

# 铝合金高压开关壳体铸造针孔形成原因及解决措施

赵丽娟

(常州工业职业技术学院, 江苏常州 213164)

**摘要:** 铝合金高压开关壳体形状复杂, 采用低压砂型铸造时, 端面处有针孔缺陷。分析认为, 针孔缺陷形成的原因是铸件内浇口设计在端面处, 凝固时冷却缓慢, 导致氢气析出, 阻碍铝液补缩, 形成气缩孔。通过对铸造工艺优化, 加快壳体端面部位冷却速率, 解决了铸件针孔缺陷。

**关键词:** 高压开关壳体; 针孔; 铸造工艺; 气缩孔

随着输变电设备需求的增长, 大型耐压铝合金壳体类铸件用量日益增多。外壳铝合金化是适于输变电等级向500~800 kV发展的重要趋势, 也是高压输变电装备关键部件制造技术的一次重大变革。铝合金壳体形状复杂, 且多为承压, 有较高的内部品质、力学性能和气密性要求, 对材料性能和成形技术要求较高, 生产难度较大<sup>[1-2]</sup>。

低压铸造以充型平稳、速度可按铸件结构控制、铸件致密和力学性能高等优点受到重视<sup>[3]</sup>。本研究中的高压开关壳体采用低压砂型铸造工艺, 原工艺加工后端面处目视可见大面积1~2 mm针孔(见图1), 壳体在进行氦气检漏时不合格。铸件经X-ray检测, 其余位置均无缺陷, 端面针孔缺陷是漏气的主要原因。

## 1 检验分析

### 1.1 化学成分分析

壳体材料为A356铸造铝合金, 采用Al-10Sr合金变质。将壳体本体取样, 按照GB/T 20975.25—2008《铝及铝合金化学分析方法》要求, 分析其化学成分如表1。表中化学成分符合ASTM B26/B26M中A356的规定, 可以排除成分偏差的原因。

### 1.2 金相组织分析

对壳体端面针孔部位缺陷处进行显微组织观察, 结果见图2。与正常组织(图3)相比, 针孔部位晶粒更加粗大, 缺陷区域Si呈纤维结构, 并存在部分粒状共晶Si, 未见针状初生Si, 属于变质不良组织。变质效果与共晶生产速率密切相关。铸件冷却速率越快, 越有利于共晶Si的变质效果, 这一规律在Sr变质的情况下更加明显<sup>[4]</sup>。端面处设有4道内浇口, 导致端面较长时间保持高温, 冷却缓慢引起晶粒的显著增大, 也负面地促进铸件缩松及气孔的形成倾向, 从而增大铸件的孔隙率<sup>[5-7]</sup>。

### 1.3 SEM形貌分析

用SEM观察针孔缺陷形貌, 结果见图4。缺陷孔洞内部呈枝晶状结构, 缩松缺陷形貌特征轮廓清晰, 孔洞内壁圆滑, 说明基体内存在小气泡。在铝合金铸件冷却缓慢时, 氢随着温度降低从合金液中析出, 此时的氢气处于液-固两相凝固区, 氢气泡在合金中的扩散和逸出已很困难, 便在合金基体中形成微小气孔<sup>[8]</sup>。同时铸件中的小气孔阻碍铝液的补缩, 反过来促进了缩孔的形成, 形成气缩孔的缺陷结构。

作者简介:

赵丽娟(1979-), 女, 满族, 讲师, 硕士, 主要研究方向为材料成型技术。E-mail: 44779432@qq.com

中图分类号: TG292

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2019)05-0516-03

收稿日期:

2019-01-07 收到初稿,

2019-02-01 收到修订稿。

通过上述检测分析,可以确定针孔缺陷类型为气缩孔。其主要原因是在端面上设置了4道内浇口对壳体铸件补缩,铸件凝固过程中,内浇口长时间保持较高的温度,导致端面部位冷却过于缓慢,出现气缩孔缺陷。随着温度的降低,氢在铝液中的溶解度下降,由于过慢的冷却速率,使得氢有足够时间析出铝液,形成小而弥散的氢气孔,从而阻碍铝液补缩,形成气缩孔,宏观表现在端面处出现大面积目视可见针孔。

## 2 铸造工艺改进

针对壳体端面的气缩孔缺陷,在铸件最后凝固部位设置合适的冷铁,在不影响整体补缩通道的前提下,加快该部位的温度梯度和冷却速度,使得氢尽可能扩散到最后凝固的浇冒口中<sup>[9]</sup>。一方面对浇注系统调整,减薄内浇口尺寸,减少热容量,削弱内浇口的热影响;同时对端面四周增加冷铁,通过激冷措施加快端面部位冷却速率,防止内浇口减小引起的端面补缩不足,保证铸件整体质量不受影响。改进工艺如图5所示。

按图中方案进行铸造工艺优化后,重新试制一批壳体铸件,经过对比发现:改进后的工艺在铸造凝固时,端面位置凝固时间比原工艺缩短,铸件加工后端面处进行X-ray检测,针孔达到1级标准,如图6所示。壳体经氦气检漏试验合格,说明优化后工艺是可行的。

表1 壳体铸件化学成分

Table 1 Chemical composition of housing casting  $w_B/\%$

Si	Mg	Fe	Ti	Mn	Cu	Zn	Sr
7.07	0.34	0.13	0.13	<0.01	<0.01	<0.01	0.023

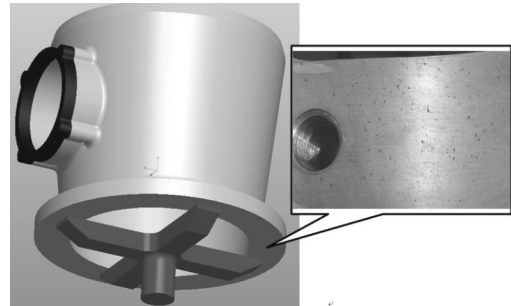


图1 壳体铸件针孔缺陷

Fig. 1 Pinhole defects in aluminium alloy housing

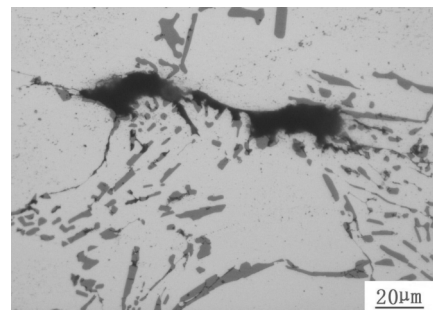


图2 针孔部位金相组织图

Fig. 2 Microstructure of pinhole location

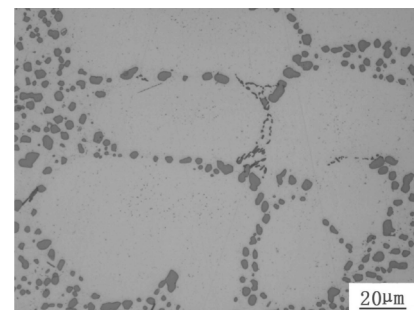


图3 正常部位金相组织图

Fig. 3 Microstructure of normal location

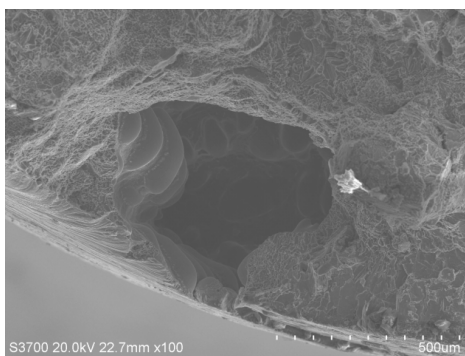
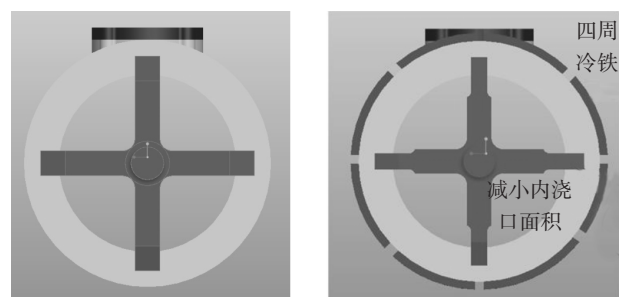


图4 针孔SEM形貌图

Fig. 4 SEM morphology of pinhole



(a) 原工艺方案

(b) 改进后工艺方案

图5 壳体铸造工艺方案优化

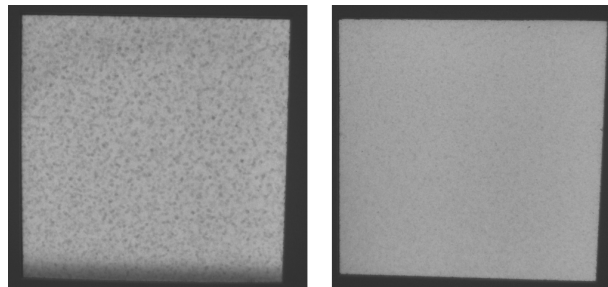
Fig. 5 Optimization of casting process

### 3 结论

(1) 通过对针孔缺陷处金相组织及SEM形貌观察,发现针孔内存在枝状晶,且内壁圆滑,判定针孔为气缩孔缺陷。

(2) 在铸件凝固时,设计在端面上的内浇口过热,影响整个端面位置,凝固冷却速率缓慢,微小氢气泡析出阻碍铝液补缩,形成气缩孔缺陷。

(3) 通过减小内浇口尺寸并增加冷铁,增加了端面位置的冷却速率,针孔缺陷得到消除,铸件满足气密性要求。



(a) 原工艺检测结果

(b) 改进后工艺检测结果

图6 壳体铸件X射线检测

Fig. 6 X-ray detection of housing casting

#### 参考文献:

- [1] 张洪仁, 吴华峰. 高压开关用耐压铝合金壳体低压铸造工艺改进 [J]. 特种铸造及有色合金, 2014, 34 (2): 180-182.
- [2] 侯峻岭, 宋鸿武, 杨继伟, 等. 高压开关壳体用高强铸造铝合金的研究 [J]. 铸造, 2007, 56 (2): 130-132.
- [3] 张士林, 任颂赞. 简明铝合金手册 [M]. 上海: 上海科学技术文献出版社, 2001: 147-148.
- [4] 祖方道. 变质元素对铸造Al-Si合金共晶结晶的作用及机制 [J]. 铸造, 2011, 60 (11): 1073-1079.
- [5] SIGWORTH G K. The modification of Al-Si casting alloys: important practical and theoretical aspects [J]. International Journal of Metalcasting, 2008, 2 (2): 19-40.
- [6] DAHLE A K, NOGITA K, MCDONALD S D, et al. Eutectic modification and microstructure development in Al-Si alloys [J]. Materials Science and Engineering A, 2005, 413-414: 243-248.
- [7] LU L, NOGITA K, MCDONALD S D, et al. Eutectic solidification and its role in casting porosity formation [J]. JOM, 2004, 56 (11): 52-58.
- [8] 薛喜伟, 王贵. A356.2低压铸造铝合金车轮表面针孔原因分析 [J]. 铝加工, 2016 (4): 31-35.
- [9] 陈红圣, 徐贵宝, 董雯, 等. 高速动车组铝合金齿轮箱低压铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2017, 66 (1): 6-10.

## Formation Causes of Pinholes in Aluminium Alloy High Voltage Switch Housings and Prevention Measurements

ZHAO Li-juan

( Changzhou Institute of Industry Technology, Changzhou 213164, Jiangsu, China )

#### Abstract:

Aluminium alloy high voltage switch housings produced using low pressure sand casting had pinholes defect at the end face. Through experimental analysis, it was found that the pinholes defect at the end face is related to the layout of ingates. The ingates at the end face resulted in the low cooling rate at the end face region during the solidification, which caused the hydrogen precipitation and the formation of gas porosity. Placing chills near the defects position and decreasing the size of ingates can quicken the cooling rate of the end face, preventing hydrogen precipitation. Therefore, the pinhole defect could be eliminated.

#### Key words:

high voltage switch shell; pinhole; foundry technology; blowhole shrinkage