工,并进行端面压强的测试。在静环端面相隔 120°且不同的径向位置安装 3 个传感器,测定端面螺旋槽沿着径向产生的压强。通过改变螺旋角、槽深和螺旋槽槽数来试验研究端面产生的动压效果。试验表明,采用激光加工方法能够得到很好的加工精度,达到样机试验的要求;在确定的工况下,当螺旋角在 16°时产生的压强最大,压强随着槽深和槽数的增加而增大,最大压强在槽根部。

关键词 干气密封 螺旋槽 激光加工 动压效果

中图分类号 TQ051.1 文献标识码 A 文章编号 0254-6094(2012)02-0150-04

干气密封是一种气体润滑非接触式端面开槽的机械密封,广泛应用于离心式压缩机、气体透平机及泵等高速、高压流体机械中^[1]。我国的干气密封工业已有长足的发展,国产的干气密封产品正运行在某些大型或关键的设备上,有的还取代了进口产品。但是要进一步提高干气密封产品的档次,还必须从设计、材料及加工工艺等方面做许多工作,密封环端面流体动压槽的加工方法和工艺便是其中最突出的一个问题。微米级的浅流槽当槽深仅差几个微米时,对动压效果有很大影响,因而精确加工动压槽直接影响着干气密封的性能。

影响螺旋槽干气密封性能的因素还有端面的几何参数,例如螺旋角、槽深及螺旋槽槽数等。为了保证螺旋槽干气密封在最好的状态安全稳定运转,研究螺旋槽槽深和槽数对端面压强的影响是重要的,以确保产生的动压效果达到最好,即刚漏比达到最大值,对端面安全稳定的运转有重要的作用。对于气膜压力的测量,Mayer E 较早对机械密封端面间的流体膜压进行了测量尝试,通过在静环上开相隔 90°的 3 个直径为 2mm 的通孔将流体引至压力传感器,对端面膜压进行了测量^[2]。李宝彦等用不同直径测压孔进行比较,得到的结论是对于层流流动,开孔尺寸的影响可以

忽略;而对于紊流流动,影响则相当显著^[3]。宋鹏云等^[4,5]也采用开测压孔的方法,对端面膜压进行了测量。用开测压孔的方法测量膜压时,由于测压孔的存在会使开孔部位的液膜流场发生改变,从而在测量结果中引入了误差。但以上未对槽深、槽数和螺旋角对端面压强的影响进行分析,笔者通过改变槽数、槽深和螺旋角对端面压强的影响进行分析,为今后的优化设计提供理论基础。

1 动压槽激光加工方法与工艺

动压槽的形状复杂,结构精细且精度高,粗糙度要求也严格,尤其是加工动压槽的密封环多是硬质材料,所以动压槽的加工困难很大,常规的机械加工法几乎无能为力。因而,人们探索了多种方法^[6],主要有化学腐蚀、电火花加工、电镀法和激光加工法。

激光打标系统由激光部分、振镜扫描头、控制系统及计算机等多部分组成。激光部分由固体激光器和激光电源组成;扫描头由能在 X、Y 二维方向进行有序振动的振镜和平场聚焦镜组成;控制系统通过控制软件控制整个激光打标系统。利用光的能量经过透镜聚焦后在焦点上达到很高的能量密度,靠光热效应来加工各种材料,进行工业热加工的一种方法。该方法用于材料去除的实用化

* 浙江省科技计划项目(2008C21131)和温州市对外科技合作交流项目(H20080018)。

** 杜 鹏,男,1972 年 3 月生,工程师。甘肃省兰州市,730050。

加工有切割、打孔、动平衡及打标等,此时激光的功率密度可以高达 $107\text{W}/\text{cm}^2$ 以上,任何材料都能在极短的时间内被汽化、熔化而被去除。与其他刻槽技术相比,激光加工适用面广,对不同材料、不同形状的加工表面均适合,具有工件无机械变形、无污染、速度快、重复性好及自动化程度高等特点。但是激光加工是一种瞬时、局部熔化、气化的热加工,影响因素很多,因此精微加工时,精度尤其是重复精度和表面粗糙度不易保证,必须进行反复的实验,寻找合理的参数,才能达到一定的加工要求^[7]。

用激光加工密封环动压槽的工艺实际上是激光打标,这是一项较新的工作,目前生产厂家尚属保密阶段。激光打标就是利用激光束照射工件表面,雕刻上所需要的图形标记。其原理是:控制系统的计算机将编辑好的图形转换成电信号,按一定的频率分别传送到振镜和激光器,在一系列信号的控制下,振镜在 X、Y 二维进行有序振动,使激光点扫描出相应的图形,与此同时激光器在电信号的控制下,发出一定频率和能量的激光脉冲,将激光焦斑扫描出的图形刻蚀在工件上^[8],激光加工动压槽和样机总图如图 1、2 所示。

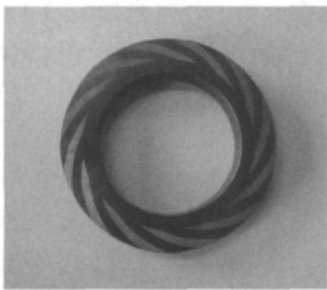


图 1 动压槽

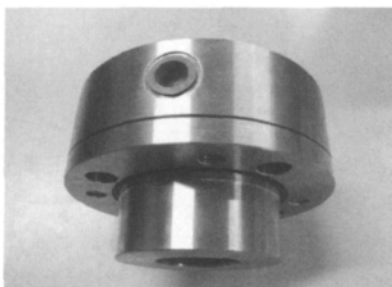


图 2 样机总图

2 试验方法

笔者只对端面压强参数的测定方法和测试结果进行分析,图 3 为静环安装传感器相对于动环部位的分布情况,实验采用中航公司生产的泄漏气压变速器 CS(3 套)和气膜压力传感器(3 套)匹配对端面气膜压力的测量。

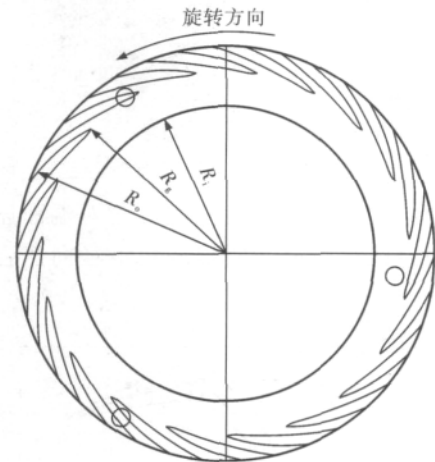


图 3 端面安放传感器分布

NI 公司提供的应用软件 LabVIEW 是一种典型的虚拟仪器开发平台,本课题的实时数据采集系统就是基于 LabVIEW 开发的。它具有图形化的仪器编程环境,直观明了的前面板用户接口及流程图式的编程风格,灵活的程序调试手段,内置的程序编译器,功能强大的函数库,支持多种系统平台,开放式的开发平台等优点,组建的虚拟仪器基本结构框图如图 4 所示。



图 4 虚拟仪器基本结构框图

压力测试系统由传感器、数据采集系统和计算机系统 3 部分组成,其中压力传感器是获取流场中压力信号的部分,由于干气密封端面间隙处于微米级,所以间隙非常有限,因此需要进行合理的安装。将 3 个气膜压力传感器装在静环端面上,沿静环周向均布安装于 3 处不同的径向位置,即根部和根部与内外径的中心处,对端面膜压进行了测试。在静环端面上打通孔,将传感器镶嵌在静环内(螺纹连接),这样基本上不会破坏流体的动压效应。

3 螺旋角、槽深和槽数对端面压强的影响

试验气体采用氮气,几何、运行参数为:

内径 R_i 26.75mm

外径 R_o 39.75mm

根径 R_g 33.75mm

介质压力 p_o 0.8MPa

环境压力 p_i 101.3kPa

转速 n_r 1450r/min

粘度 μ 15.5 μ Pa·s

3.1 螺旋角对端面压强的影响

选取槽深为 $2E=9.5\mu\text{m}$,槽数 $n=12$,螺旋角 α 分别取 15、16、17° 来研究螺旋角对端面压强的影响,通过试验测得不同螺旋角沿径向压强分布(图5)。

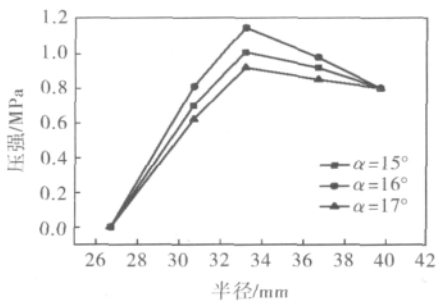


图5 不同螺旋角沿径向压强分布

从图5中可知螺旋槽干气密封端面在槽根部产生的动压效果最显著,从槽的根部向两侧逐渐递减;当螺旋角在 $\alpha=16^\circ$ 时端面产生的压强最大,并且当螺旋角增大或减小时产生的压强将减小。

3.2 槽深对端面压强的影响

选取螺旋角 $\alpha=16^\circ$ 、槽数 $n=12$,分别选取槽深为 9.0、9.5、10.0 μm ,来研究槽深对端面压强的影响,通过试验测得不同槽深沿径向压强分布(图6)。

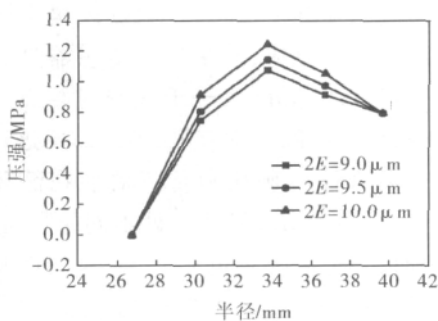


图6 不同槽深沿径向压强分布

从图6中可知,螺旋槽干气密封端面在槽根部产生动压效果最显著,从槽的根部向两侧逐渐递减,并且产生的压强随着槽深的增加而增大。

3.3 槽数对端面压强的影响

选取螺旋角 $\alpha=16^\circ$,槽深为 9.5 μm ,分别选取槽数为 12、15、18 来研究槽数对端面压强的影响,通过试验测得不同槽数沿径向压强分布(图7)。

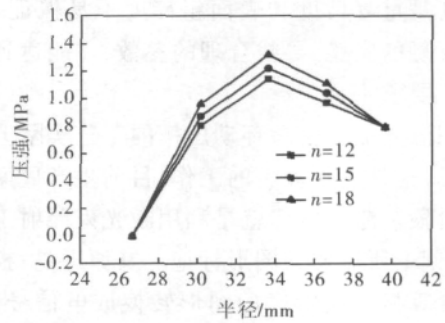


图7 不同槽数沿径向压强分布

从图7中可以看出螺旋槽干气密封端面在槽根部产生动压效果最显著,从槽的根部向两侧逐渐递减,当 $n=18$ 时端面产生的压强最大,并且端面压强随着螺旋槽槽数的增加而增大。

4 结束语

通过对螺旋槽干气密封端面动压槽进行激光加工,得到了自动化程度高、速度快和精度高的动压槽样机,达到了样机试验的要求。通过改变螺旋槽的槽数、槽深和螺旋角来研究其对螺旋槽干气密封端面压强的影响,随着槽数和槽深的增加,其端面压强逐渐增大,而随着螺旋角的增大,其端面压强先增后减,螺旋角为 16° 时,端面产生最大压强。今后可以通过选择最佳的螺旋角来优化螺旋槽结构尺寸,保证端面产生足够大的压强,提高其运行稳定性。

参 考 文 献

- [1] 顾永泉. 流体动密封[M]. 东营: 石油大学出版社, 1996.
- [2] Mayer E 著, 姚兆生译. 机械密封[M]. 北京: 化学工业出版社, 1981.
- [3] 李彦彦, 李云鹏, 张建中. 机械密封端面流体膜压膜厚的测量[J]. 大庆石油学院学报, 1990, 14(4): 50~55.
- [4] 宋鹏云, 陈匡民, 董宗玉, 等. “零压差零泄漏”液体

- 润滑螺旋槽机械密封性能的实验研究[J]. 流体机械, 2000, 28(7): 11~13.
- [5] 张继革, 段慧玲, 彭慧芬. 抽空状态下机械密封端面状况的实验研究[J]. 石油机械, 1999, 27(11): 20~22.
- [6] 张珊. 机械密封环端面流体动压槽的加工方法[J]. 流体机械, 2000, 28(3): 38~41.
- [7] 何松, 蔡仁良. 激光纹理技术在机械密封中的应用[J]. 化工设备与防腐蚀, 2002, 5(2): 115~117.
- [8] 袁亚平. 矢量方式 Nd: YAG 激光打标系统及工艺研究[J]. 航空工艺技术, 1999, (z): 11~16.
- (收稿日期: 2011-05-31, 修回日期: 2011-06-08)

Laser Processing and Dynamic Pressure Effects Analysis of Spiral Groove with Dry Gas Seal

DU Peng¹, HAN Ming-jun¹, DING Xue-xing^{1, 2}, ZHANG Wei-zheng^{1, 2}

(1. Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China; 2. Wenzhou Research Institute of Pump and Valve Engineering, Lanzhou University of Technology, Wenzhou 325105, China)

Abstract The dynamic pressure groove of spiral groove dry gas seal face was processed with laser processing method and the end face pressure was tested. Three sensors on the end face of static ring at a distance of 120° and along different radial positions can measure spiral groove end face pressure produced along radial position. By changing spiral angle, spiral groove depth and number, the end face dynamic pressure effect was researched. Experimental results show that good processing precision can be obtained through laser processing method, and the prototype test requirements can be achieved; in certain conditions, the pressure can become biggest when spiral angle is 16°, and the pressure rises with the increase of groove depth and groove number, and the maximum pressure can be found at the groove root.

Key words dry gas seal, spiral groove, laser processing, dynamic pressure effect

(上接第 145 页)

- [15] 杨富, 赵卫东, 蔡文河. 依据 ASME 标准准确识别 P91 钢管[J]. 中国电力, 2007, 40(5): 47~50.
- [16] Norton F H. The Creep of Steel at High Temperatures [M]. London: McGraw-Hill, 1929.
- [17] Petr Dymáček, Karel Milička. Creep Small-punch Testing and its Numerical Simulations [J]. Materials Science and Engineering A, 2009, 510-511: 444~449.
- (收稿日期: 2011-04-21)

Experimental Study of Creep Parameters of Compact High-temperature Exchanger

LIU Bo, HUANG Cong, LIU Fan, LEI Ming, ZHUANG Fa-kun, ZHOU Guo-yan

(School of Mechanical and Power Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract Three-point bending creep tests of small specimen of P91 operated at different loads and at 600°C were carried out. The creep curve shows obvious features in the first and second stage respectively, and the second stage presents longer duration. Three-group creep tests (p, \dot{d}_s) in the double logarithmic coordinate system present a well linear relationship, which proves the feasibility to obtain creep parameters through three-point bending tests of small specimens, but the conversion relation between specific parameters is still to be further studied.

Key words high temperature material, P91, creep parameters, three-point bending, small specimen