

某活塞裙铸造工艺设计及优化

芦晓伟^{1, 2} 米国发¹

(1. 河南理工大学 材料科学与工程学院, 焦作 454000; 2. 厦工机械(焦作)有限公司, 焦作 454000)



摘要: 针对活塞裙铸造过程中出现的缩孔、缩松缺陷, 根据铸造工艺理论, 结合计算机辅助设计并利用 View Cast 软件对原始工艺进行模拟计算, 发现缺陷主要集中在销孔周围厚大部位。为了减少铸件缺陷, 对原始的浇注系统尺寸进行计算优化, 模拟结果显示, 新的工艺能明显减少缺陷, 提高材料利用率。

关键词: 铝合金; 活塞裙; 数值模拟; 工艺优化

Casting Process Design and Optimization of Piston Skirt

Lu Xiaowei^{1, 2} Mi Guofa¹

(1. College of Material Science and Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000;

2. Xiamen Engineering Machinery Co., Ltd, Jiaozuo 454000)

Abstract: Considering the shrinkage void of piston skirt in casting process, the original technology is calculated by View Cast combined with the computer aided design based on the theory of casting technique. The results show that the main defect exist at thick parts of the piston skirt, around the pin hole. The numerical simulation results indicate that the casting defects were reduced while the operation rate were increased by optimizing the runner system.

Key words: aluminum alloy; piston skirt; numerical simulation; process optimization

1 引言

活塞裙是组合式活塞的关键部件之一, 因活塞裙结构特殊, 呈扁筒形, 且壁厚变化较大, 在椭圆过渡处导致无法顺序凝固, 内部疏松较多, 销孔无法铸出, 成品率低, 铸造难度大^[1, 2]。本研究主要着眼于浇注系统的改进及优化, 达到消除或减少缺陷, 提高铸造材料利用率的目的。

工艺要求, 在满足机器设备本身的使用性能和机械加工的前提下, 提出最合理的工艺设计方案, 保证产品质量并兼顾成本要求^[3, 4]。活塞裙实体图如图 1 所示。



图 1 铝合金活塞裙三维实体图

2 铸件分析及工艺设计

2.1 工艺分析

在铝合金活塞裙的铸造生产过程中, 由于浇注系统的结构或尺寸不合理而造成铸件不必要的缺陷及成本浪费。活塞裙的浇注系统设计应根据金属型铸造的

活塞裙铸造选用的材料是 ZL109, 其化学成分如表 1 所示, 铸造方法为金属型重力铸造。活塞裙的销孔周围壁厚变化较大, 在凝固过程中壁厚较大区域后

作者简介: 芦晓伟 (1982-), 助理工程师, 材料工程专业; 研究方向: 金属凝固理论与技术。

收稿日期: 2014-06-25

凝固，且没有有效的补缩，易在该区域出现缩松、缩孔等缺陷。

表 1 ZL109 化学成分表

牌 号	化学成分/%（其余为铝）							
	Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Ti	Mn	Zn
ZL 109	11.0~ 13.0	0.5~ 1.5	0.8~ 1.3	0.8~ 1.5	0.7	0.2	0.2	0.2

2.2 原始工艺方案设计

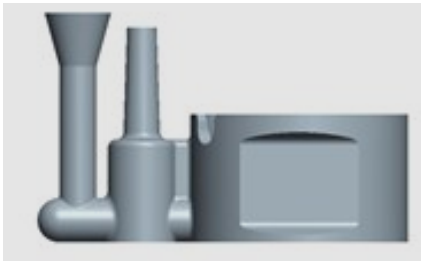


图 2 原始工艺统三维实体图

与砂型铸件相比，金属型铸件的加工余量可以适当减少。铸件加工余量的选择^[5]：端面、裙口均为 1.5mm，侧面为 1.0mm，其三维实体图如图 2 所示。

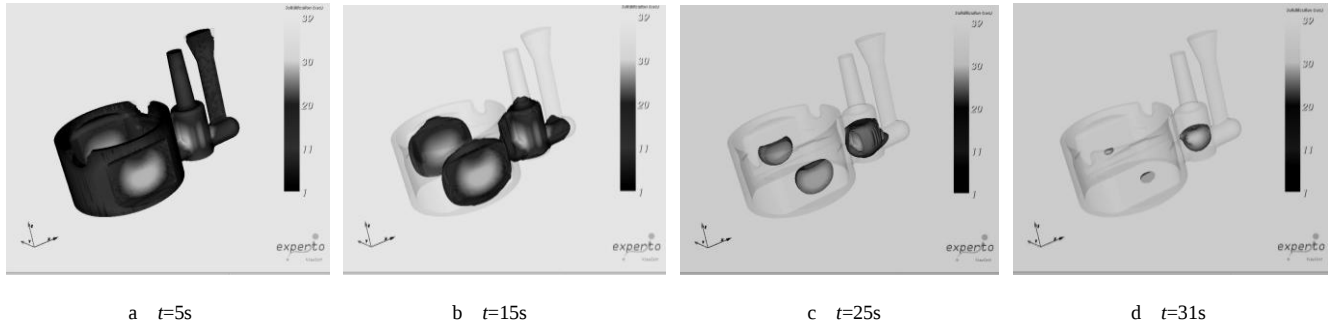


图 3 原始工艺凝固过程模拟结果

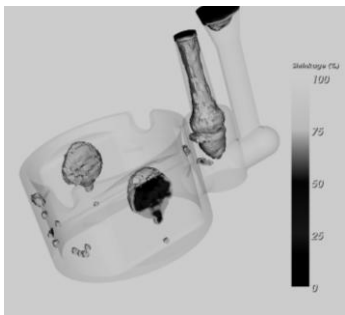


图 4 原始工艺铸件缺陷预测

4 铸造工艺优化

原始缝隙式浇注系统如图 5 所示，由于其部分尺

3 凝固过程数值模拟

将铸件的三维造型保存为 STL 格式，导入 View Cast 软件^[6]，进行网格的划分，浇注温度 750℃，金属型预热温度 200℃。原始浇注方案凝固过程模拟结果如图 3 所示。 $t=5s$ 时处于凝固初期，随着凝固的进行，温度降低，凝固从边缘部分开始。 $t=15s$ 时由于补缩能力及温度的降低，凝固过程出现断裂现象。由图 4 可知，在断裂处，围绕销孔靠上的厚大部位出现缩松、缩孔，活塞裙的薄壁处出现散乱的缩松、缩孔。根据对原始浇注工艺的模拟，证实销孔周围的厚大区域最后凝固，且没有有效的补缩，容易形成缺陷，在薄壁处也出现散乱的缩孔缩松缺陷；另外，原始工艺方案的浇注系统过于臃肿，材料的利用率低，增加了生产成本。合理的浇注系统设计，应根据铸件的结构特点、技术条件、合金种类，选择浇注系统结构类型、确定引入位置、计算截面尺寸等^[7]。

寸不合理，造成材料利用率低，且不能有效控制铸件缺陷，故对原始浇注系统的尺寸进行改进。

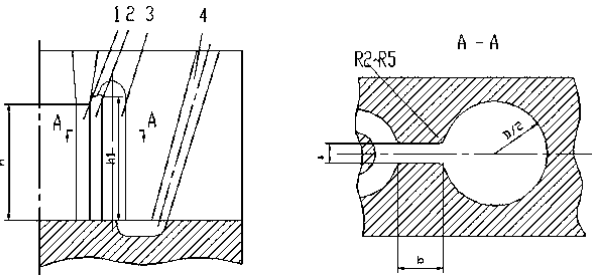


图 5 原始工艺浇注示意图

1—型腔 2—缝隙浇道 3—集渣包 4—直浇道

4.1 优化方案一

4.1.1 直浇道与内浇道尺寸确定

根据最小阻流截面的计算方法^[7, 8], 计算浇道的最小断面为 $F \approx 1.46\text{cm}^2$ 。

根据实际浇注所需, 最小阻流界面为直浇道底部, 则直浇道底部的直径为:

$$R = \sqrt{\frac{8F}{\pi}} = \sqrt{\frac{8 \times 1.46}{\pi}} = 1.93\text{cm} \quad (1)$$

根据以上计算, 确定直浇道和内浇道的直径为 2cm。

4.1.2 直浇道高度的计算^[7, 8]

金属型铸造时, 直浇道高度可采用公式 (2) 计算:

$$h = h_1 + h_2 \quad (2)$$

式中: h ——直浇道高度, cm; h_1 ——克服金属表面张力的附加压头, cm; h_2 ——铸件高度, cm。

$$h_1 \geq -2\sigma \cos \theta / \rho g r \quad (3)$$

式中: σ ——合金液表面张力, 对共晶 Al-Si 合金, $\sigma = 830 \sim 840\text{N/cm}$; θ ——润湿角, 对金属型 $\theta = 180^\circ$; ρ ——合金密度, 对 Al-Si 合金 $\rho = 2.7\text{g/cm}^3$; g ——重力加速度, 取 980cm/s^2 ; r ——薄壁厚度的 一半, cm。

根据以上公式, 直浇道高度 $h \geq 150\text{mm}$, 取 $h = 155\text{mm}$ 。

4.1.3 缝隙浇道和集渣包的尺寸确定

缝隙浇道厚度 $\delta_0 = 8\text{mm}$, 缝隙宽度 $b = 16\text{mm}$, 集渣包直径 $D = 40\text{mm}$, 缝隙高度 $H_1 = 50\text{mm}$ 。根据以上计算, 其优化工艺如图 6 所示。

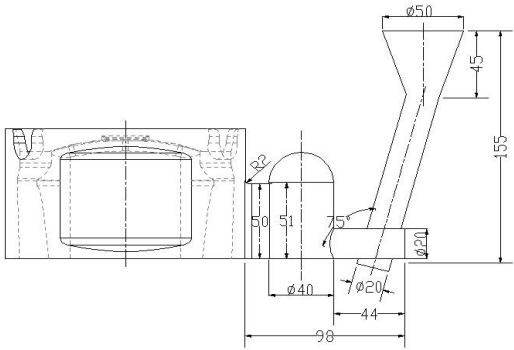


图 6 浇注工艺图 (优化方案一)

根据以上设计, 优化方案一的凝固过程模拟结果如图 7 所示。 $t = 5\text{s}$ 时处于凝固初期, 随着温度的降低, 凝固从边缘部分开始, $t = 9\text{s}$ 时, 由于补缩能力及温度的降低, 凝固过程出现断裂现象, 由缺陷预测图 8 可知, 优化方案一并没有明显改善铸件的缺陷分布, 铸件薄壁处仍然存在部分散乱的缩孔、缩松。

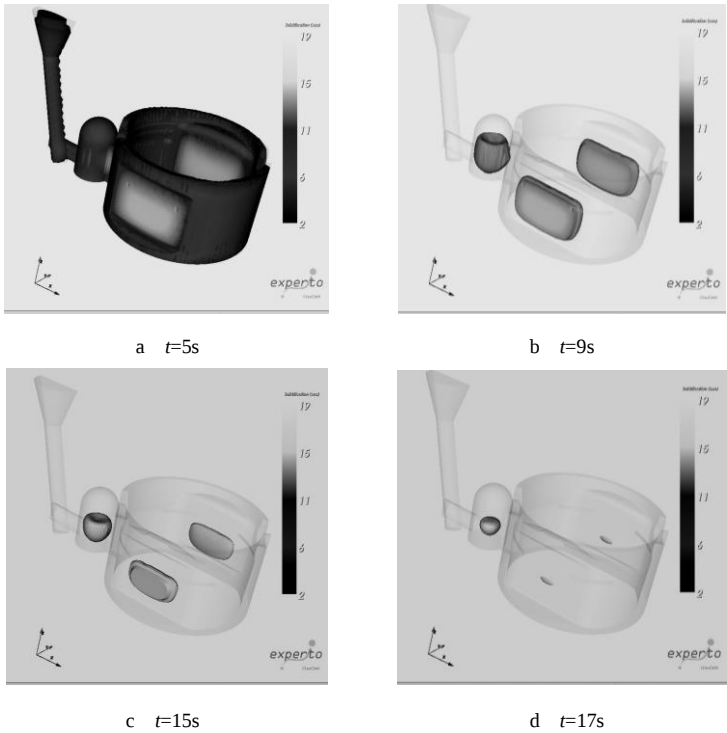


图 7 优化方案一铸件凝固过程模拟结果

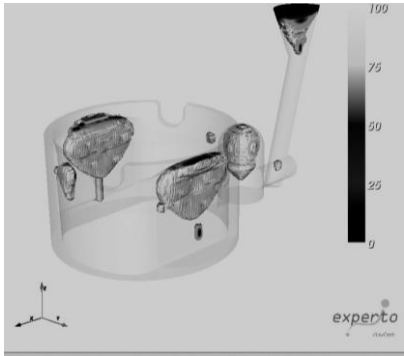


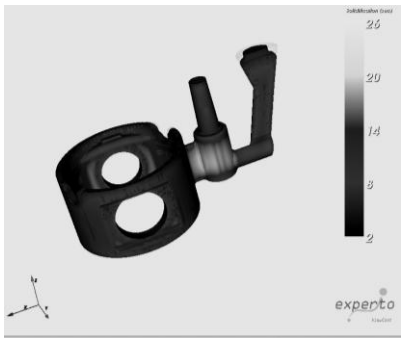
图 8 铸件缺陷预测（优化方案一）

$b=16\text{mm}$ ，同时考虑金属型排气问题。模拟发现，活塞裙销孔是否直接铸出对于铸件的厚大部位的缺陷分布影响不大。将销孔直接铸出可以提高铸件的材料利用率，同时提高整个浇注系统的位置，可以提高缝隙式浇道的高度，既满足缝隙高度的要求，并将凝固时高温区域的位置提高。

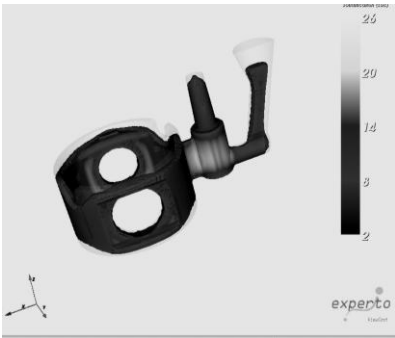
由图 9 和图 10 可知，经过方案二优化，铸件薄壁上的缺陷得到部分消除，销孔周围厚大部位上的缺陷没有明显的扩大，且浇注系统的尺寸比原始工艺尺寸减小，达到浇注系统工艺优化，提高铸件材料利用率的目的。

4.2 优化方案二

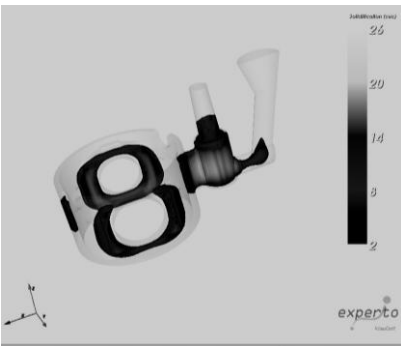
方案二设计中缝隙浇道厚度 $\delta_0=10\text{mm}$ ，缝隙宽度



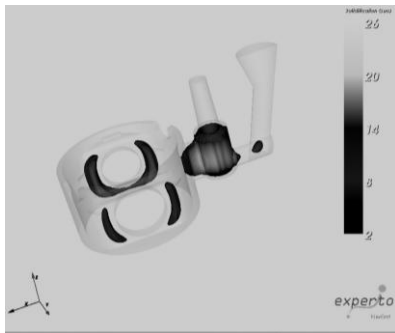
a $t=5\text{s}$



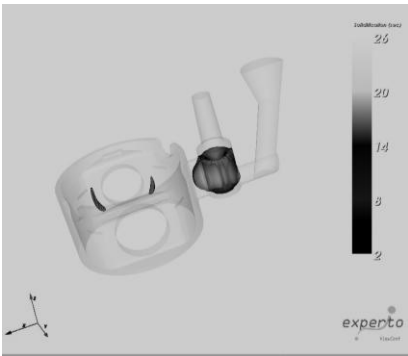
b $t=9\text{s}$



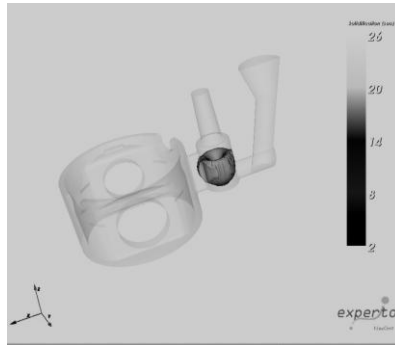
c $t=13\text{s}$



d $t=15\text{s}$



e $t=17\text{s}$



f $t=19\text{s}$

图 9 凝固过程模拟结果示意图（优化方案二）

（下转第 46 页）