

# 铸造模拟软件 JSCAST 在挤压铸造中的应用

骆国建<sup>1</sup> 罗继相<sup>1</sup> 江玉华<sup>2</sup> 陈 云<sup>1</sup> 冯福贵<sup>3</sup>

(1. 武汉理工大学物流工程学院; 2. 万丰奥特科技发展有限公司; 3. 温岭仪华仪表厂)

**摘 要** 以汽车空调器壳体尺寸为依据, 建立铸件三维实体模型, 结合实际生产工艺, 运用 JSCAST 软件对铸件成形过程进行计算机模拟。结果表明, 铸件充填良好, 无气孔缺陷发生, 但在进口的端部到壳体的连接处因厚度差较大, 易于产生缩孔(缩松)缺陷, 这与实际生产情况相符。针对缺陷, 提出移动浇道位置, 使之尽量靠近缺陷部位, 以强化浇道补缩效果; 同时通过缩短型芯长度等措施优化零件结构, 有效地避免了上述部位缩孔缺陷的发生, 实现了利用计算机数值模拟来改进工艺方案, 达到提高产品质量、获得优质挤压铸件的目的。

**关键词** JSCAST; 挤压铸造; 汽车空调器壳体; 缩孔

**中图分类号** TG249.2; TP391.9

**文献标志码** A

**文章编号** 1001-2249(2008)01-0026-03

产业的全球化导致了铸造产品竞争的日益激烈, 铸造产业都在向高品质、高可靠性、质量轻、节能、低成本方向发展<sup>[1]</sup>。挤压铸造在工业生产中得到了广泛的应用, 已成为生产高品质铸造毛坯的重要手段<sup>[2]</sup>。但在挤压铸造生产过程中, 由于多种因素的影响, 往往会导致铸件产生冷隔、裂纹、缩孔、缩松等缺陷<sup>[3]</sup>。这些缺陷的形成与铸造过程有着密切的关系, 通过对铸造充填凝固过程的数值模拟解析, 可以快速得出改进产品结构和生产工艺的措施, 避免缺陷的发生<sup>[4]</sup>。JSCAST 软件是对熔融金属在铸型内的充填、流动、冷却、凝固等过程进行数值模拟的软件<sup>[5]</sup>。本课题运用 JSCAST 软件对汽车空调器壳体挤压铸造工艺的充填和凝固过程进行了模拟分析, 预测了可能发生的缺陷及其位置, 结合模拟结果, 提出了消除这些缺陷的方法。

## 1 JSCAST 的数学模型

JSCAST 对温度场(Fourier 方程)及流场(Navier-Stokes 方程和连续性方程)的数值计算, 均采用直接差分法<sup>[6]</sup>。直接差分法与有限差分法相比, 导入各种物理量和适应于各种边界条件的协调性较好; 与有限元法相比, 其数值离散化过程更简单且直观<sup>[7]</sup>。流场与温度场的耦合, 采用热焓法, 凝固过程中, 潜热的释放处理, 采用温度回升法<sup>[8,9]</sup>。另外, 自由表面的移动推算, 采用了独自开发的  $\beta$  法<sup>[10]</sup>。

## 2 零件实体模型的建立与参数的确定

使用 3D 软件 Pro/E 对零件进行实体造型, 见图 1, 然后以 STL 格式导入 JSCAST 中进行铸型的定义及网格的剖分。为保证模拟的精度和计算的速度, 选用等间隔的剖分方法将整体模型(铸件和铸型)剖为细网格, 再

用增加/删除的网格修改方法将铸型部分的网格尺寸适当放宽, 见图 2。模拟中使用的铸件材料为 AC4C, 其物理性能参数分别为: 密度  $\rho = 2.680 \text{ g/cm}^3$ , 比热容  $c = 0.9614 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ , 液相线温度为  $613^\circ\text{C}$ , 固相线温度为  $557^\circ\text{C}$ , 导热系数  $k = 1.55 \text{ J/(cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C)}$ , 凝固潜热  $H = 388.74 \text{ J/g}$ ; 铸型材料为 SKD61, 其物理性能参数为: 密度  $\rho = 7.800 \text{ g/cm}^3$ , 比热容  $c = 0.543 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ , 导热系数  $k = 0.272 \text{ J/(cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C)}$ ; 计算中采用的浇注温度为  $680^\circ\text{C}$ , 模具预热  $200^\circ\text{C}$ , 浇注速度为  $0.5 \text{ m/s}$ 。

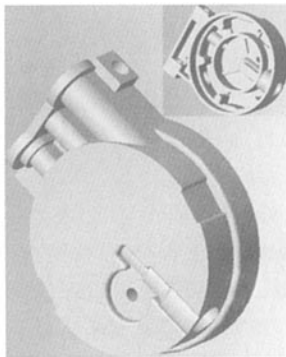


图1 零件的实体造型

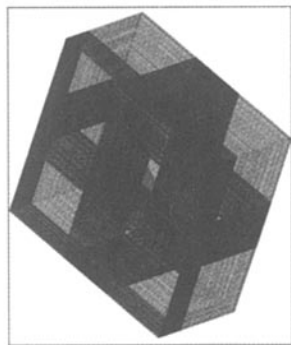


图2 网格剖分

## 3 模拟过程及结果分析

### 3.1 充型过程

汽车空调器壳体的整个充填过程在  $0.746 \text{ s}$  内完成, 各时间充填状态见图 3。

充型开始, 金属液以较高的速度进入型腔, 由于液流向上的运动速度远远大于向四周扩散的速度, 故刚开始液流向四周扩散的趋势不明显(见图 3a)。但由于截面积的迅速增大和重力作用, 液流向上的速度降低, 向

收稿日期: 2007-09-12

基金项目: 交通部交通行业港口装卸重点实验室资助项目(2005003)

第一作者简介: 骆国建, 男, 1984 年出生, 硕士研究生, 武汉理工大学物流工程学院, 武汉(430063), 电话: 13476077823, E-mail: luoguojian3@163.com

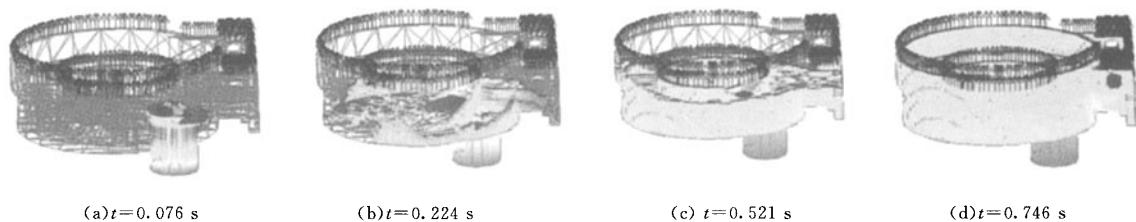


图3 壳体的充填状态

左右扩散速度增大,这样液流向上的趋势得到遏制,开始向四周扩散(见图 3b)。当液流完全覆盖底面后,液层开始逐步向上充填,该过程液流运动较为缓和,有助于气体的排出(见图 3c),图 3d 为充填结束状态。

从整个充填过程来看,金属液是自底向上、逐步充满型腔的,而排气孔正好开在最后填充的部位,这样能

保证排气良好,从而大大降低了铸件内部产生气孔的可能性。

### 3.2 凝固过程

整个凝固时间耗时 10.765 s,各时段的部分凝固状态见图 4,其中空网格表示已经凝固的区域,而实体部位则表示铝合金仍处于液态或半固态,没有完全凝固。

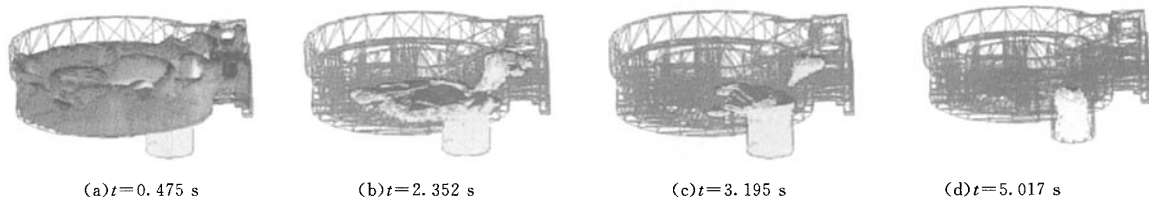


图4 不同时间段的凝固状态

凝固开始时,薄壁部位先凝固,靠近浇道部位后凝固,总体趋势为由四周向浇道的顺序凝固过程(图 4a)。2.352 s 时,铸件头部与壳体相接处的薄壁部位开始凝固,使顺序凝固通道变窄。3.195 s 时通道完全隔断,铸件头部出现孤立的熔池,形成了潜在的缩孔或缩松发生区。5.017 s 时孤立熔池完全凝固,浇道部位开始凝固。

从整个凝固过程来看,凝固的整体趋势是由边缘向浇道方向的定向凝固方式,但零件头部与壳体相接部位出现了早期凝固,将金属液分为两个孤立的熔池,头部熔池得不到浇道的补缩,所以该部位存在着潜在的缩孔缺陷。从缩孔缺陷分析的断面图,可以看出缩孔缺陷发生的具体位置,见图 5。

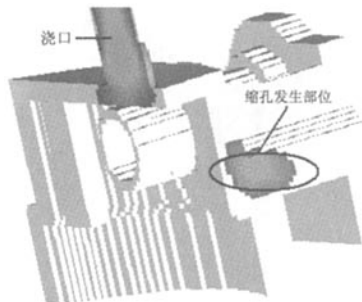


图5 缩孔(缩松)发生的部位

消除缺陷的措施有<sup>[11~14]</sup>:①改进模具的冷却系统,通过添加冷却水道,使铸件头部在凝固通道凝固之前提前凝固,从而达到顺序凝固的目的;② 移动浇道位置,对于挤压铸造来说,一般不会设置冒口,所以浇道就起

着补缩的作用,在不影响整体质量的前提下,将浇道设置在靠近缩孔缺陷的位置,将有助于消除缺陷;③ 优化零件结构,在不影响零件使用的基础上对零件结构进行优化,使得壁厚尽量均匀,壁厚差大的部位尽量平滑过渡。

就本产品而言,由于结构所限,仅能在头部添加少许的几个浇道,经模拟,浇道冷却效果极不明显,不能达到消除缺陷的目的。同样单独运用第 2 种措施也不能去除缺陷。经过多次反复模拟,发现第 2 和第 3 种措施的结合是解决缺陷的最佳途径。对于图 6 中的 1 号区域,通过移动浇道位置来减慢其凝固速度,对于图 6 中 2 号区域,由于铸件头部中间孔还需机加工,其深度可调,所以将该孔深度减少 3 mm(见图 7)。进行再次模拟,发现此次模拟的凝固过程为比较理想的顺序凝固过程,头部出现的孤立熔池与浇道连在一起,从而消除了缩孔缺陷,其凝固过程见图 8。

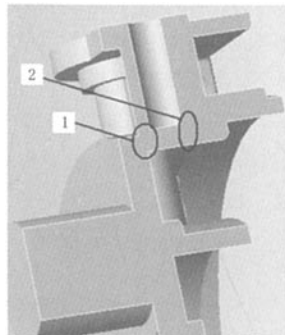


图6 缩孔缺陷位置实体模型

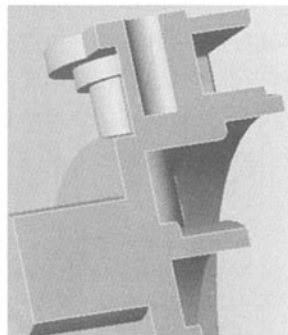


图7 实体模型结构的改进

## AZ91D 镁合金触变铸造件热处理前后的组织与性能

王开 刘昌明 翟彦博

(重庆大学机械工程学院)

**摘要** 将降低浇注温度法制坯技术与压铸成形技术相结合,直接在压铸机中成功制备了摩托车发动机支架镁合金件。试验结果表明,半固态成形件试样微观组织是由孤岛状的未熔  $\alpha$ -Mg 相和由网状的次生  $\alpha$ -Mg 及  $\gamma$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 形成的共晶相组成,组织结构致密。经过 T4 处理以后,零件试样的硬度和抗拉强度分别降低了 4.5% 和 3.1%;而经过 T6 处理之后,零件的硬度与抗拉强度比没有热处理的试样提高了 30.1% 和 14.0%;两种热处理工艺均使材料的伸长率比没有热处理的试样分别提高 17.6% 和 40.5%。

**关键词** 半固态;AZ91D 镁合金;触变铸造;微观组织;力学性能

**中图分类号** TG249.2;TG146.2<sup>++</sup>

**文献标志码** A **文章编号** 1001-2249(2008)01-0028-03

镁合金被广泛用作结构零件,尤其是汽车零部件<sup>[1]</sup>。镁合金压铸,在成形厚大铸件时存在孔洞缺陷,从而降低了零件的力学性能<sup>[2,3]</sup>。半固态高压成形能够避免此类缺陷,可以通过热处理改善零件内部组织结构,提高力学性能<sup>[4,5]</sup>。

从 20 世纪 70 年代半固态金属成形技术提出开始,人们对半固态成形技术过程中料坯的制备技术、重熔工艺、重熔过程中的组织演化以及半固态合金浆料的触变性和微观组织之间的关系等方面的研究都较多<sup>[6~11]</sup>,北京有色金属研究总院等采用半固态成形技术制备铝合金汽车与摩托车零件<sup>[12,13]</sup>,则是半固态成形技术的

实际应用。镁合金作为轻型结构材料,其成形技术受到人们的重视。本课题采用新的半固态坯料制备方法,结合现有的压铸设备成形摩托车发动机支架镁合金件,对半固态压铸镁合金摩托车发动机支架热处理前后微观组织结构、力学性能进行了研究。

## 1 试验过程

### 1.1 试验材料

试验采用的材料是 AZ91D 铸造镁合金,其合金成分见表 1,其液相线和固相线温度分别为 596 °C 和 468 °C。

收稿日期:2007-09-26

第一作者简介:王开,男,1976 年出生,博士研究生,重庆大学机械工程学院,重庆(400044),电话:023-60617318, E-Mail: wangkai\_china@gmail.com

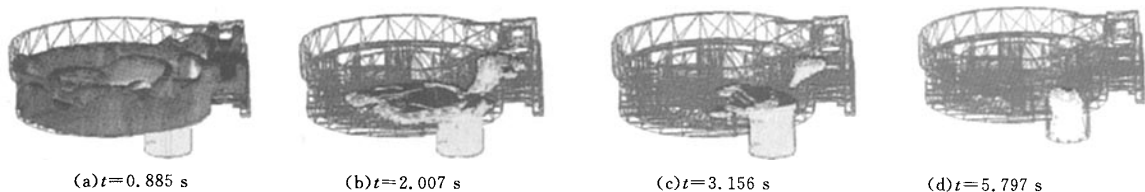


图 8 改进后的模拟结果

## 4 结语

以 JSCAST 软件为工具对汽车空调器壳体的挤压铸造过程进行了计算机数值模拟,通过对模拟结果和铸件内部产生的缩孔缺陷的分析,提出了改变浇道位置与优化零件结构相结合的解决措施,实现了利用计算机数值模拟来改进工艺方案,提高产品品质的目的。

### 参考文献

- [1] 罗继相,胡建华,孙昌明. 挤压铸造汽车铝合金制动缸体[J]. 特种铸造及有色合金,1997(1):17-19.
- [2] 罗继相,赵利华,谢少庆,等. 挤压铸造实用技术研究[J]. 特种铸造及有色合金,2005,25(3):150-152.
- [3] 唐多光,张金龙,徐张翼. 挤压铸造原理及缺陷分析[J]. 特种铸造及有色合金,2003(1):43-45.
- [4] 张良,赵旭平. 计算机模拟技术在铸造中的应用[J]. 石油机械,

2006(9):92-94.

- [5] 大中逸雄. コンピュータ伝熱・凝固解析入門—鑄造プロセスへの応用[M]. 东京:丸善出版社,1985.
- [6] 朱金东,大中逸雄. 直接差分法による湯流れの3次元コンピュータシミュレーション[J]. 铸造工学,1996,168:668.
- [7] 孙小波,安阁英. 用直接差分法实现铸件凝固进程三维数值模拟及软件研究[J]. 铸造,1996(8):23-26.
- [8] 荆涛. 凝固过程数值模拟[M]. 北京:电子工业出版社,2002.
- [9] 熊守美. 铸造过程模拟仿真[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
- [10] ZHU J D, OHNAKA I. Treatment of free surface boundary conditions for the simulation of mold filling[C]. Proceedings of MCSP. Ed by E. Niyama and H. Kodama. Hitachi, Japan, 1995.
- [11] 陈琦. 铸造质量检验手册[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [12] 罗继相,李敏华. 挤压铸件品质的综合控制[J]. 特种铸造及有色合金,2006,26(11):715-718.
- [13] 齐丕骧. 挤压铸造[M]. 北京:国防工业出版社,1984.
- [14] 陈炳光. 液态金属模锻模具设计[M]. 武汉:华中理工大学出版社,1989.

(编辑:张正贤)