286 百世 FOUNDRY 工艺技术

大轴重机车齿轮箱铸造工艺研究

穆彦青,肖恭林,杨志刚,董 鹏,顾翔杰

(中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司,江苏常州 213011)

摘要:分析了一种大轴重机车齿轮箱的结构及技术要求,并对其熔炼工艺和铸造工艺进行了研究。基于MAGMA软件对其液态成形过程流动场、凝固场进行CAE分析,最终确定了一种大轴重机车齿轮箱的铸造工艺。

关键词: 机车齿轮箱; 铸造工艺; CAE分析

随着铁路运输业的蓬勃发展,运输距离长、区域跨度范围大的大轴重运输机车 需求量不断增加,相应的大轴重机车核心部件之一的齿轮箱体需求量亦不断攀升, 市场前景巨大。而大的区域跨度使得大轴重机车的运输环境复杂,时常出现高恶 劣、高寒的运输路况。为此,大轴重机车齿轮箱在齿轮传动系统运行时,承受着复 杂的动态应力形式。考虑到箱体运行的安全性与稳定性,大轴重机车齿轮箱箱体材 料需满足低温使用要求,存在结构复杂、壁厚悬殊的设计特点,关键的受力部位不 允许存在铸造缺陷,箱体的铸造工艺设计难度大。

1 技术要求及结构分析

齿轮箱体材料力学性能要求见表1。从与箱体同时浇注的试样上取样,按EN ISO 945进行检查,要求石墨球化率不低于80%,石墨大小为5级以上。齿轮箱体表面质量 应不低于EN 1369:1997规定的2级要求。齿轮箱体不允许存在裂纹、冷豆和冷隔; 气泡、非金属夹杂、缩孔等缺陷根据壁厚按ASTM E 446或ASTM E 186规定的3级质 量等级进行评定。

从产品结构分析(如图1所示),可以发现上箱体轮廓尺寸1 300 mm×850 mm×400 mm,轮廓尺寸大,铸件重量385 kg,主体壁厚16 mm,电机法兰布满筋条,宽度为15 mm,厚度为18 mm。轮廓尺寸大,重量大,浇注系统流程长,浇注时间长,壁薄区域容易出现冷隔、冷豆、气孔、夹渣缺陷,壁厚区域易出现石墨漂浮、球化衰退等组织异常。

2 熔炼工艺

2.1 材料选用

采用Q10生铁、废钢、回炉料、高碳锰铁、球化剂、孕育剂和覆盖剂等对铁液进 行熔炼处理,其中球化剂粒度选用5~25 mm,孕育剂选用2~5 mm^[1]。

2.3 熔炼工艺

采用3 t中频电炉熔炼铁液,熔炼温度1 500~1 550 ℃。生铁、回炉料和废钢的配 比大约为8:2:1,回炉料需采用抛丸处理干净,并在铁液融化后使用除渣剂处理。采 用冲入法包内球化孕育,采用1 t包浇注,出铁温度控制在1 530 ℃ ± 10 ℃,铁液分两 次出炉,两次出铁间对铁液进行二次孕育。

作者简介: 穆彦青(1985-),男,硕 士,主要从事轨道交通薄 壁件铸造工艺设计。E-mail: muyanging209@163.com

中图分类号:TG143.5 文献标识码:B 文章编号:1001-4977(2020) 03-0286-06

收稿日期: 2019-09-29 收到初稿, 2019-12-06 收到修订稿。

3 造型工艺

采用呋喃树脂砂手工造型,采用40/70目原砂、 木质改性呋喃树脂、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%^[2-4]。

4 铸造工艺方案设计

4.1 浇注时间

浇注时间根据形状复杂的薄壁件的经验公式确定^[5]:

$$t = S\sqrt{G_{\rm L}} \tag{1}$$

式中: t为浇注时间, s; G_t 为型内金属液总重量,包括 浇冒口系统重量,kg; S为系数,根据铸件主体壁厚及 球墨铸铁材料特性,取1.2。计算得t=29 s。

4.2 浇注系统尺寸

采用半封闭式浇注系统, $\Sigma A_{\mathrm{b}}: \Sigma A_{\mathrm{b}}: \Sigma A_{\mathrm{b}}$ = 0.8 :1.3 :1.

浇注系统尺寸采用阻流断面设计法确定, 计算公 式为^[5]:

$$A_{\mathbb{H}} = \frac{G_{\mathrm{L}}}{0.31\mu t \sqrt{H_{\mathrm{p}}}} \tag{2}$$

式中: A_m为浇注系统最小断面积, cm²; G_L为流经A_m断 面的金属液总重量, kg; μ 为流量损耗系数, 取0.55; t为浇注时间,s;H_n为平均静压力头高度,mm。计算 得 A_{m} =18.2 cm²。

4.3 铸造工艺方案

如图2所示,根据产品结构特点,初步设计了阶梯

表1	材料力学性能要求
Table 1 Mechanical	properties requirements of material

牌号	抗拉强度R _m /MPa	屈服强度R _{p0.2} /MPa	断后伸长率A/%	冲击功 (-40℃) A _{KV} /J
EN-GJS-500-7U	≥500	≥320	≥8	≥4(3个试样平均值) ≥3(单独试样)



图1 箱体三维结构图 Fig. 1 Three-dimensional structure of gearbox



(a)方案1:阶梯式浇注工艺



(c)方案3:阶梯式浇注工艺

(b)方案2: 电机法兰单侧底注工艺



(d)方案4: 电机法兰单侧底注工艺 图2 铸造工艺方案 Fig. 2 Casting process schemes

288 病世 FOUNDRY 工艺技术

式、电机法兰单侧底注、电机法兰双侧底注、合箱面 底注四种工艺方案。方案1阶梯式浇注工艺,第一层设 置三个内浇道,第二层设置一个内浇道;方案2电机法 兰单侧底注工艺,设置三个内浇道;方案3电机法兰双 侧底注工艺,设置四个内浇道,在直浇道两侧呈对称 分布;方案4合箱面底注工艺,设置两个内浇道,在直 浇道两侧呈对称分布。根据不同的工艺方案,针对箱 体的不同部位,设置了冒口和冷铁,控制金属液凝固 过程,冷铁采用灰铸铁和石墨冷铁,冷铁厚度取被激 冷部位铸件壁厚的0.8~1.2倍。

4.4 流动场 CAE 分析

针对以上四种工艺方案,基于铸造仿真软件 Magma对以上四种工艺方案进行流动场分析。

方案1:阶梯式浇注工艺,流动场模拟如图3所 示。使用该工艺方案,右侧内浇道进水时间不易控 制,相对于左侧内浇口其进水太早,将造成左右两侧 铁液对冲紊流,且金属液前沿液面较大,金属液易产 生氧化膜,形成氧化夹渣卷入铸件,形成夹渣缺陷。

方案2:电机法兰单侧底注工艺,流动场模拟如 图4所示。使用该工艺方案,金属液从电机法兰底部平



Fig. 4 Flow field calculation of scheme 2

工艺技术 FOUNDRY 精造 289

稳上升,金属液充型平稳,不仅利于型腔中气体的排 出,且避免了多股铁液对冲的不利情况;但由于采用 单侧浇道,远端筋条端充型时间较长,铁液降温多, 不利于金属液中气体、氧化膜的排出,充型末端低温 区,存在产生冷隔、夹渣、气孔的风险。

方案3:电机法兰双侧底注工艺,流动场模拟如图 5所示。该工艺与方案2比较,缩短了远端筋条充型时间,筋条整体温度均匀,不存在局部温度低的情况, 更有利于电机法兰散热筋条成形。

方案4: 合箱面双侧底注工艺,流动场模拟如图 6所示。该工艺较前3种方案,铁液充型阻力小,充型 平稳,整个薄壁区域温度场更加均衡,铁液趋于同时 充满电机法兰筋条;电机侧轴承孔位于整个型腔最上 端,充型终温度较其他3种工艺温度更低,降低了产生 缩松、石墨漂浮的风险,工艺更可靠。



290 有世 FOUNDRY 工艺技术

通过对以上四种工艺方案的流动场进行分析,方 案3和方案4较佳。其中,方案3更有利于电机法兰散热 筋条的成形,而方案4更有利于电机轴承孔工艺补缩工 艺的设计。

4.5 凝固场 CAE 分析

基于对方案3和方案4流动场的分析,进行了补缩 工艺设计,并对其凝固场进行了分析。 方案3:电机法兰双侧底注工艺,凝固场模拟如图 7所示。该工艺方案在电机法兰一侧轴承孔与侧面加强 筋局部形成交叉热节,且该部位无法设计工艺冒口, 不利于金属液凝固过程的补缩,故在该部位产生内部 缩孔、缩松的风险较大。

方案4: 合箱面双侧底注工艺,凝固场模拟如图8 所示。该工艺方案通过合理的设计冒口、冷铁,实现 了对电机法兰一侧轴承孔与侧面加强筋局部交叉热节





的补缩,实现了对铸件的整个凝固过程的有效控制, 解决了铸件关键部位的缩孔缩松缺陷。

通过对方案3和方案4的流动场、凝固场的综合分析,得到方案4合箱面双侧底注工艺为最优方案。

5 样件试制

通过样件试制,铸件的力学性能、金相、磁粉探 伤、射线探伤均达到技术条件要求,材料力学性能见 表2、表3,成品如图9所示。

表2 刀字性能 Table 2 Mechanical properties					
单铸试棒	抗拉强度R _m /MPa	屈服强度R _{p0.2} /MPa	断后伸长率A/%	冲击功(-40℃)A _{KV} /J	
EN-GJS-500-7U	541	342	13.5	5 5 7	

I W DI AM

表3	金相组织和布氏硬度
Table 3 Metallogra	phic structure and Brinell hardness

单铸试棒	石墨情况	基体组织	布氏硬度(HBW5/750)
EN-GJS-500-7U	85%VI6/7+15%V6/7	铁素体+约35%珠光体	189

6 结论

(1)选用合理的原材料,并设计了合理的熔炼工艺,保证了材料的力学性能、金相组织要求。

(2)采用合箱面双侧底注工艺,充型平稳,整个 薄壁区域温度场更加均衡,铁液趋于同时充满电机法 兰筋条,避免了浇道远侧产生冷隔的风险;同时通过 合理的设计冒口、冷铁,实现了对电机法兰一侧轴承 孔与侧面加强筋局部交叉热节的补缩,解决了铸件关 键部位的缩孔缩松缺陷。

(3)通过样件试制,铸件的磁粉探伤、射线探伤 均达到了技术要求。



图9 齿轮箱样件 Fig. 9 Finished gearbox

参考文献:

[1] 杨忠耀,杨金铭,孙清洲,等.轨道交通用超低温球墨铸铁生产工艺[J].铸造,2019,68(1):60-62.

[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.

Study on Casting Process of Gearbox for Large Axle Load Locomotive

MU Yan-qing, XIAO Gong-lin, YANG Zhi-gang, DONG Peng, GU Xiang-jie (CRRC Qishuyan Institute Co., Ltd., Changzhou 213011, Jiangsu, China)

Abstract:

The structure and technical requirements of a large axle load locomotive gearbox were analyzed, and its smelting and casting process were studied. Based on the MAGMA simulation software, the flow field and solidification field in the liquid forming process were analyzed by CAE. Finally, the casting process of locomotive gearbox with large axle load was determined.

Key words:

locomotive gearbox; casting process; CAE analysis