

## 四大刀具材料的性能与选择

刀具材料的发展对切削技术的进步起着决定性的作用。本文介绍了切削中所使用的金刚石、聚晶立方氮化硼、陶瓷、硬质合金、高速钢等刀具材料的性能及适用范围。刀具损坏机理是刀具材料合理选用的理论基础，刀具材料与工件材料的性能匹配合理是切削刀具材料选择的关键依据，要根据刀具材料与工件材料的力学、物理和化学性能选择刀具材料，才能获得良好的切削效果。就活塞在切削加工时的刀具材料选用作了阐述。

**高速钢：**活塞加工中铣浇冒口、铣横槽及铣膨胀槽用铣刀，钻油孔用钻头等都为高速钢材料。  
**硬质合金：**YG、YD 系列硬质合金刀具被广泛应用于铝活塞加工的各个工序中，特别是活塞粗加工和半精加工工序。

**立方氮化硼：**立方氮化硼刀具被用于镶铸铁环活塞的车削铸铁环槽工序中。同时也应用于活塞立体靠模的加工中。

**金刚石：**金刚石刀具可利用金刚石材料的高硬度、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。在切削铝合金时，PCD 刀具的寿命是硬质合金刀具的几十倍甚至几百倍 ZAOCHE168.com，是目前铝活塞精密加工的理想刀具，已经应用于精车活塞环槽、精镗活塞销孔、精车活塞外圆、精车活塞顶面及精车活塞燃烧室等精加工工序中。

刀具材料性能的优劣是影响加工表面质量、切削加工效率、刀具寿命的基本因素。切削加工时，直接担负切削工作的是刀具的切削部分。刀具切削性能的好坏大多取决于构成刀具切削部分的材料、切削部分的几何参数及刀具结构的选择和设计是否合理。切削加工生产率和刀具耐用度的高低、刀具消耗和加工成本的多少、加工精度和表面质量的优劣等等，在很大程度上都取决于刀具材料的合理选择。正确选择刀具材料是设计和选用刀具的重要内容之一。

每一品种刀具材料都有其特定的加工范围，只能适用于一定的工件材料和切削速度范围。不同的刀具材料和同种刀具加工不同的工件材料时刀具寿命往往存在很大的差别，例如：加工铝活塞时，金刚石刀具的寿命是 YG 类硬质合金刀具寿命的几倍到几十倍；YG 类硬质合金刀具加工含硅量高、中、低的铝合金时其寿命也有很大的差别。所以，合理选用刀具是成功进行切削加工的关键。每一种刀具材料都有其最佳的加工对象，即存在切削刀具与加工对象的合理匹配问题。

### 1 刀具材料应具备的性能

#### 1.1 高的硬度和耐磨性

硬度是刀具材料应具备的基本特性。刀具要从工件上切下切屑，其硬度必须比工件材料的硬度大。切削金属所用刀具的切削刃硬度，一般都在 60HRC 以上。耐磨性是材料抵抗磨损的能力。一般来说，刀具材料的硬度越高，其耐磨性就越好。组织中的硬质点(碳化物、氮化物等)的硬度越高，数量越多，颗粒越小，分布越均匀，则耐磨性越好。耐磨性还与材料的化学成分、强度、显微组织及摩擦区的温度有关。可用公式表示材料的耐磨性 WR： $WR=KIC0.5E-0.8H1.43$  式中：H——材料硬度(GPa)。硬度愈高，耐磨性愈好。

KIC——材料的断裂韧性(MPa·m<sup>1/2</sup>)。KIC 愈大，则材料受应力引起的断裂愈小，耐磨性愈好。  
E——材料的弹性模量(GPa)。E 很小时，由于磨粒引起的显微应变，有助于产生较低的应力，耐磨性提高。

#### 1.2 足够的强度和韧性

要使刀具在承受很大压力，以及在切削过程经常出现的冲击和振动条件下工作，而不产生崩

刃和折断，刀具材料就必须具有足够的强度和韧性。

### 1.3 高的耐热性(热稳定性)

耐热性是衡量刀具材料切削性能的主要标志。它是指刀具材料在高温条件下保持一定的硬度、耐磨性、强度和韧性的性能。

刀具材料还应具有在高温下抗氧化的能力以及良好的抗粘结和抗扩散的能力，即刀具材料应具有良好的化学稳定性。

### 1.4 良好的热物理性能和耐热冲击性能

刀具材料的导热性愈好，切削热愈容易从切削区散走，有利于降低切削温度。

刀具在断续切削或使用切削液时，常常受到很大的热冲击(温度变化剧烈)，因而刀具内部会产生裂纹而导致断裂。刀具材料抵抗热冲击的能力可用耐热冲击系数 R 表示，R 的定义是为：

$$R = \lambda \sigma_b (1 - \mu) / E \alpha$$

式中：λ——导热系数；

σ<sub>b</sub>——抗拉强度；

μ——泊松比；

E——弹性模量；

α——热膨胀系数。

导热系数大，使热量容易散走，降低刀具表面的温度梯度；热膨胀系数小，可减少热变形；弹性模量小，可以降低因热变形而产生的交变应力的幅度；有利于材料耐热冲击性能的提高。耐热冲击性能好的刀具材料，在切削加工时可以使用切削液。

### 1.5 良好的工艺性能

为了便于刀具的制造，要求刀具材料具有良好的工艺性能，如锻造性能、热处理性能、高温塑性变形性能、磨削加工性能等。

### 1.6 经济性

经济性是刀具材料的重要指标之一，优质刀具材料虽然单件刀具成本很高，但因其使用寿命长，分摊到每个零件的成本则不一定很高。因此在选用刀具材料时要综合考虑其经济效果。

## 2 刀具材料

### 2.1 高速钢

高速钢是一种加入了较多的钨、钼、铬、钒等合金元素的高合金工具钢。高速钢具有较高的强度和韧性，并且具有一定的硬度和耐磨性。适合各类刀具的要求。高速钢刀具制造工艺简单，容易磨成锋利切削刃，因此尽管各种新型刀具材料不断出现，高速钢刀具在金属切削中仍占较大的比例。可以加工有色金属和高温合金。由于高速钢具有以上性能，活塞加工中的铣浇冒口、铣横槽及铣膨胀槽用铣刀、钻油孔用钻头 etc 刀具都为高速钢材料。

### 2.2 硬质合金

硬质合金是由难熔金属碳化物(如 WC、TiC、TaC、NbC 等)和金属粘结剂(如 Co、Ni 等)粉末经粉末冶金的方法制成。

由于硬质合金中都含有大量的金属碳化物，这些碳化物都有熔点高、硬度高、化学稳定好、热稳定性好等特点，因此，硬质合金材料的硬度、耐磨性、耐热性都很高。常用硬质合金的硬度

为 89~93HRA, 比高速钢的硬度 (83~86.6HRA) 高, 在 800~1000℃ 时尚能进行切削。在 540℃ 时, 硬质合金的硬度为 82~87HRA, 在 760℃ 时, 硬度仍能保持 77~85HRA。因此, 硬质合金的切削性能比高速钢高得多, 刀具耐用度可提高几倍到几十倍, 在耐用度相同时, 切削速度可提高 4~10 倍。

### 2.3 金刚石

金刚石是目前已知矿物材料中硬度最高、热传导性最好的物质, 与各种金属、非金属材料配对摩擦的磨损量仅为硬质合金的 1/50~1/800, 是制作切削刀具最理想的材料。然而, 天然单晶金刚石仅用于制作首饰及某些有色金属的超精密加工。刀具用人造大颗粒单晶金刚石尽管目前 De Beers 公司、住友电工等均已工业化生产, 但还没有进入大量应用阶段。

金刚石刀具的切削刃非常锋利 (这对切下极小断面的切屑是很重要的), 刃部粗糙度很小, 摩擦系数又低, 切削时不易产生积屑瘤, 加工表面质量高。加工有色金属时, 表面粗糙度可达到 Ra0.012μm, 加工精度可达到 IT5 级以上。

金刚石刀具有三种: 天然单晶金刚石刀具、整体人造聚晶金刚石刀具、金刚石复合刀具。天然金刚石刀具由于成本较高等原因, 在实际生产中应用较少。人造金刚石是通过合金触媒的作用, 在高温高压下由石墨转化而成。金刚石复合刀片是在硬质合金基体上经过高温、高压等先进工艺烧结一层约 0.5~1μm 厚的金刚石, 这种材料是以硬质合金做基体, 其机械性能、热传导性和膨胀系数都近似于硬质合金, 基体上的人造多晶金刚石磨料中的金刚石晶体呈不规则排列, 其硬度和耐磨性在各个方向都是均匀的。

聚晶金刚石 (简称 PCD) 是由经过筛选的人造金刚石微晶体在高温高压下烧结而成。在烧结过程中, 由于添加剂的加入, 使金刚石晶体间形成以 TiC、SiC、Fe、Co 和 Ni 等为主要成分的结合桥。金刚石晶体以共价键的结合形成牢固地嵌于结构桥构成的坚强骨架中, 使 PCD 的强度和韧性都大大提高, 其硬度约为 9000HV, 抗弯强度为 0.21~0.48GPa, 导热系数为 20.9J/cm·sμ°C, 热膨胀系数为 3.1×10<sup>-6</sup> /°C。现在使用的聚晶金刚石刀具大多是 PCD 与硬质合金基体烧结形成的复合体, 即在硬质合金基体上烧结上一层 PCD。PCD 的厚度一般为 0.5mm 和 0.8mm, 由于底层为硬质合金, 焊接方便; 又由于 PCD 结合桥的导电性, 使得 PCD 便于切割加工成各种形状, 制成各种刀具, 成本远远低于天然金刚石。

聚晶金刚石 (PCD) 可加工各种有色金属和极耐磨的高性能非金属材料, 如铝、铜、镁及其合金, 硬质合金, 纤维增强塑料, 金属基复合材料, 木材复合材料等。PCD 刀具材料中金刚石晶粒平均尺寸不同, 对性能产生的影响也不同, 晶粒尺寸越大, 其耐磨性越高。在相近的刃口加工量下, 晶粒尺寸越小, 则刃口质量越好。选用晶粒尺寸为 10~25μm 的 PCD 刀具, 可以 500~1500m/min 的高速切削 Si 含量 12~18% 的硅铝合金, 晶粒尺寸 8~9μm 的 PCD 加工 Si 含量小于 12% 的铝合金。超精密加工, 则应选用晶粒尺寸小的 PCD 刀具。PCD 的耐磨性在超过 700℃ 时会减弱, 因其结构中含有金属 Co, 会促进“逆向反应”即由金刚石向石墨转变。PCD 有较好的断裂韧性, 可以进行断续切削, 可以以 2500m/min 的高速端铣 Si 含量 10% 的铝合金。

可利用金刚石材料的高硬度、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。在切削加工有色金属时, PCD 刀具的寿命是硬质合金刀具的几十倍甚至几百倍, 是目前铝活塞精密加工的理想刀具。例如: 精车活塞环槽、精镗活塞销孔、精车活塞外圆、精车活塞顶面等工序。

### 2.4 立方氮化硼

聚晶立方氮化硼 (PCBN) 是由 CBN 微粉与少量粘结相 (Co, Ni 或 TiC、TiN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 在高温高压下加入催化剂烧结而成的。它具有很高的硬度 (仅次于金刚石) 和耐热性 (1300~1500℃), 优良的化学稳定性、比金刚石刀具高得多的热稳定性 (达 1400℃) 和导热性, 低的摩擦系数, 但其强度较

低。与金刚石相比，PCBN 的突出优点是热稳定性高得多，可达 1200℃（金刚石为 700~800℃），可承受较高的切削速度；另一个突出优点是化学惰性大，与铁族金属在 1200~1300℃ 下也不起化学反应，可用于加工钢铁。因此，PCBN 刀具主要用于高效加工黑色难加工材料。

PCBN 刀具除了具有以上的特点外，还有以下几项优点：①硬度高，特别适合于加工从前只能磨削的 HRC50 以上的淬硬钢、HRC35 以上的耐热合金和 HRC30 以下而其它刀具很难加工的灰口铸铁。②与硬质合金刀具相比，切削速度高，可实现高速高效切削。③耐磨性好，刀具耐用度高（为硬质合金刀具的 10~100 倍），能获得较好的工件表面质量，实现以车代磨。不足之处在于 PCBN 刀具的抗冲击性能较硬质合金差，因此，使用时应注意提高工艺系统的刚性，尽量避免冲击切削。PCBN 可制成整体的刀片，也可与硬质合金结合制成复合刀片。PCBN 复合刀片是在硬质合金基体上烧结一层 0.5~1.0mm 厚的 PCBN，其性能兼有较好的韧性和较高的硬度及耐磨性。

PCBN 的性能主要与 CBN 的粒度、CBN 的含量及结合剂种类有关，按其组织大致可分为两大类：一类是由 CBN 晶粒直接结合而成，CBN 含量高（70%以上），硬度高，适用于耐热合金、铸铁和铁系烧结金属的切削加工；另一类是以 CBN 晶粒为主体，通过陶瓷结合剂（主要有 TiN、TiC、TiCN、AlN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 等）烧结而成，这类 PCBN 中 CBN 含量低（70%以下），硬度低，适用于切削加工淬硬钢。

## 2.5 陶瓷

陶瓷刀具材料的主要优点是：

有很高的硬度与耐磨性，常温硬度达 91~95HRC；

有很高的耐热性，在 1200℃ 高温下硬度为 80HRC；而且高温条件下抗弯强度、韧性降低极少；

有很高的化学稳定性，陶瓷与金属亲和力小，高温抗氧化性能好，即使在熔化温度下也不与钢相互作用。因而刀具的粘结、扩散、氧化磨损较少；

有较低的摩擦系数，切屑不易粘刀，不易产生积屑瘤。

陶瓷刀的缺点是：

脆性大，强度与韧性低，抗弯强度只有硬质合金的 1/2~1/5，因此使用时必须选择合适的几何参数与切削用量；避免承受冲击负荷，以防崩刃与破损；此外，陶瓷刀导热率低，仅为硬质合金的 1/2~1/5，热膨胀系数却比硬质合金高 10~30%，抗热冲击性较差。

目前，陶瓷刀具还没有应用于铝活塞加工过程中。