# 基于 CAE 分析的复杂壳体压铸模具设计

## 贾志欣<sup>1</sup>,王子平<sup>1</sup>,李继强<sup>1</sup>,刘立君<sup>1</sup>,霍庆文<sup>2</sup>

(1.浙江大学宁波理工学院,浙江宁波 315100; 2.天正模具有限公司,浙江宁波 315812)

**摘要:**分析了壳体压铸件的特点,应用铸造模拟软件ProCAST对流动充型、压铸模具热平衡 和温度场进行了分析,为该模具浇注系统、冷却系统设计合理性提供了验证。压铸实际生产 表明,该模具设计合理,压铸件质量高。 关键词:压铸模具;浇注系统;冷却系统;CAE分析

随着汽车、航空航天和电器等工业的发展,为了提高压铸件质量,同时实现节 省能耗、降低污染等设计要求,铝合金压铸件的应用越来越广泛。目前压铸已成为 汽车用铝合金成形中应用最广泛的工艺之一<sup>[1]</sup>。压铸作为一种终形和近终形的成形方 法,能够得到薄壁、结构复杂、轮廓清晰、组织致密、强度较高的铸件<sup>[2]</sup>,且生产效 率高,适用于大批量生产。压铸模具是进行压铸生产的主要工艺装备,它直接影响 着压铸件的质量、成本和生产效率<sup>[3]</sup>。本文针对复杂壳体零件,基于ProCAST进行了 模拟分析,为压铸模具设计提供了支撑。

## 1 売体零件

该压铸件材料为A380,用作输油管路的阀体,如图1所示。零件结构较为复杂,存在许多肋筋结构。阀体上三个端面开口薄壁内侧压铸成形后需要加工螺纹,用以连接油管部件。为了保证螺纹连接的强度及满足阀体气密性的要求,这些开口薄壁处必须质量良好,致密无气孔。壳体质量为2.952 kg,壳体零件整体厚度较薄,壁厚主体为5 mm左右,但壁厚悬殊,最小壁厚为2.5 mm,最大壁厚为9.4 mm。

## 2 压铸模具设计

#### 2.1 分型面及浇注系统

根据壳体压铸件的结构特点,分型面选在壳体的最大开口处。浇注系统不仅对 金属液在模具型腔内的流向与状态、排气条件、模具的压力传递起到重要的控制作 用,还能够调节填充速度、填充时间和模具的温度分布<sup>[4-5]</sup>。该壳体为圆筒形铸件, 在最大的圆柱端部采用六个内浇道,使得金属液沿壁进入型腔避免直接冲击型芯, 先填充型腔底部,有利于排除气体。浇注系统如图2所示。

#### 2.2 冷却系统

冷却系统的布置对于产品的成形、变形具有决定意义。为达到冷却效果,采用 点冷与冷却水路相结合的方式,图3为压铸模具内部冷却水道的分布情况,每个镶块 内都有独立的冷却水道或点冷,这些水道分布在铸件各个薄壁开口的中心位置,加 强各薄壁部位的冷却。

#### 2.3 模具结构

本副模具体积较大,模框长宽分别为990 mm和910 mm。模芯结构如图4所示,

作者简介: 贾志欣(1970-),女,教授, 研究方向为模具技术。电 话:0574-88130081,E-mail: jzx@nit.zju.edu.cn

中图分类号:TG76 文献标识码:A 文章编号:1001-4977(2020) 08-0873-05

#### 基金项目:

宁波市"科技创新 2025" 重大专项(2018B10047)。 收稿日期: 2020-02-26 收到初稿, 2020-04-17 收到修订稿。 874 **销造** FOUNDRY 工艺技术

定模为整体,动模包含镶块5;壳体四周开口由4个滑 块成形,由4个液压缸实现抽芯运动;在4个深孔部位 做成可更换的长销型芯。模具图如图5所示。

# 3 CAE分析

利用HyperMESH划分铸件和模具的面网格,再将 高质量的面网格模型输入ProCAST的MeshCAST,检查 无误后生成四面体网格,压铸件和模具的网格数为445 万。在PreCAST中设置边界条件,进行仿真计算。

### 3.1 边界条件

铸件材质为A380,模具材质为H13钢。铝液浇注

温度650 ℃,模具预热温度220 ℃,浇口速度3 m/s,水 冷温度20 ℃。根据相关文献<sup>[6-8]</sup>,将模具与铸件间的换 热系数设为20 000 W/(m<sup>2</sup> · K),动模与定模间的换 热系数设为1 000 W/(m<sup>2</sup> · K),模具与空气间传热系 数设为100 W/(m<sup>2</sup> · K),脱模剂与模具间换热系数设 为 100 W/(m<sup>2</sup> · K)。冷却水道直径为10 mm,冷却 水流速为1 m/s,计算得到冷却水与模具的换热系数为 5 000 W/(m<sup>2</sup> · K)。

压铸生产周期可划分为四个阶段:①金属液填充,保压凝固;②开模、取出铸件;③喷脱模剂;④ 合模。四阶段时间分别为40 s、15 s、5 s、10 s,一次 循环的总时间为70 s。浇口浇注速度设为3 m/s,脱模剂



和空气的温度均设为20℃。

## 3.2 充型分析

图6为金属液在充型过程不同时刻的流场分布情况。整个填充过程为0.08 s,开始时金属液沿壁进入型腔,流动平稳,六股金属液流速差距不大。铸件左右两侧的金属液填充充足且均匀,充型过程是整体推进的,避免了金属液沿壁腔回流形成的"涡流"。金属液最后填充的位置是离浇口距离最远的溢流槽,基本实现了填充顺序。

#### 3.3 压铸过程温度场分析

压铸循环中,模具热量的主要来源为浇注的高温 金属液,而模具散发热量则是通过向空气散热和流动 的冷却水带走部分热量。如果在单位时间内模具吸收 的热量和散发的热量相等,达到一个平衡状态,则称 为模具的热平衡。

在动模、定模、铸件的型腔表面各取一点,如图7 中1、2、3点所示。绘制温度-时间曲线,如图8所示, 可以看出,经过10次压铸,模具达到热平衡状态。

#### 3.4 温度场分析

选取模具达到热平衡的第11个循环的温度场进行分析。图9为动模、定模和镶块5在一次循环内的温度场变化情况。这里选取了三个具有代表性的时刻进行分析, 分别是一个周期内的第0、第4.98 s和第55 s,即充型前, 充型保压和喷涂脱模剂前的时刻。充型前,模具的温 度场分布较均匀,平均温度在370℃左右;金属液填充



(b)定模 图7 模具与铸件上的选取的点 Fig. 7 Selected 3 points on the surface of casting or die parts

# 876 铸造 FOUNDRY 工艺技术

时,模具型腔表面温度急剧上升;在保压阶段,模具通 过向空气散发热量以及流动的冷却水带走部分热量逐渐 降温,在开模、取件,随后喷涂脱模剂,受脱模剂和空 气激冷作用,型腔表面温度迅速降低,大部分的模具型 腔表面温度下降到420℃以下。

由图9可知,动模和各个镶块的温度分布较均匀,型腔表面的温度梯度变化较小,表明冷却系统设计合理。

# 4 压铸生产

该模具已应用于课题铸件生产,完成机加工后的 压铸件如图10所示,在三个需要加工螺纹的薄壁内无

( a )



图8 三个点的温度-时间曲线 Fig. 8 Temperature-time curves of 3 selected points

(d)





(b) (c) 图10 加工后的壳体零件 Fig. 10 Aluminum housing casting after machining 气孔,薄壁质量良好;螺纹部分完整、无气孔,满足螺纹连接的强度和阀体气密性要求。

## 5 结束语

基于CAE分析进行了铝合金壳体零件的压铸模具设计,CAE分析结果验证了模具浇注系统、冷却系统的合理 性。该模具投入实际生产表明,三个需加工螺纹的薄壁致密无气孔,能够满足螺纹连接强度和阀体气密性要求,模 具设计合理。

#### 参考文献:

- [1] 余东梅. 中国铝合金压铸业的发展及现状 [J]. 世界有色金属, 2007 (3): 63-65.
- [2] 黄晓锋,谢锐,田载友,等.压铸技术的发展现状与展望[J].新技术新工艺,2008(7):50-55.
- [3] 姜不居. 特种铸造 [M]. 北京:化学工业出版社, 2010.
- [4] 旷鑫文,张正来,贾志欣.高气密性阀板压铸模具设计及实践[J].铸造,2019,68(8):896-901
- [5] 张正来, 贾志欣. 具有深孔抽芯的壳盖压铸模设计 [J]. 铸造, 2018, 67(8): 688-691.
- [6] 郭志鹏, 熊守美. 铝合金压铸过程铸件/铸型界面换热行为的研究 [J]. 金属学报, 2007, 11(43): 1149-1154.
- [7] HONG S, BACKMAN D G, MEHRABIAN R. Heat transfer coefficient in aluminum alloy die casting [J]. Metallurgical Transactions B, 1979, 2 (10) : 299–301.
- [8] MATTHEW S D, ANWAR H, GILLES D, et al. The accurate determination of heat transfer coefficient and its evolution with time during high pressure die casting of Al-9%Si-3%Cu and Mg-9%Al-1%Zn alloys [J]. Advanced Engineering Materials, 2007, 11 (9): 995–999.

# Design of Die Casting Die for Complex Housing Based on CAE Analysis

JIA Zhi–xin<sup>1</sup>, WANG Zi–ping<sup>1</sup>, LI Ji–qiang<sup>1</sup>, LIU Li–jun<sup>1</sup>, HUO Qing–wen<sup>2</sup>

(1. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, Zhejiang, China; 2. Tianzheng Die & Mould Company Ltd., Ningbo 315812, Zhejiang, China)

#### Abstract:

The requirements of the aluminium housing were given. The filling process, thermal equilibrium and temperature field of die casting die were analyzed by means of ProCAST software. The results prove that the designs of gating system and cooling system are reasonable. The practical production shows that the casting quality is good.

#### Key words:

die casting die; gating system; cooling system; CAE analysis