

MDT 涂层高温滑动摩擦特性试验研究

牛秋林¹, 陈云², 杨军²

¹湖南科技大学; ²成都工具研究所有限公司

摘要: 针对 TiAlN 涂层刀具的耐磨性, 以镍铬合金为摩擦副, 利用 MS-W6000 型高温摩擦试验机研究了劈裂电弧 (MDT) 和传统电弧离子镀两种涂层工艺制备的 TiAlN 涂层的摩擦磨损性能。试验结果表明: 在室温下, 传统电弧离子镀涂层的摩擦性能较差; 在高温下, 两种涂层的摩擦性能相近, 但 MDT 涂层的稳定性更好。

关键词: MDT 涂层; 镍铬合金; 高温; 摩擦磨损

中图分类号: TG174.4; TH117.1

文献标志码: A

Experimental Study on Friction Characteristics of MDT Coating during High Temperature Sliding

Niu Qiulin, Chen Yun, Yang Jun

Abstract: To study the wear resistance of TiAlN coated tools, the Ni-Cr alloy was used as the friction pair, the friction and wear properties of TiAlN coating prepared by two kinds of coating technology of split arc (MDT) and conventional arc ion plating were studied by MS-W6000 high temperature friction tester. The experimental results show that the tribological properties of conventional arc ion plating coating are worse at room temperature and the friction properties of these two kinds of coatings are similar at high temperature, but the stability of MDT coating is better.

Keywords: MDT coating; Ni-Cr alloy; high temperature; friction and wear

DOI: 10.16567/j.cnki.1000-7008.2017.10.004

1 引言

TiAlN 涂层具有耐磨性好、硬度高以及抗高温氧化性好等特点, 是应用非常广泛的涂层材料。有关该涂层材料的研究主要包括 TiAlN 涂层力学性能^[1]、TiAlN 涂层切削加工磨损形式^[2,3]、TiAlN 涂层的摩擦磨损性能^[4-6]等方面。

镍铬合金具有出色的耐腐蚀、耐高温等性能和较高的强度, 但镍铬合金的可加工性差, 给机械加工及质量控制带来极大困难, 因此, 研究与工件材料相匹配的刀具表面涂层对于大幅提高加工效率、改善加工表面质量具有重要意义。

本文以镍铬合金为对磨材料, 对 TiAlN 涂层的摩擦磨损性能进行了研究, 重点分析了两种不同制备工艺对其摩擦性能的影响。

2 试验方法

试验材料为两种涂层工艺制备的 TiAlN 涂层刀片, 以刀片的一个刀尖作为摩擦试验中的销。一种 TiAlN 涂层采用传统电弧离子镀涂覆 (1#); 另一种 TiAlN 涂层采用“劈裂电弧” (MDT) 涂层工艺 (2#)。

对磨材料为镍铬合金 Ni₅₅Cr₂₂, 屈服强度 ≥ 860 MPa。将镍铬合金制作成 8 mm × φ44 mm 的盘, 使 TiAlN 涂层刀尖和镍铬合金盘组成销-盘式摩擦副。

在 MS-W6000 型高温摩擦试验机上进行试验。试验温度为 25℃、300℃ 和 600℃, 摩擦时间为 12 min, 载荷为 1.6 kg。试验结束后用 JSM-5900LV 扫描电镜对涂层刀片的摩擦痕迹进行形貌观察和能谱分析。

3 试验结果与分析

3.1 摩擦力

图 1 为不同摩擦温度时两种涂层材料获得的摩擦力对比情况。由图可以看出, 在室温 (25℃) 时, 当销为 MDT 工艺制备的 TiAlN 涂层刀片时, 摩擦力波动幅度较大; 随着摩擦时间的增加, 摩擦力表现为先增大后趋于平稳 (5.1 N); 当销采用 1# TiAlN 涂层刀片时, 得到的摩擦力随着时间的增加总体表现平稳 (稳定值 6.5 N), 趋于水平直线。

当试验温度由室温增大到 300℃ 和 600℃ 时, 两种材料得到的摩擦力均呈逐渐减小的趋势。由图 1b 可知, 在旋转摩擦过程中, 1# 涂层刀具获得的摩擦力从室温时的 6.5 N 左右下降为 300℃ 时的 5 N 左右; 继续升高为 600℃ 时, 摩擦力保持在 4.5 N 左右。而 2# 涂层刀具获得的摩擦力呈匀速减小, 由室温时

基金项目: 国家自然科学基金 (51305050); 科技部科研院所项目 (2013EG119148); 四川省科技支撑计划 (2016JZ0031)
收稿日期: 2017 年 1 月

的 5.1N 减小为 300℃ 时的 4.9N, 300℃ 时摩擦力为 4.3N。因此, 从摩擦力的变化趋势来看, 当试验温度逐步升高时, 2# 涂层刀具的摩擦过程较为平稳, 而 1# 涂层刀具受试验温度的影响较大, 这种差异可能与温度升高过程中两种涂层刀具的表面摩擦磨损有关。

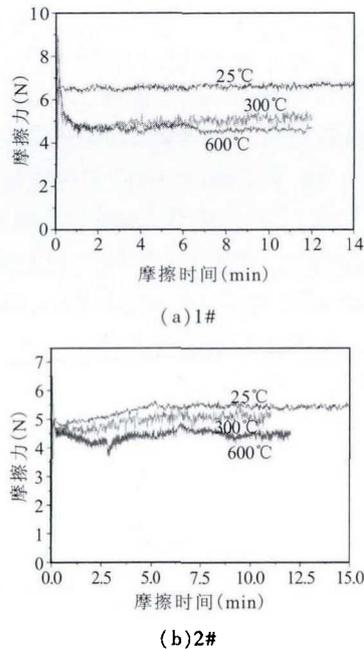


图1 不同摩擦温度下两种涂层刀片获得的摩擦力对比

3.2 摩擦系数

不同摩擦温度时两种摩擦副获得的摩擦系数变化趋势如图2所示。

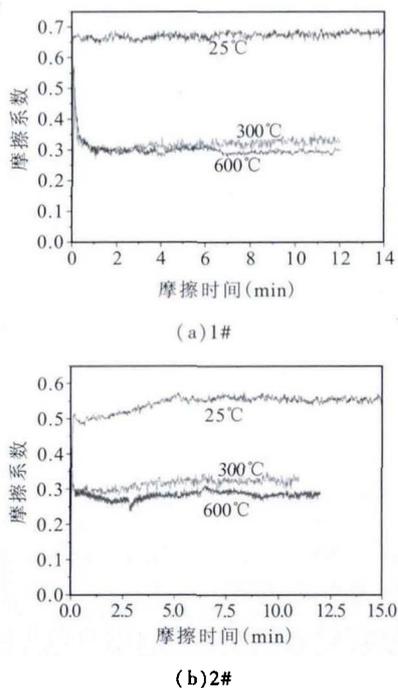


图2 不同摩擦温度下两种涂层刀片获得的摩擦系数对比

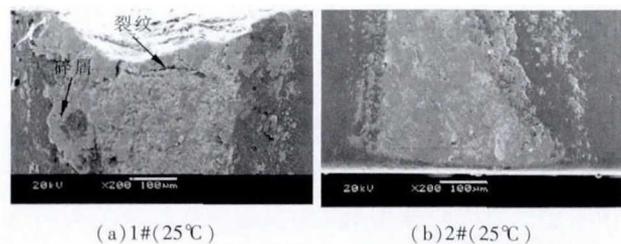
从图中可知, 在旋转摩擦过程中, 两种涂层材料

获得的摩擦系数变化与其摩擦力的变化类似。当试验温度从室温 25℃ 升高到 300℃ 时, 两种涂层材料的摩擦系数均大幅减小, 减小值约为 0.3; 在 600℃ 时, 摩擦系数均稳定在 0.28 左右。因此, 1# 和 2# 两种涂层材料的摩擦系数在高温条件下变化较小, 这表明在高温下两种涂层的表面磨损较为稳定, 摩擦磨损表面处于稳定状态。在常温下, 1# 涂层材料的摩擦系数较大, 显示其表面磨损比 2# 涂层表面磨损严重。在室温状态下, 刀具涂层工艺所决定的涂层粗糙度、涂层缺陷及涂层致密度等物理化学特性对摩擦系数的影响较大; 在高温状态下, 300℃ 和 600℃ 两者摩擦系数相差不大, 说明工件材料略有变化, 材料软化造成摩擦副摩擦系数明显降低, 刀具涂层对摩擦副摩擦系数影响力明显降低。因此可以得出, 在有冷却液参与的断续加工工况时, 摩擦副升温过程中, 1# 的磨损率高于 2#。

3.3 磨损机理

图3和图4分别为1#和2#两种涂层刀具在不同试验温度下获得的摩擦磨损表面形貌和能谱图。由图3可见, 1#和2#两种涂层在室温时均发生了严重的磨损, 其中1#涂层摩擦区存在大量片状碎屑和宽裂纹, 2#涂层摩擦区存在细小的碎屑和裂纹。这表明在干式旋转摩擦过程中, 刀具表面的 TiAlN 涂层遭到严重破坏, 1#和2#两种制备工艺对该涂层的耐磨性的影响有较大差别。室温时, 1#涂层耐磨性较差, 其摩擦系数较大。

当试验温度升高至 300℃ 时, 2# 刀具表面涂层出现了严重的剥落和粘结现象, 摩擦区中部主要为 Ni、Cr 和 Fe 元素 (见图 4d), 这些元素来自于摩擦副材料镍铬合金, 摩擦区两侧主要为 Ti 和 Al。1# 刀具的摩擦区磨损较为平稳, 由图 4c 能谱分析结果可知该区域的元素分布, 中部为 Ni、Cr 和 Fe, 两侧为 Ti 和 Al。这表明在旋转摩擦过程中, 1# 刀具摩擦区主要为粘结, TiAlN 涂层没有遭到破坏。当试验温度达到 600℃ 时, 两种涂层刀具的摩擦区表面均较为平整 (见图 3e 和图 3f)。根据图 4e 和图 4f 可知, 摩擦区中部的主要元素为 W, 该元素来自于刀具基体材料, 显示出两种刀具表面的涂层已被磨损掉。



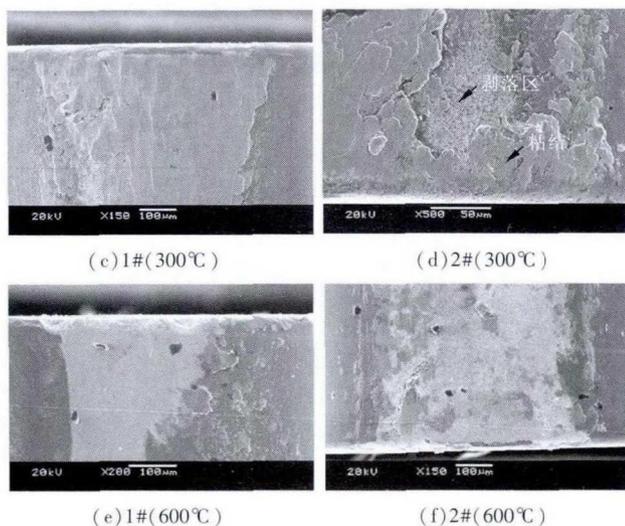


图3 不同温度时两种涂层刀片获得的销试样摩擦表面形貌对比

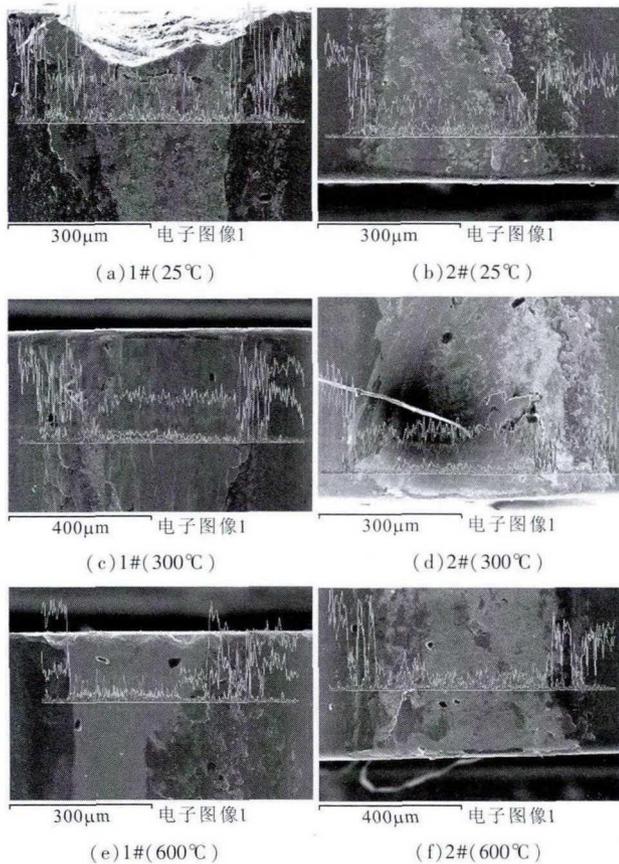


图4 不同温度时两种涂层刀片获得的销试样摩擦表面能谱分析对比

图4中,线扫描获得的微量元素和颜色之间的对应关系为:Ti—绿;Al—浅绿;Fe—蓝;Ni—紫;Cr—浅蓝;W—粉红;C—红;O—黄。

由图4可知:从磨损程度来看,2#涂层在室温时的摩擦性能更好;300°C试验条件下,两种涂层磨损程度相当;600°C试验条件下,2#涂层的耐磨性优于1#涂层。造成两种TiAlN涂层耐磨性差异较大的原

因是:2#涂层采用“劈列电弧”离子镀工艺,“劈列电弧”离子镀沉积的TiAlN涂层表面大颗粒明显少于传统电弧,表面更加光滑。由于“劈列电弧”可以产生高密度的等离子,所以其制备的涂层表面更加光滑,显微结构更紧密,涂层硬度相对较高^[7]。

4 结语

(1)研究表明,在室温时,2#涂层的摩擦性能更好;在高温条件下,1#和2#两种涂层刀具的摩擦性能趋于一致,但2#涂层的稳定性较好。

(2)刀具涂层工艺所决定的涂层粗糙度、涂层缺陷及涂层致密度等物理化学特性对摩擦系数的影响较大;在高温状态下,300°C和600°C两者摩擦系数相差不大,说明工件材料略有软化,材料软化造成摩擦副摩擦系数明显降低。

(3)“劈列电弧”离子镀沉积的TiAlN涂层质量优于传统电弧。

参考文献

- [1]张德元,邓鸣,彭文屹.离子镀TiAlN超硬膜耐磨性研究[J].金属热处理学报,1997,18(2):40-44.
- [2]P C Jindal, A T Santhanam, U Schleinkofer, et al. Performance of PVD TiN, TiCN and TiAlN coated cemented carbide tools in turning [J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 1999(17):163-170.
- [3]龙振海,王西彬,刘志兵. TiAlN涂层硬质合金铣刀高速铣削30CrNi4iMoV钢的磨损机理[J].北京理工大学学报,2004,24(11):942-946.
- [4]A Liu, J Deng, H Cui, et al. Friction and wear properties of TiN, TiAlN, AlTiN and CrAlN PVD nitride coatings [J]. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 2012(31):82-88.
- [5]陈德平,张平,冯燕,等. TiAlN涂层含Al量对力学性能和摩擦性能的影响[J].工具技术,2016,50(3):27-29.
- [6]邓力群,邹树梁,唐德文. H13表面TiAlN/CrAlN复合涂层的摩擦磨损性能研究[J].铸造技术,2016,37(5):918-921.
- [7]陈懿,张小波,王启民,等.新型电弧离子镀AlTiN涂层的制备及其切削性能的研究[J].装备制造技术,2015(5):1-3.

第一作者:牛秋林,博士,讲师,湖南科技大学机电工程学院,411201湖南省湘潭市

First Author: Niu Qiulin, Doctor, Lecturer, College of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China