

[文章编号] 1004-0609(2001)S2-0107-03

# 提高 6063 铝合金强度途径的探讨<sup>①</sup>

钟建华, 饶 克, 付群强, 张建新

(南方冶金学院 材料科学与工程系, 赣州 341000)

**[摘要]** 研究了稀土、超量硅、Al-Ti-B、稀土添加剂以及风淬与水淬对 6063 铝合金强度的影响, 并从理论上阐明了材料的内部结构变化。研究表明, 稀土及 Al-Ti-B 的含量和稀土添加剂的加入以及热处理方式对其强度均有影响。对实验结果进行了分析与讨论, 并在此基础上找到了提高其强度的方法与途径。

**[关键词]** 6063 铝合金; 稀土; Al-Ti-B; 提高强度

**[中图分类号]** TG 166.3

**[文献标识码]** A

6063 铝合金具有良好的热塑性, 优良的耐蚀性及理想的加工性能, 且易氧化着色, 从而被广泛用于建筑等行业。但 6063 铝合金熔铸时常出现粗大的粒状晶、羽毛组织、析出相物, 并在凝固时易出现铸造裂纹, 严重影响了合金的质量, 即使通过均匀化处理后, 还是有少量的粒状晶, 且晶粒粗大, 从而最终影响了合金的力学性能。

在 6063 铝合金中加入稀土及铝钛硼等添加剂, 可使其铸造组织得到改善, 晶粒得到细化, 夹杂数量、粒状晶明显减少<sup>[1]</sup>。经均匀化热处理, 基本上无粒状晶和析出物, 使组织性能更加优化, 最终达到提高铝合金强度的目的。

## 1 实验方法

采用纯铝锭、纯镁、铝硅中间合金、稀土铝中间合金和 Al-Ti-B 中间合金, 以及相关添加剂配置 6063 铝合金。在功率为 7.5 kW 的电阻炉中用石墨坩埚熔炼, 温度达 720 °C 时加入稀土等添加剂, 精炼后保温, 用铁模浇铸成 d82 mm 的圆锭, 然后在 560 °C 进行 6 h 均匀化处理。用 300 t 油压机进行挤压成 40 mm × 10 mm 的铝板, 挤压时采用风淬和水淬两种方式, 并在 8 h 内进行时效。铸态状和均匀化处理后, 用金相显微镜观测其组织结构, 挤压样用万能材料试验机测定其力学性能。

## 2 结果与分析

### 2.1 稀土的影响

稀土的加入能够从不同程度上改善 6063 铝合金的组织性能, 这是因为稀土的存在能减少杂质的含量, 有效地控制了粒状物的析出, 而且能与晶体内部的缺陷交互作用, 加强了合金化程度<sup>[2~5]</sup>。但并不是稀土的加入量越多越好, 就 6063 铝合金而言, 存在其特有的最佳作用范围。

铝合金的夹杂物主要是  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等非金属夹杂, 其存在不仅使合金的加工性能和力学性能下降, 而且铸造组织, 也不同程度变化。实验表明, 稀土的加入能使金属夹杂物明显降低, 尺寸也有所减少。稀土的除杂机理表现为两点: 一是稀土的比重大, 夹杂物易于除去; 二是稀土加入铝合金溶体后, 铝液平衡带来的二次氧化数量极小。

稀土对铸态组织有细化作用, 但其含量不同, 作用机理是不同的。研究表明, 当稀土的含量小于 0.1% 时, 尽管稀土的加入可明显减少晶粒尺寸, 却粗化了枝晶组织, 因而反而产生有害的作用。实际上, 只要当稀土含量大于某一临界值后, 稀土才会在细化晶粒的同时细化枝晶组织, 该临界值为 0.2%, 但当稀土含量大于 0.4% 时, 效果反而降低, 就 6063 铝合金而言, 最佳加入量在 0.2%~0.25% 之间(见表 1)。

### 2.2 超量硅的影响

Al-Mg-Si 系的铝合金强化相为  $\text{Mg}_2\text{Si}$ , 其镁硅比为 1.73, 但实际上不可能使二者之比达到理想状态, 总有过量的镁或硅存在。镁的过量将降低  $\text{Mg}_2\text{Si}$  在基体中的固溶度, 从而恶化 6063 铝合金的时效性能, 而 Si 的过量几乎不影响  $\text{Mg}_2\text{Si}$  的溶

① [收稿日期] 2001-08-07; [修订日期] 2001-09-03

[作者简介] 钟建华(1956-), 男, 副教授。

表 1 不同的稀土含量对组织性能影响

**Table 1** Effect of different RE components on tissues properties

w (RE) / %	Initial length/mm	Tensile elongation/mm	$\delta$ / %	Tensile strength/MPa
0.10	140	159.98	14.20	166.99
0.22	140	162.50	16.07	185.02
0.50	140	160.01	14.28	157.72

解度,且一定量的过剩硅对稳定合金的力学性能有利,但是当同时加入稀土时,硅的作用机理随其过剩量的多少存在着明显的差别。研究表明,在硅过量0.06%时,合金的抗拉强度由于适量稀土的加入而有较大的提高,延伸率却只有少量的降低;而当硅过量0.2%时,加入稀土时,合金的抗拉强度反而降低。

进一步分析可知,上述现象是由于过量的硅与稀土的相互作用造成的。当硅过剩0.06%时,稀土与其作用对合金的强化相影响不大,相反,稀土强化效果更为突出;而当硅过剩达到0.2%时,硅是合金中的重要强化相,稀土与硅的作用生成了中间成分Al<sub>2</sub>RESi,降低了铝基体中硅的固溶度,从而中和了强化元素的有效浓度,同时稀土也有大量损耗,再也起不到改善组织的作用,只是充当了硅的反应剂,致使合金强度明显下降(见表2)。

表 2 硅过剩量及稀土含量对组织性能影响

**Table 2** Effect of RE amount and Si surplus on tissues properties

w (RE) / %	Si surplus / %	Initial length/mm	Tensile elongation/mm	$\delta$ / %	Tensile strength/MPa
0	0.06	140	163.00	16.43	170.85
0	0.2	140	161.87	15.62	170.14
0.2	0.06	140	159.10	13.64	185.13
0.2	0.2	140	162.09	15.78	158.72

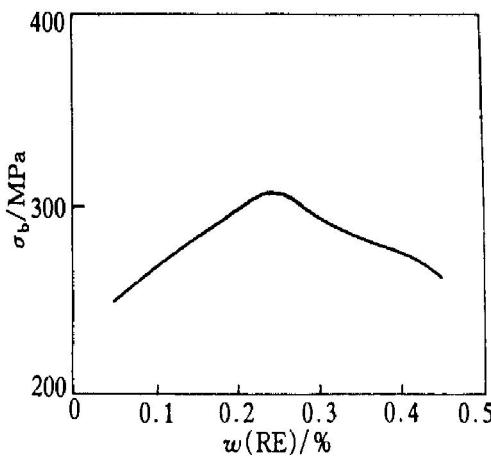
### 2.3 Al-Ti-B的影响

Al-Ti-B对6063铝合金的力学性能有一定的影响,但不如稀土显著,Al-Ti-B的加入使合金的综合平均强度比原来提高7%左右,其延伸率略有下降。X射线分析表明,其强度的提高与Al-Ti-B对晶粒的强烈细化作用有关,因为细晶组织,能促进合金的析出过程,有利于提高合金的强度。研究表明,加入了Al-Ti-B的6063铝合金中,有Si, Mg<sub>2</sub>Si, Al<sub>3</sub>Ti和TiB主要相,其中Al<sub>3</sub>Ti和TiB为弥散质点,在回复与再结晶过程中,可作为结晶核心,其结晶比铝固溶体晶粒早,由于尺寸细小,而又弥散

分布,因此合金的强度有所提高。

### 2.4 稀土与添加剂的影响

在含有一定量稀土的6063铝合金基体中,加入适当比例的添加剂,能使合金强度明显提高。在含有适当比例的添加剂铝合金溶体中,加入的稀土量低于0.1%时,对其强度影响不大;当稀土含量达到0.2%左右时,合金强度显著增加,平均增加量20%左右;但稀土的加入量超过0.3%后,对强度的提高反而不太显著,如图1所示。

图 1  $\sigma_b - w (\text{RE}) / \%$  变化曲线图**Fig. 1**  $\sigma_b - w (\text{RE}) / \%$  curve

仔细分析上述曲线可知,当稀土含量较少时(低于0.1%),合金的强化作用主要是添加剂的细化影响;当稀土含量达到0.2%时,添加剂与稀土的混合影响使合金强度剧烈增加;当稀土含量渐增超过0.3%时,稀土开始起负面影响,甚至从反方向影响添加剂的强化作用,究其原因是过量的稀土与合金中的强化相的交互作用,导致形核率下降,最终组织中晶粒粗大造成的,所以强度就有所下降。

### 2.5 风淬与水淬的比较

实验采用风淬与水淬。风淬时,由于冷却缓慢,在不同时间,不同温度,析出的Mg<sub>2</sub>Si粒度不尽相同,有时由于冷却措施不完善,可能析出粗大晶粒的强化相,存在于最终组织内,从而使基体内的Mg<sub>2</sub>Si贫乏,材料平均力学性能降低,尤其是夏季气温较高,生产较厚型材时,更应注意冷却速度。水淬时,制品的抗拉强度明显大于风淬,能使最终强度提高10%左右。这是因为水淬对制品的冷却强度大,固溶强化相溶于铝固溶体中,来不及分

解, 得到过饱和的固溶体, 所以强化效果优于风淬。

### 3 结论

1) 稀土的加入对6063铝合金的铸态组织具有改善作用, 最佳作用范围在0.2%~0.24%之间, 过量加入稀土会降低合金强度。

2) 超量的硅有利于6063铝合金的机械性能, 但同时加入稀土时, 过量的硅的存在可能是影响强度的不利因素。

3) AFTrB的加入有细化晶粒的作用, 对6063铝合金的机械性能有一定提高。

4) 适当比例的稀土与添加剂能明显提高6063铝合金的强度。

5) 水淬能提高合金强度和硬度, 效果明显优

于风淬。

### [ REFERENCES ]

- [1] YAO Shufang(姚书芳). 铸造铝硅合金细化变质处理的研究进展 [J]. Cast(铸造), 2000(9): 512~515.
- [2] Reynolds A P. Microstructural development of Zn-40Al alloy during aging [J]. Master Sci Eng A, 2000(112): 265~279.
- [3] CHEN Kang-hua(陈康华). 强化固溶对Al-Zn-Mg合金力学性能和断裂行为的影响 [J]. Acta Metall Sin(金属学报), 2001(1): 29~33.
- [4] Marchive D. High extrudability alloys in the boo series [J]. Light Metal Age, 1983(3~4): 6~10.
- [5] LU Huayi(鲁化一), TANG Ding-xiang(唐定壤). 铝稀土合金的制取和应用 [J]. Rare Earth(稀土), 1987(1): 50~52.

## Discussion of improving 6063 aluminum alloy intension

ZHONG Jianhua, RAO Ke, FU Qunqiang, ZHANG Jianxin

(Department of Materials Science and Engineering, Southern Institute of Metallurgy,  
Ganzhou 341000, P. R. China)

**[Abstract]** The factors of thulium, excessive silicon, AFTrB, thulium additive and quench with wind and with water, which influence the intension of 6063 aluminum alloy, were investigated. The change of the inner structure were illustrated in theory. The results show that the amount of thulium and AFTrB and thulium additive and the way of heat treatment have influence on intension.

**[Key words]** 6063 aluminum alloy; thulium; AFTrB; improving intension

(编辑 吴家泉)