

文章编号: 1003-7837(2001)01-0055-04

硬质合金刀具的类金刚石涂层的研究

袁镇海, 付志强, 邓其森, 林松盛, 郑健红, 罗广南, 谢致薇, 戴达煌

(广州有色金属研究院材料表面工程技术研究开发中心, 广东 广州 510651)

摘要: 采用优化的沉积类金刚石(DLC)涂层工艺及过渡层技术, 在硬质合金上制备出性能优良的DLC膜。实验室切削试验与工业生产现场切削表明: 在切削铝青铜和共晶铝硅合金时, DLC膜涂层刀具使用寿命明显高于未涂层刀具。

关键词: 类金刚石涂层; 硬质合金; 涂层刀具

中图分类号: TG711 **文献标识码:** A

金刚石具有很高的硬度、热导率, 较低的摩擦系数和良好的抗蚀性能, 因而在工具材料中具有广泛的应用前景, 目前已有实际应用^[1]。类金刚石(DLC)膜具有一系列与金刚石膜相类似的性能, 且制备工艺比较成熟, 可在较低的温度下获得沉积大面积、涂层均匀、表面光洁度高的DLC膜, 该工艺成本较低, 更容易过渡到规模生产^[2]。

真空阴极电弧沉积(VCAD)方法是一种采用阴极电弧蒸发源的离子镀技术。它具有离子化率高、离子能量高、沉积温度低、沉积效率高、膜/基结合强度高等优点, 已广泛应用于TiN、TiC等超硬膜的生产^[3]。本研究是在掌握了用VCAD法沉积性能优越的大面积DLC膜的基础上^[4], 开发DLC涂层刀具的应用。

1 试验部分

1.1 DLC涂层的制备

用国产八弧源真空阴极电弧沉积设备制备DLC涂层, 该系统真空室尺寸为直径800 mm, 高1000 mm, 本底真空度为 6.67×10^{-3} Pa。每个靶位均可安装不同的靶材, 适合制备多层膜和过渡层, 样品台可旋转。工作条件为: 弧流30~50 A, 弧压20~50 V, 样品台可加负偏压0~800 V。

石墨靶用高纯高密石墨, 试验用氢气纯度为99.99%。

硬质合金刀具基片在装入真空室前进行彻底的清洗并脱水。膜层的制备, 先用Ti靶轰击样品沉积Ti, 然后同时用Ti靶和C靶沉积TiC, 最后用C靶沉积类金刚石膜。

1.2 测试方法

用S-550型扫描电子显微镜观察DLC膜的表面形貌, 用SPEX1403型激光Raman谱仪

收稿日期: 2000-11-24

作者简介: 袁镇海 (1939-), 男, 广东东莞人, 教授级高级工程师。

研究碳原子中 sp^3 和 sp^2 价态的组成特征,用 ESCAPHI5300 X 射线光电子谱仪研究膜中原子价态和价带结构,用 MeF3 型高分辨率光学金相显微镜测定膜的硬度,用划痕法测定结合强度,用 ESCAPHI610/SAM 扫描俄歇电子谱仪分析膜层成分和过渡层成分变化情况;切削试验分实验室切削试验和工业生产现场切削两种。

2 试验结果与讨论

2.1 过渡层的设计及其作用

涂层应用的效果不仅取决于膜层的性能,同时在很大程度上依赖于膜/基结合强度。由于 DLC 膜与基体的性能差异较大,在界面上会产生较大的应力,导致结合强度降低,故膜层在应用时很容易脱落。如果在基体和膜层中间设计一个合适的过渡层,可以减少界面的应力突变,提高膜/基结合强度。利用 Ti 与金属、硬质合金、Si 片等材料结合良好, TiC 的结构与弹性模量、热膨胀系数等介于 Ti 和 DLC 之间的特点,首先在基体上沉积一层 Ti,然后再沉积 TiC,最后沉积 DLC 膜。采用 Ti/TiC 作过渡层,可以明显改善膜/基结合强度。图 1 为过渡层相界面成分分布的俄歇谱。

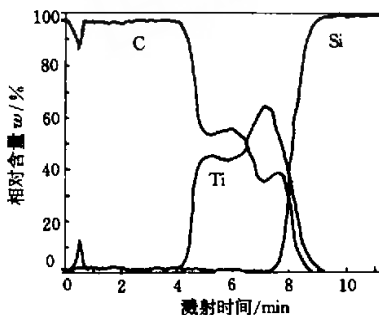


图 1 过渡层成分深度分布的 Auger 谱

Fig. 1 Auger spectra of transition layer elements in depth distributing

硬质合金刀具的 DLC 涂层成功与否的关键是膜层的硬度与膜/基的结合强度。硬质合金刀具大多数是由 WC 颗粒以 Co 为粘结剂烧结而成。Co 对金刚石的生长有抑制作用,对膜/基结合强度也不利。为了消除 Co 的不利影响,对硬质合金进行了金刚石粉研磨试样表面、试样表面腐蚀脱 Co 等多种预处理,但效果并不明显。采用过渡层可以克服 Co 对 DLC 膜生长的抑制作用,同时减缓膜/基界面的应力突变,有利于粘结及 DLC 膜的生长,对 DLC 膜性能的改善起到良好的作用。

2.2 DLC 膜的组织结构

对在优化的工艺条件下沉积的 DLC 膜的 SEM 分析表明,DLC 膜表面光滑,上面分布着一些小颗粒状物和深度很浅的小孔洞,膜层致密(图 2)。DLC 膜的 Raman 谱(图 3)表明沉积的 DLC 膜具有典型的 DLC 特征,膜层系中含有相当比例的 sp^3 键。XPS 分析表明 C_{1s} 结合能为 286 eV,与石墨的 C_{1s} 结合能(284 eV)相比,化学位移 2 eV,向高结合能方向移动,说明 sp^2 向 sp^3 转变。

2.3 DLC 涂层硬质合金刀具的性能

在 YG8 硬质合金基体上进行了过渡层试验,用划痕法(声发射监测)测定试样膜/基结合强度,见图 4。从图 4 看出其临界载荷大于 60 N,达到了一般 PVD 沉积 TiN 涂层的结合强度水平。MeF3 测得显微硬度为 $Hv_{0.05,10} 3300 \sim 4200$ 。

2.4 DLC 涂层硬质合金刀具的实验室切削试验

实验室切削试验的刀片型号 41610N,刀具材料为 YG6,被切削材料为 KK 高强度耐磨铝青铜合金,其主要成分(质量分数,%)为:9.0~10.5 Al,3.0~5.0 Fe,1.0~2.5 Ni,1.0~2.5



图2 DLC膜的SEM照片

Fig. 2 SEM surface morphology of DLC films

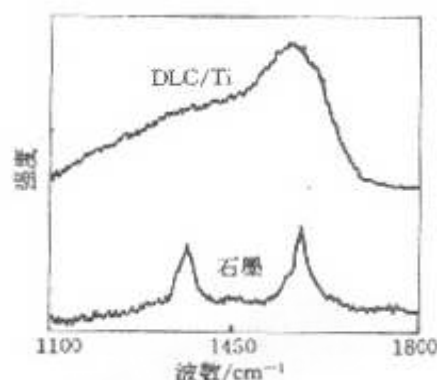


图3 DLC膜的Raman谱

Fig. 3 Raman spectra of DLC films

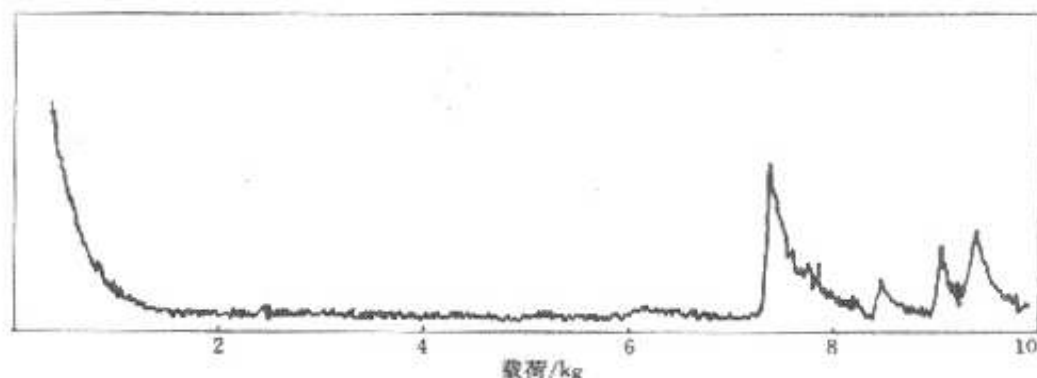


图4 硬质合金上DLC膜划痕试验曲线

Fig. 4 The nick curve of DLC films on cemented carbide blades

Mn, 微量 Ti, B, Pb, 余量为 Cu, 硬度为 HB170 左右。切削条件为: 用 CA6132 机床切削, 转速 560 r/min, 进刀量 0.21 mm/r, 切削深度 0.5 mm; 无冷却液; 工件为铸态, 直径为 64.4~40.4 mm。未涂层刀具与 DLC 涂层刀具进行对比切削试验的评价方法有 2 种: 一种是根据工件表面光洁度变化来评价刀具寿命; 另一种是每切削 2 min (车刀沿轴向车削两个全长) 观察和测量后刀面的磨损状况, 用后刀面磨损量辅助评价刀具寿命。

在切削初期, 两种刀具切削的表面粗糙度均较小, 切屑既不太长, 也不是碎屑, 断屑状况较好。无涂层刀具切至第 3 min 时切屑变长, 刀具不能很好地断屑, 加工的表面粗糙度明显增大, 正常切削长度小于 265 m; 而 DLC 涂层刀

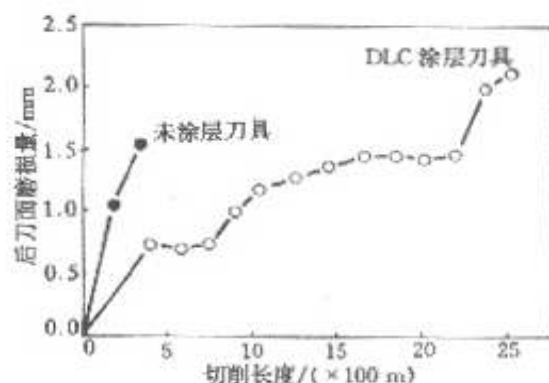


图5 DLC涂层刀具与未涂层刀具的后刀面磨损量与切削长度的关系

Fig. 5 The relation between the back blade face's wear loss and cutting length of the blades with and without DLC films

具切至 22 min 后加工的表面才开始粗糙度变大,但仍能较好地断屑,正常切削的长度大于 1923 m. 以工件表面光洁度为标准,可以判定 DLC 涂层刀具的寿命为无涂层刀具的 7 倍以上. 图 5 为两种刀具后刀面磨损量随切削长度的变化曲线. 从图 5 可知,DLC 涂层刀具的耐磨性明显高于无涂层刀具. 以后刀面磨损量 1.0 mm 作为后角磨钝标准,则无涂层刀具的使用寿命小于 181 m,而 DLC 涂层刀具的使用寿命约 974 m,为未涂层刀具的 4 倍以上.

2.5 DLC 涂层刀具的工业试验

工业生产现场切削试验选用加工汽缸活塞的粗切槽刀为研究对象. 切槽刀型号为 64D-02050-2,刀体刃口尺寸公差要求在 $3\text{ }\mu\text{m}$ 以内,材料为 YG6x 硬质合金. 切削的工件为 6100 主机活塞,活塞材料为共晶铝硅合金,硬度为 HB110~140. 切削参数为:主轴转速 700 r/min,进给量 0.4 mm,切削速度 220 m/min,切削深度 1.95 mm 和 4.25 mm. 涂层刀片与未涂层刀片切削试验对比结果:未涂层刀片可加工零件 1 万只,DLC 涂层刀片可加工零件 2.5 万只,即使用寿命为未涂层刀片的 2.5 倍,且零件表面加工质量有明显提高.

3 结 论

(1) 通过优化工艺,在硬质合金刀具上制备了大面积、高硬度、表面光洁致密的 DLC 膜;采用 Ti/TiC 过渡层可明显改善 DLC 膜与基体的结合强度,制备出具有优异性能的 DLC 涂层硬质合金刀具.

(2) 用于切削铝青铜和共晶铝硅合金,DLC 膜涂层刀具使用寿命明显高于未涂层刀具,且零件表面加工质量明显提高.

参考文献:

- [1] Fedosayev D V, Deryagin B V, Varysavskaja I G. The crystallization of diamond[J]. Surf Coat Tech, 1989, 38(1-2): 1.
- [2] 罗广南,谢致薇,郑健红, et al. 金刚石和类金刚石研究及其在电声领域中的应用[J]. 功能材料, 1995, 26(5): 417.
- [3] 李学丹,万英超,姜祥祺, et al. 真空沉积技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,1994. 159.
- [4] 袁镇海,谢致薇,罗广南, et al. 真空阴极电弧沉积法沉积类金刚石膜的研究[J]. 广东有色金属学报, 1997, 7(2): 131.
- [5] 李元元. 高强度耐磨铝青铜合金及其切削加工机理的研究[D]. 广州:华南理工大学,1998.

Research on diamond-like carbon films on cemented carbide blades

YUAN Zhen-hai, FU Zhi-qiang, DENG Qi-sen, LIN Song-sheng,
ZHENG Jian-hong, LUO Guang-nan, XIE Zhi-wei, DAI Da-huang

(Research & Development Center for Materials & Surface Engineering Technique under
Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

Abstract: The DLC films with excellent properties were fabricated by optimum deposition of DLC films and transition layers on cemented carbides. Experimental cutting test and industrial on-the-spot cutting test showed that the working life of blades with DLC films was obviously longer than those of blades without DLC films in cutting aluminum bronze and eutectic aluminum-silicon alloy.

Key words: DLC films; cemented carbides; coated cutting tools