镁合金表面电弧喷涂用铝基粉芯丝材

蒋建敏，耿丹丹，贺定勇
(北京工业大学 材料科学与工程学院，北京 100022)

摘　要：为改善镁合金的表面性能，研制了新型铝基粉芯丝材，并采用电弧喷涂的方法在AZ91镁合金表面制备耐蚀涂层。通过盐雾试验和电化学试验对涂层的耐蚀性进行评价。利用光学显微镜和XRD分析技术对涂层的显微组织结构和相组成进行了研究。结果表明，铝基涂层能对镁合金基体起到保护作用，涂层均匀致密；加入Ni和Re能够提高涂层的耐腐蚀性能。

关键词：镁合金；电弧喷涂；Al基涂层；耐腐蚀
中图分类号：TG174.442　　文献标识码：A　　文章编号：1007–9289(2006)06–0051–04

Arc Spraying Al-based Cored wire on Magnesium Alloy

JIANG Jian-min, GENG dan-dan, HE Ding-yong
(College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: Al-based cored wire was investigated for improving the surface performance of magnesium alloy. The coatings on AZ91 magnesium alloy were prepared by arc spraying. The evaluation of the corrosion properties of the coatings were carried out through salt spray test and electrochemical experiment. The microstructure and phase compositions of the coatings were observed by means of optical and X-ray diffraction. The results showed that Al-based coatings can protect the magnesium alloy substrate, the coating was homogeneous and dense. It was suggests that the corrosion resistance of coatings can be improved by adding Ni and Re.

Key words: magnesium alloy; arc spraying; Al-based coating; corrosion resistance

0　引　言

镁合金由于质轻、高比强度、高比刚度等特性成为近年来新材料研究的热点之一，在汽车、电子、航空等领域有广泛应用[1~3]。但是腐蚀是镁及镁合金存在的主要问题，极大地限制了其在工程领域的广泛应用。

有多种表面技术可用于改善镁合金表面的耐蚀、耐磨性能。其中热喷涂法由于具有高沉积效率、高的结合强度、可制备厚涂层及针对特定环境可沉积一定功能涂层等特点，是一种行之有效的方法。热喷涂技术的多样性、制备涂层的广泛性和应用上的经济性，是该技术最突出的特点，在工业上已得到推广和应用[1~5]。目前，用热喷涂改性镁合金的方法主要有：等离子喷涂在镁合金表面制备Al_2O_3+3 %TiO_2 纳米陶瓷涂层[6]、$Al_{65}Cu_{23}Fe_{12}$ 涂层[7]，以改善基体的耐蚀耐磨性能。电弧喷涂方法在镁合金AZ31、AZ91D表面喷铝[8~11]，并对喷涂试样进行后热压、保温扩散及阳极氧化处理，可改善AZ31、AZ91D的耐蚀性。也有采用高速火焰喷涂(HVOF)方法在镁合金表面制备NiCr、NiCr–Cr_3C_2涂层，使镁合金的耐磨性和耐蚀性得到改善[12]。

文中研制了铝基粉芯丝材，采用电弧喷涂的方法在 AZ91 镁合金表面制备铝基涂层，以期改善其表面耐蚀性能。为电弧喷涂铝基涂层作为镁合金的防护涂层打下一定的研究基础。

1　试验条件及试验方法

1.1　试样制备

试验采用 JZY–250 型电弧喷涂设备制备涂层，喷涂材料为自行设计研制的铝基复合粉芯丝材，配方的设计组成如表 1 所示。丝材直径为ϕ2 mm，填充比为 25 %~30 %。基体材料为 AZ91D 镁合金，其主要成分为（%）：w(Al)=8.77，w(Zn)=0.61，

收稿日期：2006–08–07；修回日期：2006–11–10
作者简介：蒋建敏(1956–)，男(回)，辽宁沈阳人，副教授，硕士。

w(Mn)=0.26 ， w(Si)=0.0289 ， w(Fe)=0.0033 ， w(Cu)=0.0017，w(Ni)= 0.0006，余为 Mg。试样大小为 25 mm×16 mm×5 mm。

表1 粉芯的主要成分 (质量分数%)

Table 1 Composition of cored material (w/%)

编号	Al-Mg	Ni	Re
F1	100		
F2	98		2
F3	30	70	
F4	29	69	2

喷涂前试样表面用汽油或丙酮清洗，然后用棕刚玉喷砂粗化处理。电弧喷涂工艺参数为：电弧电压 28~30 V，工作电流 100~120 A，压缩空气压力 0.5～0.6 MPa，喷涂距离 150~200 mm。

1.2 试验方法

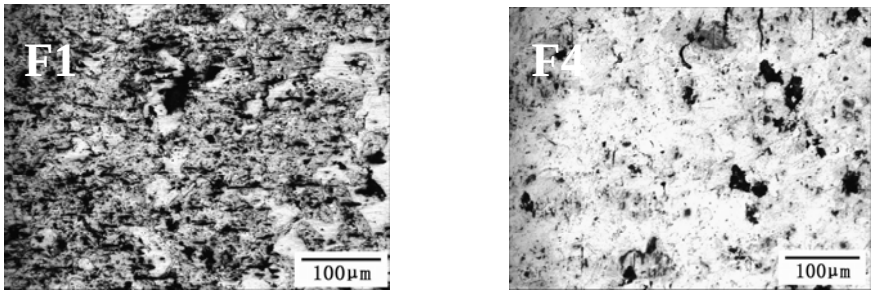
按照国标GB10125-88，在上海仪器设备有限公司出产的FQY015 盐雾试验箱内进行人造气氛中的腐蚀试验-盐雾试验。试验条件：盐水浓度NaCl(50±5) g·L^{-1}，盐雾箱内温度为(35±2) ℃，盐雾沉降率 0.01625～0.0212 ml·h^{-1}·cm^{-2}，喷雾方式为每 6 h为 1 周期的连续喷雾，时间为 48 h。照国标GB/T17899-1999,喷涂后试样表面用环氧树脂涂覆非测试面，露出测试面积为 1 cm^2。试验腐蚀介质溶液采用 3.5 % NaCl溶液，中性溶液中参比电极采用饱和甘汞电极，酸性溶液中参比电极采用饱和硫酸亚汞电极。工作电极有效面积 1 cm^2，设备为Potentiostat/Ga/vanostat公司生产的M273A恒电位仪，配合M352 腐蚀测试软件。测量动电位极化曲线，扫描范围为－0.25 V~1.2 V，扫描速度为 2.000 mV/s。

2 结果与讨论

2.1 涂层组织

图 1 为原始涂层的截面形貌。可以看出 F1 涂层的致密程度较好。F4 涂层中由于同时存在 Ni、Re 元素，其孔隙率较低，且涂层均匀致密。这是由于稀土是表面活性物质，可以提高涂层耐腐蚀性能、降低铝的表面张力，从而得到均匀致密的涂层。镍也可以降低涂层孔隙率，同时加入两种元素效果更加明显。

图 2 所示为原始涂层的XRD图谱。F1 涂层主要由Al、Al_2O_3及MgO组成。F4 涂层主要由Al、AlRe、Al_2O_3以及铝镍化合物组成。



(a) F1 (b) F4

图 1 原始涂层的截面形貌

Fig.1 The cross-section micro structures of as-sprayed coatings

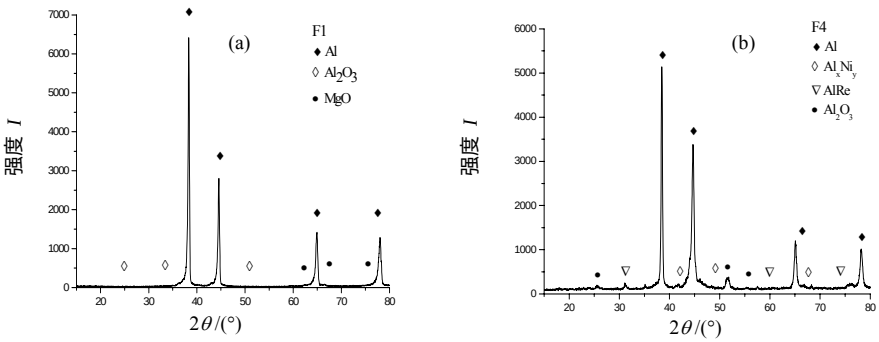


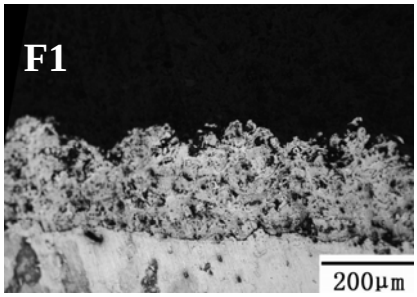
图 2 原始涂层 XRD 曲线

Fig.2 XRD spectra of as-sprayed coatings

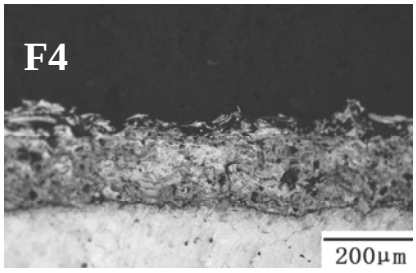
2.2　盐雾腐蚀试验

表 2 为试样经盐雾腐蚀试验前后质量变化的结果。可见通过封孔处理后的试样试验前后质量变化很小。

图 3 为盐雾腐蚀试验后涂层截面的金相照片。可以看到 F4 涂层耐蚀性能比 F1 涂层好，涂层均匀致密、无贯穿性孔隙，镁合金基体没有被腐蚀。



(a) F1



(b) F4

图 3　盐雾腐蚀后的截面形貌

Fig.3　The cross-section microstructures of the coatings after salt spraying test

表 2　盐雾试验试样质量变化

Table 2　The quality of the coatings after salt spraying test

编号	质量变化/g
F1	0.0420
F2	0.0077
F3	0.0102
F4	0.0138

图 4 为盐雾腐蚀试验后两种涂层的XRD图谱。F1 涂层主要由Al、$Al(OH)_3$、$MgCl_2$及MgOHCl组成。F4 涂层中主要含有Al、铝镍化合物、AlRe以及少量的Al_2Mg。对比图 2 所示的喷涂态涂层的相组成，涂层与溶液发生反应，生成的腐蚀产物有$Al(OH)_3$、$MgCl_2$、MgOHCl等。但是从图 3 可以看到盐雾试验后基体并没有受到严重腐蚀，涂层对基体有一定的保护作用。

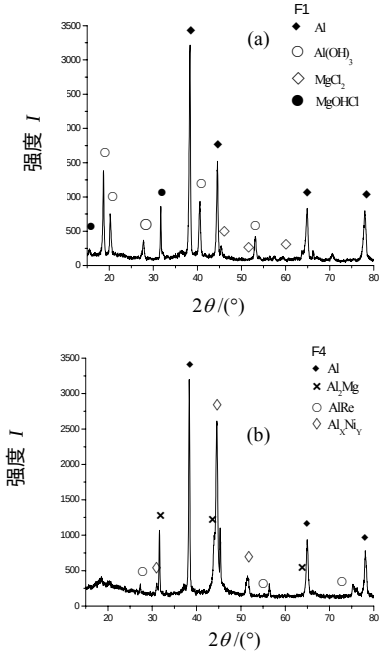


图 4　腐蚀后涂层 XRD 曲线

Fig.4　XRD spectra of the coatings after salt spraying test

2.3　电化学试验

表 3 为涂层的动电位极化电化学腐蚀参数。F3 的腐蚀电位较其它涂层正、腐蚀电流密度较低。说明F3 涂层在电化学腐蚀过程中表现较好，更耐Cl^-腐蚀。

表 3　涂层动电位极化电化学腐蚀参数

Table 3　Electrochemical corrosion parameter of the coatings

试样	E_{corr}/mV	I_{corr}/(mA/cm^2)
F1	−1460	0.634
F2	−1281	1.117
F3	−982.2	0.078
F4	−1080	0.136

图 5 是涂层在 3.5% NaCl 溶液中的动电位极化曲线。由图可见，F1、F2 涂层在溶液中表面呈活性溶解状态，随着电位的上升，腐蚀电流密度缓慢上升。F3 涂层腐蚀电位较正，而且涂层 F3、F4 表面处于活性溶解状态。结合表 3 中的电化学腐蚀参数，可以发现在 4 种涂层中，F3 涂层的电化学腐蚀性能较好。

(下转第 55 页)

（上接第 53 页）

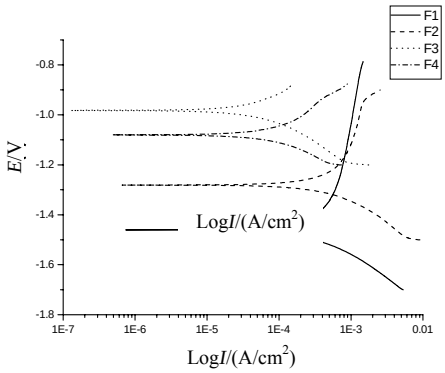


图 5 涂层在 3.5% NaCl 溶液中的动电位极化曲线

Fig.5 Polarization curves for coatings in 3.5 wt.% NaCl solution

3 结 论

(1) 在镁合金 AZ91 表面电弧喷涂含 Al–Mg 的粉芯丝材，涂层致密，经封孔处理后，提高了涂层的耐腐蚀性能。

(2) 粉芯中加入 Ni、Re 使得涂层组织变得均匀，致密度增加。F3 涂层的腐蚀电位较其它涂层正、腐蚀电流密度较低，涂层耐腐蚀性能相对较好。

参考文献：

[1] 陈振华, 等. 镁合金 [M]. 北京:化学工业出版社, 2004.

[2] 曾小勤,王渠东,吕宜振,等. 镁合金应用新进展 [J]. 铸造. 1998,(11):39-43.

[3] 李金桂,赵闰彦. 腐蚀和腐蚀控制手册 [M]. 北京:国防工业出版社，1988.

[4] 吴子健. 热喷涂技术与应用 [M]. 北京:机械工业出版社, 2006.

[5] Weisheit A, Lenz U, Mordike B L. Thermal sprayed coatings on the magnesium alloy AZ91 for improvement of corrosion and wear resistance [C]. Proceedings of the UTSC'99, 1999:687-692.

[6] 叶宏, 张津, 孙智富, 等. 镁合金表面等离子喷涂纳米陶瓷涂层研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2004, 26(4):9-11.

[7] 冯亚如, 张忠明, 徐春杰, 等. AZ31 镁合金表面等离子喷涂 Al65Cu23Fe12 涂层的研究 [J]. 铸造技术, 2006,27(2):160-162.

[8] 梁永政, 郝远, 杨贵荣, 等. 镁合金 AZ91D 表面电弧喷涂铝工艺的研究 [J]. 机械工程材料, 2005, 29(3):29-31.

[9] 张津, 孙智富, 汪崧扬, 等. 镁合金表面热喷铝工艺及防腐性研究 [J]. 表面技术, 2003,32(3):8-9.

[10] 张津, 孙智富. AZ91D 镁合金表面热喷铝涂层研究 [J]. 中国机械工程, 2002,(23): 2057-2058.

[11] Chiu L H, Chen C C, Yang C F. Improvement of corrosion properties in an aluminum-sprayed AZ31 magnesium alloy by a post-hot pressing and anodizing treatment [J]. Surface & Coatings Technology, 2005, 191:181-187.

[12] Lugscheider E, Parco M, Kainer K U, et al. Thermal spraying of magnesium alloys for corrosion and wear protection [C]. Proc. of the 6th International Conference Magnesium Alloys and Their Applications, 2003:860-868.

作者地址：北京朝阳区平乐园 100 号 100022
北京工业大学材料科学与工程学院
Tel: (010)67392168
E-mail:jmjiang@bjut.edu.cn