

发动机用铝活塞的铸造数值模拟

汪小霞¹, 纵荣荣¹, 时建松¹, 苏伟²

(1. 合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009;

2. 安徽江淮汽车股份有限公司技术中心, 合肥 230022)

摘要: 利用 ProCAST 软件对 ZL108 活塞零件的传统铸造工艺和改变冒口形状的 2 种新铸造工艺进行了模拟对比分析, 以上小下大的冒口形状新工艺铝活塞效果更好。再对比模拟分析此冒口形状铝活塞在 3 组不同浇注温度下的充型凝固过程, 最终确定保温冒口截面为上小下大和浇注温度为 720 °C 是活塞的最佳铸造工艺。

关键词: 铝活塞; 保温冒口; 充型过程; 凝固过程; 数值模拟

中图分类号: TG292 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)05-0078-05

Numerical Simulation of Casting of an Aluminum Engine Piston

WANG Xiao-xia¹, ZONG Rong-rong¹, SHI Jian-song¹, SU Wei²

(1. School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Technical Center, Anhui Jianghuai Automobile Co. Ltd., Hefei 230022, China)

Abstract: The software of ProCAST was used to simulation to comparative analysis of the traditional casting process and two new casting processes by changing the shape of riser of the ZL108 piston. The result showed that it played a good filling effect on the riser with small top and big bottom. Then by comparison to the filling and solidification process for the aluminum piston with this shape of the riser under three groups of different pouring temperatures the piston's best foundry technique was confirmed in which insulating riser's section was with small top and big bottom and the pouring temperature was 720°C.

Key words: aluminum alloy piston; insulating riser; filling process; solidification process; numerical simulation

活塞是发动机的核心部件, 目前国内外多采用铝硅共晶合金或过共晶 Al-Si 合金生产活塞。活塞产品性能好坏直接关系到发动机的性能, 但活塞结构复杂, 壁厚不均, 生产中有一定的难度。国内金属型重力铸造铝活塞的传统工艺采用底注、上抽芯式。活塞在金属型中的浇注位置是活塞顶部向下, 裙部在上, 侧面设计双圆柱形补缩冒口, 配以鹅颈式或蛇形倾斜式外浇道及缝隙内浇道的方式, 以解决活塞毛坯中缩孔、缩松等铸造缺陷。但该工艺冒口的有效补缩效率低, 一般只有 10%~20%, 活塞毛坯与

浇冒口质量之比为 1:(1~1.2), 工艺出品率为 30%~50%, 耗费了大量的铝合金和能源, 成本很高。国外机械化浇铸机采用下抽芯方式, 顶部开设保温冒口, 浇冒口比为 1:0.3 左右, 但机械化浇注机价格高^[1-3]。文中根据金属型铸造的工艺特点, 并考虑减少成本, 降低缺陷等多方面因素, 设计了 2 种新的冒口形状, 用铸造模拟软件 ProCAST 对铝活塞新旧工艺铸造成形过程进行数值模拟, 建立铸造过程的充型过程流动场、凝固过程温度场的数理模型, 检测比较设计的合理性, 优化设计结果并预测

收稿日期: 2010-05-26

作者简介: 汪小霞(1983—), 女, 安徽安庆人, 合肥工业大学在读硕士, 主要从事铸造相关研究。

铸件的缩孔、缩松的可能性^[4]。

1 发动机活塞介绍

文中以某发动机 ZL108 活塞作为实验对象。

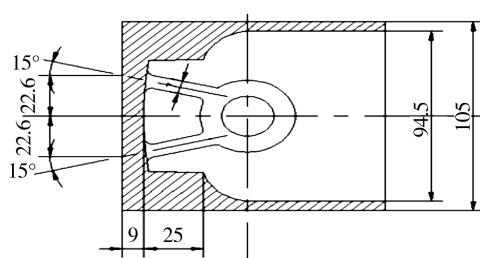
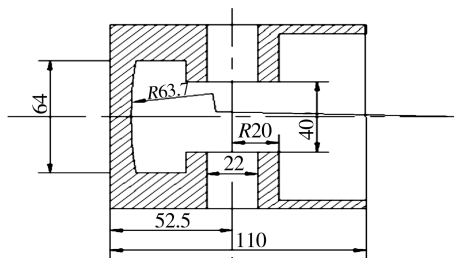


图1 ZL108 活塞铸造工艺

Fig.1 The foundry technological design of ZL108 piston

2 发动机铝活塞传统工艺方案的数值模拟

传统工艺方案的充型和凝固过程的温度场如图2和图3所示,为不同的充型比例和凝固比例时的图片,对比分析其传统工艺制造铝活塞的利弊。

从图2可以看出,浇注过程液流的流动规律是:铝液先通过缝隙式内浇道从主冒口(右侧冒口)进入型腔,然后分成2股液流沿型腔水平方向绕中心流到副冒口处相遇,再进入副冒口(左侧冒口),同时型腔内液面继续平稳的上升直到浇满整个型腔,多余的铝液进入冒口直到冒口充满。由于上述的的充型特性,使型腔底部成为热量集中的地方,铸件各处的温度相差较大,温度场分布规律性不强。主冒口的温度最高,铸件温度次之,副冒口温度最低,并呈现温度从右向左逐渐降低的趋势。

从图3凝固过程的温度场看出,铸件凝固过程主体部分温度是上低下高,但在

该铸件尺寸为 110 mm×105 mm,材料为 ZL108 铝硅合金,铸件毛坯质量仅为 0.9 kg。铸件结构如图1所示,壁厚变化大,内腔形状复杂,给铸件生产带来一定的困难。

下面厚大部位局部处温度出现上高下低。凝固基本符合自上而下的顺序凝固方式,但由于下面局部处的温度的上高下低的规律,使活塞和冒口结合处容易出现缩孔缩松。

通过模拟结果分析,在传统工艺下可以得到一定质量的铸件,该方案的浇冒口较大,消耗大量的金属液和能源,使活塞的成本提高;活塞与冒口结合部

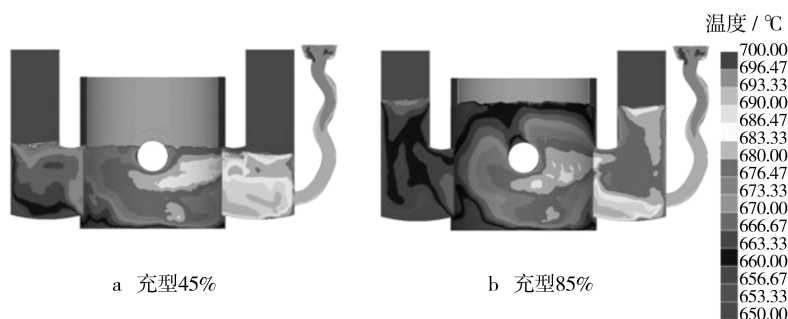


图2 传统工艺方案的充型过程温度场

Fig.2 Filling process temperature field of original technic scheme

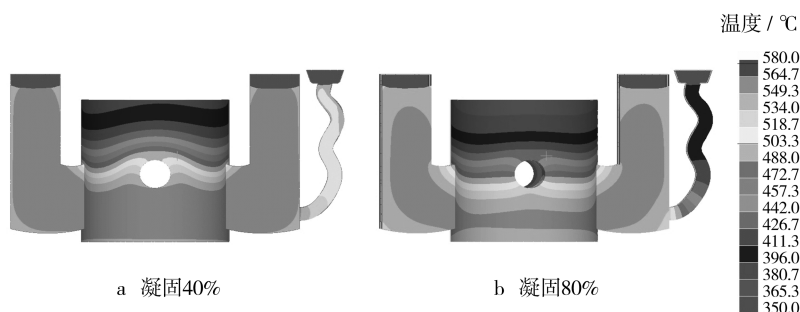


图3 传统工艺方案的凝固过程温度场

Fig.3 Solidification process temperature field of original technic scheme

位较大,储热量较多,容易形成热节。

3 发动机铝活塞 2 种新工艺方案的数值模拟

新工艺方案中,把冒口设计为上大下小和上小下大的 2 种形状^[5-7],对模拟结果进行初步分析。2 种不同的冒口形状在浇注温度为 700 °C 时的凝固温度场如图 4 所示。

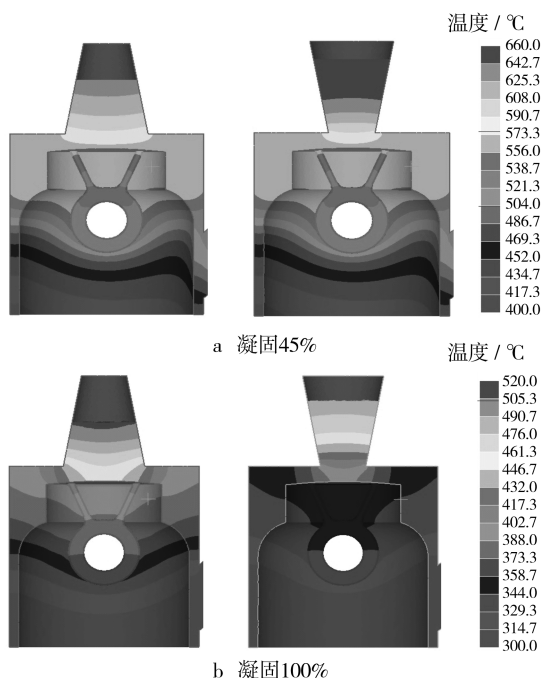


图 4 2 种不同冒口形状的凝固温度场

Fig. 4 Solidification temperature fields of two different riser figures

从模拟结果分析,得出以下特点。

1) 2 种不同形状的冒口,铸件的凝固顺序相近,都是从远离冒口处(铸件底部)向冒口逐层推进。活塞的裙部先凝固,厚大处后凝固,冒口处最后凝固,符合自下而上的顺序凝固方式。冒口能充分发挥补缩功能,所得的铸件内部致密,减少了产生缩孔、缩松的几率。

2) 2 种冒口形状的补缩效果都较好,基本上相同。随着凝固的进行,上小下大的冒口比上大下小的冒口的保温功能好,且上小下大的冒口由于和活塞接触部位大,其热影响区域也较大。由此可知,上小下大的冒口可以提高冒口中金属液的利用率,提高补缩能力,较上大下小的冒口更合理。

4 上小下大冒口铝活塞变温铸造模拟

选择浇注温度 700, 720, 740 °C 对上小下大的冒口的铝活塞进行充型过程的温度场、流场及凝固过程的温度场进行模拟分析,优化浇注温度。

4.1 充型顺序以及温度场分布^[9-10]

铸件浇注充型过程中,伴随着热量的散失,温度的降低。ProCAST 用色温映射的方式,绘制铸件充型不同时刻温度的分布,直观准确地表现铸件充型过程中温度的变化。铸件的充型顺序以及温度分布如图 5 所示,其中浇注温度从左到右依次为 700, 720, 740 °C,图 a, b 分别为充型 40%, 98% 时的温度分布。

从图 5 分析可知。

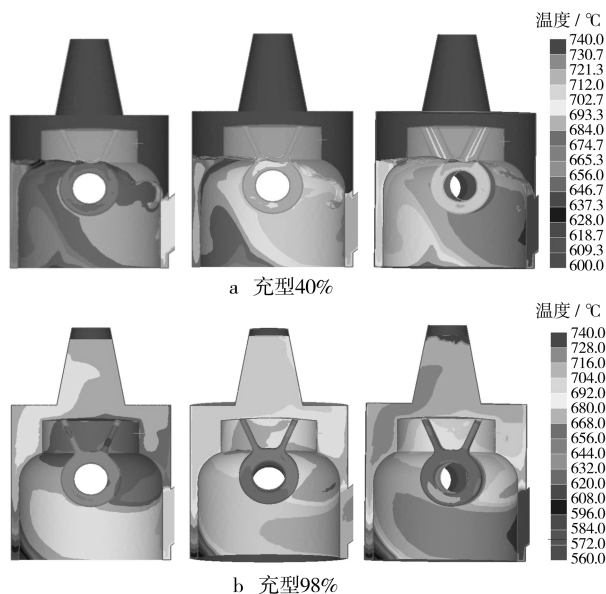


图 5 充型顺序及温度场分布

Fig. 5 Filling sequence and temperature field

1) 金属液在重力和自有的速度的作用下填充浇口杯,通过浇注系统平稳的进入型腔下部,当液流达到浇注系统对面的薄壁处时有液流上扬和回转的现象出现,这可以通过图中的温度分布表现出来;然后稳定的上升到型腔上部,冒口是整个铸件最后充填的部位,在整个充型过程金属液没有产生飞溅现象,降低了由于卷气而产生气孔的可能性^[8]。

2) 从充型过程温度场分布看出,铸件在不同的浇注温度条件下,温度场的分布规律是一样的。在

纵向上是温度自上而下的逐渐降低,在横向上是从左向右逐渐升高,整个充型过程中的温度分布绝大多数都是离浇口和金属液流头越远处温度越低。随着浇注温度的提高,在同一时刻同一部位,型腔中的温度也就越高。

3) 浇注温度为 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$,铸件在充型 98% 时,远离浇注系统的裙部就有微小的部位发生了凝固现象。在金属液没有充满型腔前就出现的凝固,容易使铸件出现浇不足、冷隔等缺陷。通过观察可知,由于发生凝固的部位很小,且温度也是刚刚低于液相线,所以随着其周围液体的热量传递,会发生重熔,并不会造成铸件发生浇不足和冷隔。

4.2 充型过程中的速度场

铸件充型过程的速度场如图 6 所示,直观地表现铸件充型过程中速度的变化,其中浇注温度从左到右依次为 $700, 720, 740\text{ }^{\circ}\text{C}$,图 a, b 分别为充型 40%, 80% 时的速度分布。

从图 6 看出,在充型刚开始时速度为浇注速度 0.95 m/s 。随着充型的进行,由于在直浇道上半部受到重力的作用,充型速度逐渐加大,最大时达到 1.62 m/s 。随后由于倾斜式浇道的阻流作用,充型速度逐渐降低,最后进入型腔的时候速度为 0.5 m/s 左右。在型腔内液流的速度不断的降低,不会引起金属液的飞溅,有利于平稳充型。同时还可以看出,随着液态金属不断充型型腔的进行,充型速度

有所变化,浇道的充型速度和金属液流头的速度有所降低。

从充型速度的分布也可以看出图 5 中得到的充型顺序,从图 6 可以很明显的看到金属液在浇注系统对面的薄壁处的上扬和回转现象。不同浇注温度条件下,铸件在不同充型时刻的充型速度没有变化,即浇注温度对充型速度没有影响。

4.3 凝固顺序及温度场分布^[11]

铸件的凝固顺序以及温度分布如图 7 所示,其

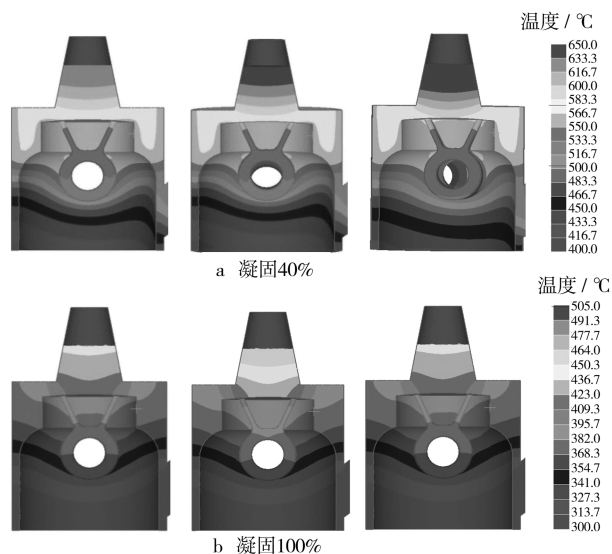


图 7 凝固顺序及温度场分布

Fig. 7 Solidification sequence and temperature field

中浇注温度从左到右依次为 $700, 720, 740\text{ }^{\circ}\text{C}$,图 a, b 分别为凝固 40%, 100% 时的状态。铸件凝固 40%, 65%, 85% 和 100% 时所花的时间见表 1。

对凝固模拟结果图 7 和表 1 进行分析,可以知道。

1) 铝活塞凝固所需要的时间随浇注温度的变化而不同,随着浇注温度的升高,凝固时间逐渐增加,但其增加的值是不一样的。 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ 凝固时间平均增加了 3.6 s , $720\text{ }^{\circ}\text{C}$ 到 $740\text{ }^{\circ}\text{C}$ 凝固时间平均只增加了 1 s 。也就是说,随着浇注温度升高,铸件的冷却速度降低了。这是由于提高了浇注温度,在铸件凝固以前金属液会把型腔加热到较高的温度,降低了凝固过程铸件通过型壁

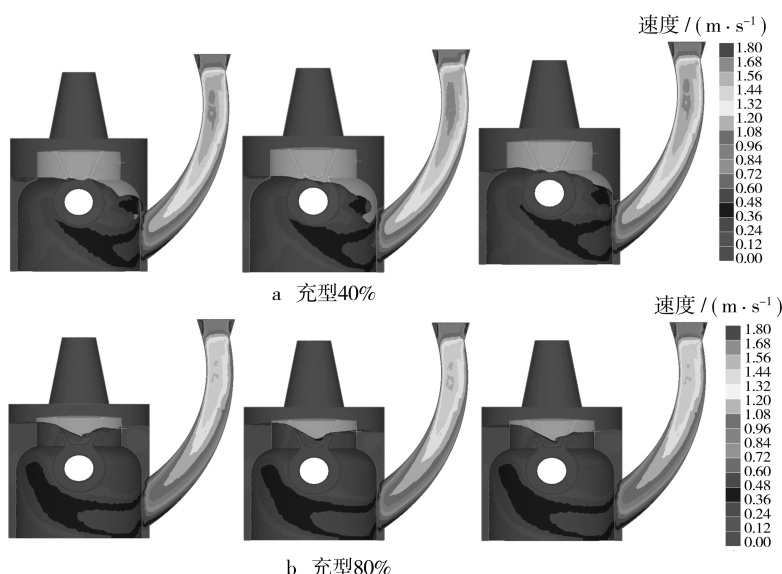


图 6 充型过程中的速度场

Fig. 6 Speed field in the filling process

表1 凝固时间

Table 1 The table of solidification time

浇注温度 /℃	凝固所花时间/s			
	40%	65%	85%	100%
700	22.3	42.3	67.3	136.3
720	25.9	45.9	70.9	139.9
740	27.9	46.9	71.9	140.9

向外散热的能力,所以会延缓铸件在凝固过程中的冷却速度,即凝固时间增加。

2) 比较到达不同凝固分数时所花的时间,可以知道:开始凝固时凝固速度较快,随后凝固速度减小,到最后凝固速度越来越小。这是由于在充型刚刚结束时金属液的温度高,铸型的温度低,所以其传热比较激烈,凝固速度快;随着凝固的进行,金属液温度逐渐降低,铸型由于金属液的热传导作用温度逐渐升高,所以二者间的温度梯度逐渐变小,其凝固速度也就是冷却速度逐渐降低。

3) 在不同的浇注温度条件下,铸件在整个凝固过程中的温度分布都是自下而上逐渐升高,即底部裙带处温度最低,上部冒口处温度最高。这样的温度分布使铸件符合自下而上的顺序凝固,铸件冒口处最后凝固,使缩孔缩松和金属液中的杂质随着凝固的进行都汇集到冒口中,有利于保证铸件的质量,但720℃充型和凝固时温度梯度相对700℃和740℃小些,从而补缩效果和凝固质量稍有提高,故选择浇注温度时720℃最佳。

5 结语

1) 对传统的铸造工艺方案进行数值模拟表明,该工艺充型平稳,但温度梯度相差较大,型腔的底部(厚大处)热量集中,易产生缩孔缩松缺陷,凝固过程为自上而下的顺序凝固方式。从结构上看,浇冒口比较笨重,浪费大量金属液,出品率低。

2) 现工艺方案中,首先模拟了保温冒口上小下大和上大下小的形状对铸件质量的影响。通过结果分析,2种形状的凝固顺序相同,为自下而上的凝固顺序,起到较好的补缩作用。但上小下大的形状保温功能稍好,可提高冒口中金属液的利用率。

3) 在3组不同的浇注温度下,金属液充填型腔都较为平稳。在充型刚开始时速度为浇注速度0.95

m/s,随着充型的进行,充型速度逐渐加大,最大时达到1.62 m/s,然后充型速度逐渐降低,最后进入型腔的时候速度为0.5 m/s左右。并且浇注温度对充型速度没有影响。

4) 浇注温度没有改变铸件的温度场分布规律,但对铸件的局部温度有影响。随着浇注温度的提高,凝固时间逐渐增加,铸件相同部位的温度有所提高。700℃到720℃凝固时间平均增加了3.6 s,720℃到740℃凝固时间平均只增加了1 s。开始的凝固速度快,然后凝固速度下降,浇注温度选择720℃最佳。

参考文献:

- [1] 侯林冲. 铝活塞翻转式金属型铸造工艺[J]. 特种铸造及有色合金, 1998, 19(6): 43-44.
- [2] 陈维建. 492Q 活塞两种浇注系统对比[J]. 内燃机配件, 1999, 20(5): 14-16.
- [3] 李辉. 模数法设计金属型铸造铝活塞保温冒口[J]. 铸造技术, 2005, 26(7): 603-604.
- [4] 柳百成. 铸件充型凝固过程数值模拟国内外研究进展[J]. 铸造, 1999, 48(8): 40-45.
- [5] 牛金霞. 冒口及冒口设计[J]. 青海大学学报, 2003, 21(6): 60-62.
- [6] 关润浩. 钢铸件凝固控制及冒口设计[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001: 182-305.
- [7] 冯光陆. 新型保温冒口套在铝活塞铸造中的运用[J]. 特种铸造及有色合金, 1999, 20(增刊): 162-163.
- [8] 杨秉雄, 蔡临宁. 充型过程数值模拟中紊流模型与层流模型的比较[J]. 热加工工艺, 1997, 26(5): 11-12.
- [9] 张舒娟, 侯华, 杨晶, 等. 充型过程的数值模拟技术[J]. 材料导报, 2007, 21(3): 104-107.
- [10] 蒋永, 张云鹏. 铸件充型数值模拟的研究进展[J]. 热加工工艺, 2006, 35(1): 70-72.
- [11] 陈瑶. 铸件凝固过程温度场、应力场数值模拟技术的研究[D]. 北京: 清华大学, 1998.