

铜、铝合金镜面切削加工的表面质量

黄 辉 张学军 马文生

摘要 研究了天然单晶金刚石刀具对铜、铝合金进行超精切削加工时,材料的组织、性能与残余应力对表面质量如反射率、面形、显微粗糙度等的影响,并就优化表面特性和加工工序进行了探讨。

关键词: 铜、铝合金;超精加工;金刚石刀具;表面质量

一、前 言

制作大规格和超大规格集成电路、金属反射镜和光学元件时,均需要进行超精度加工,其精度要达到微米或毫微米级。以电子计算机用磁盘的信息高密度化,大型激光器用反射镜的长寿命化为代表,各个工业领域对改善加工表面质量的要求正在不断地提高^[1,2]。

有各种方法可以用来定性和定量地测定金刚石刀具切削加工工作表面的质量,特别是表面的显微粗糙度和残余应力被用来作为工件表面质量的主要评价因素。表面加工质量,直接影响到反射镜的可用性和磁盘的存贮容量。而表面粗糙度和残余应力大小又取决于机械加工过程中工件的状态与切削条件^[1,3]。

根据上述各点,本文研究了在各种机械加工与热处理条件下,单晶金刚石刀具切削条件对工件表面层显微粗糙度和残余应力的影响。

二、试 验 条 件

采用单晶金刚石车刀加工平面。刀具的参数如下:前角 0° 、后角 5° 、刀尖半径 $1\mu\text{m}$ 。

加工对象是制作金属反射镜常用的铝、铜及其合金(LF₅、LD₂、LC₄、LY₁₂、H₆₂、UT₂),其尺寸为直径50mm,厚度25mm。

切削试验使用MSG-325型双轴数控金刚石车床,切削从外周向中心进行。切削用量(除作特殊说明以外) $n = 100(\text{rpm})$, $f = 0.05(\mu\text{m}r^{-1})$, $a_p = 10(\mu\text{m})$

利用MSF-2M X射线应力仪定点测定镜面切削前后残余应力值。在HSS-2 X扫描电镜上对镜面组织进行了观察与照相。利用Form Talysurf测定显微粗糙度。

三、试验结果与分析

1. 工件热处理状态对镜面切削表面质量的影响

以Al-Cu-Mg系(LY₁₂)合金为代表,测定不同热处理状态工件在相同机械加工条件下的表面粗糙度与残余应力值,其结果如表1所示。

表1 LY₁₂合金工件的状态与镜面切削质量

样 品 号	状 态	硬度(HB)	表面粗糙度(μm)		残余应力 MPa
			$\frac{R_a}{R_t}$	$\frac{R_z}{R_t}$	
8901	水淬 单级时效	183	$\frac{0.008}{0.059}$		-55.7
8902	聚合物淬 单级时效	175	$\frac{0.009}{0.093}$		-83.6
8903	水淬 双级时效	168	$\frac{0.007}{0.063}$		-24.4
8904	聚合物淬 双级时效	152	$\frac{0.006}{0.053}$		-35.2

由表1的结果可以看出,工件的热处理状态对镜面切削表面质量有较明显的影响。采用双级时效工艺使工件的硬度比单级时效时低,但前者工件经镜面切削加工之后的表面粗糙度与残余应力值都低,这说明表面质量较好。

2. 工件晶粒大小对镜面加工表面质量的影响

将LD₂合金工件采用不同的热处理工艺形成不同的晶粒尺寸,经相同的机械加工之后,检查其表面质量,结果如表2。

表2 LD₂合金工件晶粒尺寸与镜面切削质量

样 品 号	晶粒尺寸(μm)	硬度(HB)	粗糙度(μm)		残余应力(MPa)
			$\frac{R_a}{R_t}$	$\frac{R_z}{R_t}$	
8905	250	94	$\frac{0.008}{0.091}$		-175.9
8906	150	94	$\frac{0.008}{0.070}$		-138.2

由表2结果可以看出工件本身由于热处理状态不相同所造成的材料具有晶粒尺寸不相同,在镜面切削加工之后其表面质量不同,晶粒小者表面质量较好。

3. 金刚石车刀镜面切削参数对工件表面质量的影响

用H₅₂黄铜加工的反射镜,采用不同的切削深度,其表面质量结果示于表3。由表3可以看出,当切削深度小时表面质量较好,随着切削深度加大,其表面质量下降。

表3 H₅₂黄铜工件切削参数与表面质量

样 品 号	切削参数 a_p (μm)	粗糙度(μm)		残余应力(MPa)
		$\frac{R_a}{R_t}$	$\frac{R_z}{R_t}$	
8907	40	$\frac{0.025}{0.191}$		-167.0
8908	20	$\frac{0.008}{0.081}$		-133.1
8906	2.5	$\frac{0.008}{0.073}$		-131.7

4. 工件的加工工艺与镜面切削表面质量

制作镜面的铝、铜及其合金其加工工艺包括毛坯的切取、粗加工、稳定化处理、预加工

和镜面加工等工序。表 4 为四种材料在不同加工状态的残余应力变化情况，应力测定均沿刀具的切削轨迹进行。

表 4 工件加工工序与镜面表面质量

样品材料	残余应力 (MPa)			粗糙度 (μm) $\frac{R_a}{R_t}$
	粗车后	稳定化处理后	镜面切削后	
LF_3	46.1	11.1	-62.3	$\frac{0.007}{0.057}$
LD_2	54.2	14.2	-44.4	$\frac{0.008}{0.041}$
UT_2	20.0	2.2	-27.1	$\frac{0.007}{0.064}$
H_{82}	18.1	33.0	-10.4	$\frac{0.008}{0.070}$

由表 4 的数据可以看出，粗加工后，表面产生大的拉应力，当进行稳定化处理之后，可使残余应力值减少到较小值，当镜面切削之后表面都为压应力。因此在加工工序中间施加稳定化处理，对消除残余应力非常有效。

5. 镜面切削表面层硬度与显微组织

无氧铜在金刚石刀具镜面切削前后的显微硬度值如表 5 所示。

表 5 UT_2 镜面切削前后的显微硬度

样品号	状态	显微硬度 HV0.05	
		镜面切削前	镜面切削后
8910	200℃ 退火	91.0	100.0
8911	300℃ 退火	91.0	109.0
8912	400℃ 退火	83	109.0
8913	500℃ 退火	79.7	89.0
8914	600℃ 退火	74.2	89.0
8915	700℃ 退火	71.9	89.0

表 5 数据反应出，在镜面切削加工前，随着退火温度升高，显微硬度下降，经金刚石车刀切削加工之后，样品的表面硬度均比切削前有所提高。这是由于金刚石刀具切削时，除切削外，同时刀刃对加工表面有连续挤压作用，使表面硬度提高。

用显微镜和电子显微镜观察镜面加工表面，可以看到晶界台阶以及晶内滑移带，如图 1 所示^[4]。

随着表面粗糙度变小，这种滑移带与粗糙度相比是不可忽视的。

铝与铜合金的晶体呈面心立方结构，(111) 是滑移面，(110) 为滑移方向。一般认为，各晶粒的方向是随机的，故滑移方向也是随机的，但在切削方向有强力作用，在该方向产生滑移，见图 1。据有关资料介绍，发生滑移的状况是随切削条件而异，在切削深度或进给量小时，容易产生滑移。



图1 UT_2 镜面切削滑移带的观察

四、结 束 语

用金刚石刀具对铝、铜合金进行镜面切削，通过试验研究了材料状况、加工条件与表面粗糙度和镜面特性的关系，得出的结果如下：

1. 工件的状态是影响表面特性的重要因素，在镜面切削前，施加稳定化处理，有利于提高工件表面质量。
2. 金刚石刀具切削深度愈深，表面残余应力愈大。
3. 镜面加工后，被加工材料表面的晶间产生了滑移带。
4. 金刚石刀具切削后，表面产生压应力，并使表面显微硬度增加。

参 考 文 献

- [1] 菅野健，後藤崇之，吉田嘉太郎；三菱重工技报，1988(3) 111~113
- [2] 王祝堂等；《铝合金及其加工手册》，中南工业大学出版社，1989年 934~935
- [3] Casstevens J.M. Daugherty C.E.; SPIE, Precision Machining of Optics, 1978 (159)109~110
- [4] 王秀文、张学军、马文生；光学机械，1992.No1.90~94

The Diamond Turning of Copper and Aluminum Alloys and the Surface Quality

Huang Hui, Zhang Xuejun and Ma Wensheng

Abstract

In this paper, the copper and aluminum alloys are ultraprecisely machined by the single point diamond tool. The factors, incl-

uding structure and property of the materials and the surface residual stress which affect the surface quality, such as the reflectivity, form accuracy and the surface micro-roughness, are studied. The optimization of the surface character and the processing are also discussed.

Key words: Copper and Aluminum Alloys, Ultraprecision Machining, Diamond Tool, Surface Quality