文章编号: 1002-1582(2001)06-0547-02

光学镜面复制技术的研究*

朱政, 李德培, 陆翡翠, 乔撩云
(中国科学院 国家天文台南京天文光学技术研究所, 江苏 南京 210042)

摘 要: 光学镜面复制技术包括镀膜、胶合、脱模等工艺,这是一种通过压模的方法生产光学镜面的技术。一个镀好膜的高精度母模的光学面被复制到没有抛光过的复制件非光学表面上,母模和复制件之间的面形误差由胶粘剂补偿,通过脱模,可以得到一个镀好膜的由基体和胶粘剂组成的复制光学面。探讨了光学镜面复制技术的工艺方法,给出了所复制的球面、非球面、二次复制平面的干涉图和阴影图。

关 键 词: 镜面复制技术; 母模; 基体
中图分类号: TH706 **文献标识码**: A

Research on the optical mirror replication technique

ZHU Zheng, LI De-pei, LU Fei-cui, QIAO Liao-yun
(Nanjing Institute of Astronomical Optics and Technology, National Astronomical Observatories of CAS, Nanjing 210042, China)

Abstract: Mirror replication includes coating, gluing and unmolding. It is a technique of producing mirror surface by molding. A coated mirror surface is replicated from a mold with a shape inverse to the required replica to a ground substrate. The distance between the mold and the substrate is filled in by the resin. By unmolding, we can get a coated replica which consists of the substrate and the resin. This paper presents the work on technical methods of the optical mirror replication technique. The testing results of a spherical replica, a concave parabolic replica and two flat replicas are given.

Key words: mirror replication technique; mold; substrate

1 引 言

光学镜面复制技术就是将高精度母模的光学表面复制到没有抛光过的复制件非光学表面上。由于这项技术显而易见的优越性,它正在国际国内得到越来越多的关注。

第一,由于复制件的光学表面无需抛光,只需粗磨成形,因此加工成本大大降低,效率提高,从根本上克服了光学加工单件生产的弱点。

第二,采用复制技术加工的光学镜面的基体可以是玻璃,也可以是一些不宜进行光学加工的其它轻型材料[1],如铝、碳纤维等,这为真空复制技术开拓了广泛的应用前景。例如美国目前空间与宇航用的望远镜系统、侦察系统以及气象望远镜、太阳能收集器等,都先后采用了复制法制造的重量很轻的光学零件。

第三,复制技术加工的光学镜面由于是同一母模复制而成,因此复制镜面的光学参数一致性好,适用于做拼接式镜面的子镜[2],以及同规格镜面的批量生产。

2 光学镜面复制技术的原理及步骤

简单地说,光学镜面复制技术的基本原理就是通过镀膜、胶合、脱模等工序,将高精度光学零件的表面(母模)复制到没有抛光过的基体的非光学表面上,母模和基体之间的面形误差由胶粘剂补偿,脱模后可以在基体上得到一个镀有反射膜和保护膜的光学复制表面。

光学镜面复制技术的具体步骤为:

(1)加工出一个高精度的母模,在母模上进行三次蒸镀,分别镀上脱模膜,SiO 保护膜和铝膜。

(2)准备需复制的基体(玻璃或金属等),完成必要的粗磨加工。

(3)将母模和基体胶合在一起,以达到用胶层补偿复制件面形误差的目的。

(4)胶层固化过程中的热处理。

(5)将母模和复制件在脱模膜处分开,得到一块表面精度达到光学零件要求的复制件。

3 光学镜面复制技术的工艺实验

光学镜面复制工艺对环境的要求比较高,要求实验室清洁、恒温、湿度最好在 50 %以下,有良好的通风条件。另外,由于其工艺的特殊性,需要一台专用镀膜设备及相应的热处理设备。

3.1 镀膜工艺的试验

真空复制法的镀膜相对于一般镀膜工艺来说在于它需要三次蒸镀。为了实现复制件与母模的分离,第一层必须镀脱模膜,而脱模膜的材料选择及用量多少是首先必须解决的问题。脱模膜过多会影响反射膜的质量,降低反射率;而脱模膜过少又增加脱模的难度甚至最后根本无法脱模。除此之外,还需对三次镀膜的膜厚分别进行控制,以便获得比较满意的结果。

3.2 胶合工艺的试验

复制镜面所用胶粘剂的选择是胶合工艺试验中的关键。由于复制件必须达到光学精度,因此对胶的要求比较高。首先是收缩率小,在固化的过程中不产生或少产生凝固应力。其次,固化温度不能过高,因为过高的固化温度将引起玻璃应力变化,影响复制件的精度。另外,还要求胶合时用胶有一定的流动性;固化过程中挥发成份少;完成固化后胶层有一定的牢固度等。

在胶合工艺试验中,主要探讨以下一些问题:

(1)所选胶粘剂的配方及配胶方法;

(2)减少胶粘剂中气泡的方法;

(3)用胶量的控制及膜厚的控制;

(4)工件胶合后的定位方法;

* 收稿日期: 2001-05-18
作者简介: 朱政(1955-),女,江苏省人,中国科学院国家天文台南京天文光学技术研究所高级工程师,主要从事光学工艺方面的研究。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

(5) 固化温度及固化时间的试验。

3.3 脱模工艺的试验

所谓脱模,就是胶层固化后通过机械方法使得母模和复制件在脱模膜处分离。母模和复制件之间的吸附力很大,而且随着镜面口径的增大,脱模的难度也不断增加。在脱模过程中,要分模而又不损坏母模和复制件的表面,必须仔细分析镜面的受力状态,设计专用的脱模装置,通过多次改进,才能解决镜面的脱模问题。

4 光学镜面的复制

4.1 球面镜的复制

Fig. 1 Interferogram of the spherical replica

球面镜复制的特点是如何在有曲率的面上控制胶层的均匀性,试验表明,只要适当控制胶的流动性,这个问题并不难解决。图 1 是球面复制件的干涉图,曲率半径 $R = 1\,290$ mm,表面精度 P-V 值约为 0.07 μm。

4.2 非球面镜的复制

在非球面镜的复制中,母模是非球面,而基体表面是球面,这两者之间的误差(即非球面度)要靠胶层补偿。由于各环带非球度不一样而导致胶层厚度不一致,胶层的收缩也就不一样,只有尽可能减少胶层的收缩才能复制出高精度的非球面。

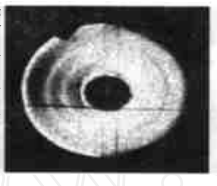

Fig. 2 Foucault shadow of the parabolic replica

图 2 是抛物面复制件的阴影图,$R^0 = 1\,292$ mm,焦比为 1∶3,表面精度 P-V 值约为 0.08 μm。从面形情况看,复制件表面基本上反映了母模的面形误差,如果能进一步提高母模的精度,复制件的精度将会有所提高。

4.3 平面镜的二次复制

光学复制技术的主要优点之一是便于批量生产,母模越多,同一批产生的复制件也就越多。如果能用一次复制件做代母模,再进行二次复制,这不仅能大大降低母模的成本,而且能很快提高复制的速度。另外,对于球面或者非球面来说,凸面母模的光学检验比较困难,采用二次复制的方法之后,可由凹面母模产生一个凸面代母模,再由凸面代母模复制凹光学面,这样只要检验凹面母模和复制件的精度即可控制光学面的质量,降低母模光学加工与检验的难度。

Fig. 3 Interferogram of the flat replica

图 3 为经过光学加工的母模一次复制后复制件的干涉图,然后用该复制件做代母模进行二次复制。图 4 为二次复制件的干涉图。

4.4 在一些不宜进行光学加工的材料上复制光学面

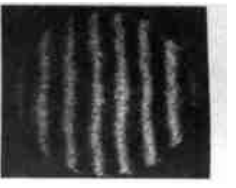

Fig. 4 Interferogram of the flat replica

首先是在铝元上复制光学平面,铝元上没有进行任何粗磨或细磨的加工,仅是车削完成后就做为复制件的基体,经复制后的反射表面基本上能达到光学精度的要求。

所做的比较有意义的实验是用碳纤维做基体材料复制光学镜面,但由于国产碳纤维制做工艺还不过关,表面纹路痕迹很深,复制后的表面上仍能看出这些痕迹,因此该复制面还不能用做光学成像镜。如果碳纤维材料表层纹路比较平滑,用来做基体复制光学表面是完全可能的。

5 结 论

通过光学镜面复制技术的研究以及大量的实践,可以得出以下几点结论:

(1) 如果母模精度足够高,经过细磨后的基体矢高误差不是太多,完全有可能用真空复制法加工出精度高于 0.08 μm 的光学镜面。

(2) 经检测,复制件的表面反射率能够达到一般光学零件的要求。

(3) 铝元的复制试验说明,在一些不适宜光学加工的材料上可以复制出光学镜面,而且复制件面形精度和表面反射率不会比玻璃等可光学加工的材料差。

(4) 复制镜面可以用来做代母模,用代母模二次复制后的镜面,面形精度变化不大。

致谢:本研究工作得到了丛生滋、林读明等同志及南京天文光学技术研究所高技术镜面实验室的大力支持,在此深表感谢。

参考文献:

[1] Peter C Chen, Timo T Saha. Progress in very lightweight optics using graphite fiber composite materials[J]. Optical Engineering, 1998, 37(2): 666—676.

[2] R Gilmozzi, B Delabre. The future of filled aperture telescopes: is a 100m feasible[J]. SPIE, 1998, 3352.

(上接第 546 页)

式(7)、式(8)、式(10)和式(11)都表明谐振波长或其变化量与初始设定的谐振波长(λ_R)有线性关系,初始谐振波长应大一些较好,这就对 LPG 的周期有一定的要求。考虑到谐振损耗峰值的理想程度,选择纤芯基模与 LP_{07} 包层模式耦合产生的谐振峰,并要求 LPG 周期数足够大。同时考虑到传感的灵敏度,磁性材料的选择应该是磁致伸缩明显的物质,否则,磁场的变化所产生的谐振波长的偏移小于光谱分析仪的分辨率。必要的话,可以通过提高测量环境温度的方法进行灵敏度的改善。为了避免环境的变化对光栅谱的影响,长周期光纤光栅应该进行环境变化补偿或者封装。

4 结 论

本文提出了一种利用长周期光纤光栅进行磁场测量的方案。通过推导,得到了磁场强度与长周期光纤光栅谐振波长和谐振波长变化量之间的关系,并进行了仿真分析。作为一种新型的光纤敏感结构,长周期光纤光栅对温度、应力、弯曲及外部折射率的变化敏感程度相当高,是一种极有前途的理想的光纤传感元件。目前,在温度、应力、应变、气体及液体的传感方面已有一些研究结果。更加优越的是,由于长周期光纤光栅具有多损耗峰,而且可以在一根光纤上进行多个制备,所以用它作为传感器阵列在多参数分布式测量方面极有利用价值。

参考文献:

[1] Vengsarkar A M, Lemaire P J, Judkins J B, et al. Long-period fiber gratings as band-rejection filters [J]. Journal of Lightwave Technology, 1996, 14(1): 58—65.

[2] Vengsarkar A M, Pedrazzani J R, Judkins J B, et al. Long-period fiber-grating-based gain equalizers [J]. Opt Lett, 1996, 21: 336—338.

[3] Bhatia V, Vengsarkar A M. Optical fiber long-period grating sensors [J]. Opt Lett, 1996, 21: 692—694.

[4] 特贝尔 R S, 克雷克 D J. 磁性材料[M]. 北京:科学出版社, 1979.

[5] Yariv A, Winsor H. Proposal for the detection of magnetostrictive perturbation of optical fiber [J]. Opt Letter, 1980, (5): 87—89.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net