

# 低压铸造在新能源燃料电池箱体生产中的应用

史开旺

(无锡蠡湖增压技术股份有限公司, 江苏无锡 214000)

**摘要:** 针对新能源燃料电池箱体薄壁铸件, 设计了铸件的低压铸造工艺, 研究了模具预热温度对铸件的微观组织和力学性能的影响。结果表明: 所设计的铸造工艺方案合理, 铸造工艺模拟仿真分析和实际铸件均未发现浇不足、缩孔缩松等缺陷, 可以满足新能源燃料电池箱体的批量生产需求。在铸造工艺不改变的情况下, 通过调整模型的预热温度, 不仅可以改变材料的组织性能, 还对液态金属成形性能有影响。

**关键词:** 低压铸造; 铝合金; 生产时间; 燃料电池箱体

由于能源危机和环境治理的迫切需求, 我国做出碳达峰碳中和的重大战略决策。绿色环保的新能源在为各行业奠基的同时, 也提升了工业竞争力, 实现了经济社会高质量的可持续发展。燃料电池作为目前应用广泛的一种新能源, 是将化学反应能直接转变为电能, 在新能源汽车规模化和产业化方面做出不可磨灭的贡献<sup>[1-3]</sup>。燃料电池箱体作为燃料电池的主体受力部件, 对其综合力学性能提出更高要求。

本研究基于燃料电池箱体铸件, 采用低压铸造方式进行浇注成形。将铸型安置于密封坩埚上方, 通过压缩空气在熔融金属的表面上施加压力, 从而迫使金属液由升液管上升填充铸型<sup>[4]</sup>。采用低压铸造制备的铸件组织致密, 金属收得率高。压力作用下的液态金属充型凝固后缺陷少, 使其在生产大型薄壁复杂铸件方面拥有极大优势<sup>[5-6]</sup>。在铝合金薄壁壳体生产中, 缩松、缩孔缺陷更容易形成, 导致铸件的质量得不到保证, 材料的力学性能差, 不能满足结构件的要求, 因此目前针对这类铸件低压铸造工艺应用较多<sup>[7-8]</sup>。但不同铸件结构的差别, 铸造工艺也存在较大的不同。本文主要研究低压铸造方式下金属型不同预热温度对燃料电池箱体铸件的影响, 通过明晰新能源燃料电池箱体铸件的低压铸造最优工艺, 为类似铸件的生产提供参考。

作者简介:

史开旺(1974-), 男, 总工程师, 主要从事产品、铸造工艺(重力铸造和低压铸造)、铝合金和不锈钢材料及铸造设备开发。  
E-mail: shikw@chinalihu.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2023)

11-1472-05

收稿日期:

2023-10-05 收到初稿,

2023-10-13 收到修订稿。

## 1 铸造前处理过程

### 1.1 铸件材料准备及铸型预处理

铸件材质为A356铝合金, 其化学成分如表1所示。原料为工业纯铝、Al-20Si中间合金和Al-10Mg中间合金, 利用电阻炉将工业纯铝和Al-20Si中间合金加热至720 °C熔化, 加入Al-10Mg中间合金搅拌, 然后分别加入变质剂和精炼剂进行变质处理和除气, 完成A356合金的熔炼以备浇注。金属铸型采用球墨铸铁QT500-7材料, 铸型表面喷涂料, 烘干后分别预热至280 °C、315 °C、350 °C。

表1 铸件(A356合金)的化学成分  
Table 1 Chemical composition of casting (A356 alloy)

	Si	Mg	Ti	Fe	Al
$w_B/\%$	6.8~7.2	0.28~0.32	0.07~0.13	≤0.1	余量

## 1.2 浇注系统与工艺参数设计

### 1.2.1 浇注系统设计

整体浇注系统设计示意图如图1所示，分型面设置在铸件最大截面处，在底平面设置4个升液管，在铸件顶部设置8个暗冒口。本工艺的设计理念为平稳快速充型、顺序梯度凝固。通过升液管设计，快速充型的同时仍能保证液面平稳上升。再辅助以冒口设计，起到溢流集渣、排气和改善凝固温度场的作用。

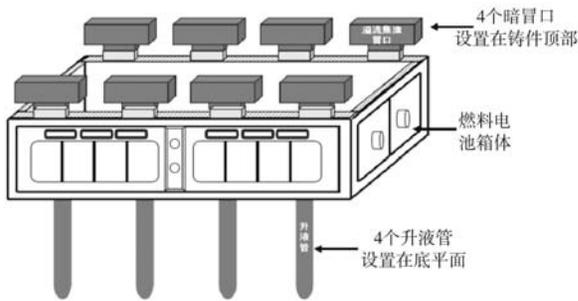


图1 浇注系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the casting system

整体模具框架结构示意图如图2所示，采用主体水平分型加四个方向抽芯的系统结构。其特点在于高效

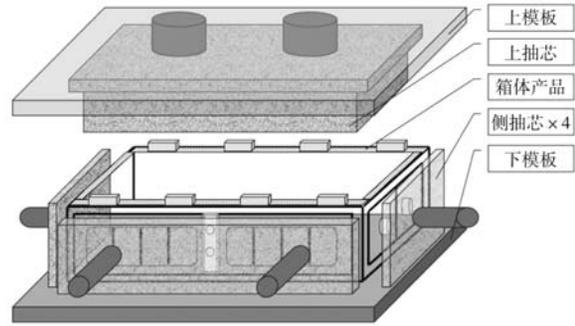


图2 整体模具框架结构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of the overall mold frame structure

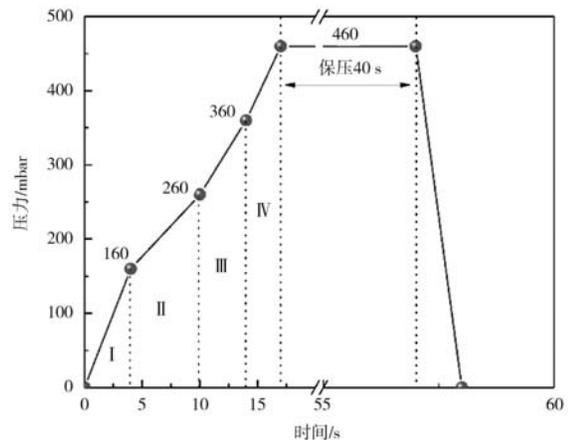
便捷，易实现连续生产。

### 1.2.2 低压铸造工艺参数设计

采用某型低压铸造机；模板尺寸：2 500 mm × 1 800 mm × 1 600 mm；开模力：17 t；顶出力：30~35 t；坩埚容量：800 kg；模具结构：四面抽芯、上抽芯顶出；升液管数量：4个。铝液温度：705~720 ℃；保温炉气氛温度：740 ℃。低压铸造设备及分段充型加压曲线如图3所示，燃料电池箱体铸件模具如图4所示。



(a) 低压铸造设备



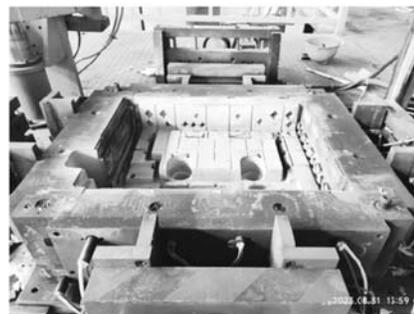
(b) 充型分段加压曲线

图3 低压铸造设备及充型分段加压曲线

Fig. 3 Low-pressure casting equipment and sectional filling pressure curve



(a) 上模



(b) 下模

图4 燃料电池箱体铸件模具

Fig. 4 Molds for fuel cell box castings

## 2 铸件组织与性能检测

铸件进行铣削加工去除表面余量。对试验铸件表面进行取样，经研磨抛光后制成金相试样，利用金相显微镜对气孔缺陷和组织结构进行分析观察；进行常规力学性能测试，拉伸试样尺寸如图5所示，断口观察使用扫描电子显微镜。

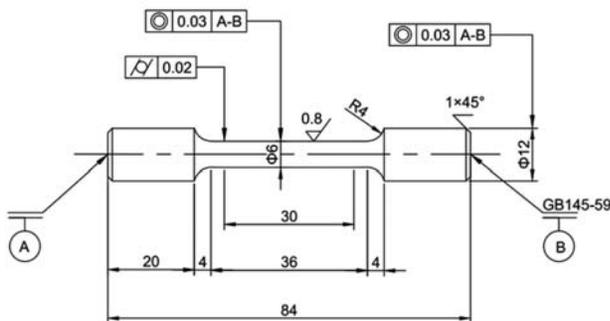


图5 拉伸试样  
Fig. 5 Tensile specimen

## 3 试验结果及分析

### 3.1 铸型预热温度

不同模具预热温度下铸件的微观组织如图6所示。结果显示随着温度的增加，A356合金 $\alpha$ -Al的枝晶间距变大，但没有发现Si相形态的明显改变，共晶Si相仍呈颗粒状分布在白色树枝状 $\alpha$ -Al固溶体周围。一般情况下，初生 $\alpha$ -Al越细小，变形过程中相界及晶界处位错塞积的数目越多，铸件的强度越高。同时，细小的组织不仅提升其屈服强度，也使A356合金的塑韧性得以保证。因此，从微观组织的角度来看，预测模具预热温度为280℃时，铸件的综合性能最佳。

图7为不同铸型预热温度下随铸试样T6热处理后的性能对比。结果显示随着预热温度的提升，A356铝合金的综合力学性能逐渐下降。断裂强度从280℃预热时的341 MPa，下降到350℃预热的329 MPa；屈服强度则从311 MPa下降到301 MPa；伸长率则由14.1%下降到8.5%。同时，拉伸断口分析也证明280℃预热下的断

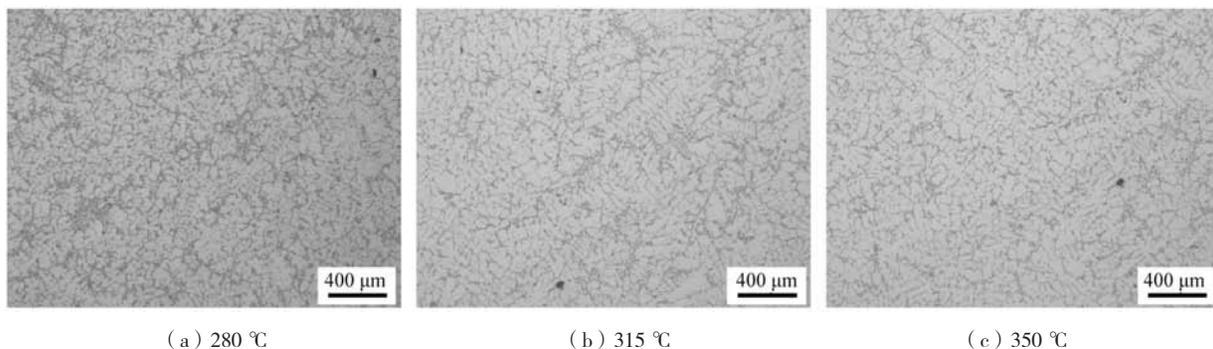


图6 不同模具预热温度下铸件的微观组织

Fig. 6 Microstructures of the casting cast at different mold preheating temperatures

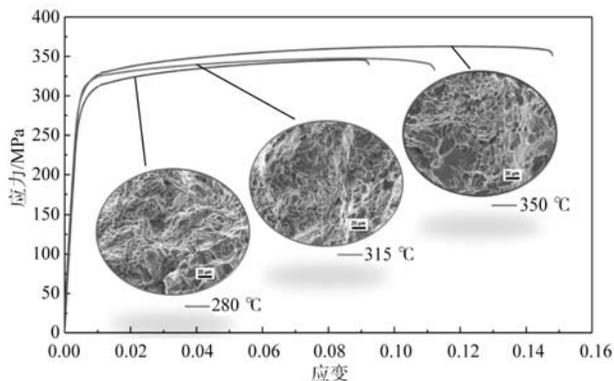


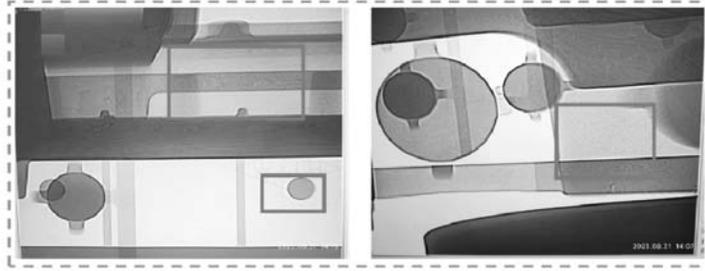
图7 不同铸型预热温度下A356合金拉伸性能对比结果及断口分析  
Fig. 7 Comparison between tensile properties and fracture surfaces for Al356 alloy cast at different mold preheating temperatures

口韧窝细小密集，而315℃预热时韧窝尺寸增加，到350℃时则在断口上发现部分解理面，表现为准解理断裂特征。力学性能的结果与微观组织表现出一致性。

### 3.2 铸件试制

根据上述分析结果，铸件试制时选用的铸型预热温度为280℃。但在实际铸件的薄壁位置发现浇不足和冷隔缺陷，如图8所示。此时，铝合金液尚未填满型腔，且液流前沿即使汇流也无法焊合在一起。究其原因，是由于该位置的型腔较薄（约2.5 mm），这导致在铸型预热温度为280℃时，铝合金液在充型过程中的温度下降较明显。当液流前沿到达该位置时，失去足够的流动性。所以就在燃料电池箱体的薄壁位置留下大量冶金缺陷。

为了解决该问题，综合考虑了铸件力学性能和成形能力。将金属型模具的预热温度提高到315℃，并基于数值模拟技术对铸件进行分析。如图9a所示，铸件的充型过程平稳，无飞溅夹渣等行为。在图9b中，给出了凝固阶段符合顺序凝固原则，自下而上，最后凝固区域位于冒口内部，铸件整体补缩良好。对铸件的缩孔缩松缺陷进行预测，如图10所示。结果显示燃



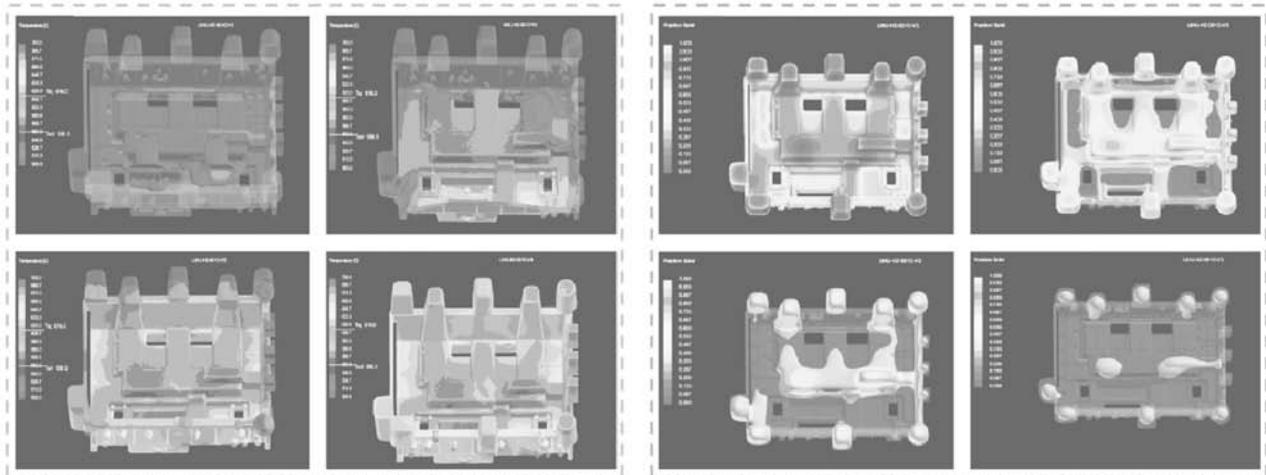
(a) X射线探伤结果



(b) 铸件实物照片

图8 铸件上的缺陷

Fig. 8 Defects in the casting



(a) 充型过程

(b) 凝固过程

图9 铸件数值模拟结果

Fig. 9 Numerical simulation results of casting

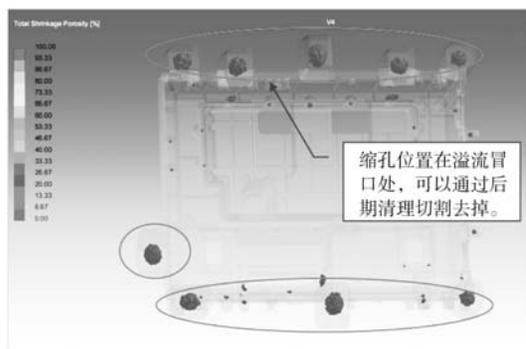


图10 铸件缺陷预测

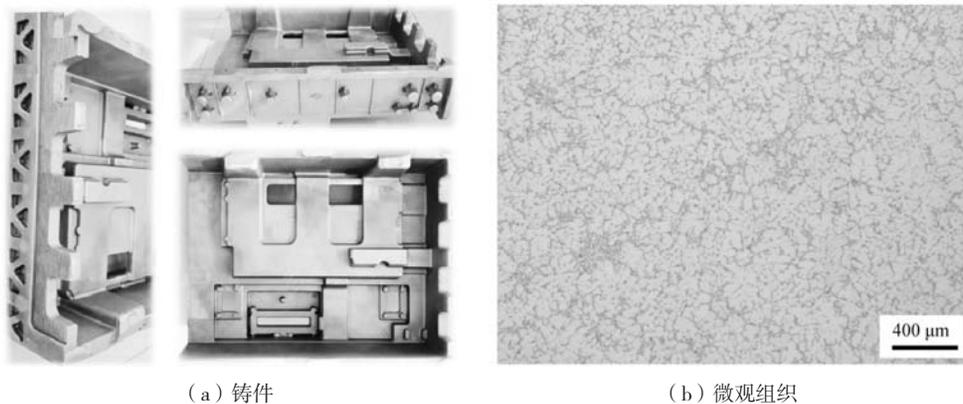
Fig. 10 Casting defect prediction

料电池箱体铸件的缩松/缩孔缺陷集中于冒口和浇道位置，因此可通过后期机加工去除。

最终得到的合格铸件如图11a所示，铸件毛坯表面质量较为光滑，粗造度为Ra12.5，满足图纸粗造度Ra25.4要求，尺寸形状与金属铸型一致，铸件表面未发现气孔缺陷。铸件金相组织如图11b所示，可以看出凝固后铸件组织致密，无气孔缺陷。

## 4 结束语

(1) 设计了新能源燃料电池箱体的低压铸造工艺，并采用数值模拟分析和生产实际验证了其可行



(a) 铸件

(b) 微观组织

图11 铸件外观质量和内部组织

Fig. 11 Inspection of the surface and interior of castings

性，所获得的铸件表面光滑，未发现内部存在缩孔缩松和气孔缺陷，符合新能源燃料电池箱体批量生产的要求。

(2) 燃料电池箱体的铸造工艺设计需综合考虑铸

件力学性能和液态金属的成形能力，在保证最小壁厚结构完整铸出的同时，通过降低模具预热温度来提高铸件性能。本试制铸件的最佳金属型模具预热温度为 315 ℃。

#### 参考文献:

- [1] 中国科学院. 2009高技术发展报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] 张海龙. 中国新能源发展研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2014.
- [3] 赵珂, 史剑清, 齐梦华, 等. 浅析新能源汽车发展趋势 [C]//第十六届河南省汽车工程科技学术研讨会. 河南省汽车工程学会, 2020: 255-256.
- [4] 程万里, 熊守美, 柳百成. 低压铸造过程充型模拟简化模型的研究 [J]. 铸造, 2003, 52 (8): 609-612.
- [5] 刘静, 张建平, 王小博. 复杂铝合金铸件铸造工艺优化与设计 [J]. 铸造技术, 2020, 41 (3): 243-247.
- [6] 王振岭, 马晓锋, 吴江, 等. 型腔中气体对薄壁铝合金铸件充型能力的影响 [J]. 铸造, 2012, 61 (7): 768-773.
- [7] 王宇航, 苏小平. 铝合金薄壁壳体低压铸造工艺方案设计 [J]. 铸造, 2022, 71 (8): 990-993.
- [8] 张建良, 曹学锋, 张少文. 铝合金轮毂低压铸造充型时间检测技术开发与应用 [J]. 铸造, 2023, 72 (6): 747-750.

## Application of Low-Pressure Casting in the Production of New Energy Fuel Cell Boxes

SHI Kai-wang

(Wuxi Lihu Pressurization Technology Co., Ltd., Wuxi 214000, Jiangsu, China)

#### Abstract:

For the thin-walled castings of new energy fuel cell boxes, the low-pressure casting process of castings was designed, and the influence of mold preheating temperature on the microstructure and mechanical properties of castings was studied. The results show that the designed casting process scheme is reasonable, and the casting process simulation analysis and actual casting have no defects such as misrun, shrinkage, dispersed shrinkage, etc., which can meet the mass production needs of new energy fuel cell box. In the case that the casting process does not change, by adjusting the preheating temperature of the model, not only the microstructure properties of the material can be changed, but also the forming properties of liquid metal can be affected.

#### Key words:

low pressure casting; aluminum alloy; production time; fuel cell box