

铝合金框架压铸工艺数值模拟及分析

朱广余,薛克敏,李 萍,薛传妹
(合肥工业大学 材料科学与工程学院,合肥 230009)

摘 要: 通过应用多种软件交换和数据接口技术,设计了正交实验以完成压铸过程数值模拟。结果表明:通过设置合理浇注系统、控制压铸速度和提高模具预热温度,可以有效减少铸件缩松缩孔;各参数对铸件缩松缩孔发生概率影响程度从大到小依次为浇注系统方式、模具预热温度、压铸速度;理想工艺方案为浇注系统 a 、压铸速度 1 m/s、模具预热温度 450 °C。

关键词: 压力铸造;数值模拟;缩松缩孔;显现概率

中图分类号: TG249.2

文献标识码: A

文章编号: 1671-8798(2009)03-0220-04

Numerical simulation and analysis of pressure casting technology on aluminium alloy frame

ZHU Guang-yu, XUE Ke-min, LI Ping, XUE Chuan-mei

(School of Materials Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: By using the technology of software changing and data interface, the orthogonal test is designed, and the numerical simulation of pressure casting process is completed. The result shows that the shrinkage porosity in cast can be reduced effectively by setting reasonable gating system, controlling the speed of pressure casting and increasing the preheating temperature of mold. The influencing factors of the probability of shrinkage porosity in cast in turn are the patterns of gating system, the preheating temperature of mold and the pressure casting speed. The perfect plan includes the gating system a , the pressure casting 1 m/s and the preheating temperature of mold 450 °C.

Key words: pressure casting; numerical simulation; shrinkage porosity; showing probability

压力铸造是在高压作用下,使液态或半液态金属以较高的速度充填压铸模型腔,并在压力下成形和凝固而获得铸件的方法,其实质为一种金属零件精密加工近净成形工艺^[1]。压铸件的尺寸精度高,组织致密,强度、硬度高,材料利用率高。当前国外压铸技术发展趋势是:计算机在压铸生产中的应用

日益增多,压铸工艺不断采用新技术,以及开发延长压铸模服役寿命研究等^[2]。压力铸造在中国约起始于 20 世纪 40 年代,50 年代以后发展迅速,但同世界先进水平相比,目前在薄壁复杂件成形以及计算机模拟技术应用方面依然存在不足^[3]。

本文所研究铝合金框架体最小壁厚 3 mm,最大

收稿日期: 2009-06-11

基金项目: 中电科技集团 38 所委托项目(070301D2)

作者简介: 朱广余(1985—),男,江苏盐城人,硕士研究生,研究方向为精密塑性成形及仿真。

通讯作者: 薛克敏,教授,博士生导师,主要从事精密塑性成形工艺与仿真研究。

壁厚 6 mm,属复杂薄壁件。传统加工方法为机械切削加工,工艺复杂、材料利用率低,存在缩松缩孔、冷隔及夹杂等缺陷。实验通过压铸工艺有限元数值模拟,预测铸件缺陷的发生,分析缺陷影响因素,优化压铸工艺,欲为该产品的实际生产提供技术指导。

1 实验部分

1.1 数学模型的建立

根据压铸特点,温度场采用三维非稳态温度场,其控制方程为:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q$$
(1)

式(1)中: ρ 为密度; C_p 为比热容; t 为时间; T 为温度; λ 为热导率; Q 为单位体积内热源^[4]。金属液充满型腔,流体连续性方程表示:

$$W_k \cdot f_k = W_{a1} \cdot f_{a1} + W_{a2} \cdot f_{a2}$$
(2)

式(2)中 W_k 为压射速度; f_k 为压室截面积; W_{a1} 为1型腔内浇道速度; f_{a1} 为1型腔内浇道横截面积; W_{a2} 为2型腔内浇道速度(充填速度); f_{a2} 为2型腔内浇道截面积^[5]。

1.2 几何模型的建立

分析厂商所提供的铝合金框架结构图纸,通过UG软件构建三维立体图,考虑一些细小螺孔压铸模具设计繁琐,在造型时暂不设计,铸件压铸后可机械加工而成。

1.3 浇注系统的设置

查阅压铸技术简明手册,在UG软件中依次设计直浇道、横浇道、内浇道、溢流槽和排气槽。实验设计3组浇注系统,其中a浇注系统包括2个溢流槽和排气槽;b浇注系统包括3个溢流槽和排气槽,其中第三个溢流体积较小;c浇注系统包括3个溢流槽和排气槽。单个溢流槽和排气槽如图1所示^[6],3组浇注系统如图2所示。在UG软件通过布尔运算将铸件实物图和浇注系统组合为整体,通过Parasolid格式导出.xmt_txt文件。

1.4 网格的划分

考虑Procast软件划分网格比较复杂,选用MSC.Patran软件进行网格划分。在Patran软件中导入.xmt_txt文件,创建四面体四结点实体网格,节点数20950,网格数80335,保存文件,导出.out格式文件。

1.5 Procast数值模拟过程

1.5.1 Precast过程依次进行Gemotry, Materials, Interface, Boundary conditions, Process, Initial conditions及Run parameters过程,生成d.dat文件。重点

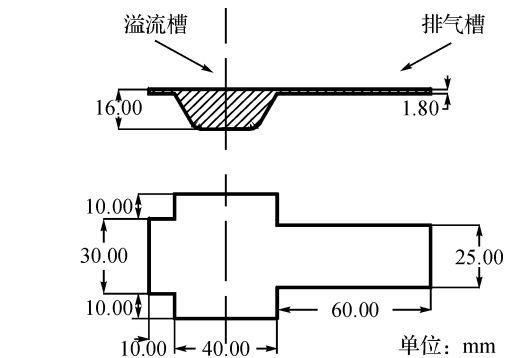


图1 溢流槽和排气槽设计图
Fig. 1 Design of overflow groove and air vent

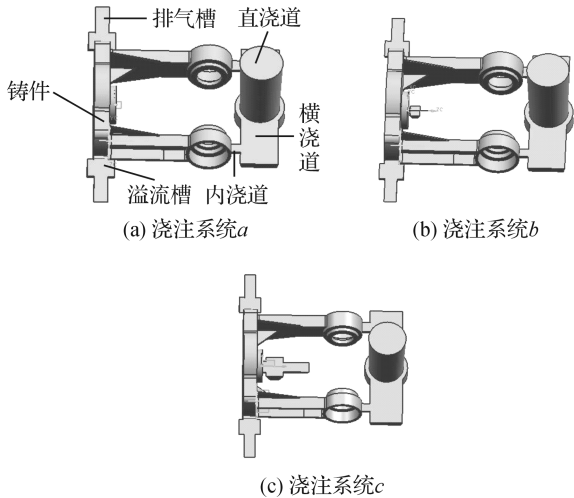


图2 3组不同浇注系统图
Fig. 2 Three groups of different gating systems

考虑浇注系统方式、压铸速度及模具预热温度对模拟结果的影响,设置三因素三水平正交试验表。

1.5.2 Datacast过程对d.dat文件进行运算处理,时间约为180 min,生成.unf文件。

1.5.3 Viewcast过程模拟结果中显示铸件充填和凝固过程,观察流动场、应力场及温度场的变化,分析各参数对铸件缺陷的影响,探索缺陷形成机理。

2 结果分析

2.1 数值模拟结果分析

经Viewcast观察,缩松缩孔(Shrinkage Porosity, SP)是本实验模拟中出现的最严重的缺陷,其他缺陷不明显,对框架体性能影响较小。缩松缩孔减小了铸件受力有效面积,产生应力集中,降低铸件物理和力学性能。正交试验中以缩松缩孔概率显现截面积为考察指标,进行实验结果处理。观察缩松缩孔显现概率截面图(图3),其中灰白色斑点的位置代

表缩松缩孔出现的部位,不同颜色代表出现缩松缩孔发生概率的大小,面积越大,缩松缩孔越严重。图3显示铸件缩松缩孔主要出现在铸件尾部圆盖处,温度场变化图(图4)显示此时A区、B区温度为563.3℃,A区、B区周围温度为540.5℃,内浇道、横浇道处温度为540.5℃,当内浇道凝固后,A区、B区还未凝固,其周围区域不能及时提供液体补缩,故A区、B区将会发生缩松缩孔,同图3显示相一致,说明缩松缩孔图模拟SP概率的准确性。根据正交表设置参数进行模拟,观察缩松缩孔图,测量SP概率显现截面面积。铸件正交试验SP概率显现截面图如图5所示,正交实验表及结果处理如表1所示。

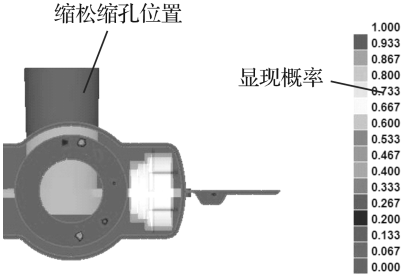


图3 铸件缩松缩孔概率显现截面图

Fig.3 The showing probability of shrinkage porosity

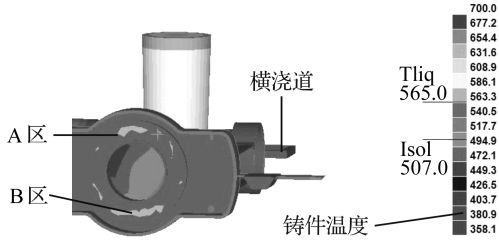


图4 铸件温度场变化图

Fig.4 Variation of temperature field

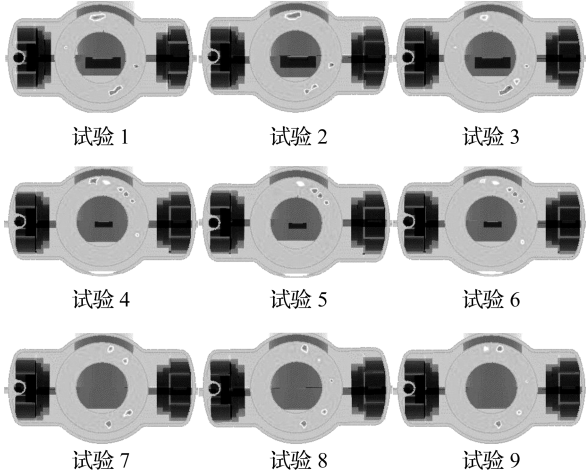


图5 铸件正交试验SP概率显现截面图

Fig.5 The showing probability of shrinkage porosity in orthogonal test

表1 $L_9(3^3)$ 正交实验方案^[7] 及结果处理表

Table 1 The plan of orthogonal test and processing results

试验号	I 浇注系统方式	II 压铸速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	III 模具预热温度/ $^{\circ}\text{C}$	SP 显现概率截面面积和/ μm^2
1	a	1	350	46.59
2	a	5	400	43.20
3	a	10	450	44.47
4	b	1	400	47.14
5	b	5	450	42.34
6	b	10	350	62.18
7	c	1	450	53.20
8	c	5	350	64.83
9	c	10	400	64.85
K_1	134.26	146.93	173.60	—
K_2	151.66	150.37	155.19	—
K_3	182.88	171.5	140.01	—
SP 显现概率	k_1	44.75	48.98	57.87
截面面积和	k_2	50.55	50.12	51.73
	k_3	60.96	57.17	46.67
极差	16.21	8.19	11.20	—
优方案	A1	B1	B3	—

2.2 正交实验结果分析

2.2.1 各因素对SP面积影响分析 各因素对SP面积影响如图6所示。浇注方式对SP面积影响图

显示,a 浇注系统出现缩松缩孔概率最小,其包括2个溢流槽和排气槽,模具设计工艺简单,加工方便,设置最为合理;c 浇注系统出现缩松缩孔概率最大,

其包括 3 个溢流槽和排气槽,金属充填时由于过多金属流入溢流槽,致使铸件尾部部分区域不能及时得到液体补缩而出现较多缩松缩孔。压铸速度对 SP 面积影响图显示,压铸速度为 1 m/s 时,铸件出现缩松缩孔概率最小,压铸速度为 10 m/s 时缩松缩孔概率最大。分析原因,压铸速度过大时,金属液卷入气体较多,氧化皮增多,造成缩松缩孔增加;压铸速度较低时,充填平稳,氧化皮较少,缩松缩孔减少,模拟结果符合实际情况。查阅压铸工艺及模具手册,复杂薄壁铸件铝合金理想充填速度为 25 ~ 30 m/s^[2],根据式(2),本实验中 $f_k = 5\,996.4\text{ mm}^2$, $f_{a1} = 80\text{ mm}^2$, $f_{a2} = 100\text{ mm}^2$,因为 2 个内浇道口速度接近,取 $f_{a1} = f_{a2} = 90\text{ mm}^2$, $W_{a1} = W_{a2} = 25 \sim 30\text{ m/s}$,经计算, $W_k = 0.75 \sim 0.9\text{ m/s}$,故本实验设计压铸速度为 1 m/s 符合理论值,较为合理。模具预热温度对 SP 面积影响图显示,模具预热温度为 450 ℃ 时出现缩松缩孔概率最小,模具预热温度为 350 ℃ 出现缩松缩孔概率最大。分析原因,模具预热温度较低时,凝固初期在铸件横截面积小的部位,金属液很快凝固,将补缩通道阻断,导致在铸件内产生大量缩松缩孔;模具温度较高时,金属液冷却较慢,凝固收缩部位可以及时得到补缩,缩松缩孔较少,模拟结果符合实际情况。

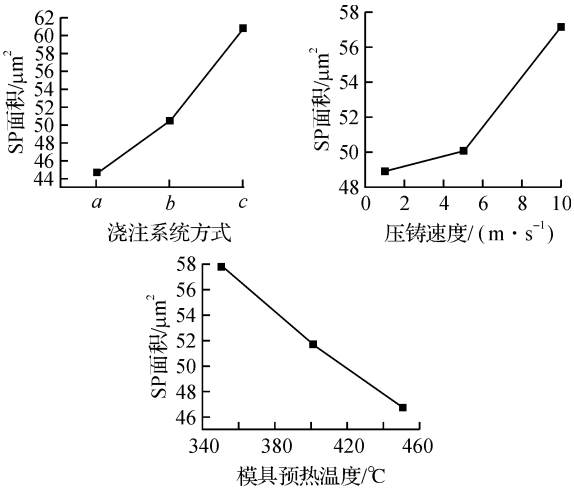


图 6 各因素对 SP 面积影响图

Fig. 6 The influence of all elements to SP area

2.2.2 压铸工艺参数选择 正交表处理结果中极差值表明,对缩松缩孔概率影响程度为:浇注系统方式 > 模具预热温度 > 压铸速度。3 组不同浇注系统之间溢流槽和排气槽体积相差较大,对缩松缩孔影响较大,所以该框架体浇注系统设计选择 a 浇注系统;模具预热温度设计不宜过低,防止金属液过早凝固,应选择接近铸件材料固相线温度;压铸速度对缩

松缩孔影响最小,在压铸机速度允许的范围内,选择较小压铸速度。

2.2.3 最优方案确定及实验模拟验证 正交表处理结果中优方案表明,本实验铸件产生缩松缩孔最小概率方案为:a,1 m/s,450 ℃。根据最优方案参数,进行 Procast 数值模拟,缩松缩孔图如图 7 所示,结果显示 SP 概率显现截面面积为 30.12 μm^2 ,缩松缩孔率低于 0.2,明显小于正交表中各组参数 SP 概率显现截面面积,且符合产品制造要求,验证了模拟结果和正交试验方案的正确性。

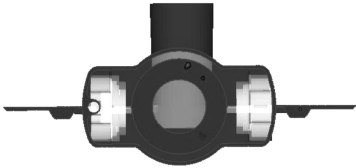


图 7 优化方案模拟图

Fig. 7 Simulation of perfect plan

3 结 语

通过多种计算机软件交换和接口技术的应用,实现基于参数化特征的精确实体造型和数值模拟,可开展现代压铸工艺的数字化研究;通过设置合理浇注系统、控制压铸速度和提高模具预热温度,可以有效减少铸件缩松缩孔缺陷的发生;压铸工艺参数中对铸件缩松缩孔发生概率影响程度从大到小依次为:浇注系统方式、模具预热温度和压铸速度,最佳实验方案为 a 浇注系统、压铸速度 1 m/s 和模具预热温度 450 ℃。

参考文献:

[1] BONOLLO F, URBAN J, BONATTO B, et al. Gravity and low pressure die casting of aluminum alloys: a technical and economical benchmark [J]. Metallurgia Italiana, 2005, 97(6): 23-32.

[2] 赖华清. 压铸工艺及模具 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

[3] 薛克敏, 李萍, 汪昌盛. 铜合金 T 形件压铸成型的研究 [J]. 热加工工艺, 2007, 36(1): 26-28.

[4] 金鑫森, 李双寿, 刘小刚. 低压铸造镁合金轮毂温度场及应力场模拟 [J]. 兵器材料科学与工程, 2005(2): 30-34.

[5] 洪琢, 翁国华. 薄壁铸件的压铸 [J]. 铸造技术, 2008, 29(10): 1352.

[6] 压铸技术简明手册编写组. 压铸技术简明手册 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1980: 112-120.

[7] 陈魁. 实验设计与分析 [M]. 北京: 清华大学出版社,