

热室压铸机压射机构失效分析及优化设计

王 昌¹ 王宇鑫¹ 周忠锋² 水乐峰¹

(1.内蒙古科技大学机械工程学院; 2.山东新华医疗器械股份有限公司)

摘 要 压射机构内部径向变形会引起冲头和压室配合间隙变化,是造成压射机构失效的主要原因。以 1 250 kN 热室压铸机压射机构为研究对象,基于流固耦合,分析了压射过程中的热变形以及热力耦合,并对其进行对比验证。结果表明,金属液产生的热量传递到压射机构的压室和鹅颈壶会引起其内部径向变形,导致压射机构失效。据此进行了结构优化设计,优化后的压射机构变形量和质量均有所降低。

关键词 热室压铸;压射机构;热力耦合;优化设计

中图分类号 TG233

文献标志码 A

DOI:10.15980/j.tzzz.2022.06.023

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Failure Analysis and Optimization Design of Injection Mechanism of Hot Chamber Casting Machine

Wang Chang¹, Wang Yuxin¹, Zhou Zhongfeng², Shui Lefeng¹

(1.Mechanical Engineering School, Inner Mongolia University of Science and Technology;
2.Shandong Xinhua Medical Device Co., Ltd.)

Abstract: The internal radial deformation of injection mechanism can induce the fit clearance change between the punch and the pressure chamber, which is the main reason for the failure of the injection mechanism. Taking 1 250 kN hot chamber die casting machine as the research object, the thermal deformation and thermal coupling analysis during the injection process were verified comparatively based on the liquid-solid coupling. The results indicate that the heat generated by metal solution is transferred to the pressure chamber and gooseneck pot of the injection mechanism, which causes internal radial deformation, leading to the failure of the injection mechanism. On this basis, the structural optimization design was carried out, and the deformation and weight of the optimized injection mechanism were improved.

Key Words: Hot Chamber Die Casting, Injection Mechanism, Thermal Coupling, Optimization Design

热室压铸机因其效率高、结构简单且金属熔液不与空气直接接触、铸件品质好等特点,在压铸中得到广泛的应用。在压射过程中压室内壁不仅受到冲头运动造成的摩擦磨损,还受到高温金属液的腐蚀,使得压室内壁与冲头产生径向变形造成配合间隙变化^[1],严重时会发生卡擦卡死,是导致压射机构失效的主要原因。

朱谦等^[2]对挤压铸造机的压射机构动态配合进行研究,认为引起配合间隙变化剧烈的主要原因是压室的温度不均匀。宋雷等^[3]对挤压铸造的压室卡擦现象进行了定性分析,认为压射机构内部热变形引起的配合间隙变化是造成卡擦现象出现的主要原因。目前对压射机构的研究主要集中在由热变形引起的间隙变化造成的卡擦现象^[4~6],但针对热室压铸机的研究报道较少。

热室压铸机压射机构与冷室压铸机不同,其工作环境复杂。易失效,且压室与冲头更换困难。因此,对热室压铸机压射机构在工作中的失效问题进行研究十分必要。

本课题对热室压铸机工作状态下压射机构的变形失效原因进行研究,旨在为其应用提供参考。

1 压射机构模型的建立

1.1 压射机构

热室压铸机的压射机构主要由鹅颈壶、压室及冲头 3 部分构成,其工作原理见图 1。金属液由进料口进入压室内部,冲头缓慢向下移动直至封住进料口,之后压射冲头以高速压射推动金属液进入鹅颈壶直至模具中

收稿日期:2021-08-12;修改稿收到日期:2021-10-15

第一作者简介:王昌,男,1967 年出生,教授,内蒙古包头(014010),E-mail:wangchang888@sina.com

通信作者:王宇鑫,男,1997 年出生,硕士研究生,内蒙古包头(014010),E-mail:1262224338@qq.com

引用格式:王昌,王宇鑫,周忠锋,等. 热室压铸机压射机构失效分析及优化设计[J]. 特种铸造及有色合金,2022,42(6):785-788.

WANG C, WANG Y X, ZHOU Z F, et al. Failure analysis and optimization design of injection mechanism of hot chamber casting machine [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2022, 42(6):785-788.

保压。待模具成形后冲头退回,金属液回流,顶出装置将压铸件顶出,完成一个压铸流程。

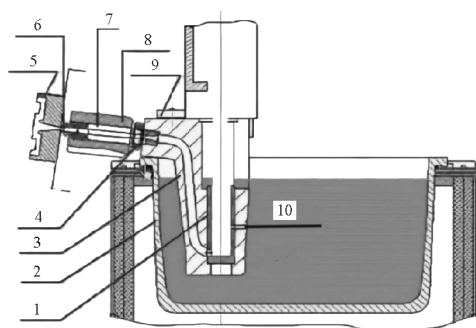


图1 热室压铸机压射机构工作原理

Fig.1 Working principle of injection mechanism of hot chamber die casting machine

1.压室 2.坩埚 3.料壶 4.射嘴螺母 5.压铸模 6.射嘴头
7.射嘴身 8.加热圈 9.发热饼 10.进料口

1.2 数学模型的建立

在进行流固耦合分析时,需根据耦合方程,在同一个时间步内对流体域和固体域中的所有未知量同时求解^[7]。模型分析选用 $k-\epsilon$ 湍流模型^[8],其湍流耗散率表达式为:

$$\epsilon = \frac{\mu}{\rho} \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_k}\right) \left(\frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j}\right)} \quad (1)$$

湍流能量运输方程为:

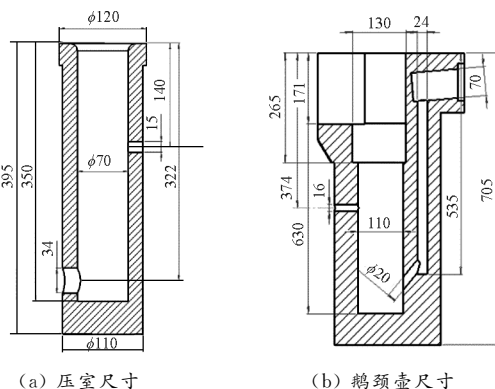


图2 压射机构尺寸及剖面图

Fig.2 Assembly and profile of injection mechanism

铸机压射机构进行建模装配。

2 压射过程数值模拟分析

2.1 边界条件设置

以 1 250 kN 热室压铸机压射机构为研究对象,压射机构简化为由冲头、压室和鹅颈壶组成的有限元模型。数值模拟采用流固耦合分析,忽略重力、磁力、惯性力等的影响。有限元分析中所有的零件材料与实际材料一致。压铸前需将压射机构预热至 200 ℃,因此设定初始温度为 200 ℃,镁合金熔液为 750 ℃。压射过程中

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \mu_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_\tau}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (2)$$

能量耗散输送方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon \mu_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_\tau}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} C_B) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (3)$$

式中, G_k 为平均速度梯度引起的湍流动能的产生; G_b 为浮力产生的紊流动能; Y_M 为可压缩湍流中波动膨胀对总耗散率的贡献; G_ϵ , $G_{2\epsilon}$ 和 $G_{3\epsilon}$ 为常数; σ_k 和 σ_ϵ 分别为 k 和 ϵ 的湍流普朗特常数; S_k 和 S_ϵ 是用户定义的源项; μ_τ 为湍动粘度; μ_i 为速度脉动量。

在流固耦合交界面处,应满足流体与固体应力(τ),位移(d),热流量(ϵ),温度(T)等变量的相等或守恒,即满足如下:

$$\begin{cases} \tau_f \cdot n_f = \tau_s \cdot n_s \\ d_f = d_s \\ q_f = q_s \\ T_f = T_s \end{cases} \quad (4)$$

式中,f 为流体;s 为固体。

1.3 三维模型的建立

压室和鹅颈壶的尺寸均根据实际图纸尺寸绘制,其剖面图见图2。采用 SolidWorks 对 1 250 kN 热室压

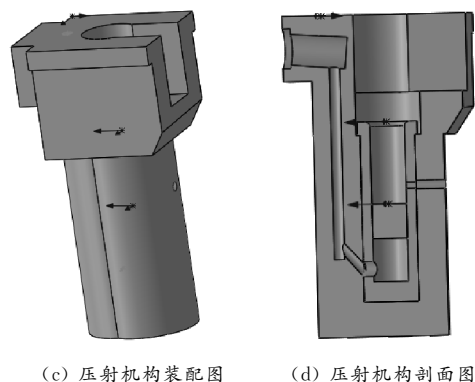


图2 压射机构尺寸及剖面图

Fig.2 Assembly and profile of injection mechanism

一个压铸周期需 50 s,①在 0~5 s 金属液流入压室;②在 5~15 s 时冲头下压完成模具的充型;③在 15~45 s 时冲头保压,金属液在高压下凝固;④在 45~50 s 时冲头退回,金属液回流,顶出成形铸件。鹅颈壶和冲头材质为 QT600,压室材质为 H13 钢,冲头直径为 $\phi 70$ mm,压室外径为 110 mm,内径为 70 mm,高为 395 mm,压室底厚为 45 mm,鹅颈壶管道内径为 15 mm,底厚为 75 mm。定义压室及鹅颈壶管道内为流体域,其余部分为固体域。冲头在压射时的速度为 0.125 m/s,压射压力为 22.88 MPa,出口压力设为 0,鹅颈壶上方及

鹅颈壶出口外表面与压室外表面设为位移支撑,冲头下方为位移支撑给定一个自由度。选用 $k-\epsilon$ 湍流模型,各系数设为默认值。压力与速度之间的耦合算法为 SIM-
PLE。压射机构中各部件的材料性能参数见表 1。

表 1 压射机构各部件物性参数

Tab.1 Physical parameters of each component of injection mechanism

材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	杨氏 模量/ GPa	泊松 比	热导率/ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	比热容/ ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	线膨胀系数/ ($10^{-5} \cdot \text{K}^{-1}$)
冲头、 鹅颈壶	7 120	158	0.26	43	940	1.15
压室	7 800	210	0.3	34	520	1.3
铸件	1 800	—	—	—	590	—

2.2 网格划分

在进行有限元分析前需对要分析的结构进行网格划分,在每个网格划分的区域内采用相应的热力学或流体力学方程求解,最终可以得到整个结构的工作状态。流体域划分网格节点数量 8 681 个,网格单元数量为 39 548 个。固体域划分网格节点数量 121 150 个,网格单元数量为 75 519 个,见图 3。

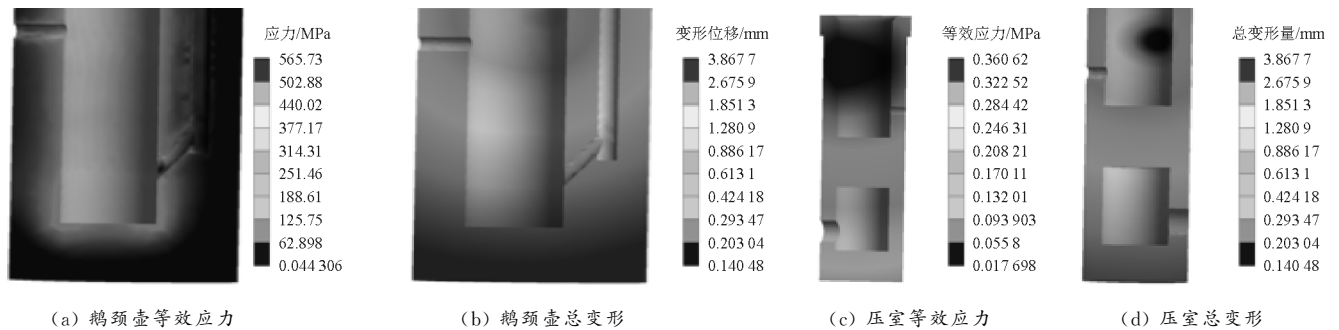


图 4 压室和鹅颈壶等效应力及变形云图

Fig.4 Nephogram of equivalent stress and deformation of pressure chamber and gooseneck pot

度较低,其变形也相应较小。冲头的变形由冲头上方到冲头底部递增,因为冲头底部与金属液直接接触且持续时间较长。鹅颈壶中的等效应力较为均匀,最大的变形位于底部区域,与压室变形方向一致,因为鹅颈壶底部长时间接触金属液所致。压室及鹅颈壶内壁受到的等效应力均小于材料的屈服应力。分析认为,压射机构内部径向变形的主要原因是高温金属液的热传递导致。

3 对比验证及优化设计

通过数值模拟分析得知金属液热传递影响是造成热室压铸机压射机构内部变形的主要因素,通过热力耦合分析的方式来验证。在热力耦合过程中,设定流体为固定的热源,不考虑内部流体压力的影响。材料属性等定义同上,限制约束也相同,采用稳态热分析的方式,见图 5,鹅颈壶与压室的总变形与等效应力的结果基本与

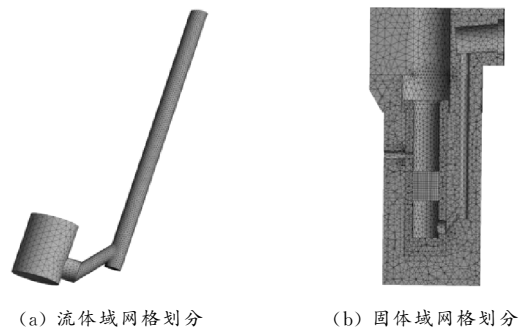


图 3 流体域和固体域网格划分

Fig.3 Grid meshment of fluid and solid

2.3 计算结果分析

当压射机构工作至 45 s 时即一个压铸周期结束,冲头即将退回时,压室及鹅颈壶所受等效应力及变形云图见图 4。可以看到,压射机构整体的等效应力及变形分布都不均匀。压室中的最大变形位于压室底部,这是由于冲头压力的作用以及金属液在压室内停留时间太长所致,这会导致冲头与压室的配合间隙发生变化,冲头在此处运动发生摩擦磨损及卡擦现象的概率将显著增大。压室上方在压铸过程中不与金属液直接接触,温

流固耦合分析相似,验证了上述分析的正确性。

完成有限元分析后,可知金属液的热传递影响是导致热室压铸机压射机构发生径向变形的主要原因,而压室内部的径向变形会导致冲头与压室的配合间隙发生变化,加剧压室内壁的摩擦磨损,甚至会造成冲头运动中发生卡擦卡死现象。因此,根据热变形对压射机构进行了优化设计。在保证其等效应力、总变形降低的情况下,不增加其自重以期达到降低压铸故障率,并节约生产成本的目的。

通过 Optimization 优化分析,随机生成了 20 个设计点,分别对每个点进行求解计算,选择其中的最优解。设定在保证压室内部腔体容积不变的情况下改变压室与鹅颈壶的厚度,具体参数见表 2。

通过求解设定的 20 个设计点得到其压室、鹅颈壶厚度对总变形、等效应力以及质量的敏感性与参数变量之间的关系见图 6。

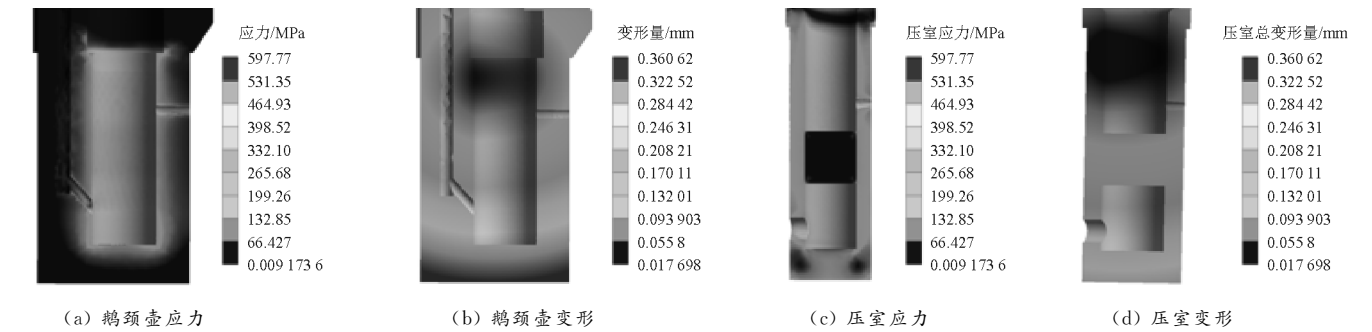


图 5 压室和鹅颈壶应力及变形图

Fig.5 Nephogram of stress and deformation of pressure chamber and gooseneck pot

表 2 压射机构优化设计变量

Tab.2 Optimized design variables of injection mechanism				
压室/mm	鹅颈壶/mm	质量/kg	总变形量/mm	等效应力/MPa
325~365	370~440	输出参数	输出参数	输出参数
365	440	255.08	—	—

根据上述的各个节点计算得到了 3 组最佳的候选点,通过对比选择第 3 组候选点,将数值带入模型中进行分析,得到压射机构的总变形与等效应力图见表 3 和图 7。

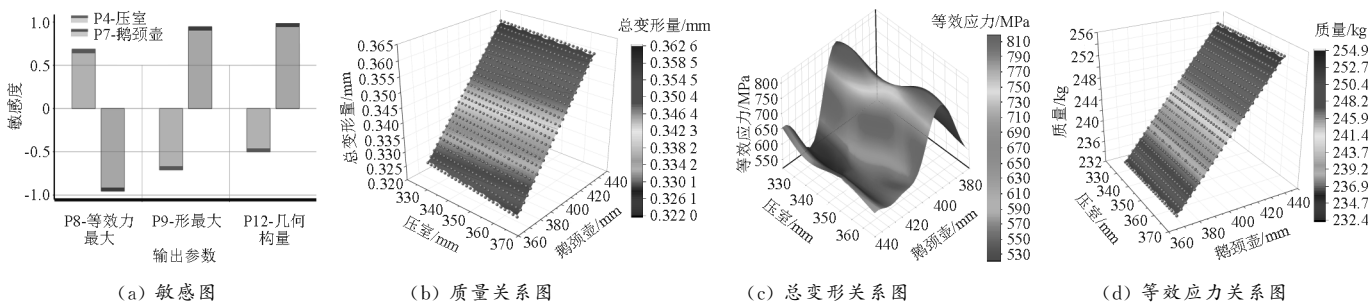


图 6 各参数之间的关系

Fig.6 Relationship between each parameter

表 3 优化设计点

Tab.3 Optimization design points					
参考点1	参考点1(验证)	参考点2	参考点2(验证)	参考点3	参考点3(验证)
P4-压室	330.14	335.25	363.41		
P7-鹅颈壶	370.1	370.09	370.48		
P8-等效应力/MPa	★ 554.2	★ 562.54	★ 584.04	★ 569.38	
P9-总变形最大/mm	★ 0.325 17	★ 0.325 21	★ 0.324 66	★ 0.321 99	★ 0.321 98
P12-几何结构质量/kg	★ 232.29	★ 232.29	★ 232.31	★ 232.63	★ 232.63

合数值模拟分析并结合热力耦合分析验证,得出金属液的热传递影响是造成压射机构径向变形的主要原因。之后根据热变形的影响对其进行了结构优化设计,在减小了总变形与等效应力的基础上其自重也有所降低,降低了生产成本。

参 考 文 献

[1] 黄相全,李培杰,刘树勋,等.镁合金热室压铸机压射室材料摩擦磨损机制研究[J].铸造, 2001(4): 187-190.

[2] 朱谦,游东东,朱权利.基于摩擦模型的挤压铸造机压射机构动态配合[J].中国机械工程, 2021, 32(12): 1 405-1 413.

[3] 宋雷,邵明.基于有限元的挤压铸造压射机构卡擦分析[J].机床与液压, 2015, 43(1): 141-143.

[4] 朱阳辉,游东东,朱权利.基于 Krging 的压射机构铸造工艺参数多目标优化[J].特种铸造及有色合金, 2021, 41(5): 592-596.

[5] 宋雷,邵明,游东东.利用有限元的挤压铸造压室热-力耦合分析[J].现代制造工程, 2012(11): 19-22.

[6] 白尚平,游东东,李元元.挤压铸造机压射系统的动态配合数值模拟[J].特种铸造及有色合金, 2012, 32(8): 740-743.

[7] 钱若军,董石麟,袁行飞.流固耦合理论研究进展[J].空间结构, 2008(1): 3-15.

[8] 熊莉芳,林源,李世武.湍流模型及其在 FLUENT 软件中的应用[J].工业加热, 2007(4): 13-15.

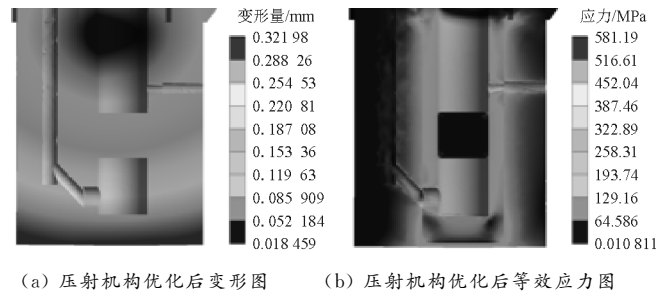


图 7 压射机构优化后变形图和等效应力图

Fig.7 Nephogram of deformation and equivalent stress of injection mechanism after parameter optimization

4 结 论

通过对 1 250 kN 热室压铸机压射机构进行流固耦

(编辑:张正贺)