

电刷镀技术对 Fe₃Al 基合金 室温环境脆性的改善作用*

张忠铎 孙扬善 刘桂君

(东南大学, 南京 210096)

摘要 运用电刷镀技术在 Fe₃Al 基合金表面刷镀一层 Cu 或 Ni 可以适度抑制其室温环境脆性, 合金的室温塑性提高近 3 倍. SEM 分析发现, 刷镀后在合金和镀层之间形成了过渡层, 并在断口上出现了表征延性断裂的韧窝.

关键词 Fe₃Al, 环境脆性, 电刷镀

Fe₃Al 合金由于它具有优良的抗氧化性能以及相对较低的成本和低密度等特点, 因此被认为是很有潜力的中高温结构材料^(1,2). 但它的室温环境脆性却阻碍了它的应用. 最近的研究表明, Cr 和 Ce 的复合合金化钝化了 Fe₃Al 合金表面的氧化膜, 并且通过适当的热机械处理可以使合金的室温塑性得到大幅度提高⁽³⁾. 但是这种方法对提高 Fe₃Al 的室温塑性不能持久. 因此如何有效且持久地防止 Fe₃Al 的室温脆性仍是其实用化过程中必须解决的关键问题. 本文采用电刷镀表面处理技术探索克服 Fe₃Al 室温环境脆性的途径.

1 实验方法

试验用合金具有良好的综合力学性能⁽⁴⁾, 其成分(原子分数, %)为: Al 28, Cr 5, Mo 0.5, Nb 0.5, Zr 0.05, B 0.05, Ce 0.01, Fe 余量. 合金用真空感应炉熔炼. 熔炼后的锭子在 1000℃ 均匀化退火 15 h 后锻压成截面为 12 mm × 20 mm 的板材, 随后先在 1000—850℃ 热轧, 再在 700—650℃ 温轧成 1.5 mm 厚的板材. 刷镀试样用电火花线切割工艺在温轧后的板上切割而成, 试样标距尺寸为 15 mm × 3.5 mm × 1.5 mm. 合金的拉伸力学性能在 WD-10 电子拉伸机上测试. 刷镀前先将从轧板上取下的试样在 650℃ 去应力退火 1 h 后油淬冷却. 由于退火是在再结晶温度以下进行, 试样内的 Fe₃Al 基体保持了轧后带状组织. 形变试样的断口和镀层形貌用 SEM 方法观察分析. 电刷镀工艺主要由以下几个步骤组成:

(1) 电解除油(电净): 所用电净液为 TGY-1 型, 其主要成分为: NaOH 5—15 g/L; 1 型缓冲盐 30—40 g/L; 2 型缓冲盐 0.5—3 g/L; 加微量添加剂; pH 值 12—13. 刷电净液时工件接负极, 工作电压为 8 V.

(2) 活化: 试验中使用的是 1 号活化液 THY-1, 其主要成分为: 硫酸 10—100 g/L; 缓冲盐 20—200 g/L; 微量添加剂; pH 值 0.8—1.0. 活化液用于除去金属表面的氧化物, 以露出金

* 收到初稿日期: 1996-01-26, 收到修改稿日期: 1996-05-31

本文通讯联系人: 孙扬善, 教授, 南京(210096)东南大学材料科学与工程系

属基体,使刷镀层具有良好的结合强度.刷活化液时,工件接正极,工作电压为 8 V.

(3) 刷镀选用碱性铜以及快速镍两种溶液.刷镀时工件接负极,工作电压为 5 V,刷镀时间可根据镀层厚度而定.

2 实验结果与讨论

2.1 Fe₃Al 的环境脆性

由于 Fe₃Al 合金的室温脆性是由环境引起,为了进一步证实 Fe₃Al 室温塑性对环境的敏感性,本文对同一种合金的 4 种不同状态的试样进行了拉伸试验,这 4 种状态为:(1) 原态(轧制态),即用线切割方法从轧后的板材上取下的试样未做任何处理.(2) 热处理态,即将线切割的试样经 700℃, 1 h 去应力退火后,油淬冷却(简称为 700℃, 1 h O.Q.).(3) 侧面磨光,即在热处理后将试样标距部分的侧面用砂纸磨光.(4) 四面磨光,将热处理后试样各表面均磨光.测试获得的室温塑性(δ , %)分别为 6.0, 12.8, 6.5 和 6.1.

从上述数据可见,原态即线切割后试样的室温塑性仅为 6%,经 700℃, 1 h O.Q.后,其塑性提高到 12.8%.但是一旦将表面氧化层及油膜除去,其塑性又急剧下降,这一结果与 Mckamey^[5]等人的实验结果类似,即 Fe₃Al 合金存在环境脆性,热处理过程中形成的氧化层和油膜有利于抵御环境中的水汽和试样中的 Al 发生反应,从而减缓了环境脆性的发生.

2.2 电刷镀对合金室温力学性能的影响

考虑到合金在电刷镀过程中与镀液直接接触,因此氢原子可能会少量进入合金内部,所以在测试性能之前把刷镀好的试样部分放在 200℃ 的炉中保温 1 h,低温去氢退火.此外还在试验过程中通过控制镀层消耗的电量以控制镀层的厚度,研究镀层厚度对合金室温性能的影响,测试结果如表 1 所示.从表可见,试样经过刷镀后,其力学性能均有提高,而且性能随镀层厚度的增加而增加,如刷镀 6 μm 的铜层后 Fe₃Al 合金的室温塑性高达 18.2%,而镀前仅为 6.0%.

从表 1 中还可以看出,经过 200℃, 1 h 的低温去氢以后,刷镀试样的延性高于未退火的试

表 1 表面镀层对 Fe₃Al 合金室温力学性能的影响

Table 1 Effect of surface film on RT tensile properties of Fe₃Al alloy

Film kind	Film thickness, μm	σ_b , MPa	$\sigma_{0.2}$, MPa	δ , %	Note
No film	—	798	644	6.1	
Copper film	1	1037	715	13.6	
	1	1124	754	15.6	*
	3	1148	720	16.5	*
	6	1162	752	18.2	*
Nickel film	1	996	743	9.4	
	1	1053	698	11.8	*
	6	1156	754	16.6	*
	9	1176	721	18.2	*

* Annealed at 200℃ for 1 h to relieve hydrogen after plating

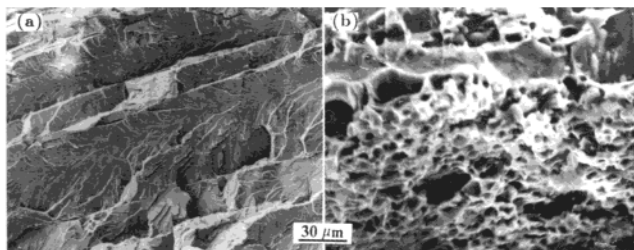


图 1 合金的断口形貌

Fig.1 Fracture modes of alloy without film (a) and with copper film (b)

样,这说明镀件在刷镀过程中有少量氢进入,从而进一步证实了 Fe₃Al 合金的环境脆性.

2.3 断口和镀层的 SEM 分析

通过对上述不同刷镀处理方式的试样拉伸断口形貌分析发现,原态试样以及经过 700℃、1 h 油淬的试样其拉伸断口形貌为纯解理断裂(图 1a). 经过电刷镀以后,断口上出现了表征延性断裂的韧窝(图 1b),韧窝的数目随镀层厚度的增加而增多. 这说明电刷镀改变了合金的断裂方式. 研究结果表明,刷镀层和基材出现了一层较为明显的过渡层,图 2 是刷镀铜的镀层形貌. 过渡层附近区域的主要成分经 SEM 能谱分析结果如表 2 所示. 从表可以看出 Cu 已明显渗入基体. 这也是刷镀铜能较好防止环境脆性的原因.

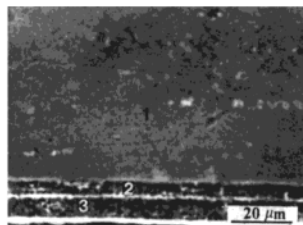


图 2 样品刷镀铜后截面形貌

Fig.2 Cross-section morphology of the sample after electro-brush plating copper

1—matrix 2—transition layer 3—Cu layer

表 2 过渡层及其附近区域的主要成分

Table 2 Main compositions (mass fraction, %) of the transition region and its neighbouring areas

	Al	Cr	Cu	Fe
Matrix	15.90	5.27	—	78.83
Transition region	7.10	2.95	50.06	39.89
Plating film	0.71	—	95.46	3.84

3 结 论

(1) 采用电刷镀技术在 Fe_3Al 合金表面镀一层 Cu 或 Ni 能显著改善合金的室温塑性. 镀 Cu 的效果比镀 Ni 的效果好.

(2) 合金表面经过电刷镀后在基体和镀层之间形成了过渡层, 并部分改变了合金的断裂机制.

参 考 文 献

- 1 Mendiratta M G, Ehlers S K, Dimiduk D M, Kerr W R, Maziyasni S, Lipsitt H A. *Mater Res Soc Symp Proc*, 1987; 81: 393
- 2 McKamey C G, Devan J H, Tortorelli P F, Sikka V K. *J Mater Res*, 1991; 6(8): 1779
- 3 Sun Yangshan, Yao Zhenjun, Zhang Zhonghua. *Scr Metall Mater*, 1995; 33: 811
- 4 Zhang Zhonghua, Sun Yangshan, Guo Jun. *Acta Metall Mater*, To be published
- 5 McKamey C G, Liu C T. *Scr Metall Mater*, 1990; 24: 2219
- 6 Liu C T, Mckamey C G, Horton J A. *Scr Metall*, 1988; 122: 1679
- 7 Liu C T, Mckamey C G, Lee E H. *Scr Metall Mater*, 1990; 24: 385
- 8 Sikka V K. *Sampe Q*, 1991; 22: 2

IMPROVEMENT OF ROOM TEMPERATURE ENVIRONMENTAL BRITTLEMENT OF Fe_3Al -BASED ALLOY BY ELECTRO-BRUSH PLATING

ZHANG Zhonghua, SUN Yangshan, LIU Guijun (Southeast University, Nanjing 210096)

(Manuscript received 1996-01-26, in revised form 1996-05-31)

ABSTRACT The room temperature ductility of Fe_3Al alloy with environmental embrittlement at room temperature can be improved nearly by three times by electro-brush plating copper or nickel on the specimen surface. SEM observation showed that a transition layer between the surface coating and the matrix formed during plating and the fracture surface of tensile specimen exhibits partially dimple morphology.

KEY WORDS Fe_3Al , environmental brittlement, electro-brush plating

Correspondent: SUN Yangshan, professor, Department of Materials Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096