

金属型低压铸造铝合金裂纹分析及改进

陈红圣, 王仕明, 梁超, 王沛培, 查明晖, 徐贵宝

(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213011)

摘要: 从宏观特征、微观形貌、成分性能及金相组织等方面, 分析了金属型低压铸造铸铝件的铸造裂纹特征。对裂纹进行了原因分析, 并通过制定针对性改进措施, 从源头彻底解决了铸造裂纹, 大大提高了产品的铸造成品率。

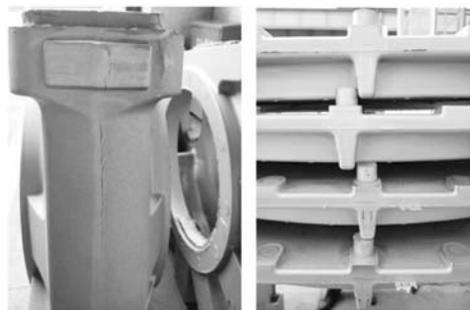
关键词: 铸造裂纹; 铝合金; 低压铸造; 金属型

金属型低压铸造因其质量好, 机械化、自动化程度高, 在铝合金铸件生产中已成为主流趋势^[1-3]。同时, 由于金属型冷却快、排气困难, 在开发中也经常会出现缩孔、缩松、气孔、裂纹等缺陷。

笔者公司在试制开发铸件过程中, 部分产品出现铸造裂纹问题, 具有比较典型的特征。铸件产品要求不允许存在任何裂纹, 本文重点对试制中产生的典型裂纹进行原因分析, 并提出了相应的改进措施加以避免, 希望能给同类型缺陷的解决提供借鉴思路。

1 裂纹部位

金属型低压铸造出现裂纹部位多集中在合型面附近, 如图1所示, 不同铸件材质, 长度有几厘米到几十厘米不等, 既有在均匀壁厚分型面部位, 也有在厚薄不均处的较厚部位的分型面附近, 裂纹呈线型平行于分型线。



(a) 铸件1

(b) 铸件2

图1 铸件裂纹部位

Fig. 1 The casting crack on the low-pressure die castings

作者简介:

陈红圣(1983-), 男, 正高工, 硕士, 主要从事铸造材料、工艺研究及技术管理。E-mail: chen10118@163.com

中图分类号: TG249.3

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2024)

04-0556-04

收稿日期:

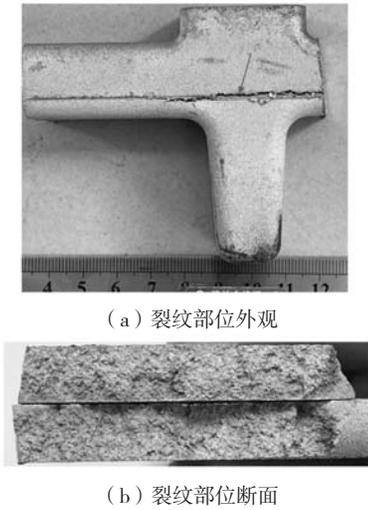
2023-07-21 收到初稿,

2023-12-13 收到修订稿。

2 裂纹分析

2.1 宏观形貌检查

从铸件2实物上将裂纹部位切割下来, 从断面看上述裂纹沿坯缝垂直于表面向内扩展至约1 cm深度处, 在该深度处线切割取样将裂纹打开, 如图2所示, 图2a为铸件上截下的开裂部位外观, 图2b为采用金属清洗剂清洗后的断面宏观形貌。断面粗糙呈灰白色, 整体呈一次性断裂特征。



(a) 裂纹部位外观

(b) 裂纹部位断面

图2 铸造裂纹部位宏观形貌

Fig. 2 The macro-morphologies of the casting crack

2.2 微观形貌检查

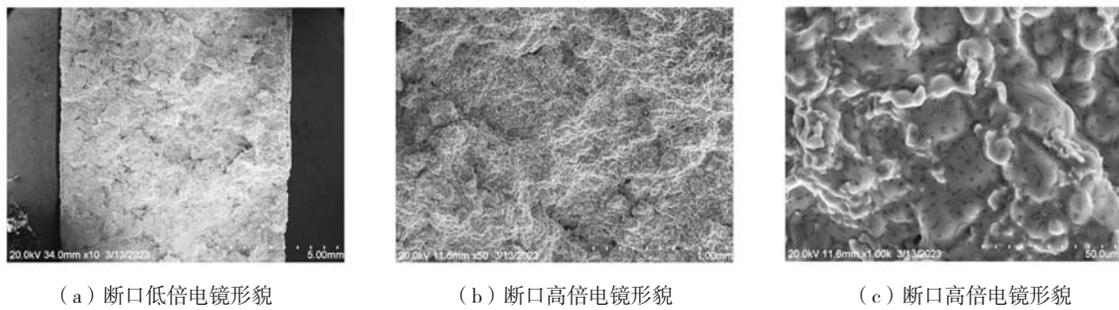
将裂纹断口放入扫描电镜中观察其微观形貌，图3和图4是断面扩展区微观形貌照片。将断口采用无水乙醇超声清洗进行电镜形貌检查和能谱分析，如图3所示，断面未见夹杂、夹渣等冶金缺陷，整体呈树枝晶状分布，二次枝晶不发达，硅相清晰可见。

2.3 化学成分与力学性能检测

铸件2材质为ZL401，铸件未经热处理。从本体取样进行化学成分检测，其结果见表1。从表1结果可知，该铸件化学成分满足相关技术规范。

对裂纹处进行面扫描和能谱成分分析，结果显示未见异常成分，如图4所示。

从本体线切割取样作拉伸试棒，测试力学性能，结果如表2所示。



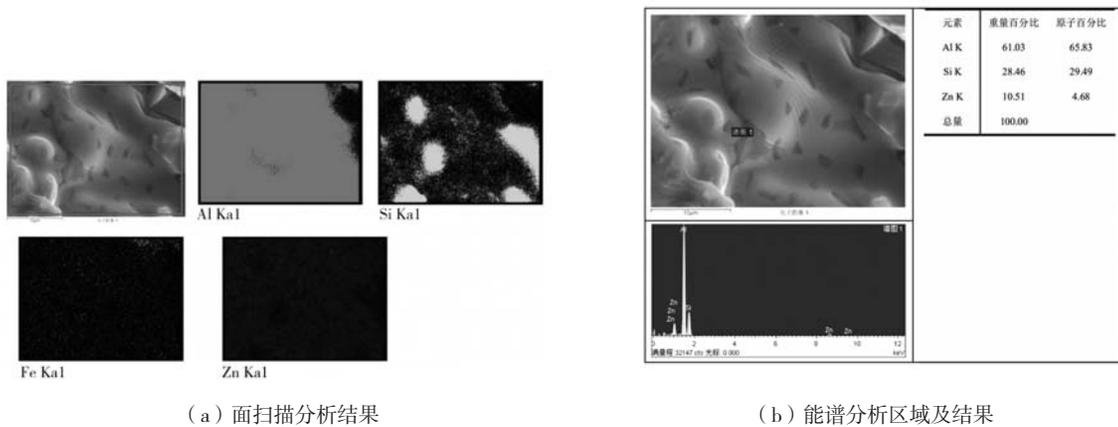
(a) 断口低倍电镜形貌

(b) 断口高倍电镜形貌

(c) 断口高倍电镜形貌

图3 断面微观形貌

Fig. 3 The micro-morphologies of the casting crack



(a) 面扫描分析结果

(b) 能谱分析区域及结果

图4 面扫描及能谱分析结果

Fig. 4 The area scan and energy spectrum analysis of the casting crack

表1 化学成分
Table 1 Chemical composition of the castings w_B /%

元素	Zn	Si	Mg	Ti
标准	9~10	8.5~9.5	0.3~0.5	≤0.15
实测	9.5	8.8	0.31	0.12

表2 力学性能测试结果
Table 2 Mechanical properties of the castings

性能	R_m /MPa	A /%	HBW5/250
标准	≥210	≥2	≥80
试样	238	2	97

从表2结果可知,铸件力学性能满足规定技术要求。

2.4 金相检查

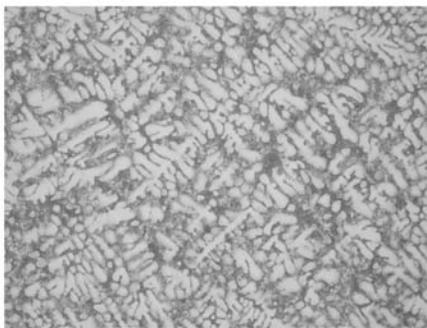
在铸件裂源附近取样进行金相检查,结果显示,基体组织为 α -Al 基体上主要分布着长杆状硅相以及少量富铁相,如图5所示。

3 裂纹原因分析

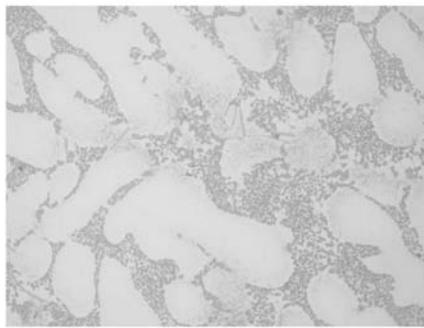
3.1 裂纹形成原理

铝合金铸造裂纹可分为冷裂和热裂两种,均为金

属在凝固和冷却过程中收缩受阻产生,由于铸造应力小于金属在该温度下的强度时产生。冷裂纹是在低于固相线温度时产生的裂纹,呈连续直线状态或圆滑曲线,而且常常是穿过晶粒,而不是沿晶界断裂。冷裂断面干净,且具有金属的光泽或是轻微氧化色,走向规则,多在铸件表面上出现;热裂则是在临近合金固相线时收缩受阻形成的,热裂断面氧化严重,无金属光泽,裂口沿晶粒边界发生和发展,外形曲折不规则^[4]。



(a) 基体组织 100×



(b) 裂源处组织形貌 500×

图5 金相检查

Fig. 5 Microstructures of the crack area

3.2 裂纹原因分析

依据以上分析内容,表明该铸件裂纹符合热裂纹特征,主要原因并非产品本身材料异常原因,亦非产品厚薄不均处,与铸件形状无关。浇注温度在710~720℃,属于正常浇注温度。裂纹主要位于分型面附近,且在生产初期裂纹更加严重。对于较大体积金属型模具,通常通过火焰烘烤加热,分型面两侧的模具温度不均匀会导致铝液充型后与金属型接触的地方冷速有差异,从而造成分型面两部分的凝固速度不一致,产生很大热应力和变形,当热应力超过合金的强度时就会形成裂纹。在脱模过程中,受到拔模阻碍,裂纹可能会进一步扩展,在热裂纹基础上进一步扩展冷裂纹。

4 改进措施及效果

4.1 优化烘模

对于中大型金属型模具,火焰烘烤模温很难均匀,采用更加快速及均匀的烘模方式,例如热辐射加热、整体加热等,减少分型面位置模具温度差。图6为笔者公司研发的无焰热辐射烘模器,1~1.5 h快速升温,模具与烘烤器等距离位置模温偏差在5℃以内,模温偏差较小。



(a) 烘模器

(b) 烘模效果

图6 热辐射烘模器及烘模效果

Fig. 6 Thermal radiation mold baking device and baking effect

4.2 模具设计优化

金属型产品厚薄不均处不能中间分型,尽可能位于同一模具型腔,可以设计为阶梯分型,如图7所示;无法位于同一型腔的可以进行局部活块设计,如此也能保证局部模温一致,减少热应力。模具壁厚尽可能均匀,减少壁厚差异造成的模温差异。

4.3 局部加快冷却

对裂纹部位采取局部激冷,采用镶铜块或铜块风冷、水冷,从而使得产品凝固时裂纹部位率先冷却结壳,减少凝固速度不同导致的热应力。

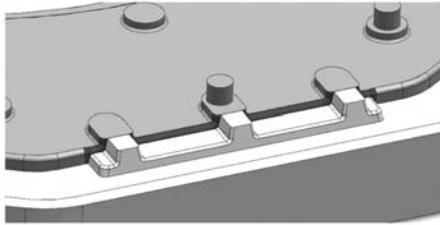


图7 金属型阶梯分型

Fig. 7 The metal mold with shape of step

4.4 减少脱模力

底模加大起模斜度到 $3\sim 5^\circ$ ，减少铸件起模时的脱模阻力；采用具有润滑作用的石墨涂料，便于铸件脱

模。

经过以上措施的实施，试制产生的金属型低压铸造铝合金铸件裂纹均得到100%避免。

5 结语

(1) 金属型铸铝件分型面位置易产生铸造热裂纹，在脱模过程中可造成进一步扩展。

(2) 裂纹主要原因为模温不均匀导致的冷速差异造成热应力较大引起。

(3) 通过优化烘模方式、模具设计改进、局部冷却及涂料应用，100%避免了该铸造裂纹的产生，大大提高了成品率，减少了返修率。

参考文献：

- [1] 徐贵宝. 数字化智能化铝合金低压金属型绿色铸造系统 [J]. 铸造, 2019 (4): 347-352.
- [2] 孙起立. 特大型铝合金导体金属型低压铸造工艺的探讨 [J]. 特种铸造及有色合金, 2010 (9): 833-835.
- [3] 舒杨, 孟霞, 李文仲. 某发动机铝合金缸盖铸造裂纹分析及解决方法 [C]// 绿色铸造与持续发展——2015 (第25届) 重庆市铸造年会论文集, 2015.

Analysis and Quality Optimization of Casting Crack on the Low-Pressure Die Castings

CHEN Hong-sheng, WANG Shi-ming, LIANG Chao, WANG Pei-pei, ZHA Ming-hui, XU Gui-bao
(CRRC Qishuyan Locomotive & Rolling Stock Technology Research Institute, Changzhou 213011, Jiangsu, China)

Abstract:

From the aspects of macroscopic characteristics, microscopic morphology, physical and chemical properties, and metallographic microstructure, the features of crack on the low-pressure die castings were analyzed. Based on the cause analysis of the crack, by developing targeted measures, the crack defects have been completely resolved. The yield of the castings has been greatly improved.

Key words:

casting crack; aluminium alloy; low-pressure casting; metal mold