

超硬刀具的发展与应用

超硬刀具主要包括金刚石刀具和立方氮化硼刀具，其中以造金刚石复合片(PCD)刀具及立方氮化硼复合片(PCBN)刀具占主导地位。随着现代制造业（尤其汽车制造业）的快速发展，超硬刀具的生产及应用也逐年快速增。至 1997 年，PCD 刀具年销售额已达 2.3 亿美元，PCBN 刀具年销售额为 1.7 亿美元。

近年来，随着 CNC 加工技术的迅猛发展以及数控机床的普遍使用，可实现高效率、高稳定性、长寿命加工的超硬刀具的应用也日渐普及，同时引入了许多先进的切削加工概念，如高速切削、硬态加工、高稳定性加工、以车代磨、干式切削等。超硬刀具已成为现代切削加工中不可缺少的重要手段。

1. 超硬刀具的主要品种及特点

(1) PCD 金属切削刀具

PCD 金属切削刀具可利用 PCD 材料的高硬度、高耐磨性、高导热性及低摩擦系数实现有色金属及耐磨非金属材料的高精度、高效率、高稳定性和高表面光洁度加工。此类刀具从结构上主要可分为焊接式 PCD 刀具和可转位式 PCD 刀片。

(2) PCD 木工刀具

PCD 木工刀具主要可分为 PCD 锯片和 PCD 成形木工铣刀两大类。PCD 锯片是将 PCD 刀坯焊接

在锯片基体上再经刃磨后形成，其结构与硬质合金锯片类似，不同之处是 PCD 锯片的前角较硬质合金锯片小，一般为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ ，楔角为 $65^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ，锯片规格一般为 $\phi 100-450\text{mm}$ ，锯齿数可多 3. 72 齿。

PCBN 金属切削刀具

PCBN 金属切削刀具也可分为焊接式 PCBN 刀具和可转位式 PCBN 刀片两类。

2. 超硬刀具专用机床的类型及特点

用于加工超硬刀具的专用机床主要有以下三类：

(1) PCD 刀具刃磨机床此类机床以瑞士 Ewag 公司的 RS 系列磨刀机为代表，该刃磨机床可利用陶瓷结合剂金刚石砂轮的锋利性和一定的磨削压力实现对 PCD、PCBN 及天然金刚石刀具的刃磨，其特点是机床刚性好，带有投影测量装置，是目前国外应用最广泛的超硬刀具专用刃磨设备。与

此类似的产品还有日本大阪金刚石公司、英国 CoBom 公司等制造的 PCD 刀具刃磨机。目前, PCD 刀具刃磨技术不断改进, 如将以弹簧产生的恒压力改为气动压力, 并可在 0~300N 范围内调整, 以适应不同的磨削对象。为便于控制磨削尺寸, 刃磨机上的刻度均带有数显装置。台湾远山公司将原刃磨机上的投影屏等光学装置改为高精度摄像系统, 配以精密的测量刻度, 可在监视器上显示、控制磨削尺寸, 可实现不停机在线测量, 摄像机放大倍数从 15~120 倍可调, 可研磨出 R0.05mm 的刃尖圆弧。

(2) 数控电火花 PCB 刀具成形机床此类设备以德国 Vollmer 公司的 QWD 系列机床为代表。该机床采用电火花线切割加工 PCD、PCBN 刀具, 由于采用了先进的数控系统, 加工出的多刃刀具的跳动可控制在 0.001mm, 刀具表面粗糙度可达 Ra0.4 μ m。该机床有六个数控轴、两个手动轴, 特别适合带柄阶梯钻、铣刀、锯片等多刃刀具的加工, 一次输入程序即可切割出阶梯刀具、曲线刀具的刃、背、内折线等几何形状, 自动化程度及加工精度均很高。不足之处是切割表面粗糙度稍逊于磨削表面, 此外机床价格较为昂贵。

(3) 超精金刚石刀具研磨机该设备可对航空航天、军工等行业用的超精加工直线刃金刚石刀具进行研磨, 刀具表面粗糙度 Ra \leq 0.01 μ m, 刀具刃口半径 r \leq 0.1 μ m。该设备采用空气静压主轴, 精度 0.1~0.2 μ m, 研磨盘端面跳动 0.1~0.2 μ m/ ϕ 300mm。

3. 超硬刀具的典型应用

(1) 硬态加工, 以车代磨

由于 PCBN 刀具具有极高的硬度及红硬性, 可使被加工的高硬度零件获得良好的表面粗糙度, 所以采用 PCBN 刀具车削淬硬钢可实现“以车代磨”。应用实例如汽车、摩托车齿轮孔的加工, 此类零件材料一般为 20CrMnTi, 渗碳淬火, 表面硬度为 60~62HRC, 齿轮孔精度为 IT6, 表面粗糙度 Ra \leq 0.8 μ m。传统加工工艺为: 机加工->热处理->磨削。采用超硬刀具“以车代磨”的加工工艺为: 粗加工->热处理->精加工。新工艺可大幅度提高加工效率, 降低加工成本, 原采用磨削工艺一班仅能加工 100 个小齿轮, 现采用 PCBN 刀具车削(切削数 V=60~120m/min, f \leq 0.12mm/r, ap \leq 0.1mm, 一班能加工 400 个小齿轮, 此外, 分摊到每个齿轮的加工成本也有所下降。

(2) 高速切削, 高稳定性加工

在汽车发动机生产线上, 灰铸铁缸体缸孔精加工是关键工序之一, 要求缸孔加工尺寸精度高、表面粗糙度值小、稳定性好; 由于生产线加工快, 要求切削速度高(通常 V \geq 500m/min), 刀具寿

命长 (加工孔数 ≥ 1000), 且倒角、止口、粗精镗等多个工位的刀片寿命应满足耐用度要求。采用 PCBN 刀具即可实现发动机缸孔的高速切削及高稳定性加工, 其典型切削参数为: $V=500\text{m/min}$, $f=0.2\sim 0.4\text{mm/r}$, $ap=0.2\sim 0.7\text{mm}$; 加工表面粗糙度 $Ra\leq 1.6\mu\text{m}$; 刀具寿命 $>1,000$ 件。

(3) 有色金属的高速、高稳定性、低粗糙度加工及镜面加工

采用 PCD 刀具加工有色金属时, 由于金刚石硬度高, 表面与金属亲合力小, 且刀具一般抛光成镜面, 不易产生积屑, 因此加工尺寸稳定性及表面质量都很好, 刀具寿命也较长。

例如, 采用 PCD 刀具加工电机整流子的紫铜换向器, 典型切削参数为: $V=300\text{m/min}$, $f=0.08\text{mm/r}$, $ap\leq 0.15\text{mm}$, 加工表面粗糙度 $Ra0.1\sim 0.2\mu\text{m}$, 刀具寿命 $>5,000$ 件, 而采用硬质合金刀具则只能

加工几件。

采用 PCD 刀具加工各种硅铝合金零件, 表面粗糙度 $Ra\leq 0.1\mu\text{m}$, 刀具寿命可达几千~几万件, 尤其适合汽车、摩托车零件的大规模生产。

采用单晶金刚石刀具, 在超精密车床上可实现镜面球形加工。机床采用超精密气体静压主轴及回转工作台, 跳动量 $\leq 0.3\mu\text{m}$, 工件采用高精度气动卡盘, 可实现快速高精度定位。加工无氧铜材料时, 表面粗糙度 $Ra\leq 0.025\mu\text{m}$, 圆度 $\leq 0.3\mu\text{m}$; 加工铝件时, 表面粗糙度 $Ra\leq 0.025\mu\text{m}$ 。

(4) 干式切削, 清洁化加工

采用 PCBN 刀具加工含硼铸铁缸套, 切削参数: $V=200\text{m/min}$, $f=0.1\text{mm/r}$, $ap=0.2\sim 1\text{mm}$, 加工表面粗糙度 $Ra\leq 1.6\mu\text{m}$, 精度 IT6, 两次刃磨间刀具寿命 >100 件, 可实现“以车代磨”。由于采用干式切削, 避免了切(磨)削液及砂轮灰对环境的污染, 切屑也可回收再利用, 符合清洁化生产要求。