

AlSi12(Fe)(a)与 AlSi10MnMg 合金压铸件在长期热环境下的力学性能

张作伟^{1,2} 方建儒¹ 张世恩¹
(1.大连亚明汽车部件股份有限公司;2.大连交通大学连续挤压教育部工程技术研究中心)

摘要 长期热环境会影响 AlSi12(Fe)(a)合金和 AlSi10MnMg 合金的力学性能。在相同的高压压铸工艺条件下制备合金。选择经过 500 h×120 ℃预处理的试样和普通试样进行力学性能测试。尽管预处理后 AlSi12(Fe)(a)合金试样的力学性能发生了变化,但是没有衰减到材料标准值以下。预处理后 AlSi10MnMg 合金试样的抗拉强度与屈服强度有所提高,但伸长率降低,且低于材料的标准值。

关键词 AlSi12(Fe)(a)合金; AlSi10MnMg 合金; 高压压铸(HPDC); 力学性能

中图分类号 TG146.21; TG249.2 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.10.020 开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Mechanical Properties of AlSi12(Fe)(a) and AlSi10MnMg Alloy Die Castings under Long-term thermal Environment

Zhang Zuowei^{1,2}, Fang Jianru¹, Zhang Shien¹
(1.Dalian Yaming Automotive Parts Co., Ltd.;

2.Engineering Research Center of Continuous Extrusion, Ministry of Education, Dalian Jiaotong University)

Abstract: The long-term thermal environment can affect the mechanical properties of AlSi12(Fe)(a) alloy and Al-Si10MnMg alloy. The experimental samples were prepared under the same high-pressure die-casting process conditions. Samples pretreated at 500 h×120 ℃ and ordinary samples were measured. Although the mechanical properties of AlSi12(Fe)(a) alloy samples are varied after pretreatment, which is higher the standard value. The tensile strength and yield strength of AlSi10MnMg alloy samples after pretreatment are improved, while the elongation is decreased below the standard value.

Key Words: AlSi12(Fe)(a) Alloy, AlSi10MnMg Alloy, High Pressure Die Casting(HPDC), Mechanical Properties

铝合金由于具有良好的成形性、可加工性、焊接性和非常好的耐腐蚀性,在工业中得到广泛应用。未来几年,电动汽车的铝消耗量将持续增加,体现在车身部件和电池容器中。电池外壳采用压铸铝合金件,如 Al-Si10MnMg 合金零件^[1]。ZHAO X 等^[2]发现,铝合金高压压铸特别适合一体化零件整体成形。JI S X 等^[3]发现,熔炼和铸造过程中不可避免引入 Fe,尤其是在使用废料和回收材料时。ZHU X 等^[4]研究发现,Fe 是 Al-Mg 和 Al-Mg-Mn 合金中改善力学性能的有利元素。Fe 显著提高了合金的屈服强度,但明显降低了伸长率。也有研究发现,Si 含量的增加改善铸造合金的强度,但会降低硬度,同时降低铝合金的塑性^[5-6]。OUTMAN I 等^[7]研究表明,低压和低温使孔隙率增加,促进富铁金属间化合物的形成,改变 α-Al 相的形态,恶化合金力学

性能。压铸工艺参数与合金元素之间的相互作用对合金拉伸性能有显著影响。

目前,合金元素及压铸工艺条件对力学性能的影响,主要研究集中于短期生产过程。考虑零件的独特使用环境,讨论长期热环境对铝合金力学性能的影响的报道较少。因此,本研究对 AlSi12(Fe)(a)合金和 Al-Si10MnMg 合金试样在 500 h×120 ℃热处理后的力学性能进行比较,研究薄壁铝合金高压压铸件在长期热环境下的力学性能稳定性,可为此类新能源汽车薄壁压铸件的设计与优化提供参考。

1 试验材料与方法

根据 DIN EN 1706 标准^[8],回火等级:铸态,无热

收稿日期:2023-01-31;修改稿收到日期:2023-03-30
基金项目:大连亚明与梅赛德斯奔驰项目(EB42X)
第一作者简介:张作伟,男,1989 年出生,博士研究生,辽宁大连(116045),E-mail:599202993@qq.com
引用格式:张作伟,方建儒,张世恩. AlSi12(Fe)(a)与 AlSi10MnMg 合金压铸件在长期热环境下的力学性能[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(10): 1 435-1 437.
ZHANG Z W, FANG J R, ZHANG S E. Mechanical properties of AlSi12(Fe)(a) and AlSi10MnMg alloy die castings under long-term thermal environment[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(10):1 435-1 437.

处理。根据 GB/T 7999 标准,采用 Spectromaxx 光发射光谱分析方法测试合金的成分,结果见表 1。

表 1 试验合金的化学成分
Tab.1 Chemical compositions of the alloy %

合金	w_B							
	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Ti	Mg	Al
AlSi12(Fe)(a)	11.26	0.64	<0.01	0.27	<0.01	0.01	—	余量
AlSi10MnMg	10.17	0.16	0.02	0.55	0.21	<0.01	0.08	余量

在制备阶段采用统一的试生产条件,根据实际生产条件调整压铸工艺参数,采用与压铸件同批次熔化的铝合金液体压铸而成。非夹紧部分应无划痕、麻面、冷隔、裂纹、夹杂物和表面孔洞等缺陷。两端应打磨平整,并去除进料口和渣包口,尺寸示意图见图 1。根据零件交付状态的要求,不采用热处理。压铸机型号为 UB350iC,铝液浇注温度为 $(680\pm10)^{\circ}\text{C}$,模温机温度为 $(200\pm10)^{\circ}\text{C}$ 、真空度为 $(40\pm10)\text{ kPa}$,铸造压力为 $(95\pm10)\text{ MPa}$ 。

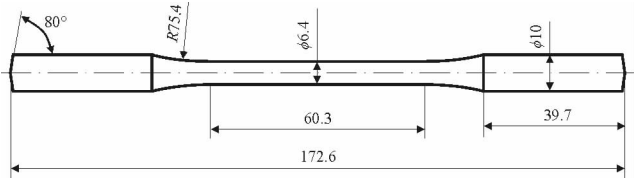
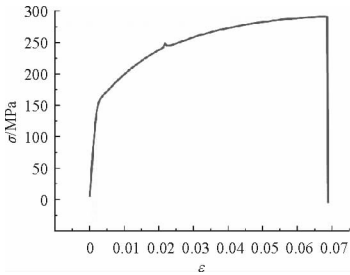
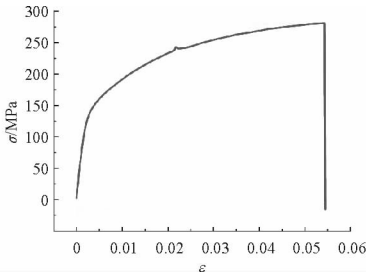


图 1 拉伸试样尺寸示意图
Fig.1 Schematic diagram of specimens

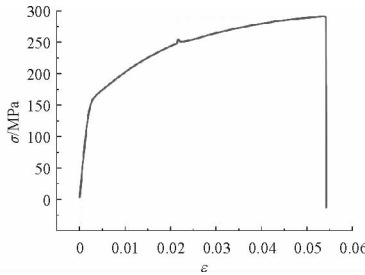
使用 FED-720 烘箱进行预处理,预处理参数为 $500\text{ h}\times120^{\circ}\text{C}$,并进行力学性能测试。实验室的环境条件设置为 $(23\pm5)^{\circ}\text{C}$ 和 $(50\%\pm25\%)$ (Rh 为湿度),分别测试 6 个 AlSi12(Fe)(a) 合金试棒和 6 个 AlSi10MnMg 合金试棒,其中,AlSi12(Fe)(a) 合金的 1 号~3 号试棒和 AlSi10MnMg 合金的 1 号~3 号试棒未经预处理;两种合金的 4 号~6 号试棒经预处理。使用



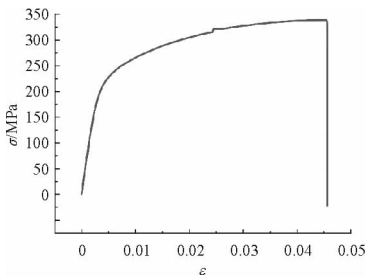
(a) 1 号



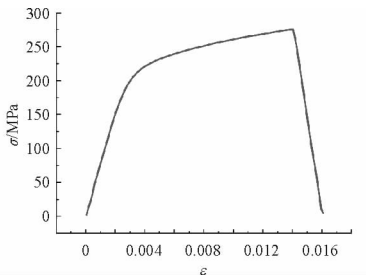
(b) 2 号



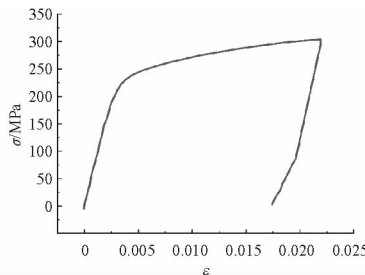
(c) 3 号



(d) 4 号



(e) 5 号



(f) 6 号

K2012967 数显游标卡尺测量试棒中部圆形截面的直径,使用 E45.305 电子万能试验机,测试试棒的力学性能。

2 试验结果与分析

在相同条件下比较并记录了铸态和长期热环境下存放后试棒的力学性能,见图 2 和图 3。表 2 和表 3 为

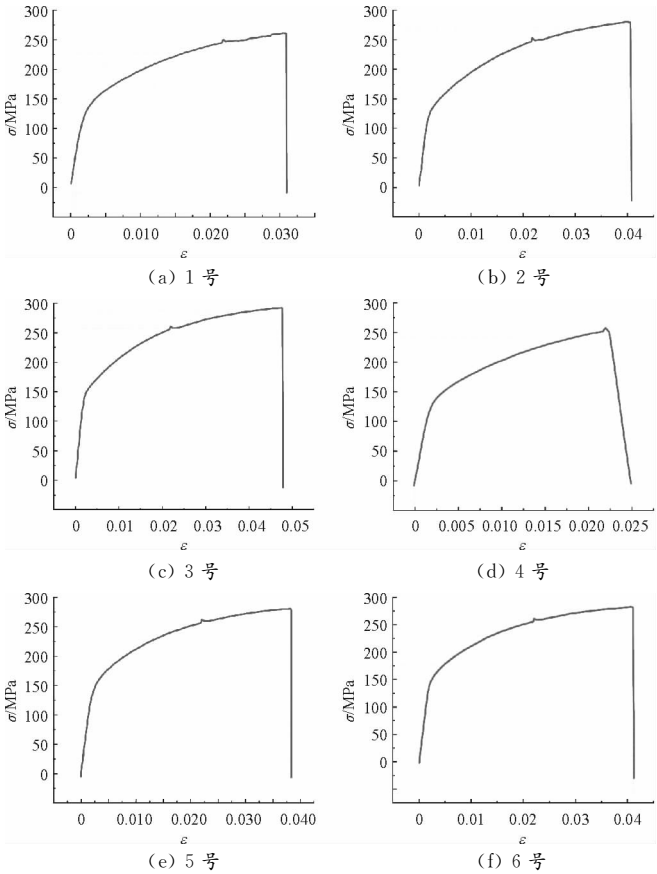


图 2 AlSi12(Fe)(a) 合金的力学性能
Fig.2 Mechanical properties of AlSi12(Fe)(a) alloy specimens

图 3 AlSi10MnMg 合金的力学性能
Fig.3 Mechanical properties of AlSi10MnMg alloy specimens

表 2 AlSi12(Fe)(a)合金的力学性能

Tab.2 Mechanical properties of AlSi12(Fe)(a) alloy specimens						
编号	状态	圆形截面 直径/mm	抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	伸长率/ %	符合 要求
要求	铸态	—	≥240	≥130	≥1.0	—
1	铸态	6.25	261	155	6.0	是
2	铸态	6.17	280	150	6.0	是
3	铸态	6.18	292	165	6.0	是
4	预处理	6.21	258	158	3.0	是
5	预处理	6.19	281	171	3.0	是
6	预处理	6.24	282	171	3.0	是

表 3 AlSi10MnMg 合金的力学性能

Tab.3 Mechanical properties of AlSi10MnMg alloy specimens						
编号	状态	圆形截面 直径/mm	抗拉强度/ MPa	屈服强度/ MPa	伸长率/ %	符合 要求
要求	铸态	—	≥200	≥120	≥5.0	—
1	铸态	6.33	291	168	6.5	是
2	铸态	6.35	281	153	6.5	是
3	铸态	6.25	291	169	6.5	是
4	预处理	6.25	339	229	3.5	否
5	预处理	6.23	276	231	3.0	否
6	预处理	6.23	305	243	3.0	否

两种合金的力学性能。

通过表 2 和表 3 的测试结果可知,预处理前材料的力学性能符合 DIN EN 1706 标准。预处理后,尽管 Al-Si12(Fe)(a)合金的力学性能有所下降,但仍满足要求,但 AlSi10MnMg 合金的伸长率低于 DIN EN 1706 标准。

ZHANG P 等^[9]发现,铝合金的力学性能通常与热处理条件和测试温度有关。HOFFER P 等^[10]发现,Al-Si10MgMn 合金比 AlSi12(Fe)(a)合金具有更高的塑性和更大的热膨胀系数。

AlSi12(Fe)(a)合金是一种具有高导热性和良好流动性的共晶 Al-Si 合金,具有优异的铸造成形性,能够形成复杂的薄壁零件,能够满足新能源汽车电池组件的生产要求。AlSi10MnMg 合金的热处理工艺会导致铸件变形和表面起泡问题,特别是随着压铸件体积增加,零件很难二次整形。因此,一方面,可以在铸态下直接使用非热处理压铸铝合金工艺,以避免上述问题,另一方面,减少零件热处理工艺也可以降低零件的制造成本。

电池在高功率运行时会产生更多热量,因此,新材料的应用和结构优化设计已成为提高新能源汽车电池模块散热能力的关键。由于铝合金具有良好的导热性、加工性、低成本、环保和低密度等特点,可以实现新能源汽车电池模块的小型化和轻量化,同时保持新能源汽车蓄电池模块的高散热能力,被广泛用于散热器、承载板、

支架、接线盒、前盖,以及其他新能源汽车零部件。

3 结 论

(1)AlSi12(Fe)(a)合金与 AlSi10MnMg 合金在铸态和经过 500 h×120 ℃预处理后,抗拉强度、屈服强度都有提升,但伸长率会下降。

(2)AlSi12(Fe)(a)合金经过 500 h×120 ℃预处理后,力学性能相对稳定,屈服强度小幅提升,伸长率降低明显,但仍满足要求。

(3)AlSi10MnMg 合金经过 500 h×120 ℃预处理后,其抗拉强度小幅提升,屈服强度会有大幅提升,伸长率明显下降且低于要求值。

参 考 文 献

[1] LIPMAN T E, MAIER P. Advanced materials supply considerations for electric vehicle applications[J]. MRS bulletin, 2021(12): 46.

[2] ZHAO X, WANG P, LI T, et al. Gating system optimization of high pressure die casting thin-wall AlSi10MnMg longitudinal load-bearing beam based on numerical simulation[J]. China Foundry, 2018, 15(6): 436-442.

[3] JI S X, YANG W C, GAO F, et al. Effect of iron on the microstructure and mechanical property of Al-Mg-Si-Mn and Al-Mg-Si diecast alloys[J]. Materials Science & Engineering, 2013, A564 (3): 130-139.

[4] ZHU X, BLAKE P, DOU K, et al. Strengthening die-cast Al-Mg and Al-Mg-Mn alloys with Fe as a beneficial element[J]. Materials Science & Engineering, 2018, A732: 240-250.

[5] WANG L, MAKHLOUF M, APELIAN D. Aluminum die casting alloys: alloy composition, microstructure, and properties-performance relationships[J]. Metallurgical Reviews, 1995, 40(6): 221-238.

[6] ABDEL-JABER G T, OMRAN A M, KHALIL K A, et al. An investigation into solidification and mechanical properties behavior of Al-Si casting alloys[J]. International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering, 2010(8): 30-35.

[7] OUTMAN I, IMAN E, ISSELI N, et al. Effect of Si, Cu and processing parameters on Al-Si-Cu HPDC castings[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2017, 254: 559-569.

[8] DIN EN 1706-2020. Aluminium and Aluminium Alloys-Castings-Chemical Composition and Mechanical Properties[S].

[9] ZHANG P, LI Z M, LIU B L, et al. Tensile properties and deformation behaviors of a new aluminum alloy for high pressure die casting[J]. Journal of Materials Science & Technology, 2017, 33 (4): 367-378.

[10] HOFFER P, KASCHNITZ E, SCHUMACHER P. Distortion and residual stress in high-pressure die castings: Simulation and measurements[J]. JOM, 2014, 66(9): 1 638-1 646.

(编辑:张正贺)