

厚壁 ZL205A 铝合金铸件铸造工艺研究

丁志杰, 卫永莉, 祝立龙

(山西瑞格金属新材料有限公司, 山西运城 043800)

摘要: 基于FEM (Finite Element Methods) 开发的理论模拟对研究铝合金材料铸造成形有重要意义。采用理论模拟研究ZL205A铝合金筒体铸件低压铸造、重力铸造工艺, 根据对应工艺获得铸件的实际质量, 确定适合产品的理想工艺。研究表明, 采用浇注系统截面比1:4:5开放式重力浇注工艺, 产品外观荧光检查、内部X光探伤检查均满足产品技术需求, 且工艺出品率达到55%以上。

关键词: ZL205A铝合金; Procast模拟; 低压铸造; 重力铸造

随着铝合金铸造行业的发展, 中等壁厚铸件质量日趋上升, 广泛应用于航空航天、船舶、新能源汽车等领域^[1], 对于薄壁^[2]和厚壁铸件应用研究日益迫切, 其中厚壁铸件结构中筒体类结构件相对应用较多^[3], 目前该类铸件质量表现相对较差, 主要缺陷类型为大面积疏松、浇注未成形等。

本研究对象为厚壁筒体铸件, 铸造方式选用低压铸造、重力铸造两种方式。在一定程度上, 行业内普遍认为低压铸造方式铸件内部组织质量优于重力铸造方式。但铸造工艺的影响因素较多 (如产品结构、设备设施、冷铁的设计、冒口的设计等), 应综合考虑, 从而设计满足产品需要的最佳铸造工艺。低压铸造其充型过程为自下而上充型, 宏观凝固顺序主要为自上而下凝固 (同时凝固应用相对较少); 重力铸造作为传统广泛应用的铸造方式, 其充型过程为自上而下充型, 宏观凝固顺序主要为自下而上凝固。本文主要探讨低压铸造和重力铸造工艺对于厚壁筒体铸件的适用性。

1 铸造工艺

铸件材质为ZL205A铝合金, 铸件重量132 kg。模拟显示该合金液相线650.5 °C, 固相线548.3 °C。铸件技术要求: 铸件质量符合HB 963—2005 II类铸件要求; 力学性能抗拉强度 ≥ 490 MPa, 断后伸长率 $\geq 3\%$, 布氏硬度HBS ≥ 120 ; 化学成分如表1所示。铸件结构如图1所示。

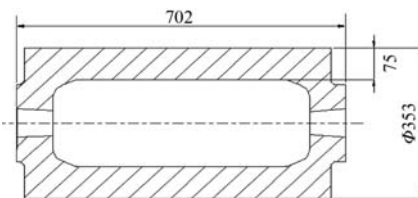


图1 铸件示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the castings

1.1 浇注系统设计

采用基于FEM的Procast 2018软件进行理论模拟^[4-5], 设计低压铸造工艺、重力浇注工艺对应的最理想浇注方案, 并开展对应工艺的产品试制。

表1 铸件的化学成分

Table 1 Chemical compositions of the castings

w_B /%

| 项目 | Cu | Mn | Ti | Cd | Zr | B | V | Al |
|----|---------|---------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----|
| 要求 | 4.6~5.3 | 0.3~0.5 | 0.15~0.35 | 0.15~0.25 | 0.05~0.20 | 0.005~0.06 | 0.05~0.30 | 余量 |
| 实际 | 4.95 | 0.35 | 0.28 | 0.18 | 0.13 | 0.002 | 0.08 | 余量 |

作者简介:

丁志杰 (1985-), 男, 硕士, 主要研究方向为铸造工艺设计和理论模拟。E-mail: 379824541@qq.com

中图分类号: TG292

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977 (2023) 04-0455-03

收稿日期:

2022-05-06 收到初稿,
2022-06-28 收到修订稿。

低压浇注工艺采用缝隙式浇注工艺^[6]，立缝厚度设计为铸件壁厚的0.8倍，立缝宽度设计为60 mm，立筒直径设计为立缝厚度的3.5倍，考虑铸件壁厚较厚，设想立筒有效补缩距离以约100 mm进行设计，铸件周长约1 110 mm，即需工艺设计6根立筒，升液管直径设计为150 mm，工艺设计图如图2。理论模拟面网格单元尺寸为3 mm×3 mm，面网格数约为272万个，体网格数约为1 264万个。浇注温度设置为680 ℃，浇注速度设置为40 mm/s。

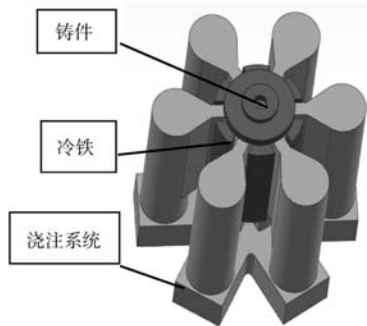


图2 低压浇注工艺图

Fig. 2 Process drawing of the LPDC

低压浇注工艺模拟结果显示，金属液充型平稳，升液管未见喷溅现象，凝固顺序为自上而下，先凝固铸件部分，后凝固立缝，最后依次为立筒及横浇道（图3），疏松结果显示铸件部分未见明显疏松区域（图4），无孤立凝固相。分析认为，理论上工艺可行。方案工艺出品率约为20%。

图3 低压浇注工艺凝固时间图
Fig. 3 Solidification time of the LPDC图4 低压浇注工艺疏松缺陷图
Fig. 4 Total shrinkage Porosity of the LPDC

重力浇注工艺设计中注开放式^[6]，浇注系统截面比为 $\sum S_{直浇道} : \sum S_{横浇道} : \sum S_{内浇道} = 1 : 4 : 5$ ，每个内浇道流量均匀为设计原则，工艺设计两处环形分横浇道。为了实现自下而上凝固顺序，铸件下方设置一块随形冷铁，冷铁厚度为对应铸件壁厚的1.2倍，铸件工艺上方设置一处随形冒口，冒口高度为200 mm，工艺图如图5。理论模拟面网格单元尺寸为3 mm×3 mm，面网格数约26万个，体网格数约161万个。此方案浇注温度设计为700 ℃，浇注速度设计为40 mm/s。

重力浇注工艺模拟结果显示，金属液充型平稳，

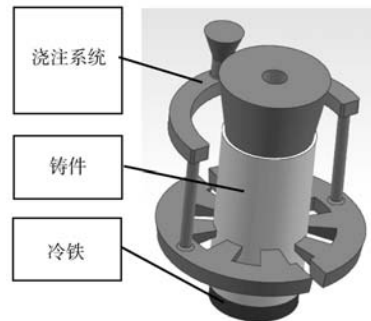
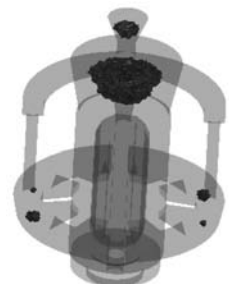


图5 重力浇注工艺图

Fig. 5 Process drawing of the GDC

未见明显紊流等异常现象，凝固顺序较为理想，温度场梯度均匀，实现自下而上凝固顺序理念（图6），疏松结果显示铸件部分未见明显疏松区域（图7），无孤立凝固相。分析认为，理论上工艺可行。方案工艺出品率约为55%。

图6 重力浇注工艺凝固图
Fig. 6 Solidification time of the GDC图7 重力浇注工艺疏松缺陷图
Fig. 7 Total shrinkage porosity of the GDC

1.2 造型方式

研究采用树脂砂造型方式，关键工序的工艺参数见表2。

表2 工艺参数
Table 2 Process parameters

| 工艺类型 | 工艺过程参数 |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 重力浇注工艺 | 浇注温度 700 ± 5 ℃，浇注速度 40 ± 5 mm/s |
| 低压浇注工艺 | 浇注温度 680 ± 5 ℃，浇注速度40 mm/s，结壳增压压力3 kPa，结壳增压速度1.5 kPa/s，结晶增压压力7 kPa，结晶增压速度2.5 kPa/s |

2 试验结果及分析

2.1 低压浇注工艺

浇注过程未见明显异常，浇注完毕后，铸型从JM-083低压铸造机移除时，发现铸型升液管上方部分趋于凝固，认为生产实际工艺参数与工艺设想相对一致。

铸件精清后，下箱法兰位置可见明显缩孔、疏松缺陷（图8）。分析认为，该位置产生缺陷的原因为铝液补缩不良。缺陷位置距离升液管较近，是铸件最后凝固的位置（较升液管上方部分凝固时间长），即升

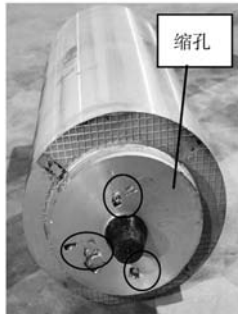


图8 低压浇注工艺铸件情况

Fig. 8 Quality condition of the casting of the LPDC

液管不能对该位置形成有效补缩。分析发现设施部分升液管直径150 mm (为生产现场最大尺寸的升液管) 较立筒直径260 mm小, 在有限的结晶增压时间内升液管不能对铸件有效增压、补缩。认为此浇注工艺有待优化。

2.2 重力浇注工艺

充型时间较理论模拟值延长5 s, 手工浇包浇注速度可能与工艺参数有一定出入。铸件外观质量表现良好 (图9a), 表面精清后荧光检测未见异常 (图9b), X光检查内部质量满足铸件技术要求, 其中冒口根部铸件组织疏松2级 (图9c)。

参考文献:

- [1] STORHR R A, HWANG W S. Modeling the flow of molten metal having a free surface during entry into molds[C]// Proceeding of International Conference on Modeling of Casting and Welding process II. Warrendale PA USA: The Metallurgical Society of AIME, 1984: 47-58.
- [2] 郭忠民, 陈大胜. 薄壁复杂铝合金铸件低压铸造工艺实践 [J]. 铸造技术 (增刊), 2007, 28: 62-64.
- [3] 刘小华, 李凤春. 大型厚壁铝合金筒体铸件铸造工艺设计 [J]. 铸造技术, 2012, 33 (9): 1107-1109.
- [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] 王超, 刘航, 游龙, 等. 低压铸造充型过程的数值模拟技术 [J]. 武汉科技大学学报 (自然科学版), 2010, 33 (5): 501-504.
- [6] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册 第六卷: 特种铸造 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.

Study on Casting Process of ZL205A Aluminum Alloy Casting with Thick Wall

DING Zhi-jie, WEI Yong-li, ZHU Li-long

(Shanxi Regal Advanced Material Co., Ltd., Yuncheng 043800, Shanxi, China)

Abstract:

The theoretical simulation developed based on FEM (Finite Element Methods) is of great significance to the research of aluminum alloy casting. The low-pressure die casting and gravity casting process of ZL205A aluminum alloy cylinder casting were used to determine the ideal process according to the actual quality of the casting of the corresponding process. The research results showed that the 1:4:5 open gravity pouring process was adopted, and the product appearance fluorescence inspection and internal X-ray flaw detection inspection all met the technical needs of the product, and the process production rate reached more than 55%.

Key words:

ZL205A aluminum alloy; ProCAST simulation; low pressure die casting; gravity casting

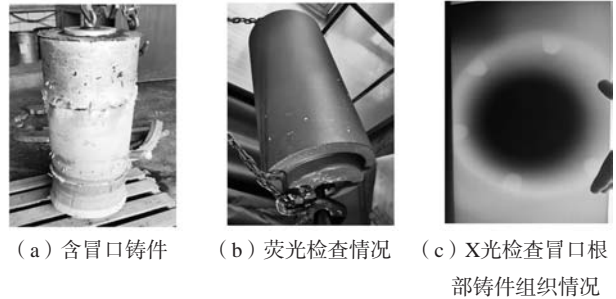


图9 重力浇注工艺铸件情况

Fig. 9 Quality condition of the casting of the GDC

3 结论

(1) 该厚壁筒体铸件采用重力铸造工艺可以满足铸件技术要求。工艺设计浇注系统面积比 $\sum S_{直浇道} : \sum S_{横浇道} : \sum S_{内浇道} = 1:4:5$, 采用中注的浇注方式, 铸件顶冒口采用保温冒口设计, 铸件底部设计厚度为铸件壁厚1.2倍的随形冷铁。工艺出品率为55%。

(2) 而采用低压铸造工艺浇注后铸件存在缩孔、疏松等缺陷, 不能满足产品技术要求。主要原因为升液管直径设计不足, 升液管直径以不低于260 mm为宜。工艺出品率仅为20%, 综合考虑, 此工艺设计不适合此产品的试制。