

## 用于高速铣削的 PCD 刀具新材料

来源: 工具展望

在当今制造业, 高速铣削加工正变得日益流行。虽然总的来看, 聚晶金刚石(PCD)材料技术正日趋成熟, 但高速铣削的加工要求对 PCD 供应商改进刀具材料性能提出了新的挑战。中等晶粒 PCD 材料因其能在优异的耐磨性(刀具寿命)与良好的工件表面光洁度之间保持平衡的能力而获得了广泛应用。铣削刀片的典型失效模

式是切削刃锋利度的下降导致工件表面形成毛刺。制造商面临的挑战是尽可能减少这种毛刺的形成, 同时提高工件表面光洁度。通过精心设计金刚石的粒度分布, 并利用先进的工艺技术实现这种设计, 就能改进 PCD 材料的某些特定性能(如抗弯强度和韧性), 从而制备出切削性能更佳的 PCD 刀具材料。这种材料在不牺牲其耐磨性的前提下, 具有更好的刃口保持性, 并能获得更好的工件表面光洁度, 从而能在高速铣削加工中获得最佳性能收益。

PCD 是在超高压和高温(HP/HT)条件下将大量金刚石颗粒烧结到一起制成的复合材料。与此同时, PCD 材料层被熔接到硬质合金衬底上, 形成一体化的复合片。金刚石颗粒的烧结依赖于金属钴的扩散作用, 这些来自硬质合金衬底的钴元素会促使金刚石颗粒在晶间长大, 形成强有力的金刚石-金刚石结合。金刚石晶粒之间的残留孔隙中充满金属钴, 在整个金刚石基体中形成金属池。由此产生的 PCD 产品将极高的硬度、高热导率、金刚石的耐磨性与接近硬质合金的韧性集于一身。传统的 PCD 牌号分类

传统上, 用于金属切削行业的 PCD 产品被分为四大类。确定 PCD 牌号的主要支配因素是金刚石颗粒的相对粒度。因此, 我们以金刚石的相对粒度为参考标准, 将 PCD 产品分为超细晶粒、细晶粒、中等晶粒和粗晶粒四类牌号。人们公认, PCD 牌号的晶粒越粗大, 其耐磨性就越好。虽然简单地增大金刚石粒度可以获得更好的耐磨性, 但却会削弱其他一些重要特性(如刀具的刃口质量、切削刃韧性和工件表面粗糙度)。用于高速铣削的 PCD 新牌号

汽车零部件材料(如硅铝合金)的铣削和车削加工通常需要能兼顾刀具寿命和工件表面光洁度的中等晶粒 PCD 牌号。然而, 随着现代加工要求采用的切削速度越来越快, PCD 刀具锋利性的快速丧失导致其切削性能下降, 并在工件表面形成毛刺。为了克服这种缺陷, 一些刀具制造商曾试图推出粗晶粒 PCD 牌号, 使刀具寿命保持在可以接受的范围内。遗憾的是, 金刚石粒度的增大会导致工件表面光洁度恶化, 通常认为, 这在采用大切削参数的汽车零部件加工中是不可接受的。为了满足对中等晶粒牌号 PCD 刀具更高的性能要求, MegaDiamond 公司开发了一种技术先进的新型中等晶粒 PCD 牌号——AMX。该牌号采用精选的金刚石混合粉料, 再加上专有的粉料制备方法和添加增韧剂, 大大提高了 PCD 刀具的耐用度。这些工艺技术与独特的烧结技术相结合, 生产出了一种金刚石晶间结合力显著增大、多晶显微结构更均匀一致的 PCD 材料。这种先进的 PCD 结构不仅可以提高刀具耐磨性, 而且还能改善 PCD 刀具的其他一些基本特性(如电火花线切割的可加工性、刃口质量和切削刃韧性)。

先进的 PCD 材料制备技术为了生产出一种既能提高切削刃韧性, 同时又能保持(甚至提高)其耐磨性的 PCD 材料, 就必须改变其多晶显微结构。为了达到这一目, 采用了两种方法。一是精心挑选和混合金刚石粉料, 通过去除可提供优异耐磨性, 但同时会降低刀具切削刃质量的大颗粒金刚石, 使 PCD 材料的平均粒度总体下降。二是采用一种新的粉料制备工艺, 提高烧结前金刚石颗粒的压紧密度和表面活性, 改进和提高金刚石晶粒的晶间结合力, 从而使多晶显微结构的晶粒间隙比传统的中等晶粒 PCD 牌号大幅减小。金属第二相可以提供增韧效果, 但必须均匀分布, 才能提供均衡一致的材料性能。如果金刚石晶粒之间的金属池过多或间隙过大, 就会成为其固有弱点, 削弱 PCD 刀具所需的性能(如耐磨性、化学稳定性和热稳定性)。

这种独特的专有制造工艺在提供相邻金刚石颗粒高密度结构的能力上取得了重大突破。通过这种已获专利的高剪切压实(HSC)技术, 这些金刚石颗粒被紧密压实, 使彼此之间的表面接触最大化, 使烧结时能在金刚石颗粒之间实现更理想的材料转移, 最大限度地减少形成金属池的数量。其结果是实现了分布均匀一致的金属扩散, 增大了金刚石晶粒之间的结合力, 使 PCD 刀具兼具优异的耐磨性和切削刃韧性。该工艺还能改善对 PCD 刀具的整体性能同样重要的化学稳定性和热稳定性。

为了说明 PCD 显微结构的改善程度和金属第二相的均匀弥散，通过对典型中等晶粒牌号 PCD 与 AMX 牌号 PCD

的显微结构进行了对比。如前所述，研发目标是获得更均匀一致、具有更小、分散性更好的金属池的 PCD 显微结构。这种结构可以降低第二相水平，优化金刚石晶粒之间的结合力。

在典型的高磨蚀性非铁金属材料的铣削加工中，中等晶粒牌号 PCD 刀具的常见失效模式是切削刃通过磨损而出现钝化或破损。这就意味着，两个相邻金刚石颗粒之间的晶界(通常充满第二相结合剂材料)在切削加工时被削弱，最终导致金刚石颗粒被拔出，引起切削刃崩刃，并在工件上形成毛刺。通过采用这种新的 PCD 制造工艺，使晶间结合力大大增强，有效减少了在切削时会变得脆弱的晶界。其结果是改进了 PCD 刀具的刃口保持性，从而使刀具寿命大幅提高。

AMX 牌号 PCD 与典型的中等晶粒牌号 PCD 抗弯强度 (TRS) 值的对比。显而易见，AMX 牌号的抗弯强度显著提高，从而减小了加工中刀具崩刃的几率，延长了刀具寿命。

### 新技术的优势

如今，几乎所有中等晶粒牌号 PCD 刀具通常都采用电火花线切割加工，其加工难易程度各不相同。线切割的可加工性是导电金属相在整个金刚石基体中分布均匀性的函数。条件可控的切削试验表明，与其他中等晶粒牌号 PCD 相比，AMX 牌号 PCD 能更有效地实现线切割加工，其线切割可加工性比典型的中等晶粒 PCD 提高了 15%。如前所述，典型的中等晶粒牌号 PCD 刀具可获得较好的刃口刃磨质量，而这对于延长刀具寿命和提高工件表面光洁度至关重要。通过量身定制金刚石粒度分布，提高金刚石颗粒的压紧密度，AMX 牌号 PCD 可达到的刃口质量比传统的中等晶粒牌号 PCD 明显提高。AMX 牌号与其他类似牌号 PCD 刀片精磨刃口放大图像的对比表明，AMX 牌号 PCD 刀具的刃口锋利度明显提高。

条件可控的现场切削试验表明，在高速铣削汽车零件时，AMX 牌号 PCD 刀具的寿命可提高一倍左右。其中，加工 V6 跑车汽缸盖时采用的主轴转速为 6000r/min，中等晶粒 PCD 刀具的切削速度为 2500m/min。由于 AMX 牌号 PCD 刀具的刃口质量优于中等晶粒牌号 PCD 刀具，因此减少了毛刺的产生。

另外，独立进行的车削加工铝合金轮毂和铣削加工发动机缸体的现场切削试验结果也表明，与典型的中等晶粒牌号 PCD 刀具相比，AMX 牌号 PCD 刀具的加工性能可提高 3 倍。

由于 AMX 牌号 PCD 刀具的刃口质量优于中等晶粒牌号 PCD 刀具，因此减少了毛刺的产生。

另外，独立进行的车削加工铝合金轮毂和铣削加工发动机缸体的现场切削试验结果也表明，与典型的中等晶粒牌号 PCD 刀具相比，AMX 牌号 PCD 刀具的加工性能可提高 3 倍。

通过混合严格控制粒度分布的金刚石粉料，并采用适当的粉料制备技术，最大限度地提高金刚石颗粒的压紧密度，就有可能生产出其物理和机械性能优于中等晶粒 PCD 标准牌号的 PCD 刀具材料。这种新一代的中等晶粒

PCD 牌号不仅具有优异的耐磨性，而且还能提供更好的刀具刃口质量、切削刃韧性和可加工性。密度，就有可能生产出其物理和机械性能优于中等晶粒 PCD 标准牌号的 PCD 刀具材料。这种新一代的中等晶粒 PCD 牌号不仅具有优异的耐磨性，而且还能提供更好的刀具刃口质量、切削刃韧性和可加工性。