

铝合金表面微弧氧化陶瓷层耐磨性

鲍爱莲, 刘万辉

(黑龙江科技学院材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150027)

[摘要] 利用微弧氧化技术在 7075 铝合金表面形成微弧氧化陶瓷膜层, 通过 SEM、XRD 手段分析了微弧氧化陶瓷层的显微结构、表面形貌和相组成, 并在 HIT-II 摩擦磨损试验机上测试了陶瓷膜层的摩擦学性能。结果表明: 7075 铝合金表面的微弧氧化陶瓷膜层由疏松层、致密层构成, 其相组成主要是 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 两相; 氧化陶瓷层与基体结合良好, 厚度为 $25 \sim 45 \mu\text{m}$, 表面硬度可达到 $1900\text{HV}_{0.1}$ 左右; 微弧氧化表面处理技术可以显著提高铝合金的表面耐磨性, 在与 GCr15 钢球对磨时, 膜层具有较低的磨损率, 但摩擦因数相对较高。

[关键词] 微弧氧化; 铝合金; 陶瓷层; 耐磨性

[中图分类号] TG174.45

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2007)06-0048-02

Wear Resistance of Micro-arc Oxidized Ceramic Layers on Aluminum alloy

BAO Ai-lian, LIU Wan-hui

(Heilongjiang Institute of Science and Technology, School of Materials
Science and Engineering, Harbin 150027, China)

[Abstract] The structure and property aspects of oxide films formed on 7075 aluminum alloys by micro-arc oxidation in alkali-silicate electrolytic solution was discussed. Microstructure, surface morphology and phase composition of the ceramic coatings were investigated by SEM and XRD. Distribution of hardness along the coating thickness was determined by micro-hardness analyses. The friction and wear behavior of the oxide films against steel counterparts was evaluated with a friction and wear tester. The results show that the micro-arc oxidation coatings composed mainly of $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ and $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ phase are dense and uniform, which indicates that the wear resistance of Al alloy could be improved obviously by micro-arc oxidation. The films possess a beneficial combination of $25 \sim 45 \mu\text{m}$ thickness, $\text{HV}_{0.1} 1900$ micro-hardness and provide a low wear rate but a relatively high friction coefficient against GCr15 steel under dry friction condition.

[Key words] Micro-arc Oxidation; Aluminum alloys; Ceramic Coating; Wear resistance

0 引言

微弧氧化 (Microarc Oxidation) 又称阳极火花放电沉积或微等离子体氧化, 是近年来兴起的一种表面处理新技术, 是将 Al、Mg、Ti、Zr 等金属或其合金置于硅酸盐等电解质溶液中, 通过高电压的作用使阳极表面出现微区弧光放电现象, 利用微弧区瞬间高温烧结作用直接在 Al、Ti、Mg 等有色金属 (也称阀金属) 表面原位生长陶瓷层, 从而提高基体材料的表面性能。

微弧氧化技术突破了传统阳极氧化技术工作电压的限制, 将工作区域引入到高压放电区, 使样品表面出现电晕辉光微弧放电火花斑等现象, 使非晶结构的氧化层发生相和结构上的变化。铝合金表面由微弧氧化技术生成的氧化层主要由 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 相组成, 其结构与烧结的陶瓷相似, 其致密层的显微硬度可超过 1900HV , 且与基体结合力强, 能够极大地改善

铝合金的耐磨损、耐腐蚀、抗热冲击等性能, 在航空、航天、军工、机械、电子、装饰等领域应用前景广泛^[1-2]。本文着重研究了 7075 铝合金表面微弧氧化陶瓷层的摩擦学性能。

1 材料及试验方法

1.1 试验材料

样品材料选用 7075 铝合金, 其化学成分 (质量分数) 为: 0.2% Si、0.2% Fe、1.2% ~ 1.8% Cu、0.15% Mn、2.1% ~ 2.7% Mg、5.2% ~ 5.9% Zn, 余量为 Al。样品加工成 $\phi 20\text{mm} \times 8\text{mm}$ 的圆饼状, 其 $Ra = (1.5 \pm 0.3) \mu\text{m}$ 。

1.2 试验步骤

采用自行研制的 30kW 脉冲微弧氧化装置进行表面处理, 包括专用电源、电解槽、搅拌系统、冷却系统等。使用去离子水配制加入了 Na_2SiO_3 与一些辅助添加剂 (如 KOH 等) 的电解液, pH 值为 8 ~ 10。电解液温度不超过 50°C , 电压 300 ~ 700V, 电流密度 $8 \sim 10\text{A}/\text{dm}^2$, 氧化时间 40min。

用 MS-2600 型扫描电子显微镜 (SEM) 和 XD-2500 型 X 射线衍射仪 (XRD) 测定试样的厚度、结构和相组成, 用 HVS1000

[收稿日期] 2007-08-31

[基金项目] 黑龙江省教育厅资助项目 (11521249)。

[作者简介] 鲍爱莲 (1978-), 女, 安徽庐江人, 助教, 硕士, 主要从事金属材料表面改性 with 焊接方面的教学与研究。

型硬度计测定其显微硬度。用 HIT 型球-盘摩擦磨损试验机测试耐磨性能,采用淬火态 GCr15 摩擦球($\phi 10\text{mm}$,硬度 62HRC),载荷 $P=10\text{N}$,滑动时间 20min。用光学显微镜分析试样和基体的磨痕形貌,在精度为 10^{-5}g 的电子天平上测量试样的失重。

2 试验结果及分析

2.1 陶瓷层表面形貌

微弧氧化陶瓷层表面形貌如图 1 所示,可以观察到其表面较粗糙,整个膜层表面为凹凸不平的熔融状固体,分布着直径为几微米的孔洞及大量熔化后凝固的小颗粒。这是由于微等离子弧放电时,在放电微区产生了瞬时高温,使形成的氧化膜在微区内熔化,然后随微等离子弧游走,在电解液的冷却作用下,熔化微区迅速冷却并凝固所致。陶瓷层在形成过程中,表面残留了大量放电微小气孔,微孔周围明显呈现熔化后凝固的痕迹,使微弧氧化膜表层呈现出一种多孔状态。而在陶瓷层表面还可以观察到明显的扩展裂纹,即微弧氧化处理时膜表面与溶液接触,熔融物快速凝固时热应力过大而引起裂纹出现。试验表明:陶瓷膜表面分布不均匀的沟壑及孔隙,导致表面膜层疏松,并随着氧化过程的进行,孔径变大,孔隙密度降低,表面粗糙度增加。

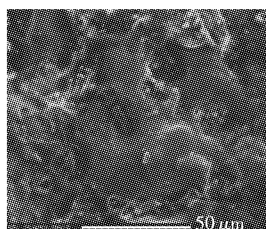


图 1 微弧氧化陶瓷层表面形貌
Figure 1 Surface morphology of the microarc oxidized ceramic coating

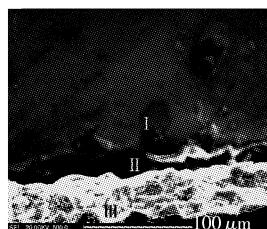


图 2 微弧氧化陶瓷层微观结构
Figure 2 microstructure of MAO ceramic coating

2.2 陶瓷层微观结构

图 2 为铝合金陶瓷层的截面图。如图 2 所示,微弧氧化陶瓷层具有疏松层(Ⅲ部分)与致密层(Ⅱ部分)结构,氧化物与基体(Ⅰ部分)在致密层和金属的结合界面处相互渗透、相互契合,属于典型的冶金结合。研究表明:致密层主要由 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 两相所组成。并且,致密层的增厚主要由 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 的共同生长决定,氧化时间越长,所产生的氧化层越厚,其中 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 生长速率越快,而 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 则相反。在氧化初期,陶瓷层生长主要以疏松层增厚为主;在氧化中期,陶瓷层增厚取决于疏松层生长和致密层生长 2 个因素,前半段以疏松层向外生长为主,后半段以致密层向基体内部生长为主;在氧化后期,两层的生长速率及层厚基本持平,陶瓷层生长速率明显降低。

2.3 微弧氧化陶瓷层的摩擦学性能

图 3 表明了从基体铝合金到微弧氧化陶瓷层不同位置处的显微硬度变化规律。由图 3 可知,陶瓷层的硬度随距基体距离 d 的增加,呈现先增加后下降的趋势,最大的硬度在距离基体 $30\mu\text{m}$ 左右处,其值可达到 1900HV。致密层的硬度明显高于基体与疏松层,这在摩擦试验中也得到了验证。

表 1 是微弧氧化陶瓷层和基体分别与 GCr15 钢球对磨的摩

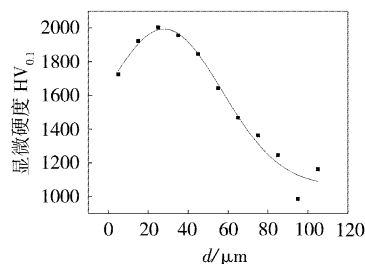


图 3 显微硬度变化曲线

Figure 3 Variation in cross-section microhardness of oxide coatings with distance from substrate

擦结果,给出了 2 种试样的磨损率和摩擦因数的对比关系,说明铝合金微弧氧化后耐磨性能显著提高。试验过程中,观察到在初始跑合阶段,两者的摩擦因数均随滑动距离的增加而急剧上升,其中微弧氧化试样的摩擦因数跑合时间比原始基材的时间长,初始阶段与稳定阶段的摩擦因数波动均较大。这是因为微弧氧化后试样表面的粗糙度变大,摩擦因数变化频率较大。但陶瓷层在稳定阶段的摩擦因数要明显小于基体同时期的摩擦因数,也说明了微弧氧化陶瓷层使基体的耐磨性能有所提高。通过光学显微镜观察,基体铝合金的磨痕较大,其磨损机制主要是犁削和粘着^[3-5];而微弧氧化陶瓷层的磨痕非常轻微,只有浅浅划痕,粘着和擦伤作用明显减轻。

表 1 微弧氧化陶瓷层摩擦磨损结果对比

Table 1 Friction and wear test results of MAO coatings

研究试样	对磨件	摩擦条件	距离 /km	摩擦因数	磨损率 /($\text{mm}^3 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
7075 铝合金	GCr15	干摩擦	<4	0.9~0.5	2.7×10^{-3}
微弧氧化陶瓷层	GCr15	干摩擦	15	0.62~0.48	1.07×10^{-6}
微弧氧化陶瓷层	GCr15	油润滑	15	0.13~0.15	0.53×10^{-8}

3 结 论

- 1) 7075 铝合金表面微弧氧化陶瓷层由疏松层、致密层组成,且与基体结合较好。
- 2) 微弧氧化陶瓷层主要由 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 和 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 相组成。
- 3) 微弧氧化后,基体材料的耐磨性能得到显著提高,摩擦因数也有所减小。

[参 考 文 献]

- [1] 旷亚非, 许岩, 李国希. 铝及其合金材料表面处理研究进展[J]. 电镀与精饰, 2000, 22(1): 16-19
- [2] 蒋百灵, 白力静, 蒋永峰, 等. 铝合金微弧氧化技术[J]. 西安理工大学学报, 2000, 16(2): 138-142
- [3] 宋希剑, 秦东. 铸造高硅铝合金表面微弧氧化陶瓷覆层[J]. 材料保护, 2000, 33(5): 51-52
- [4] 来永春, 邓志威, 宋红卫, 等. 耐磨性微弧氧化膜的特性[J]. 摩擦学报, 2000, 20(3): 304-306
- [5] 袁洋, 罗状子, 田军. 铝合金表面微弧氧化耐磨润滑涂层[J]. 材料保护, 2002, 35(4): 14-17