

Cr 对高真空压铸 AlSi7MgMn 组织和力学性能的影响

郑凌波 赵海东

(华南理工大学国家金属材料近净成形工程技术研究中心)

摘 要 采用高真空压铸制备了不同 Cr 含量的 AlSiMgMnCr 合金,通过扫描电镜(SEM)和透射电镜(TEM)对合金微观组织和析出相进行研究,统计了合金组织中的 Fe 相面积分数和等效圆直径。结果表明,随着 Cr 含量增加,T6 态下合金的屈服强度提升,抗拉强度维持稳定,伸长率明显下降;另外,铝基体中铁相的面积分数和等效直径尺寸变大;加入 Cr 后合金形成含 Cr 的析出相,其抑制时效时 β'' 相的生长,使 β'' 相在铝基体中的均匀性下降。

关键词 高真空压铸;力学性能;组织;AlSi7MgMn 合金

中图分类号 TG249.2;TG146.21 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.03.021 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Effects of Cr on Microstructure and Mechanical Properties of High Vacuum Die Casting AlSi7MgMn

Zheng Lingbo, Zhao Haidong

(National Engineering Research Centre of Near-net Shape Forming for Metallic Materials, South China University of Technology)

Abstract: The AlSiMgMnCr alloy with different Cr contents was prepared by high vacuum die casting. The microstructure and precipitated phase of the alloy were investigated by SEM and TEM. The area fraction and equivalent diameter of iron phase in the alloy with different Cr content were calculated. The results reveal that with the increase of Cr content, the yield strength of the T6 state alloy is increased and the tensile strength keeps stable, while the elongation is decreased significantly. With the increase of Cr element, the area fraction and equivalent diameter of iron phase in aluminum matrix are increased. Cr element was added into the alloy to form the precipitated phase containing Cr, which inhibited the growth of β'' phase in the aging stage, and the uniformity of β'' phase in aluminum matrix was decreased.

Key Words: High Vacuum Die Casting, Mechanical Properties, Microstructure, AlSi7MgMn Alloy

随着社会对能源消耗的重视,汽车的轻量化越来越受到关注^[1],采用铝合金压铸件代替铸铁件能够有效地降低汽车的自重。但是压铸过程容易出现卷气现象,滞留在铸件中的气体形成孔洞危害材料力学性能^[2~4]。在随后的热处理过程中,压铸件表层会起泡^[5],严重时甚至导致铸件报废。高真空压铸能降低液体金属充型时的型腔气体压力,大量减少卷入气体的量,降低后续热处理的难度,进一步提升铸件性能。

AlSiMg 系合金具有铸造性能、综合力学性能和耐腐蚀性良好等特点,可以通过固溶时效处理进一步提升其力学性能。AlSi10MgMn 是最常见的 AlSiMg 系压铸合金,XU J J 等^[6]通过正交分析研究了时效和固溶

处理参数对 AlSiMgMn 合金组织和性能的影响。BOSCH D 等^[7]对不同 Mn 含量的 AlSi10Mg 合金进行研究,发现当 $w(\text{Mn})/w(\text{Fe})$ 为 1 时合金具有最佳力学性能。近年来,低 Si 含量合金的高真空压铸受到研究者的关注。降低 Si 含量可增加 α -Al 基体,降低共晶相含量,通过微合金化调控 α -Al 基体中的多种弥散析出相,提高 AlSiMg 合金的性能。在一定 Fe、Mn 含量的 Al-Si 铸造合金中,加入 Cr 元素会生成粗大沉积相危害合金的性能^[8]。但也有研究指出,Cr 的添加有积极作用。压铸合金中添加适量 Cr 可减少模具的粘模倾向,还可将 Al-Si 合金枝晶间针状的 β - Al_5FeSi 相转变成危害更小的 α -Fe 相^[9]。LI Y G 等^[10]在 Al-Si 合金中加

收稿日期:2020-10-22;修改稿收到日期:2020-11-25
基金项目:广东省重点领域研发计划资助项目(2020B010186002);佛山市核心攻关技术项目(1920001001040)
第一作者简介:郑凌波,男,1995 年出生,硕士研究生,广州(510641),E-mail: lingbozheng1995@163.com
通信作者:赵海东,男,1970 年出生,教授,广州(510641),E-mail: hdzhao@scut.edu.cn
引用格式:郑凌波,赵海东. Cr 对高真空压铸 AlSi7MgMn 组织和力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(3):359-364.
ZHENG L B, ZHAO H D. Effects of Cr on microstructure and mechanical properties of high vacuum die casting AlSi7MgMn[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(3):359-364.

入质量分数为 0.5% 的 Cr 和 0.8% 的 Fe,通过 XRD 发现合金中新生成的 α -Al-(Cr,Fe)-Si 相是体心立方结构且有利于改善合金塑性。此外,Cr 可在锻铝的均匀化和铸造铝合金的固溶处理过程中生成弥散沉淀相,由于其与铝基体不共格,通常被认为没有强化效果。MARILAURA T 等^[11]在 Al-3Si-0.6Mg 铸造铝合金中添加 0.28% 的 Cr 和 0.12% 的 Mn,发现固溶过程中形成的含 Cr 弥散沉淀相导致硬度(HV)提升了 5,较低的加热速度使得弥散相更为均匀。ZHAN H Y 等^[12]在 Al-5Si-0.5Mg 合金中添加 0.25% 的 Cr,发现固溶处理加水淬后的合金硬度(HV)提升超过 10,含 Cr 的析出相抑制后续固溶时效强化效果。但是,在高真空压铸低硅铝合金中添加 Cr 元素研究报道较少,因此本课题通过高真空压铸制备不同 Cr 含量的合金试样,采用 SEM 和 TEM 分析 Fe 相和含 Cr 析出相,研究 Cr 元素对合金微观组织和力学性能的影响。

1 试验制备与设备

1.1 压铸试验

采用的原材料为纯铝锭、Al-10Si-0.6Mn-0.3Mg 铸锭、Al-50Mg、Al-10Mn 和 Al-10Cr 中间合金。采用 TOYO BD-250 压铸机,配备万达真空设备,压铸过程实际测得的真空度为 4.8 kPa。具体试验步骤如下:首先将称量好的纯铝锭、Al-10Si-0.6Mn-0.3Mg 铸锭、Al-10Mn 和 Al-10Cr 中间合金放入电阻炉中升温到 200℃保温 15 min 除去水汽,继续升温至熔化;铝液温度至 700℃加入 Al-50Mg 中间合金搅拌均匀后,保温 10 min;加入除渣剂随后通入高纯氩气除气;模具温度控制在 180℃左右,铝液温度达到 690℃进行高真空压铸试验(高速速度为 2 m/s,增压压力为 80 MPa)。压铸试样制备采用拉伸试样模具,其装配图见图 1,铸件为 4 根拉伸试样和一块矩形片状试样,从左到右拉伸试样厚度依次为 2、8、4、6 mm,前期试验结果表明,厚度为 4 mm 的拉伸试样力学性能最佳^[13],因此选用 4 mm 试

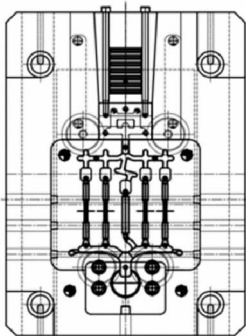


图 1 高真空压铸试验模具装配图

样用于力学性能测试和微观组织分析。3 组高真空压铸合金成分见表 1,拉伸试样见图 2。

表 1 AlSiMgMnCr 合金的化学成分
Tab.1 Chemical composition of AlSiMgMnCr alloy with different Cr content %

编号	w _B							%
	Si	Mg	Fe	Mn	Cr	Ti	Sr	
1	6.974	0.301	0.063	0.640	0.004	0.09	0.01	余量
2	7.127	0.305	0.067	0.648	0.104	0.09	0.01	余量
3	6.940	0.287	0.067	0.627	0.181	0.09	0.01	余量

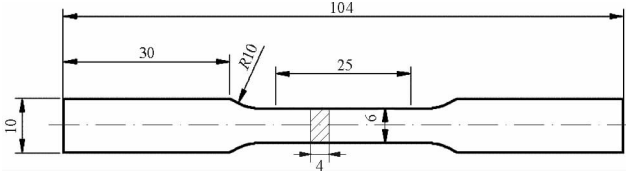
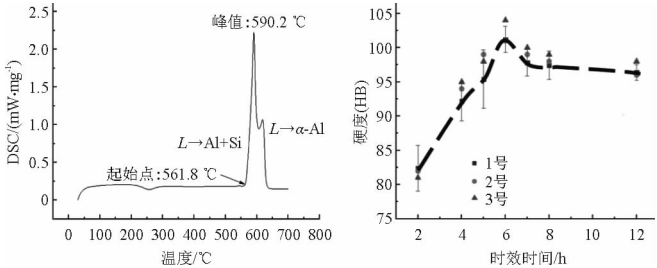


图 2 拉伸试样尺寸
Fig.2 Dimension of tensile specimens

1.2 热处理试验

AlSiMg 合金通过固溶时效处理,可提高其综合力学性能,见图 3。根据图 3a 的 DSC 分析,得出 1 号合金固相线温度为 561.8℃,为了防止合金过烧,固溶温度比固相线温度低 20℃左右,因此选择固溶温度为 540℃。固溶时间为 8 h,时效温度为 180℃^[14]。由图 3b 可知,不同 Cr 含量合金的峰值时间均为 6 h,增加 Cr 含量未明显提升时效硬度值,其中 6 h 峰值时效时 3 号合金硬度(HB)最大,为 105。确定热处理工艺为 540℃×8 h 固溶,180℃×6 h 时效。具体的热处理工艺过程为:由室温以 10℃/min 的升温速率升温 30 min 达 320℃,继续 30 min 升温至 540℃,保温 8 h 后取出进行 65℃水淬,最后放入保温炉中随炉升温至 180℃保温 6 h 取出空冷。



(a) 1 号合金的 DSC 曲线 (b) 时效硬度曲线

图 3 1 号合金的 DSC 曲线和 1~3 号合金在 180℃的时效硬度曲线

Fig.3 DSC curves and aging hardness curves of Al-7Si-0.6Mn-0.3Mg alloy at 180℃

1.3 组织和性能分析

微观组织主要通过 Leica DM3000M 光学显微镜(OM)、FEI NONA430 扫描电镜(SEM)和透射电镜(TEM)进行观察,试样取自拉伸试样标距段,经过砂纸

打磨、抛光后,经无水乙醇清洗,用体积分数为 0.5% 的 HF 酸溶液腐蚀 15 s 左右。TEM 试样直径为 3 mm 的薄圆片,依次通过机械减薄、离子减薄处理完成试样制备。DSC 试样尺寸为 $\phi 3\text{ mm}\times 2\text{ mm}$,采用 NETZSCH STA449C 同步热分析仪,加热速率为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$,保护气氛为氩气,升温范围为 $20\sim 720\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。采用 HB-3000B 数显布氏硬度计进行硬度测试,AG-X 100KN 万能材料试验机进行力学测试,试样拉伸速度为 $2\text{ mm}/\text{min}$,取 5 根试样测试结果的平均值。

2 微观组织观察与分析

2.1 金相组织

图 4 和图 5 分别为不同 Cr 含量高真空压铸试样的铸态与 T6 态金相组织。可以看出,合金组织主要为 α -Al 基体和 Al-Si 共晶组织。其中 α -Al 有两种形态^[15]:尺寸较大的 α_1 -Al 和尺寸较小但外形较圆整的 α_2 -Al。粗大的 α_1 -Al 称为压室预结晶,形成原因是少部分的铝液在压室内开始形核,由于其生长时间相对较长,最终形成较为粗大的 α -Al;而 α_2 -Al 是金属液在模具型腔内形核,生长时间短且所处的模具冷却速度快,导致尺寸细小圆整。共晶组织间分布金属间化合物 α -Fe 相,T6 热处理后 Si 粒子的形貌由纤维状变为破碎的球状,降低合金在外力作用下的应力集中,对材料性

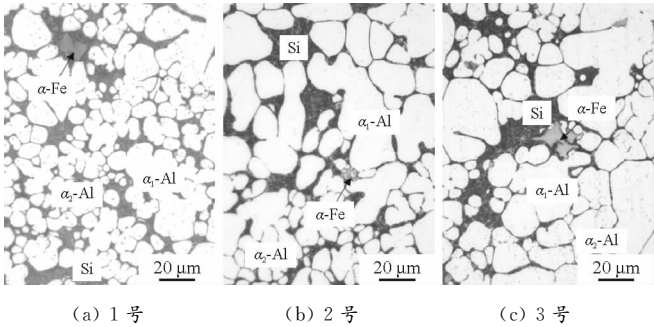


图 4 不同 Cr 含量高真空压铸试样的金相组织
Fig.4 As-cast microstructure of high vacuum die casting Al alloy with different Cr contentat

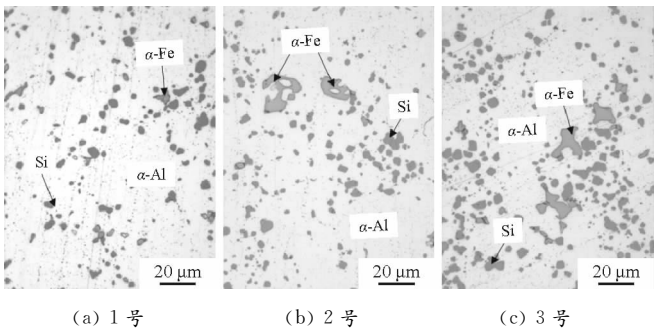


图 5 不同 Cr 含量高真空压铸试样的 T6 态金相组织
Fig.5 Microstructure of T6 treated high vacuum die casting Al alloy with different Cr contentat

能的提升有益。通过金相组织观察,发现添加 Cr 元素对 α -Fe 相的尺寸会有一定影响,后续通过背散射照片统计 Fe 相大小和数量分布,对其进行定量分析。

2.2 SEM 组织

图 6 是铸态下 3 组试样的背散射照片。可以看出,随着 Cr 含量增加,合金组织中 Fe 相的面积分数占比增加,Fe 相开始出现团聚现象。表 2 为统计多张背散射照片关于 Fe 相特征。可以看出,1 号试样 Fe 相面积分数为 0.263%,3 号试样面积分数是 1 号试样的 5 倍;3 号试样的 Fe 相等效圆直径为 $3.5\text{ }\mu\text{m}$,而 1 号合金等效直径为 $2.3\text{ }\mu\text{m}$;3 组试样 Fe 相长宽比变动较小。

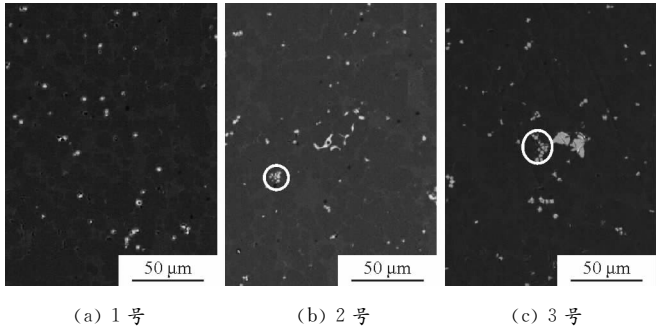


图 6 不同 Cr 含量高真空压铸试样的背散射照片
Fig.6 BSE of as-cast high vacuum die casting Al alloy with different Cr content

表 2 不同 Cr 含量合金高真空压铸的 Fe 相特征统计
Tab.2 Fe phase characteristics of high vacuum die casting Al alloy with different Cr content

编号	$w(\text{Cr})/\%$	面积分数/ $\%$	等效圆直径/ μm	长宽比
1	0.004	0.263	2.304	1.818
2	0.104	0.946	2.617	1.646
3	0.181	1.423	3.508	1.657

2.3 TEM 组织

3 号试样时效峰值时的 TEM 明场及 β'' 高分辨的傅里叶变换图见图 7。从图 7a 可以看出,TEM 观察在 $\langle 001 \rangle_{\text{Al}}$ 方向上进行,从明场照片中看到铝基体中均匀分布着长度为 25 nm ,直径为 3 nm 左右的针状纳米析出相。铸造 AlSiMg 合金峰值时效时,铝基体会析出细针状 β'' 的纳米相, β'' 是单斜结构,晶格常数 $a=1.516\text{ nm}$, $b=0.405\text{ nm}$, $c=0.674\text{ nm}$ 。从图 7b 可以看出,与其他研究者结果基本一致^[16,17],判断纳米析出相为 β'' 相。固溶时效析出的 β'' 相是铝合金热处理后强度提升的主要原因,弥散析出相数量越多、分布越均匀,则铝合金时效强化效果越好、力学性能提升越明显^[18]。

图 8 为 3 号试样的 T6 态下含 Cr 析出相的明场像及其衍射花样,图 9 为含 Cr 析出相的 EDX 测量结果。从图 9 可以看出,析出相中 Mn 含量明显高于 Fe 含量, $w(\text{Mn})/w(\text{Fe})$ 比在析出相中大于 5。通过电子衍射花

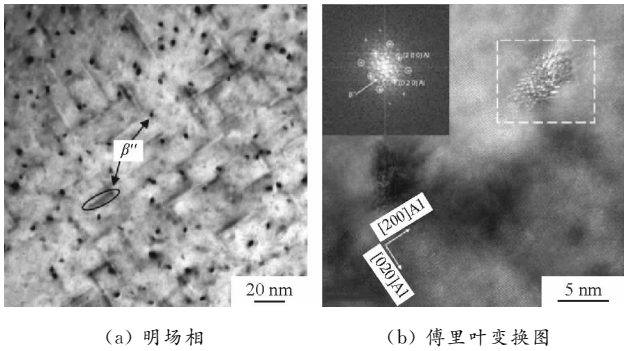


图 7 3 号合金的峰值时效时的 TEM 明场像及 β'' 高分辨率傅里叶变换图

Fig.7 TEM image of No.3 alloy with peak aging treatment and Fourier exchange of high resolution β'' phase

样进行分析发现,体心立方结构 α -Al(Fe,Mn)Si 的晶格常数在 1.256~1.265 nm 之间^[19]。通过对 3 号试样衍射花斑的标定,测得其晶格常数为 1.264 nm,因此 AlSi7MgMnCr_x 中的析出相也为体心立方结构,由于 Cr、Mn、Fe 过渡族元素在晶格中可以相互替代,所

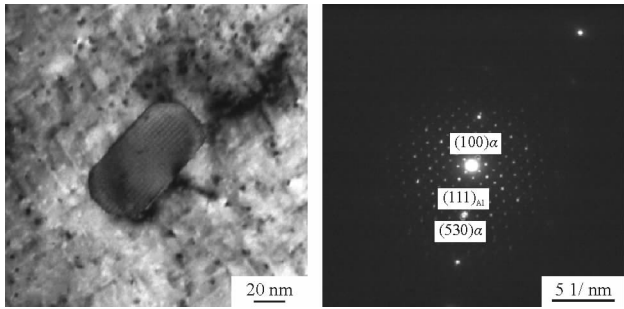


图 8 T6 态下方块析出相的 TEM 明场像和选区电子衍射花样
Fig.8 TEM images of blocky phase in the T6 alloy and EBSD

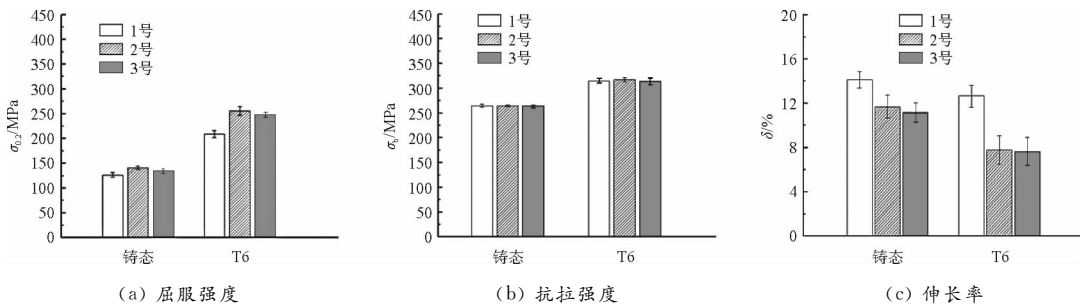


图 10 不同 Cr 含量高真空压铸合金力学性能

Fig.10 Mechanical properties of the high vacuum die casting Al alloy with different Cr content at different states

基体中 Fe 相的等效圆直径和面积分数,合金中脆硬的 Fe 相在外力作用下易出现应力集中,不利于材料的塑性改善。再加上 Cr 含量的提升,使得 Fe 相出现团聚,聚集的 Fe 相颗粒易分离作为裂纹形成或者扩展的位置,也同样降低材料塑性。这两方面因素导致,随 Cr 含量增加,合金铸态和 T6 态伸长率下降。热处理后基体中析出纳米强化相,阻碍位错运动,提高强度,但同时降低合金塑性,因此 T6 热处理后合金强度升高,塑性降

以其析出相为 α -Al(Mn,Cr,Fe)Si。其与基体的位相关系为: $\langle 110 \rangle_{Al} // \langle 001 \rangle_{Al(Mn,Fe,Cr)Si}$, $\{111\}_{Al} // \{530\}_{Al(Mn,Fe,Cr)Si}$

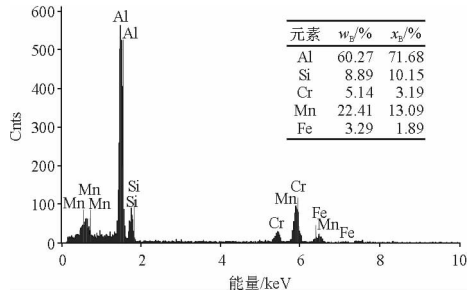


图 9 含 Cr 析出相的能谱曲线
Fig.9 EDS of the precipitates containing Cr

3 力学性能分析

3.1 力学性能

图 10 为不同 Cr 含量 3 种试样铸态和 T6 态的力学性能。可以看出,T6 热处理后合金整体强度上升,伸长率下降。铸态下 3 号试样屈服强度和抗拉强度基本相当,3 号试样屈服强度、抗拉强度和伸长率分别为 135 MPa、266 MPa、12.35%,其中 2 号试样相对于 1 号试样伸长率下降了 20.9%。T6 态合金中,随着 Cr 含量增加,屈服强度先增加后略有降低,抗拉强度变化较小,伸长率下降明显。T6 态 2 号试样屈服强度为 256 MPa,1 号试样伸长率为 11.97%,3 组试样抗拉强度均为 316 MPa。相较于 1 号试样,2 号合金屈服强度提升了 22.5%,伸长率下降了 35.7%。

由图 6 和表 2 可知,合金中添加 Cr 元素提高了铝

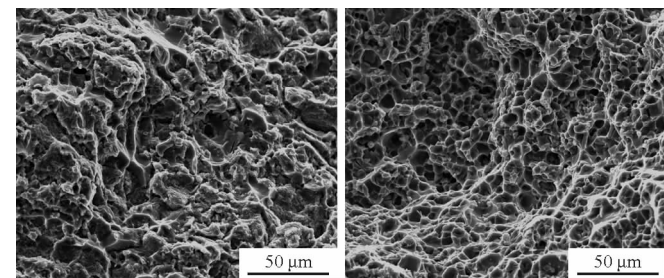
低。

TEM 组织分析表明,通过 T6 热处理后铝基体中分布大量弥散分布的 β'' 相,而弥散析出相数量越多分布越均匀,则铝合金时效强化效果越好,T6 热处理后合金整体抗拉强度明显提高,主要原因是时效处理后铝基体中析出大量弥散的 β'' 相,弥散细小的 β'' 相颗粒阻碍合金变形过程中的位错运动,从而提升合金的强度。其中,含 Cr 的方块状析出相尺寸超过 50 nm,析出相周围

区域未出现纳米析出相 β'' , 表明其消耗 Si 原子抑制 β'' 的弥散析出, 而且大块含 Cr 析出相周围 β'' 析出相的均匀性下降。由于上述两方面原因, 3 号合金中的方块析出相 Al(Mn,Cr,Fe)Si 对铝合金的时效强化会有不利影响, 但由于方块析出相在铝基体中的数量很少, T6 热处理后铝合金基体中主要以弥散析出的 β'' 相为主, 含 Cr 的方块析出相对 T6 热处理后合金影响较小, 因此 T6 态试样抗拉强度变化很小。

3.2 拉伸断口分析

3 组试样断口形貌相似, 选取 1 号试样铸态和 T6 态断口进行分析, 见图 11。可以看出, 铸态拉伸断口存在大量不规则的撕裂棱和平坦的小平面, 是典型的准解理断裂。准解理断裂介于解理断裂和韧窝断裂之间, 裂纹在应力集中位置形核沿着解理面扩展, 最终通过塑性聚合的方式微裂纹彼此之间连接, 形成短而弯曲的撕裂棱。与铸态拉伸断口形貌完全不同, 热处理后断面分布大量高密度细小而均匀的韧窝, 是典型的韧性断裂。在扫描电镜下能观察到韧窝底部存在夹杂物或者析出相粒子(都称为异相颗粒)。受到外力作用时, 铝基体发生塑性变形, 基体与异相颗粒周围产生大的应力集中, 致使界面分开或者异相颗粒出现折断而形成微孔。随后塑性变形继续, 微孔扩大和连接, 当微孔大到一定程度时最终导致材料断裂。



(a) 铸态 (b) T6 态

图 11 1 号试样拉伸断口形貌

Fig.11 Typical tensile fracture morphology of the No.1 alloy

4 结 论

(1) 随着 Cr 含量提高, 高真空压铸 AlSi7MgMn 试样铸态下屈服和抗拉强度波动较小, 伸长率下降; T6 态下屈服强度提升, 抗拉强度基本不变, 伸长率明显下降。

(2) Cr 含量由 0 增加到 0.18% 时, AlSi7MgMn 合金微观组织中的 Fe 相面积分数和等效圆直径增大, Fe 相出现团聚现象, 团聚的 Fe 相颗粒作为裂纹形成或扩展的位置, 大大降低材料的塑性。

(3) 高真空压铸 AlSiMgMnCr 合金经 T6 热处理后弥散析出的 β'' 相是其抗拉强度提升的主要原因, 方块状的 Al(Mn,Cr,Fe)Si 析出相对 β'' 相的形成有抑制作

用, 其周边的 β'' 相分布均匀性下降。

参 考 文 献

- [1] 杜行. 新型材料和工艺在汽车轻量化中的应用[J]. 科技创新与应用, 2019(5): 148-150.
- [2] ZHAO H D, WANG F, LI Y Y, et al. Experimental and numerical analysis of gas entrapment defects in plate ADC12 die castings[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(9): 4 537-4 542.
- [3] 张百在, 万里, 黄志恒. 大型复杂铝合金汽车动力部件的压铸技术开发[J]. 特种铸造及有色合金, 2009, 29(11): 1 030-1 032.
- [4] 杨润生, 赵海东, 李史华. 压铸 ADC12 转向器数值模拟及微观孔洞的研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2017, 37(1): 70-74.
- [5] WAN L, HU Z Q, WU S S. Mechanical properties and fatigue behavior of vacuum-assist die cast AlMgSiMn alloy[J]. Materials Science and Engineering, 2013, A576: 252-258.
- [6] XU J J, PAN Y, LU T. Synergistic effects of composition and heat treatment on microstructure and properties of vacuum die cast Al-Si-Mg-Mn alloys[J]. China Foundry, 2018, 18(2): 117-122.
- [7] BOSCH D, POGATSCHER S, HUMMEL M. Secondary Al-Si-Mg high-pressure die casting alloys with enhanced ductility[J]. Metallurgical and Materials Transactions, 2015, A46(3): 1 035-1 045.
- [8] HYUN Y K, SANG W H. The influence of Mn and Cr on the tensile properties of A356-0.20Fe alloy[J]. Materials Letters, 2006, 60(15): 1 880-1 883.
- [9] EIDHED W. Modification of β -Al₅FeSi compound in recycled Al-Si-Fe cast alloy by using Sr, Mg and Cr additions[J]. Journal of Materials Science and Technology, 2008, 24(1): 45-47.
- [10] LI Y G, YANG Y, WU Y Y. Supportive strengthening role of Cr-rich phase on Al-Si multicomponent piston alloy at elevated temperature[J]. Materials Science and Engineering, 2011, A528(13-14): 4 427-4 430.
- [11] MARIALaura T, RICCAEDO D, GIULIANO A. Effect of Cr and Mn addition and heat treatment on AlSi3Mg casting alloy[J]. Materials Characterization, 2017, 123: 75-82.
- [12] ZHAN H Y, HU B. Analyzing the microstructural evolution and hardening response of an Al-Si-Mg casting alloy with Cr addition[J]. Materials Characterization, 2018, 142: 602-612.
- [13] 葛继龙. 压铸速度对 ADC12 压铸件微观组织与力学性能的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.
- [14] WU X Y, ZHANG H R, MA Z. Interactions between Fe-rich intermetallics and Mg-Si phase in Al-7Si-xMg alloys[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2019, 786: 205-214.
- [15] DONG X X, YANG H L. High strength and ductility aluminium alloy processed by high pressure die casting[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2019, 733: 86-96.
- [16] CHEN R, XU Q Y, GUO H T. Correlation of solidification microstructure refining scale, Mg composition and heat treatment conditions with mechanical properties in Al-7Si-Mg cast aluminum alloys[J]. Materials Science and Engineering, 2017, A685: 391-402.
- [17] WENG Y Y, JIA Z H, DING L P. Effect of Ag and Cu additions on natural aging and precipitation hardening behavior in Al-Mg-Si alloys[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2017, 695: 2 444-2 452.

热处理对 WE43 镁合金显微组织和力学性能的影响

王征远 秦守益 王先飞 余国康 何 凯 曾柏栋 陈加运 蒋李超 吴晓松 王 林
(上海航天精密机械研究所)

摘 要 采用低压铸造制备了 WE43 镁合金,使用 OM、SEM、EDS 研究了热处理前后合金的显微组织及元素分布情况,并对其力学性能进行测试,分析热处理对其力学性能的影响。结果表明,WE43 镁合金铸态组织主要由 α -Mg 基体和晶界上的 $Mg_{24}Y_5$ 共晶相组成。经过 $520\text{ }^{\circ}\text{C}\times 10\text{ h}+225\text{ }^{\circ}\text{C}\times 14\text{ h}$ 热处理后,WE43 镁合金主要由 α -Mg 基体、方块相团簇、少量残余 $Mg_{24}Y_5$ 共晶相及针状的时效析出相组成。与铸态合金相比,热处理后 WE43 镁合金的抗拉强度和屈服强度显著提高,分别达到 305.9 MPa 和 191.8 MPa,但伸长率下降至 3.1%。

关键词 WE43 镁合金;热处理;显微组织;力学性能

中图分类号 TG146.22 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.03.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Influence of Heat Treatment on Microstructure and Properties of WE43 Magnesium Alloy

Wang Zhengyuan, Qin Shouyi, Wang Xianfei, Yu Guokang, He Kai, Zeng Baidong, Chen Jiayun, Jiang Lichao, Wu Xiaosong, Wang Lin
(Shanghai Spaceflight Precision Machinery Institute)

Abstract: The WE43 magnesium alloy was prepared by low-pressure die casting. The microstructure of WE43 magnesium alloy before and after heat treatment was observed by optical microscope, scanning electron microscope and energy dispersive spectroscopy. The effects of heat treatment process on mechanical properties of WE43 alloy were also analyzed. The results show that the as-cast microstructure of the alloy is composed of primary α -Mg and eutectic phase with $Mg_{24}Y_5$. With the heat treatment of $520\text{ }^{\circ}\text{C}\times 10\text{ h}+225\text{ }^{\circ}\text{C}\times 14\text{ h}$, the microstructure of the alloy is composed of primary α -Mg, cluster of square phase, residual eutectic phase with $Mg_{24}Y_5$ and aging precipitation phase. By heat treatment, the tensile strength and yield strength of the alloy are increased to 305.9 MPa and 191.8 MPa, respectively, and the elongation is decreased to 3.1%.

Key Words: WE43 Magnesium Alloy, Heat Treatment, Microstructure, Mechanical Properties

镁合金具有高阻尼、高比强度和比刚度、良好的电磁屏蔽性和机械加工性等特点,在航空航天、3C、汽车等对轻量化要求较高的领域得到广泛应用。但是,镁合金存在室温和高温强度偏低、耐蚀性差等问题,使其应用范围在一定程度上受到限制^[1~5]。

提高镁合金室温和高温强度最常用的方法之一是加入稀土元素,对其进行合金化,通过固溶强化和沉淀强化,提高镁合金的室温和高温强度、高温蠕变抗力,使

其拥有优良的综合力学性能^[6~8]。WE 系镁合金属于耐热镁合金,其主要合金元素为 Y、Nd、Gd 等稀土元素。Gd 在 Mg 中的固溶度较高,对镁合金的室温和高温力学性能均有较大提高;Y 在 Mg 中的作用与 Gd 类似,但与 Gd 相比,其密度较小,成本较低,可部分取代 Gd;Mg-Nd 二元合金可以时效析出 $Mg_{12}Nd$ 相,这种析出相硬度高、热稳定性好,可以显著提高镁合金的强度和高温蠕变抗力^[9~17]。本课题研究了热处理对 WE43

收稿日期:2020-09-10;修改稿收到日期:2020-10-22
第一作者简介:王征远,男,1991 年出生,助理工程师,上海(201600),E-mail:wang_z_y@yeah.net
通信作者:余国康,男,1988 年出生,工程师,上海(201600),E-mail:yuguokang6870482@163.com
引用格式:王征远,秦守益,王先飞,等. 热处理对 WE43 镁合金显微组织和力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(3):364-367.
WANG Z Y, QIN S Y, WANG X F, et al. Influence of heat treatment on microstructure and properties of WE43 magnesium alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(3):364-367.

[18] 胡宸,赵海东,王雪灵. Mg 含量对高真空压铸 AlSi10MgMn 合金时效强化的影响[J]. 中国有色金属学报, 2020, 30(7): 1 481-1 490.

[19] LI Y J, MUGGERUD A. Precipitation of partially coherent α -Al (Mn,Fe)Si dispersoids and their strengthening effect in AA 3003 alloy[J].Acta Materialia, 2012, 60(3): 1 004-1 014.

(编辑:张正贺)