

DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2020.03.017

# 铝合金电控壳体压铸件裂纹缺陷分析与优化

沈丁建, 卢 钢, 陈建明, 毛鸿锋

(株洲中车时代电气股份有限公司, 湖南 株洲 412001)

**摘要:**为满足新能源汽车轻量化的要求,电机控制器壳体通常采用铝合金压铸件,而铸件裂纹是其常见的缺陷形式。针对某电控壳体的裂纹缺陷,从化学成分、显微组织、力学性能、模流、脱模过程等方面进行失效原因分析。结果表明,脱模过程中的顶杆作用力是导致裂纹产生的主要原因。对顶杆位置进行优化,并进行仿真和试验验证,优化后的顶杆位置可以有效避免压铸裂纹的产生。

**关键词:**压铸铝合金;裂纹缺陷;脱模过程;电机控制器

**中图分类号:** TG249;TG245

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-8365(2020)03-0276-03

## Analysis and Optimization of Crack Defect in Die Casting Aluminum Alloy Shell of Motor Controller Unit

SHEN Dingjian, LU Gang, CHEN Jianming, MAO Hongfeng

(Zhuzhou CRRC Times Electric Co., Ltd., Zhuzhou 412001, China)

**Abstract:** In order to meet the lightweight requirements of new energy vehicles, motor control unit (MCU) shell usually adopts aluminum alloy die casting, and casting crack is the common defects. Aiming at the crack defects of the MCU shell, failure reasons were analyzed from chemical composition, microstructure, mechanical properties, mold flow, demultifying process and other aspects. The results show that the driving force of the ejector rod is the main cause of the crack. The position of ejector rod is optimized, and the simulation and test show that the optimized position of ejector rod can effectively avoid the generation of die casting crack.

**Key words:** die casting aluminium alloy; fracture failure; demold process; MCU

随着环境污染和资源短缺问题的日益严重,全球汽车企业都在大力研发新能源汽车。电机控制器(简称电控)是新能源汽车电驱动系统的核心组成部分,必须具备高可靠性、高功率密度、轻量化等特点。为了满足轻量化要求,电机控制壳体通常采用铝合金压铸成型,因为压铸铝合金具备密度低、比强度高、比刚度高、成形性能好、耐腐蚀性好等优点<sup>[1,2]</sup>。

但是,压铸铝合金通常会有一些铸造缺陷,其中裂纹是最常见的一类缺陷,压铸件裂纹会导致最终的断裂失效,因此,非常有必要对压铸件裂纹失效进行研究分析<sup>[3,4]</sup>。已有不少文献报道了压铸铝合金的裂纹缺陷及其分析,徐娜等<sup>[5]</sup>对压铸铝合金变速轮组合肋条的早期断裂原因进行了分析,结果表明不均匀分布的金相组织导致的疏松是断裂失效产生的重要原因。周细应等<sup>[6]</sup>通过研究发现,组织疏

松和空洞是导致裂纹出现的主要原因。涂建国等<sup>[7]</sup>的研究表明,脆性相和显微疏松孔隙直接导致裂纹产生。卢从义等<sup>[8]</sup>对压铸裂纹产生的原因进行了探究,分析表明截面突变处的圆角设置过小是导致失效的原因。根据文献分析可知,通常影响压铸裂纹产生的因素包括合金元素、成型工艺、结构设计等<sup>[9]</sup>。

本文针对新能源汽车电机控制器壳体的压铸裂纹,从多个方面进行失效原因分析,并进行优化方案设计,最终避免裂纹失效的产生。

## 1 失效描述与分析

### 1.1 失效描述

采用 ADC12 铝合金压铸成型的电机控制器壳体在做水道气密性测试时发现存在泄漏量过大,经检查发现壳体存在明显裂纹,如图 1 所示。因为裂纹的种类较多,且产生的原因较复杂,因此下面将从各方面进行详细分析。

### 1.2 化学成分分析

在压铸壳体的裂纹附近采样,采用光谱仪对样品进行成分分析,并与参考值(参照标准

收稿日期: 2019-12-02

作者简介: 沈丁建(1985-),湖南株洲人,工程师,主要从事新能源汽车电驱动系统结构开发方面的工作。

电话: 0731-28491059, E-mail: shendj@csrzc.com

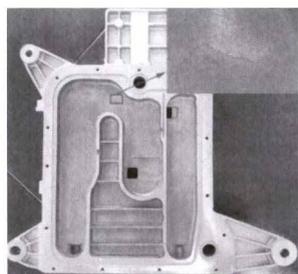


图1 压铸壳体裂纹  
Fig.1 Fracture of the die casting shell

JIS-H5302-2006)进行对比<sup>[10]</sup>,结果如表1所示,由结果可知,样品成分都符合ADC12的标准。

### 1.3 显微组织分析

在壳体裂纹附近进行采样,采用光学显微镜观察样品的显微组织,得到如图2所示结果。由图2可见,共晶组织分布均匀,无明显偏析,符合要求。

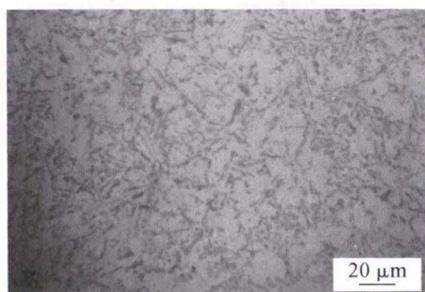


图2 裂纹附近显微组织  
Fig.2 Microstructure near by the fracture

### 1.4 力学性能测试

从失效样品上取样,按照ASTM E8标准制成标准试样<sup>[11]</sup>,进行拉伸试验,得到样品的拉伸性能数据,如表2所示。从图2可样品的力学性能满足(参照标准JIS-H5302-2006)的要求。

### 1.5 压铸模流分析

对样品的压铸充型过程进行仿真分析,得到金属液在模具型腔中的流动状态,如图3所示,由图可见,金属液进入型腔之后分散成多个流动前沿,当流动前沿到达充填末端后,流动前沿汇合,然后将型腔中间部分充满,最后充填的位置为各溢流槽位置。从图中可以看到裂纹产生的位置不存在流动前沿汇合,且不是最终充填部位,因此不存在卷气等缺陷。因此,说明压铸的浇注系统设计合理。

### 1.6 结构分析

沿着该裂纹的垂直方向进行剖切,观察剖面状态,发现裂纹贯穿内外表面,如图4,从图中看到,贯穿式裂纹产生在壁厚急剧变化处,这将可能导致应力集中的发生。因此,下面将对冷却脱模过程中的压铸件受力进行仿真分析。

### 1.7 脱模受力分析

对压铸件脱模过程的受力进行仿真建模,将高度方向的壁面施加固定约束,模拟图5中3个标识位置的顶杆的顶出动作,得到压铸件的受力分析结

表1 压铸壳体化学成分 w (%)

Tab.1 Chemical composition of the die casting housing

元素	Si	Cu	Mg	Fe	Zn	Mn	Sn	Pb	Ni
测量值	11.26	1.65	0.164	0.628	0.634	0.148	0.012 5	0.037 1	0.073 1
参考值	9.60~12.00	1.50~3.50	≤0.30	≤1.30	≤1.00	≤0.50	≤0.20	≤0.10	≤0.50

表2 样品力学性能

Tab.2 Tensile mechanical properties of the sample

性能	抗拉强度 /MPa	断裂伸长率 (%)
测量值	223	1.875
参考值	228±41	1.4±0.8

果,如图6所示,从图中可以看出,在裂纹出现的区域受力比周围区域大,存在较明显的应力集中。

## 2 优化方案及验证

### 2.1 优化方案

根据上述的脱模过程受力分析可知,导致应力集中有两方面的因素:第一是结构上壁厚的突变,第二为脱模力的大小。此处圆角半径为3 mm,相对较大,基本符合壁厚变化要求。因此可以通过改变

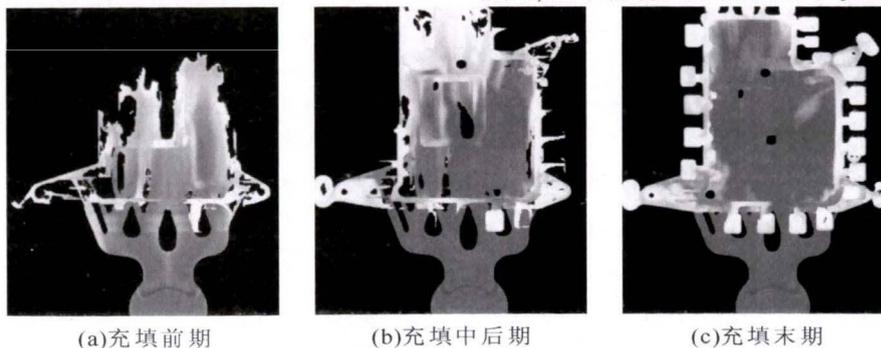


图3 压铸模流结果  
Fig.3 Mold flow of the die casting

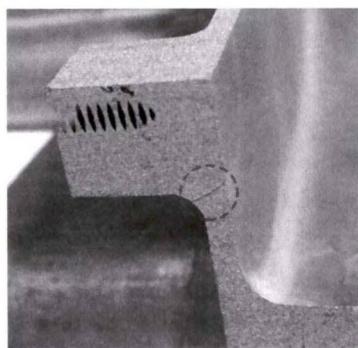


图 4 裂纹位置  
Fig.4 Position of the fracture

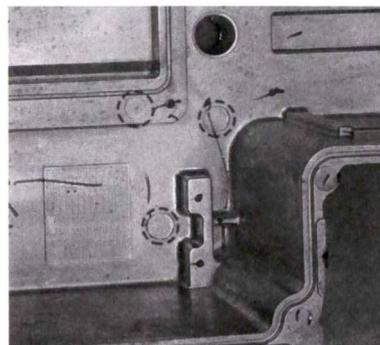


图 5 脱模顶杆位置  
Fig.5 Position of the ejector pins

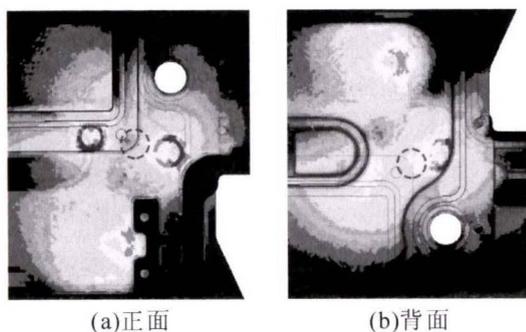


图 6 脱模过程应力分布  
Fig.6 Stress distribution during the demold process

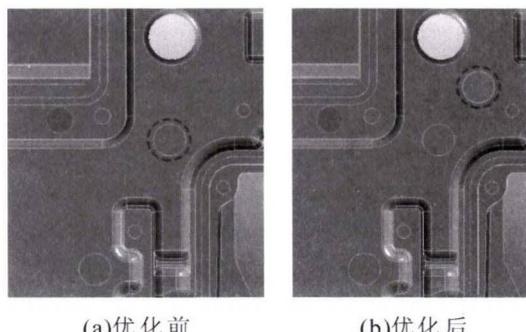


图 7 顶杆位置优化方案  
Fig.7 Optimization scheme of the ejector pins position

脱模时顶杆的作用位置来改变脱模力的大小，从而减小应力集中。如图 7 所示，将顶杆位置由图 7(a) 中虚线区域移到图 7(b) 中虚线区域。

### 2.2 优化方案验证

对优化后的脱模过程再进行仿真分析，同样将竖直方向的壁面施加固定约束，模拟图 7 中优化后的顶杆的脱模过程，得到压铸件的受力分析结果，如图 8 所示，由图可知，与优化之前相比，原裂纹产生区域的受力分布更加均匀，应力集中现象明显改善。

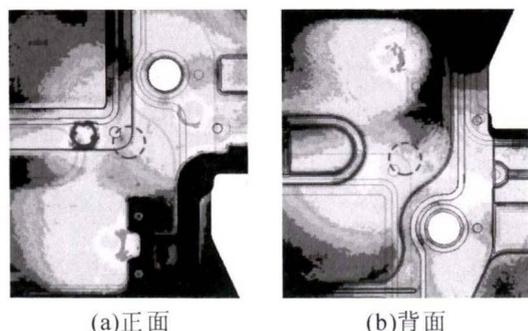


图 8 优化后脱模过程应力分布  
Fig.8 Stress distribution during the demold process after optimization

对上述优化方案进行试验生产验证，压铸脱模后对样品进行检查，并没有发现裂纹，因此，说明本优化方案能够有效地避免压铸裂纹的产生。

### 3 结论

本文通过分析具有裂纹缺陷的电控压铸壳体的化学成分、显微组织、力学性能，以及对压铸壳体进行模流仿真分析、脱模过程仿真分析。结果表明化学成分、显微组织、力学性能、模流充型都满足要求，但是脱模过程中裂纹产生区域存在应力集中，这是导致裂纹产生的主要原因。通过优化脱模顶杆的位置，并进行仿真分析与试验验证，结果表明该方案可有效避免压铸裂纹产生。

#### 参考文献：

- [1] 黄正华,张银帅,宋东福,等. 压铸铝合金的应用及研究进展[J]. 材料研究与应用,2017,11(1):1-5.
- [2] 李平,王祝堂. 汽车压铸及铸造铝合金 [J]. 轻合金加工技术, 2011,39(12):1-18.
- [3] AKM A A, Kato H. Influence of casting defects on tensile properties of ADC12 aluminum alloy die-castings [J]. Materials transactions, 2008, 49(7): 1621-1628.
- [4] Okayasu M, Sakai H. The Effects of Defects on Tensile Properties of Cast ADC12 Aluminum Alloy [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2015, 46(11): 5418-5430.
- [5] 徐娜,李恩霞,时军波,等. ADC14 铝合金变速轮组合肋条早期断裂失效分析[J]. 山东科学,2012,25(4):36-39.

范措施[J]. 轻工科技, 2012(11): 118-141.

[27] Long Y, Wu G, Fu A Q, et al. Failure analysis of the 13Cr valve cage of tubing pump used in an oil field [J]. Engineering Failure Analysis, 2018, 93: 330-339.

[28] Panda B, Sujata M, Madan M, et al. Stress corrosion cracking in 316L stainless steel bellows of a pressure safety valve [J]. Engineering Failure Analysis, 2014, 36: 379-389.

[29] 锻冶科, 段嘉光. 主汽阀壳裂纹的消除 [J]. 铸造, 1983, 32(1): 61-64.

[30] Miroshnik R, Jeager A, Haim H B. Probabilistic life assessment of chest valve under thermal stresses [J]. Int. J. Pressure Vessels and Piping, 1998, 75(1): 1-5.

[31] 陈忠兵. 火电站中压主汽阀壳壳热疲劳损伤研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2009.

[32] 朱晏壹, 张宏斌, 韩彦灵. 汽轮机中压调节汽阀阀座开裂原因分析[J]. 广州化工, 2014, 42(17): 168-170.

[33] Ipohorski M, Luppo M I. Failure analysis of a steam valve stem[J]. Materials Characterization, 2003, 50: 23-30.

(上接第 278 页)

[6] 周细应, 童建华, 李曼萍. 压铸铝合金零件失效分析[J]. 轻合金加工技术, 2005, 33(10): 16-18.

[7] 涂建国, 周素珍, 司亚春, 等. ADC12 铸造铝合金齿轮箱开裂原因分析[J]. 金属热处理, 2015, 40(4): 198-200.

[8] 卢从义, 丁军锋, 刘玉鑫, 等. R14 铝合金拔叉铸件断裂分析[J]. 失效分析与预防, 2016, 11(3): 176-181.

[9] 李世光. 铝合金压铸产品铸造缺陷产生原因及处理办法 [J]. 铸造技术, 2007, 128(S1): 67-71.

[10] JIS-H5302-2006, 铝合金压铸件[S].

[11] ASTM E8 / E8M-16a, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials[S].

(上接第 285 页)

下: 抗拉强度 605 MPa, 屈服强度 436 MPa, 断后伸长率 19%, 断面收缩率 38%, 冲击吸收功 41 J, 平均硬度 215 HB。完全符合用户技术要求。

## 6 结语

经过反复实验针对消失模铸钢桥壳出现的问题逐一解决: 使用 STMMA 珠粒发泡成形; 白模烧

空工艺; 浇注过程后期高频振动; 法兰处增加防裂环; 底漏钢包浇注+吹氩气; 变形虽然在白模烘干和涂料烘干采取框架支撑防变形, 但在浇注后应力收缩变形无法控制, 仍有 20%左右的产品的变形量超出用户标准, 需压力机整形。但在材质, 力学性能, 夹杂缺陷, 试漏, 抗疲劳强度等满载实验方面达到用户重型工程车辆铸钢桥壳验收标准。



# 福建省榕霞石英砂有限责任公司 漳浦县榕霞矿业开发有限公司

## 公司简介 Company



我公司创办于1976年, 是国内较早从事石英砂系列产品生产、销售一体化经营的综合性企业。公司拥有丰富的优质石英砂矿产资源, 矿区面积1000多亩, 年开采量可达40万吨。公司生产的石英砂产品具有SiO<sub>2</sub>含量高, 含泥量低、角形系数小等特点, 是高品位的天然石英砂。

“榕霞”天然石英砂系列产品现广泛应用于国内铸造行业、机械制造行业、全国各水处理行业及玻璃制造、钢铁冶金行业等, 质量达到国际先进水平。公司已通过ISO9001、ISO14001管理体系认证, 先进的生产工艺及完善的品质保障体系确保了产品质量的长期稳定, 专业的销售团队为客户提供优质完善的售后服务。



产品主要理化性能	
SiO <sub>2</sub> > 98%	角形系数 < 1.3
灼烧减量 < 0.5%	含泥量 < 0.3%
含水量(干砂) < 0.2%	耐温 > 1700℃