

工业纯铝及 Al-Zr 耐热铝合金硼化处理技术研究

杨 欣 石春飞 石永杰 郭有军
(包头铝业有限公司)

摘 要 研究了 B 化处理对工业纯铝的杂质元素含量与电导率的影响及其对 Al-Zr 耐热铝合金 Zr、Ti、V 含量的影响。结果发现, B 可以和铝熔体中的过渡族元素发生反应, 且 Zr 比 Ti、V 优先与 B 发生反应, 反应后减少铝熔体中过渡族元素含量, 从而提高纯铝电导率; B 添加量为 Ti、V 元素含量总和的 1~1.5 倍时 B 化处理效果最佳。在制备 Al-Zr 耐热铝合金时, 为防止 Zr 和 B 发生反应, 流程上应在硼化处理结束后将熔体转移到其他容器中添加 Zr。

关键词 B 化处理; 工业纯铝; Al-Zr 耐热铝合金; 电导率

中图分类号 TG146.21 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.07.031 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):** 

Boronizing Treatment Technology of Industrial Pure Aluminum and Al-Zr Heat-resistant Aluminum Alloy

Yang Xin, Shi Chunfei, Shi Yongjie, Guo Youjun
(Baotou Aluminum Co., Ltd.)

Abstract: The effects of boronizing treatment on impurity element content and electric conductivity of industrial pure aluminum as well as Zr, Ti and V content of Al-Zr heat-resistant aluminum alloy were investigated. The results indicate that boron can react with transition group elements in aluminum melt, and Zr prefers to react with boron than Ti and V. After that, the content of transition group elements in the aluminum melt is reduced, thereby improving the electric conductivity. The boronizing treatment effect reaches desirable as the boron addition is 1~1.5 times of the sum of Ti and V elements. During the preparation of Al-Zr heat-resistant aluminum alloy, the melt should be transferred to other vessels to add Zr after the boronizing treatment in order to prevent reaction of Zr and B.

Key Words: Boronizing Treatment, Industrial Pure Aluminum, Al-Zr Heat-resistant Aluminum Alloy, Conductivity

收稿日期:2022-09-22;**修改稿收到日期:**2022-10-25
第一作者简介:杨欣,男,1971 年出生,工程师,内蒙古包头(014046),E-mail:1511815497@qq.com
通信作者:石春飞,男,1996 年出生,助理工程师,内蒙古包头(014046),E-mail:2856523616@qq.com
引用格式:杨欣,石春飞,石永杰,等.工业纯铝及 Al-Zr 耐热铝合金硼化处理技术研究[J].特种铸造及有色合金,2023,43(7):1 006-1 008.
YANG X, SHI C F, SHI Y J, et al. Boronizing treatment technology of industrial pure aluminum and Al-Zr heat-resistant aluminum alloy [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(7):1 006-1 008.

参 考 文 献

[1] 范子杰,桂良进,苏瑞意.汽车轻量化技术的研究与进展[J].汽车安全与节能学报,2014,5(1):1-16.

[2] 李龙,夏承东,宋友宝,等.铝合金在新能源汽车工业的应用现状及展望[J].轻合金加工技术,2017,45(9):18-25,33.

[3] 潘斯宁,黄传刚,杨双华,等.发动机轻量化技术研究[J].汽车工艺与材料,2013(5):58-61.

[4] 李加旺,田身军,李德银,等.集成排气歧管缸盖的设计与优化[J].内燃机与动力装置,2019,36(1):51-57.

[5] 王磊,祖炳烽,王振,等.集成排气歧管对汽油机动力性能影响的研究[J].内燃机工程,2019,40(6):30-35.

[6] 李修都,王乘波,许林光,等.某型发动机气缸盖集成排气歧管设计及分析[J].农业装备与车辆工程,2018,56(1):73-77.

[7] 周大权,胡景彦,郑晓峰,等.缸盖集成排气的设计开发及试验验证[J].汽车零部件,2019(6):34-44.

[8] 蔡启舟,骆海贺,魏伯康,等.铝合金缸盖铸造缺陷分析及对策[J].特种铸造及有色合金,2007(S1):70-72.

[9] 严青松,余欢,魏伯康,等.汽车铝合金缸盖铸件缺陷分析及控制[J].失效分析与预防,2009,4(1):30-34.

[10] 杨柯,夏承睿,吴勤,等.重力倾转铸造汽油机铝合金气缸盖缩松缺陷改进方案[J].特种铸造及有色合金,2020,40(11):1 283-1 285.

[11] 赵葵,何德道.冷铁在铝合金缸盖铸造工艺中的应用[J].特种铸造及有色合金,2017,37(3):338-339.

[12] 刘骥,杜航,徐海登,等.基于数值模拟的铝合金缸盖砂芯发气预测及工艺优化[J].特种铸造及有色合金,2019,39(12):1 301-1 304.

[13] 王健,王奕钦,罗世君.某低压铸造铝合金缸盖缺陷的分析[J].装备制造技术,2021(12):165-168,172.

[14] 赵葵,管文浩,刘志红,等.基于 AnyCasting 的铝合金缸盖数值模拟及工艺优化[J].铸造工程,2015,39(3):30-33.

[15] 陈小文,王建荣,史卫琪.气缸盖铸造缺陷及防止方法[J].铸造工程,2021,45(6):55-57.

[16] 刘永跃,钱辉,胡宪兵,等.一种铝缸盖重力铸造过程中“冒泡”问题的分析[J].特种铸造及有色合金,2010,30(7):680-681.

(编辑:栗万仲)

对于导电用铝合金,通常会在纯铝中加入微量合金元素,以改善其性能,添加量一般不超过1.0%,常用的合金元素有 Cu、Mg、Fe、B 和 Zr 等元素。刘静等^[1]通过试验研究了强化类、变质类和过渡族 3 类共 21 种微量合金元素对工业纯铝电导率的影响,发现不同元素对纯铝的电导率影响程度各不相同,其中,Zn、B 等强化类、变质类元素影响程度最小,而过渡族元素 Ti、V、Sc、Zr 等影响程度最大。HATCH J E^[2]总结了常见杂质元素在铝中的固溶度和不同状态下增加杂质元素后引起的电阻率变化,发现对铝的电阻率影响较大的元素主要有 Ti、V,而 Zn、Ni、Si 的影响则相对较小,因此生产导体材料时需要控制 Ti、V 含量。

硼化处理^[3]是提高工业纯铝电导率的有效途径,因为 B 能与 Ti、V 等杂质元素反应形成不溶解的硼化物以沉淀形式析出,沉积于熔体底部,减少铝液中的杂质元素含量,从而改善铝导体材料的导电性。张强等^[4]研究了硼化处理对导电铝合金中 Ti、V 含量和性能的影响,发现通过硼化处理可以降低 Ti、V 含量,添加适当 B 可以使 Ti、V 含量总和降低至 0.002% 以下,提高电导率,且硼化处理后静置 1 h 铸造效果较好。秦颐鸣等^[5]通过相图计算,发现硼化处理后,熔体降温过程中优先析出钛硼化合物,之后析出钒硼化合物。李丰庆^[6]研究硼化处理对不同杂质元素的铝基体电阻率的影响,发现硼化处理后含 Fe、Cr、Ti 的铝合金的电阻率降低,而含 Si、Mn 的铝合金的电阻率变化不明显。为深入了解硼化处理对电工原铝和 Al-Zr 耐热铝合金的影响,研究了硼化处理对工业纯铝 Ti、V 杂质元素含量和电导率的影响,以及硼化处理对 Al-Zr 耐热铝合金中 Zr、Ti、V 含量的影响,旨在为其应用提供参考。

1 试验过程

1.1 试验材料

试验所用材料为工业纯铝、Al-3B 和 Al-10Zr 中间合金,工业纯铝的化学成分见表 1。

表 1 试验用工业纯铝的化学成分

Tab.1 Chemical composition of industrial pure aluminum %						
w _B						
Si	Fe	Ti	V	Zr	B	Al
0.057	0.098	0.003 2	0.005 2	0.000 6	0.000 2	余量

1.2 试验方法

试验分两组进行,第 1 组为工业纯铝硼化处理试验,第 2 组为工业纯铝硼化处理后添加 Zr 铸造 Al-Zr 耐热铝合金试验。

试验流程:加入原铝锭→加热熔化→添加 Al-3B 硼化处理→取样分析杂质元素成分→添加 Al-10Zr 中间

合金(仅第 2 组)→精炼→除气→扒渣→取样分析杂质元素成分→保温静置→浇注。

使用设备与仪器包括 3 t 铝合金熔炼保温炉;260×1200 水平铸造机;M12 型直读光谱仪;SIGMATEST 2.069 便携式电导率测量仪。

2 硼化处理对工业纯铝中杂质元素含量和电导率的影响

B 添加量不同时,铸锭中 Ti、V 含量总和以及 B 在铸锭中的残留量见表 2。图 1 和图 2 为不同 B 添加量与铸锭电导率和 B 元素残留量与杂质元素含量总和的变化关系曲线。

表 2 不同 B 添加量下铸锭内 V、Ti 杂质元素含量
Tab.2 Contents of impurity elements V and Ti in ingot with different B additions

w _B / %						电导率 / (MS · m)
B (添加量)	Ti	V	B (残留量)	Ti、V (总和)	B、Ti、V (总和)	
0	0.003 8	0.005 2	0.003 1	0.009 0	0.012 1	35.17
0.005	0.002 2	0.002 3	0.004 2	0.004 5	0.008 7	35.45
0.010	0.001 3	0.001 1	0.006 5	0.002 4	0.008 9	35.77
0.015	0.001 1	0.000 8	0.009 8	0.001 9	0.011 7	35.85
0.020	0.000 9	0.000 7	0.015 2	0.001 6	0.016 8	35.54
0.025	0.0008	0.000 7	0.018 6	0.001 5	0.020 1	35.32

由表 2 和图 1 可以看出,在铝液中加入 0.005%~0.01% 的 B 后,铸锭中 Ti、V 含量均有所降低;当 B 添加量超过 0.015% 时,继续提高 B 添加量,Ti、V 含量减少的幅度减小,Ti、V 含量总和变化不大,而 B 残留量随 B 添加量的增加而大幅增加,此时 Ti、V 含量下降约 70% 和 80%。由此可以证明,B 化处理可以降低铝液中 Ti 和 V 含量。从图 1 可以看出,B 添加量为 0.01%~0.015% 时,Ti、V 含量总和降低到 0.002% 左右,同时在铸锭中能够保持较低的 B 残留量。

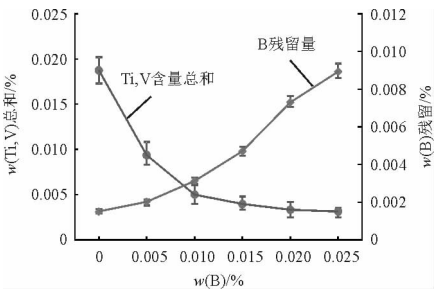


图 1 B 添加量与 Ti、V 含量总和以及 B 残留量的变化曲线

Fig.1 Variation curves of the sum of Ti and V contents and B residue amounts with B addition

由图 2 可以看出,随着 B 添加量增加,铸锭的电导率先增大后减小,在 B 添加量为 0.015% 时电导率达到最大值;随着 B 添加量增加,B、Ti、V 含量总和呈先减

小后增大的变化。随着 B 添加量增加,铸锭电导率和 B、Ti、V 含量总和呈现相反的变化趋势。其原因是 B 添加量不足 0.01% 时,随着 B 添加量增加,硼化处理能够与铸锭中的 Ti、V 形成硼化物沉至炉底,因此铸锭的电导率增加;当 B 添加量超过 0.01% 时,与 B 发生反应的 Ti、V 大幅减少,因而合金铸锭中 B 残留量不断增加,反而使得铸锭的电导率下降。因此,针对本试验工业纯铝进行硼化处理时,B 添加量的理想范围应为 0.010%~0.015%,即 B 添加量为 Ti、V 总量的 1.0~1.5 倍。

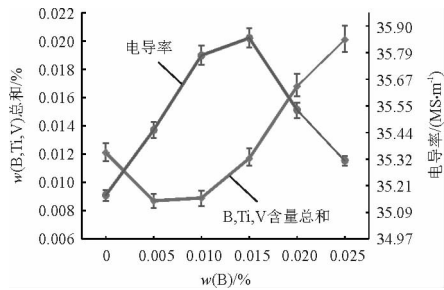


图 2 B 添加量与合金电导率和杂质元素含量总和的变化关系曲线

Fig.2 Relationship between B addition and conductivity of the alloy or the sum of impurity element content

3 B 化处理对 Al-Zr 耐热铝合金 Zr、Ti、V 含量的影响

对于 Al-Zr 耐热铝合金来说,Zr 能极大提高材料的高温稳定性。这是因为 Zr 会促进铝基体中 Al₃Zr 相弥散析出,从而提高组织的高温稳定性。在第 2 组试验中,将工业纯铝熔化后进行 B 化处理,取样检测成分,结果见表 3,向 B 化处理的铝熔体中添加 Zr 静置后浇注成铸锭,检测铸锭中 Zr、B 含量,结果见表 4。对比表 3 和表 4 可以看出,B 化处理后添加 Zr,铸锭 Zr 含量比添加量大幅降低,同时 B 残留量也大幅降低,但 Ti、V 含量大幅提高,说明 Zr 可以与熔体沉淀的金属硼化物发生反应,并优先与 B 发生反应。结果表明,对于 Al-Zr 耐热铝合金来说,在同一熔体中硼化处理后加 Zr,容易发生反应,进而降低铸锭耐热性能和电导率。因此,在制备 Al-Zr 耐热铝合金时,应在硼化处理结束后将熔体转移到其他容器中添加 Zr,流程上可以增加转炉操

表 3 硼化处理后铸锭的化学成分

Tab.3 Chemical composition of ingot after boronizing					
w(B) 添加量	treatment				
	%				
	Ti	V	Zr	B	Al
0.02	0.001 1	0.000 8	0.000 6	0.016 1	余量
0.03	0.000 7	0.000 6	0.000 5	0.022 7	余量

表 4 硼化处理后铸锭中 Zr、B、Ti 和 V 含量

Tab.4 Content of Zr、B、Ti and V in ingot after boronizing

treatment						%
B 添 加量	Zr 添 加量	w _B				Zr 损 失量
		Zr	Ti	V	B	
0.02	0.1	0.009 8	0.003 1	0.004 4	0.002 6	0.090 2
0.02	0.15	0.039 4	0.003 2	0.004 5	0.002 4	0.110 6
0.02	0.2	0.101 4	0.003 3	0.004 5	0.002 3	0.098 6
0.02	0.25	0.156 7	0.003 3	0.004 6	0.002 2	0.093 3
0.03	0.15	0.028 5	0.003 3	0.004 5	0.002 4	0.121 5

作,在另一个炉中添加 Zr,也可以在流槽中添加 Al-Zr 线杆。

4 结 论

(1)在铝熔体中,B 可以和过渡族元素发生反应,且 Zr 比 Ti、V 优先与 B 发生反应。

(2)在制备铝合金时,可以通过 B 化处理,降低铝熔体中的 Zr、Ti、V 含量,从而提高电导率。

(3)当工业纯铝中 Ti、V 含量总和为 0.009% 时,B 化处理效果最佳的 B 添加量为 0.010%~0.015%。

(4)在制备 Al-Zr 耐热铝合金时,为防止 Zr 和 B 发生反应,流程上应在硼化处理结束后将熔体转移到其他容器中添加 Zr,具体做法可以增加转炉流程,在另一个炉中添加 Zr,也可以在流槽中添加 Al-Zr 线杆。

参 考 文 献

[1] 刘静,温澄,甘俊旗,等.合金元素对纯铝导电性能的影响机制[J].材料导报,2021,35(24):24 101-24 106.

[2] HATCH J E. Aluminum Properties and Physical Metallurgy[M]. USA: ASM, 1983.

[3] 黄崇祺,储成著,丁关森,等.铝导体的硼化处理[J].上海金属·有色分册,1987(3):29-33.

[4] 张强,郭锋,李志强,等.硼化处理对导电铝 Ti、V 含量以及性能影响的研究[J].铸造技术,2007(10):1 338-1 340.

[5] 秦颐鸣,庄林忠,冯恩浪,等.硼化处理去除铝中钒、钛的热力学研究[J].特种铸造及有色合金,2020,40(9):1 024-1 026.

[6] 李丰庆.硼对铝中杂质元素的作用及其对电导率的影响[D].辽宁大连:大连理工大学,2003.

(编辑:栗万仲)

欢迎使用在线稿件处理系统

投稿、查稿、审稿

敬请登录 www.special-cast.com