

TiAlN 涂层高速钢刀具的制备及钻削性能研究*

莫继良, 任 元, 朱旻昊

(西南交通大学 牵引动力国家重点实验室 摩擦学研究所, 成都 610031)

摘 要: 研究综合采用了电子枪等离子增强、非平衡磁控溅射和多弧离子镀 3 种物理气相沉积 (PVD) 技术, 在高速钢麻花钻上沉积 TiAlN 单层涂层。对涂层的硬度、涂层与基体的结合强度、微观形貌进行了测试及分析, 并将 TiAlN 涂层高速钢麻花钻对 1Cr18Ni9Ti 不锈钢进行干态钻削试验。结果表明, 在高速钢麻花钻基体上所制备的 TiAlN 涂层具有良好的力学性能, 可以使高速钢麻花钻的使用寿命提高 4 倍以上。

关键词: 物理气相沉积 (PVD); TiAlN 涂层; 高速钢; 钻头

中图分类号: TG174.444

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2010)02-0026-04

Preparation and Drilling Properties of TiAlN Coated HSS Twist Drill

MO Ji-liang, REN Yuan, ZHU Min-hao

(Southwest Jiaotong University, Traction Power State Key Laboratory, Tribology Research Institute, Chengdu 610031)

Abstract: TiAlN coating has been deposited on HSS twist drill by the Physical vapor deposition (PVD) technology which combined with plasma enhance, multiple arc ion plating and unbalanced magnetron sputtering. Morphology, hardness, elastic modulus and adhesion strengths of the coating has been evaluated, respectively. In addition, dry drilling test has been carried out in 1Cr18Ni9Ti stainless steel. The investigation showed that TiAlN coating has a good mechanical property, the TiAlN coated HSS twist drill demonstrated over four times improvement in tool life.

Key words: PVD; TiAlN coating; HSS; drill

0 引 言

物理气相沉积 (PVD) 技术制备的 TiN 涂层具有高硬度、高耐磨性和低摩擦系数等特性, 在工业生产中已获得了广泛的应用, 但其与基体的结合力较弱、脆性大、易剥落, 特别是在耐高温性能方面存在的缺陷, 限制了它的进一步发展^[1]。在 TiN 涂层中引入 Al, 得到的 TiAlN 涂层在硬度、耐磨性、高温氧化性及与基体之间的结合强度等方面表现出比 TiN 涂层更优异的性能, 因此在高速钢及硬质合金刀具和耐磨零部件等方面有广泛的应用^[2-8]。众所周知, 在高速钢上沉积与其硬度、弹性模量及热膨胀系数差异较大的硬质陶瓷涂层将会很难保证涂层与基体之间的结合强度。此外, 在形状复杂的

高速钢麻花钻沉积均匀的硬质涂层更为困难^[2-6]。

文中采用集电子枪等离子增强、非平衡磁控溅射和多弧离子镀三种技术于一体的物理气相沉积 (PVD) 设备, 结合三轴样品转动台, 在几何形状较为复杂的高速钢麻花钻上尝试沉积均匀的具有过渡层结构的 TiAlN 涂层, 并在干态环境下, 将 TiAlN 涂层高速钢麻花钻和无涂层高速钢麻花钻对 1Cr18Ni9Ti 不锈钢进行了对比性的连续钻削试验。

1 试验方法

研究采用直径为 5 mm 的高速钢麻花钻 (成分牌号: W6Mo5Cr4V2) 作为基体试样, 硬度为 683 HV_{50g}。涂层制备在集电子枪等离子增强、非平衡磁控溅射和多弧离子镀 3 种技术于一体的物理气相沉积 (PVD) 设备上完成, 如图 1 所示。其优点在于互补 3 种技术的优缺点, 进一步提高涂层结合强度, 降低残余应力, 三轴样品转动台很容易实现多

收稿日期: 2009-12-15; 修回日期: 2010-03-08

基金项目: *教育部新世纪优秀人才计划 (NCET-04-0885); 四川省科技攻关计划 (04CN032-009)

作者简介: 莫继良(1982—), 男(汉), 广西防城港人, 讲师, 博士。

层膜沉积,并能很好控制单层膜厚及均匀性,其中置于真空室顶部的电子枪主要用于镀膜前基体的加热及镀膜时等离子增强。选用Ti和Al原子比为60:40的热等静压钛铝合金靶作为溅射靶材,纯Ti靶作为多弧靶材,气体采用工业高纯氩气及氮气。

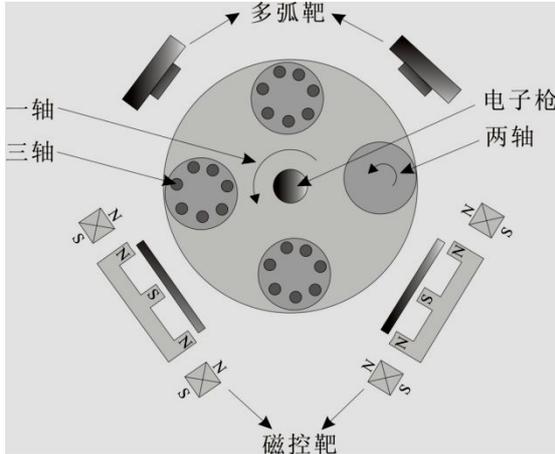


图1 集电子枪等离子增强、非平衡磁控溅射和多弧离子镀三种技术于一体的PVD设备示意图

Fig.1 Schematic of the PVD system that combined with the technologies of plasma enhance, multiple arc ion plating and unbalanced magnetron sputtering

所有试样经严格的工业清洗标准清洗后入炉,抽真空至 8.0×10^{-3} Pa。为提高涂层与基体的结合强度,在沉积TiAlN涂层前,采用电子枪等离子增强的多弧技术,由Ar离子和Ti离子共同对试样进行清洗打底,然后逐渐降低偏压(-600 V~-200 V)并通入氮气,沉积一定厚度的Ti/TiN复合过渡层(由纯Ti逐渐过渡到TiN)。鉴于高速钢麻花钻的材料及形状特性,清洗过程中采用的偏压值不能过高,时间不能过长,以防刀尖局部温度过高所导致的刀具刃口软化及崩缺。TiAlN涂层的沉积采用电子枪等离子辅助增强的非平衡磁控溅射技术,电子枪电流130 A,磁控靶电流17 A。涂层沉积时真空度:0.23 Pa,氮气流量:60 cm³/min,沉积偏压:-50 V~-80 V,沉积时间:30 min。由于真空室内有电子枪及磁控靶两种热源,所以在TiAlN涂层沉积过程中需通过间歇沉积的方法将沉积温度控制于300℃左右,避免高速钢基体回火,减轻基体的热膨胀,降低基体与涂层之间由于热膨胀系数差异较大所导致的内应力。以上涂层沉积工艺参数均在前期优化试验的基础上所确定。

用AKashi MVK-H12型显微硬度仪测定TiAlN涂层试样的维氏硬度,载荷选用50 g,取10个测试点的平均值。用瑞士CSEM纳米压痕仪测定涂层纳米硬度及弹性模量,载荷选用100 mN,在涂层表面0.5 mm直线距离内的10个点上进行测试。用WS-2004涂层附着力划痕试验仪测定涂层与基体结合力,选用夹角120°,直径200 μm的金刚石针尖,划痕长度为4 mm,载荷从0 N线性增至100 N。用Quanta 200型扫描电镜(SEM)结合电子能谱(EDX)对涂层断面及磨损后的刀具进行微观分析,并测定涂层厚度。在干态环境下,利用立式升降铣床将TiAlN涂层及无涂层高速钢麻花钻对10 mm厚的1Cr18Ni9Ti不锈钢板进行钻削对比试验,主轴转速1180 r/min,进给量0.16 mm/转,钻削深度10 mm(通孔)。

2 涂层性能表征

制备的TiAlN涂层纳米压痕载荷-位移曲线如图2所示,从图中可以看出,曲线分布较为集中且重复性很好,每个测试点的硬度值差异不大,说明涂层致密均匀,得出TiAlN涂层纳米硬度平均值为33.57 GPa,弹性模量平均值为467.30 GPa,维氏硬度平均值3109 HV。显微硬度测试得出涂层2526 HV_{50g},比纳米压痕测试中得到维氏硬度值低,其主要原因是显微硬度测试采用了较大的压入载荷,针尖压入深度较深,存在明显的压痕尺寸效应。

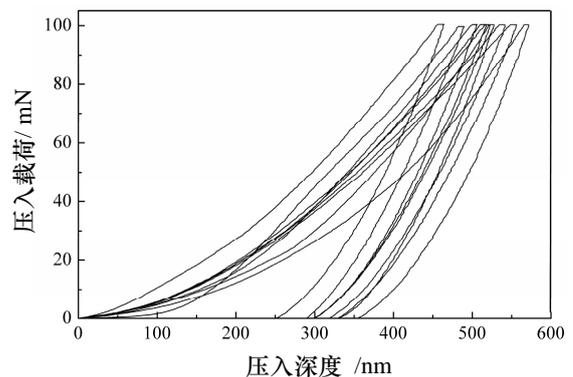


图2 高速钢麻花钻上TiAlN涂层纳米压痕载荷-位移曲线
Fig.2 Load-displacement curve of the TiAlN coating deposited on HSS twist drill

图3为在高速钢麻花钻上沉积的TiAlN涂层划痕声发射信号结果,当金刚石针尖法向加载到一定载荷时,涂层开始产生连续较强的声发射信号,结

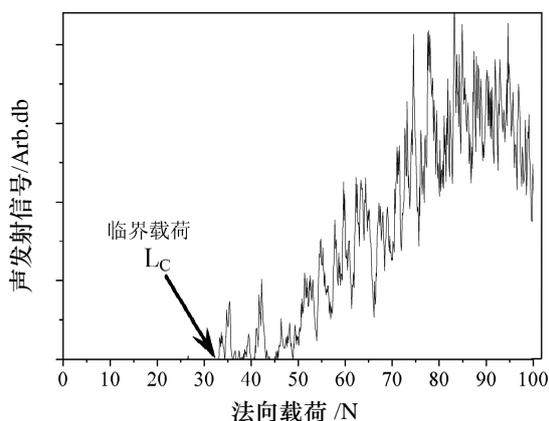


图3 高速钢麻花钻上的 TiAlN 涂层划痕声发射信号图

Fig.3 AE signal recorded during scratch test of TiAlN coating deposited on HSS twist drill

合光学显微镜确定涂层连续剥落失效起始点,可以确定出涂层与基体的临界载荷(L_c)约为 33 N。

图 4 为高速钢麻花钻上 TiAlN 涂层的断口形貌,从图中可以看出,基体与涂层之间存在厚度约为 $0.5 \mu\text{m}$ 的过渡层,其上面是厚度约为 $1 \mu\text{m}$ 的 TiAlN 单层,涂层总厚度约为 $1.5 \mu\text{m}$ 。过渡层由纯 Ti 和 TiN 复合而成,居于高速钢基体与 TiAlN 单层之间,可以很好地提高涂层与基体的结合强度,避免切削过程中刀具受到剪切和冲击引起的涂层过早剥落。

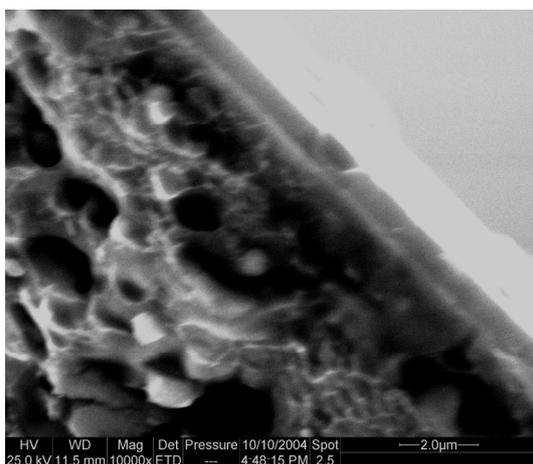


图4 高速钢麻花钻上的 TiAlN 涂层断口 SEM 照片

Fig.4 SEM micrographs of fractured cross-section of TiAlN coating deposited on HSS twist drill

3 切削试验结果分析

为进一步验证试验所制备的 TiAlN 涂层的性能,将涂层刀具与未涂层刀具对 1Cr18Ni9Ti 不锈

钢进行了对比性的连续干态钻削试验,共进行了 5 组试验并将结果取平均值。试验结果表明,无涂层麻花钻平均在钻削 6 个孔后便出现较大的加工振动及噪音,并在平均加工 11 个孔后无法继续进行钻削;而 TiAlN 涂层麻花钻在钻削过程中始终无较大振动及噪音,相同工艺条件下,不同批次的涂层麻花钻在加工 44 孔后都仍然具有良好的钻削性能,还可以继续进行顺畅的钻削。由于连续钻削会导致温度上升较快,所以后期孔的钻削环境更为恶劣,因此可以推断,涂层刀具的刀具寿命比无涂层刀具提高 4 倍以上。

图 5 为无涂层麻花钻加工 11 个孔后的刀具磨损形貌及横刃状态,可以看出无涂层麻花钻主切削刃及横刃发生明显磨损,主后刀面还存在被加工材

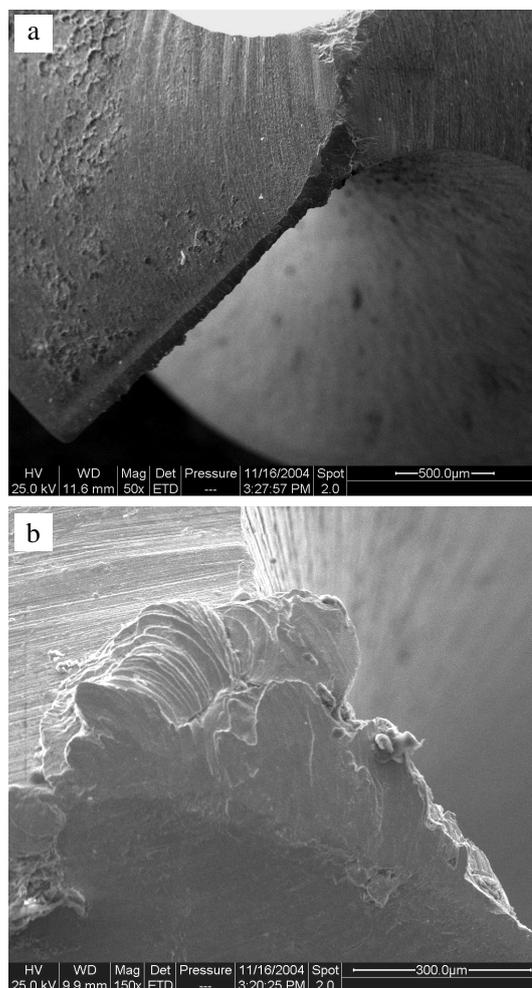
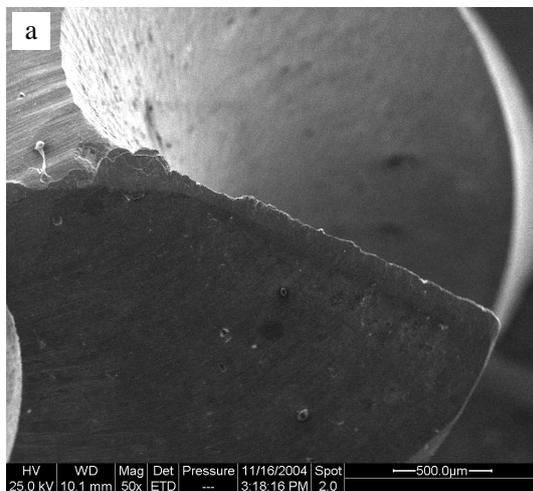


图5 无涂层高速钢麻花钻刃口磨损 SEM 形貌 (a) 磨损边缘 (b) 横刃

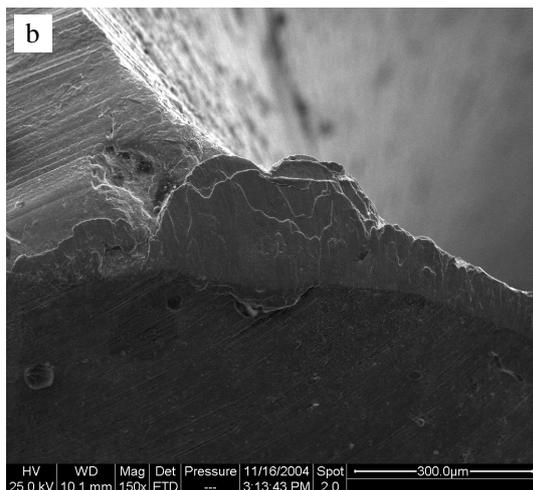
Fig.5 SEM morphologies of uncoated HSS twist drill, dry drilling of 1Cr18Ni9Ti stainless steel (a) worn edge (b) chisel edge

料的粘附,尤其是横刃上粘附有大量被加工材料,粘着物存在于刀具与被加工材料之间的摩擦界面,导致切削过程中工况急剧恶化,加工温度升高,使加工精度下降并最致使得刀具过早失效。

图 6 示出了 TiAlN 涂层麻花钻加工 44 个孔后的刀具磨损形貌及横刃状态,可以看出 TiAlN 涂层麻花钻主切削刃及横刃磨损相对较轻,主后刀面光滑平整,没有发现粘着现象,横刃上仅有轻微的粘着,刃部形状完整,刀具仍然具有良好的钻削性能。



(a) 磨损边缘



(b) 横刃

图 6 TiAlN 涂层高速钢麻花钻刃口磨损 SEM 形貌
Fig.6 SEM morphologies of TiAlN coated HSS twist drill, dry drilling of 1Cr18Ni9Ti stainless steel (a) worn edge (b) chisel edge

4 结 论

(1) 综合电子枪等离子增强、非平衡磁控溅射和多弧离子镀三种技术在高速钢麻花钻上沉积含有过渡层的 TiAlN 涂层具有较高的硬度,涂层与刀具基体间有较好的结合强度。

(2) 制备的 TiAlN 涂层可以明显提高高速钢麻花钻的抗粘结性能,减轻刃口磨损。涂层后刀具的钻削性能得到显著提高,寿命提高 4 倍以上。

参考文献:

- [1] Novak S, Komac M. Wear of cermet cutting tools coated with physically vapour deposited TiN [J]. *Wear*, 1997(205): 160-168.
- [2] PalDey S, Deevi S C. Single layer and multilayer wear resistant coatings of (Ti,Al)N: a review [J]. *Materials Science and Engineering*, 2003(342):58-79.
- [3] Smith I J, Gillibrand D, Brooks J S, et al. Dry cutting performance of HSS twist drills coated with improved TiAlN [J]. *Surface and Coatings Technology*, 1997(90): 164-171.
- [4] Reiter A E, Brunner B, Ante M. Investigation of several PVD coatings for blind hole tapping in austenitic stainless steel [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2006(18-19): 5532-5541.
- [5] Bressan J D, Hesse R, Silva Jr E M. Abrasive wear behavior of high speed steel and hard metal coated with TiAlN and TiCN [J]. *Wear*, 2001(250): 561-568.
- [6] Sproul W D. Physical vapor deposition tool coatings [J]. *Surface and Coatings Technology*, 1996(81): 1-7.
- [7] Jehn H A. Multicomponent and multiphase hard coatings for tribological applications [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2000(131): 433-440.
- [8] Ohnuma H, Nihira N, Mitsuo A, et al. Effect of aluminum concentration on friction and wear properties of titanium aluminum nitride films [J]. *Surface and Coatings Technology*, 2006(177-178): 623-626.

作者地址: 成都市二环路北一段 111 号

610031

西南交通大学摩擦学研究所

Tel: (028) 8760 0601; 130 8806 8324

Fax: (028) 87601342

E-mail: jlmo@swjtu.cn