

Mn 含量对 Al-Mn 系压铸合金组织和性能的影响

林师朋 贵星卉 王占坤 钟 鼓
(中铝材料应用研究院有限公司苏州分公司)

摘 要 通过金属型重力铸造制备了不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金,对其组织、力学性能和阳极氧化性能进行表征。结果表明,Al-Mn 合金中第二相以 Al₆Mn 相为主,以大尺寸菱形或长条形、球状或短棒状形貌为主;随着 Mn 含量增加,合金的流动性先提高后降低,当 Mn 含量为 2.0% 时合金流动性最好(达到同水平 ADC12 合金的 97%);合金的强度先增加后降低,伸长率明显下降,当 Mn 含量为 1.7% 时合金综合力学性能最好;合金的阳极氧化性能良好,色差值均低于 0.5 且阳极氧化膜厚度均大于 10 μm。

关键词 Al-Mn 系合金;流动性;微观组织;力学性能;阳极氧化

中图分类号 TG146.21;TG249.2 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.07.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Mn Contents on Microstructure and Properties of Al-Mn Permanent Casting Alloy

Lin Shipeng, Gui Xinghui, Wang Zhankun, Zhong Gu
(Suzhou Branch, Chinalco Materials Application Research Institute Co., Ltd.)

Abstract: Al-Mn alloys with different Mn contents (1.4%、1.7%、2.0%、2.3%, mass fraction) were prepared by permanent mould casting. The microstructure, mechanical properties and anodic oxidation properties of the alloy ingots were characterized by SEM, EDS and tensile testing. The results show that the second phase in Al-Mn alloy consists largely of Al₆Mn with large diamond shape, long strip shape, spherical shape or short rod shape. The fluidity of the alloy is increased firstly and then decreased. When Mn content is 2.0%, the alloy shows the satisfied fluidity, which is up to 97% of ADC12 alloy at the same level. The strength of alloy is increased firstly and then decreased, while the elongation is decreased continuously. When Mn content is 1.7%, the comprehensive mechanical properties and anodizing properties can be obtained with the desirable effects. The alloy presents great anodizing performance with the color difference less than 0.5, and the thickness of anodic oxide film is more than 10 μm.

Key Words: Al-Mn Alloy, Fluidity, Mechanical Properties, Anodic Oxidation

收稿日期:2020-10-11;修改稿收到日期:2020-12-24

第一作者简介:林师朋,男,1989 年出生,硕士研究生,江苏苏州(215026),E-mail: linshipeng@cmari.com

通信作者:钟鼓,男,1983 年出生,高级工程师,江苏苏州(215026),E-mail: zhonggu@cmari.com

引用格式:林师朋,贵星卉,王占坤,等. Mn 含量对 Al-Mn 系压铸合金组织和性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(7):871-876.

LIN S P, GUI X H, WANG Z K, et al. Effects of Mn contents on microstructure and properties of Al-Mn permanent casting alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(7):871-876.

[10] 王迎鲜,贾淑果,周延军,等.时效时间对 Cu-0.2Be-0.5Co 合金组织及性能的影响[J].金属热处理,2017(11): 158-161.

[11] ZHU D, LIU C, HAN T, et al. Effect of two-step aging on the microstructure and mechanical properties of Cu-2.7Be alloys[J]. Materials Science Forum, 2016, 850: 532-535.

[12] PENG L J, XIONG B Q, XIE G L, et al. Precipitation process and its effects on properties of aging Cu-Ni-Be alloy[J]. Rare Metals, 2013, 32(4): 332-337.

[13] ZHU Z Y, CAI Y F, SONG K X, et al. Precipitation characteristics of the metastable γ' phase in a Cu-Ni-Be alloy[J]. Materials, 2018, 11(8): 1 381-1 394.

[14] 胡庚祥,蔡珣,戎咏华.材料科学基础[M].上海:上海交通大学出版社,2010.

[15] 崔振择.金属材料及热处理[M].长沙:中南大学出版社,2010.

[16] 张明远,孙建春,陈登明,等.时效处理对 Ni36CrTiAl 合金力学性能的影响[J].功能材料,2013, B44(12): 198-200.

[17] 郭望望,贾淑果,陈小红,等.非真空熔铸 Cu-Cr-Zr 合金的组织性能[J].河南科技大学学报(自然科学版),2011, 32(1): 1-4,116.

[18] ZHOU Y J, SONG K X, XING J D, et al. Precipitation behavior and properties of aged Cu-0.23Be-0.84Co alloy[J]. Journal of Alloys & Compounds, 2016, 658: 920-930.

[19] 李宁宁,宋克兴,周延军,等.热处理对 Cu-0.23Be-0.84Co 合金性能和组织的影响[J].河南科技大学学报:自然科学版,2015(2): 10-13.

[20] 范莉,刘平,于志生,等.时效对 Cu-Ni-Si-Cr 合金微观组织和性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2015, 35(8): 799-801.

[21] 张毅,刘平,田保红,等.时效对 Cu-2.0Ni-0.5Si 合金组织和性能的影响[J].特种铸造及有色合金,2008, 28(10): 810-813,738.

[22] 郭英奎.金属固态相变教程[M].北京:化学工业出版社,2017.

(编辑:刘晨辉)

随着 3C 产业的飞速发展,全球市场对铝合金材料的需求不断增加,对铝合金产品的外观品质和耐腐蚀性能的要求也越来越高。目前市场上 3C 领域的铝合金结构件、装饰件,如手机外壳、笔记本电脑面板等产品,主要采用传统半连续铸造→铸锭均匀化→挤压/轧制→机加工,再经过阳极氧化处理生产而成,周期长且成本高,明显制约了铝合金材料在该领域的进一步应用。因此,迫切需要开发低成本的短流程生产工艺。压力铸造^[1]具有生产效率高、近终成形、成材率高、生产成本低等特点,在 3C 用铝合金复杂薄壁精密铸件大批量工业化生产中得到广泛应用。为了获得不同色泽和表面质量的,通常需要对其进行阳极氧化处理。影响阳极氧化效果的因素主要有:合金元素、晶粒尺寸、第二相种类、形貌和尺寸以及阳极氧化工艺^[2]。传统压铸铝合金中的 Si 含量通常大于 9% 以获得良好的铸造性能,Fe 含量高于 7% 以获得良好的脱模性能^[3]。目前应用较广的 ADC12 等 Al-Si 系铸造铝合金虽然压铸性能好,但 Si 元素不易被阳极氧化且杂质 Si 会在氧化膜层表面发灰,甚至形成黑点或黑线等缺陷,对外观品质造成不良影响;Cu 元素可以提高合金的强度和热稳定性,但会使氧化膜呈红色,增加氧化膜缺陷;Fe 元素会使阳极氧化后的合金表面出现黑色斑点等缺陷^[4,5]。

随着 3C 产品对阳极氧化铝合金需求的快速增长,日本三菱公司专为表面阳极氧化处理工艺而开发的 DM 系列压铸铝合金已进入量产,但仍存在粘模、热裂以及强度不够等问题^[6]。国内目前尚无适合量产的可阳极氧化压铸合金产品。黄毅^[7]研究了微量元素 Ti、Sc 对 Al-Mn 系合金组织和性能的影响,发现 Ti、Sc 复合变质对 Al-Mn 系合金力学性能和阳极氧化性能改善效果明显,适量的 Ti 和 Sc 可以改善第二相析出状况和形貌分布,在不影响合金流动性的同时提高其力学性能和阳极氧化膜层耐蚀性;洪丽华等^[8]研究了 ADC12 合金阳极氧化黑色膜层工艺,发现通过有效的熔体处理可以获得均匀细小的晶粒和第二相合金组织,提高阳极氧化膜层品质,但仍无法达到应用标准。

Al-Mn 系合金因其良好的塑性、耐蚀性以及导电导热性在诸多领域得到了广泛应用^[6,9]。本课题通过金属型铸造,采用蜗形流动测试模具,通过对比不同成分的 Al-Mn 系合金与 ADC12 合金的流动性试样长度,表征 Al-Mn 系合金的流动性能;通过 X 射线衍射(XRD)物相分析确定合金的相组成;通过金相组织观察(OM)、扫描电镜(SEM)及能谱分析(EDS)确定合金各个相的形貌及分布特点;通过拉伸试验和阳极氧化试验测试合金的力学性能和阳极氧化性能,最终获得成分最优、综合性能更好的适合压铸的 Al-Mn 系铸造铝合

金。

1 试验材料与方法

1.1 Al-Mn 合金试样的制备

通过金属型重力铸造试验制备了 4 组不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金,其化学成分见表 1。每组试验合金总质量为 30 kg,采用坩埚电阻炉将 99.75% (质量分数) 的工业纯铝、Al-10Mn 中间合金加热熔炼,熔炼温度为 760~770 ℃。取 $\phi 90\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 试样进行成分分析,待合金成分合格后采用单转子除气机通入高纯 Ar 气除气 15 min,处理后的熔体经过扒渣、静置等工序,最终将合金熔体分别浇入预热充分的铁质流动性测试模具和铜质楔形模中,浇注温度为 720~740 ℃,模具温度为 150~180 ℃,楔形模具示意图及铸锭实物见图 1。

表 1 Al-Mn 合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of Al-Mn alloy %			
合金 编号	w_B		
	Mn	Fe	Al
1	1.3	0.1	余量
2	1.7	0.1	余量
3	2.0	0.1	余量
4	2.3	0.1	余量

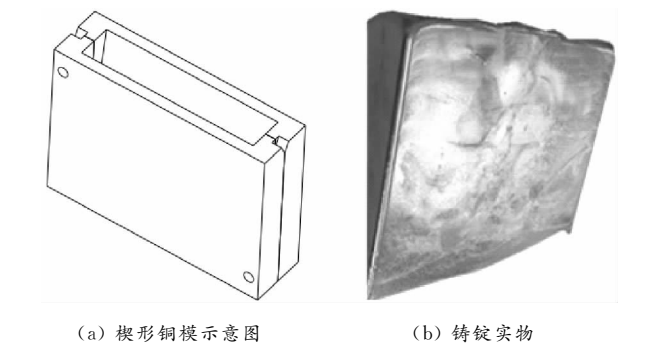


图 1 Al-Mn 合金性能测试用模具及试样实物
Fig.1 Mould for Al-Mn alloy performance testing and samples

1.2 流动性测试

蜗形流动性测试模具示意图见图 2。试验前先将钛白粉(主要成分为 ZnO 和 NaSiO₃)均匀涂刷在模具蜗形工作界面上,然后合模并放入烘箱中加热至 200 ℃

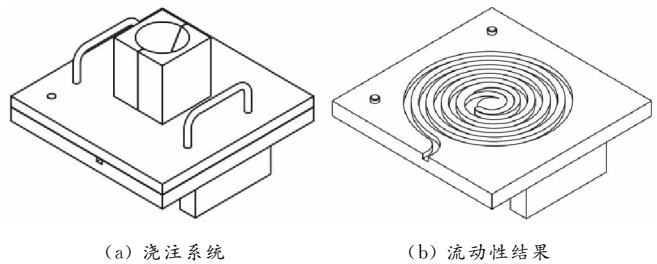


图 2 合金流动性测试模具示意图
Fig.2 Schematic diagram of mould for alloy fluidity testing

保温 2~3 h。待完成除气、扒渣和静置等工序后,取出模具,将合金熔体浇入模具中,对同种合金分别进行 3 次流动性测试,用卷尺测量试样的长度,最终取平均值作为合金的流动长度。

1.3 微观组织表征

从楔形铸锭中部截取高 10 mm 的试样用于微观组织观察,取样位置见图 3。金相试样制备过程如下:锯切→镶样→粗磨→细磨→抛光。为了进一步观察铸锭晶粒分布情况,对试样进行阳极覆膜观察,覆膜溶液为硫酸和磷酸的混合溶液,腐蚀时间为 120 s。采用 JSM-6480 扫描电镜和 Olympus JX51 金相显微镜观察合金的显微组织,结合能谱仪(EDS)分析试样的第二相组成情况。

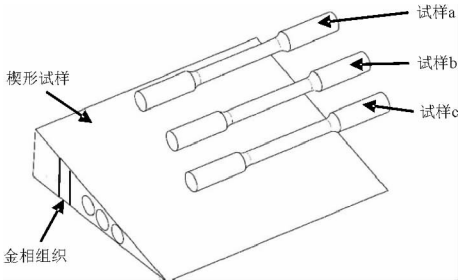


图 3 Al-Mn 合金微观组织及力学性能测试取样位置
Fig.3 Sampling position of microstructure observation and mechanical performance testing of the Al-Mn alloy

从楔形铸锭中部选取试样进行 X 射线衍射分析,试样尺寸为 10 mm×10 mm×10 mm,采用 Empyrean 型 X 射线衍射仪对合金进行物相分析。

1.4 力学性能测试

根据 GB/T228-2010,选取合金楔形铸锭贴近底部区域加工成 φ5 mm 圆棒试样,标距为 25 mm,取样位置见图 3。拉伸试验在 CSS-44100 型电子万能试验机上进行。屈服阶段拉伸速率为 1 mm/min,之后为 5 mm/min,拉伸结果取 3 根试样的平均值。

1.5 阳极氧化性能测试

采用自制的阳极氧化试验装置对合金试样进行阳

极氧化处理,采用 YS3060 色差分析仪测试试样的表面色差,采用 ISOSCOPE FMP10 氧化膜厚度测试仪测试氧化膜厚度。采用恒电流方式进行试验。电流的大小与试样面积有关,计算公式为:

$$I = S\delta \tag{1}$$

式中,S 为试样面积;δ 为单位面积通过的电流,本试验测试实际电流为 0.6 A。试验温度控制在 10~15 ℃,阳极氧化时间为 30 min。

2 试验结果与分析

2.1 Mn 含量对 Al-Mn 合金流动性的影响

对浇注出的合金流动性试样进行长度测量,结果见图 4。可以看出,随着 Mn 含量增加,流动试样长度先增加后降低,当 Mn 含量为 2% 时,流动试样长度达到最大,继续增加 Mn 元素,流动试样长度开始降低。由 Al-Mn 二元相图可知,Mn 含量约为 2% 时达到合金的共晶成分,并且 Mn 在 Al 基体中的极限固溶度与共晶点十分接近^[10],这使得 Al-Mn 合金在共晶成分附近时的流动性最好。在相同浇注温度下,ADC12 合金的流动性试样长度为 78.3 mm,而 4 种成分的 Al-Mn 合金流动性均可达到 ADC12 合金的 73% 以上,当 Mn 含量为 2.0% 时甚至达到 97%,可以满足批量压铸生产要求。

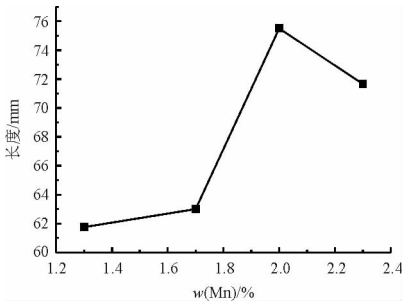
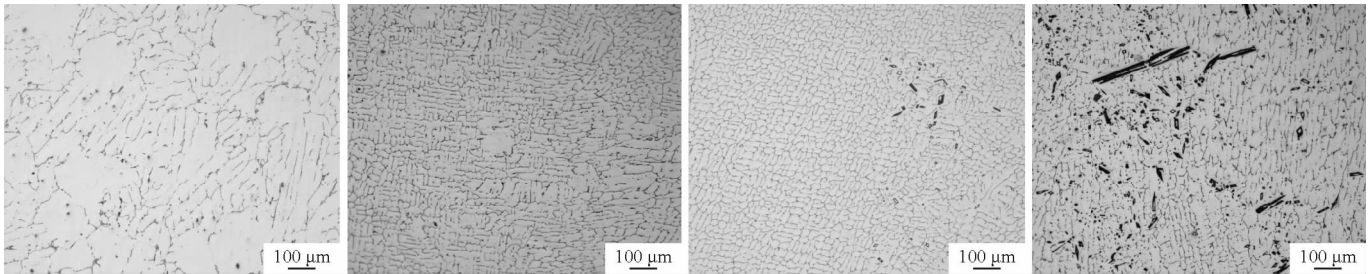


图 4 不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金流动性试验
Fig.4 Fluidity of Al-Mn alloy with different Mn contents

2.2 Mn 含量对 Al-Mn 合金微观组织的影响

图 5 为 4 种成分的 Al-Mn 合金试样金相组织。可以看出,当 Mn 含量为 1.3% 时,合金晶粒粗大,第二相



(a) w(Mn)=1.3% (b) w(Mn)=1.7% (c) w(Mn)=2.0% (d) w(Mn)=2.3%

图 5 不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金的金相组织

Fig.5 Microstructure of Al-Mn alloy with different Mn contents

开始沿晶界析出;当 Mn 含量为1.7%时,第二相含量明显增加,且主要沿晶界连续析出;当 Mn 含量为 2.0%时,有菱形和长条形的大尺寸初生相析出;当 Mn 含量为 2.3%时,有大量菱形的大尺寸相出现。图 6 为不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金平均晶粒尺寸。可以看出,合金的晶粒尺寸随 Mn 含量的增加呈先减小后增大的趋势,在 Mn 含量为 2.0%时晶粒最细小。这是因为不同 Mn 含量对合金的凝固区间产生了影响。随着 Mn 含量增加,Al-Mn 合金的凝固区间表现为先减小后增大,在 Mn 含量为 2.0%时最小^[6]。凝固温度区间变窄使籽晶长大的时间缩短,所以在 Mn 含量为2.0%时晶粒尺寸最小。

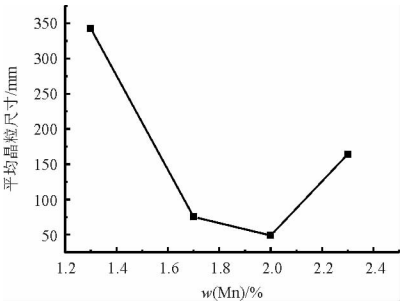


图 6 不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金平均晶粒尺寸
Fig.6 Average grain size of Al-Mn alloy with different Mn contents

根据金相分析结果,进一步对 Mn 含量分别为 1.7%和 2.0%的合金试样进行扫描电镜(SEM)组织观察及能谱分析(EDS),见图 7 和表 2。可以看出,Al-Mn 合金中主要含有3种相:①菱形大尺寸初生相,主要含

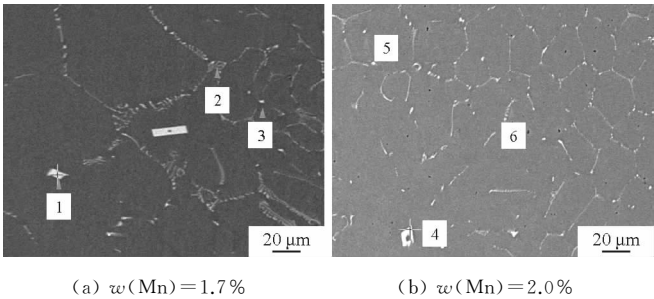


图 7 不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金 SEM 照片

Fig.7 SEM images of Al-Mn alloy with different Mn contents

表 2 不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金 EDS 分析

Tab.2 EDS analysis of Al-Mn alloy with different

谱图	Mn contents			%
	Mn	Fe	Al	
1	20.45	—	79.55	
2	4.29	—	95.71	
3	8.61	4.38	87	
4	18.56	—	81.44	
5	8.19	3.40	88.41	
6	2.71	1.43	95.85	

Al、Mn 两种元素(见图 7 中谱图 1),Al、Mn 质量比约为 80 : 20;②Al-Mn/Al-Mn-Fe 球状相(见图 7 中谱图 3,谱图 5),Al、Mn/(Mn+Fe)质量比约为 88 : 12;③Al-Mn/Al-Mn-Fe 短棒状相,Al、Mn/(Mn+Fe)质量比约为 96 : 4,见图 7 中谱图 2 和谱图 6。

进一步对 Mn 含量为 2.0%的试样进行 XRD 分析,结果见图 8。根据 Al-Mn 二元相图、EDS 和 XRD 分析结果可知,Al-Mn 合金中的主要第二相为 Al₆Mn 相,该相中部分 Mn 原子被合金中的微量 Fe 原子替换,在 SEM 照片中部分表现为 Al-Mn-Fe 相^[11]。Al₆Mn 相主要有两种形貌:第 1 种为典型的菱形或长条形的大尺寸初生相;第 2 种呈骨骼状或条状连续分布,因为在非平衡凝固条件下冷却速率较快,部分 Mn 元素沿晶析出,未来得及形成 Al₆Mn 平衡相。另外,合金中还有少量 Al₃(Fe,Mn)杂质相,主要为颜色较亮的点状 AlMn-Fe 相,见图 7 中的 3 点和 5 点。

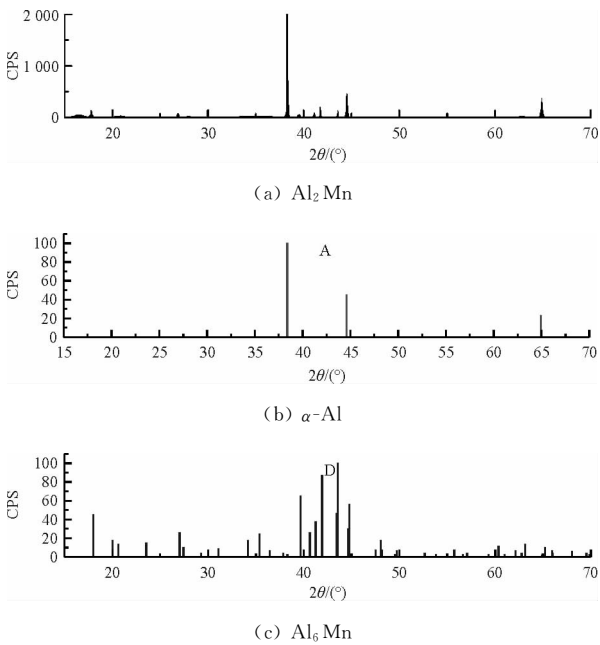


图 8 Mn 含量为 2.0%的 Al-Mn 合金 XRD 分析图谱
Fig.8 XRD patterns of Al-Mn alloy with 2.0% Mn addition

2.3 Mn 含量对 Al-Mn 合金力学性能的影响

对 4 种成分的 Al-Mn 合金取样进行力学性能测试,结果见图 9。可以看出,随着 Mn 含量增加,其抗拉强度和屈服强度均先提高后降低,但降低的速率较慢,伸长率随 Mn 含量的增加明显降低,Mn 含量为1.7%时综合力学性能最佳。一方面,此时的 Mn 在 Al 基体中的固溶度已接近饱和,固溶强化效果较好;另一方面,菱形大尺寸初生相会明显降低合金的伸长率^[12],虽然初生相数量较多,但尺寸较小,且大尺寸 Al₆Mn 相数量极少,对强度的恶化作用较弱。

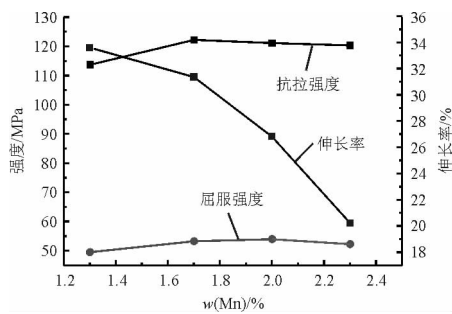


图 9 不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金的力学性能
Fig.9 Mechanical properties of Al-Mn alloy with different Mn contents

2.4 Mn 含量对 Al-Mn 合金阳极氧化性能的影响

对 Mn 含量为 1.7% 的楔形铸锭截面进行阳极覆膜观察,微观组织见图 10。可以看出,铸锭组织在厚度方向上表现出明显的表面细晶区 I、柱状晶区 II 以及中心

等轴晶区 III。分别对各区域进行观察,见图 11。表面细晶区即表面激冷层,因铝液接触铜质模具表面形成较大的过冷度而产生,晶粒细小分布均匀,十分利于在试样表面形成均匀连续且较致密的阳极氧化膜,和实际压铸生产条件相似;柱状晶区晶粒沿铸锭厚度方向呈长柱状分布,晶粒粗大且分布不均匀,易造成最终阳极氧化后的产品表面出现色差;中心等轴晶区晶粒尺寸较大且

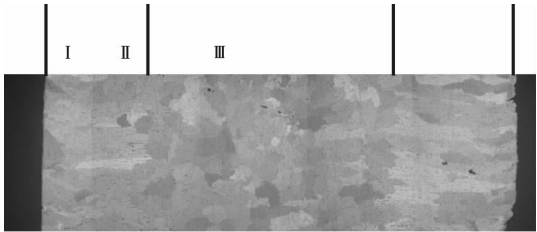


图 10 Al-1.7Mn-0.1Fe 合金的楔形铸锭剖面微观组织
Fig.10 Microstructure of wedge ingot with 1.7% Mn addition

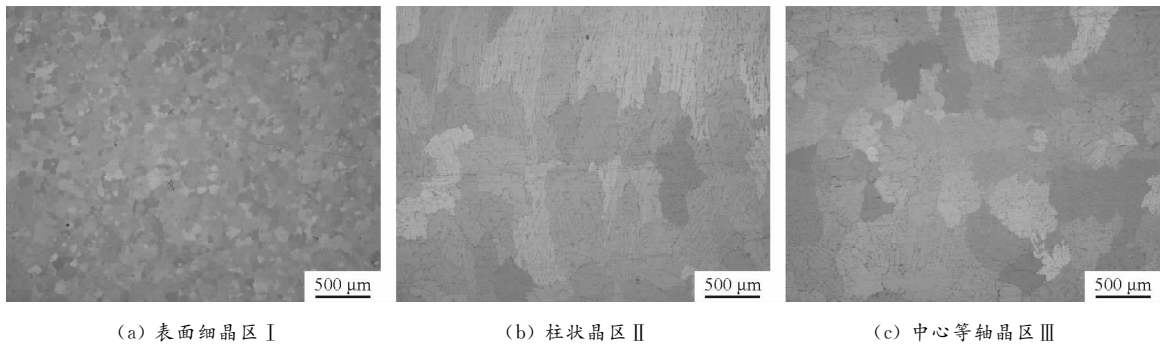


图 11 楔形铸锭横截面各区域晶粒组织
Fig.11 Grain at different position in the cross section of wedge ingot

分布均匀。

铝合金的阳极氧化处理是最常见的表面处理方法之一,阳极氧化处理过程实际上是合金产品的表面腐蚀过程。铝合金的微观组织决定其阳极氧化性能的优劣,均匀细小的晶粒组织有利于获得更高质量的氧化膜层。另外,第二相的存在会对其阳极氧化效果产生重要影响,主要因为第二相与基体之间的电位差存在差别,并且粗大的第二相易在阳极氧化过程中发生局部腐蚀,降低氧化膜层的质量^[13,14]。通过试样表面色差和膜层厚度可以表征合金的阳极氧化性能。分别对 4 种成分的 Al-Mn 合金试样进行阳极氧化试验,对试样表面色差 ΔE 及阳极氧化膜厚度 d 进行检测。计算如下:

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2} \tag{2}$$

式中, L 为试样明度,数值越大,试样越白; a 为试样红绿值,数值越大,试样越红; b 为试样黄蓝,数值越大,试样越黄。差值为测试数据与标准色卡的差值。 ΔE 越小,表示色差越小。

表面色差及第二相的面积比结果见图 12。可以看出,随着 Mn 含量增加,合金中的第二相比比例增加,当

Mn 含量为 1.7% 时合金的表面色差最小。由金相组织照片可以看出,当 Mn 含量 $< 2.0\%$ 时,合金中第二相数量随着 Mn 含量的增加而增加且分布更加均匀,第二相尺寸细小;当 Mn 含量 $\geq 2.0\%$ 时出现粗大的 Al_6Mn 相,不仅破坏组织的连续性和均匀性,而且增加了发生局部腐蚀的可能性,导致第二相附近的基体优先被氧化,合金的色差值随之增大^[15,16]。另外,合金的晶粒尺寸大小对阳极氧化性能影响明显,晶粒粗大且分布不均匀的合金组织因其不同的晶粒取向在阳极氧化后表现

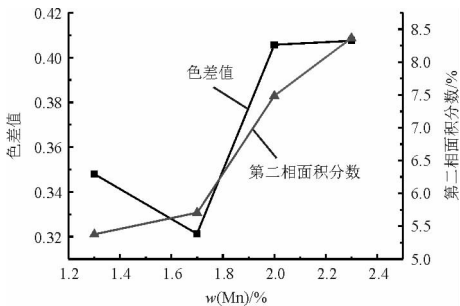


图 12 不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金色差值与第二相面积分数
Fig.12 Color difference value and area ratio of secondary phase in the Al-Mn alloy with different Mn contents

出更加明显的色差,而均匀细小的晶粒组织晶界短、面积大,阳极氧化时溶解速度快,生成的阳极氧化膜厚且颜色均匀^[17]。根据图 6 的晶粒尺寸统计结果,当 Mn 含量为 1.7% 时合金的晶粒尺寸远小于 Mn 含量为 1.3% 的且分布较均匀。综合第二相和晶粒组织分析结果可以看出,当 Mn 含量为 1.7% 时,合金微观组织更均匀,阳极氧化效果更好。

Al-Mn 合金的阳极氧化膜厚度测试结果见表 3。在相同电流和温度条件下,4 种成分的 Al-Mn 合金的表面色差值均小于 0.5 且阳极氧化膜的厚度均超过 10 μm 。

表 3 不同 Mn 含量的 Al-Mn 合金阳极氧化膜厚度

Tab.3 Anodic oxidized film thickness of Al-Mn alloy with different Mn content

$w(\text{Mn})/\%$	阳极氧化膜厚度/ μm
1.3	14.78
1.7	15.68
2.0	13.23
2.3	12.35

3 结 论

(1)随着 Mn 含量增加,Al-Mn 合金的流动性先提高后降低,当 Mn 含量为 2.0% 时流动性最好,可以达到同水平条件下 ADC12 合金的 97%,满足工业化压铸生产要求。

(2)Al-Mn 系合金中第二相以 Al_6Mn 和 Al-Mn-Fe 相为主,当 Mn 含量 $\geq 2.0\%$ 时第二相明显粗大。

(3)随着 Mn 含量增加,Al-Mn 合金的抗拉强度和屈服强度先增加后降低,伸长率明显降低,当 Mn 含量为 1.7% 时合金的综合力学性能最好,屈服强度、抗拉强度、伸长率分别达到 53 MPa、122 MPa、31%。

(4)4 种 Mn 含量的 Al-Mn 合金色差值均低于 0.5,且阳极氧化膜厚度均大于 10 μm ,当 Mn 含量为 1.7% 时合金的阳极氧化性能最好。

参 考 文 献

[1] 王祝堂,田荣璋. 铝合金及其加工手册[M].长沙:中南工业大学出版社,2003.

[2] 唐智骄. Al-Mn 系铝合金的合金化与性能研究[D].南京:东南大学,2014.

[3] 张士俊. 高压压铸高硅铝合金的研究[D].济南:山东大学,2008.

[4] AGGERBECK M, CANULESCU S, DIRSCHERL K, et al. Appearance of anodised aluminium: Effect of alloy composition and prior surface finish[J]. Surface and Coatings Technology, 2014, 254:28-41.

[5] VEYS-RENAUX D, CHAHBOUN N, ROCCA E. Anodizing of multiphase aluminium alloys in sulfuric acid: in-situ electrochemical behavior and oxide properties[J]. Electrochimica Acta, 2016;

211-216.

[6] 戚鹏飞. 可阳极氧化 Al-Mn 系铸造铝合金的流动性及力学性能研究[D].广州:华南理工大学,2018.

[7] 黄毅. Ti/Sc 合金化对 Al-Mn 铸造铝合金的流动性及阳极氧化性能影响研究[D].广州:华南理工大学,2019.

[8] 洪丽华,陈永禄. 阳极氧化对压铸铝合金电解着黑色工艺的影响[J].福建工程学院学报,2010, 8(1): 43-47.

[9] 邢泽炳,聂祚仁,邹景霞,等. 微量的稀土元素 Er 对 Al-Mn 合金组织与性能的影响[J].铸造,2007, 56(11): 1 207-1 210.

[10] L.F.蒙多尔福. 铝合金的组织与性能[M]. 王祝堂译. 北京:冶金工业出版社,1988.

[11] 李文芳,戚鹏飞,杜军,等. Al-Mn 合金的熔体流动性及凝固特性[J].华南理工大学学报(自然科学版),2017, 45(11): 71-76,85.

[12] 刘楚明,蒋树农,陈志永,等. 铝合金相图集[M]. 长沙:中南工业大学出版社,2014.

[13] KULA A, BLAZ L, LOBRY P. Structure and properties studies of rapidly solidified Al-Mn alloys[J]. Key Engineering Materials, 2016, 682: 199-204.

[14] BIRBILI N S, BUCHHEIT R G. Electrochemical characteristics of intermetallic phases in aluminum alloys: an experimental survey and discussion[J]. 2005, 152(4): 156-162.

[15] 朱祖芳,蔡应铎. 合金成分与组织结构对铝合金阳极氧化的影响[J].有色金属加工,2004, 33(2): 31-33.

[16] HABAZAKI H, SHIMIZU K, SKELDON P, et al. Effects of alloying elements in anodizing of aluminium[J]. Transactions of the IMF, 1997, 75(1): 18-23.

[17] 张超,黄生华. 铝合金粗晶环造成的阳极氧化膜外观缺陷分析[J]. 电镀与环保,2018, 38(5): 71-72.

(编辑:张正贺)

国内最大规格高强高韧铝合金
圆铸棒在新疆众和研制成功

随着我国航天重大科技工程战略的实施,大型铝合金环锻部件作为运载火箭贮箱的核心构件,研制变得尤为迫切。

2018 年底,依托中国有研科技集团有研金属复材技术有限公司先进的铝合金熔铸技术,以及新疆众和高纯铝产业优势,共同开发了应用于国家重大装备制造领域的 2 系、7 系大规格高强高韧铝合金铸棒产品。截至目前,新疆众和可稳定生产 $\phi 90\text{ mm}\sim\phi 880\text{ mm}$ 不同规格的 2219、7050 等多种合金牌号的铸棒产品,整体低倍晶粒度全部达到 1 级以上,部分相关产品已实现进口替代,在产业链、供应链自主可控方面作出了突出贡献。

据悉,本次成功试制国内最大规格 $\phi 1\,400\text{ mm}$ 高强高韧铝合金圆铸棒具有比强度高、低温和高温力学性能好,断裂韧度高,抗应力腐蚀性能好等特点,适用于在 315 $^{\circ}\text{C}$ 下工作的结构件、高强度焊接件。这标志着新疆众和在先进结构材料领域的布局逐渐展开,高合金化产品生产工艺达到国内领先水平,为拓展航天产业发展空间、提升航天科技整体水平应用奠定了坚实的技术基础。

(摘自中国有色网)