

# 铝合金薄壁壳体低压铸造工艺方案设计

王宇航, 苏小平

(南京工业大学 机械与动力工程学院, 江苏南京 211816)

**摘要:** 针对铝合金薄壁壳体生产中, 缩松、缩孔缺陷多, 力学性能差的问题, 本研究设计了底注式和缝隙式相结合的浇注系统, 综合运用铸造数值模拟仿真、响应面分析等手段, 优化了铸造工艺方案。结果表明: 优化后的铝合金薄壁壳体无缩松、缩孔缺陷, 二次枝晶间距减小了10.87%, 显著提升了铸件的力学性能。通过金相分析, 验证了本低压铸造工艺方案的正确性。

**关键词:** 铝合金薄壁壳体; 响应面法; 浇注系统设计; 铸造方案优化

随着碳中和概念的提出, 节能环保再一次成为人们关注的热点问题<sup>[1]</sup>。这也促使机械制造业朝着轻量化发展, 铝合金铸造作为制造业重要的一环, 为了达到轻量化的要求, 铸件的壁厚越来越薄也是必然的趋势<sup>[2]</sup>。但铝合金薄壁件具有难以成形、缺陷多的特点, 造成这类零件良品率低的问题<sup>[3]</sup>。

本文以铝合金薄壁壳体为研究对象, 在建模软件CATIA中建立带有浇注系统的三维模型, 应用Procast对铸件铸造成形过程进行数值模拟计算。根据计算结果, 优化设计浇注系统, 再利用Design-expert软件设计响应面试验, 优化铸造工艺方案, 最后进行冷却系统设计。最终获得了成形质量高且力学性能良好的铝合金薄壁壳体铸件。

## 1 原工艺分析

### 1.1 铸件结构与原始浇注系统

本文研究对象为铝合金薄壁壳体, 铝合金牌号为A356。其外观如图1所示, 铸件特征为形状细而长, 纵向高度差异大, 壁厚较薄的异型铝合金壳体。铸件尺寸为: 733.5 mm × 230.6 mm × 495 mm; 铸件壁厚大多在6 mm, 且存在大量加强筋和肋板, 铸件左侧高度明显高于右侧, 使得铸件左侧相比右侧难以补缩。根据铸件几何特征, 初步设计浇注系统如图2所示。

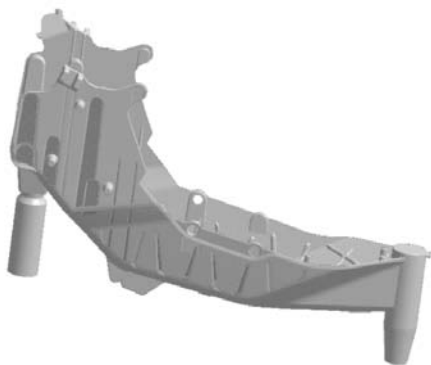


图1 铝合金薄壁壳体三维模型



图2 初步浇注系统三维模型

Fig. 1 3D model of the aluminum alloy thin wall parts

Fig. 2 Preliminary 3D model of the gating system

作者简介:

王宇航(1998-), 男, 硕士, 主要研究方向铝合金成形工艺。E-mail: wyh15261825818@163.com

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)08-0990-04

基金项目:

国家自然科学基金资助项目(51865031)。

收稿日期:

2021-11-11 收到初稿,

2021-12-19 收到修订稿。

## 1.2 原浇注系统数值模拟结果分析

数值模拟结果预测铸件会产生如图3所示的缩松、缩孔缺陷，通过分析得出，产生缩松、缩孔缺陷的原因可能有两个：①铸件中段以及右端某些位置离内浇道的距离过远导致补缩路径过长，使铸件难以得到补缩产生缩松、缩孔；②铸件结构上存在一些难以顺序凝固的复杂结构。针对以上两个问题，提出如下两点解决方案：优化设计铸件的浇注系统，设计保温与冷却措施确保铸件可以顺序凝固。



图3 原始浇注系统缩松、缩孔预测图

Fig. 3 Prediction diagram of shrinkage porosity and shrinkage cavity of the original gating system

## 2 浇注系统优化设计

根据图3所示，缩松、缩孔缺陷大多分布在铸件中后段，中段缺陷产生的主要原因是金属液从铸件左右两端充入，使得内浇道离铸件中段距离过远，进而补缩通道过长。所以应在铸件中段添加如图4所示铸件中部的两个内浇道。后端产生的缺陷是因为铸件后端高度过高，这也使得充型和补缩困难。因此，设计了缝隙式浇注通道如图4所示。根据浇道的分布，设计了T型横浇道。

综上所述，设计了如图4的浇注系统，用此浇注系统在Procast中模拟得到如图5所示的结果。通过浇注系统优化，铸件缺陷从 $3.84 \text{ cm}^3$ 减少到 $0.68 \text{ cm}^3$ ，使铸件缺陷减少了82.29%，大幅度减少了铸件铸造缺陷。



图4 优化后的浇注系统图

Fig. 4 Optimized gating system



图5 优化浇注系统后缩松缩孔预测图

Fig. 5 Prediction of shrinkage porosity after optimizing gating system

## 3 保温措施与冷却系统设计

由于铝合金薄壁壳体结构复杂，铸造过程中必然会产生热节与冷节，难以顺序凝固产生缩松、缩孔缺陷，为了使铝合金薄壁壳体能够顺序凝固，需要对铸件冷节处进行保温，以及对与铸件热节处接触的模具部位进行冷却<sup>[4]</sup>。

### 3.1 保温措施设计

保温措施设计一种思路是降低铸件与模具之间的传热系数，使散热变慢，从而达到保温的效果，尤其是上模、下模、侧模的传热系数对铸件质量的影响十分显著<sup>[5]</sup>，因此本文将使用响应面法来探究传热系数对研究对象的影响规律。将上模与铸件传热系数 $A$ ，下模与铸件传热系数 $B$ ，侧模与铸件传热系数 $C$ 作为试验因素，缩松、缩孔孔隙体积作为响应指标。通过Design-expert软件中的Box-Behnken方法设计了17组试验，其因素水平设计如表1所示。根据试验得到的数据，通过响应面分析，提出降低下模与铸件传热系数来改善铸件成形质量的方法。在实际生产中可以通过改变下模铸型涂料的方式，来达到降低下模与铸件传热系数的目的。

表1 响应面试验因素水平表  
Table 1 Factor level of response surface test

因素	水平		
	-1	0	1
上模与铸件传热系数 $A/(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$	1 000	1 500	2 000
下模与铸件传热系数 $B/(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$	1 000	1 500	2 000
侧模与铸件传热系数 $C/(W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1})$	1 000	1 500	2 000

在Procast软件中可选取铸件底部的网格，设置其与底部模具之间的界面传热系数比其他模具与铸件之间界面传热系数低，结合之前优化后的浇注系统，得到如图6所示的预测结果。可以明显看出，使用保温措施后，铸件出现缩松、缩孔的部位减少，主要缺陷分布在铸件底部结构比较复杂的位置，铸件该位置结构类似工字梁，另一处处在铸件厚度突变处。



图6 保温措施后缩松、缩孔预测图

Fig. 6 Prediction of shrinkage porosity and shrinkage cavity after thermal insulation measures

### 3.2 冷却系统设计

针对图6左侧的缺陷采取点冷的方式,运用试错法经过多次尝试不难获得此位置的冷却管道的布置。对于图6右侧的缩松、缩孔缺陷,由于其处于非常复杂的结构中,如图7所示,冷却系统难以设计与布置。由于铸件在该处有四个表面要向模具传热,且四个表面围成的空间也十分狭小,导致模具在此处会过热。并且产生缩松、缩孔的位置明显比其他位置厚度更厚。所以要想消除该处缺陷,首先需要改变四个面同时向模具传热的现状,需对图中深色的面进行保温处理,降低其传热系数,对与该面对称的面进行同样的操作。这样可以显著减少此处的过热,接下来就是设计此处的冷却系统,综合此处结构等一系列因素,设计了如图8深色部分的冷却系统,最终在冷却系统的帮助下,铸件的缩松、缩孔缺陷全部被消除。



图7 铸件局部结构图

Fig. 7 Partial structure of the casting

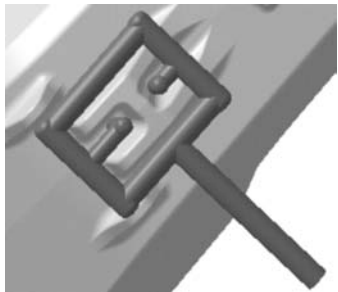


图8 铸件局部冷却系统

Fig. 8 Local cooling system of the casting

## 4 优化工艺方案后对铸件力学性能的影响

在铸造数值模拟领域,一般用二次枝晶间距值来反映铸件的力学性能<sup>[6]</sup>。工艺方案优化之前,铸件的二次枝晶间距最大值为58.90  $\mu\text{m}$ ,经过以上优化步骤之后,铸件的二次枝晶间距最大值为52.50  $\mu\text{m}$ ,优化前后二次枝晶间距值对比,如图9所示。二次枝晶间距值减小了10.87%,显著提高了铸件的力学性能,后续可以通过优化浇注工艺参数的方式进一步减小铸件二次枝晶间距值,继续提升铸件力学性能。

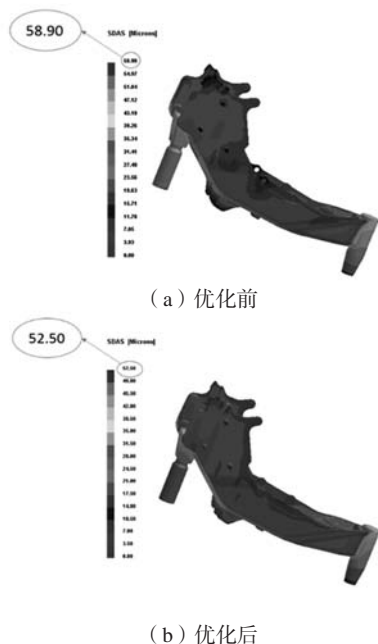


图9 优化前后二次枝晶间距值对比图

Fig. 9 Comparison of secondary dendrite spacing before and after optimization

铸造工艺方案优化前,工厂反应铸件成形质量不佳,力学性能较差。铸造工艺方案优化后,在试制壳体数值模拟缺陷最严重处取样,具体处在图7表示的位置,该位置的金相图如图10所示。根据该图可以推断出壳体内部组织均匀,无明显缩松、缩孔现象,铸件力学性能明显改善,验证了工艺方案的正确性。

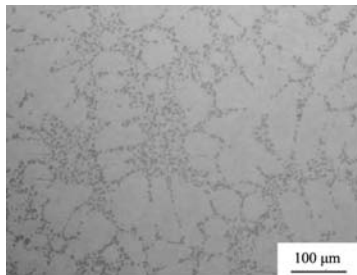


图10 铸件数值模拟缺陷最严重处金相图

Fig. 10 Metallographic microstructure of the most serious defect in the numerical simulation

## 5 结论

(1) 通过优化浇注系统, 铸件缺陷从 $3.84 \text{ cm}^3$ 减少到 $0.34 \text{ cm}^3$ , 大幅度提高了铸件的成形质量。

(2) 铸件与模具之间的换热系数会显著影响铸件成形质量, 对于本文研究对象来说, 合理降低下模与

铸件的传热系数有助于改善铸件的成形质量。

(3) 综合利用保温和冷却措施改善了铸件结构复杂、难以顺序凝固处的成形质量。

(4) 使铸件二次枝晶间距值降低了10.87%, 提高了铸件的力学性能。

### 参考文献:

- [1] 白泉. 建设“碳中和”的现代化强国 始终要把节能增效放在突出位置 [J]. 中国能源, 2021, 43(1): 7-11, 16.
- [2] 李剑, 郝启堂, 李新雷, 等. 铝合金薄壁件真空吸铸充型能力的研究 [J]. 铸造, 2012, 61(3): 304-307.
- [3] 陈忠伟, 郝启堂, 介万奇. A357铝合金复杂薄壁铸件的反重力铸造研究 [J]. 铸造, 2004(12): 988-991.
- [4] 吴跃翔, 苏小平. 铝合金变速器壳体压铸工艺设计及优化 [J]. 铸造, 2021, 70(3): 311-315.
- [5] 常涛. 低压铸造ZL205A合金界面换热系数的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
- [6] 李智伟, 刘新超, 边毅, 等. 低压铸造凝固条件对A357合金组织及力学性能影响 [J]. 铸造, 2014, 63(6): 551-555.

---

## Study on Low Pressure Casting Process Design of Aluminum Alloy Thin Wall Parts

WANG Yu-hang, SU Xiao-ping

(School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing Tech University, Nanjing 211816, Jiangsu, China)

### Abstract:

Aiming at the problems of many shrinkage defects and poor mechanical properties in the real production of aluminum alloy thin-walled parts. By means of casting numerical simulation and response surface analysis, the gating system with the combination of bottom injection and gap was designed, and the casting process was optimized. The results showed that the optimized aluminum alloy thin-walled parts had no shrinkage defects and the secondary dendrite spacing was reduced, increasing the mechanical properties of the castings. The correctness of the low pressure casting process was verified by metallographic analysis.

### Key words:

aluminum alloy thin wall parts; response surface method; gating system design; casting scheme optimization

---