

计算机应用

基于有限元的镁合金、铝合金压铸用 模具热机耦合分析

张光明¹, 李 明¹, 傅 建², 彭必友²

(1. 四川工程职业技术学院, 四川德阳 618000; 2. 西华大学材料科学与工程学院, 四川成都 610039)

摘要: 基于PROCAST压铸模块热-机耦合分析系统, 分别针对A356和AZ91B两种铸件材质, 采用H13模具钢, 对比分析了铝合金和镁合金压铸件及压铸模具温度场和应力场, 得出了压铸镁合金模具温度场及应力场的分布特征, 对指导镁合金压铸模具设计及生产提出了见解。

关键词: 压铸; 镁合金; 应力场; 温度场

中图分类号: TG249.2-39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2007) 12-1285-03

Thermal-Mechanical Coupling Analysis of Magnesium and Aluminum Die Casting Dies Based on Finite Element

ZHANG Guang-ming¹, LI Ming¹, FU Jian², PENG Bi-you²

(1. Sichuan Engineering Technical College, Deyang 618000, Sichuan, China; 2. Department of Materials Science & Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, Sichuan, China)

Abstract: Based on the thermal-mechanical coupling analysis of PROCAST software, temperature field and stress field were simulated for A356 and AZ91B die castings, as well as corresponding dies. Contrast of temperature field and stress field between A356 and AZ91B is made. Finally some suggestions are put forward on the die design and die casting process for magnesium alloy die castings.

Key words: die casting; magnesium alloy; stress field; temperature field

随着我国汽车、电子、通讯等行业的迅猛发展, 对质量轻、比强度和比刚度高、抗电磁辐射力强的镁合金压铸件的需求急剧增长。据统计, 目前工程构件使用的镁合金中98%来自于高压铸造^[1], 镁合金压铸件显示出十分广阔的应用前景。

压铸模具是压铸生产的主要工艺装备, 其温度场和应力场分布对压铸件质量、模具寿命、生产率等有重要影响。一方面, 模具的温度场通过影响充型过程和冷却条件, 进而影响压铸件成形质量和内部组织质量; 另一方面, 模具在压铸过程中反复受激冷激热作用, 产生拉、压交变应力, 加之模具内有较大的温度梯度, 导致内应力较大。随着压铸循环次数的增加, 模具逐渐因变形、裂纹等失效。因此, 为了保证模具和压铸件的尺寸精度, 提高模具的使用寿命, 应加大对压铸过程中模具所受热应力和产生的变形的预测, 从而有利于指导模具的设计。

由于压铸过程的传热和边界条件以及压铸件的结构等较复杂, 对压铸过程进行热-机耦合数值模拟难度较大, 加之镁合金压铸件近年来才得到越来越广泛的应

用, 所以对镁合金压铸件模具进行热-机耦合数值模拟以得到其三维应力和变形的分布规律目前还少见报道。基于此, 本文针对一款包括上模、下模、镶块和复杂加热、冷却装置在内的压铸系统, 采用PROCAST有限元软件, 对铸件和模具温度场、应力场分布进行了镁合金与铝合金铸件材质条件下数值模拟的对比分析, 为分析模具失效形式、优化模具结构和指导镁合金压铸模具设计及镁合金压铸生产提供了理论支撑。

1 压铸件及其模具系统

模拟的对象为装配组件, 包括铸件、上模、下模、镶块和加热、冷却装置, 其实体和网格模型见图1所示。

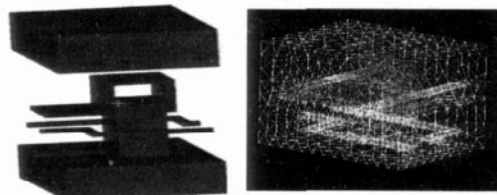


图1 模拟的压铸件及其模具系统实体(左)和网格模型(右)

Fig. 1 Solid and mesh model of die casting and dies

基金项目: 四川省科技厅应用基础项目 (0021780)。收稿日期: 2007-08-06。

作者简介: 张光明 (1972-), 男, 四川安县人, 硕士研究生, 主要研究方向为计算机在材料成形中的应用。E-mail: zgmgary@163.com

2 压铸过程温度场控制方程和边界条件

压铸过程的温度场为三维不稳态温度场，其控制方程可描述为^[2]：

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \rho L \frac{\partial g_s}{\partial t}$$

式中：T、t分别为温度和时间；x、y、z分别为空间坐标方向； ρ 、 c_p 、 λ 分别为金属的密度、质量定压比热容和热导率；L为潜热； g_s 为固相率。

该方程右边第一项是热流过程中由流入微元和流出微元的差造成的热量堆积（增量），第二项仅在发生相变时有效，其含义是凝固相变释放的潜热，二者之和引起微元温度的变化。方程左边就是相应于这个温度变化的热量，其来源是方程右边二项之和。

由于压铸件的充型时间通常只有几十毫秒，因此压铸多周期下温度场模拟计算中假设液体金属瞬时充满型腔。整个模具外表面施加自然空气冷却条件，水冷通道和加热管道与模具间施加标准界面传热系数，而模具内

部各组件间通过Die Combo技术施加压铸复合传热系数，它可以自动根据压模开合顺序改变传热系数。

3 压铸过程分析流程

压铸的实际生产过程为高速周期性循环过程，模具在压铸过程中，反复受激冷激热作用。因此先采用PROCAST的HDPC-CYCLING模块，分析了模具组件多周期工作后稳定生产阶段下各组件温度场，接着以此为初始条件，采用PROCAST的Stress模块，再分析稳态下一个压铸周期内各组件应力应变场。基于分析目的的需要，我们考虑的计算方案如下：针对镁合金、铝合金压铸件两种情况，分别考虑在不同的浇注温度和模具初始预热温度下模具温度场在压铸多周期循环工况下随时间变化的特点和相应的模具应力场在压铸稳定工况时一个周期内最大等效应力的数值，从而揭示出铸件浇注温度和模具初始预热温度对镁合金、铝合金压铸用模具温度场以及应力场的不同影响，为优化镁合金压铸模具设计和工艺参数选择奠定基础，具体计算参量选择见表1。

表1 计算参量选择方案

Table 1 Selection scheme of calculation variables

方案编号	镁合金压铸件AZ91B		铝合金压铸件A356	
	铸件浇注温度/℃	模具初始预热温度/℃	铸件浇注温度/℃	模具初始预热温度/℃
1	650	200	650	200
2	670	200	670	200
3	700	200	700	200
4	670	150	670	150
5	670	240	670	240

模拟计算中根据计算参量的不同，分别输入该方案下相关工艺参数和材质的热物性。模拟中各组件材质大部分热物性参数来自PROCAST软件自带的ThermoTech Ltd.公司开发的ThermoTech databases，从软件中可以看出材质的大部分热物性参数是随温度而变化的。而AZ91B合金的相关应力场模拟时的性能数据来自于JMatPro金属材料相图计算与材料性能模拟软件。

3.1 基于HDPC- CYCLING模块的热流分析

HDPC-CYCLING模块主要用于压铸多周期数值模拟。分析时假定一个周期生产总时间为30 s，有关循环时间变量参数见表2所示。

表2 循环时间变量参数选择方案

Table 2 Selection scheme of cycling time variables

一个周期生产 总时间/s	开模 时刻/s	压铸件顶 出时刻/s	模具喷涂料 开始时刻/s	模具喷涂料 终止时刻/s
30	15	20	23	27

为使模具充分达到稳态工况，计算总周期数设为20。模具材料采用H13钢，按计算方案分别针对A356和AZ91B两种铸件材质进行温度场对比分析。将0~210 s时间范围内模具镶块上编号为6115的节点的温度场数值导入Excel里进行比较。

3.1.1 浇注温度对稳态后模具温度场的影响

在模具初始预热温度为200℃下浇注温度对模具镶块上某点在压铸七个周期循环后温度变化量的影响见图2。从图2可以看出，随浇注温度的提高，稳态后铝合金和镁合金压铸用模具的温度均升高，但镁合金压铸用模具的升温幅度不及铝合金压铸用模具，从而可以得出结论：其他工艺条件相同情况下铝合金压铸用模具的升温速率高于镁合金压铸用模具的升温速率。其原因在于铝合金结晶潜热大于镁合金，模具的升温在很大程度上取决于材质的热物性参数，由于镁合金的热容量大于铝合金，而热导率又小于铝合金，故铝合金压铸模具很快就能获得传递过来的热量，从而使

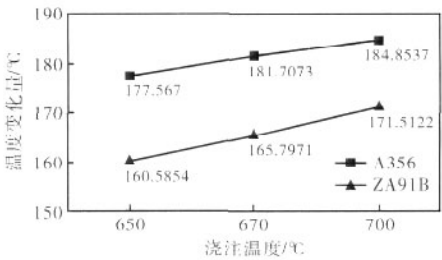


图2 浇注温度对稳态后模具温度场的影响

Fig. 2 Effect of pouring temperature on mold temperature fields under stable working condition

其升温速率比镁合金压铸模具的升温速率高。

3.1.2 模具初始预热温度对稳态后模具温度场的影响

在浇注温度为670℃下模具初始预热温度对模具镶块上某点在压铸七个周期循环后温度变化量的影响见图3。从图3可以看出,随模具初始预热温度的提高,稳态后铝合金和镁合金压铸用模具升温幅值均降低,但其他工艺条件相同情况下稳态后镁合金压铸用模具升温幅值小于稳态后铝合金压铸用模具升温幅值。故对镁合金压铸用模具适当提高初始预热温度,更能大大减轻模具在多周期循环工作时的热冲击效应。

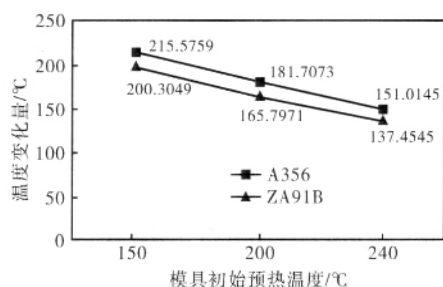


图3 模具初始预热温度对稳态后模具温度场的影响

Fig. 3 Effect of initial preheat temperature on mold temperature fields under stable working condition

3.2 基于Stress模块的热应力分析

铸造应力计算的力学模型主要有热弹性模型、Heyn模型、热弹塑性模型、弹黏塑性模型、统一内变量模型等,其中热弹塑性模型被广泛采用。热弹塑性模型不直接计入粘性效应,认为材料在屈服前是弹性,材料屈服后为塑性,弹性模量和屈服应力都是温度函数,且当材料接近熔点时,弹性模量和屈服应力均变为零^[3]。应力计算时需要读取HDPC-CYCLING模块下热流分析循环终了时刻模具及铸件的温度场作为初始条件,上模与下模外表面施加零位移约束。最后对模具镶块上编号为6115的节点在一个压铸周期内出现的最大应力数值进行比较。

3.2.1 浇注温度对稳态后铝合金、镁合金压铸用模具应力场的影响

在模具初始预热温度为200℃时,并且已稳定工况下浇注温度对模具镶块上某点在压铸一个周期内最大等效应力值的影响见图4。从图4可以看出,浇注温

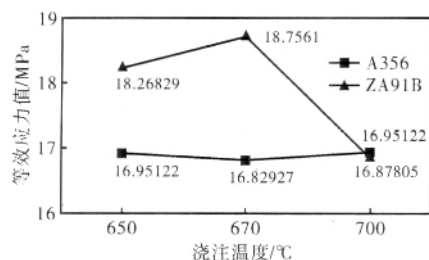


图4 浇注温度对稳态后铝合金、镁合金压铸用模具应力场的影响

Fig. 4 Effect of pouring temperature on mold stress fields under stable working condition

度对稳态后铝合金、镁合金压铸用模具应力场的影响规律不同。随浇注温度的提高,稳态后铝合金压铸用模具应力开始略微降低而后略微升高,而稳态后镁合金压铸用模具应力开始显著上升而后显著下降。而且当浇注温度较低时镁合金压铸用模具应力数值显著高于同等条件下的铝合金压铸用模具应力数值。

3.2.2 模具初始预热温度对稳态后铝合金、镁合金压铸用模具应力场的影响

在浇注温度为670℃时,并且已稳定工况下模具初始预热温度对模具镶块上某点在压铸一个周期内最大等效应力值的影响见图5。从图5可以看出,模具初始预热温度对稳态后铝合金、镁合金压铸用模具应力场的影响规律不同。随模具初始预热温度的提高,稳态后铝合金压铸用模具应力开始略微降低而后略微升高,而稳态后镁合金压铸用模具应力开始略微上升而后显著下降。故对镁合金压铸用模具来说,采取较高的模具初始预热温度会大大降低稳态后镁合金压铸用模具应力数值。

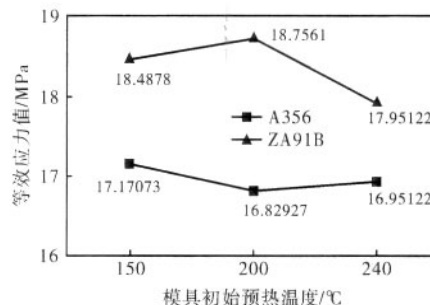


图5 模具初始预热温度对稳态后铝合金、镁合金压铸用模具应力场的影响

Fig. 5 Effect of initial preheat temperature on mold stress fields under stable working condition

4 结论

(1) 在相同工艺条件下,铝合金压铸模具的升温速率高于镁合金压铸模具。

(2) 当浇注温度较低时镁合金压铸用模具应力数值显著高于同等条件下的铝合金压铸用模具应力数值。

(3) 对镁合金压铸用模具来说,采取较高的模具初始预热温度会大大降低稳态后镁合金压铸用模具应力数值。

参考文献:

- [1] 刘正,王中光,等.镁合金压力充型与凝固过程的研究[J].材料研究学报,1999 (4): 641.
- [2] 潘宪曾.压铸模设计手册[M].北京:机械工业出版社,2006-07.
- [3] 王建荣,于彦东.基于数值模拟的镁合金手机壳体压铸模浇注系统的设计与优化[J].轻合金加工技术,2006,34 (11): 18.