

轨道交通用机车齿轮箱体铸造工艺研究

肖恭林¹, 穆彦青², 杨 帅², 徐小辉²

(1. 常州朗锐铸造有限公司, 江苏常州 213011; 2. 中车戚墅堰机车车辆工艺研究所股份有限公司, 江苏常州 213011)

摘要: 本文针对轨道交通用机车齿轮箱体技术要求及工艺难点进行了分析, 并通过CAE软件优化了造型和熔炼工艺, 经箱体材料及实物试验, 开发了一种适用于大平面机车齿轮箱体的铸造工艺。

关键词: 大平面; 机车齿轮箱; 铸造工艺; CAE分析

世界各国重载铁路借助于采用高新技术, 促使重载列车牵引重量不断增加。重载列车是在货运量集中的运输线路上采用大型专用货车编组, 采用双机或多机牵引开行的一种超长、超重的货物列车, 其特点是: 车辆载重大; 列车编挂辆数多; 运输距离长。传动系统的齿轮箱体作为重载机车转向架中最为核心的零部件之一, 在列车复杂的运行环境中, 需保证列车的安全性和稳定性^[1]。为此, 机车齿轮箱不仅结构要求安全系数高, 而且对齿轮箱体的内外部质量要求苛刻, 铸造工艺稳定性要求高。

1 产品技术要求及工艺难点

1.1 技术要求

文中齿轮箱应用于30 t轴重重载机车, 其轮廓尺寸为: 1 100 mm × 900 mm × 400 mm, 零件重量约为170 kg, 铸件重量约为195 kg; 铸件尺寸精度要求满足GB/T 6414—2017中CT10级。齿轮箱体表面质量应不低于EN 1369: 1997规定的2级要求, 内部质量要求不低于ASTM E 446或ASTM E 186规定的3级要求。齿轮箱的铸件材质为QT500-7, 抗拉强度 $R_m \geq 500$ MPa, 屈服强度 $R_{p0.2} \geq 320$ MPa, 伸长率 $A \geq 8\%$, 本体HBW硬度170~230, 石墨级别 ≥ 2 级, 石墨大小为5级以上。

1.2 工艺难点

齿轮箱体结构如图1所示, 从产品结构分析, 其轮廓尺寸大, 壁厚薄(主体壁厚10 mm), 箱体底部两侧设计有局部凸起的油池。箱体两侧壁厚薄, 充型过程中充型流程长, 温降快, 排气、排渣难; 铸件薄壁部位易形成气孔、渣孔、冷隔等铸造缺陷。

作者简介:

肖恭林(1971-), 男, 教授级高级工程师, 主要研究方向为铸造材料及工艺技术。电话: 13813678556, E-mail: 1362374393@qq.com

中图分类号: TG143.5

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2024)05-0688-05

收稿日期:

2023-07-26 收到初稿,
2023-10-09 收到修订稿。

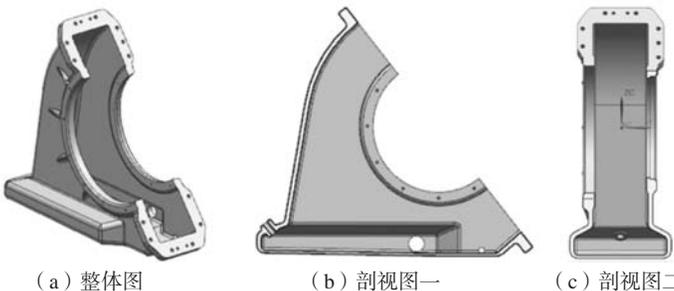


图1 箱体三维结构图
Fig. 1 3D structure of the box

2 铸造工艺设计及CAE分析

基于产品的铸造工艺性分析,选取箱体中心面作为铸造分型面,浇注位置选取箱体中间,采用半封闭式浇注系统, $\Sigma A_{内} : \Sigma A_{横} : \Sigma A_{直} = 0.8 : 1.3 : 1$ 。阻流截面设计在内浇道部位,横浇道截面设计最大,降低金属液在横浇道中的流速,提高挡渣效果。考虑到箱体具有大平面结构,为增加铸件充型过程中的排气、排渣效果,设计了两种浇注方案,方案一:浇注过程中,采用倾斜 $5^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 浇注;方案二:整体砂箱水平浇注。

2.1 充型过程分析

2.1.1 方案一:倾斜浇注工艺

如图2所示,采用倾斜浇注工艺,浇注时将箱体中心面与水平面保持倾斜 $5^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 。如图3所示,从其流动场分析,该工艺左、右两侧浇道同时进水,主要特

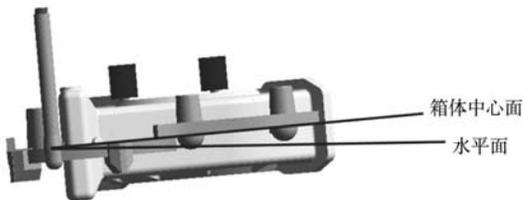


图2 倾斜浇注工艺示意图

Fig. 2 Schematic diagram of inclined pouring process

点如下:①增加了铁液进水位置,降低了单个内浇道部位的充型速度,减小对型腔的冲击;②均匀分布的内浇道,有利于整个薄壁区域温度场的均衡分布;③采用侧冒口进水,利于金属液氧化夹渣的排出;④金属液在型腔中为顺序充型,最后充型部位为箱体右上角部位,气体或氧化渣可能在该最后充型处聚集,形成聚集型夹渣缺陷。

2.1.2 方案二:水平浇注工艺

如图4所示,从其流动场分析,该工艺方案主要具有以下特点:箱体在整个型腔上平面,铁液为同时充型,整个平面位置温度场较方案一均匀,最后充型处为轴承孔和凸起的油池部位,充型过程中的气体或氧化渣易在该两处聚集;为降低铸件产生气孔、夹渣缺陷的风险,需在该区域设置发热保温冒口排气、排渣,保证铸件质量。

2.2 凝固场缩松判据

如图5所示,从其凝固场缩松判据分析,该工艺方式分型面薄壁进水工艺,并利用侧冒口对薄壁处补缩,可以有效消除薄壁轴线缩松,提高铸件内部致密性,工艺稳定性高。从箱体充型过程的流动场及凝固过程的凝固场缩松判据综合分析,以上两种工艺方案各有优势,可以同时试验。

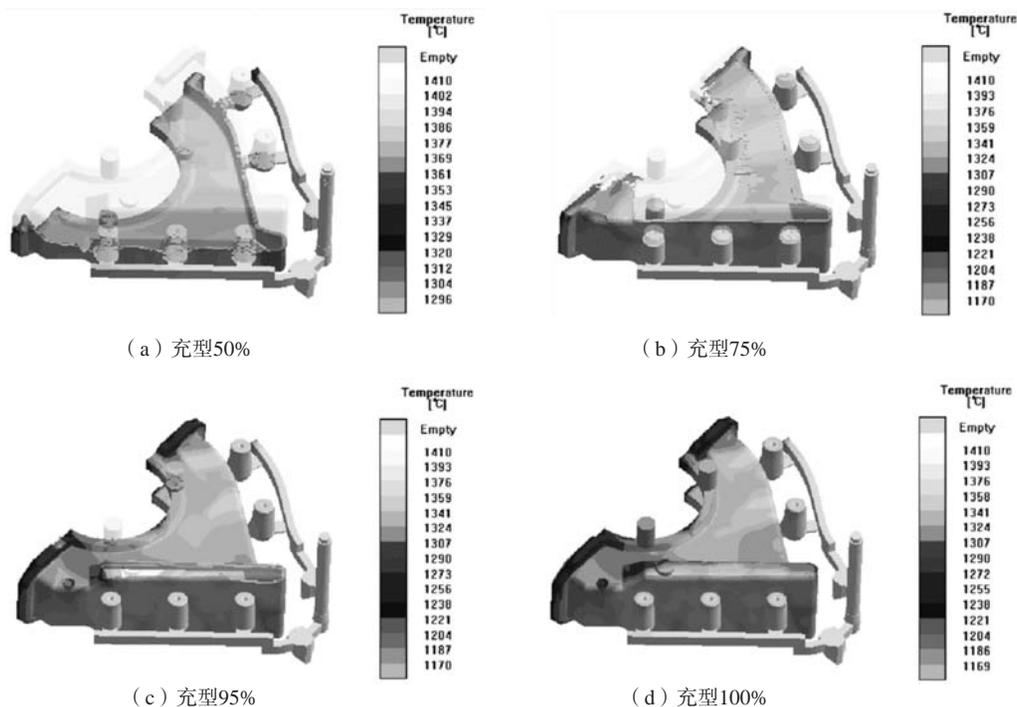


图3 方案一充型过程流动场

Fig. 3 Flow field during filling process of scheme 1

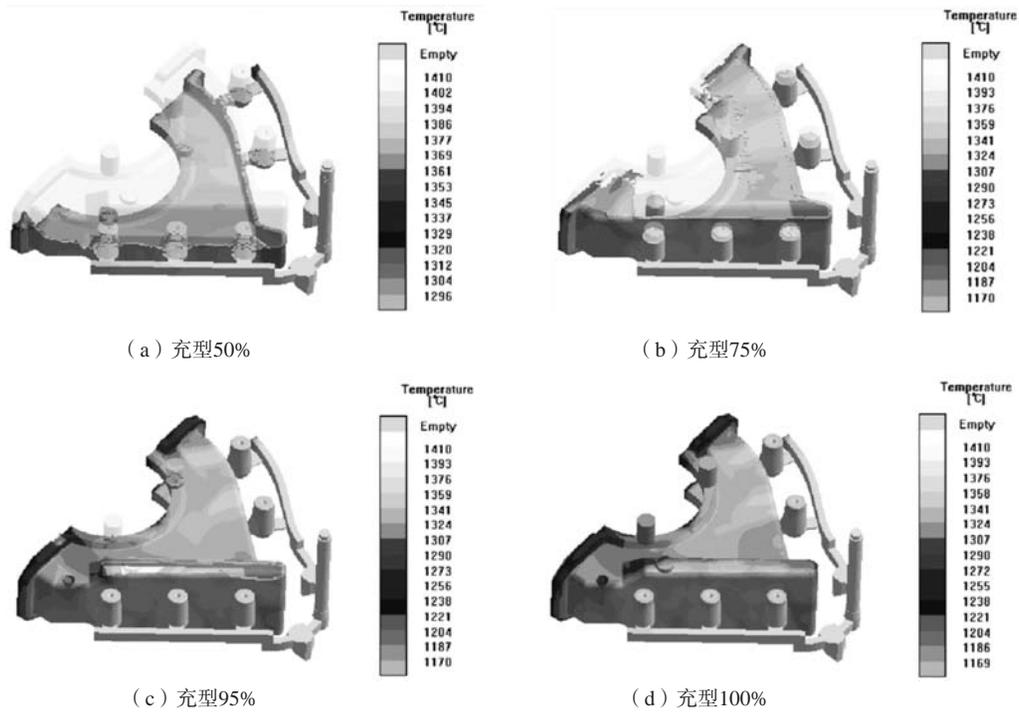


图4 方案二充型过程流动场

Fig. 4 Flow field during filling process of scheme 2

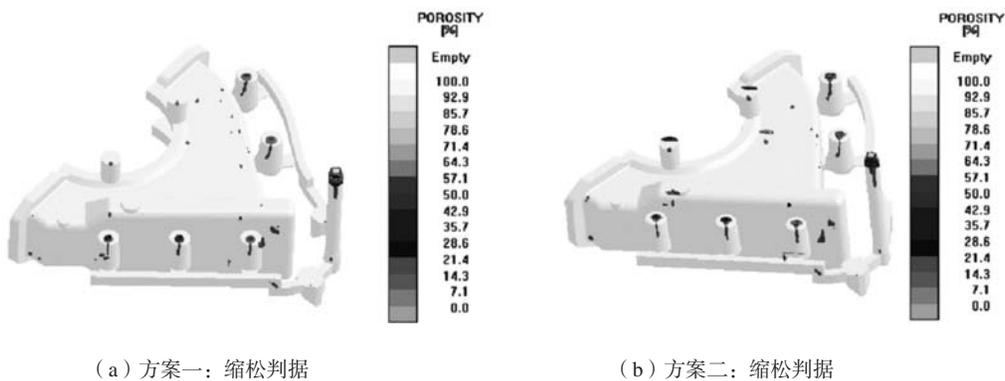


图5 凝固场计算、缩松判据

Fig. 5 Calculation of solidification field and dispersed shrinkage criterion

3 造型工艺

采用木质改性呋喃树脂砂手工造型，硅砂粒度40/70目，固化剂配比为65wt.%A型固化剂+35wt.%B型固化剂，树脂加入量1.0%~1.2%，固化剂加入量为树脂量的30%~50%^[2-5]。

4 熔炼工艺

炉料以生铁、废钢、回炉料为主，具体配比：生铁50%，回炉铁35%，废钢15%。采用3 t中频感应电炉进行熔炼，原铁液目标成分为：3.7%~4.0% C，

0.7%~1.0% Si，0.3%~0.4% Mn，<0.05% P，<0.04% S，0.3%~0.4% Cu。根据料单称取炉料；向中频感应电炉中加入生铁、废钢及回炉料启炉熔炼，熔清后，取炉前试样，检测C、Si、Mn、P、S含量，根据结果调整炉内铁液中各元素的含量；当炉内温度升到1 520~1 550 ℃，出炉进入球化、孕育工序；浇注温度取1 400~1 420 ℃。采用稀土镁球化剂，加入比例为1.1%~1.3%；采用硅钙钡孕育剂，一次孕育采用包底孕育，加入量0.4%~0.6%；二次孕育采用在出铁2/3时冲入法加入，加入量0.4%~0.6%，球化孕育处理后，铁液化学成分需满足表1所示。

表1 QT500-7化学成分
Table 1 QT500-7 chemical composition

C	Si	Mn	P	S	Mg	Cu	RE	$w_B/\%$
3.4~3.8	2.5~2.8	0.3~0.5	<0.035	<0.02	0.02~0.05	0.3~0.5	0.01~0.03	

5 试验结果与分析

5.1 力学性能及金相组织

通过样件试制，铸件的力学性能、金相均达到技术条件要求，材料力学性能如表2所示，球化级别2级，基体组织为珠光体+35%铁素体，如图6所示。

5.2 实物试制

如图7所示，通过对比方案一和方案二，采用方案一倾斜浇注时，金属液充型过程中产生的二次氧化渣聚于最后充型部位，形成大片氧化渣孔，形成磁痕，铸件报废；采用方案二水平浇注配合发热冒口排气排渣工艺，操作方便，工艺稳定。

表2 QT500-7力学性能
Table 2 QT500-7 mechanical properties

单铸试棒	抗拉强度 R_m /MPa	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 $A/\%$	布氏硬度 (HBW5/750)
QT500-7	541	342	13.5	189

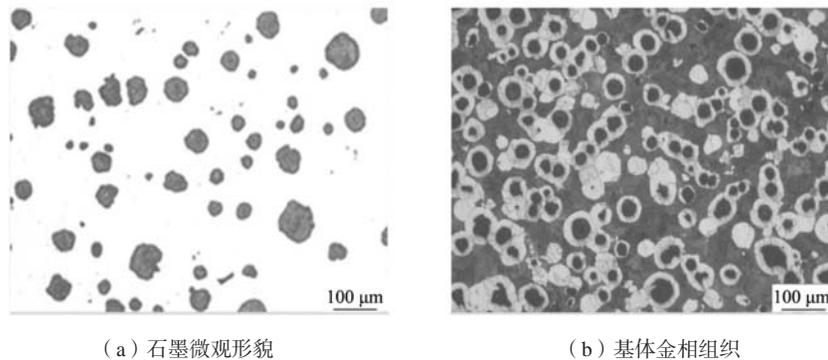


图6 金相组织
Fig. 6 Metallographic structure

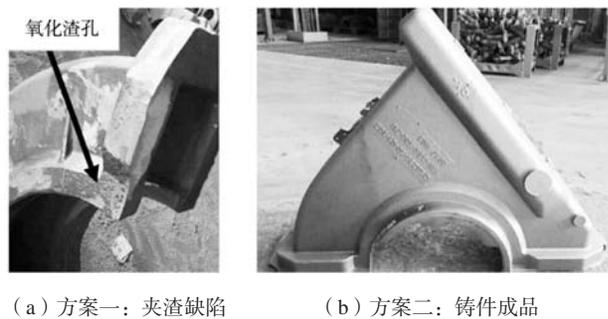


图7 实物试制照片
Fig. 7 Physical trial production photos

5 结论

(1) 采用箱体中间浇注的半封闭式浇注系统，可以兼顾箱体两侧薄壁部位的温度场，利于铸件充型，减小冷隔、冷豆缺陷。

(2) 采用水平浇注配合发热冒口排气排渣工艺，操作方便，工艺稳定，可以保证获得内外部质量俱佳的大平面箱体类铸件。

(3) 采用水平浇注配合发热冒口排气排渣工艺试制的大平面机车齿轮箱体，其力学性能、磁粉探伤、射线探伤均达到了技术要求。

参考文献:

- [1] 穆彦青, 肖恭林, 杨志刚, 等. 大轴重机车齿轮箱铸造工艺研究 [J]. 铸造, 2020, 69 (3): 286-291.
- [2] 董鹏, 朱正锋, 封雪平, 等. 木质素改性呋喃树脂性能研究 [J]. 铸造, 2016, 65 (6): 512-515.
- [3] 韩文. 铸造用中氮低游离甲醛自硬呋喃树脂的研究 [J]. 铸造, 2012, 61 (12): 1452-1454.
- [4] 张集滕, 李瑞. 树脂和固化剂含量对自硬呋喃树脂砂抗拉强度的影响 [J]. 铸造, 2012, 61 (11): 1361-1362.
- [5] 李新亚. 铸造手册: 铸造工艺 [M]. 3版.北京: 机械工业出版社, 2011: 190-203.

Research on Casting Technology of Locomotive Gear Box for Rail Transit

XIAO Gong-lin¹, MU Yan-qing², YANG Shuai², XU Xiao-hui²

(1. Changzhou Langrui Casting Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China; CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China)

Abstract:

This article analyzes the technical requirements and process difficulties of locomotive gear boxes for rail transit, and optimizes the shape and melting process through CAE software. Through material and physical testing of the box, a casting process suitable for large flat locomotive gear boxes has been developed.

Key words:

large plane; locomotive gearbox; casting technology; CAE analysis
