

人造多晶金刚石刀具的优越性 及其加工镜面的反射率*

王立江 冯慧芳

(吉林工业大学机械工程系, 长春 130025)

韩荣久 马文生

(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 130021)

摘要 实验研究了人造多晶金刚石刀具进行镜面加工的可能性及其镜面反射率的规律。

关键词: 多晶金刚石; 镜面; 反射率

1 引言

反射率是金属反射镜的重要性能, 为了提高图像的清晰度, 避免模糊和干涉条纹, 反射镜必须具有较高的光学反射率。一般要求其反射率达到90%以上, 这就需要采用超精密的加工手段。近年来, 由于金刚石车削加工精度高、速度快、成本低、变形小、反射率较高, 还能加工多种材料, 故正以其明显的优势逐步成为金属反射镜的一种实用的加工方法。而且, 由于用金刚石车削的反射镜比采用抛光加工的镜面能经受高功率激光束的照射而不易出现表面损伤、变暗和腐蚀, 故具有重要的经济价值^[1]。

目前, 国内外进行镜面车削金属反射镜所用的刀具都是天然单晶金刚石 (SPD) 刀具, 对于用人造多晶金刚石 (PCD) 刀具加工金属镜面及其反射率的研究还尚少。本文对 PCD 刀具的优越性及其用于超精密切削加工, 所加工镜面的反射率与 PCD 颗粒度, 进给量、粗糙度及波度的关系进行了较为深入地探讨。

2 PCD 刀具的优越性

随着科学技术和新产品的飞跃发展, 在宇航、天文、军工、仪器仪表、计算机、光学以

收稿日期: 1994年6月9日

*国家自然科学基金项目

及精密机械等高技术领域，超精密加工技术已经成为其发展的不可缺少的技术基础。而超精密加工技术的发展是从单点金刚石切削技术 (Single Point Diamond Turning) 的发展而开始的。在其发展的初期，人们把金刚石刀具切削和超精密切削等同起来，称 SPDT 技术。顾名思义，单点金刚石切削所用的刀具是用天然单晶金刚石制作的。天然金刚石以其优良性能，具有极高的硬度，是目前为止世界上最硬的天然材料。它还具有较高的导热系数以及和有色金属间摩擦系数低，开始氧化的温度较高等这些作为超精密切削刀具所不可缺少的品质。天然单晶金刚石可磨制出锋利的刃口 (刃口半径可小到几个 nm)，而其它材料则没法磨制出这样锋利的刃口。单晶金刚石刀长时间的切削磨损甚小。因此，长期以来天然金刚石被认为是理想的、不能被代替的超精密切削刀具材料。这是问题的一个方面。另一方面，天然金刚石也有其自身的弱点。例如，金刚石作为一个单晶体具有明显的各向异性，韧性较差，刃磨和焊接都比较困难，本身不导电等。更重要的是它太稀少了，太昂贵，地质学家估计地壳上的金刚石储量只有 80 吨，约为黄金储量的 1/750，而其中能用于制作刀具的宝石级金刚石就更少。所以，科学家一方面承认天然金刚石的不可被代替，一方面也在不遗余力的去寻找可代替的金刚石的超精密切削加工的刀具材料，或者去人工合成金刚石。七十年代初，由美国 GE 公司创造的 PCD (polycrystalline Diamond) 刀具是一种新型的人造刀具材料。它是在硬质合金基体上，烧结一层厚 0.5mm 左右的人造金刚石微粉形成的复合刀片。其韧性有所提高，兼有金刚石的高硬度和硬质合金强度较好的优点，而且刀片与刀体的焊接性能好。又由于 PCD 没有方向性，在刀具制造过程中可免去 SPD 复杂的晶体定向工作。它还有 SPD 所不具备的导电性，故刀具的制造和刃磨可以采用电解磨削、电火花加工等特种加工工艺。可直接进行 SEM 观察，测量刀具刃口圆角半径，而不必在金刚石上喷镀黄金导电膜。PCD 的上述优点，尤其是制造成本远低于 SPD 这一点使得它具有很高的经济价值，在国内外应用范围正在迅速扩展。但是，目前人造多晶金刚石刀具仅用于一般的精密切削，它能不能用于超精密加工，一直是机械加工界没解决的问题。较普遍的观点是，认为人造多晶金刚石 (PCD)

刀具不能用于超精密镜面切削加工。因而，也就没必要研究人造多晶金刚石 (PCD) 刀具切削加工表面的质量及其反射率了。那么，人造多晶金刚石 (PCD) 刀具到底能不能用于超精密加工？为此作者几年来做了较深入的研究，实验表明：PCD 刀具由于其本身是金刚石，能进行超精密镜面切削。

(1) 实验过程

设备：MSG-325 二轴数控金刚石车床

工艺参数：转 速 $n = 1000\text{rpm}$

切削深度 $a_p = 5\mu\text{m}$

进给速度 $0.5 \sim 15\mu\text{m}/\text{r}$

刀具：PCD 60

经反复刃磨刀具，选取合理的刀具参数，反复改变工艺参数，进行切削实验。

(2) 测试结果

测试是在 FORM# TALYSURF 表面量仪上进行的，图 1 是采用不同工件材料的实验结果曲线。随着进给速度的不断减

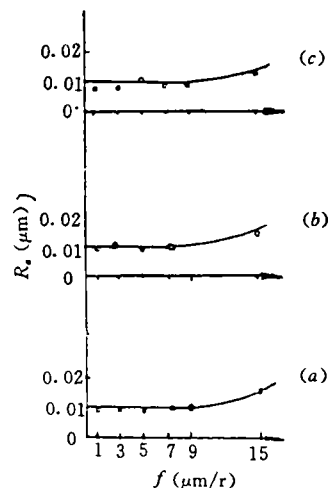


图 1 PCD 刀具切削的

Ra-f 曲线：

(a) 切紫铜 (b) 切硬铝

(c) 切无氧铜

少,PCD 刀具切削镜面达到 $R_a \leq 0.01 \mu\text{m}$, 即达到了超精密加工水准。因此,我们认为在一定条件下廉价的 PCD 刀具有可能替代昂贵的 SPD 刀具进行超精密切削。

3 反射率与 PCD 颗粒度的关系

表 1 刀具的颗粒度与试件的粗糙度

刀号	刀材	颗粒度 (μm)	刀面粗糙度 R_a (μm)		试件粗糙度 R_a (μm)	
			前刀面	后刀面	紫铜	硬铝
PCD4	PCD	4	0.019	0.020	0.019	0.015
PCD20	PCD	20	0.017	0.022	0.014	0.014
PCD60	PCD	60	0.023	0.025	0.010	0.011
SPD	SPD	单晶	0.012	0.019	0.009	0.010

PCD 是由微小的金刚石颗粒组成的多晶体,其最主要的参数之一是颗粒度(即颗粒的粗细)。为考察这一参数对反射率的影响作用,本文用表 1 所示的四把刀具用同一进给量 $f=3 \mu\text{m}/r$ 车削直径为 30mm 的紫铜和硬铝试件,然后在西德 PE 公司生产的 Lambda-g 型紫/可见/近红外光谱分光光度计(Lambda-g[®] UV/VIS/NIR spectrophotometer)上测量其反射率,测量采用入射波长 $\lambda=2.4 \mu\text{m}$,入射角 $\theta=15^\circ$ 。测量结果示于图 2。这里同时使用 SPD 刀具,一是可以和 PCD 刀具做一比较,二是可以认为 SPD 是 PCD 颗粒度增大的极限情况。

由图 2 的实验结果得知,PCD 的颗粒度越粗大加工出的镜面反射率越高,PCD60 的反射率已接近于 SPD。所以用粗颗粒的 PCD 代替 SPD 加工镜面存在着极大的可能性,切是经济、适宜的。

4 反射率与进给量的关系

本文用粗颗粒的 PCD60 号刀具在不同进给量 $f=1、3、5、7 \mu\text{m}/r$ 的条件下考察 f 对 R 的影响作用。图 3 是切削紫铜和硬铝的结果,可见反射率 R 随 f 的变化很小。本实验加工的紫铜和硬铝共八个试件测量的 R_a 值均在 $0.010 \mu\text{m}$ 左右, R_q 值均在 $0.013 \mu\text{m}$ 左右。根据 Debye-Waller 公式,光学反射率 R 的函数关系如下:

$$R = R_0 \cdot \exp[-(4\pi R_g \cos\theta/\lambda)^2]$$

式中, R_0 —理想表面的反射率;

R_g —粗糙度的轮廓均方根偏差;

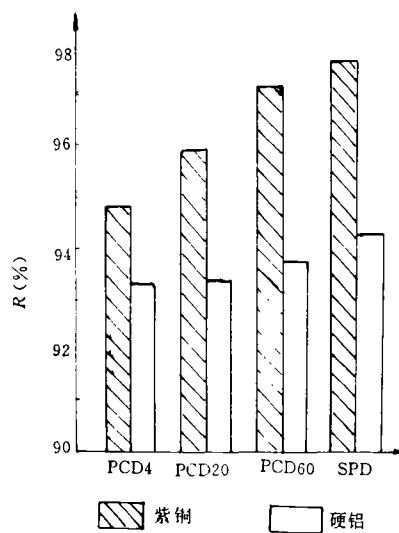


图 2 反射率与刀具颗粒度的关系

λ —入射光的波长；

θ —入射角。

由于进给量 f 由 1 至 $7\mu\text{m}/r$ 的变化没有引起 R_q 的变化,故反射率 R 值基本不变。而图 3 中两条曲线的差别是由于紫铜的反射率系数在 $\lambda=2.4\mu\text{m}$ 时高于硬铝所致。

5 反射率与粗糙度、波度之间的关系

为了搞清 PCD 刀具加工的镜面反射率与表面粗糙度、波度之间的关系,本文对紫铜试件进行了研究。波度实质上是一种低频粗糙度,可以用 Form Talysurf 轮廓仪的低通滤波器限制高频粗糙度成份通过,而获得波度的轮廓特性参数。我们就是在 Form Talysurf 表面量仪上测量了一些不同反射率试件的粗糙度值 R_q 及波度值 WR_q , 结果示于图 4。由之可见:

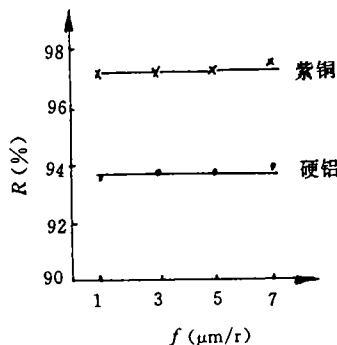


图 3 反射率与进给量的关系

(1) 随着 R_q 的减小 R 值增大,故知 PCD 刀具加工的镜面符合 Debye—Waller 公式的规律。

(2) 随着反射率 R 的变化(由 94.90% 增大到 97.44%)波度的轮廓均方根偏差 WR_q 的变化范围是 $0.008\sim 0.010\mu\text{m}$ (其轮廓均方根波长 $W\lambda_q$ 的变动范围是 $219.128\sim 447.905\mu\text{m}$) 几乎无什么变化,而粗糙度的轮廓均方根偏差 R_q 值相应的变化较大,为 $0.012\sim 0.0254\mu\text{m}$ (其轮廓均方根波长 λ_q 的变动范围是 $2.753\sim 3.620\mu\text{m}$)。也就是说在本文实验范围内,表面粗糙度比波度对反射率的影响大,即反射率的增减主要是由粗糙度决定的。

6 结 论

(1) PCD 刀具与 SPD 刀具相比有许多优越性。但是,多年来人们一直认为 PCD 刀具不能进入镜面超精密切削领域,故也无人研究其表反射率。本文首先在实现了 PCD 刀具加工出镜面,即加工出 $Ra \leq 0.01\mu\text{m}$ 的超精密表面的前提下研究了其表面反射率。

(2) PCD 刀具加工的表面反射率可稳定的达到 90% 以上,颗粒越粗越接近于 SPD 加工的镜面。本文用粗颗粒的 PCD 刀具加工紫铜的表面反射率可达 95% 以上。

(3) 在一定范围内由于进给时 f 不会引起粗糙度的变化,故 f 对反射率的影响很小,这就增大了选择进给量的自由度,对提高效率十分有利。

(4) 关于粗糙度与波度两者对反射率的影响作用有不同观点^{[3][4]}。本文实验中粗糙度起主导作用。

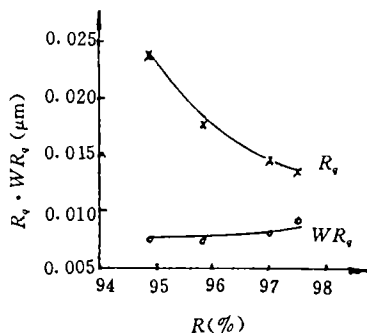


图 4 反射率与粗糙度、波度的关系

参 考 文 献

- [1] 刘淑敏, 超精密切削的技术经济效益及适用范围. 航空精密制造技术, 1991 (2): 18—20
- [2] 王立江, 王玉兴等, A Study on mirror turning with multipoint diamond cutting tool. 自然科学进展 (外文版), 1992 (2): 151—156
- [3] 滕霖、任敬心, 超高反射度的激光反射镜制造中的波度. 航空精密制造技术, 1992 (6): 6—8
- [4] 曹麟祥, 林谦等, 用光探测器测量激光陀螺反射镜的前后向散射. 航空精密制造技术, 1993 (5): 8—11

**Advantage of Synthetic Polycrystalline
Diamond (PCD) Tools and Reflectance of Mirror Turning with PCD**

Wang Lijiang , Feng Huifang
(*Depa. of Mechanical Engineering,
Jilin University of Technology, Changchun 130025*)
Han Rongjiu , Ma Wensheng
(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun130021*)

Abstract

This Paper deals with the experimental research about the possibility of the mirror surface turning with PCD tools and the law of reflectance on the mirror surface.

Key Words: Polycrystalline diamond, Mirror surface, Reflectance