

新型整体铸钢转向驱动桥壳的研制

高海燕, 于大威, 王虎明, 马彦伟, 党新增, 王晓霞, 姚 铁, 吴宏明, 刘跃辉

(内蒙古第一机械集团股份有限公司, 内蒙古包头 014032)

摘要: 分体铸钢桥壳两端分别焊接锻造件左/右转向节支座, 是一种铸锻焊结构, 这种转向驱动桥壳具有多零件、多焊缝、多连接的特点。由于存在焊缝质量不稳定, 容易出现疲劳断裂等质量问题, 影响装备可靠性。为此, 根据用户的需求, 设计了新型整体铸钢转向驱动桥壳。在充分分析了整体结构铸造工艺性的基础上, 设计并优化了铸造工艺方案, 成功研制出新型整体铸钢转向驱动桥壳铸件, 满足使用工况要求, 转向驱动桥壳制造时间减少44%, 节省制造成本13%。

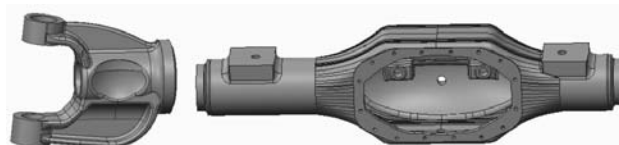
关键词: 分体桥壳; ZG25MnCrNi; 新型整体桥壳; 铸造工艺

汽车驱动桥壳作为重型汽车底盘的重要零部件之一, 具有承载汽车自重与传递载荷的重要作用, 桥壳质量的好坏直接影响汽车的安全性能与使用寿命。近年来随着我国汽车行业的迅猛发展, 对优质可靠驱动桥壳的需求量越来越大^[1]。目前, 市场上主要以球墨铸铁桥壳和冲压焊接桥壳为主, 整体桥壳比较少见, 特别是铸钢材质的整体桥壳更为罕见。相比球墨铸铁桥壳和冲压焊接桥壳, 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^[2-4], 因此中、重载卡车在高寒或地理环境恶劣的情况下首选铸钢桥壳。高质量、高性能的整体铸钢桥壳将是未来铸钢桥壳的主流^[5-6]。

本文中新型整体铸钢转向驱动桥壳的原型具有代表性(图1), 是由三个零件组成, 即分体铸钢桥壳两端分别焊接锻造件左/右转向节支座, 是一种铸锻焊结构, 这种转向驱动桥壳具有多零件、多焊缝、多连接的特点, 由于焊缝质量不稳定, 容易出现疲劳断裂等质量问题, 影响装备可靠性。为此, 根据用户的需求, 设计了新型整体铸钢转向驱动桥壳。这种新型整体铸钢驱动桥壳即可满足其质量使用要求, 又可节省装焊工序。该种整体铸钢驱动桥壳属全国首次研制, 且可实现一桥多用。

1 桥壳材料及力学性能要求

驱动桥壳是底盘中最为主要承载部件, 又是汽车运动主要传力部件, 同时又是驱动桥其他总成(主减速器、差速器、半轴等)的外壳, 起到安装支撑和保护作用。驱动桥壳的刚度、强度和疲劳寿命是设计时必须加以考虑的重要指标。特别是中、重载卡车在工作时, 由于道路及工况恶劣, 桥壳承受着强烈的冲击载荷, 对桥壳的品质要求更高。桥壳材料选用ZG25MnCrNi, 执行标准TB/T3012—2016, 经过热处理, 其力学性能可达到: 抗拉强度 ≥ 550 MPa, 屈服强度 ≥ 345 MPa, 断后伸长



(a) 锻件左转向节支座

(b) 分体铸钢桥壳

图1 分体桥壳及组焊件

Fig. 1 Split axle housing and assembly welding parts

作者简介:

高海燕(1976-), 女, 工程师, 主要从事铸造工艺设计工作。电话: 18947204286, E-mail: 1249350935@qq.com

中图分类号: TG242.3

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2022)03-0372-05

收稿日期:

2021-08-18 收到初稿,
2021-10-28 收到修订稿。

表1 ZG25MnCrNi材料化学成分
Table 1 Chemical composition of the ZG25MnCrNi material

C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	$w_B / \%$
0.23~0.29	0.30~0.50	0.80~1.18	0.35~0.50	0.30~0.50	≤0.030	≤0.030	

率≥24%，断面收缩率≥36%。该铸钢材料具有良好强、塑性、疲劳强度的综合性能以及好的焊接性能。该铸钢材料的化学成分如表1所示。经计算，在工况条件下，该驱动桥壳的最大等效应力值均小于该材料的屈服强度。

2 新型桥壳结构设计

通过分析分体铸钢桥壳和锻造件左/右转向节支座的主要工作形状及尺寸，结合铸件结构合理性要求，设计了新型整体铸钢转向驱动桥壳产品形状结构。采用UG软件设计三维实体模型，进行三维装配模拟；采用有限元软件计算最大冲击载荷、最大驱动力、最大制动力、最大侧向力四种工况的静强度。经过多次迭代、校正、优化尺寸结构，最终确定轮廓尺寸为1 797 mm × 305 mm × 242 mm的新型整体铸钢转向驱动桥壳结构，如图2所示。

新型整体铸钢转向驱动桥壳从中心向两侧依次由壳体、桥身、板簧座、椭圆退让凹坑、限位螺栓块、节叉构成。与原有结构相比，通过采用整体铸造和优化结构设计，增强了桥壳整体强度，节约制造成本13%，节省制造时间44%，并达到一桥多用的目的。

壳体内油槽侧设计封盖圆柱孔，可以满足安装差速器要求和不同车型的要求。壳体内一侧内壁设计一L型挡片，与壳体的桥包内壁底相连，壁厚≤8 mm，可以省去原挡片需另制作和焊接工序。壳体的琵琶面开口两侧圆滑过渡设计可明显降低原4-R20方形孔的应力集中。桥身截面设计为相交处呈圆角过渡的方框，利于铸造，机加工工艺制造，并根据受力不同进行壁厚差别设计。远离壳体的板簧座四角部设计和靠近壳体的板簧座近侧角部设计按所处位置尽可能倒大的圆角，板簧座与桥身R80和R100连接，板簧座为重要受力部位，这些拐角处的适当圆角设计，大大降低拐角处的应力集中值，有效提高板簧座的抗疲劳能力；设计四个椭圆退让凹坑和四个限位螺栓块可以满足

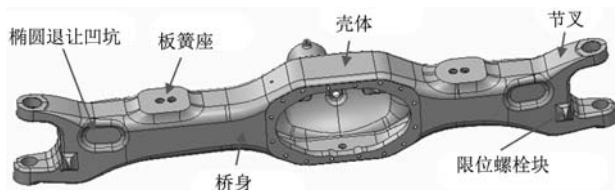


图2 新型整体铸钢转向驱动桥壳

Fig. 2 New integral cast steel steering drive axle housing

足鼓式制动桥和盘式制动桥的使用。

3 铸件工艺型分析及铸造工艺设计

3.1 铸件工艺性分析

根据零件图和GB/T6414—2017《铸件尺寸公差、几何公差与机械加工余量》标准要求设计绘制了铸件图，如图3所示。新型整体铸钢转向驱动桥壳铸件是一个形状复杂，且尺寸较大的空心梁，铸件外轮廓尺寸1 797 mm × 310 mm × 250 mm，内部空腔较长为1 526 mm，且两头细，四周除中间琵琶面开口外其余部位均封闭，因此内腔使用芯子的稳固性、直线度不易保证，容易产生壁厚不均、断芯的铸造缺陷。新型整体铸钢转向驱动桥壳铸件中间呈鼓形，两端为节叉，它的节叉头、板簧座、桥身连接板、壳体桥包等各部分形状差异较大，不同壁厚差异明显。壳体桥包部位较薄，主体壁厚为12 mm，其中油道处仅5 mm，而节叉与桥身的连接处达到72 mm的热节。各部分凝固速度不同，会产生很大的内应力，铸件容易产生裂纹、变形、缩孔、浇不足等铸造缺陷。

3.2 铸造工艺设计

根据铸件材质、结构特征、现有生产条件以及对原分体铸钢桥壳铸造工艺的借鉴^[3, 7]，初步确定该桥壳铸造工艺方案（图4），并采用ProCAST数值模拟软件中凝固缩松预测功能进行铸件缺陷预判，计算结果如图5所示。

从初始方案的铸件数值模拟结果可以看出，新型整体铸钢转向驱动桥壳节叉与桥身相接的热节处出现缩孔缺陷，两边浇道斜对方的上下板与侧板相交处出

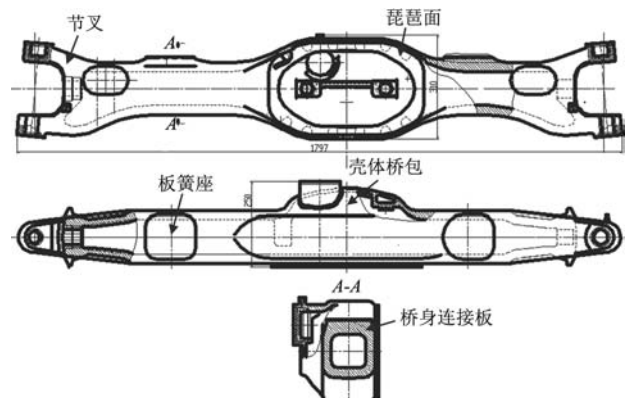


图3 桥壳铸件简图

Fig. 3 Schematic diagram of the axle housing castings

现缩松缺陷, 两侧油槽侧壁与桥包相交处出现缩孔缺陷。通过对缺陷部位及整体结构进行可行性分析, 制定了新型整体铸钢转向驱动桥壳的总体工艺方案, 如图6所示, 铸件收缩率2%, 铸件工艺出品率71%。为了内腔芯的稳固性, 沿用分体铸钢桥壳的方法, 使得琵琶面椭圆状开口朝下, 便于安放芯头, 分型面选在两端节叉头的圆柱中心面, 便于起模。优化后具体的新型整体铸钢转向驱动桥壳铸造工艺设计说明如下。

3.2.1 砂芯设计

为了保证铸件尺寸和表面质量, 采用金属模具, 手工制芯, 砂芯设计如图6所示。为保证内腔芯的直线

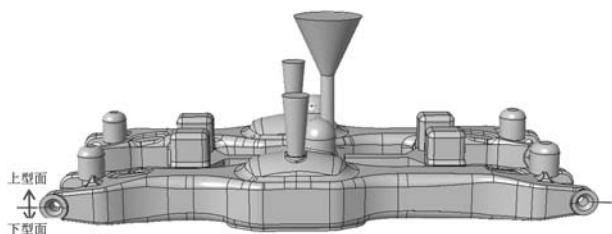


图4 初始铸造工艺三维设计图

Fig. 4 3D design drawing of the initial casting process

度, 避免尺寸超差, 桥壳内腔使用整体芯, 芯长1 550 mm, 芯盒制作为可拆卸对开式, 便于填砂紧实, 芯内中心线通长设置一根外径为18 mm的钢管, 且伸出芯外20 mm, 下芯后伸入No.5芯轴心孔内, 钢管可起No.1芯定位和芯骨的作用。

3.2.2 补缩和浇注系统的设计

(1) 补缩系统。通过ProCAST数值模拟软件结果显示, 新型整体铸钢转向驱动桥壳的缩孔、缩松缺陷主要分布在节叉与桥身相交的周围和桥包部(图4)。针对以上问题, 对初始补缩系统进行优化, 具体如下。

a) 在每侧节叉与桥身相交的两个最大热节采用两个9/12 K发热冒口, 并且在靠近内浇道侧冒口一侧使用外冷铁进行隔离, 防止出现因冒口相互干扰而降低冒口的补缩效果, 确保热节缩孔的消除。

b) 两边浇道斜对方靠近节叉方向, 在每侧两边浇道斜对方的上板与侧板相交处设置一个5/8 K发热冒口, 利于铸型顺畅排气, 并可消除该处热节缩松缺陷。

c) 桥壳中段的桥包部壁厚是桥壳壁厚最薄部位, 并且位于型腔最顶部, 钢液流动困难, 因此铸件极易产生浇不足的铸造缺陷。故在桥包顶部R30的U型平面

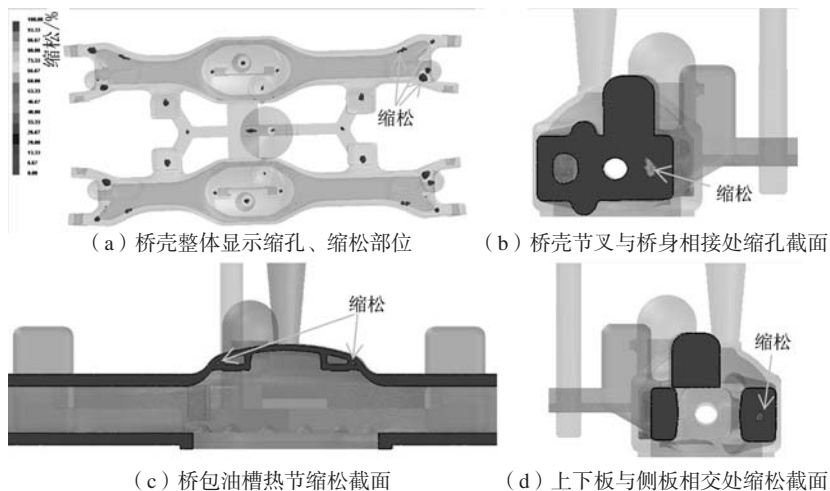


图5 桥壳凝固过程缩孔缩松缺陷预测结果

Fig. 5 Prediction results of shrinkage and dispersed shrink defects of the axle housing during solidification

处设置明冒口, 在桥包侧部的圆柱凸块平面处设置一发热冒口, 可使钢液顺畅充型和排气, 从而避免铸件桥包部产生浇不足的铸造缺陷。而预测两侧油槽侧壁与桥包相交处出现缩松缺陷, 虽然该处热节24 mm, 但因没有补缩通道, 属于孤岛部位, 可通过内部芯子的对应部位使用铬铁矿砂进行激冷消除。

(2) 浇注系统。为便于造型且分型面距离底面低(小于80 mm), 内浇道从分型面引入, 不至于造成钢液飞溅。内浇道基本呈均匀分布, 其中两条从两侧板簧座冒口处且分别与桥身向呈60°顺势引入, 有利于冒

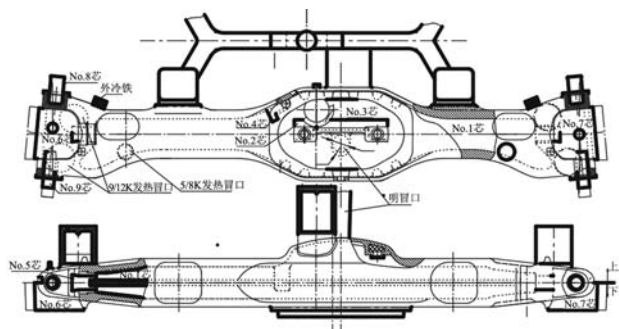


图6 优化后铸造工艺图

Fig. 6 Schematic diagram of the optimized casting process

口补缩和铸件清理，亦可防止桥壳在凝固收缩时浇道受阻而变形。中间内浇道截面呈宽扁梯形，且从桥包薄壁处引入，有效避免了与铸件相交处热节的产生，且充型得到保障。浇注系统采用开放式浇注系统（各单元截面积比取 $\Sigma A_{直}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1:1.73:3.68$ ），使钢液能够快速平稳进入型腔，且按顺序凝固，避免缩孔、缩松的产生。

3.2.3 拉筋的设计

新型整体铸钢转向驱动桥壳节叉部位两拳头之间为U形开口状，收缩时容易产生开口变形，在每侧节叉两拳头之间设置一拉筋，可防止铸件收缩时产生开口变形。新型整体铸钢转向驱动桥壳桥身内腔部位为矩形方框，在内腔转角在不影响装配的情况下设置防裂筋，可防止转角收缩拉裂。

3.2.4 造型制芯

DS80有机酯造型线造型，为单一砂干态起模。砂型尺寸精度高且复用性、溃散性好，目前来说是相对环保的型砂，但型砂较水玻璃砂发气量大，形成的铸件容易产生粘砂铸造缺陷。通过气眼和气槽的方法排气，易粘砂的工作面刷醇基涂料提高砂型表面耐火度。

内腔No.1芯采用高溃散水玻璃砂，该砂种溃散性、退让性好且发气量小，可降低裂纹倾向，局部放置高溃散铬铁矿砂消除热节。No.2、No.3、No.4、No.5小芯采用覆膜砂打制，小芯干强度高且在高温钢液的包围下可防烧结。两端U口采用No.6、No.7无粘土水玻璃砂芯。No.8、No.9细棒芯采用自硬树脂铬铁矿砂，

芯子干强度高又具有激冷作用，可细化晶粒并可提高铸件节叉拳头部位的致密度。

3.2.5 熔炼与浇注

新型整体铸钢转向驱动桥壳冶炼为双联法熔炼工艺，20吨偏心底电弧炉加25吨LF精炼炉双联设备。在电炉中完成氧化期的脱磷、脱碳、去气体夹杂的任务。LF精炼炉冶炼通过埋弧加热加底吹氩搅拌，去气去夹杂，钢液精炼过程中，可进行化学成分的微调，加入合金后，通过底吹氩对钢液的搅拌，达到成分、温度的彻底均匀，可提高铸件的综合力学性能指标。浇注温度 $1560\sim 1580\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。浇注使用底注式自动浇注机，浇包离浇口杯高度控制在不大于300 mm为宜，浇注时遵循小大小和浇注时不停留的原则。

3.2.6 热处理

新型整体铸钢转向驱动桥壳采用悬挂式连续热处

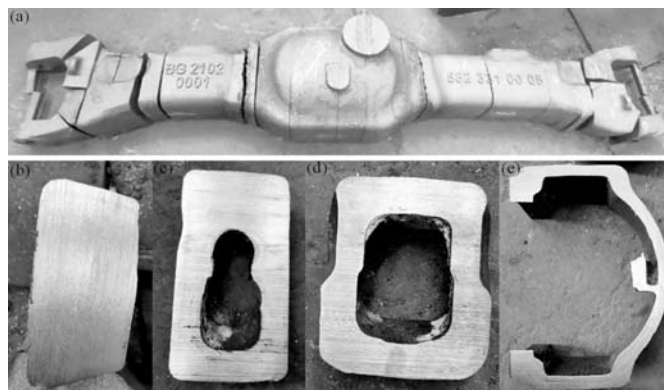


图7 热处理现场工件悬挂图片

Fig. 7 Picture of workpiece suspension at heat treatment site

表2 热处理工艺
Table 2 Heat treatment process

状态	设备	装炉温度/ $^{\circ}\text{C}$	保温温度/ $^{\circ}\text{C}$	加热时间/min	保温时间/min	冷却介质	冷却时间/min
正火	悬挂炉		910 ± 10		186	风冷	93
补充回火		≤ 500	$500\sim 550$	$120\sim 300$	$120\sim 240$	空冷	



(a) 桥壳机械解剖后组合图；(b) 节叉与桥身相接截面；(c) 上下板与侧板相交截面；(d) 油槽与桥包相交截面

图8 桥壳断面解剖图

Fig. 8 Cross sections of the axle housing

理炉，单件直立悬挂，避免了台车式热处理炉的堆装方式，可以非常有效地提高加热效率，冷却时可单件或几件一起风冷，容易得到优良的正火组织，并且可以有效的防止热处理变形。表2为热处理工艺，图7为热处理工件悬挂图片。

4 工艺实施结果

新型整体铸钢转向驱动桥壳通过上述优化的工艺设计方法进行了制造，首次生产铸件的理化性能符合材质标准，对其进行划线尺寸检查，不易测量的部位进行全部超声波测厚检查，满足产品图纸尺寸要求。试制件全部进行磁粉探伤检查无裂纹显示，同时对试制件随机抽取一件进行铸件实物机械解剖，解剖部位按照模拟预判产生的铸造缺陷部位以及客户要求部位进行机械解剖，机械解剖部位均未出现缩孔、缩松缺陷，说明新型整体铸钢转向驱动桥壳铸件内部组织致

密，采取预防铸造缺陷的优化工艺措施可行。

5 结论

(1) 将分体焊接桥壳整合成整体一次性铸造成形，铸造工艺方案可靠且经济，产品性能和质量符合相关技术要求。同时整体桥壳可省去多零件机械加工、装焊工序，制造时间减少44%。在提高产品质量和延长产品寿命基础上，降低了生产成本，节省制造成本13%。

(2) 使用UG和ProCAST软件辅助开发、预判铸造缺陷，为优化预防铸造缺陷工艺设计提供便捷，节省试制所需型砂、金材等费用损失，提高铸件试制生产效率。

(3) 铸造内腔使用整体砂芯，通过钢管充当芯骨和定位作用，适用于零件内腔较长且少开口的砂芯，可保证铸件的直线度。

参考文献:

- [1] 马顺龙, 刘海峰, 王成刚, 等. 中重型商用车驱动桥壳的发展现状及趋势 [J]. 铸造技术, 2008, 29 (7): 31-39.
- [2] 张军, 解戈奇. 铸态球墨铸铁QT600-7重卡桥壳的生产 [J]. 铸造, 2018, 67 (10): 79-81.
- [3] 于大威, 乔景忠, 高海燕, 等. 双驱动重卡用铸钢桥壳的工艺设计与改进 [J]. 铸造, 2020, 69 (8): 883-887.
- [4] 高广阔, 石力军, 常世俭, 等. 高强度铸态球墨铸铁整体桥壳材质及工艺的研究开发 [J]. 铸造, 2012 (6): 27-32.
- [5] 宋鲲鹏, 郑晋宝. 叉车桥壳的消失模铸造 [J]. 铸造设备与工艺, 2016 (3): 55-58.
- [6] 卢森加. 高强度高致密性重型汽车铸钢桥壳的研制 [J]. 铸造技术, 2016, 37 (2): 377-379.
- [7] 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册: 第5卷 [M]. 北京: 机械工业出版社. 2003: 372-382.

Research and Development of a New Integral Cast Steel Steering Drive Axle Housing

GAO Hai-yan, YU Da-wei, WANG Hu-ming, MA Yan-wei, DANG Xin-zeng, WANG Xiao-xia, YAO Tie, WU Hong-ming, LIU Yue-hui
(Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd., Baotou 014032, Inner Mongolia, China)

Abstract:

The two ends of the split cast steel axle housing are welded with forged left/right steering knuckle supports, which is a cast-forged and welded structure. This steering drive axle housing has the characteristics of multiple parts, multiple welds, and multiple connections. Due to the unstable quality of the weld, quality problems such as fatigue fracture are prone to occur, which affects the reliability of the equipment. For this reason, according to the needs of users, a new type of integral cast steel steering drive axle housing was designed. Based on the full analysis of the casting process of the overall structure, the casting process scheme was designed and optimized, and a new type of integral cast steel steering drive axle housing casting was successfully developed, which meets the requirements of service conditions, reduces the manufacturing time of the steering drive axle housing by 44% and saves the manufacturing cost by 13%.

Key words:

split axle housing; ZG25MnCrNi; new integral axle housing; casting process