

# 蓝宝石镜面加工工艺的研究\*

周海

(盐城工学院机械工程系,江苏盐城 224003)

**摘要** 通过对蓝宝石(超硬材料)的磨削、研磨、抛光工艺中的设备、工具、辅料、清洗、环境等方面的改进,使蓝宝石表面质量明显提高,成品的缺角不良品率由6%降至0.5%,同时,还降低了加工成本、提高了生产效率。

**关键词** 蓝宝石; 加工工艺; 加工质量

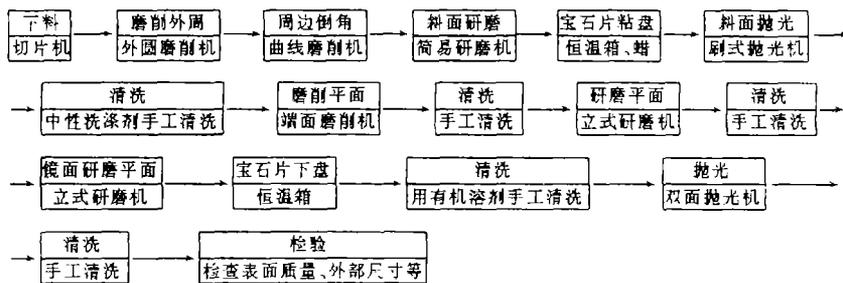
**分类号** TQ164.2 **文献标识码** A **文章编号** 1008-5092(2000)01-0021-05

人工生长的蓝宝石是单晶  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,透明,与天然宝石具有相同的光学特性和机械性能,对红外线透过率高,有很好的耐磨性,硬度仅次于金刚石达莫氏9级,在高温下仍具有较好的稳定性,熔点为2030℃,所以它已越来越多地用作固体激光、红外窗口、半导体芯片的衬底片、精密耐磨轴承等高新技术领域中零件的制造材料,同时还被制

成永不磨损表镜及各种精美华贵的饰品<sup>[1]</sup>。

## 1 蓝宝石加工工艺及存在问题

由于蓝宝石硬度高且脆性大,对其进行机械加工非常困难,镜面加工技术更加复杂,是当今重点研究课题之一,目前我国蓝宝石镜面加工工艺通常为:



此工艺在批量生产中有如下不足:

(1)加工过程中宝石片缺角比例较高,占总数的5%~8%;

(2)研磨及抛光后,宝石片表面划痕较重,有20%左右宝石片表面有粗深痕迹,需要重新研磨抛光,致使部分宝石片厚度偏薄报废,且影响生产节奏;

(3)因返工及报废,宝石片加工成本偏高,平均每片加工成本3.5元,在国际市场上缺乏竞争力。

## 2 工艺改进

针对存在的问题,笔者对现有工艺进行了认真分析,并反复试验,从设备、工具、辅料、环境等方面作了如下改进。

### 2.1 下料

采用定向切片,沿着一定的晶向切割,可明显减少宝石片外周磨削时大缺角的发生率。

### 2.2 外周磨削

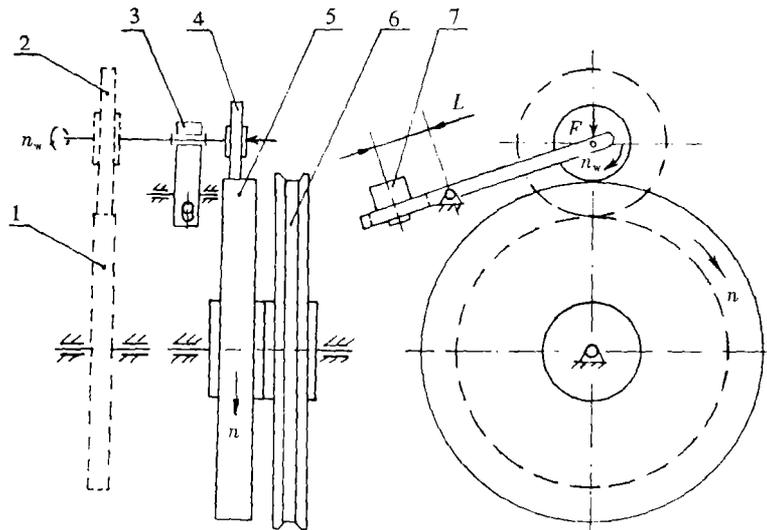
如图1所示,改用砂轮轴线固定不动,通过改

\* 收稿日期:1999-06-29

作者简介:周海(1965-),男,江苏滨海县人,工学硕士,工程师。

变配重(7)的前后位置(L),来调节施加在宝石片(4)上的进给力(F)的大小,这样,磨削时进给力

均匀,可明显减少成品的细小缺角比例。同时,通过更换靠模(2)可精确加工各种非圆形宝石片。



1. 支承圆盘; 2. 靠模; 3. 配重杆; 4. 宝石片; 5. 青铜金刚石砂轮; 6. 成型电镀金刚石砂轮; 7. 配重  
图 1 外周磨削成型加工原理图

Fig. 1 Diagram of the sapphire outside grinding

金刚石砂轮的粒度、浓度、磨削用量及磨削液都会影响磨削效果,这些参数经试验后,优选列于表 1 中。

2.3 周边倒角

用成型电镀金刚石砂轮,并列放置于外周磨削砂轮边上(见图 1),也靠配重调整宝石片磨削进给力,既减少缺角,又提高了生产效率。电镀轮的粒度及磨削要素见表 1。

2.4 斜面研磨

对圆形宝石片,用球面研磨头,配以研磨膏来研磨,研磨原理如图 2 所示。

球面研磨头轴向(I)与宝石片的轴向(II)相反,同时研磨头作水平摆动(III),这样磨出的才是斜面,而不是球面。

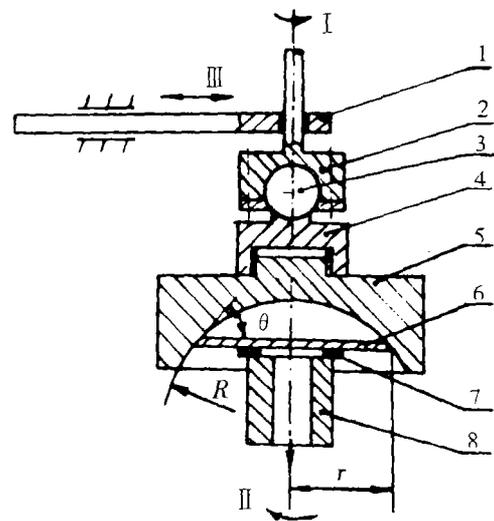
研磨头内的球面半径(R)与宝石片斜面倾角

$$(\theta) \text{ 的关系大致为: } R = \frac{\pi}{2} \cdot r \cdot \tan \theta$$

研磨头用灰铁制成,利用材料自身的细微孔洞来包容研磨膏中的金刚石微粉进行研磨,同时其本身也有一定的耐磨性。在研磨一定数量宝石片后,研磨头球面有变形,需要在数控车床上车出新的 R 球面,再进行研磨。

研磨膏由 W3 的金刚石微粉、油脂、色拉油等按一定比例调配而成。

用这种方法研磨出的宝石片斜面尺寸均匀稳



1. 水平运动导杆; 2. 研磨头转轴; 3. 球面转动副; 4. 活动接杆; 5. 球面研磨头; 6. 宝石片; 7. 密封圈; 8. 工件转轴; A. 抽真空(以吸住宝石片)

图 2 研磨斜面原理图

Fig. 2 Diagram of the bevel grinding

定,表面粗糙度好,而且效率是手工研磨的 10 ~ 15 倍。

2.5 平面磨削

如图 3 所示,将端面磨削机的工件主轴(1)中心线调成与砂轮主轴(4)中心线有一微小角度  $\alpha$ 。 $\alpha$  值视下道研磨工艺要求而定,一般为  $0.005^\circ \sim 0.001^\circ$ 。这样研磨出的宝石片呈现外高内低,如

表 1 改进后的蓝宝石加工工艺流程

Table 1 The improved technology process of sapphire

序号	名称	设备	工具	切削要素	辅料
10	定向下料	切片机	砂轮片	$V = 10 \text{ m/s}$	5% H-2 高精度磨削油
20	外周磨削及倒角	外周成形机	$\phi D \times T = \phi 100 \times 0.3$ 金刚石砂轮 P160 $\times 12 \times 30$ JR <sub>1</sub> 220* Q100% 电镀金刚石轮 JR <sub>1</sub> 325*	$V = 18 \text{ m/s}$ $V_w = 0.01 \text{ m/s}$ $a_{p1} = 0.2 \text{ mm}$ $a_{p2} = 0.05 \text{ mm}$ $n = 100 \text{ r/min}$ $n_w = 350 \text{ r/min}$	同 10
30	倾面研磨	斜面研磨专机	球面研磨头	$n = 100 \text{ r/min}$ $n_w = 350 \text{ r/min}$	研磨膏(油脂 + W4 金刚石微粉 + 色拉油)
35	上盘	恒温箱 $T = (170 + 2) \text{ }^\circ\text{C}$			蜡
40	斜面抛光	刷式抛光机	棕制抛光刷盘	$n = 480 \text{ r/min}$ $n_w = 80 \text{ r/min}$	抛光膏(油脂 + W1.0 金刚石微粉)
45	超声波清洗及漂洗	超声波清洗机 (1 kW)			有机溶剂(三氯乙烷、酒精)及中性洗涤剂
50	平面磨削	水平磨削机	金刚石砂轮 PDA150 $\times 30 \times 60$ JR <sub>1</sub> W20Q100%	$V = 20 \text{ m/s}$ $V_w = 5 \text{ m/s}$ $a_p = 0.1 \text{ mm}$	同 10
55	超声波清洗及漂洗	同 45			同 45
60	平面研磨	平面研磨机	纯铜研磨盘	$n = 600 \text{ r/min}$ 时间 $t = 6 \text{ min}$ 压力 $F = 80 \text{ N}$ 研磨量 $a_p = 8 \text{ } \mu\text{m}$	研磨液(色拉油 + 煤油 + W3.5 聚晶金刚石微粉)
65	超声波清洗及漂洗	同 45			同 45
70	镜面研磨	同 60		$n = 400 \text{ r/min}$ $t = 5 \text{ min}$ $F = 50 \text{ N}$ $a_p = 2 \text{ } \mu\text{m}$	研磨液(色拉油 + 煤油 + W1.0 聚晶金刚石微粉)
75	下盘	恒温箱 $T = (130 + 2) \text{ }^\circ\text{C}$			
80	超声波清洗及漂洗	同 45			同 45
90	机械化学抛光	双面抛光机	抛光盘	$n_1 = 400 \text{ r/min}$ $n_{11} = 10 \text{ r/min}$ 时间 $t = 20 \text{ min}$ 压力 $F = 100 \text{ N}$ $\text{pH} = 9.5 \sim 11$	抛光液中微粒直径 $< 50 \text{ } \mu\text{m}$
100	检验	粗糙度测量仪 100X 显微镜			三氯乙烷等有机溶剂

图 4 所示。目的是为下道研磨工序打下良好的工艺基础。为了减少缺角,砂轮进给(Ⅲ)应轻匀。磨削参数经优选列于表 1 中。

## 2.6 平面研磨

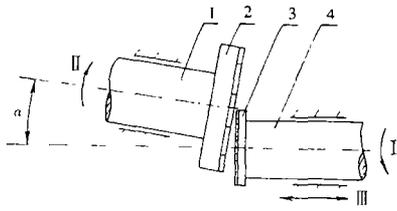
在图 5 所示的平面研磨机上,把研磨盘(5)上面车成螺纹(螺纹的形状及参数经试验确定)。目的是利用螺纹槽贮存新的研磨液,通过研磨盘的旋转(Ⅰ)把研磨液甩到盘面与工件(3)之间参与研磨,同时将使用过的研磨液通过螺旋槽排出。

为了除去上道工序(平面磨削)的加工痕迹,本工序的研磨量应达到  $8 \sim 10 \text{ } \mu\text{m}$ ,故采用纯铜作

为研磨盘材料,研磨液由色拉油、煤油、W3.5 的球状聚晶金刚石微粉等调制而成。用球状金刚石微粉的目的是使研磨痕迹深度均匀。

在研磨临近结束时,在研磨盘上添加色拉油(即不含金刚石微粉的研磨液),以达到光整表面的作用。

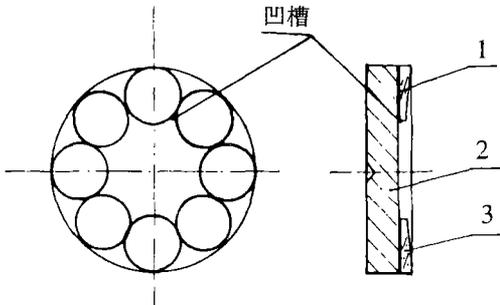
在研磨过程中,加工盘(3)是随研磨盘(5)的转动(Ⅰ)而转动(Ⅱ),而且加工盘的外边线速度大,故外边研磨量也大,所以需要在上道工序中,把加工盘上宝石片磨成外高内低,才能使研磨后的盘面趋于平坦,不致于外塌,否则会影响下道镜



1.磁力主轴(旋转运动Ⅱ);2.加工盘;3.青铜金刚石砂轮;4.砂轮主轴(旋转运动Ⅰ,进给运动Ⅲ)

图 3 平面磨削加工原理图

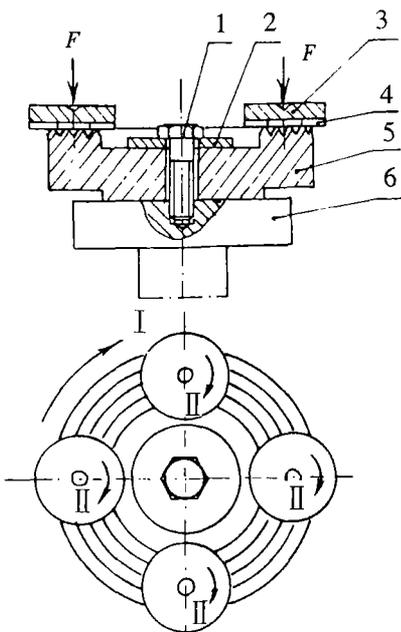
Fig. 3 Diagram of the surface grinding



1.蜡(厚度<0.008 mm);2.加工盘(工具钢制);3.宝石片;

图 4 平磨后的宝石片

Fig. 4 Shape of grinded products



1.紧固螺钉;2.压板;3.加工盘;4.宝石片;5.研磨盘(纯铜制成);6.冷却底盘;F.研磨压力

图 5 平面研磨原理图

Fig. 5 Diagram of surface abrading

面研磨工序质量。

因研磨中发热较多,故底盘(6)内通冷却水来冷却研磨盘。研磨机也应放在恒温环境中。研磨

参数优选列于表 1 中。

### 2.7 镜面研磨

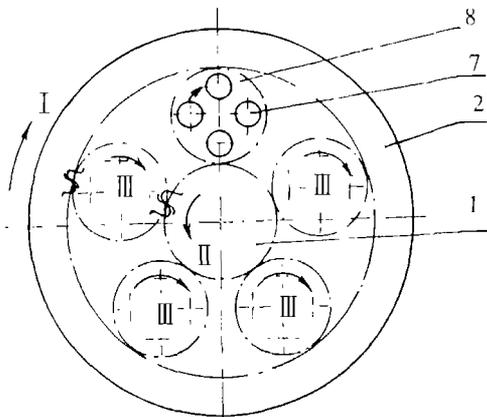
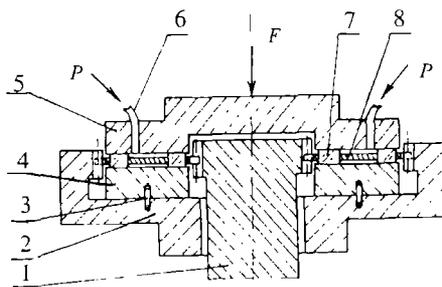
为了获得更好的表面粗糙度,研磨盘用比纯铜软些的锡铜合金盘,上表面也车出螺纹,但螺纹的牙顶宽度应稍窄些。为使宝石片镜面研磨更均匀,需把研磨盘车成倒锥面,盘面斜度视研磨状况而定,一般在 0.01/100~0.03/100。

研磨液中配以 W1.0 的聚晶金刚石微粉<sup>[2]</sup>。

同样在研磨末期添加不含微粉的研磨液,具体研磨参数列于表 1 中。

### 2.8 镜面抛光

在图 6 所示的双面抛光机上进行机械化学抛光。



1.内转动轴(有外齿轮,旋转运动Ⅱ);2.外转动轴(有内齿轮,旋转运动Ⅰ);3.销;4.下抛光盘;5.上抛光盘(详细结构见图 8);6.抛光液(P)输入软管;7.宝石片;8.支承架(周边有外齿轮,与 1、2 构件啮合,旋转运动Ⅲ)

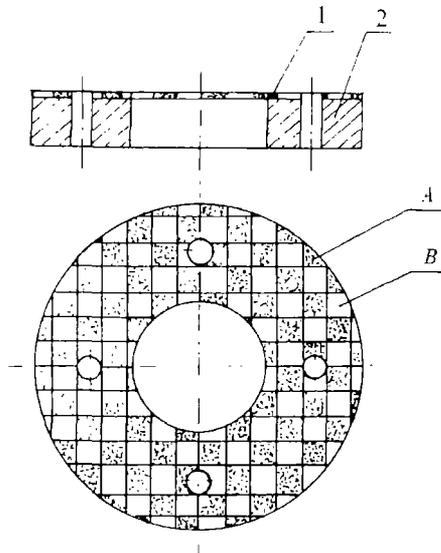
图 6 双面抛光原理图

Fig. 6 Diagram of the double-faced polishing

为了使抛光中工件运动轨迹复杂化(尽量不重复<sup>[2]</sup>,宝石片(7)放在支承架(8)内,支承架(8)作为由中心齿轮 1(外齿轮)和中心齿轮 2(内齿轮)所构成的差动轮系中的行星齿轮。只要改变轴(1)的运动(Ⅰ)和轴(2)的运动(Ⅱ),即可获得不同的支承架(8)的运动轨迹。

为了提高机械抛光效果,给宝石片上下面施加压力( $F$ );为了提高化学抛光效果,需要调整抛光液( $P$ )的 pH 值,同时使抛光液循环流动。

抛光盘上的抛光布的形状及材料对抛光效果及成本有一定的影响,本工艺采用发泡聚氨基甲酸酯的起绒皮革作为抛光布,形状如图 7 所示。优选后的抛光参数参见表 1。



1. 抛光布(A.起绒部分,参与抛光;B.平坦部分,不参与抛光);2. 抛光盘

图 7 抛光盘结构图

Fig. 7 Structure of the polishing wheel

## 2.9 清洗

由于研磨过程中宝石片是粘在加工盘上的,容易形成如图 4 所示的凹槽,手工清洗时刷子很难将凹槽中的微粉洗净,造成死角。这样就容易

把上道工序中使用的较粗的金刚石微粉带到下道工序中,造成研磨、抛光时出现异常的粗深痕迹,导致返工,影响加工质量。现改用超声波清洗加超声波漂洗<sup>[3]</sup>,明显改善了清洗效果,有效防止了上道工序中微粉带入下道工序。

## 2.10 环境

因在研磨过程中有恒温要求,故对整个加工环境安装空调,为防止金刚石微粉(或蓝宝石微粒)在空气中飘动对研磨造成不利影响,需合理布置空调出风口与进风口位置,使风从精加工工序向粗加工工序吹去,同时,使循环空气经水过滤去除尘埃。

经上述几方面改进后,宝石片镜面加工工艺列于表 1 中,表中的加工参数是在特定的加工条件下经优选后得出的。

## 3 改进工艺后宝石片的加工效果

(1)宝石片的缺角不良品率、尺寸不良品率由原来的 6% 降至 0.5% 以下;宝石片表面质量明显提高,A 级品(表面粗糙度的要求为  $Ra < 0.01 \mu\text{m}$ ,在 100 W 白炽灯黑背景下,用 7X 放大镜观察不到加工痕迹)率由原来的 60% 提高到 95% 以上。

(2)生产能力从原来每班 400 片增加到 1200 片。

(3)使宝石片平均加工成本从原来的 3.5 元降至 2.8 元,提高了产品市场竞争能力。

通过对蓝宝石镜面加工工艺的试验研究,所取得的一些经验参数对其它超硬材料(精密陶瓷、水晶、 $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  晶体等)的镜面加工也有启发意义。

## 参 考 文 献

- [日]坂野久夫.最新精密陶瓷[M].厉仁玉译.上海:同济大学出版社,1990.
- 李伯民.实用磨削技术[M].北京:机械工业出版社,1996.
- 孔庆华.特种加工[M].上海:同济大学出版社,1997.

# Research on the Technology of Sapphire Cutting

Zhou Hai

(Department of Mechanical Engineering of Yancheng  
Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, PRC)

**Abstract** It can obviously improve the quality of product's appearance, reduce the reject rate from 6% to 0.5%, reduce the production cost and raise labor productivity to ameliorate technological parameters of the Sapphire Cutting process.

**Keywords** Sapphire; Technology of production; Quality of product