

ZM6 镁合金薄壁油管类铸件冷隔缺陷的消除研究

张笙辉¹, 冀 辉¹, 李胜君², 郑 建², 王家文²

(1. 康硕(山西)智能制造有限公司, 山西高平 046700; 2. 营口经济技术开发区金达合金铸造有限公司, 辽宁营口 115007)

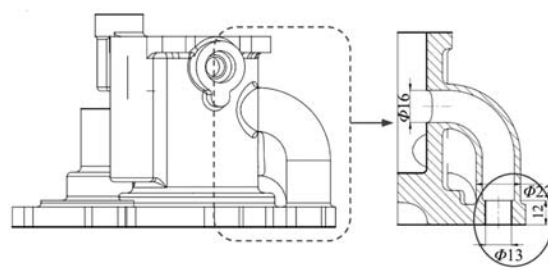
摘要: 镁合金因结晶温度范围大、流动性差, 薄壁件在浇注过程中易出现冷隔、浇不足缺陷。以ZM6镁合金薄壁油管类铸件为研究对象, 在研究过程中利用ProCAST软件模拟, 通过调整浇注温度、增设排气孔等方式, 最终解决产品冷隔、浇不足缺陷, 提高了成品率。

关键词: ZM6镁合金; 薄壁油管类铸件; 冷隔; 浇不足

镁合金是质量最轻的金属结构材料, 在航空、航天、汽车、交通、电子和家电等行业具有极其重要的应用价值和广阔的应用前景^[1-2]。由于镁合金的密度低、比强度和比刚度高, 将其应用于航空、汽车等领域可以起到显著的减重效果^[3]。ZM6镁合金的固相线温度是550 ℃, 液相线温度是640 ℃, 凝固结晶温度范围较大, 达90 ℃^[4], 且呈糊状凝固、流动性差; 在凝固过程中易出现缩孔、缩松等缺陷, 薄壁位置易出现冷隔、浇不足缺陷。本文针对ZM6薄壁件浇不足及冷隔缺陷进行分析, 通过优化工艺, 最终消除缺陷, 提高了产品成品率。

1 铸件结构特点及要求

如图1所示, 该铸件为壳体类铸件, 材质为ZM6, 主要成分如表1所示。铸件重量约1.4 kg, 尺寸约190 mm × 260 mm × 180 mm, 整体壁厚6 mm, 特点是具有多处油路管, 油路管壁厚仅3 mm, 产品要求砂型铸造且不允许存在任何铸造缺陷。



(a) 铸件三维外观图 (b) 局部剖视图

图1 铸件三维外观图和局部剖视图

Fig. 1 3D appearance view and partial sectional view of casting

表1 ZM6镁合金化学成分
Table 1 Chemical composition of ZM6 magnesium alloy

				w_B /%
Zn	Zr	Nd	Mg	
0.1~0.7	0.4~1.0	2.0~2.8	余量	

作者简介:

张笙辉(1986-), 男, 助理工程师, 主要研究方向为材料成型及控制工程。电话: 15140721901, E-mail: 285329470@qq.com

中图分类号: TG14; TG15

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)01-0089-03

收稿日期:

2022-08-09 收到初稿,
2022-09-30 收到修订稿。

2 原铸造方案及存在的铸造缺陷

2.1 原方案

此产品铸造难点在于油管壁厚仅3 mm, 且ZM6合金凝固结晶温度范围大、流动性差, 油管处在成形过程中极易出现冷隔、浇不足缺陷, 所以在方案设计时, 针对薄壁处需设定相关方案。

(1) 铸造方式。铸造方式采用了一型两件树脂砂型低压铸造, 因合金在压力下充型, 可以有效提高合金的流动性, 避免冷隔、浇不足缺陷的出现。低压铸造又具有充型平稳的特点, 可有效避免金属液在铸型内部飞溅产生夹渣等缺陷; 同时, 合

金在压力下凝固,可获得组织相对致密的铸件。

(2) 工艺参数。镁合金浇注温度一般设定在720~780℃,在保证充型的条件下,一般采取尽量低的浇注温度^[5],考虑到本产品为局部薄壁件,防止浇注过程中二次氧化的同时又要保证油管成形,故浇注温度选定在(735±5)℃。

充型速度一般设定在35~55 mm/s,同样,为防止浇注过慢导致冷隔的同时又要防止浇注速度设定不当导致紊流二次造渣,故浇注速度选定在35 mm/s。

为防止因砂型温度过低造成冷隔,砂型温度选定在50~65℃。

(3) 浇注系统设计。如图2所示,根据产品结构特点,采用底注开放式浇道,由产品的热节部位尺寸确定内浇道截面积,根据开放式浇注系统设定理论,最终确定浇注系统比例为 $\Sigma F_{直} : \Sigma F_{横} : \Sigma F_{内} = 1 : 1.6 : 2.5$,以达到平稳充型的目的,侧方厚大部位设置浇道补缩,顶部端面设置冷铁,形成顺序凝固。

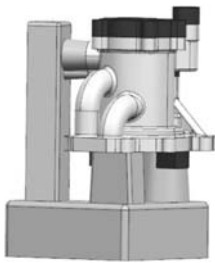


图2 浇注系统及冷铁示意图

Fig. 2 Schematic diagram of gating system and chills

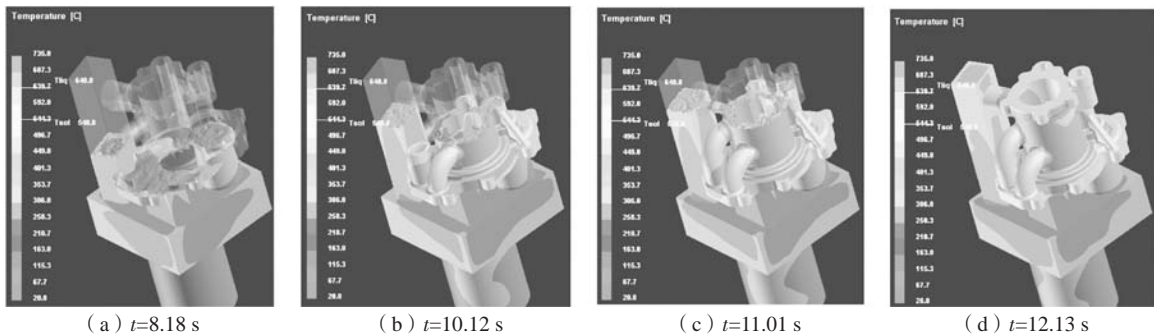


图4 原方案充型过程模拟结果

Fig. 4 Simulation results of filling process in the original scheme

型腔有可能存在对流憋气的问题,因此,浇注温度低和对流憋气是造成该缺陷的主要原因。

3 方案优化

针对以上问题分析,制定优化方案2。将浇注温度由原来的(735±5)℃提升至(750±5)℃,将浇注速度由35 mm/s提升至40 mm/s,针对对流位置可能存在憋气的问题,在油管处砂型设置排气孔,如图5所示,

2.2 存在缺陷及分析

采用该方案生产4件产品,清理砂型后发现壁厚为3 mm油管处均存在冷隔及浇不足缺陷,如图3所示。



图3 缺陷及缺陷位置示意图

Fig. 3 Defect and its location

原因分析:冷隔、浇不足缺陷形成的原因主要是铸型温度或浇注温度低或充型速度过慢,型腔未充满前合金已凝固,铸型排气不畅也会造成浇不足、冷隔缺陷的产生。

为找到造成油管处冷隔浇不足缺陷的根本原因,利用ProCAST软件对铸件的充型过程进行了模拟分析,设置参数如下:网格步长3 mm;面网格数量56 088个;体网格数量326 758个;铸件与冷铁换热系数为2 000 W/(m²·K);铸件与砂型换热系数为500 W/(m²·K);充型压力5 kPa;结晶压力6 kPa。

不同时间的充型模拟结果如图4所示,通过模拟发现,在充型过程中,油管位置降温速度快,型腔未充满前,油管位置温度已经低于液相线温度,另外,油管处有对流现象产生,结合铸件缺陷形态判断,该处

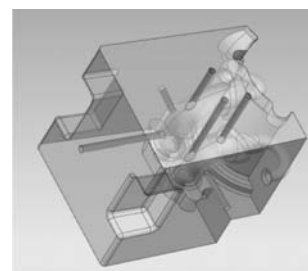


图5 砂型上排气孔位置

Fig. 5 Position of exhaust hole on sand mold

其余方案不变。

将工艺条件变更后，重新进行充型过程模拟，可见在油管充型完成时，油管处温度仍高于液相线温度，方案优化后，不同时间的充型模拟结果如图6所示。

方案优化后，浇注了6件产品，经检验，更改方案后浇注的6件产品，外观良好，油管处均成形，未出现冷隔、浇不足缺陷，如图7所示。

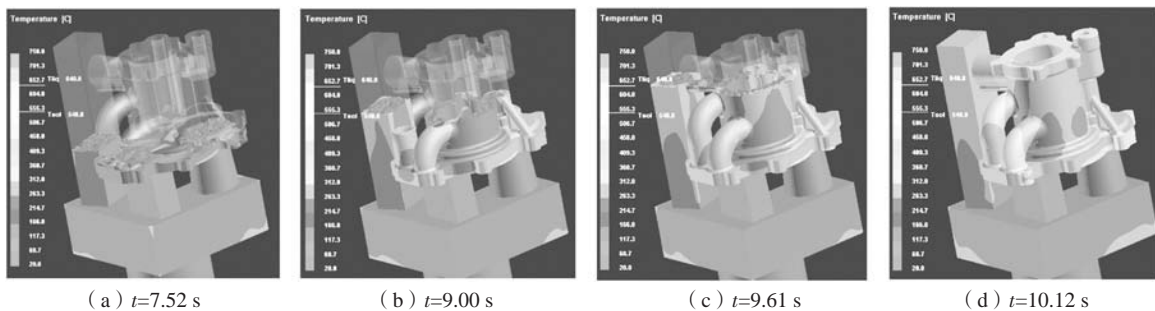


图6 方案优化后充型过程模拟结果

Fig. 6 Simulation results of filling process after scheme optimization



图7 更改方案后产品

Fig. 7 Product after scheme optimization

4 结论

(1) 采用树脂砂型低压铸造，可以生产出局部壁厚 3 mm 的 ZM6 合金薄壁油管类铸件；

(2) 在工艺设计过程设定浇注温度时，最好使用 CAE 模拟分析温度场，铸件薄壁位置的合金温度在充型结束前，尽量控制在液相线温度以上；

(3) ZM6 镁合金薄壁件出现浇不足缺陷后，除考虑浇注温度外，还应加强排气，因镁合金易氧化，提高浇注速度应慎重，避免因浇注速度过快造成二次氧化夹渣缺陷。

参考文献:

- [1] 樊振中, 陈军洲, 陆政, 等. 镁合金的研究现状与发展趋势 [J]. 铸造, 2020, 69 (10): 1016-1029.
- [2] 张艺钟. 高性能镁合金的研发与应用 [J]. 中国金属通报, 2018 (5): 29-30.
- [3] 张玉平. 镁合金在汽车工业的应用研究 [J]. 内燃机与配件, 2021 (20): 191-192.
- [4] 戴圣龙, 丁文江, 南海, 等. 铸造非铁合金. 铸造手册 [M]. 4版. 北京: 机械工业出版社, 2021.
- [5] 黎文献, 田荣璋, 余琨, 等. 有色金属材料工程 (上). 中国材料工程大典 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

Study on Elimination of Cold Lap Defect for ZM6 Magnesium Alloy Thin Wall Oil Pipe Casting

ZHANG Sheng-hui¹, JI Hui¹, LI Sheng-jun², ZHENG Jian², WANG Jia-wen²

(1. KANGSHUO (Shanxi) Intelligent Manufacturing Co., Ltd., Gaoping 046700, Shanxi, China; 2. Yingkou Economic and Technological Development Zone JINDA Alloy Casting Co., Ltd., Yingkou 115007, Liaoning, China)

Abstract:

Due to the wide range of crystallization temperature and poor fluidity of magnesium alloy, the cold lap and misrun defects are easy to occur in the pouring process of thin-walled parts. In this paper, the ZM6 magnesium alloy thin-wall oil pipe casting was taken as the research object. During the research process, the ProCAST software was used to simulate the casting process. By adjusting the pouring temperature and adding the exhaust holes, the cold lap and misrun defects of the product were finally solved, and the yield percentage was improved.

Key words: ZM6 magnesium alloy; thin wall oil pipe castings; cold lap; misrun

轨道交通关键零部件结构设计对铸件质量的影响

严运涛¹, 穆彦青¹, 陈 炜²

(1. 中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司, 江苏常州 213025; 2. 中国铁路上海局集团有限公司常州机车车辆监造项目部, 江苏常州 213011)

摘要: 分析了轨道交通关键零部件铸件壁厚、肋、铸件壁过渡和连接等结构设计对铸件质量的影响。介绍了结构设计在轨道交通关键零部件中的良好实践。最后总结了需要进一步开展的工作。

关键词: 轨道交通; 关键零部件; 结构设计; 铸件质量

轨道交通关键零部件, 包括轨道交通装备配套的机械传动齿轮箱、转向架摇枕和侧架、盘型制动装置、车钩缓冲装置、大功率柴油机铸件, 一般结构比较复杂, 承载复杂, 在装备中作用关键, 产品技术要求高。轨道交通高品质铸件, 受铸造工艺水平、工艺装备、生产过程质量控制等因素影响, 零件结构设计也是影响铸件质量的一个重要因素。本文从以下几个方面阐述轨道交通铸件结构设计对铸件质量的影响。

1 铸件壁厚设计对铸件质量的影响

在设计铸件壁厚时, 要考虑合金液的流动性和铸件的轮廓尺寸。为了避免铸件浇不足和冷隔等缺陷, 应使铸件壁厚的设计不小于最小壁厚^[1]。图1为关键零部件A, 材质为EN-GJS 400-18LT, 有一个挡石板结构, 其壁厚为5 mm。该产品设计评审阶段, 铸造技术人员对该处壁厚提出建议——由5 mm修改成不小于8 mm未被采纳。最终导致浇注过程中该部位出现浇不足, 流转过程中因该处壁薄发生变形、缺损, 而且废品比例较高, 如图2所示。鉴于此, 设计人员最后将挡石板的壁厚调整为8 mm, 未发生上述问题, 结构完整。

作者简介:

严运涛(1982-), 男, 高级工程师, 工程硕士, 主要从事铸造技术、质量方面的工作。E-mail: yanyuntao2004@163.com

中图分类号: TG24

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)01-0092-03

收稿日期:

2022-04-29 收到初稿,
2022-06-01 收到修订稿。

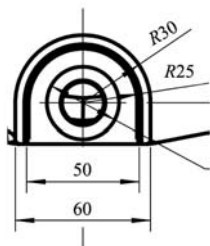


图1 挡石板局部结构

Fig. 1 Local structure of flying stone protective board



图2 挡石板发生变形、缺损

Fig. 2 Deformation and defect of flying stone protective board

2 肋设计对铸件质量的影响

在轨道交通关键零部件的结构设计过程中, 为实现零件的轻量化, 同时又不降低零件的结构强度, 在铸件结构设计中大量采用肋。图3为关键零部件B, 材质为

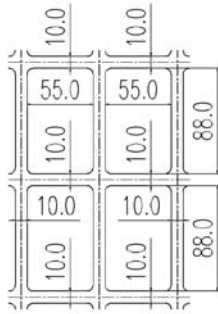


图3 十字交叉的肋
Fig. 3 Cross-cross distributed ribs

QT450-10, 设计过程中, 在铸件的外壁上采用十字交叉的肋, 与肋连接的铸壁厚度为10 mm。十字交叉肋形成多个热节, 容易产生缩松等铸造缺陷, 铸件质量难以保证。同时, 排布过密, 不利于造型起模, 外模需要增加泥芯, 操作麻烦, 打磨清理工作量大, 外观一致性难以保证。因此更改了肋的厚度设置不合理的设计, 使肋的厚度尺寸小于铸件的壁厚。

3 铸件过渡连接的设计对铸件质量的影响

一般情况下, 铸件壁的断面尺寸不可能完全相同, 铸壁有形状各异的接头。在接头连接处, 凝固速度慢, 容易产生应力集中、裂纹、变形、缩孔、缩松等缺陷。关键零部件C (客户设计) 材料为ZL 101A, 设计如图4所示的铸件壁过渡和连接。生产前评审过程中认为该部位铸造工艺性不佳, 请客户修改该部位结构设计, 未获得客户批准。

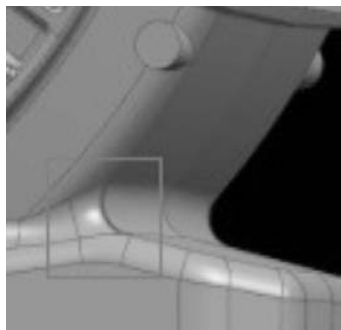


图4 铸件壁的过渡和连接
Fig. 4 Transition and connection of casting walls

从铸造工艺角度分析, 图4方框部位为多处箱壁汇交处, 存在热节。在凝固过程中, 该部位较其周围其他部位而言, 四周壁厚较薄先行凝固, 其他部位后凝固, 因热节孤立存在, 凝固过程缺少金属液补缩, 最终导致该部位产生显微缩松, 见图5。该零件在长期的服役过程中, 因该部位的缩松缺陷, 降低该区域的有

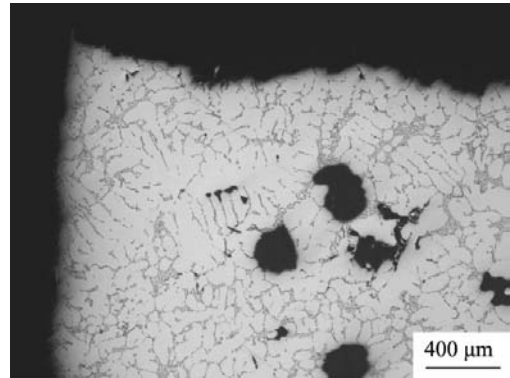


图5 铸件连接壁处的金相组织
Fig. 5 Metallographic structure of connection of casting walls

效承载面积, 还增加应力集中系数, 降低疲劳寿命, 最终出现疲劳失效。

4 结构设计在轨道交通关键零部件中的良好实践

鉴于结构设计对铸件质量的影响等, 笔者所在的公司近年制定了《产品工艺性审查》企业标准, 其中规定了产品工艺性审查的对象和要求, 审查目的, 审查时考虑的主要因素和不同设计阶段的审查内容等。针对自主设计的产品, 设计过程应进行工艺性审查, 产品图样设计定型前应进行工艺会签。外来产品图样在生产前应进行工艺性审查, 与外来文件的评审同步进行。技术文件一般采用CBC (clause by clause) 响应书评审, 图纸标题栏、技术要求逐条响应书如图6所示。另外, 对于设计零件结构的铸造工艺性, 提出了包括铸件壁厚、加强筋等6条要求。

研究发现对于中等以上复杂程度的产品而言,

图纸标题栏

中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司 CRRC QISHUYAN INSTITUTE CO., LTD.	
(图样名称)	(图样代号)
(材料标记)	(备注)

技术要求逐条响应书 (CBC)

技术条件 (规范) 名称		文件编号			版本号	
序号	条款	技术指标	响应状态			客户评审意见
			响应	不响应	不适用	
1					对不响应或不适用条款, 请简要说明理由	
2						
3						
4						

图6 图纸标题栏、技术文件逐条响应书
Fig. 6 Drawing title bar & technical document CBC response table

40%的零件失效是直接由于设计不当造成的, 30%归咎于现场管理, 只有大约30%归咎于加工问题^[2]。产品设计要遵循“标准化、模块化、系列化、通用化”原则^[3]。笔者所在的公司在设计上开展这方面的尝试, 以关键零部件E为例, 铸件材质为QT 450-10, 该铸件实现在多个项目上应用, 仅铸造模具费用一项节省100多万元, 进行多项工艺改进、提升, 工艺出品率提高近10%, 产品综合成品率提升约5%, 同时缩短设计验证周期和生产周期。通过上述活动的开展, 公司轨道交通关键零部件的工艺性更好, 铸件产品的实物质量更优, 并取得显著的经济效益。

5 结束语

轨道交通关键零部件的结构比较复杂, 结构设计

的优劣直接影响着铸件的质量好坏。结构设计直接取决于零部件的使用功能, 在满足使用功能的前提下, 具备较好的铸造工艺性, 这样制造出来的铸件质量才能得到保障, 才能保证零部件实现良好的使用功能。为实现这样的目的, 需做好以下工作。

(1) 完善产品工艺性审查制度, 可将工艺性审查列为设计过程和外来文件评审过程中的停止见证点。同时, 明确工艺会签人员的资质, 根据产品族设置工艺负责人, 保证工艺性审查的质量。

(2) 产品设计上, 继续遵循“标准化、模块化、系列化、通用化”原则。将前期设计过程中的经典案例、失败教训等汇编成案例, 在一定范围内进行共享, 开展员工内训、应用学习。

参考文献:

- [1] 中国机械工程师学会铸造分会. 铸造手册: 第5卷 铸造工艺 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [2] GRYNA F M, JURAN J M. Quality planning and analysis: from product development through use [M]. New York: McGraw-Hill Science, 2001.
- [3] 严运涛. 轨道交通关键铸件的质量控制 [J]. 铸造, 2018 (10): 903-905.

Influence of Structure Design on Casting Quality of Key Components for Rail Transit

YAN Yun-tao¹, MU Yan-qing¹, CHEN Wei²

(1. CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213025, Jiangsu, China; 2. Changzhou Locomotive and Rolling Stock Supervision Project Department, China Railway Shanghai Bureau Group Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China)

Abstract:

The influences of structure design of key components for rail transit on casting were analyzed, such as the designs of casting wall thicknesses, ribs, casting wall transitions and connections. The good practices of structure design in key components for rail transit were discussed. Finally, the further work was summarized.

Key words: rail transit; key components; structure design; casting quality