

# 汽车活塞浇注系统的改进及数值模拟

王 浩, 张 龙, 黄贞益

(安徽工业大学冶金工程学院, 安徽马鞍山 243000)

**摘要:** 采用Anycasting模拟软件研究了不同浇注系统对汽车活塞顶部缺陷的影响。通过对浇注系统的改进, 包括增加浇注系统直浇道和双侧内浇道的横截面积, 增大浇口杯横截面积和冒口的尺寸, 将浇注系统和冒口整体化, 实现了金属液的补缩从零件上表面推赶至冒口和浇注系统中, 减小了金属液在充型过程形成的内压, 解决了金属液进入内浇道时紊乱充型的问题, 使得活塞顶部形成的缩孔缺陷消失。提高了生产率, 为实际生产提供了指导。

**关键词:** 活塞; 缩孔; 浇注系统; 模拟

铝合金因其具有优良的力学性能和铸造性能以及价格低廉等优点, 被广泛用于工业零件生产, 如汽车活塞、汽车轮毂等。但是在铝合金铸造过程中, 虽然添加硅、铜等合金元素能够一定程度上减小活塞顶部的缩孔问题, 但当活塞顶部的燃烧室面不能机加工时, 仅靠添加合金元素难以提高活塞的生产合格率。

通过计算机的数值模拟, 能够直观显示金属液的充型过程, 定性定量分析铸造过程充型、凝固以及残余熔体模数的变化, 从而为缺陷分析、工艺改进等提供理论依据。本课题通过计算机辅助分析, 研究了汽车活塞顶部出现缩孔的成因, 并通过改变浇注系统的设计以及相关参数的设定, 消除了铸件原工艺条件下存在的缩孔, 节约了生产成本, 提高了效率, 为实际工厂生产提供了理论依据。

## 1 活塞的工艺及优化方案

该汽车活塞在进行模拟时, 由原浇注系统的模拟结果可知, 燃烧室面下约4 mm处容易出现缩孔, 且金属液在充型时紊乱, 没有实现平稳充型和顺序凝固, 使得生产率低。通过优化浇注系统的设计, 来解决活塞顶部缩孔的问题。并且由于活塞顶部的燃烧室面在生产时不能进行机加工, 在设计浇注系统时不能将冒口放置于活塞燃烧室上, 所以冒口的位置放置于活塞两侧进行补缩。

该活塞的形状整体为平顶圆柱形, 活塞中心剖面宽度尺寸为56 mm, 活塞裙边到顶部的高度为52.50 mm, 活塞重量为0.47 kg, 铸件总重量为1.31 kg。活塞采用Anycasting数值模拟软件。原有工艺中, 金属液收缩率为0.85%, 浇注速度是0.12 kg/s, 金属液流动速度是13 mm/s。将设计完成的三维组件保存为stl格式并导入软件中, 通过改变相应参数进行模拟。模拟中采用金属型铸造和KS标准, 浇注铝液材质为AC8A铝合金, 金属型模具材质为Cast Steel H13。根据铸件的外形和重量, 将铸件的网格数划分为300万个正方形网格, 每个网格大小为1.7 mm × 1.7 mm × 1.7 mm。将铝液温度设定为790 °C时, 活塞模具的预热温度设定为200 °C, 模具型腔温度设定为150 °C。在浇注系统与零件的结合处加热过滤网板, 采用玻璃纤维过滤网, 其目的是减少金属中的非金属夹杂以及铸件夹渣缺陷, 改善铸件力学性能, 提高疲劳强度<sup>[1]</sup>。模拟的相关参数如表1所示。

优化方案主要改变了浇注系统的设计, 模拟的相关参数基本不变, 优

作者简介:

王 浩(1993-), 男, 硕士生, 主要研究方向为新型3DP铸造技术工艺。E-mail:2416174473@qq.com

中图分类号: TG244

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)01-0034-04

基金项目:

国家自然科学基金资助项目(51405002); 安徽工业大学研究生创新研究基金资助项目(2017139)。

收稿日期:

2018-06-04 收到初稿,

2018-10-24 收到修订稿。

化后的浇注系统整体上仍采用分直浇道、横浇道以及开放式的浇注系统，由奥赞公式计算可得，原浇注系统的截面比为 $\Sigma A_{直} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{内} = 1 : 1.15 : 1.2$ ，优化后的浇注系统的截面比为 $\Sigma A_{直} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{内} = 1 : 1.2 : 1.25$ 。优化后的浇注系统扩大了浇冒口的浇口杯尺寸，直浇道由水平连接活塞底部改为弯曲连接，并且将冒口与内浇道相连，优化后的冒口高于活塞相连处1.5 cm。将内浇道和活塞由底部连接优化为侧面整体连接，可以增加金属液注入活塞的横截面积，使得金属液在活塞的每一层的流动都能得到补缩。优化后的横浇道，采用弯曲的设计可以降低由直浇道进入横浇道的流动速度，使得金属液平稳充型<sup>[2]</sup>。图1所示为原浇注系统和优化浇注系统。

## 2 模拟分析及缺陷分析

活塞顶部的缩孔是由于金属液紊流充入铸型中，冒口不能及时补缩活塞顶部的金属液，使得活塞不能从底部逐层往上凝固，未能实现金属液的平稳充型和活塞的顺序凝固。本研究从充型过程模拟、凝固过程模拟和概率缺陷密度三个角度进行分析。

### 2.1 充型过程模拟分析

当金属液从浇口杯沿着直浇道注入内浇道时，由于内浇道横截面积较窄，单位时间内通过截面的金属液较少，在活塞裙部形成挤压力。当金属液从内浇道到达活塞裙部时，活塞头部形成的空腔厚度要大于裙部的厚度。所以在挤压力的作用下，金属液沿着活塞

底部裙边自下而上流入活塞顶部燃烧室面，形成了自上而下填充的结果。如图2所示，在充型4.9 s时，金属液从活塞顶部往活塞裙部流入；在9.3 s时，金属液已经充满直浇道并由活塞顶部逐层往下填充；在11.9 s时，金属液基本将活塞充满。整个充型过程未能实现金属液从下至上的平稳充型，在充型的初始阶段，冒口首先被金属液填满，没有对活塞整体进行良好的补缩。

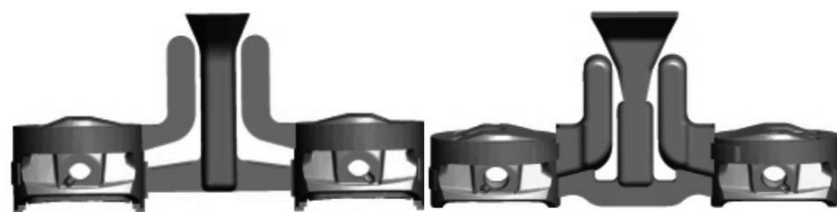
优化后的浇注系统对截面积尺寸进行了改进。冒口和内浇道的整体化使得金属液从内浇道进入活塞底部时，冒口起到了对金属液的缓冲作用，并且冒口先于活塞填充，金属液整体实现了从下至上的平稳充型。如图3所示，在2.7 s，内浇道和冒口早于活塞充型，活塞裙部随后充型；在4.9 s，活塞和冒口同步充型，由金属液平稳充型使得卷气现象减轻；在6.9 s，活塞已经全部填充完，此时冒口仍在继续填充金属液，所以冒口能对活塞进行补缩。

### 2.2 凝固过程模拟分析

金属液完全充满铸型后，随着时间的延长，温度下降，铸件内部最低的温度处开始凝固。如图4所示，在58.7 s时，活塞裙边最先开始凝固，此时整个浇注系

表1 活塞模拟所用的物性参数  
Table 1 Physical property parameters used in piston simulation

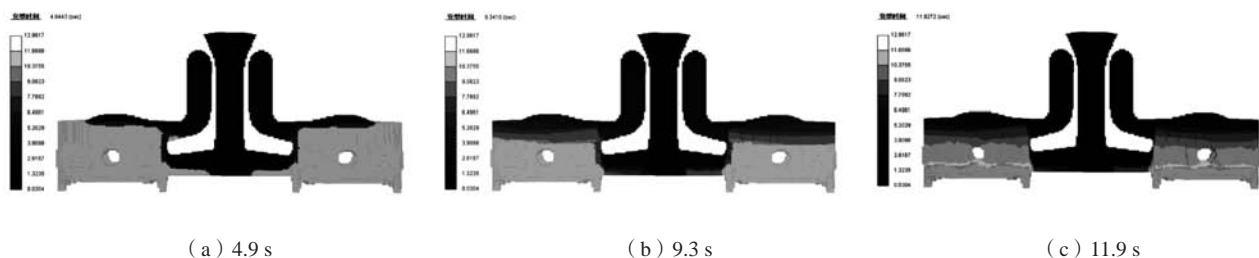
| 液相线<br>温度/°C | 固相线<br>温度/°C | 表面张力<br>/(N·m <sup>-1</sup> ) | 临界<br>固相率/% | 液相<br>收缩率/% |
|--------------|--------------|-------------------------------|-------------|-------------|
| 780          | 750          | 0.685                         | 0.6         | 2.3         |



(a) 原浇注系统 (b) 优化浇注系统

图1 浇注系统对比

Fig. 1 Comparison of original and optimized gating systems



(a) 4.9 s

(b) 9.3 s

(c) 11.9 s

图2 原方案充型过程

Fig. 2 Mould filling process with original gating system

统及冒口未出现凝固；在85.6 s时，活塞顶部还未完全凝固，冒口补缩效果差，缩孔缺陷出现在燃烧面下4 mm处；在100.1 s时，整体基本完全凝固，最后凝固处出现在燃烧面下4 mm处，活塞在该处的厚度最大，冒口未能将该处完全补缩到，导致出现缩孔缺陷。

优化后的浇注系统实现了顺序凝固。首先从活塞裙部开始凝固，接着活塞整体凝固，最后凝固浇注系统。如图5所示，在57.9 s时，活塞裙部开始凝固；在98.9 s时，活塞整体基本凝固结束。此时由于活塞最先凝固，将铸型内金属液的卷气等夹杂物推赶至浇注系统内；在127.3 s时，浇注系统中部最后凝固，冒口实现了对活塞的补缩。

### 2.3 缺陷分析

残余熔体模数预测缩孔的理论基础是孤立熔体的大小和位置，即最后凝固区域的残余熔体模数越大，产生的孤立熔池越有可能产生缩孔缺陷。图6是残余熔体模数剖面图对比。在原方案6a图中，残余熔体主要分布在活塞燃烧室面下4 mm处，而且有一个直径约为1.5 mm大小的缩孔。在浇注系统优化后图6b中，虽然残余熔体模数值从0.410 9 cm增加到0.537 1 cm，但残余熔体的位置由活塞顶部转移到浇注系统内，且优化方案左右两侧活塞的缩孔缺陷已经消失。因此，使用优化后的浇注系统，可以得到质量更优的铸件。

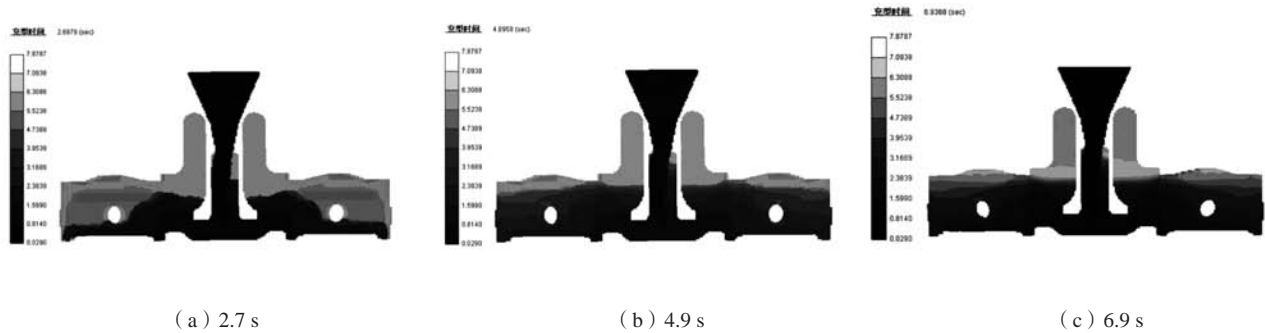


图3 优化方案充型过程

Fig. 3 Mould filling process with optimized gating system

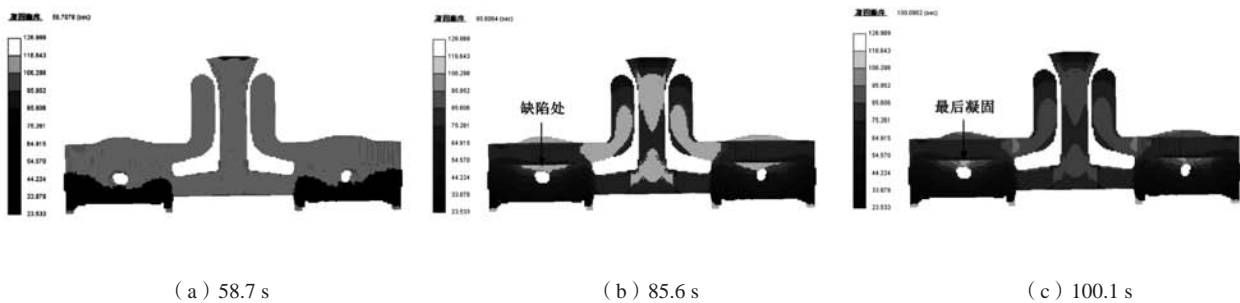


图4 原方案铸件凝固过程

Fig. 4 Solidification process of casting with original gating system

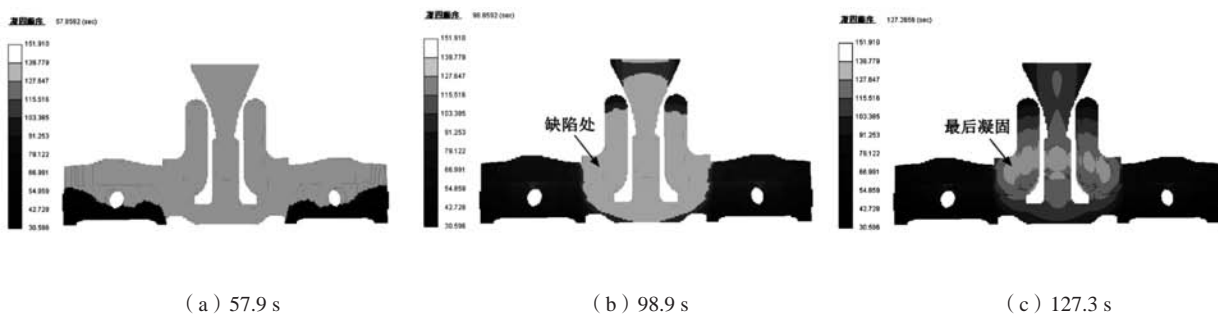


图5 优化方案铸件凝固过程

Fig. 5 Solidification process of casting with optimized gating system

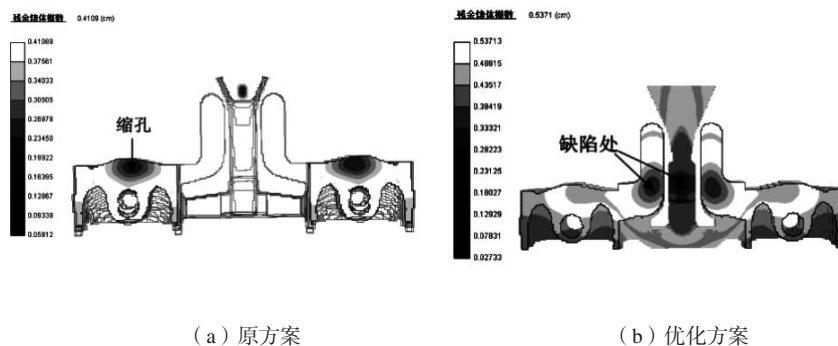


图6 残余熔体模数对比

Fig. 6 Residual melt modulus comparison

### 3 结论

(1) 通过对活塞浇注系统的直浇道、横浇道、冒口的优化设计, 实现了金属液在铸型中的平稳充型和顺序凝固。优化后的浇注系统使得活塞内部金属液最先充型和凝固, 冒口中的金属液最后充型和凝固完成了对两侧活塞的补缩。

(2) 通过对活塞的残余熔体模数横截面分析可得, 优化方案可使活塞顶部出现的缩孔缺陷消除, 为实际生产做出指导。

#### 参考文献:

- [1] 田迎新, 曾维和, 曾小勤, 等. 基于Anycasting球墨铸铁曲轴铸造工艺数值模拟及试验研究 [J]. 铸造, 2015, 64 (11): 1102-1107.
- [2] 陈玉节, 梁思佳, 翟彦博. 基于Anycasting的铝硅合金离心铸造数值分析 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2017, 39 (8): 155-159.

## Improvement and Numerical Simulation of Automobile Piston Gating System

WANG Hao, ZHANG Long, HUANG Zhen-yi

(School of Metallurgical Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243000, Anhui, China)

#### Abstract:

Anycasting software was used to study the effect of different gating systems on defects formation at the top of the piston of the automobile. Through improving the gating system including increasing the cross-sectional area of sprue and bilateral ingates, increasing the cross-sectional area of the pouring cup and the size of the riser, the gating system and riser were integrated. The feeding of the molten metal was pushed from the upper surface of the casting to the riser and the gating system, which reduced the internal pressure formed by the molten metal during the filling process, and solved the problem of disordered filling of the molten metal into the gate. Therefore, the shrinkage defects formed at the piston top disappeared. The optimized gating system increases the productivity and provides guidance for actual production.

#### Key words:

piston; shrinkage; ting system; simulation