

4004 铝合金使用不同变质剂变质效果对比研究

殷云霞

(东北轻合金有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150060)

[摘要] 本文介绍了 Na 变质和 Sr 变质对 4004 合金性能的影响, 两种变质工艺生产的 4004 合金扁锭无论成分、组织、性能差异均不大, 但 Na 变质对设备影响较大, 而 Sr 变质成本较高, 就质量而言, 使用 Sr 变质工艺更为合理。

[关键词] 变质剂; 熔铸; 4004 合金; 生产工艺

[中图分类号] TF821 [文献标志码] B [文章编号] 1003-8884(2021)01-0047-04

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.01.011

1 前言

4004 合金是 Al-Si 系合金中硅含量较高的铝合金, 具有密度小、热膨胀系数低、体积稳定性好、熔点低、耐磨性能和高温性能好等特点^[1], 作为 434 复合铝带箔的包覆层, 广泛应用于汽车、空调机、制氧机等散热器的制造。

由于 4004 合金中 Si 含量较高, Si 相呈粗大的片状或针状, 对基体产生严重的割裂作用, 降低了铸

锭成型率, 通常采用变质的方法改善 4004 合金的组织性能, 变质剂一般使用 Na 盐或 Al-Sr 中间合金, 本试验针对变质剂的加入量、加入时机以及变质效果进行研究, 从而得到优质铸锭。

2 试验过程

2.1 合金成分

4004 合金化学成分如下, 如表 1 所示。

表 1 4004 合金化学成分

合金	标准	合金成分, 质量分数/%									其它杂质		Al
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	单个	合计	
4004	国标	9.0~10.5	0.8	0.25	0.10	1.0~2.0	0.05	0.05	0.20	0.10	0.05	0.15	余量

4004 合金中各个元素对合金的性能影响如下:

Si 和 Mg 的作用: Si 含量控制在共晶含量范围内时熔体流动性好, 铸造性能好。Si 在合金中与基体形成 $\alpha + \text{Si}$ 共晶体, 提高了合金强度和耐磨性, 共晶体的尺寸越细小、均匀, 对强度和耐磨性的贡献越大; 硅和镁能形成 Mg_2Si 相, 提高合金强度。

2.2 生产工艺

2.2.1 工艺流程

配料→熔化及调整成分→精炼、静置、变质→铸造→机加→取样→分析。

2.2.2 配料

新铝用量大于 50%, Si 以 Al-Si 中间合金的形式加入, Mg 以纯金属的形式加入。

2.2.3 熔炼

熔炼温度 740~800 °C, 在熔炼温度范围内进行炉前取样分析化学成分, 化学成分合格后, 电炉精炼时间不少于 10 min, 然后将熔体导至静置炉。

2.2.4 铸造

熔体导到静置炉后, Ar 气精炼不少于 15 min, 静置时间不少于 15 min, 然后进行变质工艺;

方案一 Na 变质工艺: Na 变质剂的加入量为投料量的 0.4%~0.8%, 然后在不低于 740 °C 的温度下将 Na 变质剂加入熔体中, 充分搅拌均匀, 变质后不扒渣, 静置 10 min 后铸造, 铸造过程走在线净化除气装置, 并使用 40ppi 陶瓷片进行过滤。

[收稿日期] 2020-06-02

[作者简介] 殷云霞(1982-), 山东宁阳人, 高级工程师, 大学本科, 主要从事铝合金熔铸工艺研究工作, 现任东北轻合金有限责任公司熔铸厂区域工程师。

方案二 Sr 变质工艺: Sr 的加入量一般为投料量的 0.01% ~ 0.03%, 铝液温度达到 740 °C, 扒净熔体表面浮渣后, 加入 Al-Sr 合金, 充分搅拌并扒出表

面浮渣后静置 30 min, 静置后铸造, 铸造过程走在线净化除气装置, 并使用 40ppi 陶瓷片进行过滤。

两种变质方式的铸造工艺参数, 如表 2 所示。

表 2 4004 合金主要铸造工艺参数

规格/mm ²	铸造速度/mm·min ⁻¹	铸造温度/°C	冷却水压/MPa	铺底	回火
420 × 1 450	45 ~ 55	680 ~ 720	0.03 ~ 0.10	+	-

注: “+”表示铺底;“-”表示不回火。

3 检测项目

两种工艺生产的 4004 铝合金 420 mm × 1 450 mm 铸锭底部各锯切一片厚 20 ~ 30 mm 的试片, 对其化学成分、低倍组织、高倍组织和力学性能进行分析。

3.1 低倍组织

经低倍组织检查, 两种变质方式生产的 4004 铸锭无疏松、缩孔、气泡、裂纹、低倍夹杂等宏观缺陷。

3.2 高倍组织

两种工艺生产的 4004 合金试片显微组织, 如表 3 所示。

对两种工艺生产铸锭切取的试片做高倍组织检查, 发现 Na 变质工艺长边位置初晶硅尺寸 0.01 mm; Sr 变质工艺无初晶硅, 但均符合标准要求。

从表 3 可以看出: 两种工艺生产的铸锭共晶硅形态细小、弥散, 心部共晶硅形态相对边部粗大。从铸锭中心到边部枝晶间距逐渐变小, 枝晶臂逐渐变厚, 符合结晶规律^[2]。

3.3 化学成分分析

两种工艺试片成分均匀性分析, 具体分析结果如表 4 所示。

通过表 4 可以看出, Sr 变质生产的 4004 合金化学成分偏差较 Na 变质的化学成分偏差小, 但两种变质方式生产的 4004 合金扁铸锭主要元素均在国标范围内。

3.4 力学性能

两种变质方式生产的扁铸锭力学性能检测结果, 如图 1、2、3 所示, 图中可以看出, 两种工艺生产的铸锭, 从中心到边部各项力学性能指标趋势相同, 总体相差不大。

4 分析与讨论

4.1 Na 盐变质剂的特点

在熔体中加入 Na 盐变质剂后, Na 原子能吸附

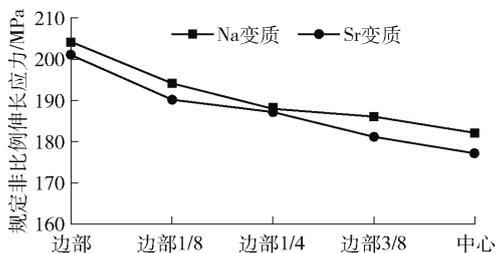


图 1 4004 合金规定非比例伸长应力

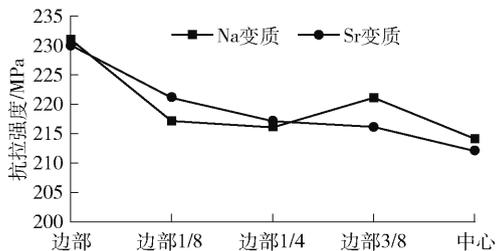


图 2 4004 合金抗拉强度

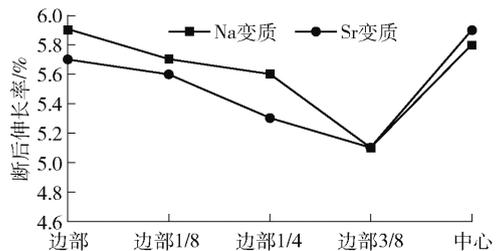
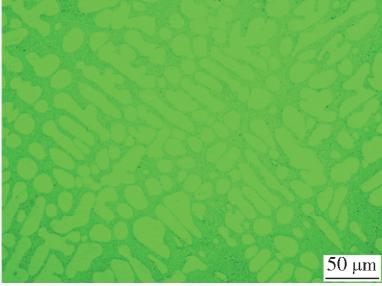
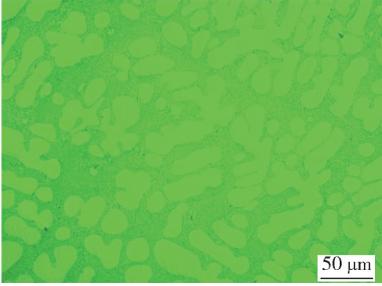
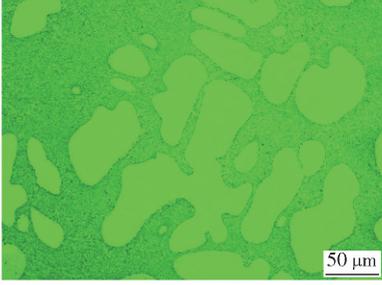
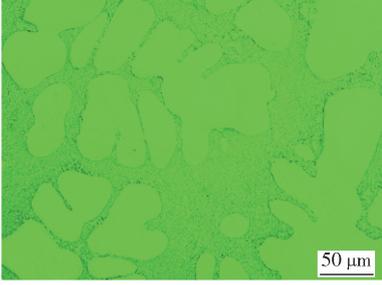
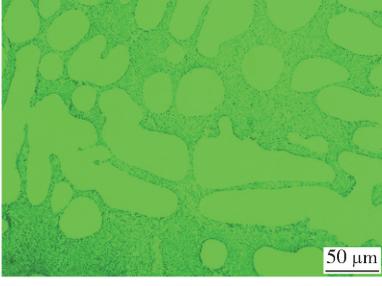
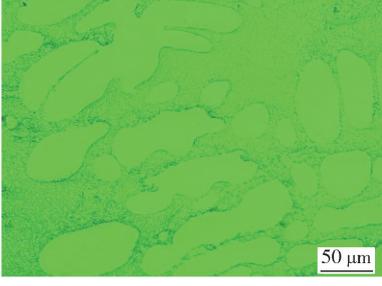
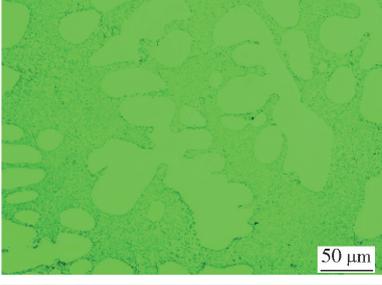
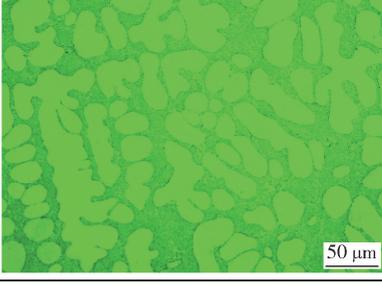
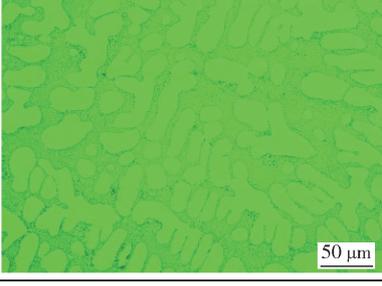


图 3 4004 合金断后伸长率

在共晶硅晶核的表面, 抑制共晶硅的生长。变质后粗大针片状的共晶硅被细化成球粒状或珊瑚状, 弥散地分布在合金中, 使得合金有良好的力学性能和机械加工性能, 但是 Na 盐变质还存在很多不足。

(1) 气孔、疏松、夹渣倾向大: 熔体中引入 Na 盐后, 改变了二元 Al-Si 合金相图, 共晶温度降低, 共晶成分硅含量增加, 因此合金结晶温度范围变宽。从而增加了熔体的粘度, 不利于熔体中气泡的上浮, 使气孔、夹渣缺陷增大。还会降低了熔体的补缩性

表 3 两种工艺 4004 合金不同位置的显微组织

试样位置	Na变质	Sr变质
宽边		
宽1/4		
中心		
厚1/4		
厚边		

能,易产生疏松缺陷;

(2)Na 含量不易控制,钠盐变质剂在生产中易残留,容易造成变质不足或过变质。变质不足时共晶硅不能得到充分的细化,降低了合金的力学性能;

过变质时晶界易出现粗大块状共晶硅,降低了合金的力学性能;

(3)Na 盐变质剂易发生衰退,若铸造时间过长,后凝固的铸锭组织中可能存在初晶硅缺陷,给合

表 4 4004 合金各试样主要元素化学成分

试样位置	Na 变质		Sr 变质	
	Si/%	Mg/%	Si/%	Mg/%
厚边	9.77	1.44	9.84	1.34
厚 1/4	9.70	1.39	9.68	1.27
中心	9.54	1.30	9.61	1.26
宽 1/4	9.98	1.40	9.80	1.28
宽边	9.74	1.39	9.97	1.30
最大偏差	0.44	0.14	0.36	0.06

金性能造成不利影响;

(4) Na 盐变质后的炉子有 Na 残余,生产其它合金制品时会产生不利影响;熔体粘度大,易产生拉裂倾向;转炉生产高镁合金时由于 Na 的残余使合金变脆,易产生裂纹倾向;

(5) 钠变质对设备腐蚀十分严重,变质处理时还会产生大量有毒气体,影响操作人员身体健康。

4.2 Al-Sr 中间合金变质剂的特点

Al-Sr 中间合金变质剂加入熔体后会分解出 Sr 原子, Sr 原子吸附在硅晶核的表面抑制其生长,从而达到细化共晶组织的作用。相对于 Na 盐变质剂而言, Al-Sr 中间合金变质剂具有如下特点:

(1) 气孔、疏松倾向:熔体中引入变质元素 Sr 也会使共晶温度降低,从而降低熔体的流动性,降低气

泡的上浮速度和熔体的补缩能力,易产生气孔、疏松等缺陷;

(2) Sr 的含量易于控制,不会出现变质不足或过变质的现象;

(3) Sr 具有长效性,在覆盖良好的情况下不易产生衰退,保证长时间铸造时铸态组织中不产生初晶硅缺陷;

(4) 对后续合金制品的影响小,而且无毒,不污染环境;

(5) 价格昂贵。

5 结论

两种工艺通过对比试验,可以得出以下结论:

(1) 两种变质工艺生产 4004 合金扁锭从低倍、高倍、化学成分及性能上差异不大;

(2) Na 变质时 Na 含量不易控制,而且对设备腐蚀严重,一定程度降低了生产效率,同时加大了能耗,提升了生产成本;

(3) Sr 变质工艺孕育时间较长,且 Al-Sr 中间合金价格昂贵,烧损较大,生产成本低。

(4) 就合金质量而言,建议使用 Sr 变质。

[参考文献]

- [1] 谢水生,刘静安,徐骏,等. 简明铝合金加工手册[M]. 北京:冶金工业出版社,2016.
- [2] 殷云霞,黄岩超,姜德俊,等. 不同 Al-Si 原料对合金铸锭质量影响研究[J]. 有色设备,2014(5):40-44.

Comparative Study on Modification Effect of 4004 Aluminum Alloy with Different Modifiers

YIN Yun-xia

Abstract: The effects of Na modification and Sr modification on the properties of 4004 alloy are introduced. The difference in composition, microstructure and properties of 4004 alloy ingots produced by the two modification technologies is not significant. However, Na modification has a great impact on equipment, while Sr modification costs a lot. In terms of quality, it is more reasonable to use Sr modification technology.

Key words: Modification agent; Melting casting; 4004 alloy; production process

▲