

低压铸造船用铝合金电气箱工艺研究

王晓磊 孙少纯 李燕杰
(江苏大学材料科学与工程学院)

摘要 针对传统重力铸造船用铝合金电气箱缺陷严重的问题,设计了低压铸造工艺方案。基于 ProCAST 软件,对铸件的生产过程进行模拟,并根据模拟结果对工艺方案进行改进。结果表明,选用合理的浇注位置,在箱体内部增设内浇道,且在铸件上部增设冒口,不仅可以对铸件进行有效补缩,同时可收集浮渣,提高铸件品质。

关键词 低压铸造;ProCAST;缩松;冒口;铝合金

中图分类号 TG249.2;TP311;TG146.21

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2021.07.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Low Pressure Casting Process of Marine Aluminum Alloy Electrical Box
Based on ProCAST Software

Wang Xiaolei, Sun Shaochun, Li Yanjie

(School of Materials Science and Engineering, Jiangsu University)

Abstract: In order to solve the problem of serious defects in the traditional gravity filling casting of marine aluminum alloy electrical box, a low-pressure casting scheme was designed and simulated by the ProCAST software. According to the simulation results, the process scheme was optimized. The reasonable pouring position was selected with the ingate added in the box, and the riser was added in the upper part of the casting, which could not only effectively feed the casting, but also collect scum, thus improving the quality of the casting.

Key Words: Low Pressure Die Casting, ProCAST, Shrinkage Porosity, Riser, Aluminum Alloy

铝合金电气箱是船舶常用工件之一,其通常与多种电气元件相互装配,在水下工作,服役环境较差,对电气箱体的要求较高^[1]。铝合金电气箱传统的铸造工艺为重力铸造,铸件缺陷较多,铸件的合格率低,其性能也不能满足正常使用。低压铸造可以控制浇注过程中合金液的充型速度,使金属液层流充型,保证充型平稳^[2],同时,压力下凝固还可以促进补缩作用,使铸件组织更加致密,缺陷减少。本课题基于 ProCAST 软件,对船用铝合金电气箱体的铸造过程进行模拟仿真,根据电气箱体结构特点和性能要求,设计出合理的底注式浇注系统和压力曲线^[3],然后根据模拟结果,针对箱体在圆搭子处产生的缩松情况,增设冒口,有效改善缩松、缩孔缺陷,为箱体实际生产提供参考。

度为 2.66 g/cm³,该合金的铸造性能良好,流动性好、气密性高、耐腐蚀性高,可进行热处理强化,具有自然时效能力,铸件结构见图 1。轮廓尺寸为 320 mm×215 mm×182 mm,最大壁厚为 22.75 mm,最小壁厚为 14 mm,铸件毛坯质量为 4.759 kg,采用低压铸造工艺生产。铸

表 1 ZL101 合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of ZL101 alloy %			
w_B			
Mg	Si	Mn(杂质)	Al
0.25~0.45	6.5~7.5	≤0.35	余量



图 1 铸件模型结构

Fig.1 Casting configuration structure

1 铸件结构特点及工艺分析

1.1 铸件结构分析

电气箱材质为 ZL101 合金,其合金成分见表 1,密

收稿日期:2020-12-18;修改稿收到日期:2021-03-10

第一作者简介:王晓磊,男,1995 年出生,硕士研究生,江苏镇江(212013),E-mail:18852868033@163.com

通信作者:孙少纯,男,1963 年出生,副教授,江苏镇江(212013),E-mail:ssc@ujs.edu.cn

引用格式:王晓磊,孙少纯,李燕杰. 低压铸造船用铝合金电气箱工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金,2021,41(7):913-917.

WANG X L, SUN S C, LI Y J. Low pressure casting process of marine aluminum alloy electrical box based on ProCAST software[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2021, 41(7):913-917.

件整体壁厚均匀,在内部 4 个角处有圆台,厚度最大可达 34 mm,容易形生热节;在铸件的内部两侧有凸台,厚度为 6 mm,平台和凸台之间相互隔离,金属液在此处的流动性会受到一定程度的影响;箱体的前部有内径为 62.5 mm、深 9 mm 的槽孔。根据铸造工艺要求,铸件上的槽孔、螺纹孔等可后续加工。

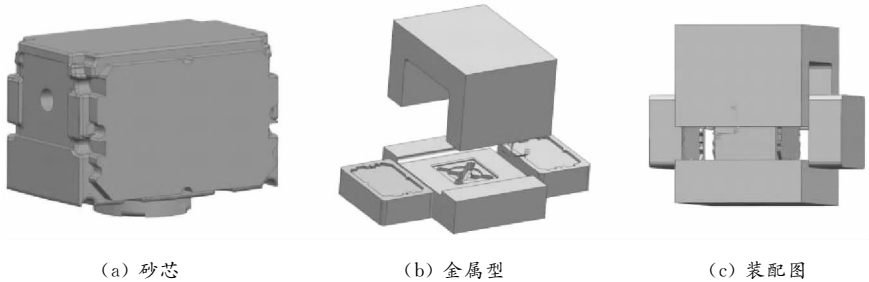


图 2 砂芯、金属型装配图

Fig.2 Assembly diagram of sand core and metal mold

进行检查以及面网格和体网格划分。其中铸件部分网格尺寸设为 2 mm,砂芯网格尺寸为 5 mm,金属型为 10 mm,面网格数为 100 586,划分体网格数为 2 569 315。

1.3 参数设置

基于低压铸造工艺特点,确定重力方向与铸件浇注入口方向相反^[4]。根据软件的材料库,设置 ZL101 合金的液相线温度(613 ℃)、固相线温度(548 ℃)、凝固潜热(431 kJ/kg)、比热容和固相率等热力学参数。根据铸件要求气密性较高、较好的耐蚀性,同时可以承受较高的金属液冲击,故砂芯选用树脂砂,模具则选择模具钢。

模拟运行参数主要包括充型形式(Preference)、通用运行参数(General)、温度运行参数(Thermal)、流动运行参数(Flow),其他可选取默认值^[5]。充型形式选择低压铸造(LPDC),运行总步数 50 000 步,模拟终止温度(TSTOP)设置为 20 ℃。Thermal 模块下缩孔缩松分析(POROS)设置为 ON,Flow 模块下气体影响(GAS)设置为 ON。

2 浇注系统设计

根据箱体铸件的结构特点以及考虑铸件的凝固顺序和补缩情况,且为了获得致密的铸件,采用底注式浇注系统。根据不同铸件结构,选择合理的内浇道位置和数量,保证铸件充型过程的平稳性和凝固顺序的合理性。在压力作用下,金属液通过浇注系统不仅可以填充型腔同时还可以充当补缩冒口,在结晶保压压力下,使铸件得到的补缩效果更好^[5]。根据文献[6]以及对铸件的结构分析,设计以下两种浇注系统,见图 3。

低压铸造的充型工艺主要包括升液、充型、增压、凝

1.2 三维模型与网格划分

采用 UG10.0 进行三维建模,模型中有铸件、砂芯以及外围包围的金属型,并进行装配,见图 2。模型建好后,对铸件、砂芯、金属外型分别以 x.t 格式导出。运行 ProCAST 软件进入 MeshCast 模块,分别将 3 种模型导入到软件中。将三维文件导入 MeshCast 模块后

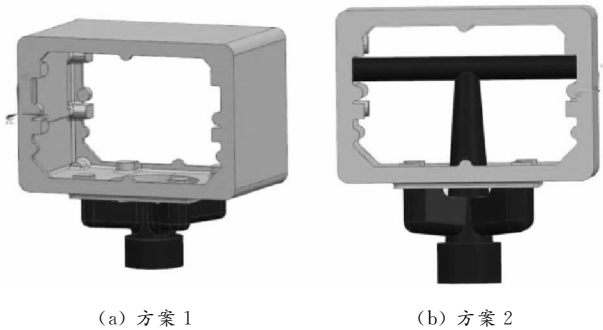


图 3 带有浇注系统的铸件三维模型

Fig.3 3D model of castings with gating system

固和卸压冷却等。在升液阶段金属液尽可能缓慢,有利于型腔内的气体排出;充型阶段保证充型平稳,充满型腔后增压凝固,保证得到致密铸件,随后冷却卸压,完成整个充型过程^[7]。根据相关计算公式,确定好各阶段压力值和时间,具体工艺方案见图 4。

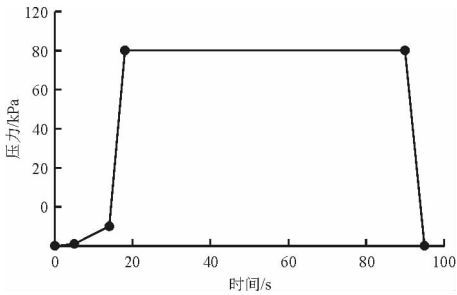


图 4 箱体低压铸造工艺图

Fig.4 Low pressure casting process of box

3 数值模拟与结果分析

考虑电机箱的箱体结构,在箱体的内部有局部厚度较大处以及平台,有多处壁厚不均匀处,为了保证平稳充型以及顺序凝固,采用底注式浇注系统,有利于铸件

的补缩^[7]。

3.1 初始模拟与结果

根据实际生产经验,设置初始浇注温度为 700 ℃,砂芯温度为 25 ℃,同时金属型预热到 300 ℃,铸件与砂芯之间的传热系数设为 $750\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$,铸件与金属型的传热系数设为 $2\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$,砂芯和金属型的传热系数设为 $500\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$,运用 Pro-CAST 软件对两种浇注系统进行模拟^[8]。图 5 为箱体的两种浇注系统充型过程温度场模拟。

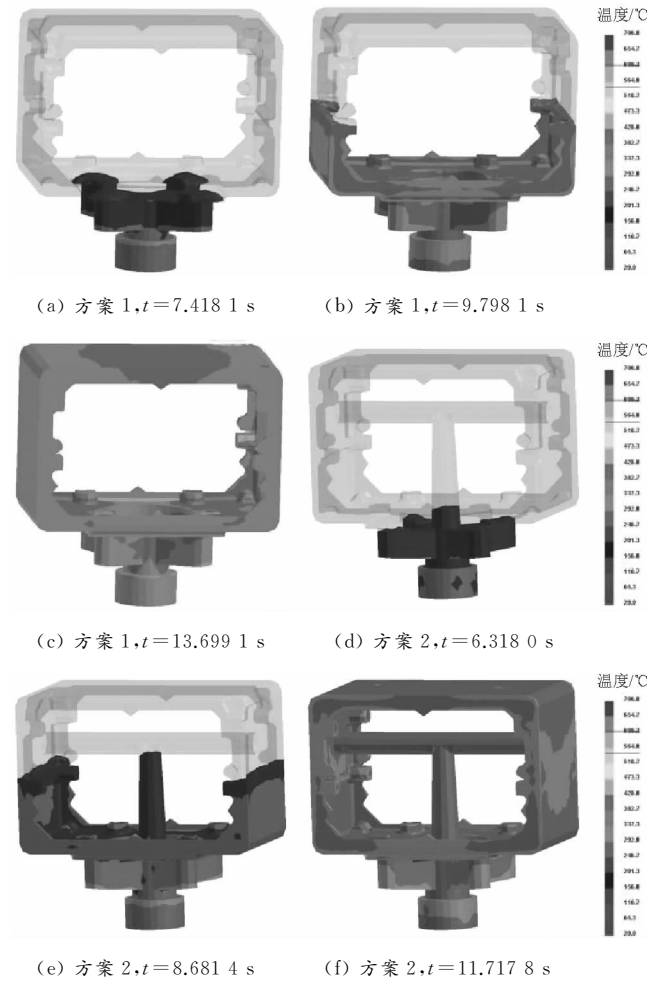


图 5 初始方案铸件充型温度场

Fig.5 The temperature field of casting filling in initial schemes

图 6 为两种方案的缩松缩孔的具体形成位置。可以看出,方案 1 没有浇道通入铸件的内腔,铸件充型时间较长,且金属液在型腔内所受的阻力较大,流动性较差,在铸件的凸台圆搭子处有较为严重的缩松,铸件的顶部在金属液进入后,充型时间较长,温度降低,金属液的流动性降低,补缩能力降低,而铸件圆搭子处由于厚度较大,在凝固过程中易产生热节,故在圆搭子处有较为严重的缩松,见图 6a。

方案 2 有浇道通入箱体内部,金属液进入浇道后可

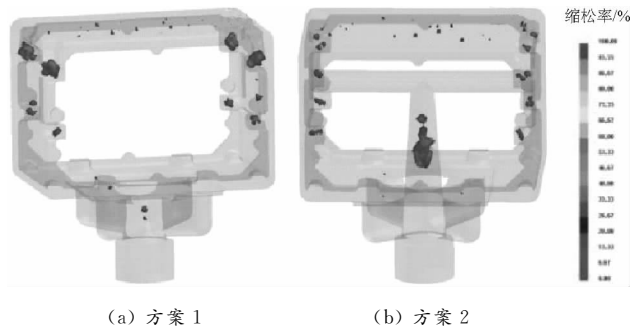


图 6 初始方案模拟缩孔缩松产生位置

Fig.6 The position of simulated shrinkage cavity and porosity in the castings in initial schemes

以更好地填充型腔,在压力作用下,可以使浇道里的金属液对铸件进行补缩,且整个铸件的充型较为平稳,铸件的温度场分布也较为合理,符合顺序凝固,箱体铸件的缺陷也较少^[9]。对比可知,方案 2 更为理想。同时,针对箱体圆台处的缩松缺陷,可增设冒口补缩。

3.2 冒口设计

针对电气箱内部圆台处的缩松情况,拟在铸件顶部增设冒口,由文献[5]可知,对于铝合金铸件的冒口补缩距离:共晶型 $L=4.5H$,非共晶型 $L=2H$,本铸件的补缩距离取 $L=2H$,其中, L 为补缩距离, H 为浇道高度。

铸件用补缩量法计算球形圆柱暗冒口的尺寸,冒口中补缩量用下式计算

$$G_0 = (G_C + G_R)\epsilon = (1.5 \sim 1.6)G_C\epsilon \quad (1)$$

式中, G_0 为冒口中需存储的补缩量; G_C 为冒口补缩区内铸型浇注后体积扩大的铸件的质量; G_R 为冒口质量; ϵ 为金属液的体收缩率。由式(1)计算出 G_0 的值并根据铸件画图分析,可知冒口部位补缩的热节圆直径 $d_0=8\text{ cm}$ 。将其代入下式计算出球顶圆柱形暗冒口的直径 d 和高 h 。

$$G_0 = \frac{\pi (d - d_0)^2}{4} [h - (\frac{d}{2} + h')] \rho \times 0.77 \quad (2)$$

式中, d 为冒口直径; h 为冒口高度; d_0 为热节圆直径; ρ 为铝液密度; h' 为保险高度。经计算得出 $d=0.5\text{ cm}$, $h=0.75\text{ cm}$ 。

3.3 工艺验证

考虑在凝固过程中,当内浇道末端凝固,不再对铸件上部以及冒口处的熔体施加压力时,上部冒口金属液可以加大对圆台处的补缩。此外,在低压充型的过程中,可以将型腔内的涂料、氧化物等杂质在充型过程中上浮聚集在上部冒口处,保证了铸件的品质。图 7 为增设冒口方案及网格划分结果。由图 7 可见,面网格划分数量为 100 646,体网格划分数量为 171 246。

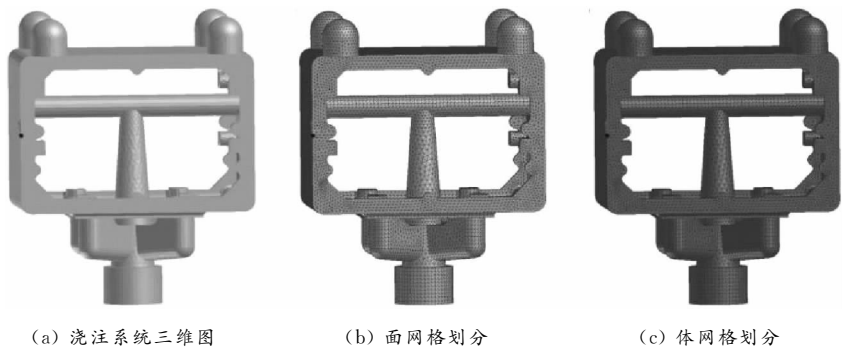


图 7 增设冒口方案及面网格、体网格

Fig.7 Adding riser scheme and surface grid as well as volume grid

前处理完成之后,在 Cast 模块按照初始浇注系统方案的参数进行设置,其中浇注温度为 700 ℃,砂芯温度为 25 ℃,金属型温度为 300 ℃,对修改后方案进行模拟仿真。图 8 为优化方案铸件充型过程。可以看出,5 s 时在升液压力的作用下刚刚抵达升液管的顶部,随后进入充型阶段;在充型压力作用下,金属液开始逐渐上升,进入腔体内部,在 6.899 3 s 时金属液充满下部浇注系统并开始进入型腔内部,随后在压力作用下,金属液

较为平稳地进入型腔。充型过程相对平稳,无明显卷气现象,之后金属液充入冒口处,在 13.574 0 s 时充型完成。

图 9 为优化方案铸件的凝固过程。可以看出,当 $t=13.574\ 0\ \text{s}$ 时,铸件开始凝固,基本上是在充型结束的同时开始凝固。铸件的外围被金属型包裹,传热系数大,所以铸件冷却凝固是由外向内逐渐凝固的,而浇道处于砂芯内部,其传热系数较小,则浇道内的金属液可

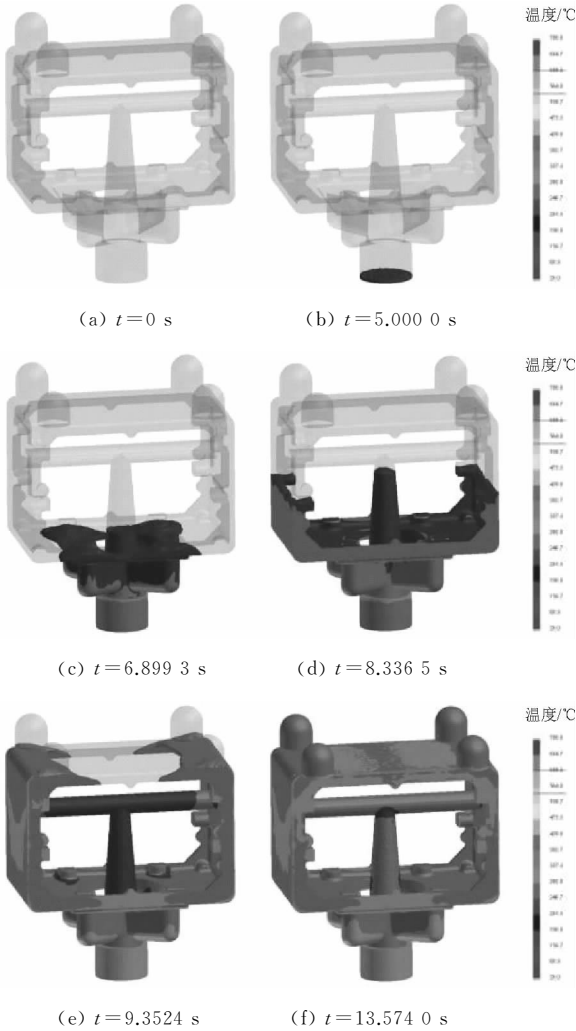


图 8 优化方案充型过程模拟

Fig.8 Filling process simulation of the optimized schemes

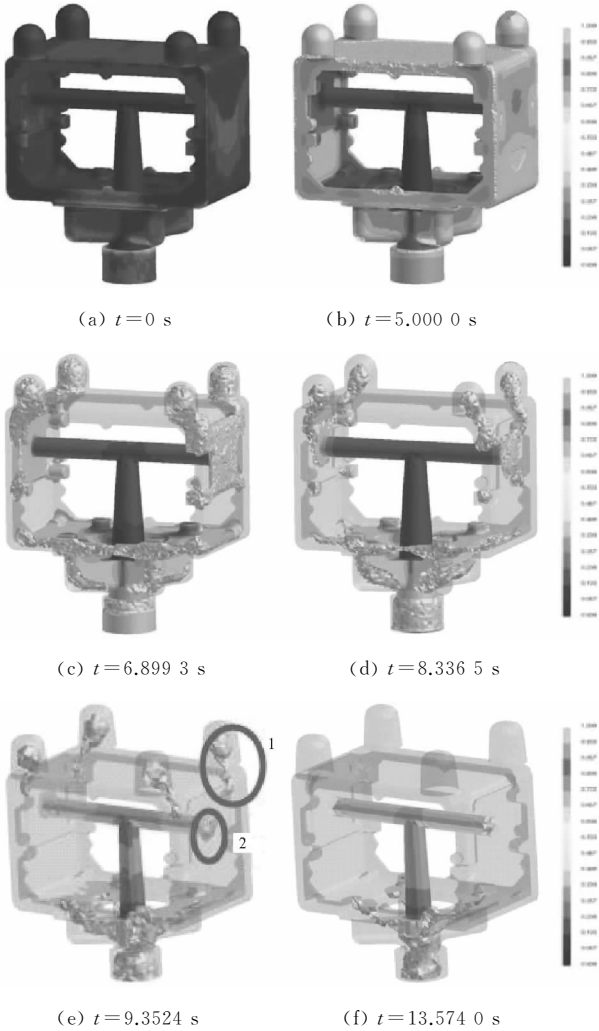


图 9 优化方案凝固过程

Fig.9 Solidification process simulation of the optimized schemes

以保证较高的温度以及较好的流动性,因此,在充型结束后的凝固期间,浇道内的金属液在保压压力的作用下仍可以对铸件进行一定量的补缩。而冒口上的金属液在凝固时会与圆搭子处形成补缩区域(见图 9 中 1 处),对铸件上的圆搭子起到一定的补缩作用;在浇注系统的内浇道末端凝固后(见图 9 中 2 处),会切断浇道与上部铸件和冒口之间的压力作用关系,此时,上部冒口处的金属液仍具有流动性,从而对下面的圆搭子进行补缩。此外,在金属液充型上升期间,型腔内部的涂料以及一些氧化夹杂物会随着金属液的上升而被挤推到冒口处,同样可以保证铸件的品质。整个铸件的凝固过程符合从外到内的顺序凝固,最终凝固的区域保证在浇道以及冒口里,符合实际的生产要求。

图 10 为优化方案铸件的缩孔、缩松预测结果。可以看出,当铸件凝固完成后,缩松主要集中在冒口和浇注系统,充分发挥了冒口和浇注系统的补缩作用。虽然额外增加冒口会消耗更多的金属液,但冒口尺寸较小,并且可以起到良好的补缩效果,保证了铸件的品质。与原浇注系统相比,缩松、缩孔面积明显减小,由此可知增设的冒口补缩效果良好。

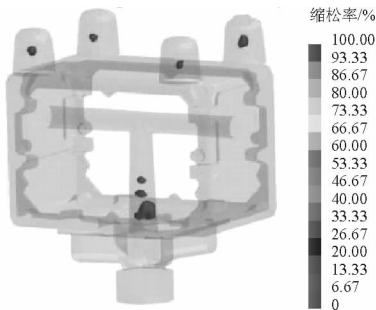


图 10 优化方案缩松缩孔结果

Fig.10 Simulation of shrinkage cavity and porosity based on the optimized schemes

由以上分析可知,通过对原有的工艺方案进行改进,并且在电气箱体的顶部加上补缩冒口,使铸件圆台处的缩松情况得到显著改善。根据试验结果,进行了投产试制,试制效果良好,实际铸件见图 11。



图 11 实际生产的铸件

Fig.11 Actual produced casting

4 结 论

(1)重力铸造充型时,铝合金电气箱在圆台处有严重的缩松、缩孔,以及表面气孔等缺陷,废品率达到 60% 以上,而采用低压铸造工艺后,铸件的合格率明显提高,可达 95% 以上。

(2)根据充型和凝固模拟结果,分析了铸件的充型过程和凝固特点,对原有的铸件工艺进行了改进,选择合理的浇注位置并增设 4 个冒口,获得了良好的铸件。

参 考 文 献

[1] 刘清龙.大型船用电气控制箱结构设计研究[J].家电科技, 2017 (4): 84-85.

[2] 李伟. 低压铸造铝合金轮毂的数值模拟与工艺优化[D].合肥:合肥工业大学,2015.

[3] 余瑞平,赵拴勃,千斌,等.铝合金砂型低压铸造浇注系统的选择与设计[J].热加工工艺, 2013, 42(5): 41-43.

[4] 肖飞. 汽车铝合金变速箱低压铸造数值模拟及工艺优化[D].南昌:南昌大学, 2014.

[5] 姜不居.铸造手册(第 6 卷):特种铸造[M].北京:机械工业出版社, 2010.

[6] 中国机械工程学会铸造分会编. 铸造手册(第 3 卷):铸造非铁合金[M].北京:机械工业出版社, 2001.

[7] 刘国庆,隋大山,解国宏,等.大型铝合金薄壁筒形件低压铸造工艺的数值模拟[J].热加工工艺, 2019, 48(9): 74-78.

[8] 韩伟,段海峰,童洲,等.电动客车水冷机壳低压铸造工艺设计与优化[J].特种铸造及有色合金, 2020, 40(8): 857-860.

[9] 刘艺,王华.基于 ProCAST 的上倾倒框铸造工艺设计优化[J].热加工工艺, 2019, 48(15): 72-77.

(编辑:栗万仲)

欢迎关注
“特种铸造”
微信公众号



- 微官网
- 行业动态
- 联系我们
- 微商城
- 铸造前沿
- 免费推广
- 本刊会议
- 经典案例
- 铸造职场
- 收录动态
- 铸造学堂
- 产品库
- 稿件系统
- 专利与发明
- 企业库