

DOI 10.3969/j.issn.0254-0150.2010.09.017

硬质合金刀具 Al_2O_3 涂层摩擦磨损性能研究

陈崇亮 刘利国 安孝玲

(江南大学机械工程学院 江苏无锡 214122)

摘要: 对硬质合金刀具进行等离子体化学气相沉积氧化铝涂层处理,并将其与未涂层刀具试样在干摩擦条件下进行滑动摩擦试验,比较其摩擦磨损性能并分析磨损机制。结果表明,等离子体化学气相沉积氧化铝涂层能使刀具获得高硬涂层,平均硬度比未涂层刀具提高 30.1%,能有效降低刀具表面摩擦因数,明显提高硬质合金刀具的耐磨性能。

关键词: 硬质合金; 等离子体化学气相沉积; Al_2O_3 ; 摩擦磨损

中图分类号: TH 117.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0254-0150 (2010) 9-072-4

Research on Friction Wear Behavior of Al_2O_3 Coated Carbide Tool

Chen Chongliang Liu Liguo An Xiaoling

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi Jiangsu 214122, China)

Abstract The carbide tool was coated Al_2O_3 films by plasma chemical vapour deposition. The sliding friction and wear behaviors of carbide tool and Al_2O_3 coated carbide tool were evaluated in dry sliding condition, the friction and wear mechanism was analyzed. The results show that Al_2O_3 coated carbide tools have higher surface hardness, the average hardness of the tools with Al_2O_3 films increases 30.1% than that untreated carbide tool. The deposition of Al_2O_3 coatings onto carbide tool can lower the friction coefficient and improve the wear resistance of the tools.

Keywords carbide; plasma chemical vapour deposition; Al_2O_3 ; friction and wear

Al_2O_3 涂层具有很多优异的力学、物理性能,如硬度高、耐磨,高温稳定性和化学稳定性好,介电常数高,电导率低,热导率适当,抗辐照损伤能力强,抗碱离子渗透能力强以及在很宽的波长范围内透明,所以 Al_2O_3 涂层作为耐磨涂层,可应用于硬质合金切削刀片、高温下工作的机械部件以及抗腐蚀部件等;在微电子器件、电致发光器件、光波导器件也有着广泛的应用^[1]。其制备方法包括化学气相沉积(CVD)法、物理气相沉积(PVD)法、等离子体增强化学气相沉积(PCVD)法等^[2]。其中等离子体增强化学气相沉积技术能够克服PVD和CVD存在的固有弊病,而又能兼有两者的优点,近年来越来越受到人们的重视,具有广阔的发展前景^[3]。任靖日等^[4]研究了 Al_2O_3 涂层/Ni黏结涂层与 Al_2O_3 涂层的摩擦磨损性能,并用拉伸试验方法测定了涂层与基体之间的黏结强度;马静波等^[5]对陶瓷涂层/钢的摩擦磨损性能进行了研究。目前 Al_2O_3 涂层沉积于刀具后,对改进刀具的摩擦学性能的研究报道不多。本文作者以硬质合金刀具作为基体,在刀具表面采用等离子体化学气相

沉积技术制备了 Al_2O_3 涂层,并考察了涂层在工况下的摩擦学性能,初步探讨了其摩擦机制。

1 试验部分

1.1 样品制备及表面性能测试

采用硬质合金 YG6 作为基体,将其分别放置于清洗、喷砂设备中进行表面清理。沉积条件为:压强 5 Pa,偏压 100 V,沉积时间 3 h。

采用本原公司生产的 CSPM 5000 型原子力显微镜 (AFM) 观察 Al_2O_3 涂层的表面形貌;用时代集团公司生产的 TT260 数字式覆层测厚仪测量涂层厚度,取 5 次测量结果的平均值;用上海恒一电子测试设备有限公司生产的 MH-3 型显微硬度计测量涂层硬度;用上海奥豪斯仪器有限公司生产的精度为 0.1 mg 的 Adventurer 电子分析天平(型号为 AR2140)测定磨损前后刀具试样的质量;用苏州时代集团生产的 TR200 型粗糙度测量仪测量涂层表面粗糙度。

1.2 摩擦磨损试验

试验在山东益华公司生产的 MMW-1A 万能摩擦磨损试验机上进行,摩擦副接触示意图如图 1 所示。试验时将 Al_2O_3 涂层的硬质合金刀具放置于大方销夹头中固定,通过其旋转与下盘构成大销盘摩擦副,来实现相对滑动。下盘材料为硬度为 HRC55 的淬火 45

收稿日期: 2010-04-01

作者简介: 陈崇亮 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为材料磨损及表面工程。E-mail: em999@yaho.com.cn

钢。试验工况为干摩擦, 施加的载荷分别为 40、80、120 和 160 N, 转速为 50~250 r/min。试验时, 通过该摩擦磨损试验机的数据采集系统直接获得各瞬时的摩擦因数, 并生成出瞬时曲线图。摩擦 30 min 后, 根据系统保存下来的数据, 得到其对应的平均摩擦因数。

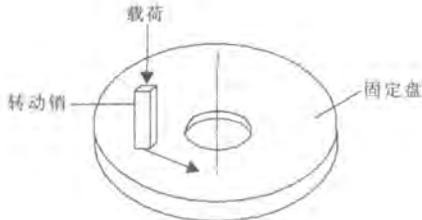


图 1 摩擦磨损原理图

Fig 1 The mechanism of friction and wear

2 试验结果及分析

2.1 薄膜结构及涂层刀具的性能参数

图 2 所示为所制备的 Al₂O₃ 涂层的二维原子力显微镜照片。可以看出, 薄膜由 100~150 nm 的圆形颗粒紧密堆积而成, 表面比较光滑, 粗糙度为 R_a 3.03 nm。

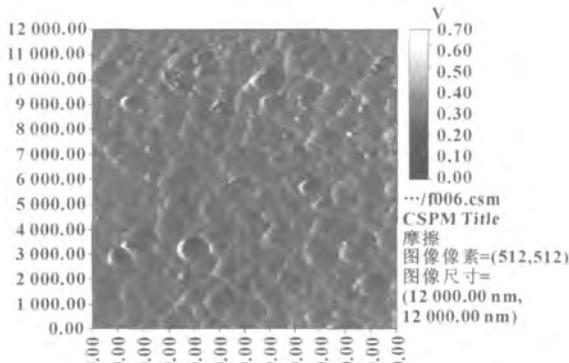


图 2 Al₂O₃ 涂层 AFM 形貌照片

Fig 2 AFM morphology of Al₂O₃ coatings

表 1 涂层刀具的性能参数

Table 1 Performance parameters of Al₂O₃ coated carbide tools

| 编号 | 镀前硬度 | 镀后硬度 | 涂层厚度 / μm | 粗糙度 / μm |
|----|-----------|-----------|-----------|----------|
| 1 | HV1 408.1 | HV1 839.3 | 3.7 | 0.512 |
| 2 | HV1 423.5 | HV1 847.4 | 3.6 | 0.511 |
| 3 | HV1 413.3 | HV1 843.5 | 4.3 | 0.527 |
| 4 | HV1 405.2 | HV1 821.6 | 3.6 | 0.516 |
| 5 | HV1 419.4 | HV1 844.7 | 3.5 | 0.525 |

到, 硬质合金 YG6 的平均硬度为 HV1 413.9, 沉积 Al₂O₃ 涂层后, 硬度变为 HV1 839.3, 增加了 30.1%。充分说明沉积 Al₂O₃ 涂层后可以有效提高硬质合金刀具的表面硬度。

2.2 载荷对摩擦磨损性能的影响

图 3 示出了 Al₂O₃ 涂层刀具和未涂层刀具与 45[#] 钢摩擦时平均摩擦因数随载荷的变化曲线 (转速为 100 r/min)。可以看出: 未涂层刀具的摩擦因数在低载情况下低于涂层刀具, 在高载情况下高于涂层刀具; 在相同转速情况下, 随着载荷的增大, 摩擦因数呈先上升后下降, 然后趋于稳定的趋势。

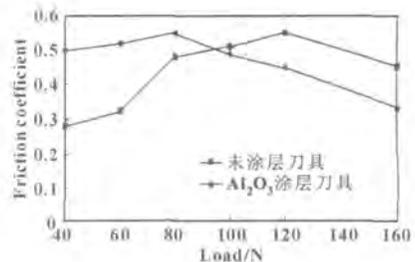


图 3 Al₂O₃ 涂层刀具和未涂层刀具与淬火 45[#] 钢摩擦时平均摩擦因数随载荷的变化 (n = 100 r/min)

Fig 3 Variation of average friction coefficient with load (n = 100 r/min)

这种变化与载荷所致的接触应力有关。在摩擦磨损过程中, 必将有一个由点接触逐渐向微小面接触转变的过程。载荷在这一转变过程起很重要的作用。随着载荷的逐渐增加, 微凸体的变形将逐渐由弹性向弹塑性并最终向完全塑性转化。因此摩擦因数表现为先增加后降低, 最后趋于稳定。

图 4 示出了 Al₂O₃ 涂层刀具和未涂层刀具与 45[#] 钢摩擦时磨损率随载荷的变化曲线 (转速为 100 r/min)。可以看出, Al₂O₃ 涂层刀具的磨损率明显低于未涂层刀具的磨损率, 降低了 20%~30%; 随着载荷的增加, 磨损率呈上升趋势。

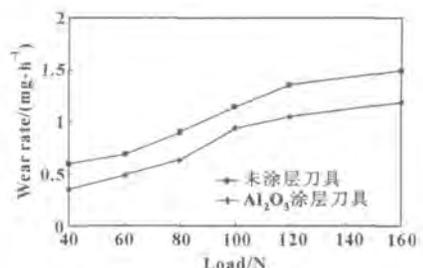


图 4 Al₂O₃ 涂层刀具和未涂层刀具与淬火 45[#] 钢摩擦时磨损率随载荷的变化 (n = 100 r/min)

Fig 4 Variation of wear rate with load (n = 100 r/min)

试验得到的涂层刀具的性能参数见表 1。可以看

这是由于当载荷较小时, 磨盘对磨损表面颗粒的剪切应力较小, 涂层与基体材料的结合情况较好, 不易发生颗粒的脱落, 因此此时涂层材料的磨损率较低; 而随着载荷的增大, 涂层材料与基体结合处受到的剪切力及压应力逐渐增大, 颗粒的脱落概率也逐渐增大, 而脱落的颗粒作为松散磨粒对涂层材料进行磨损, 降低了涂层材料的耐磨性, 所以磨损率也随之增加。

2.3 转速对摩擦磨损性能的影响

图 5 示出了 Al_2O_3 涂层刀具和未涂层刀具与淬火 45° 钢摩擦时平均摩擦系数随转速的变化曲线 (载荷为 120 N)。可以看出: 在低速下, 未涂层刀具的摩擦系数与涂层刀具相差不大, 随着转速的增加, Al_2O_3 涂层刀具的摩擦系数低于未涂层刀具; 并且在相同载荷情况下, 随着转速的增大, 引起摩擦表面温度激增, 滑动摩擦系数呈先下降后上升, 然后趋于稳定的趋势。

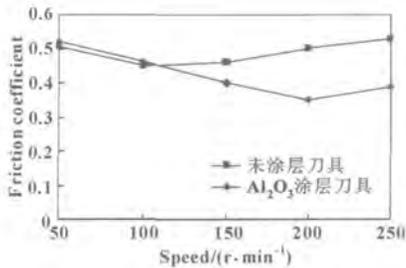


图 5 Al_2O_3 涂层刀具和未涂层刀具与淬火 45° 钢摩擦时平均摩擦系数随转速的变化 ($p = 120 \text{ N}$)

Fig 5 Variation of average friction coefficient with speed ($p = 120 \text{ N}$)

这是由于滑动速度对摩擦系数的影响具有两面性。首先, 如果速度的增加还没引起温度的增加可能会使摩擦和磨损减小。这是因为滑动速度的大小决定着表面摩擦连续点作用的时间, 如果时间很短, 材料来不及变形, 则摩擦系数小。另外, 在滑动速度很大且引起表面温度增加的情况下, 则会影响到材料的热传导和机械性能, 从而使摩擦系数增大。

图 6 示出了 Al_2O_3 涂层刀具和未涂层刀具与淬火 45° 钢摩擦时磨损率随转速的变化曲线 (载荷为 120 N)。可以看出, Al_2O_3 涂层刀具的磨损率明显低于未涂层刀具, 随着转速的增加, 磨损率呈下降趋势。这主要是由于滑动速度对于磨损量的作用具有两面性, 只要速度的增加还没有引起摩擦表面上温度的激增, 滑动速度还会使摩擦和磨损减少。对于磨损率, 耐磨强度随着滑动速度增大而增大。其原因是应变率增大导致材料屈服应力提高, 当处于高速滑动

时, 摩擦热产生的界面高温导致被磨损表面的屈服应力降低。

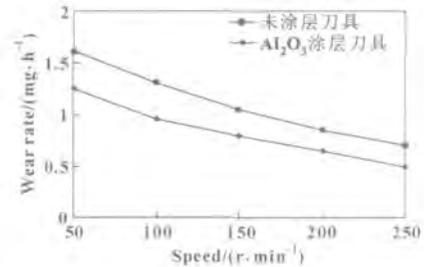


图 6 Al_2O_3 涂层刀具和未涂层刀具与淬火 45° 钢摩擦时磨损率随转速的变化 ($p = 120 \text{ N}$)

Fig 6 Variation of wear rate with speed ($p = 120 \text{ N}$)

2.4 试样磨损后表面形貌分析

图 7 分别为在转速为 100 r/m in 情况下, Al_2O_3 涂层刀具在 40 80 120 160 N 载荷下摩擦磨损后磨痕形貌的 SEM 照片。可看出, 当载荷较小时, 涂层表面有很浅的沟痕, 无明显的剥落状。随着载荷增大, 在摩擦交变应力作用下, 划痕程度加深, 涂层剥落区域增大。因此, 当转速一定, 载荷较小时, 其接触凸体会发生轻微塑性变形, 则磨粒会在软表面产生顺着滑动方向的划痕; 随着载荷增大, 微凸体的塑性变形也增大, 则划痕也越深, 从而使表面的磨损增大, 磨损率也随着增大。

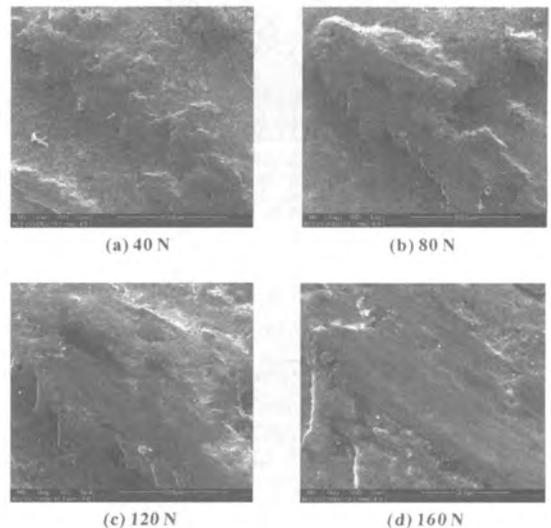


图 7 Al_2O_3 涂层刀具在不同载荷下磨痕形貌 SEM 照片

Fig 7 SEM morphology of worn surface Al_2O_3 coated tools under different load

图 8 示出了载荷为 120 N 时, Al_2O_3 涂层刀具在

50 r/min 和 200 r/min 转速下摩擦磨损后磨痕形貌的 SEM 照片。可以看出, 在低速 50 r/min 情况下, 涂层摩擦表面粗糙, 有较深的犁沟状磨痕和凹坑; 在高速 250 r/min 情况下, 涂层摩擦表面较光滑, 磨痕较浅, 这主要是由于随着转速的增加, 摩擦副表面的温度升高, 涂层表面软化, 在熔融润滑作用下, 摩擦副接触表面的因素改变, 导致摩擦因数得到有效的降低。

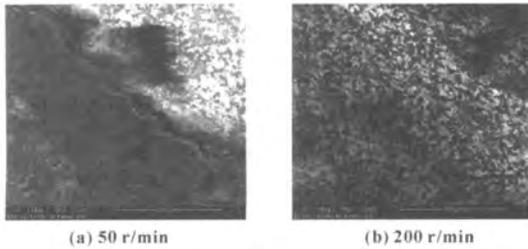


图 8 Al_2O_3 涂层刀具在不同转速下磨痕形貌 SEM 照片

Fig 8 SEM morphology of worn surface of Al_2O_3 coated tool under different speed

3 结论

(1) Al_2O_3 涂层能有效提高硬质合金刀具表面硬度, 对比喷涂前后刀具表面硬度可知, Al_2O_3 涂层可使刀具表面硬度增加 25% ~ 30%。

(2) 在干摩擦状态, 100 r/min 转速下, 载荷为 160 N 时, Al_2O_3 涂层能够有效起到减摩作用, 平均摩擦因数为 0.29 比未涂层刀具降低约 40%, 磨损率降低 20% ~ 30%。随着载荷增加, Al_2O_3 涂层刀具的摩擦因数先增加后降低, 最后趋于稳定; 磨损率逐渐增加。

(3) 在干摩擦状态, 载荷为 120 N 时, 在低转速

时, Al_2O_3 涂层不能起到减摩作用; 当转速增加到 150 r/min 时, Al_2O_3 涂层摩擦系数开始有效减小, 摩擦因数降低 20% ~ 25%, 磨损率下降 22% ~ 28%。且在此工况下, Al_2O_3 涂层表面形貌随着转速的增大而越来越光滑。

参考文献

- 宋贵宏, 杜昊, 贺春林. 硬质与超硬涂层——结构、性能、制备与表征 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2007: 98-106
- 杨君宝, 于晓琳, 李智军. PCVD 涂镀法在刀具上的应用研究 [J]. 机械研究与应用, 2005(4): 43-47.
Yang Junbao Yu Xiaolin, Li Zhijun. The result of applying the way of PCVD to the tool [J]. Mechanical Research & Application 2005(4): 43-47
- 张叶成, 张津, 郭小燕, 等. PCVD 技术在模具强化中的应用与进展 [J]. 模具工业, 2008(2): 64-68
Zhang Yecheng Zhang Jin, Guo Xiaoyan, et al Application and development of PCVD technology in die and mould strengthening [J]. Mould Industry, 2008(2): 64-68
- 任靖日, 赵德金. Al_2O_3 大气等离子喷涂层的磨损特性 [J]. 延边大学学报: 自然科学版, 2002, 28(1): 41-47
REN Jingri ZHAO Dejin Wear characteristics of plasma sprayed coating layer of Al_2O_3 [J]. Journal of Yanbian University: Natural Science, 2002, 28(1): 41-47
- 马静波, 李楠, 刘新佳, 等. 陶瓷涂层/钢的摩擦磨损性能研究 [J]. 润滑与密封, 2007, 32(1): 99-103
Ma Jingbo Lin Nan, Liu Xinjia, et al Study on Frictional and Wear Properties of TD₂/Steel System [J]. Lubrication Engineering 2007, 32(1): 99-103
- B 布尚. 摩擦学导论 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006
- 张剑峰, 周志芳. 摩擦磨损与抗磨技术 [M]. 天津: 天津科技翻译出版公司, 1993
- Samyn P. Tribophysical Phenomena on Sliding Surfaces of Polyester Composites Evaluated by Spectroscopic and Thermal Analysis [J]. Tribology Letters 2006 24 229-235
- 黄平. 摩擦学教程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2008
- 魏爱平. 液压缸往复密封应用研究 [J]. 液压气动与密封, 2000(6): 41-43.
Wei Aiping Application Research of Reciprocating Seals Used in Hydraulic Cylinder [J]. Hydraulics Pneumatics & Seal 2000 (6): 41-43
- 刘令勋, 刘英贵. 动态密封设计技术 [M]. 北京: 中国标准出版社, 1993
- 金振邦. 新型聚氨酯密封件在液压缸中的应用 [J]. 工程机械, 2002(8): 26-27
Jin Zhenbang Application of New-type Polyurethane Seals in Hydraulic Cylinder [J]. Construction Machinery, 2002(8): 26-27

(上接第 71 页) 摩擦界面上也极易形成润滑膜, 但在高速、高接触压力条件下, 润滑膜容易失效; 对于该柔性材料与刚性体的接触, 在充分润滑条件时, 接触压力在 3 000 N 以内 (MRH-3 环块实验机的最大使用压力) 的任何压力下, 总可以使得摩擦界面间形成全膜润滑, 从而使测量的摩擦力为 Q 。

参考文献