

5083 铝合金铸造板缺陷分析及预防措施

程海峰¹ 谭自盟¹ 郑 许^{1,2} 蒋秋妹¹ 韦孙飞¹ 何克准^{1,3}

(1.广西南南铝加工有限公司; 2.中南大学材料科学与工程学院; 3.中南大学粉末冶金研究院)

摘 要 针对 5083 铝合金铸造板进行阳极氧化后,在铸锭横截面产生的色差问题,采用氧化试验比较不同铸造温度和铸造速度对氧化色差的影响,采用水浸式超声波 C 扫描检测设备对方铸锭进行检测。在不同位置取样,采用光学显微镜、扫描电镜、能谱仪对缺陷进行分析。结果发现,色差区域在方铸锭的 1/3~1/4 厚度层之间,产生色差与正常区域相比存在较大程度的成分偏析、较粗大的金属化合物、较高的固体氢含量。经试验发现,适当提高浇注温度、减小铸造速度和降低熔体中氢含量,可有效改善铸造板在后续阳极氧化过程中形成的色差问题,提高铸件成品率。

关键词 5083 铝合金;铸造板;超声波;缺陷分析;氧化色差

中图分类号 TG146.21;TG245

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.05.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Countermeasures and Defect Analysis of 5083 Aluminum Alloy Casting Plate

Cheng Haifeng¹, Tan Zimeng¹, Zheng Xu^{1,2}, Jiang Qiumei¹, Wei Sunfei¹, He Kezhun^{1,3}(1.Alnan Aluminum Co., Ltd.; 2.College of Materials Science and Engineering, Central South University;
3.Powder Metallurgy Research Institute, Central South University)

Abstract: Aiming at anodic oxidation of 5083 aluminum alloy casting plate to form the color difference of the ingot cross section, the influence of different casting temperatures and casting speeds on the oxidation color difference was compared by oxidation test, and the water-immersed ultrasonic C-scan testing equipment was applied to detect the flat ingot. Sampling at different locations, the defects were analyzed by optical microscope, scanning electron microscope and energy dispersing spectrometer. The results indicate that the color difference occurs in the range of 1/3 to 1/4 thickness layer of flat ingot, and there exists a larger degree of component segregation, massive metal compound and higher solid hydrogen content compared with the normal area. In addition, the color difference formed in the subsequent anodic oxidation process of the casting plate can be effectively reduced by increasing the casting temperature, reducing the casting speed and decreasing the hydrogen content of the solution appropriately, enhancing the yield rate.

Key Words: 5083 Aluminum Alloy, Casting Plate, Ultrasonic, Defect Analysis, Oxidation Color Difference

收稿日期:2021-11-10;**修改稿收到日期:**2022-01-20

基金项目:南宁市优秀青年科技创新创业人才培养项目(桂科 RC20200101);2020 年度南宁市培养新世纪学术和技术带头人计划资助项目(20200002);南宁市创新创业领军人才“邕江计划”资助项目(2019015)

第一作者简介:程海峰,男,1983 年出生,高级工程师,南宁(530031),E-mail:gxchenghaifeng@163.com

通信作者:谭自盟,男,1990 年出生,工程师,南宁(530031),E-mail:979790752@qq.com

引用格式:程海峰,谭自盟,郑许,等. 5083 铝合金铸造板缺陷分析及预防措施[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(5):597-600.

CHENG H F, TAN Z M, ZHENG X, et al. Countermeasures and defect analysis of 5083 aluminum alloy casting plate[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(5):597-600.

(2)含 Y 和不含 Y 的两种单晶合金在 900、1 000 和 1 100 ℃氧化的表面氧化膜主要由 NiO、NiTa₂O₆ 及 Al₂O₃ 和 NiAl₂O₄ 组成,但氧化物的含量不同。

(3)Y 的添加提高了氧化铝保护膜连续性,使含 Re 镍基单晶高温合金的高温氧化抗力明显提高。

参 考 文 献

- [1] 陈荣章,王罗宝,李建华.铸造高温合金发展的回顾与展望[J].航空材料学报,2000,20(1):55-61.
- [2] 孙晓峰,金涛,周亦青,等.镍基单晶高温合金研究进展[J].中国材料进展,2012,31(12):1-11.
- [3] 张泽海,孟杰.一种镍基单晶高温合金的恒温氧化行为[J].中国腐蚀与防护学报,2010,30(4):337-340.
- [4] 程印,王新广,刘金来,等.一种含 Ru 镍基单晶高温合金的高温氧化行为[J].材料导报,2018,32(S2):355-357.

- [5] 尚根峰,廖金发,汪航. Y-La 添加对镍基单晶高温合金界面反应及循环氧化行为的影响[J].航空材料学报,2018,38(6):43-49.
- [6] WANG W, YU P, WANG F, et al. The effect of yttrium addition on the isothermal oxidation behavior of sputtered K38 nanocrystalline coating at 1 273 K in air[J]. Sur. Coatings Technol., 2007, 201: 7 425-7 431.
- [7] KAWAGISHI K, HARADA H, SATO A, et al. The oxidation properties of fourth generation single-crystal nickel-based superalloys[J]. JOM, 2006(1): 43-46.
- [8] 李美栓,张亚明. 活性元素对合金高温氧化的作用机制[J].腐蚀科学与防护技术,2001,13:333-337.
- [9] 肖纪美,曹楚南. 材料腐蚀学原理[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [10] 李美栓. 金属的高温腐蚀[M].北京:冶金工业出版社,2001.
- [11] 王伟娟,喻聪,潘斌,等. 镍基高温合金的氧化行为研究进展[J].现代冶金,2021,49(1):1-8.

(编辑:刘晨辉)

随着工业的发展对 5083 铝合金板制备的结构件性能和使用寿命提出了更高的要求。终端客户在接受产品后进行零件加工和阳极氧化时发现零件存在较严重的氧化色差^[1],进而对零件品质产生质疑,有组织不均匀性存在^[2]。

通过相关文献及对阳极氧化色差问题进行初步分析,认为引起色差的主要因素有:①孔隙率,由铸造引起的铸锭局部位置存在氢气孔、缩松等^[3]不连续性缺陷导致的氧化色差^[4];②晶粒度,由铸造过程中在特定部位存在异常晶粒导致的氧化色差;③初生相尺寸,由铸锭非平衡凝固过程形成的尺寸过大第二相导致的氧化色差;④成分偏析,由铸造过程温度过冷和成分过冷引起的成分偏析导致的氧化色差^[5];⑤中间合金未溶相,熔炼合金添加的 Al-Mn、Al-Cr 等中间合金未能完全熔化导致的氧化色差;⑥氧化夹渣,铸造时由于操作不当等引入的熔体表面氧化膜导致的氧化夹渣。针对可能的原因进行分析,旨在为其问题解决提供参考。

1 试验材料与方法

5083 铝合金板的化学成分(质量分数,下同)为:0.4%~1.0% 的 Mn, 4.3%~5.2% 的 Mg, 0.05%~0.25% 的 Cr, <0.40% 的 Fe, <0.40% 的 Si, <0.10% 的 Cu, <0.25% 的 Zn, <0.15% 的 Ti, 余量为 Al。工艺流程为:熔炼→精炼→铸造→均匀化退火→切头尾→水平分切成板材→包装。

采用 Multi X++ SN5500 型相控阵超声波仪和频率为 5 MHz, 探头晶片数为 256 个、晶片宽度为 0.6 mm、晶片间距为 0.1 mm、晶片高度为 10 mm 的水浸式相控阵超声波探头,依据 GB/T6519-2013 A 级完成铸锭的水浸式超声波检测,分析铸锭不连续性的分布规律。对铸锭进行采样(见图 1),然后进行阳极氧化试验^[2]。阳极氧化工艺流程为:除油(30 g/L 中性除油粉水溶液, 50±5 °C, 浸泡 5 min)→水洗→碱洗(80~100 g/L, 1~2 min)→水洗→中和(HNO₃、H₂O 体积比为 3:7, 5~8 min)→水洗→氧化(H₂SO₄、H₂O 质量比为

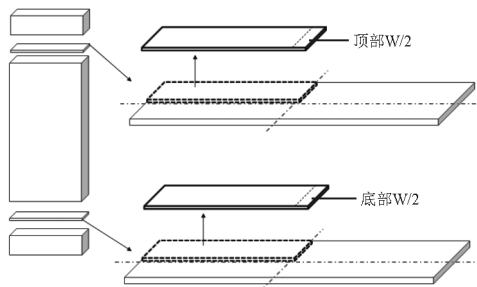


图 1 铸锭阳极氧化取样位置示意图

Fig.1 Sampling diagram of anodic oxidation of ingots

2:8, 25~30 min)→封孔(水温 80 °C, 5~8 min)。对阳极氧化试样取样,用 400、600、800、1000 号金相砂纸逐一打磨并抛光,然后采用体积分数为 10% 的高氯酸酒精溶液进行电解抛光。采用 Axio Observer 3m 光学显微镜进行组织分析,用 EVO18 型扫描电镜对缺陷的表面形貌进行观察,使用附带的牛津能谱仪对缺陷进行微区成分分析。

2 试验结果与分析

2.1 超声波检测

图 2 为含有 A 级超标缺陷的铝合金板材的超声波扫描图。使用水浸式超声波检测设备对经铣面后粗糙度优于 Ra3.2 μm 的 5083 铸锭进行超声波扫描,见图 2a。对 C 扫描数据进行分析,铸锭的两侧超声波回波当量较低视为正常区域,中心线附近的超声当量超过正常区域超声当量的 100%,铸锭侧面的两个小面附近不存在当量大的不连续性,见图 2c。针对超声当量高的中心线上区域进行超声波 A 扫描、B 扫描进行分析,当探头放在铸锭中线上方时,发现铸锭 1/4 厚度区域附近存在高于正常区域 100% 的超声波噪音当量,噪音 A 扫描波形呈双馒头峰状,因此可见不连续性在厚度截面高向上呈对称分布,见图 2b。结合 A、B、C 扫描数据分析的结果推断,在铸锭横截面上呈椭圆环状,不连续性的分布规律见图 2d。

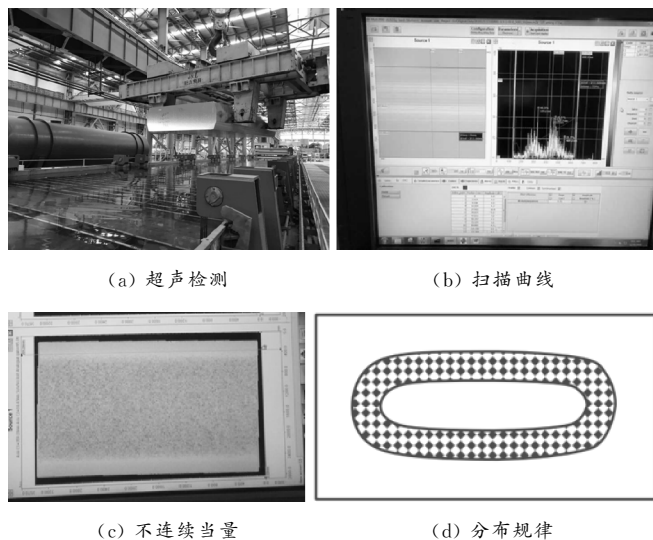


图 2 含有 A 级超标缺陷的铝合金板材的超声波扫描图
Fig.2 Ultrasonic C-scan diagram of aluminum alloy plate with A graded defects

2.2 金相分析

2.2.1 化合物相的尺寸

图 3 为缺陷试样与正常试样的显微组织。通过对比可知,缺陷试样的化合物相比正常试样的化合物相粗

大。缺陷试样化合物相的最大尺寸为 $314.74\ \mu\text{m}$, 平均尺寸为 $33.6 \pm 0.5\ \mu\text{m}$; 正常试样化合物相的最大尺寸为 $78.24\ \mu\text{m}$, 平均尺寸为 $24.3 \pm 0.5\ \mu\text{m}$ 。

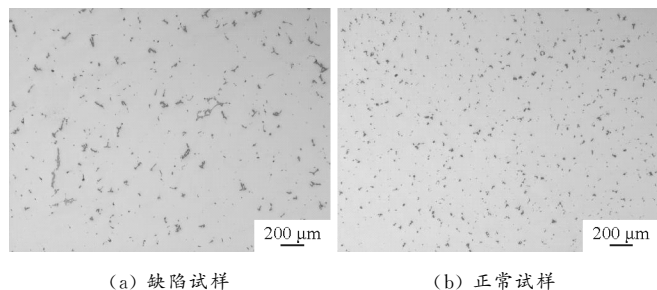


图 3 缺陷与正常试样显微组织形貌

Fig.3 Microstructure morphologies of the defect and normal specimens

2.2.2 化合物相的尺寸分布

所有化合物相的尺寸区间统计结果见图 4。可以看出, 正常试样的化合物相尺寸主要分布在 $15 \sim 20\ \mu\text{m}$ 内, 呈典型的正态分布; 而缺陷试样的化合物相尺寸呈双峰分布状态, 集中分布在 $10 \sim 15\ \mu\text{m}$ 和 $55 \sim 60\ \mu\text{m}$ 范围内, 甚至有异常粗大的化合物相分布在 $310 \sim 315\ \mu\text{m}$ 。

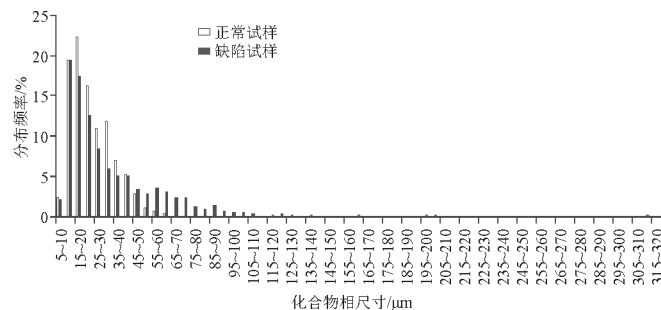


图 4 缺陷与正常试样的化合物相尺寸分布频率直方图

Fig.4 Frequency histogram of phase size distribution of the defect and normal specimens

2.2.3 化合物相的面积分数

化合物相的面积分数软件提取图见图 5。可以看出, 缺陷试样化合物粗大且分布集中, 正常试样化合物细小弥散。缺陷试样化合物相的面积分数为 2.32% , 当

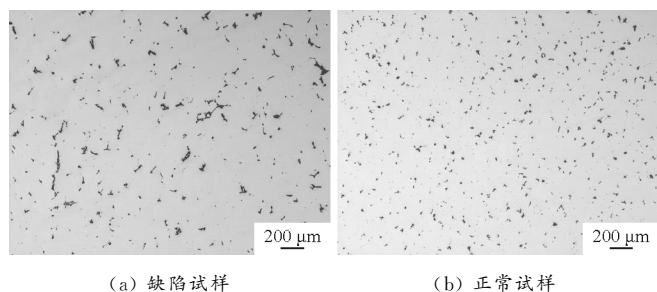


图 5 缺陷与正常试样化合物相的面积分数软件提取

Fig.5 Area fraction software extraction of compound phase of the defect and normal specimens

化合物临界尺寸达到 $50\ \mu\text{m}$ 时, 面积分数为 1.56% ; 正常试样化合物相的面积分数为 2.01% , 当化合物临界尺寸达到 $50\ \mu\text{m}$ 时, 面积分数仅为 0.15% 。

2.2.4 化合物相的形貌

为了比较缺陷与正常试样化合物相的形貌差异, 采用与化合物相形貌相等同的椭圆长轴与短轴之比来进行描述。长轴/短轴比越大, 化合物相越细长, 反之化合物相则越圆整。图 6 为缺陷与正常试样的长轴/短轴比分布频率直方图, 区间间隔为 0.5 。通过对比可知, 缺陷与正常试样的长轴/短轴比都集中分布在 $1 \sim 1.5$ 的区间内, 因此化合物相的形貌大多数呈颗粒状。但是缺陷试样的长轴/短轴比位于 $3 \sim 6$ 的范围内的占 3.4% , 因此存在较多的异常粗大且细长的杆状化合物相。

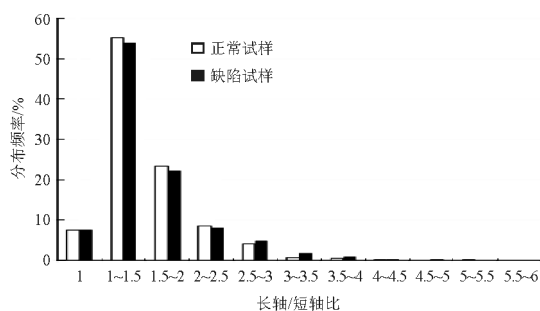


图 6 缺陷与正常试样的长轴/短轴比分布频率直方图

Fig.6 Frequency histogram of axial ratio of the defect and normal specimens

2.3 扫描电镜分析

2.3.1 微区形貌观察

图 7 为扫描电镜观察的缺陷试样与正常试样的微区形貌。可见化合物相的分布情况与金相观察到的显微组织结果一致, 即缺陷试样的化合物相比正常试样的化合物相粗大, 数量相对较少, 且分布稀疏; 正常试样化合物相尺寸细小, 数量较多, 分布密集。

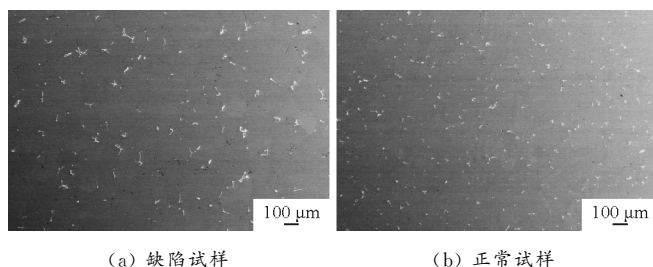


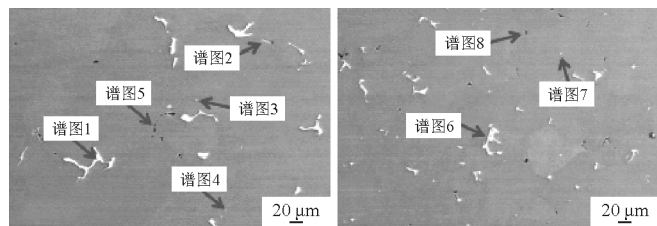
图 7 缺陷与正常试样微区形貌观察

Fig.7 Morphology observation of micro zone in defect and normal specimens

2.3.2 能谱分析

图 8 和表 1 为缺陷试样与正常试样的能谱成分分析结果。可见缺陷试样与正常试样组织中分布的主要化合物相为含有 Al、Si、Cr、Mn、Fe 等元素的白色

CrMn 富集相(谱图 1 和谱图 6),且两者均含有少量的黑色类似 Mg_2Si 相(谱图 5 和谱图 8)。但是,缺陷试样中 AlMgCrMn 相(谱图 2)、AlMgMnFe 相(谱图 3)和 AlMgMn 相(谱图 4)等相,因此化合物相的成分较复杂;而正常试样中只发现 AlMgCrMnFe 相(谱图 7),化合物相成分相对简单。



(a) 缺陷试样 (b) 正常试样

图 8 缺陷试样与正常试样的谱图 SEM

Fig.8 SEM images of defect and normal specimens

从表 1 可知,缺陷试样中的白色化合物多为富 Cr、Mn 相。因此,推测由于 5083 合金的 Cr 含量较高,易与 Mn 形成富 Cr、Mn 相,而富 Cr、Mn 相造成阳极氧化水波纹。

表 1 缺陷试样与正常试样的 EDS 分析结果

Tab.1 EDS results of defect and normal specimens %

谱图	x_B						
	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O
1	79.41	—	3.27	1.28	7.34	8.70	—
2	81.74	11.70	—	2.94	3.62	—	—
3	90.56	4.5	—	—	2.11	2.83	—
4	94.05	4.92	—	—	1.03	—	—
5	4.33	39.81	22.33	—	—	—	33.52
6	80.07	—	3.61	1.28	7.20	7.84	—
7	89.56	4.56	—	0.39	2.71	2.78	—
8	7.95	32.56	22.24	—	—	—	37.25

3 分析和解决措施

对氧化色差缺陷处的成分分析发现,该处富集较多的 AlMgCrMn、AlMgMnFe、AlMgMn 等成分复杂的相,且相对正常区域这些相的尺寸相对较大,导致了该区域的组织不均匀。为了细化晶粒、提高铸锭质量,5083 合金中添加了较多的 Mn、Cr 等合金元素。当中间合金添加比例或熔铸工艺不当时,这些合金元素容易富集在铸锭横截面 1/4 位置,并最终形成复杂的初生相,在后续均匀化热处理中也难以重新溶入组织中,从而造成铸锭组织的不连续性缺陷。

根据上述分析,Cr 成分的不合理设定使合金在凝固时处于易形成复杂难溶相区域,是形成氧化色差缺陷的主要原因。复杂难溶粗大相的存在,破坏了组织的连续性,从而在阳极氧化过程中出现色泽不均匀问题,导致最终产品的品质缺陷和安全隐患。

因此需控制中间合金元素及杂质元素含量,使 $w(Si) \leq 0.25\%$, $w(Fe) \leq 0.50\%$, $w(Mn) \leq 0.55\%$, $w(Cr) \leq 0.19\%$,并对返回料严格控制。由于秋冬季环境温度比较低,可适当提高浇注温度,防止形成 $Al_7(Cr,Fe)$ 和 $Al_7(Cr,Mn)$ 等粗大初生相。另外,在铸造时,调整铸造温度、液位高度、冷却水流量等参数,使凝固过程更加均匀,防止局部成分偏析过大而富集,导致形成复杂难溶相。

4 结束语

通过对形成氧化色差进行 SEM 观察、EDS 分析,认为 Cr 的不合理设定是引起色差的主要原因。针对问题,给出了解决措施,较好地克服了色差问题。

参 考 文 献

- [1] 彭亚平.浅谈硫酸阳极氧化膜层色差问题及控制措施[J]. 化工管理, 2013(22): 181.
- [2] 郑许,唐建国,张航,等. Al-4.5Mg 合金粗大金属化合物的缺陷分析[J]. 热加工工艺, 2022, 51(1): 6-10.
- [3] 王睿,左玉波,朱庆丰,等. 半连续铸造铝合金铸锭缩松的形成机制及其影响因素[J]. 轻合金加工技术, 2021, 49(2): 17-24.
- [4] 徐亚军,陈长科,马小红,等.5083 铝合金棒材铸态微观组织及铸造缺陷分析[J]. 世界有色金属, 2010(10): 163-164.
- [5] 韦修勋,陈愿情,贾桂龙,等.半连续 7055 铝合金扁锭偏析缺陷分析及工艺优化[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(11): 1 290-1 293.

(编辑:栗万仲)

青海氢氧化镁/石墨烯复合功能材料制备取得新进展

近日,青海省科技厅组织专家对中国科学院青海盐湖研究所承担的科技合作专项“氢氧化镁/石墨烯复合功能材料的制备及在聚丙烯中的应用研究”进行了验收。

该项目采用水热法制备氢氧化镁/石墨烯(MDH/GO)纳米材料,研究了该纳米阻燃剂的生长机理,以及用于改性的氢氧化镁/石墨烯(MDH/GO)纳米结构和组成比例;以工业级 KH-550 改性剂和 P204 为原料,开展了合成新型功能性表面改性剂的研究,并将表面改性剂接枝到氢氧化镁/石墨烯(MDH/GO)纳米材料上,得到了表面改性的阻燃剂粉体;运用热分析、机械性能、阻燃性能等手段对复合材料进行了分析表征,研究了氢氧化镁/石墨烯(MDH/GO)阻燃剂、改性 PSi-MDH/GO 纳米阻燃剂分别填充于聚丙烯混炼的复合材料的阻燃、抑烟及机械性能,制备了具有良好机械性能、阻燃和抑烟性能于一体的复合材料。

该项目揭示了复合材料宏观火灾危险性与微观反应历程间的联系,提出了阻燃聚丙烯复合材料火灾安全优化设计方案,为盐湖资源深层次的开发提供了全新的研究方向和思路。

(摘自中国有色金属报)