

钻杆接头材料 35CrMo 硫氮复合处理层的 干摩擦学性能研究

车延岗^{1,2}, 刘沅东¹, 袁静静³, 孙雪洁¹

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 3. 中国矿业大学(北京)材料系, 北京 100083)

摘要:应用离子渗氮与离子渗硫技术,在钻杆接头材料 35CrMo 钢表面制备了硫氮复合处理层。采用 M-200 环块磨损试验机,对比研究了原始渗氮表面与硫氮复合表面在干摩擦条件下的抗磨损性能。结果表明,在干摩擦的条件下,由于摩擦副的接触表面缺乏润滑,硬度较高的渗氮层会加剧接触表面的磨损。而硫氮复合处理层由于在表面存在一层硫化亚铁固体润滑层,在磨损过程中可以起到一定的润滑作用,因此其在干摩擦条件下具备更好的抗磨损性能。

关键词:钻杆接头;35CrMo 钢;硫氮复合处理;干摩擦

中图分类号:P634.4;TG156.8⁺2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)11-0024-04

Study on Dry Biological Properties of Drilling Pipe Joint Material with 35CrMo Sulphurized-nitrided Compound Layer/CHE Yan-gang^{1,2}, LIU Yuan-dong¹, YUAN Jing-jing³, SUN Xue-jie¹ (1. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang He-bei 065000, China; 3. Material Department, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China)

Abstract: Sulphurized-nitrided compound layer is prepared on the surface of drilling pipe joint material 35CrMo steel by the application of ion nitriding and ion sulfurizing technology. Comparative study was made on anti-wear property under dry friction between original nitriding surface and sulphurized-nitrided compound surface. With dry friction, high-hardness nitriding coat would further intensify the wear, because contact surface of friction pair is lack of lubrication; and sulphurized-nitrided compound coat has better anti-wear property, just because there is a layer of solid lubrication coat of ferrous sulfide on the surface.

Key words: drilling pipe joint; 35CrMo steel; sulphurized-nitrided compound treatment; dry friction

0 前言

35CrMo 钢以很高的静力强度、冲击韧性及较高的疲劳极限,被广泛应用于钻杆接头上。在钻杆的使用过程中,接头要经常拧卸,表面承受相当大的钳咬合力,极易造成损伤。钻杆接头通常进行渗氮处理,但是生产实践证明,经氮化处理的接头,断裂韧性差,在螺纹连接处使用寿命与钻杆体相比仍较短,往往因螺纹的损坏而造成钻杆提前报废。这主要是因为钻杆接头连接处承受较大应力情况下缺乏有效的润滑,造成接触表面的过度磨损,从而极大地增加了表面的摩擦阻力^[1]。接头材料摩擦学性能的好坏对于延长钻杆的服役寿命有着重要的意义。固体润滑技术可以有效地提高接触表面抵抗磨损的性能,对于减少在苛刻工况下运行的零件的过度磨损可以起到很好的效果^[2]。

离子渗硫技术可在金属表面制备 FeS 固体润滑层从而改善材料抵抗磨损的性能^[3~5]。但离子硫化技术在钻杆丝扣上的应用还没有先例。本文所做的干摩擦学性能研究是国土资源部“百人计划”项目“高强度自润滑地质钻杆接头的研究”的部分研究内容,是对氮化处理后的 35CrMo 钢进行低温离子渗硫处理制备出硫氮复合处理层,在干摩擦条件下研究了 35CrMo 钢复合层的摩擦学性能,以期为延长钻杆接头的使用寿命提供实验数据。

1 试验方法

1.1 实验试样

干摩擦的试样为 35CrMo 圆环试样,内径为 16 mm,外径为 40 mm,厚度为 10 mm,圆环表面经过表面氮化及硫氮复合处理(具体处理工艺参数见表

收稿日期:2009-10-29

基金项目:国土资源部“百人计划”项目“高强度自润滑地质钻杆接头的研究”

作者简介:车延岗(1971-),男(汉族),山东烟台人,中国地质大学(北京)在读博士研究生,中国地质科学院勘探技术研究所非开挖中心主任、高级工程师,地质工程专业,从事非开挖技术及设备、岩心钻探设备的研究工作,河北省廊坊市金光道 77 号。

1);其对磨件为边长 10 mm 的 35CrMo 方块试样,二者呈线接触。

表 1 硫氮复合处理工艺具体参数

设备型号	升温 电流 /A	保温 温度 /°C	保温 电压 /V	保温 时间 /h	保温 真空 度/Pa
离子渗氮 LDM2-15 型等离子化学热处理设备	8~10	550	700	6	550~600
离子渗硫	1	190	860	4	30~50

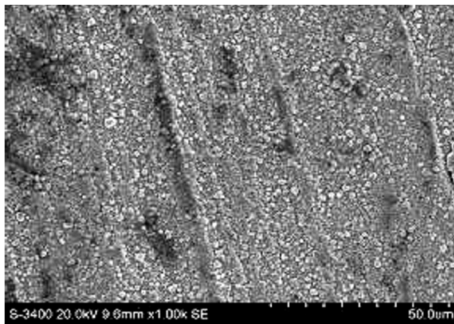
1.2 实验方法

干摩擦磨损试验采用宣化试验机厂生产的 M-200 型磨损试验机。在固定载荷为 200 N 时,实验时间选择为 20 和 60 min;在固定载荷 400 N 时,时间选择为 20 和 60 min。实验结束后记录式样的磨损量。

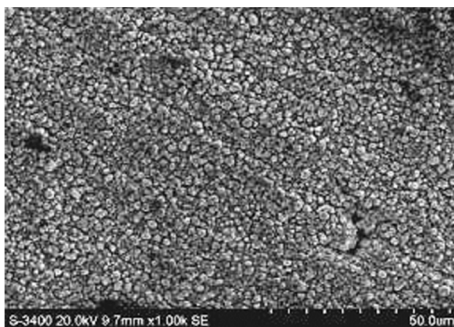
2 试验结果

2.1 表面渗层分析

图 1 为渗氮层和硫氮复合处理层的表面形貌。可以看出,渗层表面均呈现球状颗粒相互随机叠嵌的形貌。相对于渗氮层,硫氮共渗层的颗粒堆叠更加明显,粒度大小在纳米量级(约为 50~100 nm)。



(a) 渗氮表面

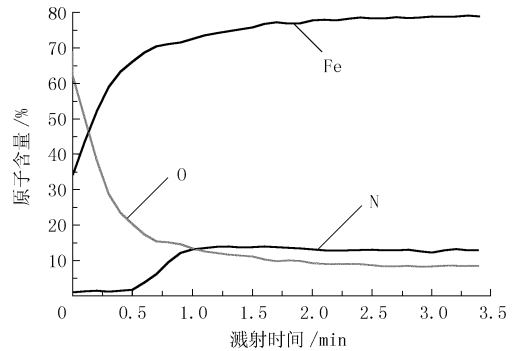


(b) 硫氮复合处理表面

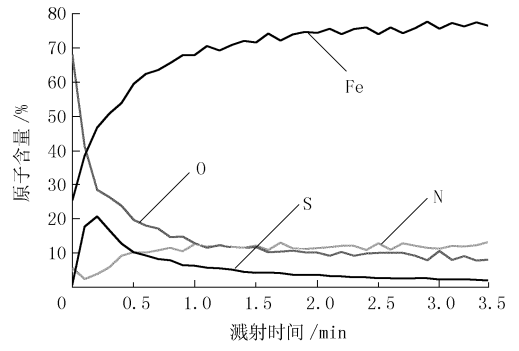
图 1 35CrMo 钢不同处理表面的 SEM 形貌照片

图 2 为 35CrMo 钢氮化层和硫氮复合处理层表面元素 AES 溅射结果。可以看出,氮化层和硫氮复合处理层中的 Fe、N、O 原子含量的变化趋势是相同的。Fe 原子含量随溅射深度增加而增加,溅射 2

min 后原子含量趋于稳定;O 原子含量随溅射深度的增加而减小。N 原子在最表层含量较少,溅射到一定深度时,N 原子含量逐渐增加到趋于稳定。硫氮复合处理层中的 S 原子主要在表面富集,溅射一定深度后含量迅速下降,这主要是由于表面氮化层的存在,在离子渗硫处理过程中影响了活性 S 元素与基体 Fe 元素之间的化学热交换,抑制了硫化物的生成,硫化物只在表面存在较薄的一层。



(a) 氮化层



(b) 硫氮复合处理层

图 2 35CrMo 钢渗层 AES 溅射谱图

2.2 干磨损性能试验

图 3 为表面渗氮层和硫氮复合处理层在干摩擦实验中磨损量变化的曲线。可以看出,在相同的载荷下,氮化和硫氮复合处理试样的磨损量都是随着时间的延长和载荷的增加而增加。在相同的载荷和相同的时间下,氮化试样的磨损量始终大于硫氮复合处理试样。说明硫氮复合处理层相对于渗氮层在干摩擦条件下有很好的抗磨损性能。

图 4、图 5 是干摩擦实验中不同处理表面的磨损形貌的 SEM 照片,表 2、表 3 为相应的表面 EDS 元素分析。

从图 4、图 5 中可以看出,磨损后氮化表面形成大量的剥落坑和犁沟,而硫氮复合处理表面相对来说比较平整,且上面有少许的粘着物存在。从表 2 和表 3 中可知,氮化层和硫氮复合处理层磨损后均有大量的氮化物存在;硫氮复合处理的磨损表面检

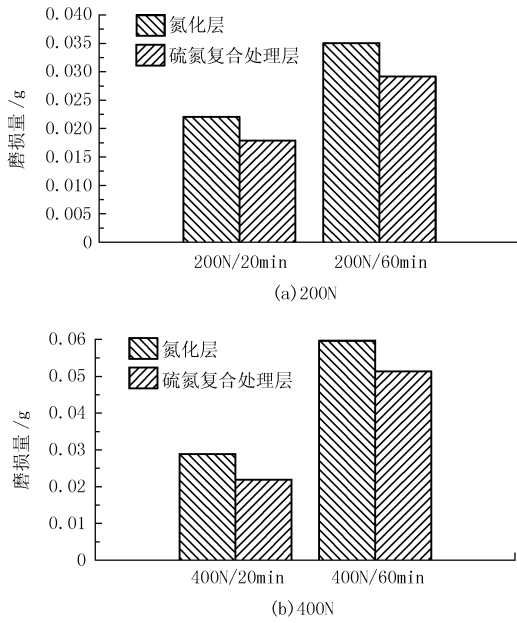


图 3 不同载荷下磨损量的变化

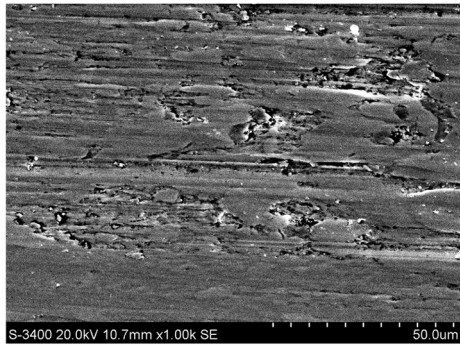


图 4 干磨损氮化层形貌

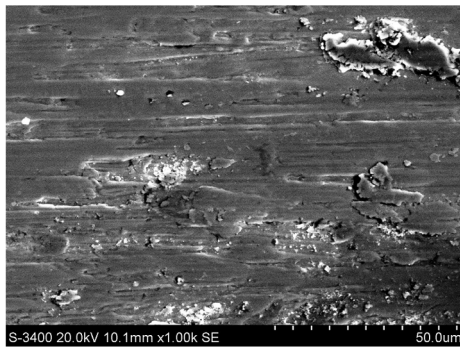


图 5 干磨损硫氮复合层形貌

测不到硫元素,说明表面的硫化物基本已经磨损剥落掉;磨损后硫氮复合处理表面中存在的氮化物相对于氮化表面较多,这是因为复合处理表面层中存在 FeS,相对于渗氮层在干摩擦条件下具备一定的润滑作用,可以对表层起到较好的保护作用,减少氮化层的破坏。

图6为干磨损表面白光干涉相貌照片,图7为

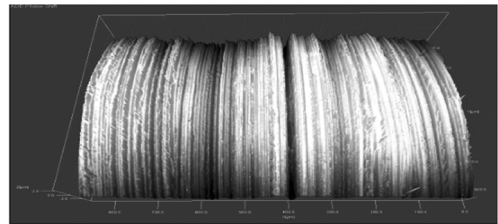
表 2 干磨损后氮化层的原子百分比含量

元素	原子百分比/%	元素	原子百分比/%
C	25.87	Cr	0.41
N	10.98	Fe	46.32
O	16.42		

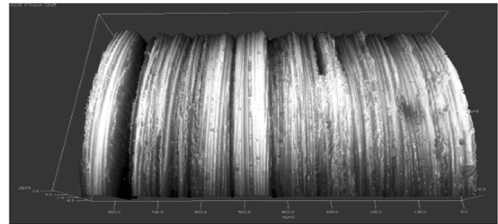
表 3 干磨损后硫氮共渗层的原子百分比含量

元素	原子百分比/%	元素	原子百分比/%
C	27.61	Cr	0.41
N	20.65	Fe	51.24
S	0.09		

干磨损表面的粗糙度分析。

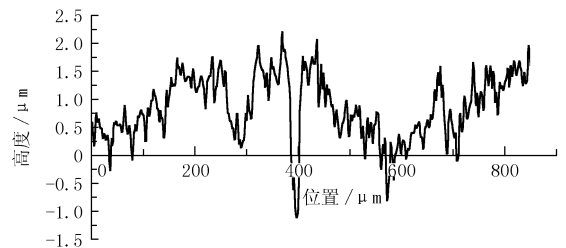


(a) 渗氮表面

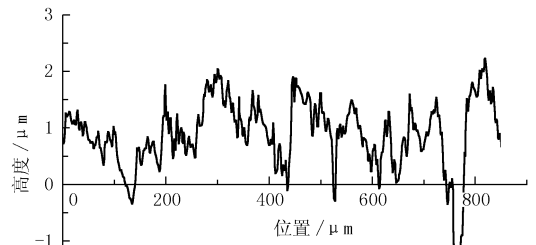


(b) 硫氮复合处理表面

图 6 干磨损表面白光干涉形貌



(a) 渗氮表面



(b) 硫氮复合处理表面

图 7 干磨损表面粗糙度分析

可以看出,在干磨损条件下,硫氮复合处理层与渗氮层的磨损表面粗糙度相差不多,说明在缺乏润

滑介质的磨损情况下,复合处理层虽然可以提供一定的润滑,但是由于这种润滑作用不能长时间有效,在硫化层破坏以后,磨损程度也随之上升。

由Fe-S二元相图可知,硫在铁中的溶解度极微,700℃时几乎为零,930℃时只有0.02%^[6]。因此低温离子渗硫(190℃)初期只能形成FeS。FeS具有密排六方结构,变形抗力小,易沿密排面滑移,塑性流变能力强,熔点高达1100℃,因而润滑减摩耐磨作用明显,尤其在工况恶劣、缺少油润滑的干摩擦条件下更能发挥出难得的减摩耐磨作用^[7-10]。摩擦副相对运动时,渗硫层被碾压并粘附于对磨件表面,或填充于凹陷处,可有效阻碍金属间的直接接触,避免粘着的发生。但渗硫层厚度有限,随着磨损的进行,在强烈摩擦热作用下,渗硫层会被分解破坏,固体润滑作用降低,金属间局部直接接触,磨损加剧。另一方面,虽然摩擦副正面接触部位的渗硫层被破坏,边缘处的渗硫层依然存在,经热分解形成的硫原子在摩擦热作用下又会与铁重新生成FeS,因而始终有一定的硫化物发挥作用。

在干摩擦的条件下,由于摩擦副的接触表面缺乏润滑,硬度较高的渗氮层反而会加剧接触表面的磨损,因此造成磨损表面较大的破坏和较高的粗糙程度。而硫氮复合处理层由于在表面存在一层硫化亚铁固体润滑层,在磨损过程中可以起到一定的润滑作用,FeS可以随着摩擦过程的进行涂抹在摩擦接触表面上,减少了较高硬度的渗氮层对于对磨副的过度破坏,并且在较软的渗硫层下还存在硬度很高的渗氮层,给表面润滑层以有效的支撑延长其固体润滑的作用^[11]。因此硫氮共渗表面在干摩擦条件下抗磨损性能较渗氮层更好。

3 结论

(1)利用渗氮+渗硫技术可在35CrMo钢表面

(上接第23页)

4 结论

(1)通过理论上的分析和计算得出了地表压力极值的理论计算公式。

(2)对地表专用单缸柱塞泵的流量和潜水泵的流量进行了修正,使理论计算的压力值更接近实际值。地表专用单缸柱塞泵的流量修正系数取0.95,潜水泵流量的修正系数取0.8。

实验验证表明,这套公式可以用来预测在不同工作条件下地面压力的变化范围,也可以通过地表

制备硫氮复合处理层。

(2)表面氮化层的存在,在离子渗硫处理过程中影响了活性S元素与基体Fe元素之间的化学热交换,抑制了硫化物的生成,硫化物只在表面存在较薄的一层。

(3)在无润滑的干摩擦条件下,硫氮共渗层相对于渗氮层可有效提高表面抵抗磨损的能力。

参考文献:

- [1] 姜彬霖. 渗硼技术用于钻杆接头表面硬化的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, (3): 28-29.
- [2] 刘家浚. 材料磨损原理及其耐磨性[M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [3] 张宁, 庄大明, 王燕华, 等. 低温离子渗硫层的结构和减摩性能[J]. 材料研究学报, 2000, 14(1): 61-65.
- [4] 张宁, 庄大明, 刘家浚. 离子渗硫层的抗擦伤性能及耐磨性研究[J]. 金属热处理学报, 2000, 21(4): 41-45.
- [5] Insup Lee, Ikmin Park. Solid lubrication coating of FeS layer on the surface of SKD 61 steel produced by plasma sulfidation. Surface & Coatings Technology, 2006, 200: 3540-3543.
- [6] 洪班德, 姚忠凯. 化学热处理[M]. 哈尔滨: 黑龙江人民出版社, 1981: 125-129.
- [7] Fang Xiao Dong, Zhuang Da Ming, Zhang Ning, et al. A technique of surface solid lubricants—The process of surface ion sulphuration for steel parts and its industrial applications[A]. Proceedings of the second APEC SME technology conference[C]. China, Yantai, 1998, 10.
- [8] Fang Xiao Dong, Zhuang Da Ming, Liu You Rong, et al. Tribological behavior of ion sulphuration coating on iron and steel surface and its application[A]. Proceedings of the first Asian International Conference on tribology[C]. China, Beijing, 1998, 10.
- [9] Zhong Da Ming, Liu You Rong, Liu Jia Jun, et al. Microstructure and tribological properties of sulphide coating produced by ion sulphuration[J]. Wear, 1999, 225(3): 799-805.
- [10] Zhang Ning, Zhuang Da Ming, Liu Jia Jun, et al. Microstructure of iron sulfide layer as solid lubrication coating produced by low temperature ion sulfidation[J]. Surface and Coatings Technology, 2000, 132(10): 1-5.
- [11] 高彩桥. 摩擦金属学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1988.

压力的变化来判断孔内的工作情况,但是仍存在灵敏度不高,不能及时准确的预报信息问题,需要在后期的工作中进一步完善。

参考文献:

- [1] 宋进喜, 王伯铎, 李怀恩. 西北开发中的水资源问题及对策[J]. 长安大学学报, 2002, 22(6): 108-112.
- [2] 卢春华, 鄯泰宁, 叶戈罗夫, 等. 节水钻探新技术及其改型应用[J]. 煤田地质与勘探, 2006, (4): 78-80.
- [3] 赵强, 郭孟起. 节水钻探机具及在水利工程地质勘察中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(3): 24-27.