

# 超精加工方法和应用

郑文虎, 马骁骅

中车北京南口机械有限公司 北京 102202

**摘要:** 详细介绍了超精加工的原理和方法。通过对油石、工艺参数和切削液的正确选择, 快速降低加工表面的表面粗糙度值, 消除磨削缺陷, 提高工件使用寿命。

**关键词:** 超精加工; 工作原理; 油石; 工艺参数; 切削液

## 1 序言

超精加工是一种对工件表面光整和精整的加工方法。它可以在很短的时间内, 将工件从一般磨削后的表面粗糙度值 $Ra=0.2\sim0.4\mu\text{m}$ , 降低到 $Ra=0.012\sim0.050\mu\text{m}$ , 消除磨削中的缺陷和变质层, 使工件的使用寿命提高几倍, 因而广泛应用于各种材料和精密零件的最终加工中。

## 2 超精加工的原理和特点

### 2.1 超精加工的原理

超精加工是采用磨料为微粉的油石, 在一定的压力作用下, 以短行程的往复运动, 对工件表面进行微量磨削, 如图1所示, 其中 $F$ 为压力,  $A$ 为油石振幅,  $v_c$ 为工件速度,  $v_f$ 为纵向进给速度。

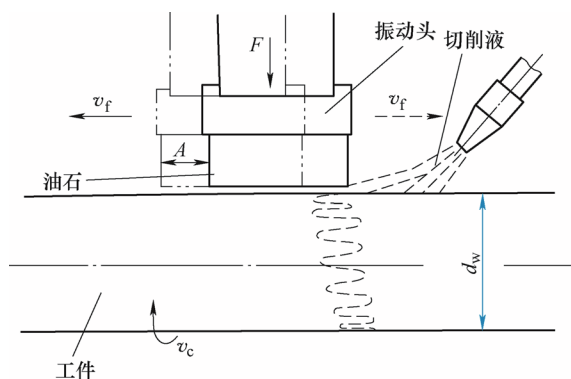


图1 超精加工工作原理

超精加工广泛应用于内燃机曲轴、凸轮轴、刀具、轧辊、轴承滚道和滚子、精密量具及电子仪器等精密零件的加工, 能对钢、铸铁、磷青铜、铝、玻璃、花岗岩、硅和锗等材料进行加工, 能加工外

圆、内圆、平面、球面、圆弧面和特殊轮廓面。

### 2.2 超精加工的特点

与磨削加工相比, 超精加工具有以下特点: ①超精加工能显著提高工件表面质量, 可使工件的使用寿命提高5倍左右。②超精加工后的工件在装配运转后噪声大幅减小, 振动减小, 运转平稳。③磨削加工去除余量为 $0.01\text{mm}$ 左右, 而超精加工去除余量为 $0.001\text{mm}$ 以下, 尺寸分散度小且稳定。④磨削加工的工件表面有微观尖峰, 加工纹理为直纹(见图2a), 当工件运转时, 难存润滑油, 还会产生烧伤。而超精加工表面没有尖峰, 加工纹理为交叉网纹(见图2b), 易存润滑油和形成润滑膜, 工件不易磨损。⑤超精加工时间短, 只需几秒到十几秒, 加工效率是高精度镜面磨削的几十倍。⑥超精加工所用设备简单, 易于实现自动化和标准化, 表面粗糙度值 $Ra$ 可达 $0.006\sim0.05\mu\text{m}$ 。

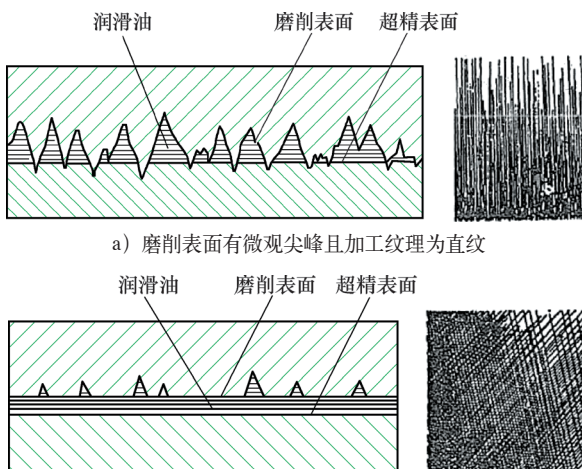


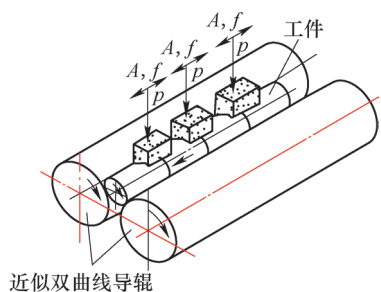
图2 磨削表面与超精加工表面的比较

### 3 超精加工方法

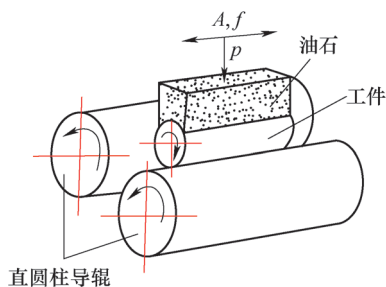
超精加工各种工件内外表面，工件在夹具中的定心方式可分为无定心和有定心两种。根据进给方式可分为轴向进给、切入进给和圆周进给。

#### 3.1 超精加工外圆

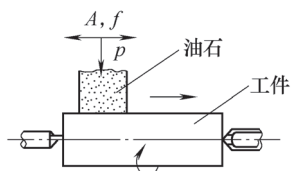
图3a所示为加工小直径圆柱体外圆，工件在导辊上旋转并做轴向进给运动，导辊近似双曲线体且较长，无级变速传动。图3b所示也是加工圆柱体外圆，工件在圆柱导辊上旋转，无轴向进给，可加工阶梯轴和大直径工件。图3c、3d所示分别为采用轴向进给和双顶尖定位，加工较长、直径较大的圆柱体和圆锥体工件。



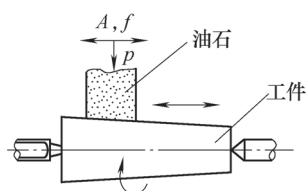
a) 小直径圆柱体外圆加工



b) 圆柱体外圆加工



c) 大直径长圆柱体外圆加工

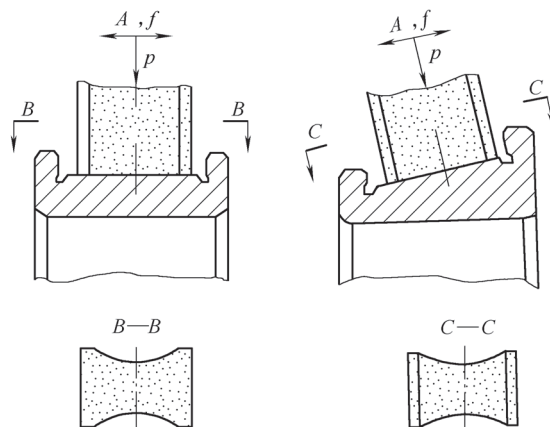


d) 圆锥体外圆加工

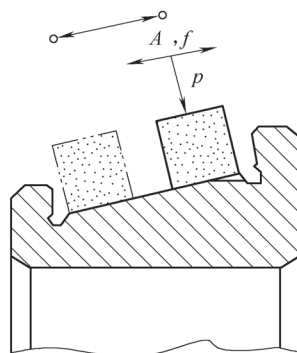
图3 超精加工外圆

#### 3.2 超精加工轴承滚道

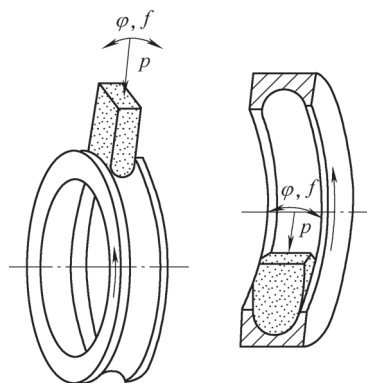
图4a所示为采用切入式加工轴承内环滚道，工件采用有心和无心夹具夹持。为了使滚道中部截面呈微凸 $1 \sim 4 \mu\text{m}$ ，把油石修成中凹形状。图4b所示为采用轴向进给、两端停留来加工大型轴承凸形圆锥滚道。为了使油石在两端略做停留，一般超精头采用凸轮机构。图4c所示为加工轴承球形滚珠滚道，工件用有心或无心夹具夹持，工件旋转，油石摆动并加压。图4中 $f$ 为油石振动频率， $A$ 为振幅， $p$ 为油石压力。



a) 轴承内环滚道加工



b) 大型轴承凸形圆锥滚道加工



c) 轴承球形滚珠滚道加工

图4 超精加工轴承滚道

### 3.3 超精加工球面

如图5所示,超精加工球面时,油石和工件旋转,油石在旋转中摆动。为了便于冷却和润滑,在油石工作面开有窄槽。

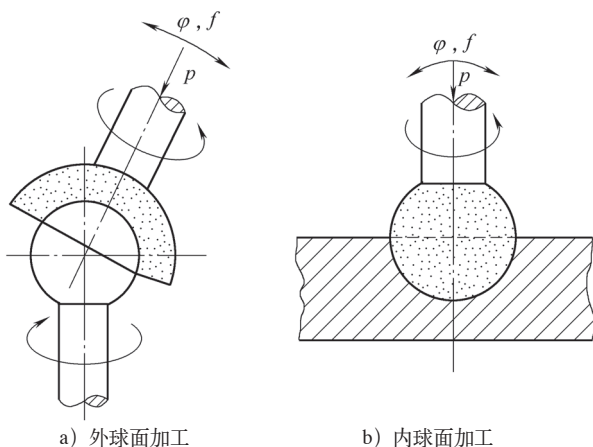


图5 超精加工球面

### 3.4 超精加工平面

图6a所示为超精加工矩形平面,根据工件宽度和长度,可采用切入式或轴向进给式加工。图6b所示为超精加工圆形平面,工件旋转,油石振动,油石的长度必须超过工件半径,而且偏离工件中心。图6c所示为采用圆柱油石超精加工环形平面,工件旋转,油石除旋转外还做径向振动。图6d所示为超精加工滚轮端面,因在径向方向各点切削速度不同,为了达到相同的磨除量,应把油石做成外缘窄、内缘宽的形状。

要实现超精加工,除工件的合理运动外,就是依靠油石在超精头上的振动。可实现振动的机构很多,常用的有气动振动超精头和机械振动超精头,其振动频率 $f$ 可达1000~3000次/min,振动行程 $A$ 为1~6mm。

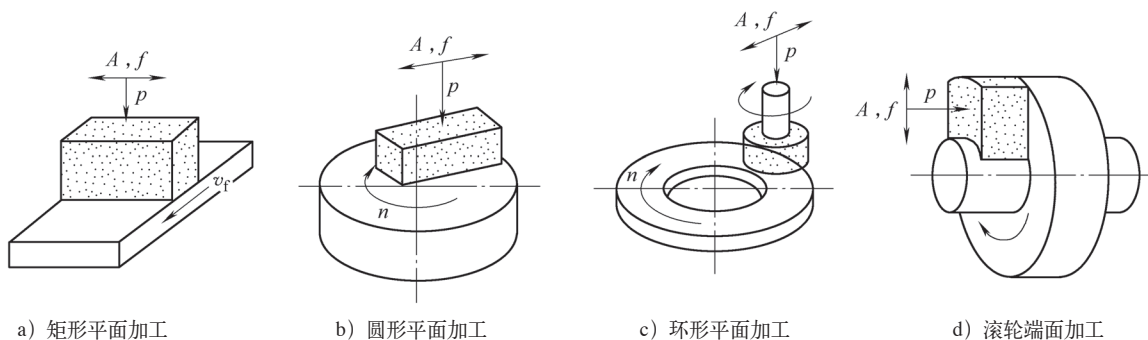


图6 超精加工平面

## 4 超精油石的选择

超精加工用的油石与一般油石不同,要求油石粒度和硬度均匀、稳定,自锐性好。

(1) 油石磨料 白刚玉(WA)常用于粗超精加工及半超精加工抗拉强度较高的碳钢、合金钢、工具钢和淬火钢;绿碳化硅(GC)常用于精超精加工硬脆材料,如硬质合金、铸铁、有色金属、玻璃和玛瑙等;立方碳化硅(SC)的脆性比碳化硅低,性能比碳化硅优越,可代替碳化硅用于超精加工;人造金刚石(D)主要用于硬质合金、玻璃、陶瓷、半导体和石材等硬度较高的材料加工;立方碳化硼(CBN)的脆性比碳化硅低,硬度仅次于金刚石,比较锋利,超精加工时发热量少,加工效率高,油石寿命长,主要用于难加工材料,用于一般材料也很好;氧化铬硬度低,切削性能弱,但光整性能好,主要用于要求表面粗糙度值极低的表面。

(2) 油石粒度 磨料粒度是根据工件表面粗糙度值和加工效率要求来选择的。超精油石的粒度一般为W5~W28。工件表面粗糙度值的大小与磨料粒度大小成正比,粒度粗则加工效率高,反之则低。粒度为W20~W28时,表面粗糙度值 $Ra$ 可达0.1~0.2  $\mu\text{m}$ ;粒度为W5~W10时,表面粗糙度值 $Ra$ 可达0.012~0.025  $\mu\text{m}$ 。

(3) 油石结合剂 常用的油石结合剂有树脂或石墨。

(4) 油石的硬度 当工件材料硬,油石与工件接触面积大时,油石应软一些,反之则硬一些。一般油石的硬度为30~100HRH。

(5) 油石的组织 超精油石应选用9~12号疏松组织。油石的气孔率宜为43%~49%,以便容纳切屑、脏物和润滑油。

(6) 油石的处理 超精油石在烧结后必须经过处理,以达到自锐、耐用和润滑的目的。处理时渗蜡、硬脂酸或硫磺,方法是将其一种加热熔化,把油石放入其中一定的时间,取出冷却即可。当油石硬度过高、自锐性差时,可将油石放入3%氢氧化钾溶液中煮一定时间,使油石硬度下降到所需值后,放入流动热水漂洗,清除氢氧化钾后,再用清水煮1~2h,即可使用。

## 5 超精加工工艺参数

(1) 超精加工余量 在保证前工序缺陷能去除的基础上,余量越小越好。前工序表面粗糙度值 $R_a$ 达到 $0.8\mu\text{m}$ 时,在直径上的余量为 $0.01\sim 0.02\text{mm}$ ;前工序表面粗糙度值 $R_a$ 达到 $0.2\sim 0.4\mu\text{m}$ 时,取余量为 $0.003\sim 0.01\text{mm}$ 。

(2) 油石压力 一般取 $20\sim 30\text{MPa}$ 。粗超精加工取大值,精超精加工取小值。

(3) 纵向进给速度 一般 $<7\text{m/min}$ ,短件为 $1.0\sim 1.5\text{m/min}$ 。

(4) 油石振动频率 $f$ 和振幅 $A$  一般振动频率 $f=300\sim 3000\text{次/min}$ ,振幅 $A=1\sim 6\text{mm}$ 。

(5) 工件速度 粗超精加工时 $v_c=4\sim 15\text{m/min}$ ,精超精加工时 $v_c=15\sim 30\text{m/min}$ 。

## 6 超精加工用切削液

超精加工应采用切削液,并要求黏度低一些,以利于清洗、润滑和排除切屑。一般采用80%煤油+20%机械油。还可以采用含S、P、Cl极压添加剂的油类切削液。精加工铝和轴承钢时,也可以全部采用煤油。切削液必须经过严格过滤,以保持清洁。

## 7 结束语

实践证明,超精加工是一种快捷有效的光整加工方法,运用面广,实用性强。可用于磨削后的工件表面和各种精密零件内外表面的最终加工。本文介绍了超精加工的原理和方法,正确选择油石、工艺参数和切削液,可快速消除磨削缺陷,降低表面粗糙度值,并使超精加工后的工件表面形成有利于存留润滑液的网状纹理,提高使用寿命。

### 参考文献:

- [1] 于启勋,陈壁光.金属切削理论与实践[M].北京:北京出版社,1985.

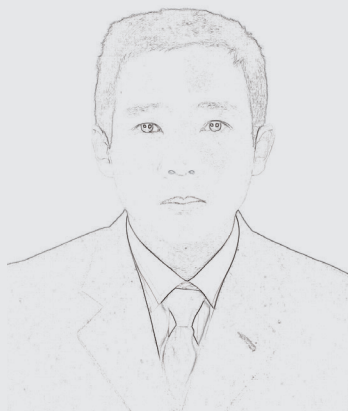
- [2] 郑文虎.精密切削与光整加工技术[M].北京:国防工业出版社,2006.

- [3] 庞滔,郭大春,庞楠.超精密加工技术[M].北京:国防工业出版社,2000.

- [4] 李洪.机械加工工艺手册[M].北京:北京出版社,1990.

MW 20201102

## 专家点评



超精加工广泛应用于各种精密零件的最终加工。作者详细介绍了超精加工的原理和特点,以及超精加工各种工件内外表面的运动形式和操作方法,通过对油石、工艺参数和切削液的正确选择,快速降低加工表面的表面粗糙度值,提高工件的使用寿命。

作者具有丰富的实践加工经验,善于观察超精加工中的每一个细节,文章非常具有说服力。

“金属加工”汇聚新闻、技术、产品与市场等内容,纸媒、数字媒体、活动、图书与服务五位一体,是该领域一流的信息服务平台和推广服务平台。

更多信息和专题技术  
早知道 请扫描



media.mw1950.com