

超精密金刚石刀具——衍射光栅刻划刀

李英海

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 衍射光栅是一种非常精密的光学元件,它们通常是用金刚石刀具刻划的。为了使光栅有较高的衍射效率,金刚石刻划刀应有精确的角度。正确选择金刚石晶格的方向对提高刀具的寿命非常重要。光栅刻划刀刀刃的粗糙度好于 8 nmRa。

关键词: 金刚石刀具; 衍射光栅

1 引言

衍射光栅是一种精密的光学元件,是理想的色散分光元件,广泛应用于现代各种光谱仪器上。光谱仪常用的平面反射式衍射光栅是先在一块光学平面玻璃上镀上铬层、再镀铝层,然后用金刚石刀具在铝层上刻划出平行、等距且具有特定槽形的刻线。我们刻过的最密线条是 2400 l/mm,即每条线为 0.47 μm ,且具有所要求的三角槽形。我们刻过的最大光栅是 300 \times 300 mm²,600 l/mm,其刀尖的行程达 54 km。因此对光栅刻划刀的要求是:刀锋极锐、角度极准、粗糙度极好、耐磨性极好。因此光栅刻划刀可以称得上是超精密的金刚石刀具之一。

2 光栅刻划刀的选料与定向

天然金刚石是一种超硬度材料,具有高导热、耐高温、抗腐蚀等优良特性。因而被广泛地用做车、铣、雕刻、刻划等刀具。光栅刻划刀必须采用特级刀料金刚石来制做。由于金刚石是各向异性的晶体,不同方向的耐磨度极不相同,故在磨制光栅刻划刀时需要把刀刃的方向找准。

定向的原则是根据金刚石晶体的类型判断其解理面,选定适当的解理面作为定向面。因为金刚石在与解理面垂的方向上承压能力强,如选它作定向面,则工作时的刻划方向与解理面相垂直,刀刃具有很高的强度。

金刚石晶体在研磨时的难易程度与研磨方向有关。图1是立方体、八面体、菱型十二面体的最难和最易的研磨方向。

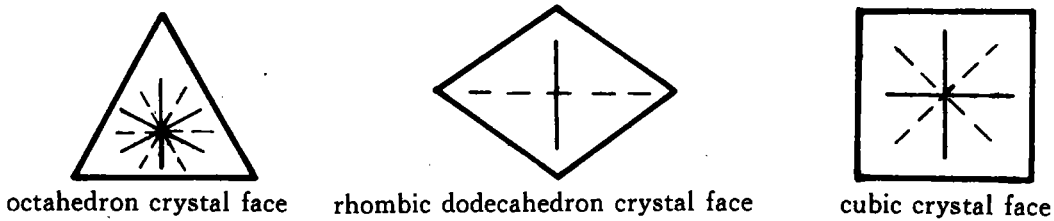


图1 金刚石晶面与研磨方向

Fig. 1 Diamond crystal face and grinding direction

图中实线表示易磨方向；虚线表示难磨方向。

在定向时，应使刀刃选在最易磨的平面内，并位于最容易研磨的方向。这样即可以保证刀刃的受力情况良好，又易于研磨，同时刀刃不易产生崩损，能够获得较高的耐用度。过去在金刚石光栅刻划刀定向中，曾采用过试磨的方法，即在研磨中细心地寻找金刚石的最大硬度方向。这样也可以找出最硬的方向。但这种方法消耗很多时间和人力，所以现在采用根据金刚石的解理面和金刚石在刀杆中位置的改变来控制定向。例如(110)面定向时(见图2)，首先选好八面体的特级刀料金刚石，然后观察其金刚石的难易磨方向，找准其刀刃的位置，最后将八面体的一条棱镶成与刀杆垂直，即是(110)定向。

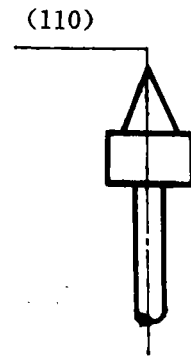


图2 (110)定向

Fig. 2(110)orientation

3 光栅刻划刀的几何参数

不同类型的光栅需要不同解度的光栅刻划刀。在刻划中，光栅刻划刀的刀尖角决定光栅的槽底角。刻划刀有闪耀角 α (即定向角)、夹角 θ 、非定向角和倒角 β 。从用户所需要的光栅的闪耀波长出发，选择适当的 α 角和 θ 角。 θ 角一般取 $90^\circ\sim 120^\circ$ 之间，常用 110° 左右。按不同光栅的要求及刻划经验， θ 角也可以取小或大些。 α 角按光栅方程式： $m\lambda = 2d\sin\alpha$ 来计算。式中 m 为衍射级次、 λ 为波长、 d 为光栅常数。按计算出的角度加上一定的经验修正值作为刀具角。倒角 β 的选择一般情况下与闪耀角的角度相同，但制做过程中倒角的右偏角比左偏角大一些为好。

4 光栅刻划刀的粗糙度

光栅的刻槽畸变主要是由于光栅刻划刀不锐或粗糙度高而引起的。它使光栅集光效率大大降低。要达到所需要的光栅的集光效率，刻划刀的粗糙度值必须达到 8 nmRa 。要达到这么

好的粗糙度,必须解决修磨刻划刀时各方面的振动问题。为了减少磨刀机转动时带来的振动,须使磨刀机的磨盘与转轴构成的组合体有很好的静平衡,磨盘的粗糙度值好于 25 nmRa。磨盘相对于轴的端面最大摆幅调到 2 μm。另外精磨时须适当控制磨削方向。一般逆磨比顺磨效果好。因为逆磨时可以把磨盘上的大粒金刚石粉和其它脏东西阻拦在刀刃前,使它跑不到金刚石刀刃与磨盘之间,不致引起振动,从而达到刻划刀所需的粗糙度要求。除此之外,影响刻划刀粗糙度的因素还有不少。例如修磨刻划刀时使用磨料的粒度和适当控制压力等等。一把光栅刻划刀,如果其粗糙度达不到所需的要求,则直接影响光栅的集光效率和表面质量。根据多年的研制经验,粗糙度极好(8 nmRa)的光栅刻划刀刻出来的光栅和粗糙度稍差(12 nmRa)的刻划刀刻出来的光栅,在集光效率上相差 15%~20%,其表面质量只用肉眼也能看出其差别。图 3、图 4 是用同一把刀在粗糙度极好和稍差时刻出来的光栅的集光效率和表面质量对比示意图。

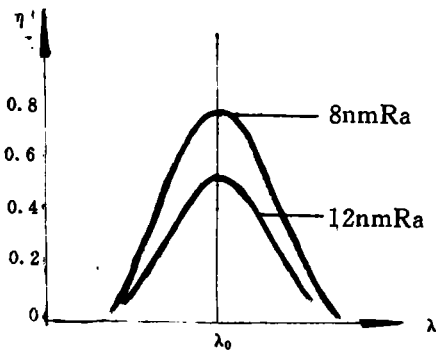


图 3 集光效率的对比

Fig. 3 contrast of collecting light efficiency

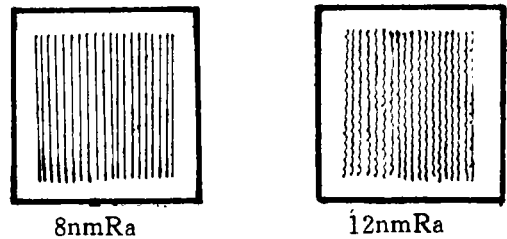


图 4 表面质量的对比

Fig. 4 contrast of surface quality

从上述情况我们可以看出,光栅刻划刀的粗糙度是很重要的。

5 光栅刻划刀的检验

研制好的光栅刻划刀一般在 150 倍的显微镜下检查其刀刃的质量。一把质量优良的刻划刀在显微镜下观察时能看到三条很细的亮线。这三条亮线交点是刻光栅时所用的刀刃。定向面、非定向面、倒角面交接的刀尖部分的三个面的粗糙度值应达到 8 nmRa,以 ∅2 mm 围成的三条线的刀刃部(见图 5)应该无崩口、刀刃很锐、粗细均匀,刃的宽度小于 0.3 μm 以下。刻划刀刻出一至几块光栅后一般都出现程度不同的磨损。磨损的刀在 150 倍的显微镜下观察时磨损处的亮线比原来的宽 2~3 倍。刻划刀出现崩口的时候也经常发生。刻划刀出现崩口,是调刀和试刻中不小心碰伤

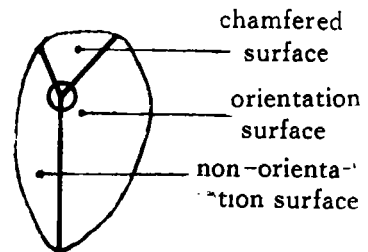


图 5 刻划刀的刀刃

Fig. 5 Knife edge of the nicking tool

或刻划当中碰到毛坯铝面上的喷点或脏东西所造成的。出现崩口的刻划刀与磨损的刻划刀形状截然不同。磨损的刻划刀轮廓线光滑,而碰伤的刀刃象锯齿一样。上述情况在工作当中普遍存在,只要重新修磨就可以达到使用要求。

满足上述条件的一把光栅刻划刀,能刻出数块质量优良的光栅。

参 考 文 献

- [1] 陈璧光等,金属切削理论与实践. 北京:北京出版社,1980
- [2] 章锦华等,金刚石车刀的设计与刃磨工艺的研究. 工具技术,1984,18(2)
- [3] 西村一仁,超精密切削加工用ダイヤモンド工具の言平西. 光技術コンタクト,1989,27(4):46-53

Super-fine Diamond Tools for Ruling Diffraction Gratings

Li Yinghai

(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)

Abstract

Diffraction gratings are very accurate optical elements, which are ruled by diamond tools usually. In order to get higher diffraction efficiency of gratings, the angles of ruling tools must be very accurate. Choosing the direction of diamond lattice is very important for raising service life of the tools. The smooth finish at the edge of the tools is better than 8 nmRa.

Key words: Diamond Tool, Diffraction Grating

李英海 女,1952年生,1977年毕业于长春光学精密机械学院精密仪器专业。1977年到现在一直在光机所从事光栅刻划机和金刚石刀具的研制工作。“金刚石刀具修磨夹具”1995年在全国第九届发明展览会上获银奖。