

高速钢钻头电火花沉积 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层的组织及切削性能

高玉新, 易剑, 方淳

(台州学院 机械工程学院, 浙江 台州 318000)

摘要: **目的** 在高速钢钻头表面电火花沉积 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层, 以提高其切削性能。**方法** 利用电火花沉积技术, 以 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 作为电极材料, 在高速钢钻头表面制备 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 涂层, 考察涂层的物相组成、组织形貌及横截面硬度分布, 并进行切削试验。**结果** 涂层组织均匀, 厚度约 $32 \sim 36 \mu\text{m}$, 物相主要为 $\text{C}_{0.3}\text{N}_{0.7}\text{Ti}$, Al_2O_3 , AlTi_3 , Fe_7W_6 , Fe_4N , TiN 和 AlN , 平均硬度是基体高速钢的 2.6 倍。**结论** 在高速钢钻头表面制备 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 涂层可以提高刀具的切削性能, 延长其使用寿命。**关键词:** 电火花沉积; 高速钢钻头; $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层; 切削性能
中图分类号: TG174.444 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2014)05-0029-04

Microstructure and Cutting Performance of $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ Composite Coating on High-speed Steel Drill Produced by Electro-spark Deposition

GAO Yu-xin, YI Jian, FANG Chun

(College of Mechanical Engineering, Taizhou University, Taizhou 318000, China)

ABSTRACT: **Objective** To prepare electro-spark deposited $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ coating on high-speed steel (HSS) drills, and to investigate the cutting performance of the coating. **Methods** $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ composite coatings on high-speed steel (HSS) drills were prepared by electrospark deposition technique using $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ as electrode material. The phase composition, morphology and hardness distribution of the coating were investigated, and the cutting performance tests of the HSS drill coated by $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ were also conducted. **Results** The microstructure of $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ coating was homogeneous with a thickness of $32 \sim 36 \mu\text{m}$. The phase composition of the coating was mainly $\text{C}_{0.3}\text{N}_{0.7}\text{Ti}$, Al_2O_3 , AlTi_3 , Fe_7W_6 , Fe_4N , TiN and AlN . The average hardness of the coating was 2.6 times higher than that of HSS. **Conclusion** Crack-free $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ coating could be prepared on HSS drill by electrospark deposition technique. The cutting performance of HSS drill with $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ coating was improved and the service life was prolonged.

KEY WORDS: electrospark deposition; high-speed steel drill; $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ composite coating; cutting performance

收稿日期: 2014-05-03; 修订日期: 2014-06-25

Received: 2014-05-03; Revised: 2014-06-25

基金项目: 浙江省工量刀具检测与深加工技术重点实验室开放基金项目(ZD201209); 台州市科技计划项目(1202ky09); 浙江省科技计划项目(2012C21107)

Fund: The Open Research Fund Program of Zhejiang Provincial Key Laboratory for Cutting Tools(ZD201209), Taizhou Municipal Science and Technology Project(1202ky09), and Science and Technology Plan of Zhejiang Province(2012C21107)

作者简介: 高玉新(1974—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为金属材料表面改性。

Biography: GAO Yu-xin(1974—), Male, Doctor, Research focus: surface modification of metallic materials.

高速钢(HSS)是加入了W,Cr,Mo,V等合金元素的高合金工具钢,广泛应用于钻削刀具的制造^[1]。高速钢钻头的耐磨性、热硬性低于硬质合金钻头,但价格相对低廉,同时具有比普通工具钢更优异的强度、韧性、热硬性和工艺性,因此在我国机械制造业中占有很大的市场份额^[2]。为了弥补高速钢钻头硬度低的缺点,提高切削性能,制备硬质涂层或超硬涂层是有效手段。目前刀具涂层材料应用较多的为TiN,AlN,TiCN,CrN,TiAlN及DLC等^[3-4],常用的制备方法则有PVD,CVD^[5]。PVD和CVD涂层技术投资巨大,工艺复杂,适用于在硬质基体上制备高性能涂层。

电火花沉积技术^[6]具有对工件表面的热影响小,沉积时工件表面的温度可保持在环境温度,工件残余变形极小;设备投资少,工艺简单,可在线修复和强化;强化层硬度高,耐磨性高,红硬性好等特点^[7-9]。张辉等^[10]利用电火花沉积技术在高速钢钻头表面制备了WC涂层,钻削45钢和铸铁的结果表明,WC涂层钻头的平均寿命比无涂层钻头分别提高了10倍和13倍。Soma Raju等^[11]利用电火花沉积技术在高速钢钻头表面制备了WC-8Co涂层,涂层钻头的切削寿命相比高速钢钻头提高了5倍。目前关于高速钢钻头的强化研究多集中于WC及WC-Co涂层,而对电火花沉积Ti(C,N)/Al₂O₃复合涂层的研究很少,文中拟通过研究弥补这方面的不足。

1 实验

1.1 Ti(C,N)/Al₂O₃复合涂层的制备

高速钢钻头钢种为W18Cr4V,其化学成分为:0.7% C,17.5% W,3.80% Cr,1.0% V,0.2% Si,0.2% Mo,其余为Fe。钻削试验用高速钢钻头为企业用过一段时间后,重新刃磨的钻头,直径为8.6 mm。钻头刃磨后,先用800号砂纸打磨,然后用丙酮清洗去油。用于金相分析的基体材料从高速钢钻头上线切割得到。电火花沉积电极材料为自制的Ti(C,N)/Al₂O₃复合电极,Al₂O₃质量分数为6%~8%。

沉积Ti(C,N)/Al₂O₃涂层采用DZS-1400型电火花沉积设备,工艺参数为:功率600 W,电压60 V,频率1000 Hz,生产率1.5 min/cm²,氩气流量6 L/min。钻削用高速钢钻头沉积Ti(C,N)/Al₂O₃复合涂层的位置为横刃及后刀面。

1.2 表征及性能测试

采用X射线衍射仪(XRD)分析涂层的相组成;采用扫描电镜(SEM)分析涂层微观组织;采用显微硬度计测试涂层横截面的硬度,测试载荷为0.3 N,加载时间为15 s。

参照JB/T 50189—1999,对无涂层高速钢钻头、WC-8Co涂层高速钢钻头及Ti(C,N)/Al₂O₃复合涂层高速钢钻头进行钻削实验,以分析Ti(C,N)/Al₂O₃复合涂层的性能。钻削条件如下:钻削材料为T10模具钢(硬度50~54HRC,表面粗糙度Ra=1.6 μm),钻头直径8.6 mm,钻孔深度30 mm,主轴转速300 r/min,进给速度80 mm/min,干切削。通过测量主后刀面的平均最大磨损量(VB)评价钻头的切削性能,取VB_T=0.30 mm作为钻头磨钝的标准。钻头磨损量通过蔡司共聚焦显微镜静态观察测得。

2 结果与讨论

2.1 涂层物相分析

图1为Ti(C,N)/Al₂O₃复合涂层的X射线衍射结果。由图1可知,涂层主要由C_{0.3}N_{0.7}Ti,Al₂O₃,AlTi₃,Fe₇W₆,Fe₄N,TiN及AlN相组成。电火花沉积时,脉冲放电产生的高能微弧将Ti(C,N)/Al₂O₃电极端部与基体高速钢表面熔化,形成微小熔池,电极与基体各元素在熔池内发生冶金反应,形成了新的化合物。其中Al₂O₃,TiN硬质相的硬度均超过2000HV,AlN相的硬度也超过1000HV^[12]。涂层中形成的硬质相大大提高了涂层的硬度,有利于高速钢钻头切削性能的提高。

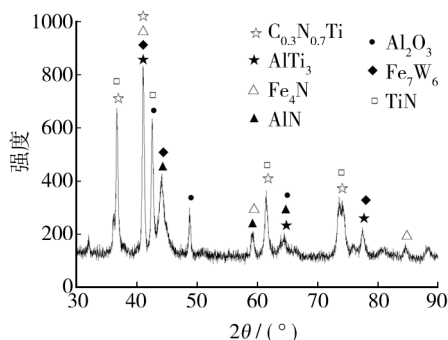


图1 Ti(C,N)/Al₂O₃复合涂层的XRD衍射谱

Fig.1 XRD pattern of the Ti(C,N)/Al₂O₃ coating

2.2 涂层组织形貌

图 2 为电火花沉积 Ti(C,N)/Al₂O₃ 涂层的组织形貌。从图 2a 可见,涂层厚约 32 ~ 36 μm,组织均匀,未发现横断裂纹,孔洞很少。涂层与高速钢基体界面处存在一条亮线,这是基体与涂层材料重熔凝固后形成的平面晶组织,表明基体与涂层呈良好的冶金结合,可保证涂层在服役过程中不会脱落。热影响区组织由于电火花沉积时快速加热和快速冷却的淬火作用,得到细化,因此该区域硬度提高,这也使得由涂层到基体的硬度梯度得到缓和,利于承载。图 2b 是涂层中部组织的放大照片,可见涂层中的超细硬质相均匀分布于韧性基体中,硬质相颗粒与韧性基体界面处未发现裂纹,二者润湿性良好,结合牢固,这可大幅提高高速钢钻头的耐磨性能。电火花沉积工艺实际上是一种微弧焊接工艺,其特点是加热和冷却速度非常快,熔池的快热、快冷导致生成的新相奥氏体化极不均匀,形核率高,从而使组织超细化^[13-14]。

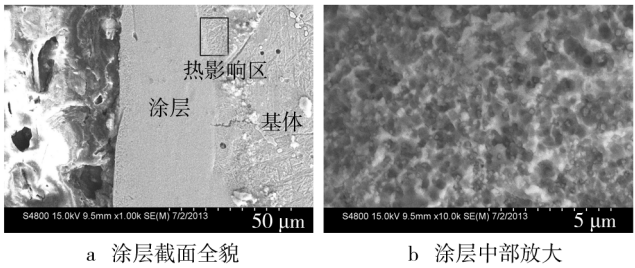


图 2 Ti(C,N)/Al₂O₃ 复合涂层的 SEM 形貌

Fig. 2 Typical cross-section SEM morphology of the Ti(C,N)/Al₂O₃ coating

2.3 涂层横截面的硬度分布

如图 3 所示,电火花沉积 Ti(C,N)/Al₂O₃ 复合涂层的最高硬度为 1633HV,从涂层表面到厚约 25 μm 的范围内,平均硬度值约为 1500HV,是基体硬度

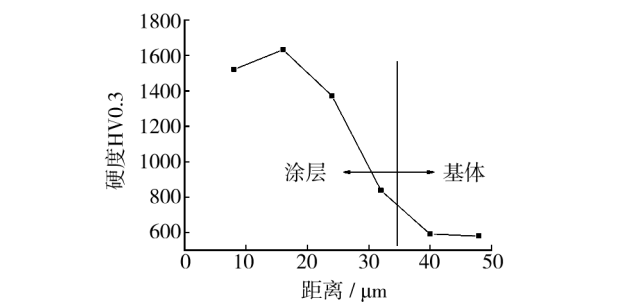


图 3 涂层横截面的硬度分布

Fig. 3 The microhardness distribution of the cross-section of the coating

(580HV) 的 2.6 倍。涂层靠近高速钢基体的区域由于基体的稀释,硬度降低,约为 840HV。电火花沉积 Ti(C,N)/Al₂O₃ 复合涂层虽然硬度比 PVD-TiN 涂层低^[15],但相对较厚,且梯度缓和,承载能力好。

2.4 涂层钻头的切削性能

图 4 为无涂层高速钢钻头、WC-8Co 涂层高速钢钻头及 Ti(C,N)/Al₂O₃ 复合涂层高速钢钻头主后刀面的磨损曲线。由图 4 可知,沉积两种涂层的高速钢钻头磨损比较平缓,且磨损量较小。无涂层的高速钢钻头磨损较快,在钻到 120 孔时磨损已经较为严重,后刀面有烧伤,不能继续使用。沉积两种涂层的高速钢钻头抗高温性能较好,特别是 Ti(C,N)/Al₂O₃ 复合涂层,由于涂层中 C_{0.3}N_{0.7}Ti, Al₂O₃, Fe₇W₆, Fe₄N, TiN 等硬质相弥散分布于韧性高速钢基体中,因此具备优良的耐磨性、耐热性及高温红硬性;同时 Al₂O₃ 相在钻削过程中可以形成氧化膜,从而降低摩擦系数,延长钻头的使用寿命。

图 5 所示为三种钻头切屑形貌的数码照片。这三种切屑都是挤压型切屑,内侧边缘不规则,特别是

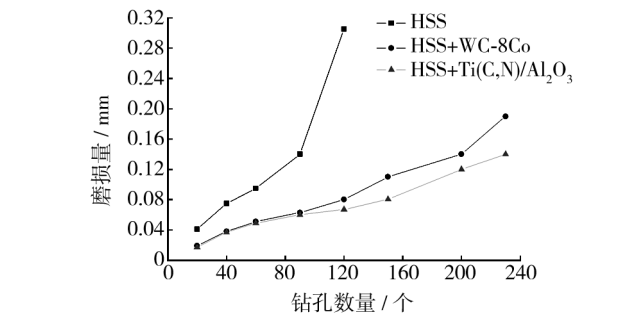


图 4 钻头主后刀面磨损曲线

Fig. 4 Curves of major flank wear of HSS, HSS with WC-Co coating and HSS with Ti(C,N)/Al₂O₃ coating

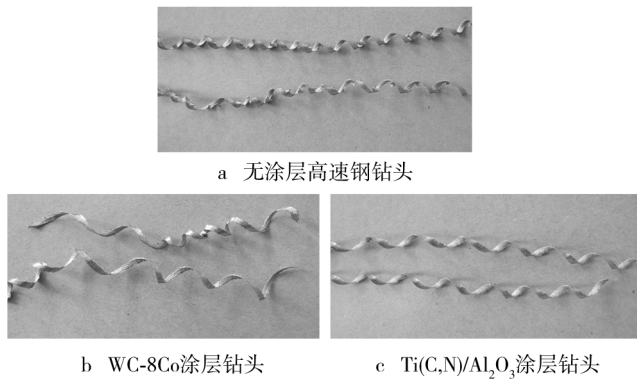


图 5 切屑形貌

Fig. 5 The morphology of drilling cuttings

无涂层高速钢钻头的切屑,内侧边缘存在锯齿状形貌。高速钢钻头的结构决定了横刃是大负前角切削,这种结构在钻削中容易出现缠屑及排屑困难,对钻削加工不利。

3 结论

1) 利用电火花沉积工艺可以在高速钢钻头表面制备 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层。涂层组织均匀,与基体呈良好的冶金结合。涂层主要物相为 $\text{C}_{0.3}\text{N}_{0.7}\text{Ti}$, Al_2O_3 , AlTi_3 , Fe_7W_6 , Fe_4N , TiN 和 AlN 。

2) 切削试验表明,沉积 $\text{Ti}(\text{C}, \text{N})/\text{Al}_2\text{O}_3$ 复合涂层可以延长高速钢钻头的切削寿命。

参考文献

- [1] 周泽华. 金属切削原理[M]. 上海:上海科学技术出版社,1993.
ZHOU Ze-hua. Theory of Metal Cutting[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House,1993.
- [2] 邢义,宋学全. 高性能高速钢刀具材料及其热处理工艺[J]. 金属加工(热加工),2012(3):49—51.
XING Yi, SONG Xue-quan. High Performance High Speed Steel Cutting Materials and Their Technologies for Heat Treatment[J]. Metal Processing (Hot Working), 2012(3): 49—51.
- [3] 沈中. 刀具涂层及其性能评价[D]. 上海:上海交通大学,2007.
SHEN Zhong. Evaluation of Cutting Tool Coating and Its Properties [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007.
- [4] 戴兵,张恒华,黄波,等. DLC 表面处理对高速钢耐磨性能的影响[J]. 表面技术,2008,37(6):24—26.
DAI Bing, ZHANG Heng-hua, HUANG Bo, et al. Effect of DLC Surface Treatment on Wear Resistance of High Speed Steel[J]. Surface Technology, 2008, 37(6): 24—26.
- [5] 吴大维,刘传胜,傅德君,等. 刀具涂层技术的新进展[J]. 中国机械工程,2000,11(5):574—577.
WU Da-wei, LIU Chuan-sheng, FU De-jun, et al. New Progress of Cutting Coating Technology[J]. China Mechanical Engineering, 2000, 11(5): 574—577.
- [6] RIBALKO Alexander V, SAHIN Orhan. A Modern Representation of the Behaviour of Electrospark Alloying of Steel by Hard Alloy[J]. Surface and Coatings Technology, 2006, 201(3/4):1724—1730.
- [7] 金君,董晨竹,徐东,等. 电火花沉积 Ni 基合金涂层的摩擦磨损特性[J]. 表面技术,2011,40(6):32—34.
JIN Jun, DONG Chen-zhu, XU Dong, et al. Tribological Properties of Ni-based Coatings Prepared by Electrospark Deposition[J]. Surface Technology, 2011, 40(6): 32—34.
- [8] 赵程,高玉新. 电火花沉积 Ni 基合金涂层的质量过渡及电极损失[J]. 表面技术,2012,41(3):51—53.
ZHAO Cheng, GAO Yu-xin. Mass Transfer Regularity and Mass Loss of Electrospark Deposited Ni-based Coating[J]. Surface Technology, 2012, 41(3): 51—53.
- [9] 董晨竹,刑斌赛,郝杰,等. 电火花沉积 Fe 基合金涂层的组织及耐磨性能[J]. 表面技术,2013,42(2):37—39.
DONG Chen-zhu, XING Bin-sai, HAO Jie, et al. Microstructure and Wear Properties of Fe-based Coating Prepared by Electrospark Deposition[J]. Surface Technology, 2013, 42(2): 37—39.
- [10] 张辉,马跃进,郝建军,等. 电火花沉积制备 WC 涂层高速钢钻头研究[J]. 焊接,2008(8):40—43.
ZHANG Hui, MA Yue-jin, HAO Jian-jun, et al. WC Coating Deposited by Electrospark Process on High Speed Steel [J]. Welding & Joining, 2008(8): 40—43.
- [11] SOMA RAJU K R C, NADIMUL HAQUE F, SRINIVASA RAO D, et al. Electro-spark Coatings for Enhanced Performance of Twist Drills[J]. Surface and Coatings Technology, 2008, 202: 1636—1644.
- [12] 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.
SONG Gui-hong, DU Hao, HE Chun-lin. Super and Hard Coating—The Structure, Properties, Preparation and Characterization [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007.
- [13] 王建升. 电火花沉积工艺及沉积层性能的研究[J]. 表面技术,2005,34(1):27—30.
WANG Jian-sheng. Study on Electro-spark Deposition Process and Property of ESD Coating[J]. Surface Technology, 2005, 34(1): 27—30.
- [14] 张瑞珠,李静端,肖明,等. 电火花微纳米涂层的研究与应用[J]. 表面技术,2013,42(2):108—111.
ZHANG Rui-zhu, LI Jing-rui, XIAO Ming, et al. Research and Application of Micro Nanostructured Coating by Electrospark[J]. Surface Technology, 2013, 42(2): 108—111.
- [15] 李玉美. TiN 涂层高速钢钻头的切削性能与应用研究[J]. 新技术新工艺,1995(4):20—21.
LI Yu-mei. Study of Cutting Properties and Application of High Speed Steel Drill Coated TiN[J]. New Technique and New Process, 1995(4): 20—21.