

45 钢低温电解渗硫表面摩擦性能的研究

刘 瑶¹ 张红霞² 朱远志¹

(1 武汉科技大学材料与冶金学院材料加工工程系, 武汉 430081; 2 湖北汽车工业学院材料工程系, 十堰 442002)

摘 要 采用 75% KSCN + 25% NaSCN + 0.9% K₃Fe(CN)₆ + 0.1% K₄Fe(CN)₆ + 2.5% NH₄SCN 的盐浴, 45 钢为正极, 高铬不锈钢为负极, 190 °C ± 5 °C, 1 V 电压, 20 min 低温电解表面渗硫方法, 在 45 钢表面形成 10 μm FeS 渗层, 并且用 M-2000 型磨损试验机, 金相技术、SEM 及 XRD 等分析仪考察其摩擦性能。结果表明, 采用低温电解工艺方法可以在 45 钢表面制备质量较好的 FeS 层, 具有明显的减磨作用; 干摩擦条件下, 渗硫表面的摩擦系数是未渗硫表面的 60%, 在油润滑条件下, 渗硫表面的摩擦系数为未渗硫表面的 70%; 在一定载荷范围内, 随载荷的增大, FeS 层减磨作用增加。

关键词 45 钢 低温电解渗硫 FeS 渗硫层 减磨性

A Study on Friction and Wear Behavior of Low Temperature Electrolytic Sulphurizing Surface of 0.45C Steel

Liu Yao¹, Zhang Hongxia² and Zhu Yuanzhi¹

(1 Material Engineering Department, College of Materials and Metallurgy, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081; 2 Department of Material Engineering, Hubei Automotive Industries Institute, Shiyan 442002)

Abstract The 10 μm FeS sulphurizing layer forms on surface of 0.45C steel by low temperature electrolytic sulphurizing process in salt bath of 75% KSCN + 25% NaSCN + 0.9% K₃Fe(CN)₆ + 0.1% K₄Fe(CN)₆ + 2.5% NH₄SCN with positive electrode 0.45C steel and negative electrode high chromium stainless steel, 1 volt at 190 °C ± 5 °C for 20 min, and its friction and wear behavior is studied by M-2000 friction and wear test machine, optical microscope, scanning electron microscope and X-ray diffractometer. Results show that better quality FeS sulphurizing layer surface of 0.45C steel could be get by low-temperature electrolytic sulphurizing process and the FeS layer can obviously reduce the friction and wear of 0.45C steel; in condition of dry friction the friction factor of sulphurizing surface is 60% of that of non-sulphurizing surface and in condition of oil lubrication the friction factor of sulphurizing surface is 70% of that of non-sulphurizing surface; and in definite load range with increasing the load the reducing friction and wear effect of FeS layer increases.

Material Index 0.45C Steel, Low-Temperature Electrolytic Sulphurizing, FeS Sulphurizing Layer, Reduction of Friction and Wear

固体润滑材料硫化亚铁由于其本身特殊的晶体结构和组织性能^[1] (六方点阵, 易沿着 {0001} 滑移面滑移, 硫化亚铁呈鳞片状, 有低的剪切强度, 变形抗力小, 塑性流变能力好) 而且有优异的润滑性能, 故广泛应用于工业部门。

制备硫化亚铁薄膜的低温电解渗硫法应用最为广泛有效^[2-7]。采用低温电解渗硫的方法, 在 45 钢表面制备 FeS 润滑层, 研究 FeS 层的摩擦磨损性能。

1 试验部分

1.1 试验材料

45 钢 (表 1) 经调质处理, HRC 43, 试样尺寸 (mm) 为 30 × 10 × 10, 对比磨样材料为 GCr15 钢, 外径 40 mm, 内径 16 mm, 厚 10 mm。试样表面经精磨处理, 表面粗糙度达 0.4 μm。试样分为 2 组: 不经

表 1 试验用钢 45 钢化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of test 0.45C steel / %

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni
0.42 ~ 0.50	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	≤ 0.25	< 0.035	< 0.030	≤ 0.25	≤ 0.30

渗硫处理和经渗硫处理。

1.2 试验设备与方法

低温电解渗硫工艺流程如下: 除油 → 除锈 → 中和 → 渗硫 → 清洗。试验用除油剂为 NaOH (50 ~ 60 g/L + Na₂CO₃ (70 ~ 80 g/L) 溶液; 除锈剂选用 10% HCl + 10% H₂SO₄ + 5% HNO₃ + 75% H₂O (质量分数); 中和使用 2% ~ 6% Na₂CO₃ (质量分数) 溶液。渗硫选用盐浴配方 (质量分数): 主盐为 75% KSCN + 25% NaSCN, 另加辅盐为 0.9% K₃Fe(CN)₆ + 0.1% K₄Fe

通讯作者: 朱远志, 教授, 武汉科技大学材料和冶金学院材料加工工程系, 武汉 430081

(CN)₆ + 2.5% NH₄SCN, 高铬不锈钢作电源负极, 温度 190 °C ± 5 °C, 电压 1 V (该电源电压和电流可以自动相互追踪, 故设定其中一个即可), 时间 20 min。

渗硫试样在 M-2000 型磨损试验机上进行磨损试验。上试样固定, 下试样转动, 固定转速 200 r/min。测定摩擦系数时, 载荷 100 N, 时间 60 min。测磨损量时, 载荷分别为 50、100 N, 时间 20 min。

2 试验结果及分析

2.1 渗硫层形貌

图 1(a, b) 中可以清晰地看到在扫描线的前 100 μm 内 Fe 元素含量很高, S 元素含量极低; 在

100 ~ 110 μm 范围内, Fe 和 S 的含量相当, 比例约为 1:1, 可以初步判定有 FeS 生成(图 1b)。

从图 1(c) 可见, 除了基体 α-Fe 相的衍射峰之外, 还出现了 3 个 FeS 相的衍射峰, 表明渗硫层主要由密排六方结构的 FeS 相组成, 渗硫层中也存在 FeS₂ 相, 但起作用的仅 FeS 相, FeS₂ 因不具有密排六方结构故不属于润滑物质。

已有不少有关 FeS 渗硫层的研究^[8-13]。从图 2(a)(未腐蚀) 可以看到渗硫层整体呈现黑灰色, FeS 呈连续带状层, 厚度约为 10 μm。FeS 薄膜层呈锯齿状插入基体金属中, 这种呈锯齿嵌插式结合的

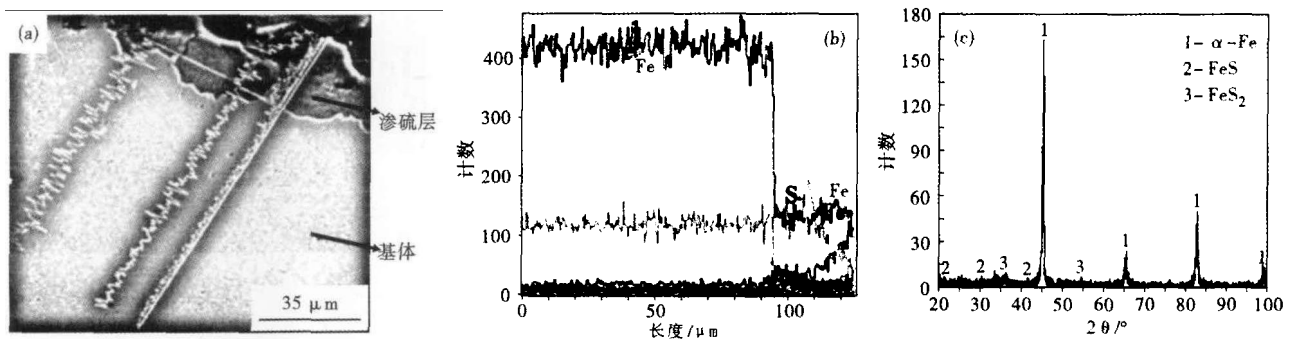


图 1 45 钢渗硫表面组织形貌(a)、渗硫层线扫描能谱图(b)和渗硫层 X-射线衍射图(c)

Fig. 1 Morphology of structure (a) and scanning energy spectrum analysis diagram (b) of sulphurizing layer and matrix; X-ray diffraction diagram of sulphurizing layer (c), 0.45C steel

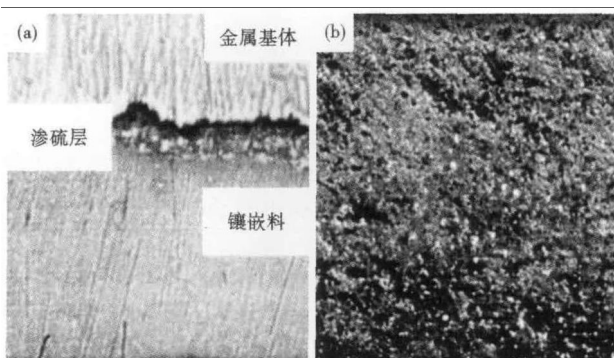


图 2 45 钢渗硫层截面 ×400, 光学(a) 和表面渗硫层形貌, SEM ×1 000

Fig. 2 Morphology of section of sulphurizing layer, 0.45C steel: (a) ×400, optical; (b) ×1 000, SEM

渗层与基体金属的结合更为牢固, 不易剥落脱离, 使得保护作用更为有效, 工件的使用寿命可以有效延长。从图 2(b) 中可以明显看到硫化亚铁层呈疏松微孔, 这种疏松多孔结构有利于氧的吸附及润滑油的持久存储, 从而延长润滑油膜的保持时间, 使得渗层 FeS 的减磨作用得到提升。

2.2 渗硫层性能

2.2.1 渗硫层的摩擦系数

从图 3(a) 中可见, 经渗硫处理后试样摩擦系数有明显降低。在前 15 ~ 20 min, 摩擦系数处于上升趋势, 这是对偶件之间的磨合期, 无论渗硫试样还是未渗硫试样都有一个表面饱和阶段。在该阶段, 渗硫试样和对磨件表面之间的突起、微峰等相互接触磨合, 接触面不稳定, 呈现为摩擦系数大且变动较大, 该阶段时间较短。在摩擦磨损试验进行到约 25 min 之后, 突起、微峰几乎被消除, 对磨偶件之间接触面增大, 接合面相对开始更为稳定, 试样摩擦状态也较为稳定, 摩擦系数基本处于一个平稳变动状态。经渗硫试样表面的摩擦系数约为未渗硫试样表面的摩擦系数的 60%。

从图 3(b) 可见, 由于润滑油的存在, 渗硫与未渗硫试样的摩擦系数均较低, 且试样的摩擦系数一直处于较小的变动范围, 从一开始就很平稳, 没有干摩擦时那么长的磨合期。试样经渗硫处理后, 摩擦系数更低, 仅为未渗硫试样的 70% 左右。

2.2.2 渗硫层磨损量

分析表 2 中的数据可以看出, 在载荷不大的情

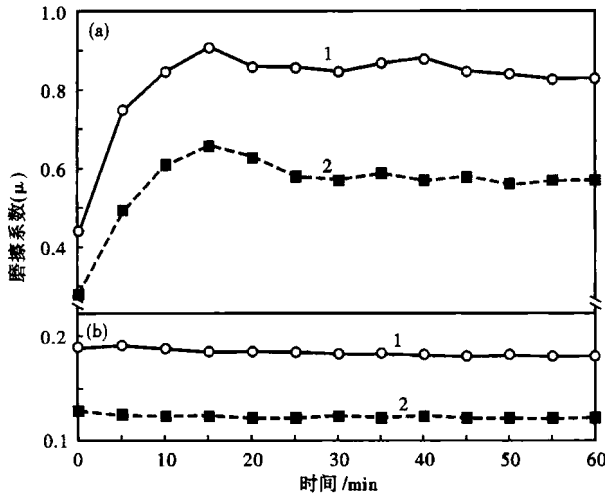


图3 45钢干摩擦(a)和油润滑(b)状态下未渗硫(曲线1)和渗硫表面(曲线2)摩擦系数对比

Fig.3 Comparison of friction factor between non-sulphurizing surface (curve 1) and sulphurizing surface (curve 2); (a) dry friction; (b) oil lubrication, 0.45C steel

表2 45钢及GCr15高碳轴承钢磨损量数据

Table 2 Wearing data of 0.45C steel and GCr15 high carbon chromium bearing steel

钢种	试验条件	试样处理工艺	磨损前质量/ (m·g ⁻¹)	磨损后质量/ (m·g ⁻¹)	磨损量 Δ/ (m·g ⁻¹)
45 钢	干摩擦 50 N	硫化	61.823 3	61.818 9	0.004 4
		未硫化	64.682 9	64.677 3	0.005 6
	干摩擦 100 N	硫化	61.797 4	61.776 3	0.021 1
		未硫化	64.680 9	64.651 0	0.029 9
GCr15 (与45钢对磨)			61.402 7	61.401 5	0.001 2
			61.419 2	61.407 1	0.002 1
			61.423 0	61.418 8	0.004 2
			61.395 2	61.387 5	0.007 7

况下,如50、100 N时,随载荷的增大,试样磨损量增加;在相同条件下,渗硫试样的磨损量明显低于未渗硫试样,且载荷越大,渗硫试样比未渗硫试样的磨损量低得越多。另外,从对磨件的磨损量数据也可以

参考文献

[1] 王海斗,徐滨士,刘家浚. 固体润滑膜层技术与应用[M]. 北京: 国防工业出版社,2009:19.
 [2] 李连清. 低温电解渗硫工艺[J]. 宇航材料工艺,1994(1):26.
 [3] 吴开源. 低温电解渗硫新工艺的研究[J]. 华东石油学院学报, 1983(2):229-232.
 [4] 韦习成,赵源. FeS层的减磨耐磨机理[J]. 润滑与密封,1994(2):1-16.
 [5] 罗义山. 低温电解渗硫对20CrMnTi钢摩擦磨损性能的影响[J]. 金属热处理,1986(7):13-19.
 [6] 张万宪. 低温电解渗硫工艺的应用[J]. 固体润滑,1987(8):174.
 [7] 崔春香,李兰,谷南驹. 低温电解渗硫新工艺渗层组织分析和耐磨机理的探讨[J]. 河北冶金,1991(2):39-42.
 [8] Wang Hai-dou, Zhuang Da-ming, Wang Kun-lin, et al. Comparative Investigation on Tribological Properties of Ion Sulfuration Layers under Try Friction[J]. Tribology Letters,2002,13(7):55-61.
 [9] Wang Hai-dou, Zhuang Da-ming, Wang Kun-lin, et al. Microstructure

从一定程度上反映出渗硫层的确发挥了一定的减磨作用。

2.2.3 渗层磨损形貌

图4为45钢试样在无润滑油,100 N 载荷条件下经摩擦磨损20 min后磨痕处的扫描电镜拍摄形貌,图4中所示部位有典型的摩擦磨损形貌特点-犁沟和剥落坑。

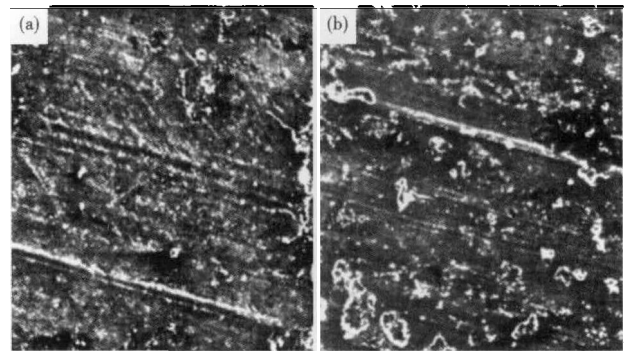


图4 45钢未渗硫表面(a)和渗硫表面(b)磨痕形貌,SEM ×200

Fig.4 Grinding trace morphology of non-sulphurizing surface (a) and sulphurizing surface (b) of 0.45C steel,SEM ×200

3 结论

(1)本研究的配方及工艺流程可以成功制备较好的FeS固体润滑层。

(2)FeS层与金属基体呈锯齿交错式结合,微观形貌呈疏松多孔状,有利于氧和润滑油的存储,为减磨提供有利条件。

(3)FeS的确具有减磨作用,且在一定范围内,随载荷的增大,FeS的减磨性能越明显。

湖北省教育厅重点项目(D2010005)

and Wear Behaviors of Ion Sulfide Layer on High-speed Steel[J]. Journal of Materials Science Letter,2002,21(19):1545-1548.
 [10] Wang Hai-dou, Zhuang Da-ming, Wang Kun-lin, et al. Anti-scuffing Properties of Ion Sulfide Layers on Three Hard Steel[J]. Wear, 2002,253(11-12):1207-1231.
 [11] 崔春香,李兰,谷南驹. 无回收低温电解渗硫组织及性能研究[J]. 河北工业学报,1992,21(4):67-72.
 [12] 王当慈,伍岩. 低温电解渗硫及其形成机理的XPS研究[J]. 金属学报,1983,19(6):258-261.
 [13] 李新,马世宁,刘吉延. CrMoCu合金铸铁离子渗硫层的摩擦学性能研究[J]. 材料热处理学报,2008,29(3):156-159.

刘瑶(1988-),女,硕士研究生,钢材表面改性研究。

收稿日期:2012-10-10