

电弧喷涂不锈钢涂层耐磨性的研究

伞金福 杜 智

(清华大学机械工程系 北京 100084)

毕志夫

(河北表面技术研究中心 张家口 075100)

摘要 研究了电弧喷涂 3Cr13 和 1Cr18Ni9Ti 不锈钢涂层的耐磨性, 分析了喷涂工艺参数对 3Cr13 涂层耐磨性的影响及涂层中孔隙的作用, 并且深入探讨了涂层的磨损机理

关键词 电弧喷涂 不锈钢涂层 磨损机理 耐磨性

分类号 TG174.442

电弧喷涂是利用 2 根与喷涂电源相连并连续送进的丝材所产生的电弧来熔化金属丝, 用高压气体将金属熔滴雾化喷向工件表面形成涂层的方法。它具有成本低、喷涂效率高、涂层质量可靠、操作方便、适应性强等优点^[1], 因而应用日趋广泛。其中电弧喷涂不锈钢涂层已成功地应用于修复磨损件, 如各种轴类、液压机柱塞、造纸机烘缸、滑动轴承、水轮机叶轮等^[2,3]。在航空工业和汽轮机工业中, 电弧喷涂涂层已部分取代等离子喷涂涂层^[4]。而关于电弧喷涂不锈钢涂层性能的研究还少有报道, 因此, 研究涂层的磨损机理, 考察喷涂工艺参数对涂层耐磨性的影响, 对于控制喷涂工艺, 提高涂层的质量具有重要意义。

1 试验方法

1.1 试样制备

采用平伏安特性的喷涂电源和封闭式喷枪在 20[#] 钢基体上喷涂 3Cr13 和 1Cr18Ni9Ti 不锈钢 2 种涂层, 丝材直径 $\phi 3$ mm, 涂层厚度 0.35 mm。喷涂工艺参数见表 1。

试验时, 固定 4 个参数中的 3 个参数, 改变其中 1 个参数, 考察喷涂工艺参数对涂层耐磨性的影响。

1.2 磨损试验

磨损试验在 MM-200 型摩擦磨损试验机上进行, 试样接触形式为环块接触, 上试样为固定的块 (13.5 mm × 4 mm × 1.55 mm), 下试样为旋转的环 (外径 $\phi 40$ mm, 内径 $\phi 16$ mm, 宽 6 mm, 材料为 45[#] 钢, 平均硬度 HRC 52), 试验条件: 干摩擦或油润滑, 法向载荷 235 N, 环块转速 230 r/min。

1.3 微观分析

采用扫描电镜 (SEM) 分析磨损形貌, 用 X 射线衍射仪 (XRD) 分析磨屑相组成。

1997-12-15 收到初稿, 1998-06-18 收到修改稿/本文通讯联系人杜智

伞金福 男, 30 岁, 在读博士, 主要从事材料磨损的研究, 已发表论文 3 篇

杜 智 男, 33 岁, 硕士、高级工程师, 主要从事摩擦磨损及表面工程技术的研究和开发, 已发表论文 6 篇

毕志夫 男, 高级工程师, 主要从事电弧喷涂、电刷镀技术的开发和研究, 已发表论文 10 余篇

2 实验结果及讨论

2 1 喷涂工艺参数对 3Cr13 涂层耐磨性的影响

表 2 列出了 4 种喷涂工艺参数对 3Cr13 涂层磨损质量损失的影响 可见, 在干摩擦条件下, 随喷涂电流增加, 磨损质量损失下降, 而随喷涂电压、距离和压力的增加, 磨损质量损失均呈上升的趋势 这是因为在干摩擦下随着喷涂电流的增加, 涂层孔隙率和氧化物含量降低, 涂层密度提高, 涂层的断裂韧性和硬度相应增加, 所以涂层的磨损质量损失下降; 随着喷涂电压、喷涂距离和喷涂压力的增加, 涂层中氧化物含量增加, 涂层的硬度和断裂韧性降低, 因此, 涂层的磨损质量损失增加 在油润滑条件下, 涂层的磨损性能不仅与涂层的硬度、断裂

韧性等有关, 而且与润滑油膜的形成能力和状态有很大关系, 而涂层的孔隙率对润滑油膜的形成有明显促进作用^[5] 但并不是涂层孔隙率越大越好, 涂层孔隙率过大会引起涂层硬度和断裂韧性急剧下降, 因而当涂层孔隙率超过某一临界值后, 涂层磨损率会随着涂层孔隙率的增加而增加 临界孔隙率随载荷的增加而降低 因此, 随着喷涂电流和喷涂

电压的增加, 涂层孔隙率下降, 从而导致油膜的承载能力下降, 涂层的磨损质量损失增加 随着喷涂距离的增加, 孔隙率上升, 形成油膜能力增强, 涂层的磨损质量损失降低 随着喷涂压力的增加, 涂层孔隙率增加, 但涂层的硬度和断裂韧性又下降, 所以综合作用的结果是磨损先上升后下降

2 2 涂层的耐磨性及磨损机理

图1所示为不同试验条件下, 采用电流200 A , 电压36 V , 距离200 mm , 压力0.6 MPa的

表 2 不同喷涂条件下对 3Cr13 涂层磨损质量损失的影响

Table 2 Effects of spraying on wear mass loss of 3Cr13 coatings

	Current/A			Voltage/V			Distance/mm			Pressure/MPa		
	100	200	300	32	36	40	50	200	350	0.4	0.6	0.8
Dry friction	13.80	3.80	3.40	2.40	3.80	5.80	2.10	3.80	6.80	2.40	3.80	5.90
Oil lubrication	0.20	0.24	0.26	0.22	0.24	0.28	0.34	0.24	0.19	0.18	0.24	0.20
Note	voltage= 36 V; distance= 200 mm; pressure= 0.6 MPa			current= 200 A; distance= 200 mm; pressure= 0.6 MPa			voltage= 36 V; current= 200 A; pressure= 0.6 MPa			voltage= 36 V; distance= 200 mm; current= 200 A		

喷涂工艺参数所制备的 3Cr13 和 1Cr18Ni9Ti 涂层与 GCr15 钢对磨时的磨损质量损失 表 3 列出了在不同试验条件下, 3Cr13 涂层磨损质量随时间的变化关系

图 2 所示为 2 种涂层和对偶的磨损表面的形貌 SEM 照片. 3Cr13 涂层主要是马氏体组织, 涂层的平均硬度在 HV 635 左右, 而 1Cr18Ni9Ti 涂层主要组织为奥氏体, 涂层的平均硬度在 HV 278 左右, 2 种涂层的硬度相差很大, 所以其磨损机制也不同 在干摩擦条件下, 3Cr13 涂层的磨损机制主要是硬质颗粒的脆性脱落, 图 3 为 3Cr13 涂层的磨屑形貌和 X 射

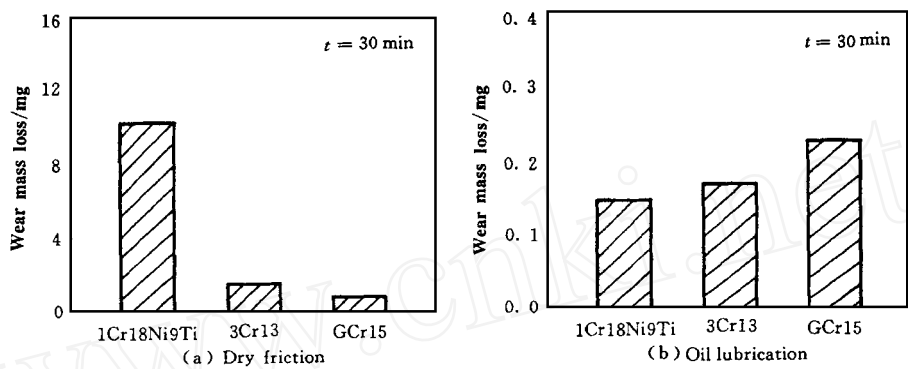


Fig 1 Contrast of wear mass loss between stainless steel coatings and GCr15 steel
图 1 不同摩擦试验条件下不锈钢涂层与 GCr15 钢耐磨性对比

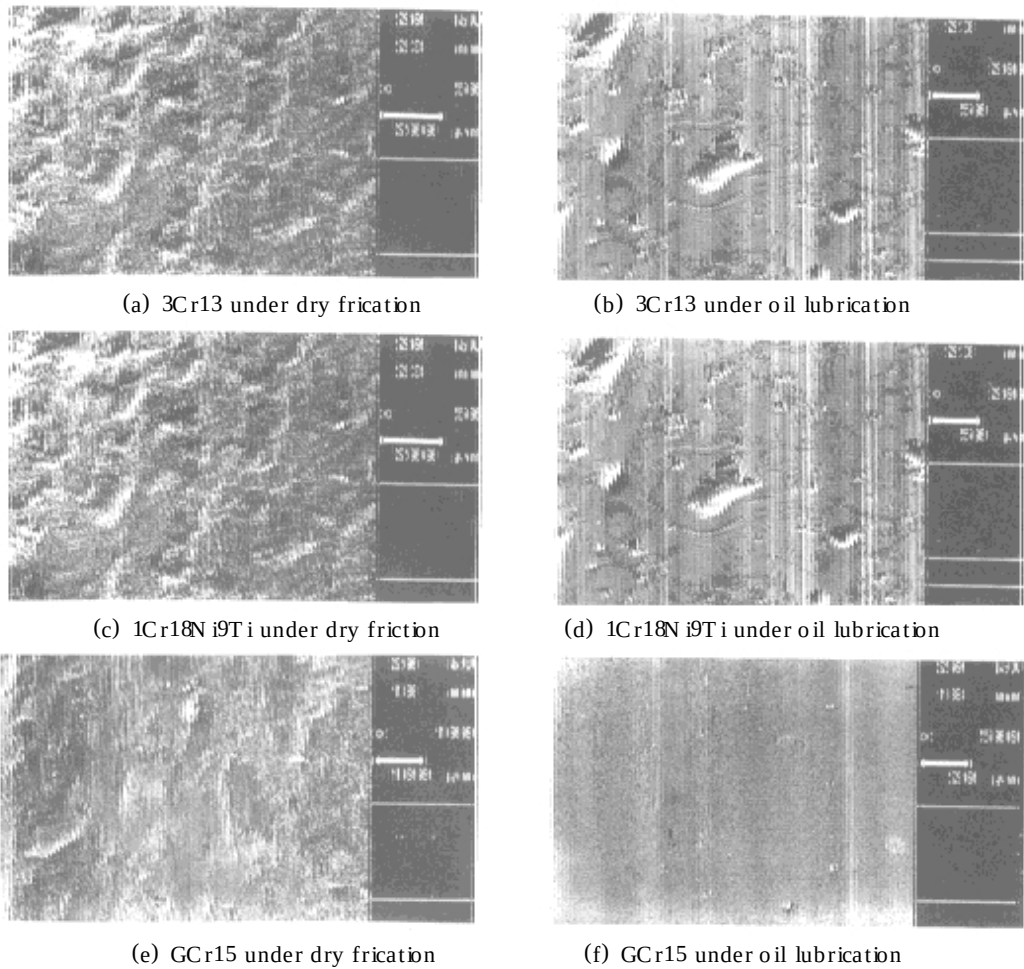


Fig 2 SEM photograph of worn morphology of two coatings and counterface
图 2 2 种涂层和对偶的磨损形貌的 SEM 照片

线衍射图谱可见,磨屑呈黑色粉末状 主要有 α -Fe 相和 $\text{Fe}_7\text{SiO}_{10}$ 相 而 1Cr18Ni9Ti 涂层在摩擦过程中,主要表现为粘着磨损,磨损表面呈片状粘着撕裂迹象(主要发生在涂层的层与层之间),且有很多裂纹 GCr15 钢为整体材料,其硬度和断裂韧性明显高于不锈钢涂层,所以

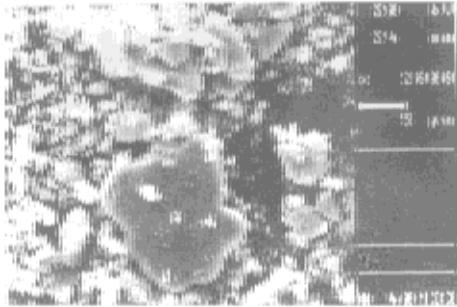
在干摩擦条件下, GCr15 钢的磨损低于 2 种涂层 在油润滑条件下, 3Cr13 涂层、1Cr18Ni9Ti 涂层和 GCr15 钢表面的磨损表面都比较光滑^[5], 由于 3Cr13 涂层和 1Cr18Ni9Ti 涂层有孔隙的存在,在磨损中形成连续油膜,因而磨损比 GCr15 钢低

3 结论

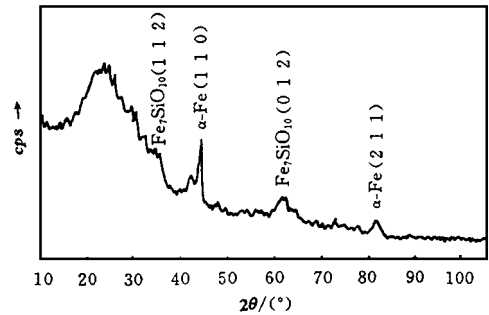
在干摩擦条件下, GCr15 钢的耐磨性优于 3Cr13 涂层和 1Cr18Ni9Ti 涂层; 在油润滑条件下, 3Cr13 涂层和 1Cr18Ni9Ti 涂层的耐磨性优于 GCr15 钢 3Cr13 涂层的磨损机制主要是硬质颗粒的脆性脱落, 1Cr18Ni9Ti 涂层的磨损机制主要是层片状粘着撕裂 喷

表 3 3Cr13 涂层磨损质量损失随时间变化关系

Wear time/min	Dry friction	Oil lubrication
10	3.8	0.20
15	5.4	0.21
30	-	0.21
120	-	0.21
480	-	0.20



(a) SEM photograph of wear debris under dry friction



(b) XRD spectrum of wear debris of 3Cr13 coating

Fig 3 XRD spectrum of wear debris of 3Cr13 coating

图 3 3Cr13 涂层磨屑形貌及其 X 射线衍射图谱

涂工艺参数对 3Cr13 涂层的磨损性能具有重要的影响 最适宜的喷涂工艺参数为: 中等喷涂电流, 低喷涂电压, 中等喷涂距离和压力

参 考 文 献

- 1 温瑾林 电弧喷涂技术的进步 表面工程, 1994, (1): 16~21
- 2 徐滨士, 马世宁 优质高效电弧喷涂技术的应用和发展 表面工程, 1996, (4): 14
- 3 马世宁, 徐滨士, 毕志夫 应用电弧喷涂技术修复大功率柴油机曲轴的工艺研究 表面工程, 1994, (4): 7
- 4 Zwetsloot Menno P, Sampson Elliott R. A lternative Thermal Spray Process to Plasma Spray in the Aircraft and Stationary Gas Turbine Industry. A S M E Paper, 1994: 1~7
- 5 刘家浚 材料磨损原理及其耐磨性 北京: 清华大学出版社, 1993 243

An Investigation of the Wear Resistance of Arc Sprayed Stainless Steel Coatings

San Jinfu Du Zhi

(Department of Mechanical Engineering Tsinghua University Beijing 100084 China)

Bi Zhifu

(Hebei Research Center for Surface Technology Zhangjiakou 075100 China)

Abstract The wear resistance of arc sprayed stainless steel (3Cr13 and 1Cr18Ni9Ti) coatings was investigated. The effect of spraying parameters on the wear resistance of the coatings and the action of the pores in the coatings were examined. Then the wear mechanisms of the coatings were discussed as well.

Key words arc spraying stainless steel coating wear resistance wear mechanisms

Classifying number TG174.442