

铸造铝合金压铸件中 Fe、Si 元素宏观偏析

王吉 孙芳芳 葛素静 孙克明 钱伟涛
(河北新立中有色金属集团有限公司,河北省轻金属合金材料技术创新中心)

摘要 采用光学显微镜、扫描电镜等设备,结合实例对铝合金铸件中的 Fe、Si 元素偏析进行分析,简述了 Fe、Si 元素偏析对压铸件的影响及相应的解决办法,为实际生产提供参考。

关键词 铸造铝合金;Fe 偏析;Si 偏析;缺陷

中图分类号 TG146.21;TG249.2 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.07.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Segregation of Fe and Si in Cast Aluminum Alloy Die Castings

Wang Ji, Sun Fangfang, Ge Sujing, Sun Keming, Qian Weitao
(The Technology Innovation Center of HeBei Province Light Metal Alloy Material,
Nonferrous Metallic of Hebei Xinlizhong Group Co.,Ltd.)

Abstract: The segregation of Fe and Si in aluminum alloy castings was analyzed by optical microscope, scanning electron microscope and other equipment, and the influence of Fe and Si segregation on castings together with corresponding solutions were briefly described.

Key Words: Casting Aluminum Alloy, Fe Segregation, Si Segregation, Defect

铝合金具有密度小、塑性好、比强度高、耐蚀性和导电性好等特点,以及良好的力学性能和工艺性能,在工业上的应用仅次于钢铁。但在铝合金铸造生产过程中,常常伴有气孔、缩松、冷隔和偏析等铸造缺陷,从而对合金的性能不利^[1]。

偏析分为微观偏析和宏观偏析。微观偏析是晶粒内化学成分不均匀的短程现象,通过长时间高温均匀化退火可以消除。宏观偏析表现为成分的长程变化,大范围的成分不均匀,如铸锭内、外成分不一致。这种偏析不能用高温退火消除,成为材料的缺陷,在铸造生产过程中应注意避免。本研究结合典型案例,对铸造铝合金中出现的 Fe 和 Si 宏观偏析进行分析,为实际生产提供参考。

1 偏析的产生

宏观偏析一般是由于熔体化学成分不均匀、熔炼过程中化合物因密度与基体不同而沉淀或上浮,或在凝固过程中,由于铸件各部分冷却速度不同,导致内外凝固收缩不同步,以及熔体中气体析出,使枝晶通道之间产

生压力,从而导致某些元素或低熔点物质通过枝晶通道进入铸件表层区域,形成肉眼可见的缺陷^[2-3]。这些偏析缺陷不仅影响铸件的外观还严重影响铸件的性能,在生产过程中应尽可能地避免。

2 Fe 相偏析

图 1 为 AlSi9Cu3 合金压铸件,压铸后发现表面存在肉眼可见的黑点,在车削过程中,出现崩刃的现象。对图 1c 和图 1d 中的点 1 和点 2 进行 EDS 点分析,结果见图 2。可以看出,宏观组织中黑点为粗大的 AlSiMnFe 相,从图 1d 中还可以观察到 AlSiMnFe 相内部还存在黑色的颗粒,EDS 结果显示为 Al₂O₃。

这些尺寸较大的 AlSiMnFe 相的形成是由于铝液中的 Fe、Mn 元素有向铝液下部偏析的倾向,当合金中 Fe 和 Mn 含量较高,或铝液停留时间较长时,这种偏析倾向会更强烈,AlSiMnFe 相会在铝液底部析出长大。铝液中难溶的 Al₂O₃ 可以作为 AlSiMnFe 相异质形核的核心,通过运动聚集,加速 AlSiMnFe 相的形核和长大,最终形成数量较多、尺寸较大的 AlSiMnFe 相。这

收稿日期:2022-09-07;修改稿收到日期:2022-11-14
第一作者简介:王吉,男,1994 年出生,助理工程师,河北保定(071100),E-mail:2280759045@qq.com
通信作者:孙克明,男,1986 年出生,工程师,河北保定(071100),E-mail:sunkeming@lizhong.com.cn
引用格式:王吉,孙芳芳,葛素静,等. 铸造铝合金压铸件中 Fe、Si 元素宏观偏析[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(7):908-911.
WANG J,SUN F F,GE S J, et al. Segregation of Fe and Si in cast aluminum alloy die castings[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(7):908-911.

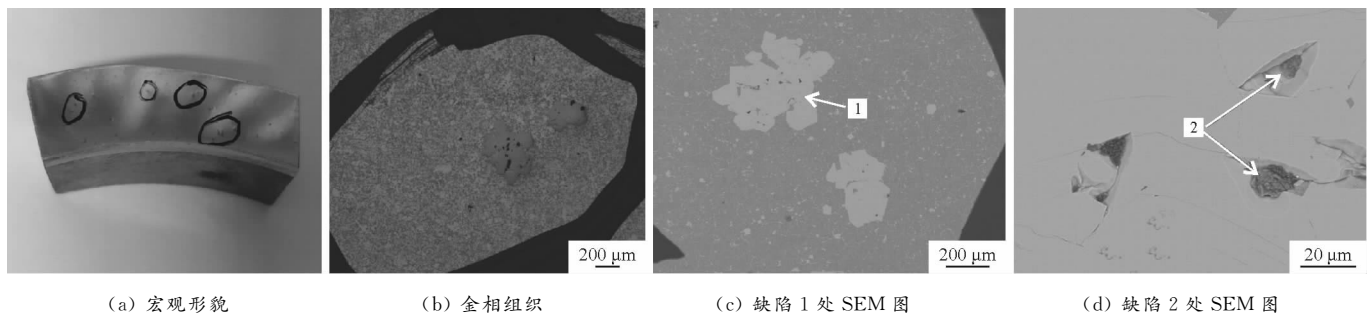


图 1 AlSi9Cu3 压铸件缺陷处组织形貌

Fig.1 Microstructure of defect position in AlSi9Cu3 die casting

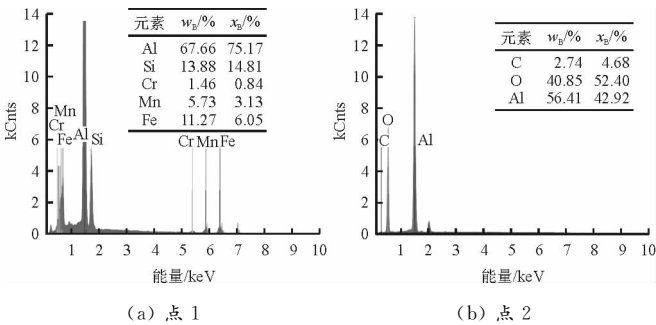


图 2 图 1 中不同缺陷处 EDS 点分析

Fig.2 EDS point analysis of defects in Fig.1

些 Al_2O_3 异质颗粒可能是铝液表面的氧化膜进入铝液后,经过较长时间的停留,由较软的 $\gamma-Al_2O_3$ 向坚硬的 $\alpha-Al_2O_3$ 转变所得,还有可能来自于未清理干净炉壁或炉底。

Fe 偏析形成的大尺寸 AlSiMnFe 相,硬度高,约为铝基体的 9 倍^[4],不利于机械加工,且延展性非常差。在拉伸断口中往往出现大的解理面(见图 3),严重影响合金的力学性能,从而导致产品报废^[5]。

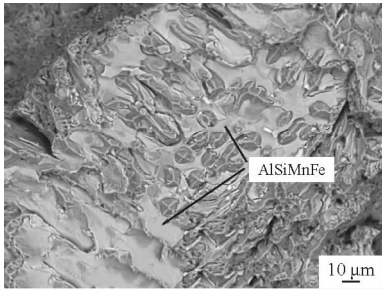


图 3 AlSiMnFe 相聚集处的拉伸断口形貌

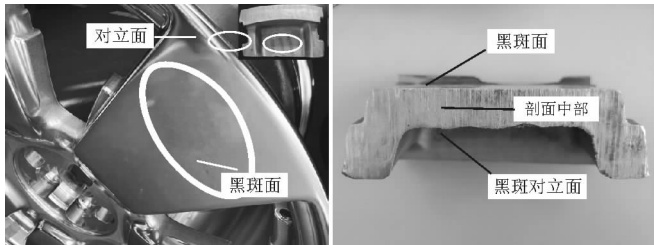
Fig.3 Tensile fracture of aggregation sites in AlSiMnFe phase

通常枝晶偏析的 Fe 相采用均匀化处理即可消除,但尺寸较大的 Fe 相需要通过调整熔炼和浇注工艺等方式进行预防^[4]。如在熔炼时和浇注前充分搅拌合金液;缩短合金液停放时间;在满足性能要求的前提下,尽量降低 Fe 含量;在铸件凝固时,加速冷却,缩短温度结晶区间;不使用靠近炉底的一层铝液等。

对于合金液中的硬质 Al_2O_3 夹渣,应在每一炉熔炼前清理干净炉壁残渣,防止之前堆积的 Al_2O_3 进入到铝液中。另外,在熔炼时铝液的温度不要过高,防止 $\gamma-Al_2O_3$ 向坚硬的 $\alpha-Al_2O_3$ 转变。同时,精炼时可多次精炼,确保扒渣后 Al_2O_3 夹渣无残留。

3 Si 相偏析

图 4 为 A356 合金轮毂试样,铸件出现面积较大、肉眼可见的黑斑(见图 4),图 4b 为黑斑处纵剖面。



(a) 宏观形貌 (b) 剖面示意图

图 4 轮毂试样宏观形貌及金相试样剖面示意图

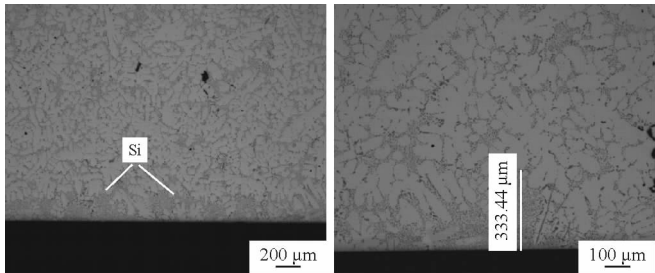
Fig.4 Macro morphology of wheel hub specimen and profile of metallographic specimen

图 5 为黑斑处纵剖面金相组织。可以看出,整个黑斑下存在一层厚度不均匀的 Si 偏析层,其最厚处可达 $333.44\ \mu m$,见图 5a 和图 5b;中间部位的偏析程度较轻, Si 相分布相对均匀,见图 5c;黑斑对立面的偏析也较严重,部分区域偏析厚度甚至超过 1 mm,见图 5d。

将黑斑处表面与轮毂正常位置表面进行能谱面扫描,见图 6。可以发现,黑斑表面 Si 含量较正常位置高,黑斑处 Si 含量为 12.69%,正常位置 Si 含量为 10.60%。

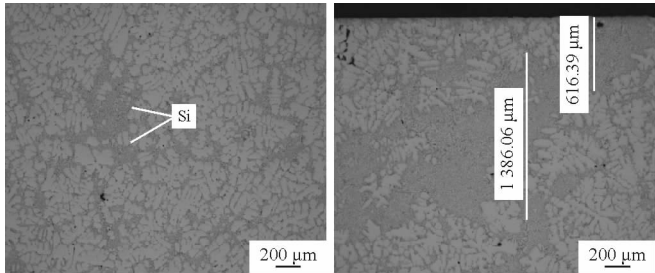
聚集的 Si 相使铝合金内部化学成分及组织极不均匀,不仅影响铸件的美观程度,还不利于机械加工。在车削精度不高时,容易连同附近的其他硬质金属间化合物随车削加工一起带走,从而在表面产生类似韧窝的小凹坑,见图 7。图 8 为图 7b 中点 1 的 EDS 分析,发现该处白色相为加工过程中破碎的 AlFeSi 相。

加工过程中产生的小凹坑肉眼难以观察到,在着色



(a) 黑斑表面,低倍

(b) 黑斑表面,高倍

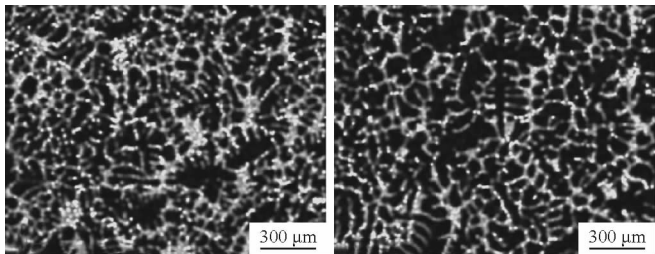


(c) 纵剖面中部,低倍

(d) 黑斑对立面,低倍

图 5 黑斑处纵剖面金相组织

Fig.5 Metallographic structure of longitudinal section at black spot

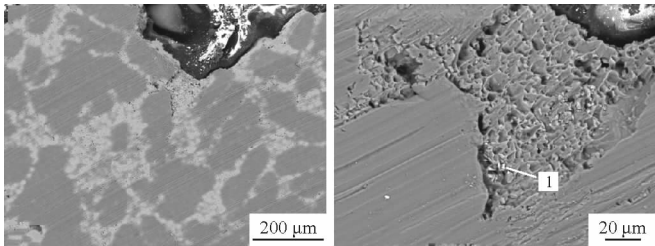


(a) 黑斑处

(b) 正常位置

图 6 轮毂 Si 面扫描

Fig.6 Face scanning of Si in wheel hub



(a) 低倍

(b) 高倍

图 7 车削加工后表面 SEM 形貌

Fig.7 SEM images of surface after turning

渗透探伤时容易误判为针孔。对于轮毂中的 Si 偏析,在行驶过程中还会引起应力集中,易发生断裂,从而引发安全事故^[6]。

这类 Si 偏析通常是熔融金属或合金在凝固时发生体积收缩,富含 Si 的剩余熔体沿枝晶通道向凝固较早的区域流动,使该区域最终 Si 含量增加,即 Si 偏析由中心向表面迁移,形成表面的宏观偏析^[7]。通常情况

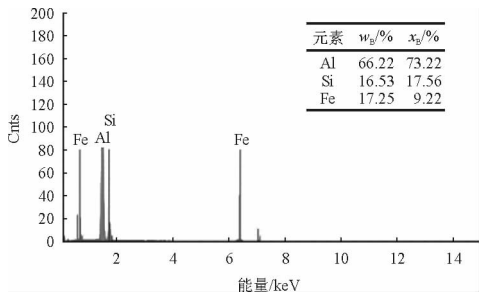


图 8 图 7b 中点 1 EDS 分析

Fig.8 EDS analysis of point 1 in Fig.7b

下,产生这种偏析的合金固-液两相区的凝固时间较长,枝晶较粗,并且合金中的气体含量较高,凝固时气体的析出促进了 Si 向表面运动形成偏析。

此类 Si 偏析通常是在合金凝固过程中形成的,但也要注意熔炼过程中铝液的搅拌和停放时间^[8]。通常可采用:①增加冷却速度,缩短凝固时间;②对于易出现偏析的部位,增加局部强冷;③外加磁场、电磁搅拌、超声;④添加晶粒细化剂等方式预防^[9-10]。对于轻度的 Si 表面偏析可通过均匀化热处理的方式缓解。

4 结 论

(1)铸造铝合金压铸件中 Fe 偏析形成粗大的 Fe 相在宏观下呈现黑点状,不仅机加工时崩刃,而且严重降低合金的力学性能。该缺陷通常可采用:①熔炼时和浇注前充分搅拌合金液;②缩短合金液停放时间;③满足性能的前提下,降低 Fe 含量;④合金凝固时,加速冷却;⑤不使用靠近炉底的一层铝液等方式进行预防。

(2)铸造铝合金中 Si 在表面的偏析呈较大面积的黑斑,既影响车轮的美观,又缩短车轮的使用寿命。该缺陷通常可采用:①增加冷却速度;②模具厚大位置增加局部强冷;③外加磁场、电磁搅拌、超声等方式进行预防。

参 考 文 献

- [1] ELENA F,BONO LF,GIULIO T,et al. New classification of defects and imperfections for aluminum alloy castings[J]. International Journal of Metalcasting, 2015, 9(1): 55-66.
- [2] LI Y, LIU J X, ZHANG Q,et al. Casting defects and microstructure distribution characteristics of aluminum alloy cylinder head with complex structure [J]. Materials Today Communications, 2021, 27: 102 416.
- [3] 李玉胜,翟虎,闫卫平,等. ZL205A 合金壳体铸件线性偏析缺陷形成机理研究[J]. 铸造, 2006, 55(11): 1 170-1 173.
- [4] 陆树荪,徐明钢,赵愉,等. 铝压铸件中的硬质点及硬质金属杂质相 [J]. 特种铸造及有色合金, 2000(4): 10-12.
- [5] 李志猛,左玉波,朱庆丰,等. 半连续铸造铝合金表面缺陷的形成机理及影响因素[J]. 特种铸造及有色合金, 2021, 41(1): 108-113.

镜面铝用 8014 铝合金的热变形行为及微观组织

贵星卉¹ 高 崇² 杨 易¹ 林师朋¹ 马 科¹ 赵丕植² 姜星旭³ 黄 鑫³ 徐巍昆⁴

(1.中铝材料应用研究院有限公司苏州分公司;2.中铝材料应用研究院有限公司;
3.北京航空航天大学材料科学与工程学院;4.中铝河南洛阳铝加工有限公司)

摘 要 采用 Gleeble-3500 热模拟试验机对 8014 铝合金进行了不同变形条件下的热变形试验,得到了 8014 合金的真应力-真应变曲线,分析了不同变形条件下合金的微观组织,构建了 8014 合金基于应力的本构方程及不同应变条件下的热加工图。结果表明,在应变为 0.3 条件下,8014 合金的软化机制以动态回复为主。8014 合金的最佳加工区域为 340~400 ℃、0.1~10 s⁻¹。

关键词 8014 合金;本构方程;热加工图;微观组织;应力-应变曲线

中图分类号 TG146.21 文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.07.010

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Hot Deformation Behavior and Microstructure of 8014 Aluminum Alloy for the Mirror Aluminum

Gui Xinghui¹, Gao Chong², Yang Yi¹, Lin Shipeng¹, Ma Ke¹, Zhao Pizhi², Jiang Xingxu³,
Huang Xin³, Xu Weikun⁴

(1.Suzhou Branch, Chinalco Materials Application Research Institute Co.,Ltd.;2.Chinalco Materials Application Research Institute Co.,Ltd.; 3.School of Materials Science and Engineering, Beihang University;
4.Chinalco Luoyang Henan Aluminum Processing Co., Ltd.)

Abstract: A thermal compression experiment for 8014 aluminum alloy under different deformation conditions was carried out by the Gleeble-3500 thermal simulation test machine, and the true stress-strain curves of 8014 alloy were obtained. The microstructure of alloy under different deformation conditions was analyzed, and the stress-based constitutive equation and thermal processing diagram of 8014 alloy under different strains were established. The results indicate that the softening mechanism of 8014 alloy is dominated by dynamic recovery under the strain of 0.3, and the optimum processing zone is 340~400 ℃ and 0.1~10 s⁻¹.

Key Words: 8014 Alloy, Constitutive Equation, Thermal Processing Diagram, Microstructure, Stress-strain Curve

8014 铝合金属于高表面铝合金,经过热轧、冷轧退火和镜面轧制后,可作为镜面铝板材应用于汽车内饰,如玻璃边框、中控台边框等,其对伸长率和表面粗糙度有极高要求。8014 合金的伸长率和表面粗糙度均与材料的微观组织密切相关,热加工工艺是影响成品板材微观组织的关键环节之一。通过热模拟试验建立 8014 合

金的热压缩本构方程并绘制热加工图,对指导热加工工艺的制定和改进、调控金属组织具有积极意义。
目前,研究者对铝合金进行了大量的热变形行为研究。吴道祥等^[1]对 2024A 合金高温流变行为进行了研究,分别对比了不同变形条件下 Arrhenius 本构模型和 M-JC 模型的预测值与试验值,发现修正 JC 本构模型

收稿日期:2022-09-29;修改稿收到日期:2022-11-08
第一作者简介:贵星卉,女,1990 年出生,工程师,江苏苏州(215000),E-mail: 490515159@qq.com
通信作者:高崇,男,1986 年出生,高级工程师,北京(102200),E-mail: gaochong@cmari.com
引用格式:贵星卉,高崇,杨易,等. 镜面铝用 8014 铝合金的热变形行为及微观组织[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(7):911-916.
GUI X H, GAO C, YANG Y, et al. Hot deformation behavior and microstructure of 8014 aluminum alloy for the mirror aluminum[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(7):911-916.

[6] BO L, SHEN Y, HU W. Casting defects induced fatigue damage in aircraft frames of ZL205A aluminum alloy-A failure analysis[J]. Materials & Design, 2011, 32(5): 2 570-2 582.

[7] 曹亚楠. 高通量连铸连轧 AlFeSi 合金铸板表面偏析调控行为的研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.

[8] 赵旭, 王平, 孙晶莹, 等. 压铸 AlSi10MnMg 铝合金中铸态缺陷分析[J]. 特种铸造及有色合金, 2019, 39(12): 1 291-1 293.

[9] 郭有军. A356.2 合金铸锭中 Si 元素的偏析现象[J]. 特种铸造及有色合金, 2008, 28(4): 319-320.

[10] 郭兴, 蒋日鹏, 李晓谦, 等. 超声处理铝合金熔体对半连铸大铸锭组织与偏析的影响[J]. 热加工工艺, 2016, 45(7): 25-29.

(编辑: 栗万仲)