

双驱动重卡用铸钢桥壳的工艺设计与改进

于大威¹, 乔景忠¹, 高海燕¹, 高占勇², 华连庚¹, 李爽¹, 杨清¹, 王旭¹, 宫伟祥¹

(1. 内蒙古第一机械集团有限公司, 内蒙古包头 014032; 2. 内蒙古科技大学, 内蒙古包头 014010)

摘要: 双驱动重卡用铸钢桥壳具有外形尺寸大、结构复杂、性能要求高的特点, 导致其铸造工艺设计难度大和试制成本高的问题。为了降低产品试制成本, 利用三维造型软件(Pro/E)和铸造仿真模拟软件(华铸CAE)对该产品进行了铸造工艺可行性分析。首次试制表明, 数字化模拟与工业生产具有高的吻合度, 避免了工艺设计中过度依赖技术人员经验的问题。针对工业生产各种不确定因素带来的铸造缺陷问题进行了工艺优化, 再次试制表明, 首次试制中暴露出来的缺陷问题得到了很好的解决。检测结果表明, 铸件的性能完全达到了双驱动重卡用铸钢桥壳的技术条件要求。

关键词: 双驱动重卡; 铸钢桥壳; 仿真模拟; 台架试验

1 铸件概述

双驱动铸钢桥壳作为重卡车桥总成的一个重要零件, 是安装主减速器、差速器、半轴和轮装配基体。其工况条件变化大、受力复杂, 特别在气温和地理环境恶劣的情况下服役, 容易产生疲劳脆性断裂。因此要求桥壳必须具有较高的强度和耐冲击性, 特别是高的低温冲击韧性即低温敏感特性。相比于球墨铸铁桥壳及冲压焊接桥壳, 铸钢桥壳在相同的强度要求下具有良好的韧性和低温冲击功等力学性能优势。因此重卡在高寒或地理环境恶劣的情况下载重首选铸钢桥壳。

本文的双驱动铸钢桥壳作为重卡桥壳结构最具代表性, 该产品具有结构复杂、壁厚差异大、金属液充型路径复杂和铸造技术难度大等特点。通过该产品的试制, 为后续开发试制其他桥壳提供技术借鉴。

2 铸钢桥壳结构工艺性及技术要求

2.1 结构工艺性

双驱动重卡铸钢桥壳属于典型的桥类与壳体铸件。结构形状如图1所示。其几何轮廓尺寸为1 269 mm × 300 mm × 246 mm, 最大壁厚45 mm, 最小壁厚5 mm, 壁厚差40 mm, 方口处尺寸公差为 112_0^{+2} 、 112_0^{+2} 和 202.5_0^{+2} , 铸件重135 kg, 材质要求为C级钢(图2)。大梯度壁厚变化、高尺寸精度要求以及对两端孔径为 $\Phi 103$ mm细长孔高同轴度要求。同时, 铸造成形过程中由于不同壁厚收缩受阻情况的不同导致的超差和细长型芯受热导致变形量大, 从而造成同轴度超差等问题。

2.2 技术要求

2.2.1 材质特性

C级钢(ZG29MnMoNi)材质执行标准Q/QC35—136—2004。化学成分见表1。

2.2.2 力学性能

力学性能验收要求见表2。

2.2.3 铸件外观质量

铸件外观质量执行Q/LB.J08017标准。

作者简介:

于大威(1981-), 男, 满族, 高工, 主要从事铸造生产及技术管理工作。E-mail: 13337199375@163.com

中图分类号: TG26

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2020)

08-0883-05

收稿日期:

2020-02-11 收到初稿,

2020-05-25 收到修订稿。

2.2.4 台架试验

汽车驱动桥台架试验是一个重要环节,委托国家重型汽车质量监督检验中心进行。检验依据QC/T 533—1999《汽车驱动桥台架试验方法》和QC/T 534—1999《汽车驱动桥台架试验评价指标》。检验项目:桥壳垂直弯曲疲劳寿命、桥壳垂直弯曲刚度、桥壳垂直弯曲静强度。

3 铸钢桥壳铸造工艺性分析

3.1 铸造工艺难点

双驱动重卡铸钢桥壳结构细长和壁厚梯度差大,以及C级钢流动性相比于球墨铸铁其充型能力较差,铸件壁薄部位易产生冷隔、浇不足和气孔等缺陷。而提高钢液浇注温度虽然可以提高充型能力,但又导致铸件裂纹倾向增大,因而需对浇注温度、浇注速度进行合理匹配。

桥壳壁厚不均、热节较分散,补缩通道不畅,冒口设置位置较难确定,产生缩孔、缩松缺陷的倾向性大。

桥壳还需进行12 h渗油试验,不允许产生渗油、漏油现象,因此要求铸件内部组织致密,技术难度较大。

桥壳尺寸公差要求严,细长的两端孔径 $\Phi 103$ mm,而且同轴度要求高;方口处的尺寸公差为 112_0^{+2} 、 112_0^{+2} 和 202.5_0^{+2} ,尺寸公差要求严,由于铸件各部位的壁厚不均,铸件的线收缩率不一致,同时在轴向、薄壁处容易变形,导致相关尺寸超差;双驱动重卡铸钢桥壳内腔的导油槽是一个沟形半封闭状态,槽内尺寸宽仅

为8 mm、长234 mm、最深处为46.5 mm,导油槽很难铸出。同时由于铸件重量大及该部位壁厚大,导致了热容量大,油槽的砂芯易烧结,芯砂清理难度大,需要采用耐火度高的宝珠砂制芯工艺措施。

3.2 生产难点

(1) 受造型工装设备等生产因素的制约,双驱动重卡铸钢桥壳限定在铸钢水玻璃砂机械造型铸造生产线生产。虽然湿型水玻璃砂具有良好的退让性,但是砂型的常温强度低和残留水分高,铸件极易出现变形、粘砂和气孔等缺陷。

(2) 熔炼还需根据力学性能要求调整化学成分。

(3) 热处理工艺还需优化,确保铸件的力学性能和切削性能,同时还须制作专用热处理工装,防止铸件热处理变形^[1]。

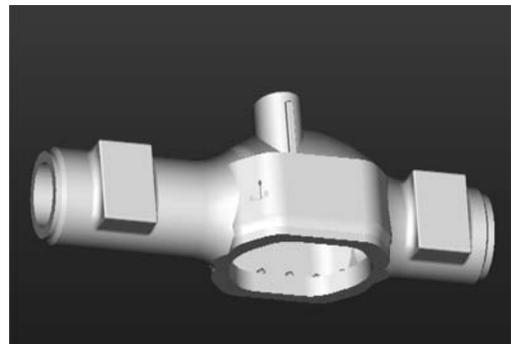


图1 重卡铸钢桥壳铸件三维模型
Fig. 1 Three dimensional model of heavy truck cast steel bridge shell casting

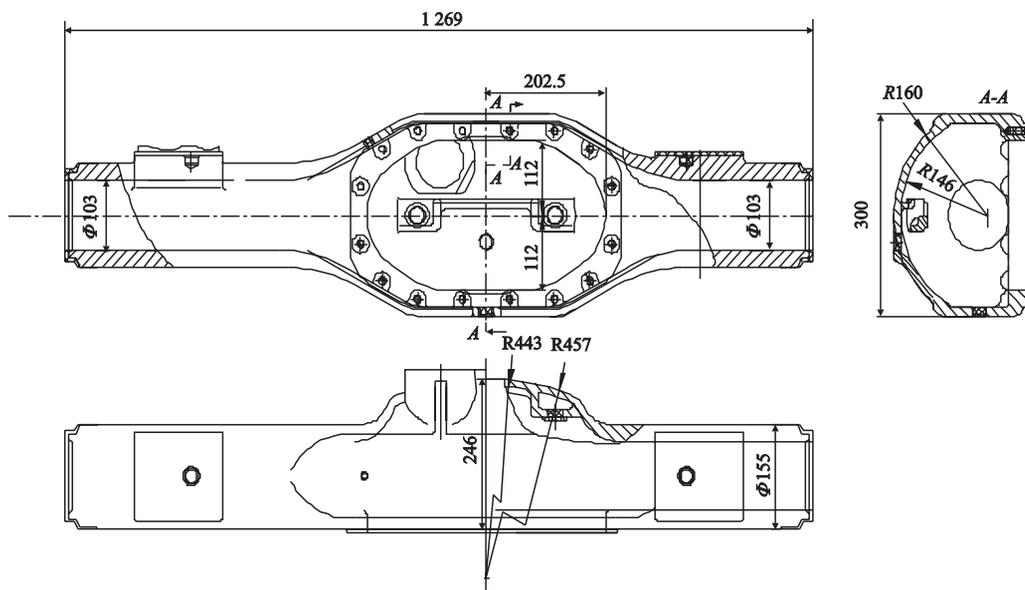


图2 重卡铸钢桥壳铸件简图
Fig. 2 Heavy truck cast steel bridge shell casting drawing

表1 C级钢化学成分
Table 1 Chemical composition of grade C Steel

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	$w_B/\%$
0.25 ~ 0.32	0.25 ~ 0.50	0.90 ~ 1.50	≤0.04	≤0.04	-	0.25 ~ 0.60	0.10 ~ 0.35	≤0.30	

表2 力学性能要求
Table 2 Mechanical property requirements

R_m/MPa	$R_{el}/R_{p0.2}/\text{MPa}$	$A_{4.52}/\%$	$Z/\%$	HBW	$K_{V2}/\text{J} (-40\text{ }^\circ\text{C})$
≥620	≥415	≥22	≥45	179 ~ 241	≥27

4 双驱动重卡铸钢桥壳工艺

根据双驱动重卡铸钢桥壳的铸造工艺难点,结合现行生产的工艺装备和设备情况,利用三维造型软件(Pro/E)和铸造仿真模拟软件(华铸CAE)对该产品进行了铸造工艺可行性分析,制定了总体铸造工艺方案(图3、图4)。

4.1 分型面的确定

双驱动重卡铸钢桥壳两端为圆柱形,因而分型面应选择圆柱形的中心面,方口朝下,以便稳固型芯。

4.2 浇注及补缩系统

通过Pro/E(三维造型软件)和华铸CAE铸造凝固模拟分析软件对该铸件进行凝固模拟分析,并结合铸钢凝固特点及铸件的结构特点,最终确定双驱动重卡铸钢桥壳的浇注及补缩系统如下:

(1) 铸件选择半开放、半封闭式浇注系统,即:
($F_{直}:F_{横}:F_{内}=1:1.1:0.82$),以保证钢液快速充型,避免铸件薄壁部位出现浇不足、冷隔等铸造缺陷;横浇道采用搭接式起到避渣、避砂效果。

(2) 在铸件热节较大的部位设置冒口,有利于铸

件顺序凝固,提高补缩效果,确保内部组织致密。

(3) 双驱动重卡铸钢桥壳每型1件,在最大热节处分别设置4个冒口,三个内浇道分散分布,由铸件薄壁处和冒口根部进入,提高冒口补缩效率,又可防止铸件薄壁处冷隔;在上箱最高处放置两个冒口起补缩、集渣作用,从而利于获得组织致密的铸件^[2]。

4.3 铸件尺寸变形控制

根据双驱动重卡铸钢桥壳铸件结构特点和收缩受阻的情况,铸件方口尺寸 112_0^{+2} 、 112_0^{+2} 和 202.5_0^{+2} 严格控制在公差范围内,且采用不同的铸造收缩率,保证

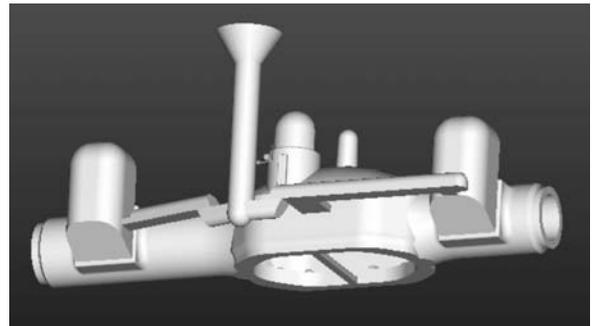


图3 铸造工艺立体简图

Fig. 3 Three dimensional diagram of casting process

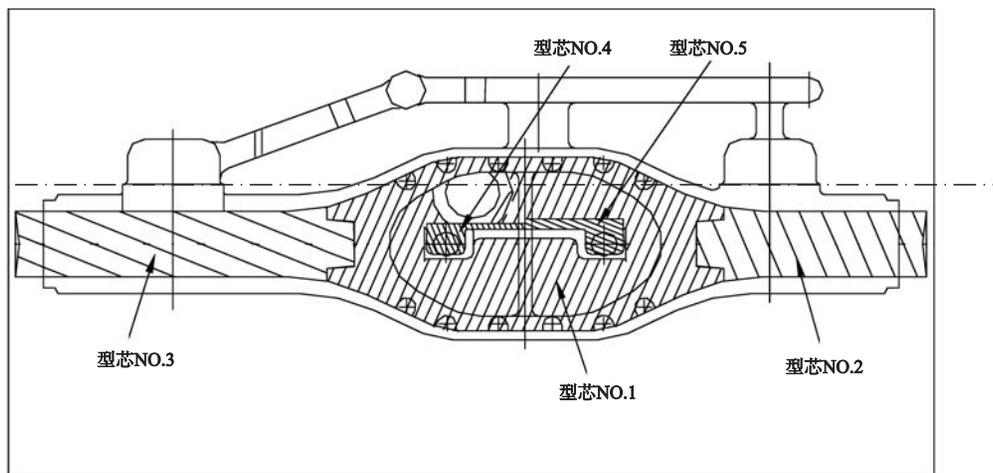


图4 铸造工艺简图

Fig. 4 Casting process diagram

铸件尺寸符合图纸要求。并制作专用样板检测型芯、型腔尺寸及配合尺寸，保证铸件尺寸精度。

4.4 制芯工艺

采用手工制芯工艺，为便于操作打制，将中间桥壳处和通孔部分分为三段，在型芯No.1两侧设置定位孔，与型芯No.2、No.3组合下芯，防止浇注时型芯上浮造成铸件漂芯缺陷。型芯No.1在打制时放直径为 $\Phi 20$ mm的草绳疏松材料，No.2、No.3打制时开设 $\Phi 18$ mm退让孔，以利于排气并增加型芯的退让性和溃散性，防止铸件产生变形及裂纹。

型芯No.1采用邦尼自硬树脂砂，局部放置邦尼自硬树脂铬矿砂；No.2、No.3采用邦尼自硬树脂砂制芯；No.4、No.5采用邦尼自硬树脂宝珠砂，防止芯砂烧结。组芯时将型芯No.4、No.5用粘结膏粘合在型芯No.1上，并用修补砂修理平整、光滑，防止产生飞边毛刺，减少清理打磨工作量^[3]。

4.5 造型工艺

ZB1410造型机造型，采用面、背砂型砂工艺造型，面砂为水玻璃砂；采用1400 mm \times 750 mm型板布置，一箱1件；下芯后用样板检测No.2、No.3型芯的直线度，防止型芯偏移。

4.6 熔炼及浇注工艺

双驱动重卡铸钢桥壳铸件材质为C级钢（ZG29MnMoNi），执行标准Q/QC35—136—2004。

采用HX-3A碱性电弧炉熔炼；出钢温度1 630~1 660 $^{\circ}$ C，在包内镇静10 min以上；浇注温度控制1 520~1 540 $^{\circ}$ C，浇注速度控制16~20 s，浇注过程中不允许断流，避免浇不足，浇满后进行补浇；当铁液快进入上平面时开始收流缓浇，避免始终大流充型过快造成型内气体来不及排出，出现气孔和呛火现象。借鉴已往生产的经验，将成品化学成分控制要求按表3执行。

4.7 热处理

采用7-29台车式热处理炉进行调质处理，严格控制升温速度和冷却速度，从而避免双驱动重卡铸钢桥壳由于热应力引起开裂。为防止双驱动重卡铸钢桥壳热处理变形，设计制作专用热处理托盘。

5 工艺试制

工艺试制主要是考核工艺方案的可靠性和模具尺寸，特别是检定内部组织与铸件尺寸。按照初始铸造工艺方案采用木模进行了首件工艺试制，工艺试制5件情况如下。

5.1 试制存在的主要问题

①双驱动重卡铸钢桥壳进行全尺寸三坐标检测，个别尺寸超差；②芯子间披缝较大；③双驱动重卡铸钢桥壳解剖后在桥包部位的内部发现有气缩孔、缩松缺陷，12 h渗油试验均有不同程度的渗漏现象；④铸件表面水纹较严重。

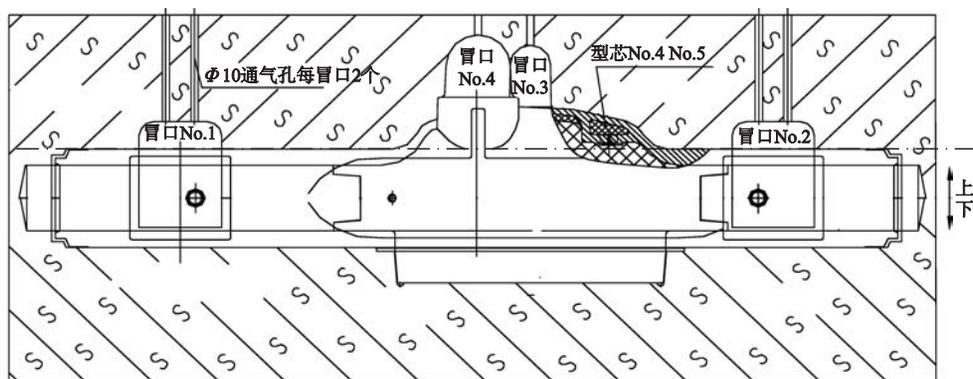


图5 铸造合箱简图

Fig. 5 Sketch of mold assembling

表3 化学成分

Table 3 Chemical composition

项目	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Cu	P	S	$w_B/\%$
要求成分	0.25~0.32	0.25~0.5	0.9~1.3	0.25~0.6	—	0.10~0.35	≤ 0.3	≤ 0.04	≤ 0.04	
内控成分	0.25~0.30	0.25~0.5	0.9~1.2	0.3~0.5	—	0.15~0.25	≤ 0.3	≤ 0.03	≤ 0.03	

5.2 主要铸造缺陷原因分析及工艺改进

①模具及芯盒配合尺寸间隙较大, 开口处尺寸 112_0^{+2} 、 112_0^{+2} 和 202.5_0^{+2} 的铸造收缩率按2%计算不准确, 需进行调整, 并增设了一道工艺拉筋; ②对模具的个别尺寸进行了调整, 同时将芯头间隙也进行了调整; ③双驱动重卡铸钢桥壳桥包部位内部缩孔、缩松缺陷是桥包内腔的导油槽圆角太小, 顶部 $\Phi 40$ mm冒口尺寸小, 导致补缩效果不佳; 将导油槽圆角由 $R3$ mm加大到 $R6$ mm; 顶部 $\Phi 40$ mm冒口尺寸加大到 $\Phi 55$ mm, 并在对应的位置放了铬铁矿砂激冷等工艺措施; ④针对铸件表面水纹较严重, 将浇口截面比例进行了调整, 调整后的比例为: ($F_{直}:F_{横}:F_{内}=1:1.1:0.98$)。

5.3 工艺验证

按改进后的工艺方案进行了5箱(件)双驱动重卡

铸钢桥壳工艺验证, 工艺验证结果如下: ①铸件经划线, 尺寸合格; ②化学成分、力学性能合格; ③铸件经解剖后组织致密, 无缩孔、缩松等铸造缺陷, 做12 h渗油试验均无渗漏现象; ④外观质量符合Q/LB.J08017标准; ⑤首件鉴定合格; ⑥在工艺评审和首件鉴定合格的基础上, 将试制样件进行试加工, 毛坯试加工结果合格; ⑦委托国家重型汽车质量监督检验中心进行台架试验, 双驱动重卡铸钢桥壳各项指标均达到要求。

6 结语

通过工艺试制和工艺改进, 并经工艺验证和随后的批量生产考核, 双驱动重卡铸钢桥壳完全达到了技术条件和性能要求, 为后续开发其他铸钢桥壳提供了技术借鉴, 也为公司产品结构优化与产业升级奠定了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 滕虹, 李育洛, 杨清, 等. 农机桥壳铸造工艺的试制与改进 [J]. 铸造工程, 2017 (7): 10-14.
- [2] 李晨希. 铸造工艺及工装设计 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [3] 李魁盛. 铸造工艺学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

Design and Improvement of Casting Process of Cast Steel Bridge Shell for Double Drive Heavy Truck

YU Da-wei¹, QIAO Jing-zhong¹, GAO Hai-yan¹, GAO Zhan-yong², HUA Lian-geng¹, LI Shuang¹, YANG Qing¹, WANG Xu¹, GONG Wei-xiang¹

(1. Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd., Baotou 014032, Inner Mongolia, China; 2. Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, Inner Mongolia, China)

Abstract:

The cast steel bridge shell for double drive heavy truck has the characteristics of large size, complex structure and high performance requirements, which leads to difficult casting process design and high trial production cost. To reduce the trial cost of the product, the three-dimensional modeling software (Pro/E) and the casting simulation software (Inte cast) were used to analyze the feasibility of the casting process. The first trial production showed that the digital simulation and industrial production have a high degree of coincidence, avoiding the problem of excessive dependence on the experience of technical personnel in the process design. The casting process was optimized based on the casting defects caused by various uncertain factors in the industrial production process, and the trial production result indicated that the defects exposed in the first trial production are eliminated, and the properties of the casting completely meet the requirements of cast steel bridge shell for double drive heavy truck.

Key words:

double drive heavy truck; cast steel bridge shell; simulation; bench test