

Nd 变质对 Al-Mg₂Si 合金组织和力学性能的影响

杜 阳¹, 索忠源², 姜 峰², 牟跃民³

(1. 吉林化工学院 材料科学与工程学院, 吉林吉林 132022; 2. 吉林化工学院 机电工程学院, 吉林吉林 132022;
3. 吉林石化有机合成厂, 吉林吉林 132022)

摘要: 研究了Nd变质处理对Al-20Mg₂Si合金组织和力学性能的影响。结果表明, 当Nd的加入量为0.3wt%时, 初生Mg₂Si形貌由未变质的粗大汉字状转变为多边形, 变质效果最好, 初生Mg₂Si相尺寸细小, 分布均匀, 合金抗拉强度为119 MPa, 伸长率为1.95%, 和未变质合金相比, 抗拉强度和伸长率分别提升了52.6%和56%。当Nd的加入量达到0.5wt%时, 初生Mg₂Si再次粗化, 出现过变质现象, 致使力学性能降低。Nd变质处理对共晶Mg₂Si形貌影响不大。

关键词: Al-20Mg₂Si合金; 初生Mg₂Si; Nd变质; 力学性能

Al-Mg₂Si合金具有优异的力学性能和耐磨、耐蚀性能, 广泛应用于航空、航天和船舶等领域^[1-2]。Al-Mg₂Si合金中Mg和Si的比为2:1时, 在合金凝固过程中Mg和Si以高熔点Mg₂Si金属间化合物的形式析出。Mg₂Si颗粒作为增强体弥散分布在铝基体中, 提高合金强度和硬度。但未经变质的Al-Mg₂Si合金组织中初生Mg₂Si以粗大的块状、板条状和树枝状形式存在, 合金在受力变形过程中, 粗大的初生Mg₂Si相容易割裂基体, 引发应力集中, 严重降低合金的力学性能。近年来关于变质处理Al-Mg₂Si合金的研究中, 研究者先后将P^[3]、Sc^[4]、Sr^[5]和盐类化合物^[6]等变质剂引入到Al-Mg₂Si合金体系中, 用以改善合金综合性能。Wu等^[7]研究了Nd对Al-18Mg₂Si合金显微组织和拉伸性能的影响, 并报道了添加0.5wt%的Nd合金抗拉强度和伸长率最高。另一方面, 王孝良等^[8]还发现Nd变质处理后的Mg₂Si/Al复合材料的摩擦系数和磨损率要低于未经变质处理的复合材料。此外, 冯世鹏等^[9]还注意到Nd能够改善Mg-Nd/Al-20Si液固复合界面的力学性能。然而, 同一变质剂对不同成分铝合金的变质效果和机理也不尽相同^[10]。本文研究Nd变质处理对Al-20Mg₂Si合金组织及力学性能的影响, 并进行了EDS分析, 以确定Nd元素在Al-20Mg₂Si合金中的分布状态。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

试验用Al-20Mg₂Si合金采用工业纯铝 (>99.7%)、工业纯镁 (>99.8%) 和结晶硅熔炼而成, 合金各成分质量分数如下: Mg12.68%、Si7.32%、Al80%。Si和Nd分别以Al-20Si和Al-10Nd中间合金的形式加入, 精炼除气剂为六氯乙烷。

1.2 试验方法和过程

合金熔炼前, 将原材料和工具进行预热。将纯铝和Al-Si中间合金放入石墨坩锅中, 原料完全熔化后, 在750℃进行第一次精炼除气, 六氯乙烷加入量为0.5%。随后将温度升至780℃, 采用钟罩压入Al-10Nd中间合金, 保温20 min, 降温至730℃压入Mg, 然后进行二次除气精炼, 最后升温至浇注温度750℃, 浇注到已预热300℃的石墨型中, 得到金属试棒(Φ24 mm × 120 mm)。用线切割进行切片, 用于组织和性能分析。金相组织分析在MPC-400型金相显微镜下进行。物相分析在D8 FOCUS型

作者简介:

杜 阳(1995-), 男, 硕士生, 研究方向为变质处理铝合金的组织与性能。E-mail: 1498919339@qq.com

通讯作者:

索忠源, 男, 副教授, 博士。E-mail: zhy_suo@126.com

中图分类号: TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)11-1265-05

收稿日期:

2021-05-09 收到初稿,

2021-06-17 收到修订稿。

X射线衍射仪下进行。室温拉伸试验在WDW-100H万能拉伸试验机下进行, 拉伸片尺寸如图1所示。元素EDS及断口分析在JEOL-JSM-6490LV型扫描电子显微镜下进行。

2 试验结果与分析

2.1 金相组织

图2为不同Nd含量变质处理Al-20Mg₂Si合金的显微组织。由图可知, 未经变质合金组织中, 初生Mg₂Si相呈现粗大的汉字状, 棱角尖锐(见图2a)。当Nd的添加量为0.1%时, 初生Mg₂Si相尺寸减小, 向多边形改变; 共晶相中初生 α -Al增多, 共晶Mg₂Si形貌变化并不明显(见图2b)。当Nd的添加量增加到0.3%时, 初生Mg₂Si晶粒尺寸进一步减小, 棱角部位明显钝化, 形貌上呈现为不规则的颗粒状, 部分初生相为细小多边形; 共晶相中 α -Al明显增多, 共晶相中Mg₂Si减少(见图2c)。继续增加Nd的含量达到0.5%时, 合金中初生Mg₂Si相尺寸增大, 出现粗化现象, 形貌上呈现为不规则的粗大板块状, 共晶Mg₂Si同样出现粗化现象。

利用PTI金相分析软件对组织中初生Mg₂Si相的尺寸进行测量, 随着Nd含量的增加, 合金组织中初生

Mg₂Si相的尺寸呈现先减小后增大的趋势, 初生Mg₂Si相的尺寸变化如图3所示, 未经变质处理的初生Mg₂Si相平均尺寸为70 μm , 经0.3%Nd变质处理后, 初生Mg₂Si平均尺寸为22.54 μm 。

2.2 物相分析

图4为Nd变质Al-20Mg₂Si合金的X射线衍射图。由XRD图谱可以看出, Nd变质处理前后所有的Al-20Mg₂Si合金均由Al和Mg₂Si相组成, 在过共晶Al-20Mg₂Si合金的凝固过程中, 初生Mg₂Si相率先在熔体中形核, 然后在初生Mg₂Si相周围形成二元共晶相(α -Al+Mg₂Si)_E。

目前关于铝合金变质机制的研究有异质形核机制^[11]、

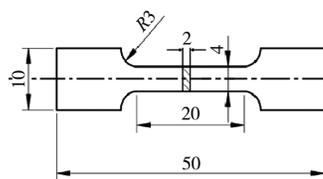


图1 拉伸试样尺寸

Fig. 1 Dimension of tensile sample

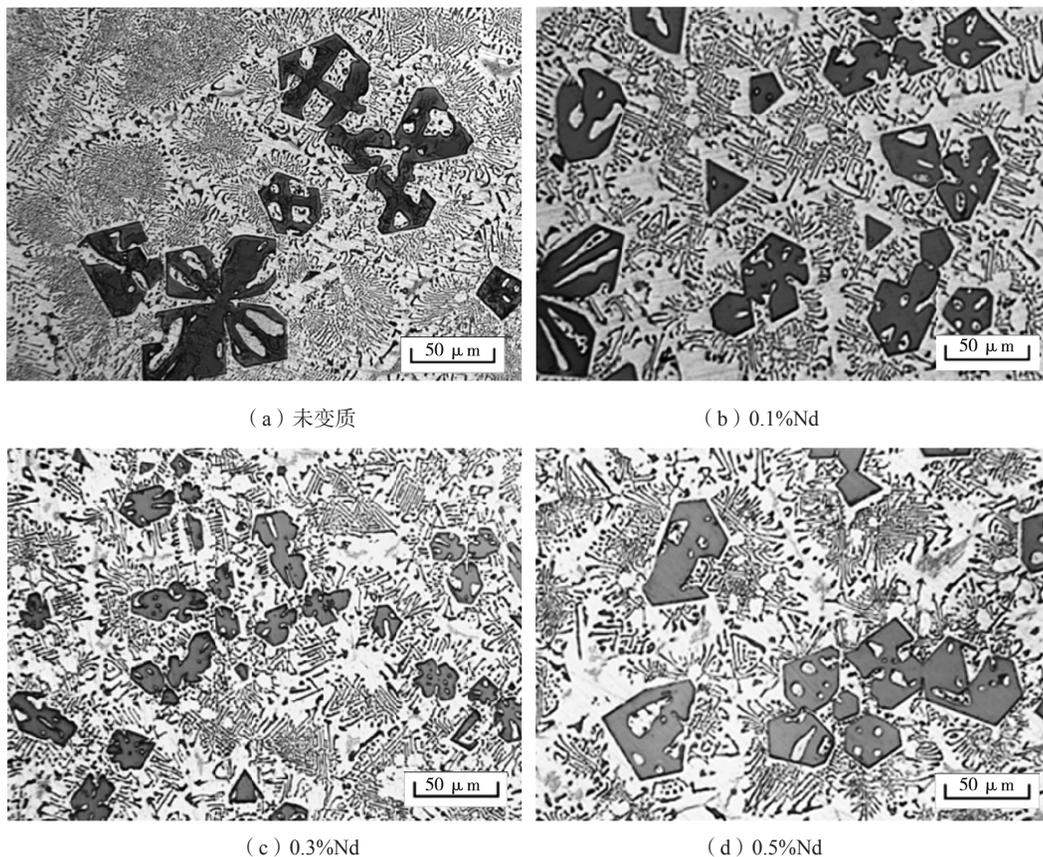


图2 不同Nd含量变质Al-20Mg₂Si合金的显微组织

Fig. 2 Microstructures of Al-20Mg₂Si alloys modified with different Nd contents

成分过冷机制^[7]和吸附-毒化机制^[12]。为了进一步探究Nd元素在Al-20Mg₂Si合金中的分布,对0.5%Nd变质处

理的Al-20Mg₂Si合金进行了EDS分析。图5a为EDS分析的原始照片,图5b为元素分布的复合图像。由图5c-f

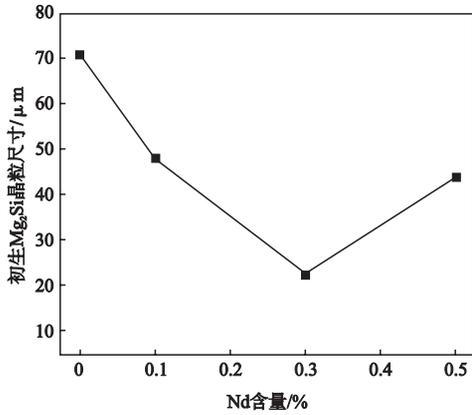


图3 不同Nd含量变质合金中初生Mg₂Si相尺寸曲线图
Fig. 3 Variation of primary Mg₂Si size in alloys by modification with different Nd contents

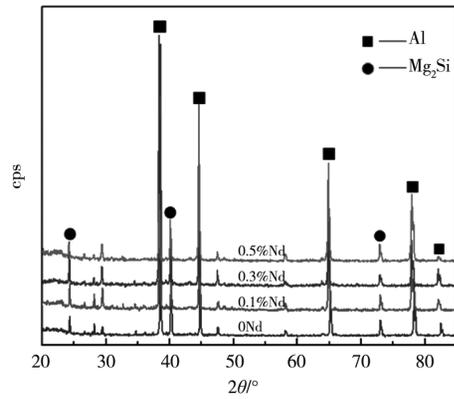


图4 Nd变质前后Al-20Mg₂Si合金的XRD图谱
Fig. 4 XRD patterns of Al-20Mg₂Si alloy before and after Nd modification

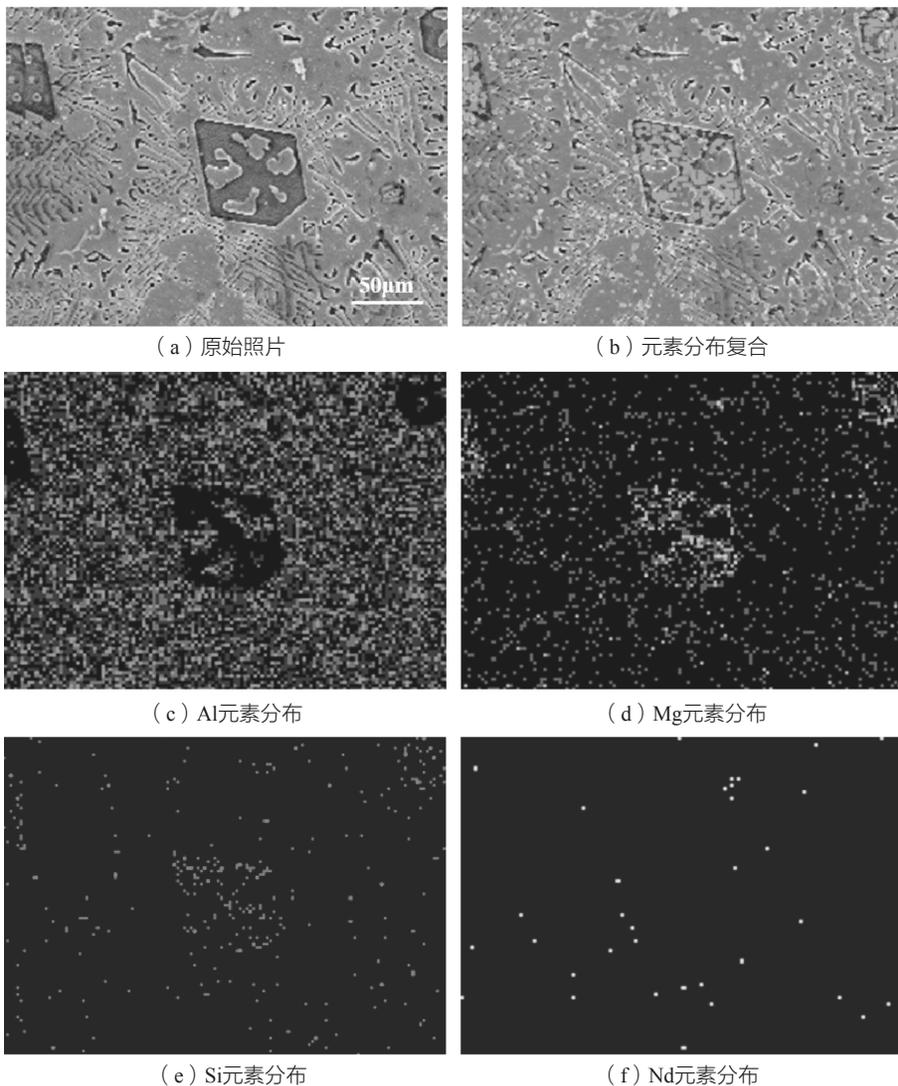


图5 0.5wt%Nd变质Al-20Mg₂Si合金EDS面扫描图
Fig. 5 EDS surface scanning of 0.5wt% Nd modified Al-20Mg₂Si alloy

可以得出,图中5a黑色汉字状和杆状的组织为 Mg_2Si 增强相,灰色组织为Al基体,亮白点为聚集的Nd元素。根据以前的研究,Nd元素的存在形式为 $AlNd$ 相^[8]。此外,初生 Mg_2Si 相的内部并未发现Nd元素的分布,除Al基体中聚集分布的Nd元素,Nd元素多集中在初生 Mg_2Si 的前方和共晶 Mg_2Si 的边界处(图5f),这是在凝固期间Nd在 Mg_2Si 相固-液生长表面的富集造成的^[7]。

2.3 拉伸性能

图6为不同Nd含量变质Al-20 Mg_2Si 合金的力学性能。从图中可观察到,随着Nd含量的增加,合金的抗拉强度和伸长率呈先增大后减小的趋势,当Nd含量为0.3%时,合金抗拉强度和伸长率达到最大值,同未变质合金相比,抗拉强度由78 MPa提高至119 MPa,提升了52.6%,伸长率由1.25%提高至1.95%,提升了56%。由于铸态Al-20 Mg_2Si 合金中初生 Mg_2Si 相呈粗大的片状,棱角尖锐,在外力作用下极易割裂基体,引发应力集中,降低合金抗拉强度和伸长率。当加入0.1%~0.3%Nd进行变质处理,初生 Mg_2Si 相棱角钝化、晶粒尺寸减小,减弱了初生 Mg_2Si 相对基体的割裂作用,使合金力学性能上升;当Nd的加入量达到0.5%时,发生过变质现象,初生 Mg_2Si 相尺寸增大,棱角钝化,造成合金力学性能下降。

2.4 断口分析

图7为Nd变质前后Al-20 Mg_2Si 合金的扫描断口形貌图。从图7a中可看出,未变质Al-20 Mg_2Si 合金的拉伸断口上存在较大的解理面与河流花样,是典型的解理脆性断裂特征。经过0.3%Nd变质处理后(图7b),解理面的面积减小,但合金断裂方式并未发生改变,仍为解理脆性断裂。

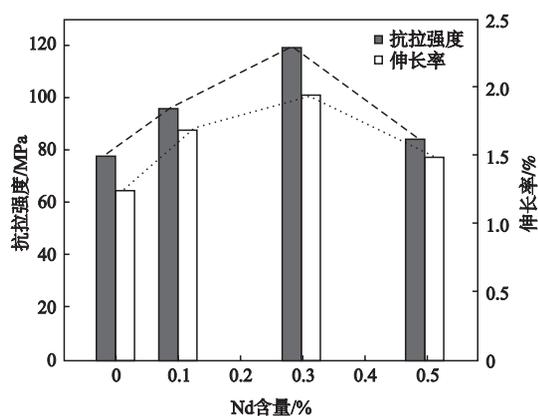


图6 不同Nd含量变质Al-20 Mg_2Si 合金的力学性能
Fig. 6 Mechanical properties of modified Al-20 Mg_2Si alloys with different Nd contents

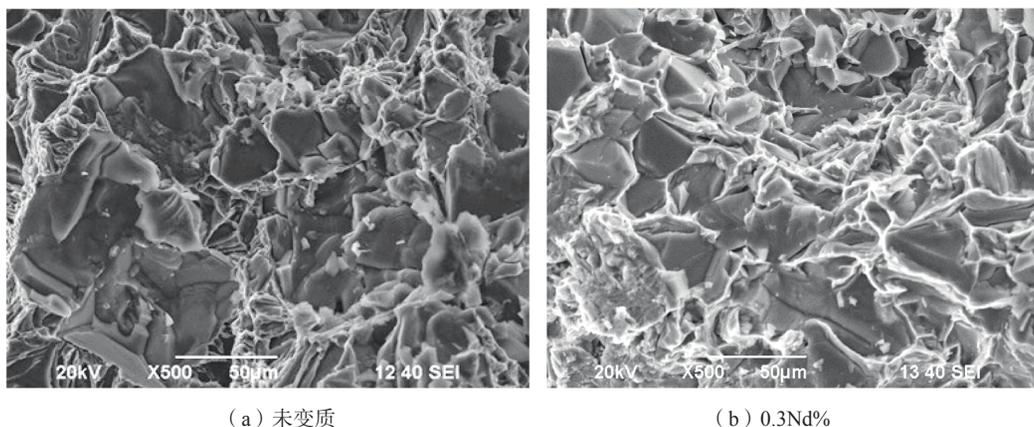


图7 Nd变质前后Al-20 Mg_2Si 合金的拉伸断口图

Fig. 7 Tensile fracture morphology of Al-20 Mg_2Si alloys before and after Nd modification

3 结论

(1) 随着Nd的量增加,初生 Mg_2Si 形貌由粗大汉字状向多边形转变。当Nd的量达到0.3wt%时,初生相尺寸由70 μm 减小到22.54 μm ;当达到0.5wt%时,出现过变质现象,初生和共晶 Mg_2Si 相尺寸增大。Nd变质处

理对共晶 Mg_2Si 形貌影响不大。

(2) 初生 Mg_2Si 相尺寸的减小和棱角的钝化使得合金抗拉强度由78 MPa提高至119 MPa,提升了52.6%,伸长率由1.25%提高至1.95%,提升了56%,合金断裂形式为解理脆性断裂。

参考文献:

- [1] 陈延伟, 刘佳琳, 赵亚鹏. 铸造铝合金在舰船装备应用中存在的问题及发展趋势 [J]. 铸造, 2020, 69 (4): 329-334.
- [2] 李航, 刘琦晖. 航空电子用Mg₂Si/Al复合材料的热处理 [J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36 (1): 66-69.
- [3] CHONG L, LIU X, WU Y. Refinement and modification performance of Al-P master alloy on primary Mg₂Si in Al-Mg-Si alloys [J]. Journal of Alloys & Compounds, 2008, 465 (1-2): 145-150.
- [4] TRUDONOSHYN O, PRACH O. Multistep nucleation and multi-modification effect of Sc in hypoeutectic Al-Mg-Si alloys [J]. Heliyon, 2019, 5 (2): e01202.
- [5] 毛文龙, 周海涛, 王顺成, 等. Sr变质对Al-Si-Mg合金的流动性、力学性能和导热系数的影响 [J]. 铸造, 2017, 66 (2): 122-126.
- [6] 李英民, 齐万利, 任玉艳, 等. CaCO₃对过共晶Al-Mg₂Si合金显微组织及力学性能的影响 [C]// 2010年中国铸造活动周论文集, 2010.
- [7] WU X F, ZHANG G G, WU F F. Microstructure and dry sliding wear behavior of cast Al-Mg₂Si in-situ metal matrix composite modified by Nd [J]. Rare Metals, 2013 (3): 74-79.
- [8] 王孝良, 武晓峰. Nd对Mg₂Si/Al复合材料干滑动摩擦磨损行为的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2013, 33 (4): 361-364.
- [9] 冯世鹏, 陈翌庆, 刘一, 等. Nd对Mg/Al-20Si液固复合铸造界面组织及性能的影响 [J]. 特种铸造及有色合金, 2018, 38 (7): 755-759.
- [10] 潘利文, 罗涛, 林覃贵, 等. 稀土铝合金最新研究进展 [J]. 轻合金加工技术, 2016, 44 (9): 12-16.
- [11] 李艳霞, 李忠磊, 王倩, 等. Al-Si-P中间合金对Al-25%Si合金变质细化机理研究 [J]. 铸造, 2020, 69 (1): 35-39.
- [12] 魏伯康, 林汉同, 刘俊明, 等. 稀土在过共晶Al-Si合金中的变质作用 [J]. 特种铸造及有色合金, 1993 (3): 6-9, 26.

Effect of Nd Modification on Microstructures and Mechanical Properties of Al-Mg₂Si Alloy

DU Yang¹, SUO Zhong-yuan², JIANG Feng², MOU Yue-min³

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, Jilin, China; 2. School of materials science and Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, Jilin, China; 3. Jilin Chemical Company Organic Synthesis Plant, Jilin 132022, Jilin, China)

Abstract:

The effect of Nd modification on the microstructure and mechanical properties of Al-20Mg₂Si alloy was studied. The results show that the morphologies of primary Mg₂Si changed from coarse Chinese characters to polygons when the amount of Nd was 0.3wt%. When the Nd content was 0.3wt%, the modification effect was the best, and the primary Mg₂Si phase was small and evenly distributed. The tensile strength of the alloy was 119 MPa, and the elongation was 1.95%. Compared with the unmodified alloy, the tensile strength and elongation were increased by 52.6% and 56%, respectively. When the addition amount of Nd reached 0.5wt%, the primary Mg₂Si coarsened again and appeared over-metamorphism, which results in the decrease of the mechanical properties. The Nd modification had little effect on the morphology of eutectic Mg₂Si.

Key words:

Al-20Mg₂Si aluminum alloy; primary Mg₂Si; Nd modification; mechanical properties