

# 无氧铜超精切削表面质量的研究

王秀文 张学军 马文生

(应用光学国家重点实验室)

**摘要:** 研究了采用天然单晶金刚石刀具对无氧铜进行超精切削加工中, 材料的组织、性能对超精加工表面质量的影响, 并就优化被加工面表面特性进行了探讨。

**关键词:** 无氧铜; 超精加工; 金刚石刀具; 表面质量

## 一、前言

超精加工作为现代加工工艺手段, 得到了越来越广泛的应用。加工所能达到的加工精度和表面质量, 已为光学界所普遍接受。例如, 天体望远镜的主镜, 为提高图像的清晰度, 其表面粗糙度要求达到波长的数百分之一, 为避免图像模糊或产生干涉条纹, 必须进行极高精度的加工<sup>[1]</sup>。

目前, 金属材质的光学反射镜在红外器件和激光系统中得到了广泛的应用, 其中无氧铜 (OFHC) 是单点金刚石超精切削经常使用的材料, 该材料具有良好的导电、导热性, 超精切削后具有较高的反射率, 所以应用广泛。

金属反射镜的重要性能—反射率, 与其表面质量例如表面粗糙度、面形精度、金属材料的组织与性能等诸因素均有关系。由于用单晶金刚石车刀进行超精加工时切削用量很小, 切削通常是在晶粒内部进行, 因此材料的微观性质如晶界、位错及晶粒尺寸等因素对超精加工表面质量的影响很大<sup>[2]</sup>。

本文研究了用天然单晶金刚石车刀对无氧铜进行镜面切削时加工工艺、材料组织与性能对加工表面质量的影响。

## 二、材料及试验方法

本文所用材料为热轧状态无氧铜。为了形成不同原始组织状态, 将样品分成三组, 其中一组为热轧状态; 另外两组分别为冷变形与再结晶退火及退火状态。采用天然单晶金刚石车刀在MSG-325双轴数控金刚石超精加工车床上进行镜面切削。刀具各种参数为前角 $-20^\circ$ , 后角 $6^\circ$ , 刃口半径为 $0.7\mu\text{m}$ 。所有样品的进刀次数均为四次, 总切削深度为 $0.03\text{mm}$ 。

全部样品在镜面切削之后测定反射率、面形精度与表面粗糙度。在HSS-2X扫描电镜上对镜面组织进行了观察与拍照, 测定了镜面切削前后的晶粒尺寸与显微硬度。

## 三、试验结果与分析

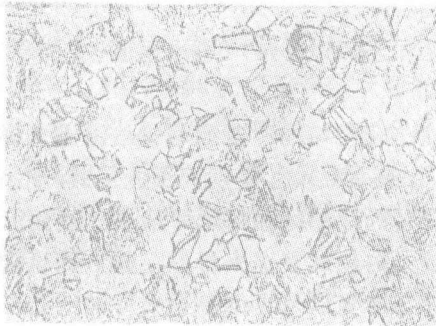
### 1. 晶粒形态与显微硬度

对三组13种状态的无氧铜样品在金刚石车刀超精切削前后的晶粒尺寸及显微硬度进行了

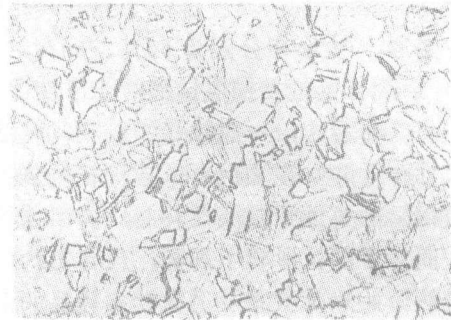
测定, 其结果列于表 1 中。由表 1 可以看出, 冷变形与再结晶退火的样品随着变形率增加, 晶粒尺寸变小, 当变形率为 60% 时达最小。当变形率为 80% 时, 由于变形强烈, 变形织构经再结晶消失的同时, 伴随着形成了粗大晶粒<sup>[2]</sup>。热轧状态及经不同温度退火之后, 晶粒尺寸都比冷变形与再结晶的小, 但前者的晶粒尺寸不均匀程度明显高于后者, 后者的晶粒形态呈等轴状, 见图 1。

表 1 无氧铜晶粒尺寸及显微硬度

试样号	状 态			晶 粒 尺 寸 ( $\mu\text{m}$ )	显微硬度 HV 0.05	
					超精切削前	超精切削后
108	冷变形与再 结晶退火	冷变形的变 形率	8%	33	93	98
120			20%	28	93	103
130			30%	28	98	100
140			40%	25	103	125
160			60%	23	109	125
180			80%	35	89	109
200	热轧			23	93	127
220	退火	退火温度	210℃	25	91	100
230			230℃	22	91	109
240			240℃	23	83	109
250			250℃	25	79.7	89
260			260℃	23	74.2	89
270			270℃	26	71.9	89



(a) 200 试样



(b) 260 试样



(c) 160 试样

图 1 无氧铜不同状态金相组织 × 200

从表 1 所列显微硬度数据可以看出, 在超精切削加工前, 冷变形与再结晶状态随着变形率增加 (变形率 80% 除外), 显微硬度升高; 退火状态随着退火温度升高, 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。这证明了金刚石刀具在切削时, 除进行切削外, 同时刀刃对加工表面有连续挤压作用<sup>[4]</sup>, 使表面硬度提高。

2. 表面质量及微观组织

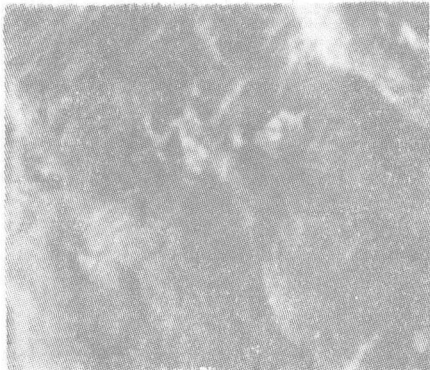
上述各种状态的样品在超精切削加工之后对其表面粗糙度、面形精度及部分样品的反射率进行了测定, 其测定结果列于表 2。

表 2 无氧铜的表面粗糙度、面形精度及反射率

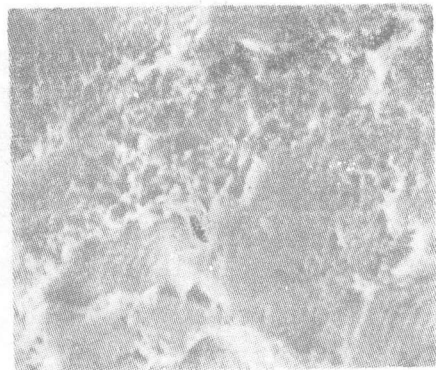
试 样 号	表面粗糙度 $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	面 形 精 度 ( $\mu\text{m}$ )	反 射 率 %
108	0.011	0.145	
120	0.009	0.098	
130	0.007	0.129	
140	0.007	0.029	
160	0.006	0.041	99.62
180	0.008	0.071	99.32
200	0.008	0.075	99.30
220	0.010	0.067	
230	0.008	0.278	
240	0.007	0.078	
250	0.007	0.133	
260	0.010	0.039	98.44
270	0.013	0.076	99.84

冷变形 (变形率分别为 60%、80%) 与再结晶退火及退火 (退火温度分别为 400°C、600°C) 后的样品的扫描电镜照片示于图 2 中。

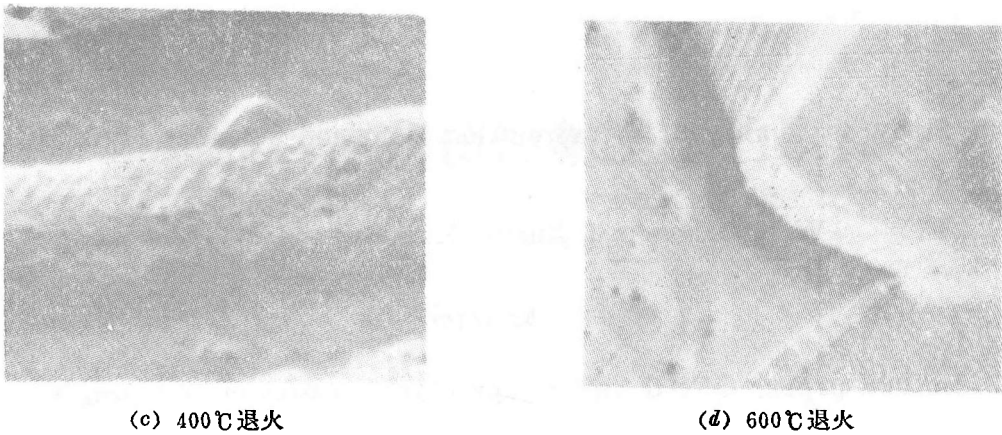
由表 2 可看出, 对晶粒呈等轴状, 且晶粒尺寸比较均匀的冷变形与再结晶退火样品, 当晶粒尺寸小于  $5\mu\text{m}$  左右时, 其表面粗糙度差别不大; 当晶粒尺寸差别大于此值时, 细晶粒样品的表面粗糙度要低于粗晶粒样品, 其中变形率为 60% 的样品的晶粒尺寸最小, 表面粗糙度值最低。而对于晶粒形状不规则, 尺寸不均匀程度较大的热轧及退火样品, 其表面粗糙度均较大。虽然原始热轧状态及退火状态样品的晶粒尺寸与冷变形及再结晶退火样品的晶粒尺寸相



(a) 冷变形 (变形率 60%) 再结晶退火



(b) 冷变形 (变形率 80%) 再结晶退火



(c) 400℃退火

(d) 600℃退火

图 2 无氧铜镜面组织的扫描电镜照片 ×2000

同,甚至更细,但在相同切削条件下,经金刚石车刀切削加工后,前者的表面粗糙度却高于后者。这是由于热轧与退火状态样品晶粒不均匀程度明显大于冷变形与再结晶退火样品而形成的。超精切削理论认为<sup>[3]</sup>,切削多晶体材料时,其晶粒具有各向异性,而晶粒的布局又是随机的,工件表面各晶界之间弹性模数不同,其数值可相差(5~20)%,在切削力作用下,表面的弹性变形也有差异,在各晶粒的边界就会产生微小高度差,影响加工表面质量<sup>[4]</sup>。如果晶粒不均匀性程度愈大,那么其晶界的弹性模数相差也愈大,切削后各晶粒边界的高度差也愈大,即使晶粒很细,切削表面质量也不会提高。

在表 2 中的面形精度是指平面度,对于光学零件来说,面形精度越高,聚焦精度也愈高。在MSG-325机床上车削出的零件的面形精度可达两个光圈(0.5 $\mu\text{m}$ )以上。从面形精度看,变形率为60%、40%并再结晶退火及600℃退火之后样品面形精度较好。对几个样品进行了反射率测定,反射率随表面粗糙度的降低而升高。表 2 中冷变形为60%再结晶退火后的反射率最高,因为其表面粗糙度最低所致。

图 2 给出了四种不同状态无氧铜试样的表面形貌。可以看出,就我们的试件而论,不论那种状态,其晶界上都不存在缺陷,也不存在杂质和析出物。超精切削理论认为材料缺陷引起的气孔是形成精整表面波纹的重要因素,其表面质量同时受晶界缺陷、析出物影响。由此可以看出,金刚石刀具切削无氧铜这种高纯度材料时,可不必考虑晶界缺陷、夹杂物等对加工表面质量的影响。

## 四、结 论

1. 无氧铜在冷变形与再结晶退火之后,采用天然金刚石车刀切削可获得表面粗糙度低、面形精度高、反射率高的镜面。变形率为60%效果最佳。
2. 晶粒不均匀程度的大小对金刚石切削后的表面质量影响很大,不均匀程度愈大,表面粗糙度愈大。

### 参 考 文 献

- [1] 菅野健、後藤崇之、吉田嘉太郎;アルミ合金の镜面切削加工,三菱重工技报,1988,3,111
- [2] 胡庚祥等;《金属学》,上海科学出版社,1980,320
- [3] 宁德初等;《精密机床动态检测与精度控制论文选集》国防科技大学,1987
- [4] 吴永孝;《超精密切削加工技术》哈尔滨工业大学出版社,1983,8

## Study on Quality of Ultraprecision Machined Surface of OFHC

Wang Xiuwen, Zhang Xuejun and Ma Wensheng

### Abstract

In this paper, OFHC is ultraprecisely machined by single point diamond tool. Factors including structure and property of material, which affect surface quality such as the reflection, figure accuracy and surface micro-roughness are studied. The optimization of surface character is also discussed.

Key Words: OFHC, Ultraprecision machined, Diamond tool, Surface quality