

铁路铸钢车轮 V 法铸造工艺的探索试验研究

张涛¹, 王一鸣², 刘彦磊², 于雪峰², 张思瑾³

(1. 中国中车股份有限公司, 北京 100036; 2. 大同中车爱碧玺铸造有限公司, 山西大同 037038;

3. 信阳同合车轮有限公司, 河南信阳 464100)

摘要: 目前铁路货车铸钢车轮生产工艺为石墨铸型表面挂水玻璃砂衬、雨淋式浇口浇注、中央冒口集中补缩的生产技术, 水玻璃加入比例5%~6%。受工艺的限制, 产生的废砂再生处理比较困难, 每年消耗约2.5万吨石英砂。为了实现绿色铸造的目标, 研究了冷铁嫁接V法铸造工艺。铸造模拟及与之前产品对比表明, V法工艺方案可行, 并进行了试生产。浇注的产品经过超声波探伤、磁粉探伤、X光检测和低倍检测, 发现铸件的表面质量和内在质量都存在一定的问题, 但该工艺的实施在铁路铸钢车轮生产领域具有重要意义。同时, 为后续对该工艺继续进行深入细致研究提供了基础数据和参考。

关键词: 水玻璃砂; V法; 冷铁; 铁路铸钢车轮

目前铁路货车铸钢车轮生产工艺水玻璃加入比例为5%~6%, 每件产品石英砂的使用量为90 kg, 年消耗石英砂在2.5万吨, 体量非常巨大。从长远看, 石英砂为不可再生资源, 高品质石英砂资源日益减少, 价格会逐年攀升, 会造成企业制造成本的增加。同时大量废砂露天存放, 将严重影响周边的生态环境, 也是制约企业可持续发展的瓶颈。铸钢车轮生产企业的技术人员通过调研, 认为V法铸造工艺在铁路货车铸钢车轮上应用具有一定的可行性。

V法造型是一种真空密封造型方法, 又称负压造型。它利用塑料薄膜密封砂箱, 通过真空泵抽出砂型内的空气, 依靠铸型内外压力差使干砂紧实, 以形成所需型腔的一种物理造型方法。V法造型的特点是有利于环境保护。由于采用无粘结剂的干砂, 无需振动落砂, 减少了环境污染, 改善了车间环境, 同时旧砂的回用率达到95%以上, 是一种绿色的铸造工艺^[1]。为了进行工艺试验验证, 联系了一家能够提供中试场所的企业, 进行了实物浇注的工艺试验。

1 铸钢车轮V法铸造工艺试验

1.1 现生产工艺

目前铁路货车铸钢车轮生产工艺为1996年引进的美国ABC公司的专有技术。采用电弧炉炼钢、石墨铸型表面挂砂衬、雨淋式浇口浇注、中央冒口集中补缩的铸钢车轮生产技术, 铸钢车轮辐板形状为深盆形, 见图1。该工艺生产的产品具有尺寸精度高、浇注操作简单、车轮内部质量稳定、制造成本低等特点。ABC技术已扩散到南非和巴西等国家。该工艺的缺点是砂衬层经过钢水高温灼烧后, 石英砂发生“玻璃化”, 给再生带来很大困难。而且由于该工艺对砂衬的强度要求比较高, 即便是加入再生砂, 加入量也很低。每年排放大量的废砂。

1.2 V法工艺

V法铸造的特点是: 使用的干砂可反复利用, 节约原材料, 减少了固体废弃物的

作者简介:

张涛(1962-), 男, 高级工程师, 主要从事造型材料与铸造工艺研究工作。

E-mail: zhangtao@crccgcc.com

通讯作者:

刘彦磊, 男, 工程师, 硕士。电话: 13513523607, E-mail: bawangying@163.com

中图分类号: TG249

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)03-0282-05

收稿日期:

2018-12-14 收到初稿,
2018-12-26 收到修订稿。

排放, 实现环保生产。减少了粉尘和浇注过程中有毒气体的排放, 降低了对人体的伤害, 有效预防相关职业病的发生^[2-3]。

图2为铁路货车铸钢车轮V法工艺方案实施图。工艺流程为: 安放冷铁→薄膜加热→覆膜→喷涂料→烘干→套砂箱→加砂振实→刮平覆膜→起模→合箱→浇注→拔除冒口→冷却→落砂→清理。

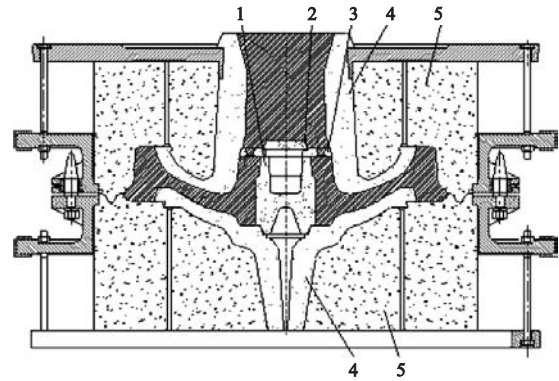
1.3 铸造模拟对比计算

利用华铸CAE11.0铸造模拟软件对试验轮型的V法造型工艺方案进行数值模拟计算, 采用类比法和原石墨型挂水玻璃砂衬方案进行对比分析。

对840HDZD轮型进行数值模拟分析。从图3a中可以看出, 设计的V法造型工艺方案1在轮辋和辐板过渡部位存在少量的缩松和缩孔。通过对冷铁的材料、参数、布局改进优化重新进行了计算。从图3b中可以看出, 改进后方案2消除了轮辋和辐板过渡部位的缩松和缩孔缺陷, 轮毂中心部位的缺陷可以通过后续加工进行去除。可以按照方案2进行工艺实际验证, 目标一是验证V法工艺是否可以浇注出成型的产品, 目标二是验证产品表面和内在质量存在哪些问题, 为今后的试验和工艺改进提供线索。表1为模拟结果对比。

1.4 工装模具的设计与制作

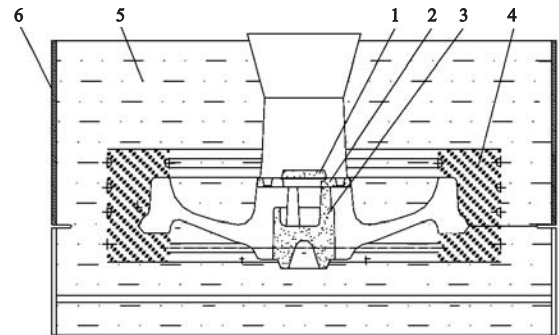
根据图1所示的车轮辐板形状设计制作上、下金属模样, 见图4。在上金属模样顶部设计一个便于拆卸的漏斗型冒口模。由于车轮路面处需要与钢轨接触, 所



1. 中芯 2. 浮芯 3. 雨淋芯 4. 砂衬 5. 石墨

图1 现工艺合箱示意图

Fig. 1 Schematic of mold assembling in the currently adopted casting process



1. 浮芯 2. 雨淋芯 3. 中芯 4. 冷铁 5. 干砂 6. 砂箱

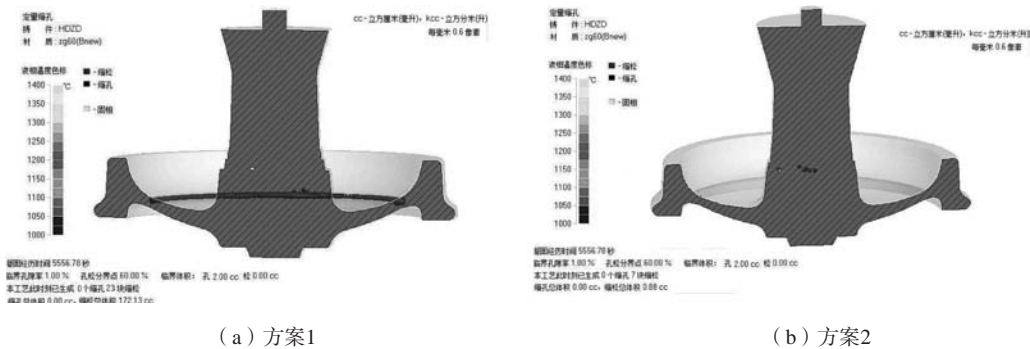
图2 V法工艺方案实施图

Fig. 2 Vacuum casting process implementation chart

表1 V法造型方案数值模拟结果对比

Table 1 Comparison of numerical simulation results of two vacuum casting processes

方案1	方案2
无缩孔, 23块缩松	无缩孔, 7块缩松
缩孔总体积: 0, 缩松总体积: 172.13 cm ³	缩孔总体积: 0, 缩松总体积: 0.88 cm ³
定量缩孔及分布约束条件: 临界孔隙率1%, 孔松分界点60%, 松临界体积0, 孔临界体积2.0 cm ³	



(a) 方案1

(b) 方案2

图3 铸造模拟定量缩孔缩松

Fig. 3 Process simulation of casting shrinkage defects

以轮辋部位需要良好的力学性能,同时还必须满足整个铸件的顺序凝固。为此,在车轮轮辋部位设置一个冷铁。

1.5 工艺方案实施

(1) 上箱造型。将上冷铁放置在上金属模样上(图5a),然后进行覆膜(图5b),安装冒口模(图5c)。然后按照V法工艺的一般流程,在薄膜上喷涂料,涂料烘干后安放砂箱,刮平覆膜,起模,将冒口模拆掉,上箱造型完成(图5d)。

(2) 下箱造型。将下冷铁放置在下金属模样上,覆膜(图5e)。在薄膜上喷涂料后进行烘干(图5f),安放砂箱,刮平覆膜,起模(图5g)。

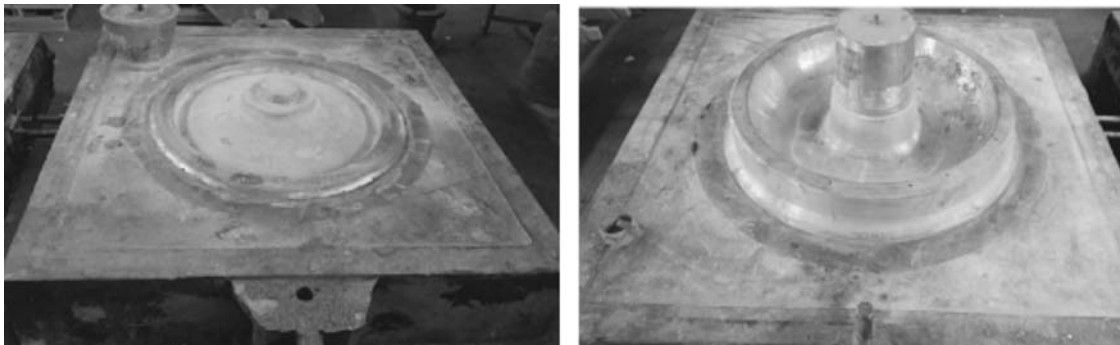
(3) 合箱。V法造型完成后进行合箱。合箱前,在下箱安放好中芯,在上箱订好雨淋芯。合箱完成后,再从冒口内将浮芯安放好。合箱完成后进行浇注。

(4) 浇注。本试验以840HDZD型铸钢车轮为实例,车轮化学成分如表2所示。实际浇注温度 $1584\text{ }^{\circ}\text{C}$,浇注时间 20 s ,真空度 -0.06 MPa ,保压时间 5 min ,冒口拔除时间 50 min ,开箱时间 13 h 。按照正常工艺进行热处理。

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

热处理后的毛坯车轮经过强化抛丸、加工后,可以看到车轮辐板存在大量的砂眼缺陷,轴孔部位存在



(a) 下金属模样

(b) 上金属模样

图4 金属模样
Fig. 4 Metal pattern



(a) 上箱金型安放冷铁

(b) 上箱金型覆膜

(c) 安放冒口模

(d) 上箱



(e) 下箱金型安放冷铁、覆膜

(f) 涂料烘干

(g) 下箱

图5 工艺方案实施

Fig. 5 Vacuum casting process implementation

“铁包砂”现象，轮辋部位存在飞边，见图6。

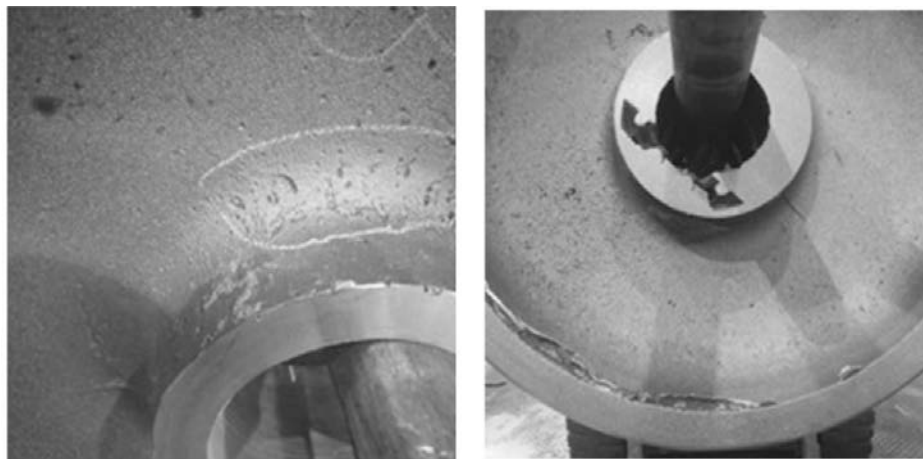
对试验车轮进行了超声波探伤，根据TB/T1013—2011《碳素钢铸钢车轮》要求：“车轮内部不应存在大于或等于回波幅度比同深度 $\Phi 3$ mm平底孔回波幅度低于12dB的缺陷”，发现车轮轮辋内部存在大量的孔洞缺陷（图7a）。经过磁粉探伤和X光检测发现，轮辋表面存在可见裂纹，辐板内部存在缩松、缩孔缺陷，见图7b、7c。对这些缺陷进行了断面低倍检测，结果一致，见图7d。

2.2 试验结果分析

冷铁嫁接V法工艺完全可以浇注出铸钢车轮，目标一实现。由于是第一次进行实物试验，浇注出的铸钢车轮辐板表面存在大量砂眼缺陷，轮辋表面可见裂纹，辐板和轮辋内部存在孔洞和缩松，说明工艺环节、工艺参数、试验环节存在很多不受控的地方，这为下一步深入研究提供了思路和线索，目标二基本达成。分析认为，造成试验车轮产生诸多缺陷的原因主要有以下几点。

表2 840HDZD型铸钢车轮化学成分要求
Table 2 Chemical composition requirements of 840HDZD cast steel wheel

C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni	V	Cr+ Mo+Ni	w_B /%
0.57 ~ 0.67	≥ 0.15	0.60 ~ 0.90	≤ 0.030	≤ 0.040	≤ 0.25	≤ 0.35	≤ 0.10	≤ 0.25	≤ 0.04	≤ 0.50	

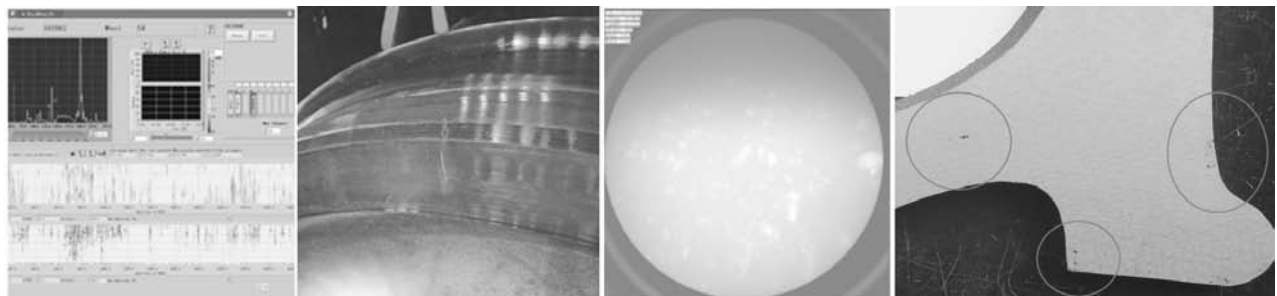


(a) 辐板表面缺陷

(b) 轮毂和轮辋缺陷

图6 铸件缺陷位置

Fig. 6 Positions of the defects in the casting



(a) 超声波探伤结果

(b) 磁粉探伤结果

(c) X光检测结果

(d) 低倍检测结果

图7 铸件检测结果

Fig. 7 Test results of the casting

(1) 此次试验为铁路铸钢车轮使用V法工艺的第一次摸索性试验, 受中试企业的影响, 试验过程中定量控制的工艺参数较少, 凭经验或定性控制的因素较多。

(2) 浇注过程中使用的是摇包的浇注方式, 控制不稳定, 浇注时间偏长, 易形成缩松和缩孔缺陷。此外, 由于冷铁的激冷速度较快, 没有进行预热, 与砂子接触部位的凝固速度差别太大, 凝固过程中容易形成裂纹。

(3) 由于车轮形状变径较多, 在过渡部位覆膜存在褶皱, 浇注过程中容易冲砂或冲涂料, 形成夹杂缺陷。

(4) 真空度压力值、保压时间和泄压时间凭经验控制, 还没有摸索出合适的工艺控制范围。

3 结论

(1) 铁路货车用铸钢车轮使用冷铁嫁接V法工艺进行浇注, 能够生产出成型的铁路铸钢车轮, 应属该产品在铸造领域的首次探索, 有较明显的创新点。

(2) 第一次进行实物浇注试验, 浇注出的铸钢车轮辐板表面存在大量砂眼缺陷, 轮辋表面可见裂纹, 辐板和轮辋内部存在孔洞和缩松, 说明工艺环节、工艺参数、试验环节存在很多不受控的地方, 这为下一步解决问题提供思路和线索。

(3) 针对试验过程中存在的问题, 下一步开展系统性、针对性的研究, 其中对冷铁的材料、形状、布置进行优化, 降低凝固过程中的应力; 对中试场地的要求、对中试设备参数的控制、对生产过程中的工艺参数的控制、对浇注方式的调整等方面进行分析和研究, 为下一步的试验创造条件。

参考文献:

- [1] 胡昌军. V法铸造工艺及其在铸钢件中的应用 [J]. 现代制造技术与装备, 2013 (5): 54-55.
- [2] 崔广九. V法造型工艺研究 [J]. 中国矿业, 2000 (9): 410-412.
- [3] 刘旭, 胡斌, 向东湖. V法铸造工艺的研究 [J]. 水泥技术, 2013 (5): 27-29.

Experimental Research on Vacuum Process Casting of Cast Steel Wheel for Railway

ZHANG Tao¹, WANG Yi-ming², LIU Yan-lei², YU Xue-feng², ZHANG Si-jin³

(1. CRRC Co., Ltd., Beijing 100036, China; 2. Datong CRRC Amested Castings Co., Ltd., Datong 037038, Shanxi, China; 3. Xin Yang Amsted Tonghe Wheels Co., Ltd., Xinyang 464100, Henan, China)

Abstract:

At present, the production technology of cast steel wheels for railway mostly adopts graphite mold with sodium silicate-bonded sand lining, shower gating system, and central riser feeding, among which the addition proportion of sodium silicate is 5%-6%. Due to the limitation of technology, it is difficult to regenerate the waste sand, which consumes about 25 000 tons of quartz sand every year. In order to achieve the goal of green casting, the chill grafting vacuum process casting was studied. The simulation and comparison with the previous products showed that vacuum process casting was feasible, and then the trial production was carried out. After ultrasonic inspection, magnetic flaw detection, X-ray test and low magnification micrography, it was found that there still existed some quality problems in the surface and interior of the castings. However, the implementation of this technology is of great significance in the field of railway cast steel wheel production. At the same time, this experiment provides the basic data and reference for further in-depth and detailed research on the casting process.

Key words:

sodium silicate-bonded sand; vacuum process casting; chill; railway cast-steel wheel