

压铸 ADC12 铝合金手机中框热裂分析及解决措施

闫俊^{1,2}, 程汉明², 石帅², 范卫忠^{1,2}, 高伟全^{1,2}

(1. 广东鸿邦金属铝业有限公司, 广东广州 510115; 2. 华劲新材料研究院(广州)有限公司, 广东广州 510115)

摘要: 采用直读光谱仪、扫描电镜及金相检验等方法对压铸ADC12铝合金手机中框热裂的原因进行了分析。结果表明, 热裂发生于晶界处, 其两侧分布有大量气孔及碳氧夹杂物, 且存在较多的块状 β ($\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$)脆性相, 阻碍了合金的补缩通道, 增加了合金的脆性, 恶化了材料的力学性能。同时由于在冷却过程中受到热力学因素影响导致内部组织分布不均, 产生较大热应力, 使手机中框在压铸过程中产生热裂纹。

关键词: 手机中框; 热裂纹; 气孔; 夹杂物

随着5G通讯的发展, 传统的金属外壳对手机信号有强烈的屏蔽作用, 目前智能手机发展的主流外观材料采用的是双玻璃/陶瓷+铝合金中框方案^[1]。与变形铝合金手机中框相比较, 压铸铝合金中框具有成形性能优异、工艺简单、生产效率较高等优点。ADC12铝合金压铸件因其成品率高、表面质量好、尺寸精度高、后续加工量少, 十分适合大批量的生产, 广泛应用于汽车和电子通讯领域^[2-3]。手机中框作为核心结构件在智能手机中有着重要的支撑作用, 在强度方面有较高的要求。在铸造生产中, 热裂纹可能带来的严重后果, 尤其是力学性能会受到严重影响, 从而造成产品报废^[4]。目前, 有关ADC12铝合金的研究主要侧重于合金成分的优化, 对于压铸过程中组织缺陷的分布以及缺陷对合金力学性能的影响报道较少^[5-6]。本文针对ADC12铝合金压铸成形的手机中框出现的热裂缺陷, 采用光学显微镜、扫描电镜、直读光谱仪等手段进行观察分析, 然后提出改进措施, 为手机中框的生产过程中避免出现此类缺陷提供参考。

1 试验材料及方法

1.1 合金成分

本试验ADC12铝合金采用的主要原料为再生铝, 截取断口附近试样利用直读光谱仪进行化学成分分析, 并与标准成分进行对比, 其结果如表1所示, 可见热裂试样的成分均在标准范围内。

1.2 压力铸造过程

采用的压铸机锁模力为300 kN, 料柄厚度15 mm, 模具温度200 °C, 压射力为330 kN, 冲头直径为60 mm, 压射压力116 MPa, 压射时间3.5 s, 冷却时间2.0 s, 留模时间8.0 s。本试验通过模温机将模具预热至150 °C (模具表面实测温度), 然后进行压铸。压铸过程中模柄的动作行程位置: 一快位置为100 mm, 二快位置为240 mm,

表1 ADC12合金的主要化学成分
Table 1 Main chemical composition of ADC12 alloy

项目	Si	Mg	Fe	Ti	Cu	Mn	Zn	Al
标准	9.6 ~ 12.0	≤0.3	≤1.3	≤0.3	1.5-3.5	≤0.5	≤1.0	余量
热裂试样	10.0	0.2	0.7	0.03	1.7	0.2	0.8	余量

作者简介:

闫俊(1982-), 男, 工程师, 研究方向为高性能铸造铝合金开发与应用。电话: 15989182518, E-mail: yanjun615@163.com

通讯作者:

石帅, 男, 硕士。电话: 13840340095, E-mail: 18232538992@163.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)

09-1088-05

收稿日期:

2021-03-02 收到初稿,
2021-05-15 收到修订稿。

增压位置为280 mm，跟踪位置为375 mm。所生产手机中框及其热裂缺陷宏观照片如图1所示，从图中可以看出，热裂纹发生在铸件的热节处，这是由于在合金凝固末期，金属液的温度急速降低，降低了合金液的流速，极易产生缩松及缩孔，降低金属液对裂纹的补缩效果^[7]。

1.3 组织性能分析

利用Phonex扫描电镜和金相显微镜等分析测试手段，对开裂试样的断口形貌、金相组织和微区成分进行分析。

2 试验结果与讨论

2.1 断口形貌分析

图2为手机中框热裂处的断口形貌图，从图2a可以看出热裂纹处断口形貌比较粗糙，其边缘呈不平整的交错状，裂纹两侧及周边分布有夹杂物。

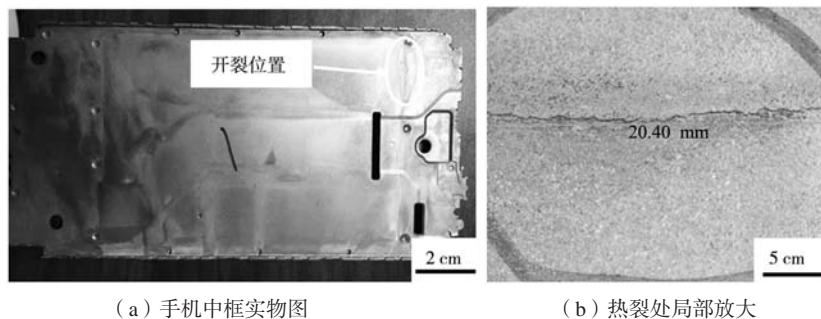
可以判断出热裂发生于晶界处，这是由于当合金凝固至半固态阶段时，晶界处热应力逐渐增加，此时合金的强度极限较小，材料半固态的强度极限低于晶界处的热应力所致，即在凝固的最后阶段由于收缩所

产生的应力应变超过材料可承受的极限范围，这是热裂的主要诱因^[8]。此时产生的热裂纹不能及时愈合，合金的强度就会下降，而热裂纹就会发生进一步的扩展。从图2b中可以看出，断口中存在脆性断裂区域和韧性断裂区域，以脆性断裂为主，断口裂纹内部某些区域，集中分布着大量孔洞，初步判定是气孔，由于孔洞数量较多，且分布范围广，相对密集，可以判断为压铸时卷气及排气板等废料回用产生的气孔，它们严重降低了合金的力学性能。而且气孔周边分布有大量夹杂物。图2中各点的EDS微区成分分析结果见表2，从表2中可以看出，各点均含有碳、氧、氮、铝、硅、铁元素，推断主要为碳氧氮夹杂物及有害铁相（ β -AlFeSi），且可以推测夹杂物来源于压铸过程中

表2 图2中各点的EDS分析结果

Table 2 EDS analysis results of each point in Fig.2 $w_B/\%$

位置	Al	Si	Cu	Fe	C	O	N
①	27.30	1.94		2.43	56.84	6.12	5.38
②	42.32		6.27		33.15	12.23	3.74
③	23.21				43.30	22.21	
④	16.39	3.73		6.32	69.55	3.37	

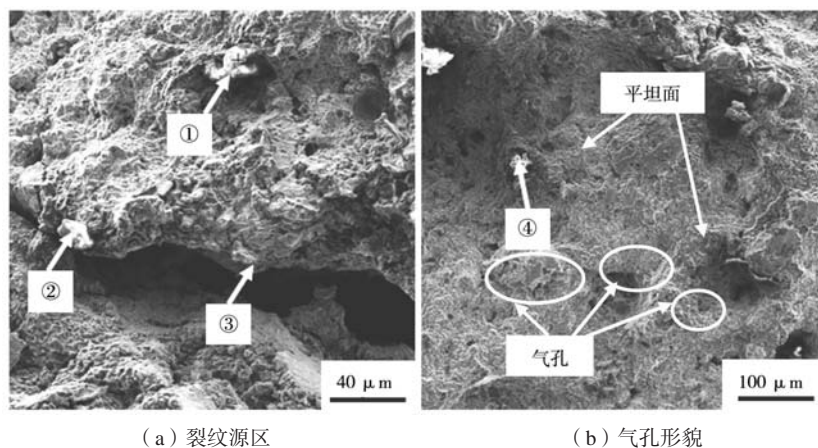


(a) 手机中框实物图

(b) 热裂处局部放大

图1 手机中框实物及其热裂缺陷

Fig. 1 Mobile phone frame and its hot tear defect



(a) 裂纹源区

(b) 气孔形貌

图2 热裂处断口形貌特征

Fig. 2 Fracture morphology of hot tear

的辅助材料,如脱模剂、颗粒油等,导致试样呈现脆性断裂特征。

2.2 合金的组织分析

图3为在光学显微镜下观察到的热裂纹位置处的合金显微组织,其金相组织由初生 α -Al、 α -Al+共晶硅相组成,浅颜色为基体组织,深颜色为共晶组织。图中可见,热裂纹是在合金基体相的晶界上形成和发展的,裂纹刚开始形成时,晶间分离和收缩量相对较小,共晶液容易补缩^[9]。从图3a中可以看出,热裂纹处分布有大量的气孔,恶化了合金的力学性能,这与断口形貌中观察到的结果一致;图3b、c中合金的晶粒大小分布不均匀,粗大的树枝晶与细小的球状晶共存,大量粗大枝晶的存在导致合金的抗热裂性能降低,表

明此处冷却过程中受热力学等因素影响,引起组织不均匀,并产生了较大热应力^[10]。由于粗大的枝晶不能像等轴晶、球状晶那样容易滑移而减少应力,所以容易发生热裂^[11-12]。图3b为热裂纹尖端处的组织,其中一部分裂纹在形成过程中部分已经被共晶液填充补缩,一部分由于剩余共晶液体不足,并不能使裂纹填充补缩,所以导致裂纹断断续续。热裂纹形成后,由于ADC12合金的凝固区间较窄,当合金液的温度快速下降时,凝固速度加快,固相所占比例快速增加,导致合金液的充型能力大大下降,从而无法再对形成的热裂纹进行填充补缩,而且共晶液数量少于裂纹所需要的补缩量,致使热裂纹已经无法愈合,因此热裂纹进一步扩展,图3c为热裂纹扩展后的组织,可见裂纹宽度明显增加,最宽处达20 μm 。

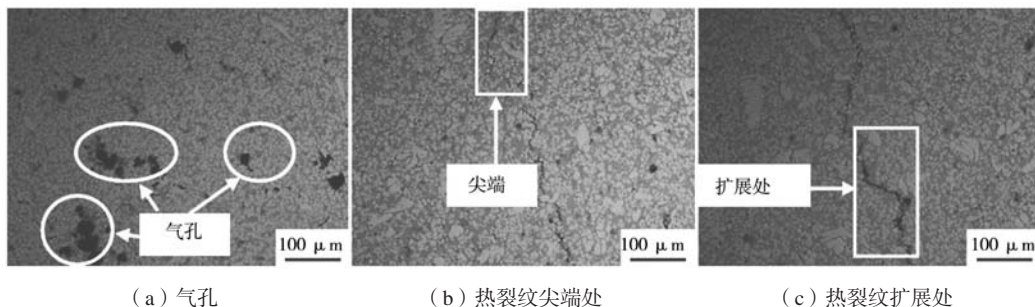


图3 热裂纹处合金的显微组织

Fig. 3 Microstructures of ADC12 alloy at position of hot tear

为进一步分析热裂处的微观组织形貌,对合金试样进行扫描电镜观察,并对热裂纹处的特征部位进行能谱分析,结果分别如图4及表3所示。可知微观组织中白色块状及针状组织的成分含有铝、硅、铁元素,判断为 β ($\text{Al}_9\text{Fe}_2\text{Si}_2$)脆性相,大量尺寸较大的块状 β -AlFeSi相在裂纹两侧,且分布杂乱无章,阻塞了枝晶之间的补缩通道,使共晶液补缩较为困难,同时增加气孔缺陷,因为 β -AlFeSi相有着较小的气体-固体界面能,所以气孔容易沿着 β 铁相形核并长大。另外,粗大的有害铁相会对合金的补缩造成影响,阻塞了液体补缩的通道,因而进一步增加合金的热裂倾向^[13]。

2.3 改进措施及效果

针对ADC12手机中框生产过程中出现的热裂缺陷,提出以下改进措施:

(1) 在热节部位增加R角,降低该处在凝固过程中的热应力;

(2) 减少压铸料头及严禁排气板回炉使用,防止增加合金含气量及碳氧氮夹杂物;

(3) 严格控制压铸温度,防止铝液吸气,同时改善 β -AlFeSi相形貌,提升合金的高温力学性能;

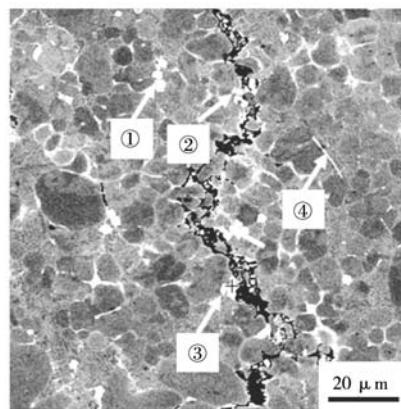


图4 SEM形貌

Fig. 4 SEM morphology of hot tear

表3 图4中各点的EDS分析结果
Table 3 EDS analysis results of each point in Fig.4 w_B /%

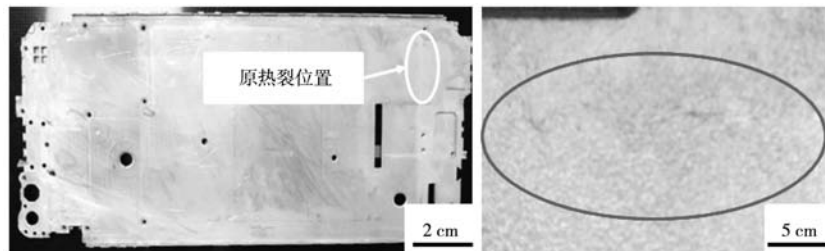
位置	Al	Si	Fe	C
①	75.26	12.31	13.43	2.43
②	73.33	13.33	13.34	
③	74.22	12.58	13.21	
④	56.08	19.25	3.21	21.60

(4) 提升模具预加热温度至200℃, 增加模具的预加热温度可以降低冷却速度, 减缓合金凝固过程中的热量散失, 增加合金液的补缩能力, 从而降低合金产生热裂倾向的趋势;

(5) 在合金压铸前加入 $\leq 0.1\%$ 的Al-Ti-B细化剂, 改善合金微观组织, 使 α -Al相分布均匀, 同时采用

250~290℃低温退火, 保持10~16s, 从而降低内应力, 提高其强度。

按照上述措施对压铸ADC12铝合金手机中框的生产过程进行管控后, 所得铸件未发生热裂, 如图5所示。



(a) 改善后手机中框实物图

(b) 改善后热裂处局部放大图

图5 改善后的手机中框宏观图

Fig. 5 Pictures of mobile phone frame after improved

3 结论

(1) 压铸生产ADC12铝合金手机中框时, 热裂发生于晶界处, 这是由于当合金凝固至半固态阶段时, 合金的强度极限低于晶界处的热应力, 而凝固的最后阶段剩余液相补缩不足所致。

(2) 通过断口形貌及金相观察发现热裂纹两侧分布有大量气孔及碳氧夹杂物, 扫描电镜试验结果

表明裂纹两侧存在较多的块状 β ($Al_9Fe_2Si_2$)脆性相, 它们阻碍了合金的补缩通道, 增加了合金的脆性, 恶化了材料的力学性能。

(3) 通过优化模具结构、控制熔炼过程和改善压铸工艺, 降低了合金凝固过程的热应力, 提升了材料的力学性能, 从而消除了压铸ADC12铝合金手机中框的热裂纹缺陷。

参考文献:

- [1] 曾强, 宋东福, 李文树, 等. 镁含量对手机中框用压铸Al-10.5Si-5Zn-xMg铝合金组织和力学性能的影响 [J]. 铸造技术, 2019, 40 (12): 1242-1248.
- [2] 张银帅, 黄正华, 戚文军, 等. Y对ADC12合金铸态组织与性能的影响 [J]. 稀土, 2018, 39 (5): 40-48.
- [3] 朱锐祥, 秦新宇, 胡南, 等. ADC12压铸铝合金成分优化的研究 [J]. 材料研究与应用, 2018, 12 (4): 267-273.
- [4] 宋宪臣. 低热裂高流动性 (La+Yb) 混合稀土铝合金及压铸成型 [D]. 南昌: 南昌大学, 2019.
- [5] 肖将楚, 冉红锋, 朱毅. 压铸ADC12铝合金基座的开裂机制分析 [J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40 (3): 278-282.
- [6] 史明波, 李乘波, 杜军, 等. Mg对6061再生铝合金凝固特性和热裂行为的影响 [J]. 铸造, 2020, 69 (4): 361-366.
- [7] 陶承闯, 黄宏军, 袁晓光, 等. V元素对Al-4.4Cu-1.5Mg-0.15Zr合金热裂性能的影响 [J]. 铸造, 2020, 69 (2): 127-134.
- [8] 白清领, 李宏祥, 庄林忠, 等. 铝合金熔铸热裂预测数值模拟研究进展 [J]. 铸造, 2013, 62 (1): 25-28.
- [9] 黄胜, 陈淑婉, 陈晓. Al-7Zn-2.5Mg-Cu合金的热裂机理 [J]. 特种铸造及有色合金, 2013, 33 (8): 703-706.
- [10] 崔兰芳, 李洪, 周洪涛. 压铸铝合金变速箱壳体应力热裂分析 [J]. 铸造, 2016, 65 (8): 795-797.
- [11] D' ELIA F, RAVINDRAN C. Influence of grain refinement on hot tearing in B206 and A319 aluminum alloys [J]. Trans. Indian Inst. Met., 2009, 62 (4-5): 315-319.
- [12] 田宇, 袁晓光, 黄宏军, 等. Mg元素对Al-4.4Cu-0.15Zr合金热裂性能的影响 [J]. 铸造, 2020, 69 (3): 246-253.
- [13] PUNCREBUTR C, LEE P D, KAREH K M, et al. Influence of Fe-rich intermetallics on solidification defects in Al-Si-Cu alloys [J]. Acta Materialia, 2014, 68 (15): 42-51.

Analysis and Solution of Hot Tear in Die-Casting ADC12 Aluminum Alloy Mobile Phone Frame

YAN Jun^{1,2}, CHENG Han-ming², SHI Shuai², FAN Wei-zhong^{1,2}, GAO Wei-quan^{1,2}

(1. Guangdong Hongbang Metal Aluminum Co., Ltd., Guangzhou 510115, Guangdong, China; 2. Huajin New Material Research Institute (Guangzhou) Co., Ltd., Guangzhou 510115, Guangdong, China)

Abstract:

In this study, the causes of hot tear defect in the middle frame of the die-cast ADC12 aluminum alloy mobile phone were analyzed by means of direct reading spectrometer, scanning electron microscope and metallographic examination. The results show that the hot tear occurs at the grain boundaries, and there are many blow holes and inclusions containing carbon and oxygen on both sides of the hot tear, as well as massive brittle β ($Al_3Fe_2Si_2$) phase, which blocks the feeding channel of the alloy melt, increases the brittleness of the alloy, and degrades the mechanical properties of the material. At the same time, due to the influence of thermodynamic factors in the cooling process, the microstructure of the alloy is uneven, resulting in a large thermal stress, so that the hot tear defect is generated in the mobile phone frame during the process of die casting.

Key words:

mobile phone frame; hot tear; porosity; inclusions
