

光刻技术在流体动力密封研究中的应用

宁建华

(陕西动力机械设计研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 主要介绍了流体动力密封螺旋槽动环光刻工艺的特点、原理、工艺过程、工艺流程、槽深控制方法以及应用情况, 提出了采用高能束流刻蚀螺旋槽动环的新途径。结果表明, 采用标准 MEMS 光刻工艺技术和化学铣切工艺技术, 可加工出满足设计要求的螺旋槽动环。

关键词: 光刻; 密封; 应用

中图分类号: TH136

文献标识码: B

文章编号: (2005)04-0041-03

Application of photoetching to liquid hydrodynamic seal

Ning Jianhua

(Shaanxi Power Machine Design and Research Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: This paper introduced principle, process, characteristics and controlling deep slot of spiral groove movable ring of photoetching in the liquid hydrodynamic seal. The new method of high-energy ions etching spiral groove movable ring was put forward. Test results show that the design requirements of the spiral groove movable ring can be met with MEMS and chemical milling technology.

Key words: photoetching; seal; application

1 引言

流体动力密封是利用螺旋槽动环在高速转动中的逆流泵送效应, 实现微泄漏 / 零泄漏的脱开式机械密封装置。现已应用于航空发动机、石油化工装置等领域, 其卓越的密封性能和可靠性在

机械密封装置中表现不俗。

西方发达国家从上世纪六十年代开始研究流体动力密封技术。德国博格曼公司生产了相关系列产品, 美国克兰公司获得了流体动压垫高压旋转机械密封专利, 并将其用于轻烃介质密封中。二十世纪七十年代中期是气体流体动压机械密封应用和完善阶段。1974 年, 螺旋槽气体机械密封首次成功

收稿日期: 2005-01-13; 修回日期: 2005-06-20。

作者简介: 宁建华 (1964-), 男, 研究员, 研究领域为层板光刻技术、微机械技术。

应用于炼油厂的透平膨胀机上,标志着其工业应用的开始。二十世纪八十年代后期,在国外气体螺旋槽机械密封被广泛应用于高速旋转机械,开槽端面材料从传统的 WC 发展到热性能更好且易于制造的表面渗氮和渗硼铁基合金,端面槽形从仅能单向旋转发展到具有反转特性的单向螺旋槽,以及能双向旋转的组合螺旋燕尾槽,研究应用范围拓展到氢气环境及航空气体透平发动机。1995 年美国杜拉密泰列克公司生产了泵用斜角槽气体端面密封。日本皮拉公司也有许多产品。

国内从二十世纪九十年代开始,对开螺旋槽流体动力机械密封也作了一些研究工作,取得了一些研究成果。我所在国家高技术发展计划(863 计划)的支持下,在“十五”规划中开展了浅槽流体动力密封技术研究工作,经过近三年的研究,确定了密封的总体方案与加工工艺,通过在水介质中的试验,取得了初步成功。

端面开浅槽流体机械密封是在机械密封动环端面上开出微米量级深度的螺旋槽,主要依靠流体动压效应在密封端面间建立流体动压力来平衡闭合力,实现密封端面的非接触。目前动环端面有多种槽型,如平底台阶槽、移动波、多孔面、圆叶槽、径向直线槽、圆周泵送槽和雷列台阶槽、T 型槽、螺旋槽等。但最常用的槽型为螺旋槽及其组合,该槽型是由等角对数螺旋线构成的单螺旋槽或燕尾槽(见图 1)。该槽设计要求高,加工难度大,一般常规工艺无法实现,我们是利用光刻工艺技术加工的,本文主要介绍了螺旋槽光刻工艺特点、工艺过程和流程及其槽深控制方法等。

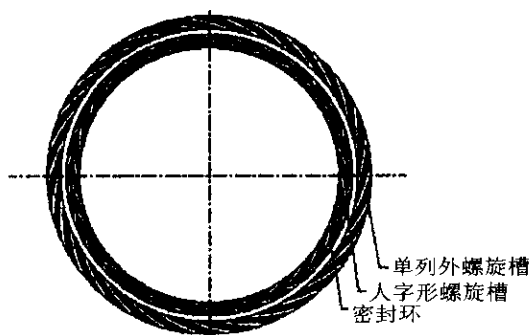


图 1 动环端面螺旋槽形

Fig.1 Spiral groove of movable ring

2 动环端面螺旋槽光刻主要技术要求

光刻的主要技术要求见表 1。

表 1 螺旋槽动环光刻主要技术要求

Tab.1 Main technical requirements of spiral groove movable ring for photoetching

螺旋槽动环材料	不锈钢材料
螺旋槽动环外径	$\varnothing 111\text{mm}$
螺旋槽动环槽深	0.003~0.005mm

3 光刻工艺及其流程

光刻工艺属于标准 MEMS 工艺技术,它是将精密化学照相、图形复印与选择性刻蚀技术相结合的一门精密加工技术。螺旋槽动环光刻工艺流程如图 2 所示。

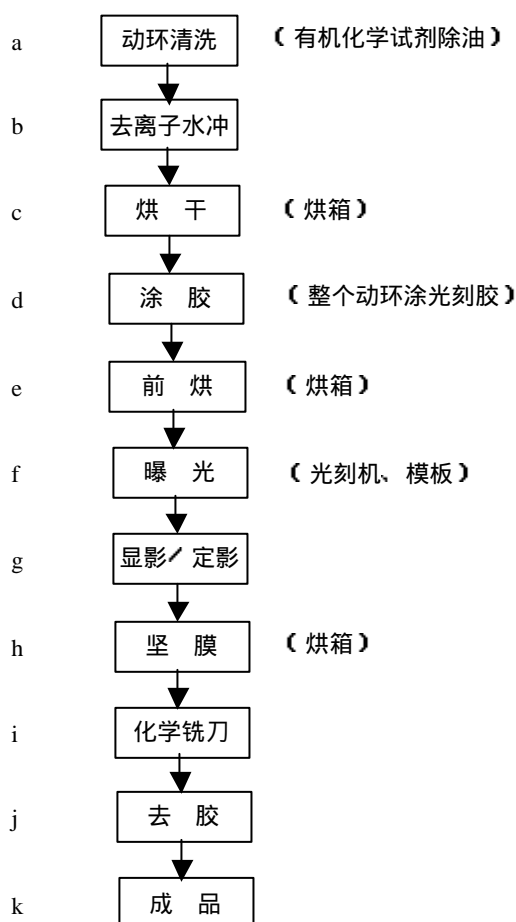


图 2 螺旋槽动环光刻工艺流程图

Fig.2 Photoetching process of spiral groove movable ring

4 光刻工艺过程

4.1 模板制作

根据螺旋槽动环机械设计图纸,并结合光刻工艺特点以及动环技术要求,设计模板图纸并提出相应的技术要求,按照模板图纸要求和光刻加工精度进行编程、计算、数据处理、图形粉碎,该过程需反复进行,并不断检查计算结果和模板精度,直至满足模板图纸技术要求,方可形成PG数据带。在光学图形发生器上,计算机按照PG数据制作乳胶板。在复制机上,将乳胶板翻成工作板—铬板,铬板即为光刻螺旋槽动环的模板。

4.2 动环清洗

根据相似相溶原理,制定了螺旋槽动环化学清洗方案。即首先采用甲苯→丙酮→无水乙醇有机化学试剂清除动环上的油污;然后用去离子水冲洗;其次酸洗;最后再用去离子水冲洗,烘干待用。

4.3 涂胶

将动环浸入光刻胶中,让动环整个表面涂上光刻胶,动环待光刻面朝上,静置控胶,然后将其悬置于前烘烘箱中烘干。

4.4 光刻

对前烘好的动环表面进行检查,若有漏胶处,可进行涂胶修补,再次前烘。在光刻机上,以动环外径为基准,将掩模板与动环对准,进行曝光;接着将动环及掩模板整体反转 180° ,再次进行曝光。曝光后的动环依次浸入显影液→定影液→漂洗液中进行显影、定影和漂洗,然后将动环置于烘箱中坚膜。

4.5 化学铣切

根据动环材料、光刻胶的耐蚀性、化铣时间长短、温度以及化铣控制操作难易程度等制定化学铣切配方。将坚膜好的动环,浸入化洗液中,按照试验好的温度、时间等工艺参数控制化铣过程,进行化学铣切。

4.6 去胶

去胶液配方是根据能将光刻胶不留痕迹地去除,又不损坏动环表面的原则制定的。将化铣好的动环浸入去胶液中进行去胶,去除动环表面的光刻胶,动环表面不允许任何损伤。

5 槽深控制方法

槽深与化铣温度和化铣时间有关,其控制方法是在一定环境温度下,通过工艺试验件的试验、槽深测量来控制正式动环螺旋槽深度的。

6 分析与讨论

化学铣切属于湿法刻蚀工艺,该工艺加工成本低,效率高,周期短;但是加工精度较低,影响化铣的环境和人为因素较多,控制化铣加工精度的难度较大。为了进一步提高加工精度,降低螺旋槽底部的粗糙度,应采用与光刻技术相结合的高能束流加工技术。

高能束流刻蚀是将离子源发射的离子束经聚焦、加速,射至待刻蚀的有保护掩模的工件表面,通过离子束与工件材料原子的动量交换,离子打开工件表面原子间的化学键,实现材料的物理溅射刻蚀。由于是原子级加工手段,分辨率和加工精度较高。离子的定向运动使其显示出高的各向异性,可刻蚀出超精细图形,特征图形精度可达 $0.05\mu\text{m}$ 以下。通过控制束流强度、加速电压、刻蚀速率等参数可实现螺旋槽动环高精度加工。

7 结论

采用标准MEMS光刻工艺技术和化学铣切工艺加工出了满足设计要求的螺旋槽动环。为进一步提高加工精度和减小槽底表面粗糙度,拟采用高能束流刻蚀光刻工艺技术。

参考文献:

- [1] 顾永泉著.机械密封实用技术,第一版[M].北京:机械工业出版社,2001,7.
- [2] 宋鹏云.螺旋槽流体动压型机械密封端面间液膜特性研究[D].[博士学位论文],1999,5.成都:四川大学,1~140.
- [3] 宁建华.光刻膜片在膜片阀中的应用[J].火箭推进,2005,31(1).

(编辑:王建喜)