

文章编号: 1001- 2486(2008) 05- 0099- 04

热压多晶氟化镁的磁流变抛光研究^{*}

戴帆, 袁 征, 陈浩锋, 尹自强

(国防科技大学 机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 热压多晶氟化镁是一种被广泛应用的红外光学材料。磁流变抛光因其抛光效率高、磨头无磨损、可实现确定性加工等优点而日益成为倍受瞩目的超精密光整加工技术。在利用传统抛光方法得到热压多晶氟化镁的抛光特性的基础上配制了适用于该材料的磁流变抛光液。通过抛光实验证明, 与传统抛光方法相比, 采用磁流变抛光方法对热压多晶氟化镁进行抛光, 可以得到较好抛光表面质量, 并且抛光的效率也大大提高。

关键词: 氟化镁; 磁流变抛光; 磁流变液

中图分类号: TH161⁺. 14 **文献标识码:** A

Magnetorheological Finishing for MgF₂ Crystal Processed under High Temperature and High Pressure

DAI Yi-fan, YUAN Zheng, CHEN Hao-feng, YIN Zi-qiang

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Magnesium Fluoride crystal processed under high temperature and high pressure, one of the infrared optic material, has been used in many areas. Magnetorheological finishing (MRF) is becoming an ultra-precision finishing technology because of its excellencies of high polishing efficiency, no wear and certain polishing. In this paper, at the first, the polishing characteristics are obtained by using traditional polishing method; and then, a new magnetorheological fluid suitable to finishing Magnesium Fluoride is developed. Compared to traditional polishing method, the method proposed here can yield higher surface quality and higher polishing efficiency.

Key words: Magnesium Fluoride (MgF₂); magnetorheological finishing (MRF); magnetorheological fluid

随着现代科学技术的迅猛发展,特别是航空航天、国防军工、信息与微电子等尖端科学技术的突飞猛进,对红外光学材料的性能提出越来越高的要求,推动了红外光学材料的不断发展。其中,热压多晶氟化镁是最具代表性的一类红外光学晶体材料。

热压多晶氟化镁是由颗粒分布均匀、粒径适当的高纯氟化镁粉未经高温、高压加工而成的,具有良好的偏振作用,在中红外波段具有很高的透过率,在该波段热辐射、散射、双折射性能都较低等,是良好的红外光学材料^[1]。热压多晶氟化镁具有机械强度高,力学性能好;热膨胀率低,耐高温,抗热冲击性强;耐酸碱腐蚀,耐海水、雨水侵蚀以及各向同性等诸多特点,可广泛用于红外整流罩、红外窗口,以及民用的红外探测器^[1-2]。然而,通过实验研究发现,热压多晶氟化镁内部杂质较多,在传统的抛光中会不断地出现散射颗粒,获得较好的表面质量比较困难,热压多晶氟化镁的超精密加工已经成为制约其使用的主要因素。

磁流变抛光是新兴的一种先进光学制造技术,以其抛光效率高、剪切应力高、磨头无磨损、可实现确定性加工等优点而日益成为一种重要的光学精密加工技术^[3-5]。本研究采用磁流变抛光技术对热压多晶氟化镁进行抛光,主要研究了热压多晶氟化镁磁流变抛光液的配制,并通过抛光实验获得了较好的抛光表面质量和较高的材料去除率。

^{*} 收稿日期: 2008- 06- 06

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET)资助; 国家自然科学基金重点资助项目(50535020)

作者简介: 戴一帆(1966—),男,教授,博导。

1 磁流变抛光机理

磁流变抛光(Magnetorheological Finishing, MRF)是近年发展起来的是一种新型的确定性加工方法,它是利用磁流变抛光液在磁场中的流变性对工件进行抛光。磁流变抛光液由抛光轮循环带入抛光区域中,在该区域里,磁流变抛光液在高强度的梯度磁场作用下产生明显的流变效应,在毫秒量级的时间内聚结、变硬,形成一凸起的缎带,成为具有一定粘塑性的 Bingham 介质。当 Bingham 介质以较高的速度流经工件与抛光轮表面形成的小间隙时,与工件表面形成柔性接触,并对工件表面产生很大的剪切力,从而将材料从工件表面去除^[6]。当磁流变液流出磁场区域的时候又恢复其流体性能,通过泵和回收装置可以实现磁流变液的循环使用。如图 1 所示。

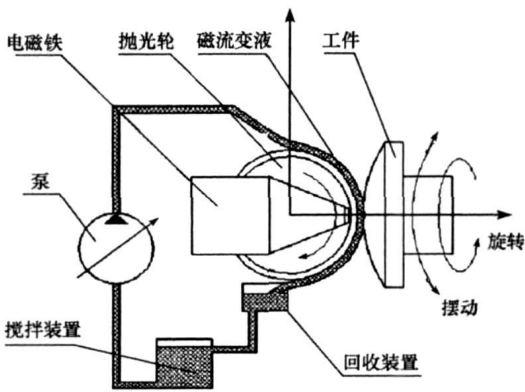


图 1 磁流变抛光示意图
Fig. 1 The sketch map of MRF

2 磁流变抛光液研究

2.1 磁流变液配制

磁流变抛光液是由载液、可极化的磁敏微粒、表面活性剂、抛光粉及具有其他功能的添加剂组成的非胶体悬浮液。磁流变液是磁流变抛光的关键,磁流变液性能直接影响抛光的效率和表面质量。磁流变液要具有较好的流变性能和较好的稳定性能。

根据我们对热压多晶氟化镁抛光特性的研究得知,其不具有各向异性的特点且不溶于水,因此试验采用常用的水基磁流变液。此外,水可以使磁流变液在零磁场下具有较好的流动性,并且有利于抛光粉的均匀分散。

选择三种常用的抛光粉对热压多晶氟化镁进行抛光机抛光,以考察其抛光效果。所选用的抛光粉分别为 0.5 μm 的氧化铈、0.5 μm 的氧化铝和 0.5 μm 的金刚石,并分别配制成抛光液,对经 W20 的金刚砂研磨过的热压多晶氟化镁表面抛光 4h。

由实验结果可知,使用氧化铈为抛光粉时,很难将热压多晶氟化镁表面抛光亮,而用氧化铝和金刚石为抛光粉时可以得到光亮的抛光表面,用光学轮廓仪 10 $\times$ 镜头测得表面粗糙度值分别为 rms 4.189nm 和 rms 3.204nm,如图 2 所示。但是使用氧化铝为抛光粉时,抛光效率低,因此,我们选用 0.5 μm 的金刚石微粉作为抛光粉来配制磁流变液。

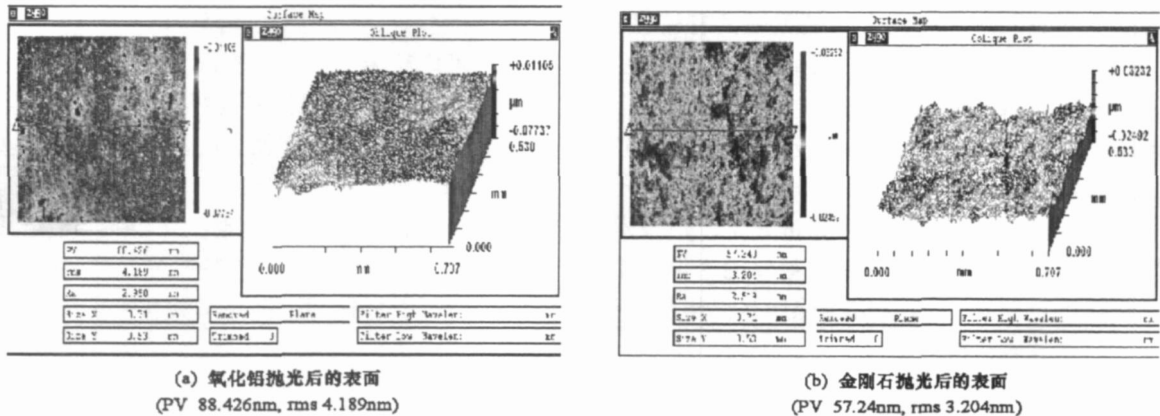


图 2 传统抛光后的表面
Fig. 2 Polished surface with traditional process

2.2 磁流变液流变性测试

由于磁流变抛光技术是利用磁流变液在磁场作用下变硬的特性, 通过控制磁流变液的剪切应力和局部形状来加工工件的, 因此磁流变液流变性能的好坏会对抛光结果产生重大影响。

用上海安德仪器有限公司生产的旋转式粘度计测得所配磁流变液的粘度为 $0.7\text{Pa}\cdot\text{s}$, 采用自制的磁流变液流变性能测试装置(如图3所示)测试磁流变液的流变性能。不同磁场强度条件下剪切应力与剪切率之间的关系如图4所示。

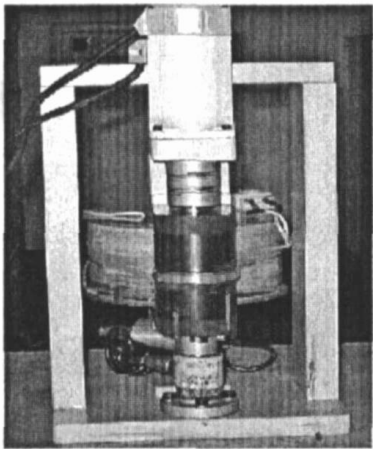


图3 磁流变液流变性测试装置
Fig. 3 Testing equipment of rheological capability of magnetorheological fluid

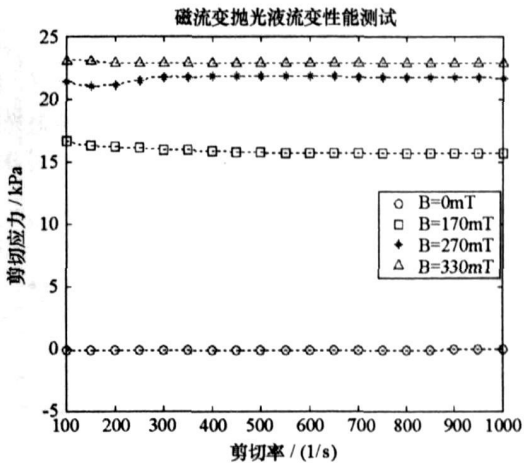


图4 不同磁场强度下剪切应力与剪切率的关系
Fig. 4 The connection between cutting stress and cutting rate under various intensity of magnetic field

从图4中可以看出, 当磁场强度分别为 170mT 、 270mT 和 330mT 时, 磁流变液的剪切应力分别约为 16kPa 、 22kPa 、 23kPa , 磁流变液的剪切应力的增量随磁场强度进一步增大而逐渐减少。

通过测试, 验证了所配制的水基磁流变抛光液具有较好的流变性。 270mT 的磁场强度所产生的 22kPa 大小的剪切应力足以实现工件表面材料的去除。

3 磁流变抛光实验

针对抛光效率和表面质量两个重要指标, 用所配置的磁流变抛光液在自行设计制造的磁流变抛光机床(如图5)上对热压多晶氟化镁进行抛光试验, 验证所配磁流变抛光液对热压多晶氟化镁的抛光效果。

试验中, 为使磁流变液能从喷嘴中稳定地喷出, 经实际验证而将磁流变液的流量设定为 70L/h 。为避免出现缎带凸起过高或缎带不连续的现象, 抛光轮转速设定为 $60\sim 120\text{r/min}$, 磁场强度为 $190\sim 360\text{mT}$ 。工件压入磁流变液的深度(简称压深)分别为 0.2mm 、 0.3mm 、 0.4mm 。磁流变抛光热压多晶氟化镁所产生的斑点及其沿长度方向上的材料去除量如图6所示。

经过多组试验得知, 在抛光轮转速为 120r/min 、磁场强度为 360mT 、压深为 0.4mm 时, 材料的去除率最大。抛光 15min 后, 用台阶仪测得去除量为 $12.92\mu\text{m}$, 算得抛光效率为 $0.86\mu\text{m/min}$ 。用光学轮廓仪 $10\times$ 测量得到抛光后的表面粗糙度值为 $\text{rms } 3.543\text{nm}$, 如图7所示。

在抛光轮转速为 60r/min , 电流强度为 190mT , 压深为 0.2mm 时材料的去除量最小。抛光 20min 后, 用台阶仪测得材料去除量为 $8.48\mu\text{m}$, 算得抛光效率为 $0.424\mu\text{m/min}$, 用光学轮廓仪 $10\times$ 镜头测量得到

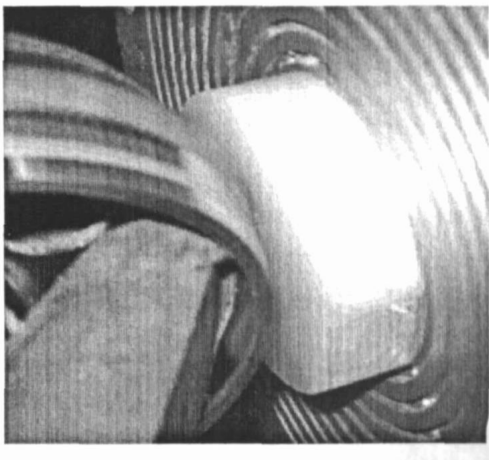


图5 磁流变抛光装置实物图
Fig. 5 The photo of MRF machine tool

抛光后的表面粗糙度值为 rms 1.597nm, 如图 8 所示。

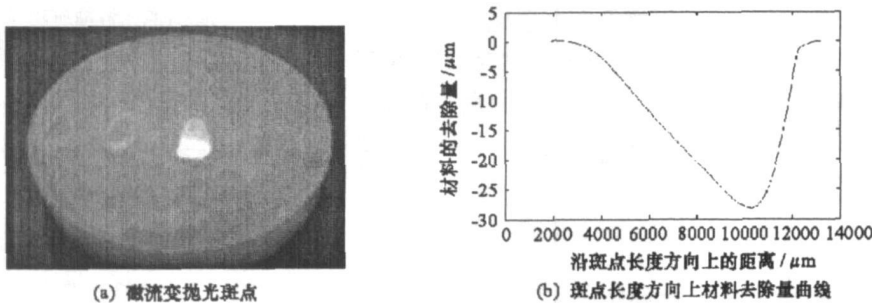


图 6 磁流变抛光表面材料的去除量
Fig.6 The spot of MRF and the curve of material polished off in the spot area

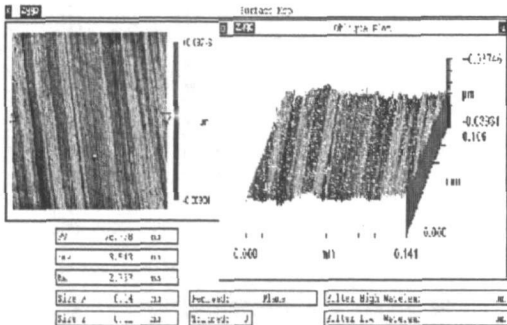


图 7 磁流变抛光后的表面
(PV 76.778nm, rms 3.543nm)
Fig.7 The surface polished by MRF

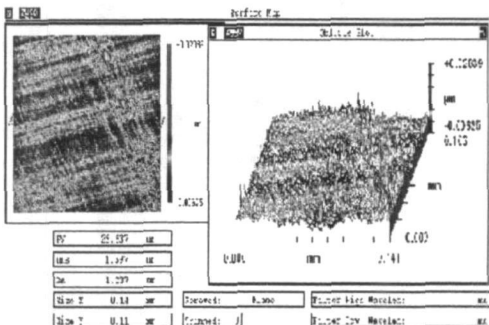


图 8 磁流变抛光后的表面
(PV 26.637nm, rms 1.597nm)
Fig.8 The surface polished by MRF

比较上述两种参数下的抛光结果知,当磁场强度、抛光轮转速和压深增大时,磁流变抛光模型^[7]中的流体动压力和磁化压力增大,工件受到的剪切力增大,其表面材料去除率提高。抛光效率高时表面质量较差,抛光纹路比较明显;表面粗糙度较好时,材料去除率较低,抛光效率低下。因此,在对热压多晶氟化镁进行磁流变抛光时,要将抛光过程分为粗抛和精抛两个阶段:

粗抛阶段:抛光去除量较大,需要用较高的磁场强度、大的抛光轮转速和大的压深来提高抛光去除效率。

精抛阶段:抛光去除量小,可用较低的磁场强度、低的抛光轮转速和较小的压深使磁流变液接近流体状态来对工件表面进行抛光,得到非常好的表面粗糙度。

4 结 论

通过传统抛光试验得知,使用 0.5μm 的金刚石微粉作为抛光粉对热压多晶氟化镁抛光 4h 可以获得 rms 值为 3.204nm 的光滑表面,选用上述金刚石微粉配制磁流变液对热压多晶氟化镁进行磁流变抛光,在较短时间内便可获得 rms 值为 1.597nm 的光滑表面,优于传统抛光后的表面粗糙度,提高了抛光表面质量。

参 考 文 献:

[1] 王璐璐,刘幽若,纪烈孔,等.热压多晶氟化镁研究.无机盐工业[J],2004,36,(1):41-42.
[2] 黄德群,单振国,干福熹.新型光学材料[M].北京:科学出版社,1991.
[3] Kordonski W, Hogan S. Magneto-rheological-suspension-based Finishing Technology[J]. SPIE, 3326: 527-535.
[4] 张峰,余景池,张学军.磁流变抛光技术[J].光学精密工程,1999,7(5):1-8.
[5] 舒锐,胡忠辉,周彦平.一种新型非球面数控抛光方法的研究[J].光学技术,2005,31(3):398-400.
[6] 彭小强.确定性磁流变抛光的关键技术研究[D].博士学位论文,2004.
[7] Jacobson S D, Golini D, Hsu Y, et al. Magneto-rheological Finishing: A Deterministic Process for Optics Manufacturing[J]. SPIE, 2576: 372-382.