DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.11.015

镁合金一模多腔压铸件数值模拟与工艺优化

周玉辉,黄清民
(集美大学 机械与能源工程学院,福建 厦门 361021)

摘　要:对 AZ91D 镁合金压铸件进行了工艺分析,确定了浇注系统设计方案和压铸工艺参数,并利用有限元软件 Procast 对铸件型腔充填过程进行了数值模拟。根据计算结果,确定了浇注系统最佳浇口位置,对一模多腔压铸件工艺参数进行了优化。结果表明,利用顺序充填解决了充型过程中存在的流动不平衡的问题,并通过生产验证,获得了合格铸件。

关键词:压铸;数值模拟;一模多腔;工艺优化
中图分类号:TG243　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2020)11-1065-05

Numerical Simulation and Process Optimization of Multi-cavity Die Casting for Magnesium Alloy

ZHOU Yuhui, HUANG Qingmin
(School of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: The die casting process analysis of AZ91D magnesium alloy was carried out, the design scheme of gating system and the parameters of die casting were determined, and the filling process of die casting cavity was simulated by using the finite element software Procast. According to the calculation results, the optimum gate position of the gating system was determined, and the technological parameters of the one-mold multi-cavity die casting were optimized. The results show that the problem of flow imbalance in mold filling process is solved by using sequential filling, and qualified castings are obtained through production verification.

Key words: die casting; numerical simulation; multi-cavity; process optimization

镁合金因其密度低、比强度和比刚度高、流动性好等特点,成为金属结构件轻量化的最佳材料。压铸是镁合金构件最主要的成形方法,在压铸过程中,镁合金铸件的组织结构与力学性能等在很大程度上受到模具结构、成形工艺、充填与凝固过程等的影响[1,2]。因此,对镁合金铸件质量相关的影响因素进行研究,对于控制和改善铸件的使用性能具有重要的理论意义与生产价值。随着计算机技术在铸造领域的广泛应用,通过数值模拟仿真来研究镁合金铸件的结构工艺设计与成形工艺,能够预测型腔中金属液的充型凝固过程,有效地控制生产,保证铸件的质量[3-7]。

本文基于有限元软件 Procast,对某镁合金铸件进行了压铸充型凝固过程数值模拟,分析了不同浇口位置对金属熔体充填型腔的影响,确定了最佳的浇口位置,并对工艺参数进行了优化,保证了一模多腔成形产品质量的一致性。

1　铸件结构及材料

铸件三维结构见图 1 所示。该零件为自行车辅助功能扣件,为一般制造精度,轮廓尺寸为 45 mm×75 mm×15 mm。铸件主体结构为截面为半圆形的 Y 形壳体类零件,壳体壁厚为 2 mm,壳体周围有 6 个凸耳,厚度 7 mm,其上有直径 4 mm 的螺钉连接用通孔,结合镁合金压铸件成形工艺要求进行分析,该铸件结构特征符合成形工艺要求。

铸件材料采用 AZ91D 合金,化学成分见表 1,其中固相线温度 470 ℃,液相线温度 595 ℃。

表1 AZ91D化学成分 w(%)
Tab.1 Chemical composition of AZ91D alloy

Al	Si	Mn	Zn	Cu	Fe	Ni	Mg
9.06	0.01	0.28	0.55	0.002 8	0.013	0.003 5	Balance

2　压铸工艺设计

2.1　压铸工艺分析

该铸件为壳体类零件,结构简单,无需侧向抽芯

收稿日期:2020-08-16
基金项目:福建省教育厅科技项目(B11017);集美大学李尚大学科建设基金资助项目(zc2018025)
作者简介:周玉辉(1978-),女,四川遂宁人,讲师.研究方向:材料加工 CAD/CAE 研究.电话:13459228095,
E-mail:zhouyuhui98@126.com

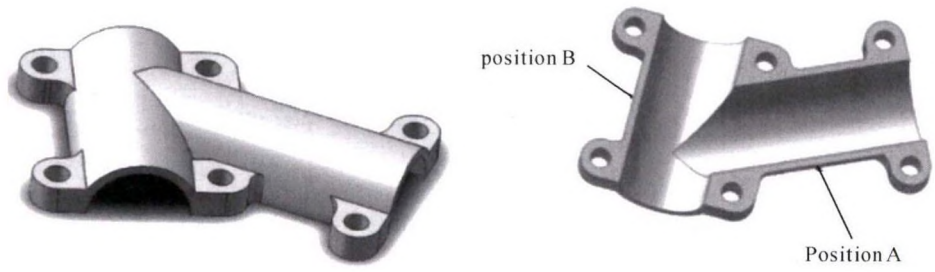


图 1 镁合金压铸扣件三维模型和可能的浇口位置 A 和 B
Fig.1 3D model of the magnesium alloy casting and possible gate position A and B

机构，可采用两板模具结构成形。选取铸件底部平面作为分型面位置，型芯位于模具动模一侧。由于铸件尺寸较小，故采用 1 模 4 件，在卧式冷压室压铸机上生产，在计算锁模力的基础上，结合实际生产条件，选用 2 500 kN 的压铸机，压射室直径为 70 mm。

结合铸件的结构特点和 AZ91D 压铸成形工艺，推荐的压铸工艺参数为：充型速度 25~35 m/s，浇注温度 640~680 ℃，注射压力 30~50 MPa，模具工作温度 180~240 ℃，充型时间 0.014~0.020 s 保温时间为 1~2 s。

2.2 浇注系统设计

根据浇注系统设计原则，该壳体类零件，选用扁平矩形截面侧向浇口进浇。由于铸件是 Y 型分叉结构，为了确定内浇口的最佳位置，设计了两种浇注系统方案，分别从铸件两个不同的平直边 position A、position B 进浇，如图 1 所示。

内浇口的尺寸对金属液流动状态影响较大，通常根据经验公式计算浇口截面积，再根据经验数据确定浇口的宽度、厚度与长度。浇口的截面积可用如下公式计算：

$$A_g=V/\nu t$$

式中，A_g 为浇口截面积，V 为铸件和溢流槽体积，ν 为金属液填充速度，为 t 充型时间。本设计中内浇道的宽度为 15 mm，厚度为 1.4 mm，长度为 6 mm。溢流槽设置在分型面上，选用半圆形结构，各部分尺寸分别为：溢流口宽度 6.5 mm，溢流口长度 4 mm，溢流口厚度 0.6 mm；溢流槽长度 18 mm，半径 4 mm。具体的浇注系统和溢流槽设计方案如图 2 所示。

2.3 压铸工艺参数设计

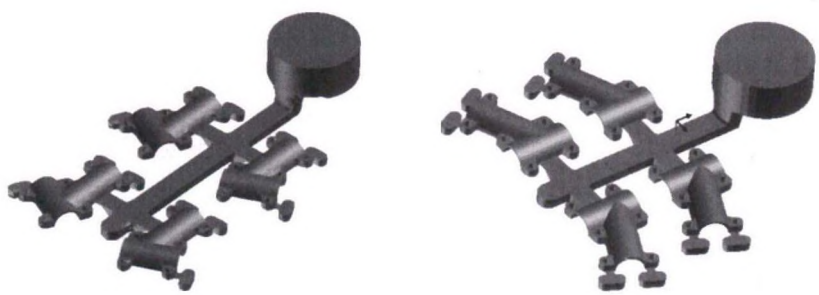
该铸件为一般压铸件，平均壁厚小于 3 mm，结合本铸件结构特点及 AZ91D 成形工艺，推荐工艺参数：充填速度为 25~35 m/s，合金浇注温度 640~680 ℃，压射比压 30~50 MPa，模具工作温度 180~240 ℃，充填时间 0.014~0.02 0 s，持压时间 1~2 s。

3 充型过程数值模拟分析

用 CAD 软件 Solidworks 对图 2 所示铸件与浇注系统的几何模型进行了建模，并以“.igs”格式导入 Mesh CAST 模块，完成有限元网格剖分，在 Visual-CAST 模块中生成虚拟模具，最后利用 ProCAST 软件对铸件充型凝固过程进行了数值模拟。

3.1 初始条件和边界条件

在计算过程中，需设置相关材料参数、传热系数、初始条件、边界条件和运行参数等。虚拟模具材料为 H13，AZ91D 和 H13 合金的热物理参数和力学性能等可根据合金化学成分，从 ProCAST 数据库中



(a)方案1　(b)方案2

图 2 两种不同的浇注系统设计
Fig.2 Two type of designs of different gating system structures

表2 用于数值模拟的初始条件和边界条件

Tab.2 Initial and boundary conditions for numerical simulation

Pouring temperature/℃	Die temperature/℃	Injection velocity /(m·s^{-1})	Injection pressure/MPa	Heat-transfer coefficient /(W·m^{-2}K^{-1})
655	200	3.5	45	2 000

获得，初始条件和边界条件如表 2 所示。

3.2 数值分析结果与讨论

两种浇注系统设计方案的型腔充填过程如图 3 所示，其中浅色表示未填充区域，深色表示已填充区域。

从图 3(a1)可以看出，方案 1 中，在 t=0.0 115 s 时，金属液在充满横浇道的同时，只有 1 个型腔的浇口充满，其余 3 个型腔的过渡横浇道与内浇道无金属液进入。而从图 3(b1)可以看出，方案 2 中，在 t=0.0 111 s 时，金属液在充满横浇道后，4 个型腔的内浇道均有金属液进入。对比图 3(a2)、(a3)与(b2)、(b3)金属液进入型腔后的充填过程，方案 2 充填速度较快，而方案 1 滞后明显。且方案 1 中，在充填到 t=0.0 145 s 时，出现了金属液停滞、型腔浇不足的现象，如图 3(a4)所示。方案 2 金属液能够充满整个型腔。

从方案 1 浇口位置进浇，金属液在型腔中需改变方向，填充分叉部分型腔，消耗了较多的能量，增加了金属液在型腔中的流动阻力，导致了金属液填充不满的现象。从方案 2 浇口位置进浇，金属液沿着铸件长度方向流动，流动阻力小，金属液到达浇口前沿需要的时间短，四个浇口金属液填充的同步性较好，且金属液在型腔中流动较平稳，基本是由近及远顺序充填。基于以上分析，方案 2 的浇注系统设计方案更合理。

从图 3(b3)也可以看出，对于方案 2 浇注系统设计，金属液在充填型腔时，远离直浇道的两个型腔金属液流动快，充填时间短，靠近直浇道的两个型腔金属液充填明显滞后于远离的两个型腔，流速慢，存在严重的型腔充填不平衡的问题。

4 结果分析与讨论

4.1 金属液平衡充填的影响

在一模多腔压铸件生产中，金属液在流道与型腔中的流动状态受到多种因素的影响，如模具总体结构的排布、浇注与溢流系统的结构与尺寸、成形工艺参数等。要保证多个型腔同步进料、同步填充，最好采用流道相等流程的设计，即平衡式流道设计，这样金属液的平衡充填受到速度、压力与温度的影响减小，工艺参数的调整范围相对较大。也可以通过改变流道截面尺寸进行流动情况的改善。由于受到模具加工成本的影响，该模具使用非平衡式流道设计，金属液在流道与型腔中的流动状态受压射压力、填充速度、熔体温度、模具温度等工艺参数的影响很大，易出型腔充填不平衡的问题，对压铸件的质量产生影响。

4.2 优化结果分析与讨论

为了保证一模多件产品质量的一致性，本文针对该铸件 4 个型腔充填不平衡、液流滞后的问题，对初始方案进行优化，优先考虑成形工艺参数的优化

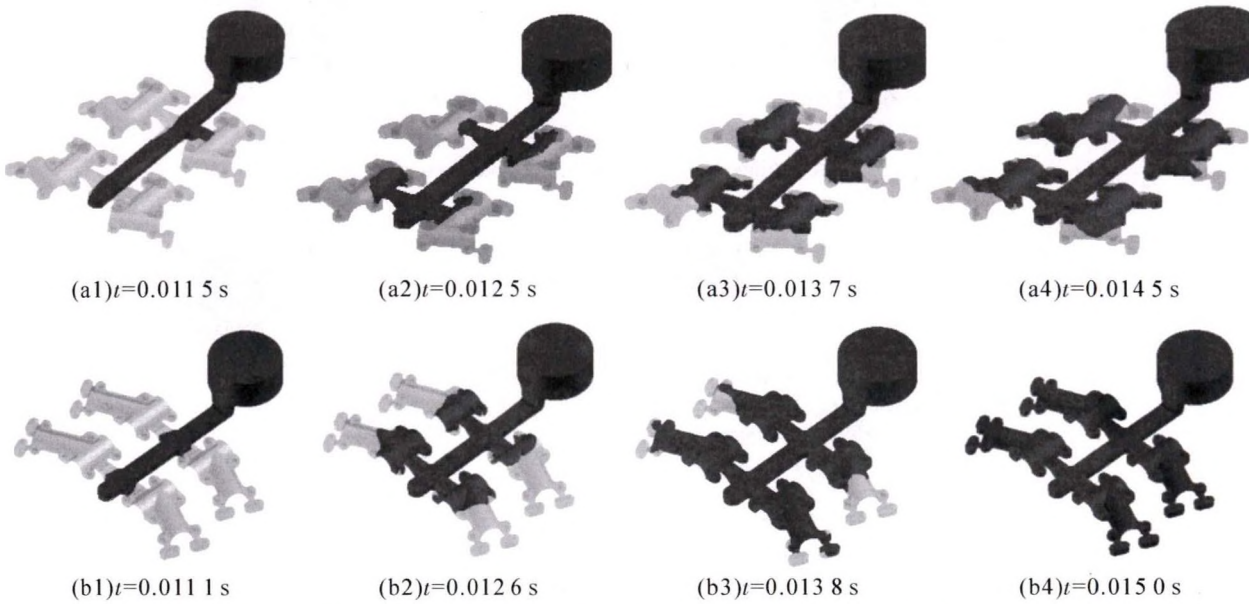


图 3 两种浇注系统方案 AZ91D 金属液充型过程(a1-a4 方案 1，b1-b4 方案 2)

Fig.3 Two gating system schemes for AZ91D alloy molten metal filling process

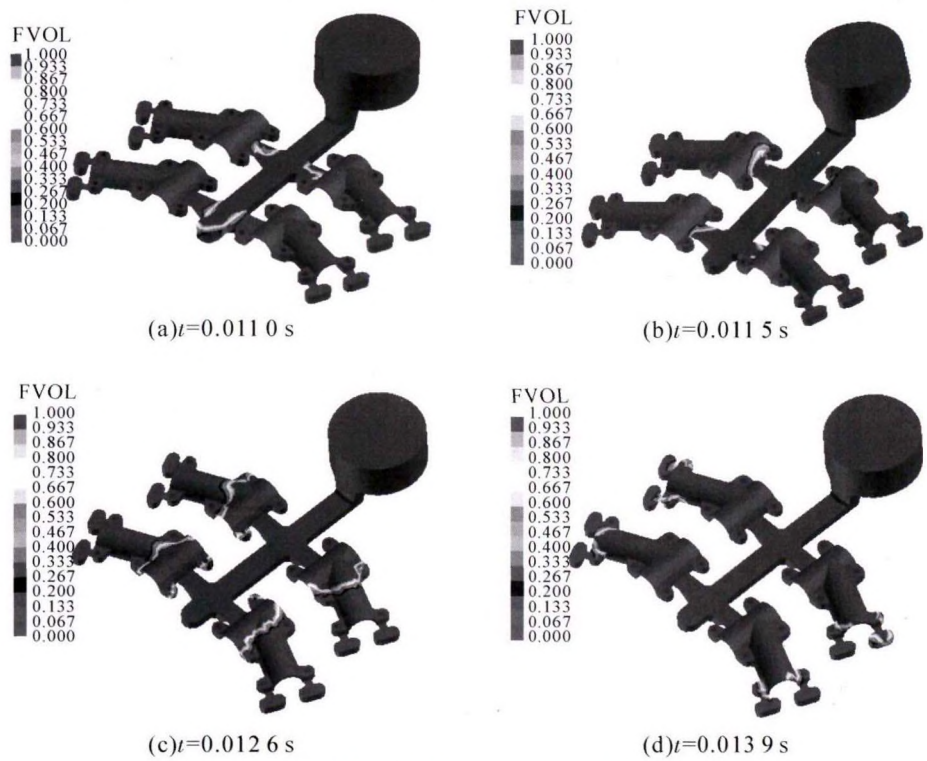
调整。

通过对浇注温度、充填速度与压力多次参数调整分析，发现流道与 4 个浇口金属液填充的同步性均较好，但金属液在型腔中均不能平衡充填，远端型腔中金属液流速更快。这主要由于横浇道中阻力小，金属液在较高的压力作用下，以喷射流的形式直线前进，导致远端的两个型腔最先填充，且消耗了主要的动能；而近端的两个型腔填充滞后，且金属液在型腔中的流动速度很慢，严重时出现短射现象。基于上述分析，考虑让近端两个型腔金属液先于远端进入。

其他参数不变，调整压力参数：压射比压 30 MPa，持续时间 0.0 115 s，而后压射比压增加到 50 MPa，完成型腔的填充，且以 50 MPa 持压 1 s。图 4 是工艺参数优化后的金属液型腔充填过程。

从图 4(a)和(b)可见，由于压射比压低，金属液流动较慢，t=0.0 110 s，金属液填充横浇道的同时，金属液进入近端两个型腔的浇口；t=0.0 115 s 时，当金属液到达远端的两个型腔的浇口时，少量的金属液已进入近端两个型腔。随后，当压力提高至 50 MPa 时，金属液流速增加，在较高压力的作用下 4 个型腔进行同步充填较好，基本达到充填平衡，如图 4(c)和(d)所示。

图 5 为铸件在不同时刻的固相分数分布，可见，在凝固阶段，凸耳 / 壳体连接处和溢流槽处的凝固速度比其他区域慢，因此，在凸耳 / 壳体连接处和溢流槽处形成了部分孤立的液相区，易导致缩孔、缩松出现。



(a)t=0.011 0 s　(b)t=0.011 5 s

(c)t=0.012 6 s　(d)t=0.013 9 s

图 4 参数优化后金属液型腔充填过程

Fig.4 Filling process with optimized parameters

(a)t=0.632 9 s　(b)t=1.723 2 s

图 5 铸造在不同时刻凝固分数

Fig.5 Fraction solid of the casting at different time

图 6 是铸件凝固后缩孔、缩松缺陷分布，从该图可见，缩孔、缩松主要集中在溢流槽以及铸件凸耳与壳身连接处，这与图 5 结果一致。同时，图 6 结果也说明溢流槽位置设置合理。由于凸耳厚度为 7 mm，与铸件主体壁厚相差较大，易出现收缩不均匀，导致缩孔、缩松出现。然而，从图 6 计算结果看，该部位缩孔、缩松尺度不大，在模具结构设计时，注意加强凸耳处的冷却，降低缩孔、缩松率。

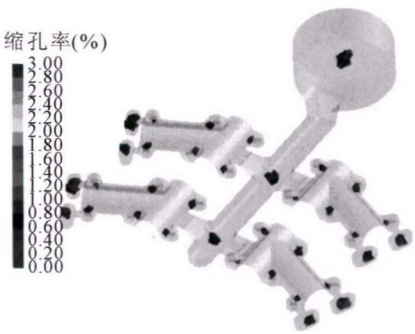


图 6 缩孔、缩孔分布图
Fig.6 Distribution of shrinkage porosity

结合数值模拟结果，基于优化后的方案进行了铸件试生产，见图 7 所示，铸件检查合格。

图 7 最优参数压铸的铸件
Fig.7 Casting with optimum parameters of die casting

5 结语

根据压铸件的结构特点，设计了浇注系统结构与初始压铸工艺方案，利用有限元软件 Procast 进行了数值模拟，根据数值计算结果，确定了最佳的浇口位置。并针对一模多腔压铸件生产时，金属液在充型过程中存在的流动不平衡的问题，进行了工艺参数优化。利用优化后的方案进行了试生产，获得了合格的压铸件产品。

参考文献：

[1] 吴孟武，熊守美. 基于改进 CA 方法的压铸镁合金微观组织模拟[J]. 金属学报，2010, 46(12):1534-1542.

[2] 张永忠，张奎，崔代金，等. AZ91D 镁合金的压铸工艺及性能[J]. 铸造，2000, 49(2): 74-78.

[3] Qin Xinyu, Su Yong, Chen Jian, et al. Finite element analysis for die casting parameters in high-pressure die casting process [J]. China Foundry, 2019, 16(4):272-276.

[4] Zhao Xu, Wang Ping, Li Tao, et al. Gating system optimization of high pressure die casting thin-wall AlSi10MnMg longitudinal loadbearing beam based on numerical simulation [J]. China Foundry, 2018, 15(6):436-442.

[5] Kwon H J, Kwon H K. Computer aided engineering (CAE) simulation for the design optimization of gate system on high pressure die casting (HPDC) process [J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2018, 55: 147-153.

[6] 董艺，潘登，杨召岭. 基于 ProCAST 软件的压铸镁合金脚踏板的数值模拟研究[J]. 特种铸造及有色合金，2019, 39(9): 973-976.

[7] 祁明凡，康永林，朱国明，等. 镁合金薄壁件压铸成形的工艺及数值模拟[J]. 中国有色金属学报，2017, 27(3): 448-458.

技术资料邮购

《铸造抗磨产品实用生产技术集》

《铸造抗磨产品实用生产技术集》本书由李德臣教授级高工编著。 共8章： 1、关于锰钢生产技术；2、球墨铸铁与蠕墨铸铁生产技术；3、抗磨产品生产技术；4、锤头生产技术；5、消失模、V法生产技术；6、典型铸件的生产技术；7、还原罐生产技术；8、关于企业管理。全书22万字。特快专递邮购价：98元。

邮购咨询：李巧凤　　电话/传真：029-83222071