

RE 和 Ti 对 Al-Mg-Si 导体材料组织和性能的影响

赵红亮, 孔亚萍, 刘志鹏

(郑州大学 材料科学与工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 在 Al-Mg-Si 合金中添加稀土和钛,采用 OM,SEM 和 EDS 对合金显微组织进行分析,并通过性能测试,研究稀土和钛对 Al-Mg-Si 导体材料组织和性能的影响. 研究表明:RE 和 Ti 对 Al-Mg-Si 导体材料均有细化作用.当合金中 RE 和 Ti 质量分数分别超过 0.3% 和 0.15% 时,稀土元素 Ce 和 Ti 发生反应,生成 $Al_{20}Ti_2Ce$ 相,消耗熔体中大量的 Ti 和 Ce,对合金的力学性能和导电性能有不利影响.

关键词: Al-Mg-Si;合金元素;力学性能;导电性能

中图分类号: TG292 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2015.04.013

0 引言

Al-Mg-Si 合金由于其良好的导电性、热塑性、耐腐蚀性及良好的加工性能,且易氧化着色,被广泛应用于导电导热材料^[1-2]. 但 Al-Mg-Si 导体材料,存在晶粒粗大、杂质含量高的问题,其机械性能和导电性能仍有待提高. 研究表明,适量的 Ti 加入到铝合金中,形成金属间化合物 $TiAl_3$ 和 TiB_2 ,增加有效核心的数量,细化晶粒,提高合金强度和塑性^[3]. 在 Al-Mg-Si 合金中添加适量的稀土元素能够净化熔体^[4],细化晶粒,从而改善合金机械、物理及工艺性能^[5]. 并且,稀土可以与合金中的铁、过剩硅等反应生成化合物,使杂质元素由固溶态变为析出态,提高合金导电性^[6]. 笔者在 Al-Mg-Si 导体材料中添加稀土和钛,研究其对 Al-Mg-Si 合金组织和性能的影响.

1 实验材料与方法

基体合金为导体中最常用的 Al-0.8Mg-0.6Si ($w(Fe) < 0.3\%$, $w(B) < 0.06\%$). 将 Al-0.8Mg-0.6Si 放入坩埚电阻炉中,720℃保温至 Al-0.8Mg-0.6Si 完全熔化,升温至 750℃,加入预热好的 Al-10RE 中间合金(RE 为混合稀土,其中 80% 的 Ce,20% 其它.)或/和 Al-Ti 中间合金,保温 50 min,期间每隔 15 min 搅拌一次.用高纯氩气进行除气处理.降温至 720℃,将合金液浇入

Φ60 mm×110 mm 的柱状模具中(铸铁型,预热温度为 200℃).试样经人工研磨、抛光后用 5% HF 腐蚀 10 s,在 OLYMPUS 金相显微镜和扫描电子显微镜上观察合金组织.对铸锭 570℃均匀化处理 8 h 后,460℃挤压至 Φ10 mm,然后对合金棒进行 500℃固溶处理 30 min,水淬冷却,之后进行 180℃时效处理 8 h.采用 SHIMADZU 电子万能拉伸机测试合金杆抗拉强度和伸长率,用 FD101 涡流电导仪测试合金导电性能.实验合金中 RE 和 Ti 添加量见表 1.

表 1 实验合金中 RE 和 Ti 的质量分数

Tab.1 The content of RE and Ti in the experiment alloy %

标号	$w(RE)$	$w(Ti)$	标号	$w(RE)$	$w(Ti)$
1	0.3	0.00	7	0.0	0.15
2	0.3	0.05	8	0.1	0.15
3	0.3	0.1	9	0.2	0.15
4	0.3	0.15	10	0.4	0.15
5	0.3	0.20	11	0.5	0.15
6	0.3	0.25			

2 结果与分析

2.1 RE 和 Ti 对 Al-Mg-Si 合金组织的影响

图 1 为 RE 质量分数为 0.3% 时,不同 Ti 质量分数(x)对合金显微组织的影响.由图 1 可知,Ti 可以使 Al-Mg-Si 晶粒细化,随着合金中 Ti 质量

收稿日期:2015-01-27;修订日期:2015-03-19
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51174177)
作者简介:赵红亮(1972-),男,河南项城人,郑州大学教授,博士,主要从事新型铝、镁合金的研究,E-mail:zhlwkr@zzu.edu.cn.

分数的增加,晶粒细化程度先增加后降低.当合金中 Ti 质量分数为 0.15% 时,晶粒尺寸最小,由原始尺寸 180 μm 变为 100 μm .继续增加合金中 Ti 的质量分数,晶粒尺寸反而有所增大,并且出现了

粗大的块状第二相.与含质量分数为 0.2% Ti 的合金相比,含质量分数为 0.25% Ti 的合金中块状第二相数量较多,且形状更加不规则.

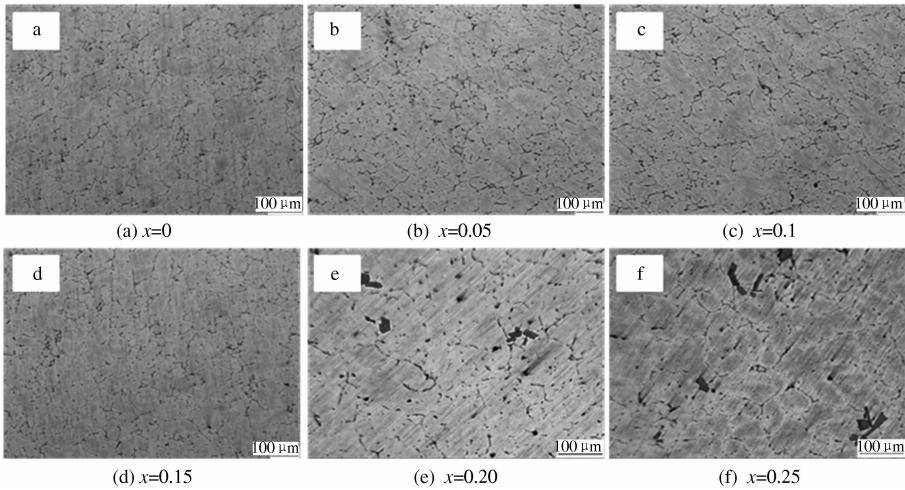


图 1 Al-0.8Mg-0.6Si-0.3RE-xTi 合金显微组织
Fig. 1 Microstructures of Al-0.8Mg-0.6Si-0.3RE-xTi

图 2 为合金中 Ti 质量分数为 0.15% 时,不同质量分数的 RE 对合金显微组织的影响.可以看出,RE 质量分数对晶粒尺寸有细化作用,细化效果随着稀土质量分数的增加先增加后降低.当稀

土质量分数为 0.3% 时,晶粒最小,由原始尺寸 160 μm 变为 100 μm ;继续增加稀土质量分数,晶粒尺寸反而变大,并且出现了块状第二相.

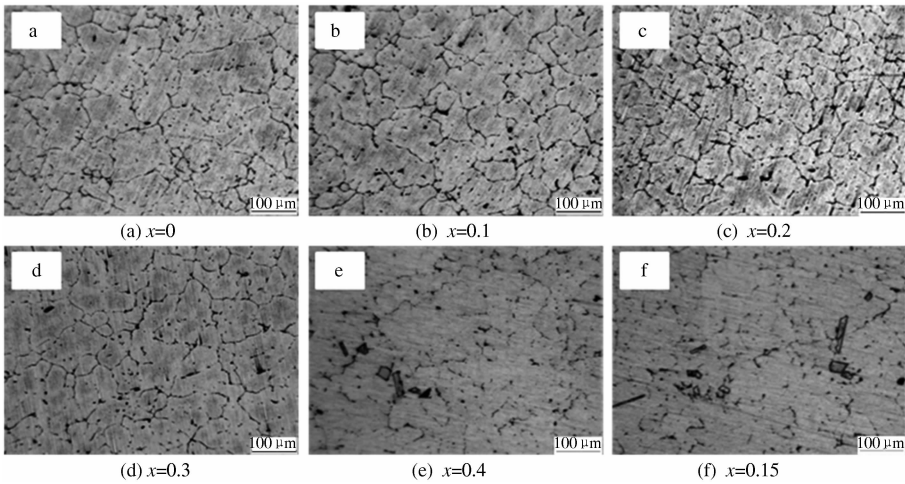


图 2 Al-0.8Mg-0.6Si-0.15Ti-xRE 合金显微组织
Fig. 2 Microstructures of Al-0.8Mg-0.6Si-0.15Ti-xRE

图 3 为不规则块状相的扫描照片.可以发现,图 3(a)中的块状相表面为灰色,图 3(b)中的块状相表面除了灰色区域还有白色区域,且块状相表面不平整,存在沟槽,白色区域形状不规则.分别对图 3(a)中灰色块状相(点 A)和图 3(b)中块状相的灰色区域(点 B)与白色区域(点 C)做能谱分析,如表 2 所示.可看出 A,B,C 3 点成分相近,不规则块状相由 Al,Ti,Ce 3 种元素组成,Al,

Ti,Ce 的摩尔比接近 20:2:1,由于合金中 Ti 元素和 Ce 元素太少,XRD 分析中未能检测出铝钛铈相.但结合文献[7],可推断出该相是 $\text{Al}_{20}\text{Ti}_2\text{Ce}$ 相.
在 Al-Mg-Si 合金熔体中,Ce 和 Ti 反应生成 $\text{Al}_{20}\text{Ti}_2\text{Ce}$ 相,该相呈块状,尺寸较大,形状不规则,割裂基体,阻碍电子传输,从而影响合金性能.而在熔体中 RE 与 Ti 发生反应是受质量分数限制

的.当熔体中 RE 与 Ti 的质量分数分别低于0.3%和 0.15% 时,反应不能进行或者很难进行.当 RE 与 Ti 的质量分数达到一定值后,反应得以进行,形成三元相 $Al_{20}Ti_2Ce$. 这种化合物的形成消耗了大量的 Ti 和 Ce,使熔体中 Ti 和 Ce 的有效质量分数降低,Ti 和 Ce 的细化效果减弱,合金性能也受到不利影响.

2.2 Ce 和 Ti 对 Al-Mg-Si 合金性能的影响

不同 RE 和 Ti 质量分数的合金力学性能和导电性能如表 3 所示.由表 3 可知,当稀土质量分数

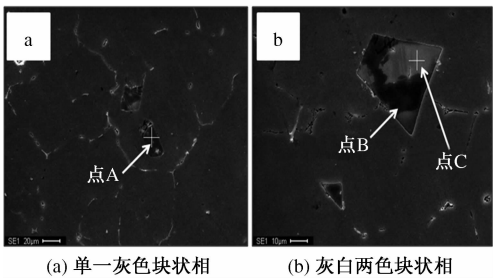


图 3 不规则块状相的扫描照片
Fig.3 SEM micrographs of irregular block phase
a-The gray block phase;b-gray and white block phase

表 2 A,B,C 点各元素的摩尔比
Tab.2 The molar ratio of elements in point A,B,C

区域	Mg	Al	Si	Ti	La	Ce	Fe
A	0.97	84.89	0.12	8.10	0.87	4.83	0.22
B	1.40	83.57	0.21	8.91	0.85	4.93	0.13
C	1.01	85.01	0.33	8.34	0.31	4.63	0.37

为 0.3% 时,随着 Ti 质量分数的增加,合金的强度、伸长率和电导率先增加后降低.合金强度和伸长率在钛含量为 0.15% 时达到峰值,分别为 265 MPa 和 10.3%,相对 Ti 质量分数为 0 时,分别提高了 3.5% 和 22.6%.电导率在 Ti 质量分数为 0.10% 时达到峰值,为 56.4% IACS.当 Ti 质量分数为 0.15% 时,随着 RE 含量的增加,合金的强度、伸长率和电导率先增加后降低.当 RE 质量分数为 0.3% 时,合金强度、伸长率和电导率达到峰值,分别为 265 MPa、10.3% 和 56%,相对稀土质量分数为 0 时,分别提高 4.7%、5.1% 和 12%.当稀土和 Ti 质量分数分别大于 0.3% 和 0.15% 时,合金性能降低,是因为合金中出现了块状 $Al_{20}Ti_2Ce$ 相和粗大针状相. $Al_{20}Ti_2Ce$ 相体积较大,

形状不规则,割裂基体,阻碍电子传输,严重降低合金的力学性能和导电性能.粗大针状相分布在晶界,割裂基体,影响电子传输,对合金力学性能和导电性能都有不利影响.

3 结论

(1)在 Al-Mg-Si-0.3RE 合金中加入 Ti 和 Al-Mg-Si-0.15Ti 合金中加入 RE,晶粒都得到不同程度的细化.当 Ti 质量分数为 0.15%,稀土质量分数为 0.3% 时,晶粒尺寸最小,为 100 μm .

(2)当 Ti 和 RE 质量分数分别超过 0.15% 和 0.3% 时,生成 $Al_{20}Ti_2Ce$ 块状相.该相的形成一方面消耗了 Ti 和 RE,使熔体中 Ti 和 RE 的有效含量降低,削弱了 Ti 和 RE 的有利作用.此外,该相形状不规则,割裂基体,阻碍电子传输,对合金导电性能不利.

(3)在稀土和钛质量分数分别为 0.3% 和 0.15% 时,合金力学性能和导电性能最佳.其抗拉强度、伸长率和电导率分别为 265 MPa、10.3%,56% IACS.

参考文献:

[1] 梁振宇.合金元素对 Al-Mg-Si 合金导体材料组织和性能的影响研究[D].长沙:湖南大学材料科学与工程学院,2011.
[2] 张珊珊. Al-Mg-Si 合金铸态组织及其铸锭均匀化处理的研究[D].沈阳:东北大学材料科学与工程学院,2011.

表 3 实验合金的力学性能和导电性能
Tab.3 The mechanical properties and electric conductivity of the experiment alloy

标号	质量分数 $w(Re)/\%$	质量分数 $w(Ti)/\%$	抗拉强度/ MPa	伸长率/ %	电导率/ % IACS
1	0.3	0.00	256	8.4	56.0
2	0.3	0.05	262	8.5	56.1
3	0.3	0.10	264	10.2	56.4
4	0.3	0.15	265	10.3	56.0
4	0.3	0.20	250	9.6	53.0
6	0.3	0.25	249	9.4	52.0
7	0.0	0.15	253	9.8	50.0
8	0.1	0.15	260	10.1	54.0
9	0.2	0.15	263	10.1	55.0
10	0.4	0.15	252	9.8	51.0
11	0.5	0.15	251	9.7	50.0