

光学玻璃的磨削加工方法

王 平 张春河 张飞虎 袁哲俊

(哈尔滨工业大学机械工程系, 哈尔滨 150001)

周兵林 韩荣久

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 应用光学国家重点实验室, 长春 130022)

摘要 介绍了在普通平面磨床上采用 ELID(Electro lytic In-Process Dressing)磨削技术,对光学玻璃进行磨削,加工出准光学表面的工艺方法,磨削了 K9 和微晶玻璃,表面粗糙度达到 $Ra \leq 0.015\mu\text{m}$,平面度 $< 1\mu\text{m}$ 。还对加工过程中的一些现象作了进一步探索。

关键词: 光学玻璃;准光学表面;在线电解修整

1 前 言

在现代光学透镜的光学表面加工中,加工工序主要分为粗磨、精磨及抛光,并分别在平面粗磨机、透镜铣磨机、精磨机、抛光机等专用设备上完成。由于这些光学加工机床的行程、工作台等结构参数的限制,所能加工的工件尺寸受到限制。

在高速精磨时,工件是靠磨具成型的,也就是工件的几何精度是靠磨具的几何精度来保证的。由于磨具在使用过程中不断磨损,因此工件的几何精度会发生变化。精磨片是采用铜基金属结合剂,结合剂对金刚石磨料的结合强度高,磨粒不易脱落。在精磨过程中,完全依靠金刚石本身的自锐及粗糙表面对磨片表面结合剂进行机械自锐,或依靠优良的冷却液对磨片进行化学自锐修整。特别是对表面粗糙度低的待加工表面的精磨,完全依靠上述的机械、化学修锐铜基精磨片是比较困难的,使用已钝化的磨具进行加工,无疑会降低精磨效率及加工质量。如何摆脱磨具的被动修锐方式,提高精磨效率及加工质量,是光学器件加工中的一个需要解决的课题。

八十年代末期,国外成功地解决了在线电解修整(ELID 技术)铸铁结合剂超硬砂轮技术,使得超细微粉金刚石/CBN 砂轮用于硬脆材料的镜面磨削技术得到发展与应用,目前在光学透镜加工中,在数控加工中心上已成功地解决了平面透镜、非球面透镜光学表面的加工。

本文介绍了作者在普通平面磨床上采用 ELID 技术对光学玻璃的光学表面的磨削工艺,并对磨削过程中的现象作了进一步分析解释。

* 国家自然科学基金资助项目

收稿日期:1995年7月6日

2 ELID 磨削工艺过程

本试验分别对 K9、ZF4、微晶玻璃进行了磨削试验,主要的试验条件如下。

2.1 试验条件

(a)机床:装有 ELID 电解装置的 MM7120A 卧式平面磨床(见图 1)

(b)砂轮:见表 1

表 1 中所用砂轮磨料浓度均为 100%,砂轮宽度均为 15mm,磨料层厚度 3mm。

(c)自行开发的 HDMY-11 电解磨削液,该磨削液具有良好的电解作用及冷却、润滑、防锈性能。

(d)HDMD-1 型 ELID 磨削用直流-脉冲电源。

在对光学玻璃平面磨削前,所用砂轮经过静平衡,砂轮工作表面及砂轮的圆度经过精密整形处理,电解用金属基砂轮的圆度误差控制在 $1\mu\text{m}$ 以内。所用金属基砂轮在予电解修锐后,再重新作精密整形,以保证砂轮表面上的磨粒的等高性。

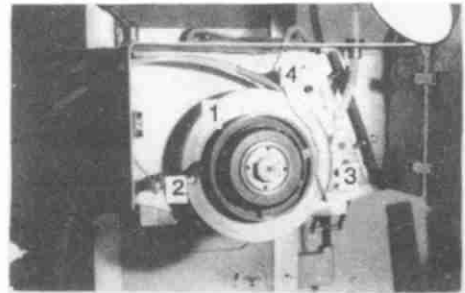


图 1 在线电解修整砂轮装置
1—铸铁结合剂超硬磨料砂轮;
2—正电极(电刷),3—负电极;
4)电解液喷嘴

表 1 试验中所用的砂轮

	砂轮规格	结合剂	磨料	用途	备注
1	$\Phi 200$ 、120°平砂轮	陶瓷	CBN	粗磨	不能用于电解修锐
2	$\Phi 200$ 、W28 平砂轮	铸铁	金刚石	半精磨	电解修锐
3	$\Phi 200$ 、1500°平砂轮	铸铁	金刚石	精磨	电解修锐
4	$\Phi 200$ 、15000°平砂轮	铸铁	金刚石	精磨	电解修锐

2.2 操作

同一般精磨削一样,先用较粗砂轮找平(120° CBN 砂轮),然后用较细的砂轮修磨上道工序在工件表面留下的破坏层,最后用更细的砂轮,适当增加光磨次数。

3 加工参数的选择与分析

用磨削方式加工光学玻璃是为了高效率的加工出表面粗糙度低、面形精度高的光学表面,下面是实验中几个问题的讨论。

3.1 砂轮的选用对粗糙度的影响

试验中先后选用了四种不同粒度的砂轮。

(1)先选用 120°陶瓷结合剂 CBN 砂轮进行粗磨,粗磨的目的是为了消除工件安装中待加工表面与工作台面的平面度误差。由于磨粒粗大,加工后的表面粗糙度明显低于磨削前下料后的表面粗糙度(见图 2(a)),表面有粗大的划痕、且破坏层较深。

(2)再用 600°(W28~40)铸铁基 CBN 砂轮进行电解磨削,磨削 5 分钟后,可将 120°砂轮

留下的粗糙度迅速降到 R_a 为 $0.18\mu\text{m}$ 左右(见图 2(a)), 以后的磨削, 是为了消除前道工序留下的局部过深的划痕, 经 W28~40 粒度的砂轮磨削后, 工件在切削液中已呈现透明状。

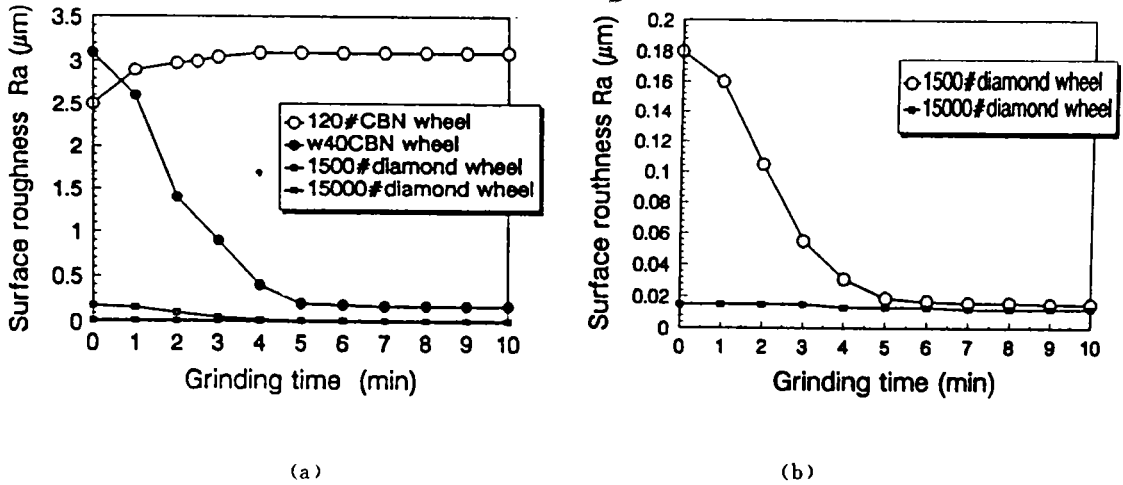


图 2 磨削时间与粗糙度的关系(K9)

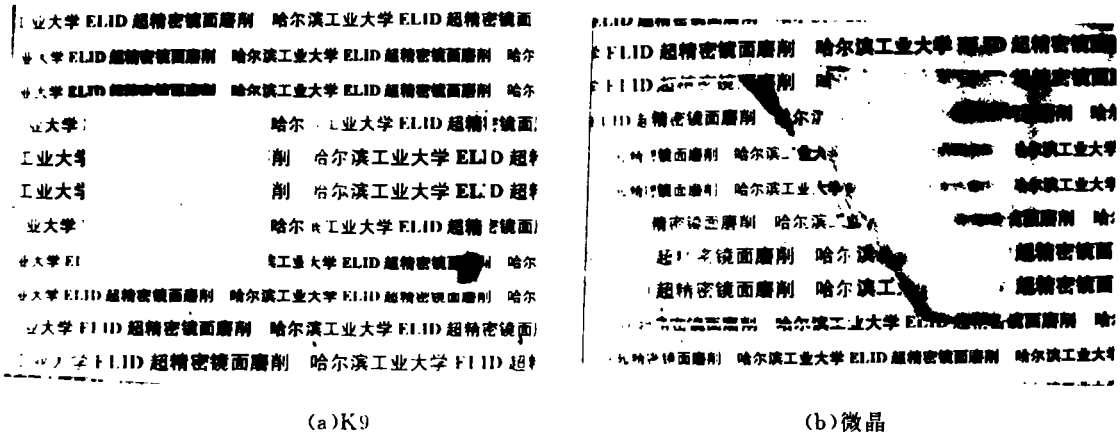


图 3 光学玻璃磨削前后效果对比

(3)换用 1500" (W10) 铸铁金刚石砂轮作电解磨削, 几分钟后即可消除上道工序留下的粗糙度, 工件透明, 再经几分钟精磨, 进一步消除局部划痕(600" 砂轮留下的), 取得良好的光学表面(见图 2(a)、(b)所示)。

(4)最后换用 15000" (W1.5) 铸铁金刚石砂轮作电解精磨抛光, 至完全无磨痕表面, 由于磨床最小径向进给量为 $1\mu\text{m}$, 无低于 $1\mu\text{m}$ 的微进给细分进给量, 实际上这一工序未达到理想情况(见图 2(a)、(b))。

图 3 为 K9, 微晶玻璃用 1500" 砂轮磨削前后

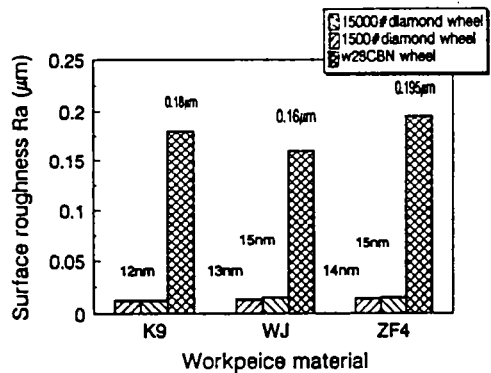


图 4 不同粒度砂轮的加工效果(WJ—微晶)

的效果对比。

图 4 为不同粒度的铸铁超硬砂轮对 K9 微晶 ZF4 光学玻璃的加工效果(但 15000# 砂轮加工出的表面有划痕)。

3.2 径向进给量对电解参数的影响

径向进给量对砂轮的工作电压、工作电流影响很大。对砂轮电解修整时,在砂轮表面产生阳极反应,生成氧化铁膜,在砂轮与电极间隙一定时,随着电解时间的长短,在砂轮上形成的氧化膜厚度也不同,由于膜厚增加会使两极间阻值增大,使工作电压 V_w 变大。图 5 为不同砂轮电极间隙在 0.5、0.6mm 时,在磨削过程中随着累积进给量的增大,工作电压变化情况。从图中可以看到,随着进给量的增加,工作电压呈下降趋势,而且砂轮粒度越小,工作电压下降的越快,越陡。其原因是粒度小,磨粒突出砂轮表面的高度低,在磨削中,砂轮表面上氧化膜厚度保持能力差,膜的厚度变薄,使得工作电压下降。从图 5 中还可以看到,随着磨削时间,累积进给量的增加,粗砂轮保持较高的工作电压时间较长,使砂轮具有良好的切削性能。图 6 为在电解砂轮状态下进行磨削,光磨两分半钟后,膜厚微有增加,使工作电压略有回升。图 7 为不电解时的光磨,由于不进行电解,光磨时进一步使氧化膜变薄,使得工作电压进一步下降。从工作电压的变化情况,可以判断砂轮的锐利程度,对进给量的承受能力,以便及时调整磨削参数和磨削操作。

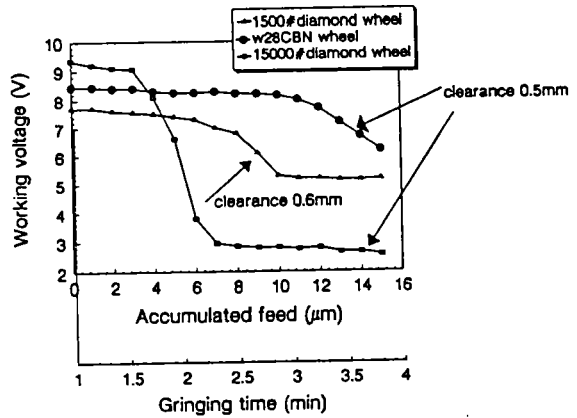


图 5 累积进给量与工作电压的关系

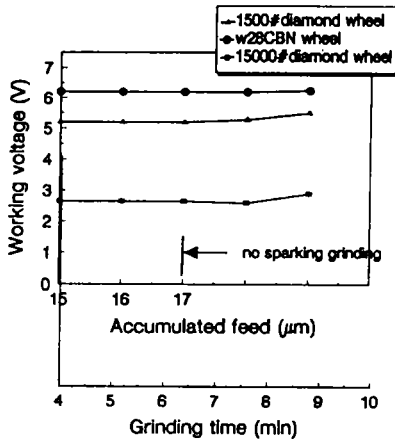


图 6 电解光磨对工作电压的影响

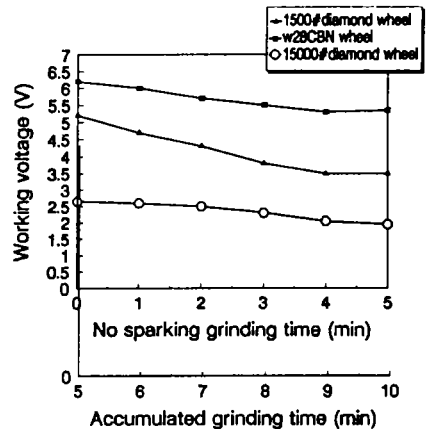


图 7 光磨对工作电压的影响

若在单位时间内累积进给量大,径向磨削力太大会导致工件与磨料均发生脆性变形,因此,对细粒度砂轮,单位时间累积进给量不能过大,每次进给量不能超过 $1\mu\text{m}$,否则不能得到好的加工表面。

4 光学玻璃磨削时的表面损伤

光学玻璃是硬脆性材料,在普通磨削时,其表面的破碎情况如图8所示,在垂直分力 F_n 作用下,磨粒进入玻璃的深处破坏玻璃,形成互相交错的锥形裂纹,裂纹角度大约 155° ,它的大小不随玻璃牌号和磨料种类而改变。裂纹角的宽度比磨粒宽度大,当金刚石校尖深入玻璃,劈出碎片并脱落。图9为微晶玻璃在经W28~40CBN砂轮及1500#砂轮磨后的扫描电镜照片,可以看到玻璃表面留有 $5\mu\text{m}$ 以下大小的凹坑。由于砂轮是固着磨料,特别是由于磨料粒度细,露出砂轮表面仅几微米,形成玻璃表面碎裂的原因主要是以下几个主要原因:

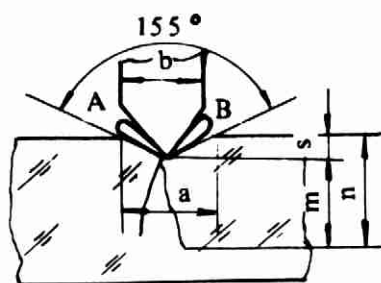


图8 玻璃的破碎情况

(1)上道工序工件表面粗糙度过大,表面凹凸不平磨料切到凸起部分,使得单粒磨料切削深度增大,径向力 F_n 增大,在凸起部位发生晶粒碎化(见图10)。



图9 微晶玻璃电镜照片

(2)工艺系统发生振动,砂轮不平衡引起振动,改变了磨粒的切削深度,增大了单粒磨料的径向力。以上由于磨削过程不平稳,均可以改变切削深度的变化,在玻璃表面发生碎化,形成凹坑。

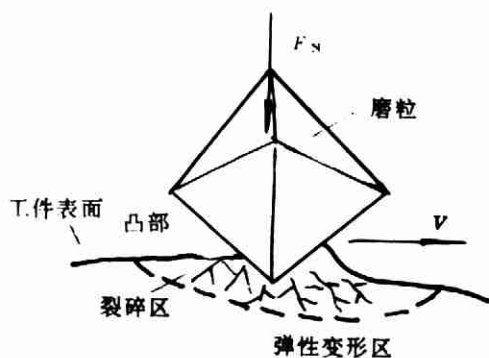


图10 凹坑形成模型

5 结 论

通过对部分玻璃材料的磨削试验,表明采用电解修锐(ELID)铸铁超细微粉金刚石/CBN砂轮对光学表面磨削,得到质量与研磨相当的光学表面是可行的,其中关键技术如下:

(1)砂轮精密整形精度要高,圆度误差必须小于 $1\mu\text{m}$,磨料等高性要好,不允许有凸出的磨料。

(2)砂轮静、动平衡要好,避免由于砂轮不平衡引起的磨削力波动值过大,以及由动不平衡引起的砂轮轴线偏摆,砂轮边缘修出 $2^\circ\sim 3^\circ$ 的倒角或倒圆。

(3)合理选用各工序不同粒度砂轮的组合,即可以提高生产效率,又可以避免本工序造成的玻璃表面产生的微观裂碎凹坑。

(4)合理选择进给量、切削深度,特别是累积切深及最小切深的选择,切深选择不当,或单位时间内切深过大,都得不到好的光学表面。

(5)砂轮要保持良好的磨削状态,提高修锐质量,要适当选择电解参数,使砂轮保持锐利。

(6)综合以上,操作者要根据磨削过程中出现的各种现象,采用不同措施,如减慢进给频率、增加光磨时间等。

由于玻璃对切削力变化敏感,尽量保持磨削系统的稳定才能得到良好的加工表面。

通过 ELID 磨削得到的准光学表面,再经抛光加工就可以得到光学表面。作者仅是在有限的技术方面作了探讨,尚有很多工作有待于进一步研究,以期将这一技术能用于生产实践。

参 考 文 献

- [1]王 平等,在线电解修整砂轮的超精密镜面磨削新技术的发展与应用. 磨料磨具与磨削,1994,4
[2]蔡 立,田守信,光学零件加工技术. 武汉:华中工学院出版社,1987,6

Grinding Manufacture of Optical Glass

Wan Pin,Zhang Chunhe,Zhang Feihu and Yan Zhe jun
(*Department of Mechanica Engineering,Harbin Institute
of technology,Harbin 150001*)

Zhou Binglin,Han Rongjiu
(*State Key Laboratory of Applied Optics,Changchun Institute of Optics and
Fine Mechanics,Chinese Academy of Sciences,Changchun 130022*)

Abstract

A technological process,Electolytic In-process Dressing (ELID),that the semi-optical surface can be received by grinding optical glass on ordinary flat grinder,is introduced. The authers have grinded K9 and crystallite glass,and the surface roughness Ra is no more than $0.015\mu\text{m}$,flatness on more than $1\mu\text{m}$. It also makes a further exploration of some phenomenonons during the process.

Key words:Optical glass,Semi-optical surface,ELID.