DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2024.1372

铁路货车钩舌铸件铸造工艺研究

刘跃辉,樊　超,王虎明,马彦伟,公冶铭哲,王　瑞,前里舸尔,高海燕
(内蒙古第一机械集团股份有限公司 第一分公司,内蒙古 包头 014032)

摘　要:在传统浇注系统中,钢水流经砂型易形成冲砂,而液料不稳定时易导致夹砂、表面水纹等缺陷。传统排气系统中,钻气眼后气道内易形成浮砂,导致铸件夹砂,在铸件本体气眼切割时易切伤铸件形成缺肉缺陷。为系统改进产品,持续提升铁路货车钩舌铸件内外质量,通过采用双通双注式浇口杯、改进浇注方法、设计一体式拼接耐火材料横浇道、试用网格排气阀、试验多类型砂种、优化专用砂箱工装等多项措施,显著改善钩舌内外质量,铸件质量合格率由 82%提高到了 96%以上。

关键词:钩舌铸件;内外质量;铸造工艺;缺陷
中图分类号: TG249.9　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2024)07-0694-05

Study on the Casting Technology of Knuckle Castings for Railway Freight Cars

LIU Yuehui, FAN Chao, WANG Huming, MA Yanwei, GONGYE Mingzhe, WANG Rui, QIANLI Geer,GAO Haiyan
(Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd. First Branch, Baotou 014032, China)

Abstract: In traditional pouring systems, molten steel flowing through a sand mold easily undergoes sand washing, which leads to sand inclusions, surface water marks and other defects when the liquid material is unstable. In traditional exhaust systems, floating sand easily forms in the airway after the air hole is drilled, resulting in sand inclusion in the casting. When cutting the air hole of the casting body, it is easy to cut the casting to form a lack material defect. To continuously improve the internal and external quality of knuckle castings for railway freight cars, a number of measures, such as adopting double-pass double-injection pouring cups, improving pouring methods, designing integrated splicing refractory runners, testing grid exhaust valves, testing multiple types of sand, and optimizing special sand box tooling, significantly improves the quality of the knuckle, increasing the qualified rate from 82% to over 96%.

Key words: knuckle casting; internal and external quality; casting process; defect

车钩是连接铁路货车车辆之间的关键部件[1-3],直接关系到铁路货车的运行安全和可靠性。钩舌是组成车钩部件的重要产品。随着我国铁路运输不断向高速和重载方向发展,货车的纵向冲击力急剧增加,钩舌之间的接触面摩擦磨损严重,钩舌性能要求越来越高。

一直以来,我公司采用“传统型”工艺铸造生产铁路货车钩舌产品。“传统型”工艺主要是单通单注式浇注、砂型本体浇道系统和砂型本体钻气眼的生产方式,导致钩舌浇注时卷气,因钢液过热冲刷砂型浇道表面造成夹砂、型芯发气量大造成气孔等废品、不良品的产生[4-6]。为提高产品合格率及生产效率,对当前工艺方法及材料应用开展了多方面的研究试验,探索“双通双注浇注方法、一体式底注浇注系统、排气通孔内固定一种网格排气阀”的铸造工艺,显著提升了产品质量,解决了我公司 25 t LF 冶炼精炼大包浇注速度快、钢液冲刷大引起的弊端。经工艺试制验证,采用新工艺、新方法、新材料取得良好效果,具有一定的推广价值。

收稿日期:2021-09-13
作者简介:刘跃辉,1988 年生,学士,工程师.主要从事铸造成型工艺及计算机模拟方面的工作.Email: 815413846@qq.com
通讯作者:樊　超,1984 年生,学士,工程师.主要从事铸造成型工艺及计算机模拟仿真技术方面的工作.Email:fc15904728886@163.com
引用格式:刘跃辉,樊超,王虎明,马彦伟,公冶铭哲,王瑞,前里舸尔,高海燕.铁路货车钩舌铸件铸造工艺研究[J].铸造技术,2024,45(7): 694-698.
LIU Y H, FAN C, WANG H M, MA Y W, GONGYE M Z, WANG R, QIANLI Geer, GAO Haiyan. Study on the casting technology of knuckle castings for railway freight cars[J]. Foundry Technology, 2024, 45(7): 694-698.

1　产品及原工艺介绍

1.1　产品问题分析

造型采用绿色环保可再生的酯硬化水玻璃砂自动化生产线，浇注采用 25 t LF 底注式大型精炼包[7-12]，钩舌产品结构尺寸为 265 mm×156 mm×321 mm，在浇注时钢液冲刷力大，造成钩舌产品在上牵引台及冲击台等关键部位缺陷较多(图 1)，当前铸件合格率仅为 82%。

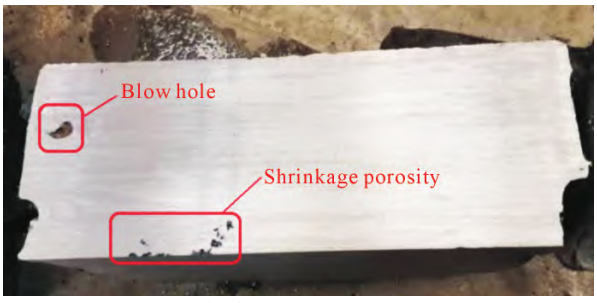

图 1　在剖面检查部位 B-B 及 C-C 的内部组织不致密
Fig.1　The nondense structure inside the ingot at the section inspection site

1.2　原工艺分析

钩舌原工艺设置为 1 箱 8 件，采用中注式浇注，造型采用酯硬化水玻璃混合型型砂(新砂 30%+再生砂 70%，质量分数)。内腔覆膜砂发气量大，易引起内部气孔。浇注系统组成中的横浇道由型砂形成，易冲砂造成夹砂，如图 2 所示。冒口内出气孔使用加长钻头钻通，易落砂形成夹砂，且切割时有切伤的风险。

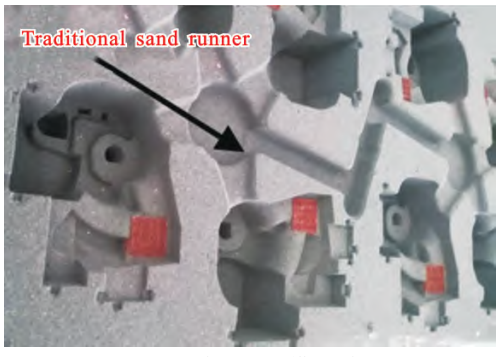

图 2　普通型砂横浇道
Fig.2　Ordinary sand runner

在钢液浇注前期，由于 25 t LF 底注式大型精炼包静压头较大，钢液在高温快速流动的状态下，长时间冲刷普通型砂横浇道极易形成紊流。并且现有传统普通砂型铸造浇注方式为单杯单注式，砂箱为通用常规砂箱(图 3)，浇注时，钢液在浇口杯中因偏向力形成重力负压将气体卷入，在钩舌局部型砂或气体来不及上浮到冒口中，直接在钩舌内部形成夹砂及气缩孔缺陷。

图 3　单口锥形浇口杯和通用常规砂箱
Fig.3　Single hole conical pouring cup and general molding flask

2　工艺优化

2.1　浇注工艺优化

基于传统单杯单注式浇注时，钢液在浇口杯中将气体卷入的问题，现设计双通双注式浇注。浇口杯材质采用耐火材料，设计为双注式，尺寸为 316 mm×235 mm×200 mm(图 4)，双浇口可有效减小钢液压头，平稳承接钢液充满型腔，达到充型平稳浇注目的，并顺利将浮砂上浮到冒口中，也保证了钩舌产品内部组织致密。

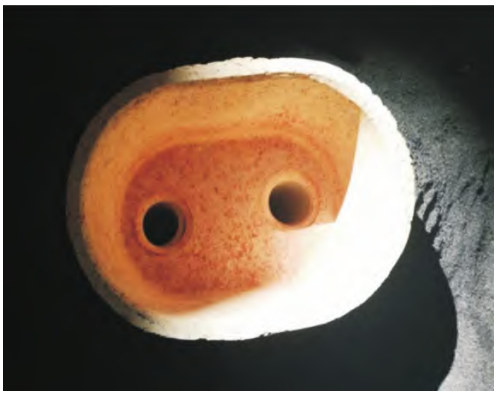

图 4　双通双注浇口杯
Fig.4　Double-pass double-injection pouring cup

原工艺浇注钢液时，直接由浇口杯流入直浇道中，会将空气一起带入型腔并持续到浇注结束。通过采用大流量灌到双注浇口杯 2/3 处时，再小流量浇注的工艺，使浇口杯中始终保持一定液量，杜绝浇口杯中钢液下漏时带入气体。该浇注方法减少了浇注时钢液在单口浇口杯中由于地球偏向力形成重力负压将气体卷入，形成带入性气孔缺陷的问题。

此外，设计采用一种一体式拼接耐火材料组成的横浇道。横浇道预埋与型板上的定位处，造型时内浇道耐火材料按定位放置，然后填砂造型。这样在浇注时，高温状态下的钢液在一体式横浇道中流动更加平稳，不接触砂型，避免了钢液对冲刷型砂产生的

冲砂与紊流卷气问题,如图 5 和 6 所示。

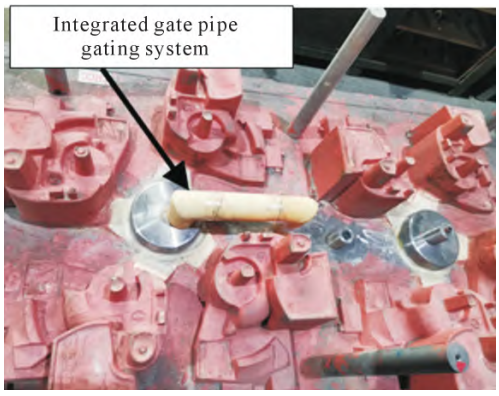

图 5 一体式拼接横浇道
Fig.5 Integrated splicing refractory runners

图 6 预埋一体式拼接横浇道起模图
Fig.6 Mold drawing of the embedded integrated splicing runner

同时,通过分析验证合理可靠的浇注速度参数,在实际生产过程中,通过 5 个冶炼炉次进行统计分析,确定出实际浇注工艺参数,达到了慢速平稳充型效果,将原工艺浇注速度 18~28 s(钢包开浇到收流时间),调整到 30~45 s,如表 1 所示。

2.2 排气阀设计

探索采用一种耐高温多孔状网格排气阀,代替人工使用加长钻头钻通排气孔,该多孔状网格排气阀具备挡渣、砂型浮砂防止落入型腔以及在浇注高压时自动进行排气的功能,并可减少钢液的浪费,消除切割出气棒时切亏铸件的质量隐患,见图 7。

图 7 多孔状网格排气阀
Fig.7 Porous grid exhaust valve

表 1 浇注速度试验对照表
Tab.1 Comparison of the pouring rates

Heat number	1			2			3			4			5		
Fask number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pouring rate/s	42	43	39	40	38	42	40	32	35	37	40	35	38	41	37

该耐高温多孔状网格排气阀有较高的强度、较高的抗热震性和残余强度,随着钢液在型腔中热作用下,陶瓷网状体外层残余应力由张应力逐渐变为压应力,有效抑制网状体表面裂纹的扩展,使多孔网状陶瓷体保持有较高的耐压强度。

2.3 内腔减轻孔芯砂砂种试验

为探索多种类芯砂,在同一铸型中通过试验 6 种内腔芯砂 (高强度高溃散性水玻璃砂,2 种呋喃树酯砂,3 种覆膜砂)进行多批次试验。选用覆膜砂共试制生产 5 个冶炼炉次,发现覆膜砂发生铸造缺陷的主要参数为发气量。如表 2 所示,覆膜砂发气量在 16 mL/g 以下效果较好。根据铸件表面状态及内部解剖情况,最终选取一种发气量小、溃散性好的覆膜砂,通过小批量试制验证,满足钩舌内部组织致密度要求及性能条件,如图 8 所示。

表 2 覆膜砂参数
Tab.2 Parameters of coated sand

Heat number	Gas release /(mL·g^{-1})	Ultimate tensile strength at room temperature/MPa	Bending strength at room temperature /MPa	Hot bending strength /MPa
1	12.6	3.8	8.3	4.5
2	15.7	4.6	10.0	1.4
3	15.6	3.5	8.1	4.3
4	16.6	4.4	9.3	1.3
5	16.7	4.5	9.6	1.6

2.4 专用工装设计

针对钩舌结构特点,结合我公司酯硬化水玻璃砂自动化生产线生产种类多,所用砂箱均为通用型大尺寸砂箱,生产钩舌时填入型砂量大进而导致排气、发气多的实际生产情况,设计了一种钩舌专用砂箱工装(图 9),顶部箱带完全避开所有排气孔位置和双注式浇口杯位置,进一步有效降低砂箱的使用高度,减少型砂填入量从而降低砂型发气总量[13-17]。

3 工艺验证

按照优化工艺措施,造型小批量试制生产 3 箱

图 8 多种类芯砂试验
Fig.8 Tests of various types of core sand

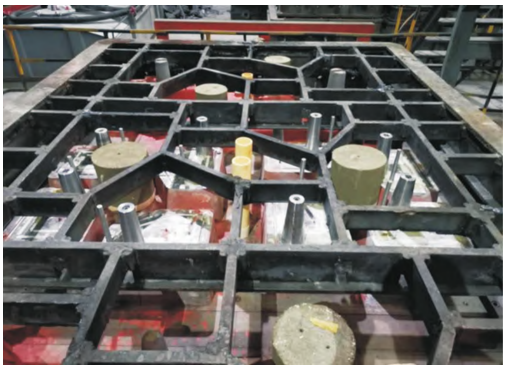

图 9 专用砂箱工装
Fig.9 Special sand box tooling

钩舌铸件，试制生产数量共计 24 件。对试制钩舌断面解剖 6 件，每箱随机挑选 2 件，经验证试制钩舌铸件断面组织致密，满足国内铁路行业标准 TB/T 456，铸件内部密实度四级和二级的要求，密实度合格(图10)。

基于以上结果，开展大批量试制。按照优化工艺措施，造型大批量试制生产 8 个冶炼炉次，每个冶炼炉次共计 5 箱钩舌铸件，试制生产数量共计 320 件。对试制钩舌每个冶炼炉次随机挑选 2 件作断面解剖，共计 16 件，经验证，试制钩舌铸件断面组织致密，密实度合格，钩舌铸件质量合格率由 82%提高到了 96%以上。基于试制结果，将优化工艺措施进行工艺文件固化，已纳入到钩舌产品日常生产工艺中。

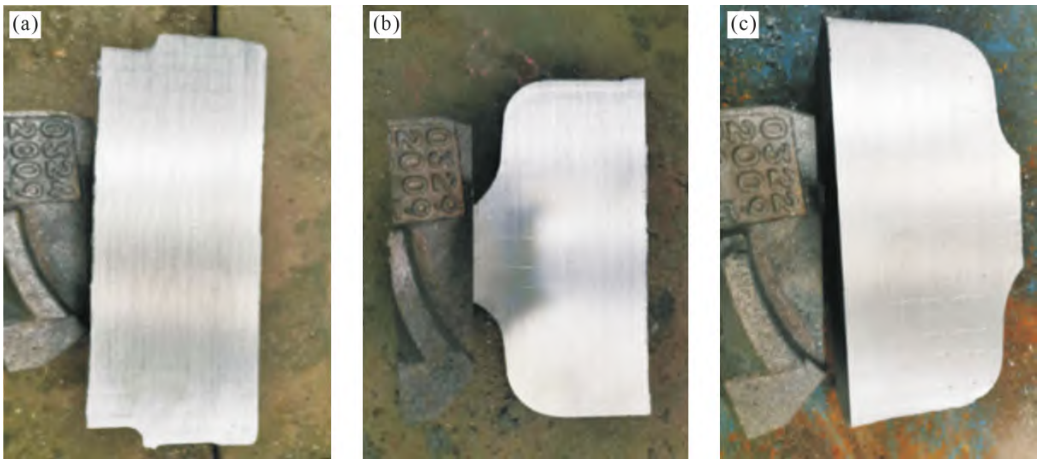

图 10 试制钩舌铸件内部组织致密：(a) B-B 剖面；(b, c) C-C 剖面
Fig.10 Dense structure of the trial-produced knuckle castings: (a) B-B section; (b, c) C-C section

4 结语

(1)上述试验优化工艺的 6 项措施在质量方面综合改善效果较好，使钩舌铸件质量合格率由 82%提高到了现在的 96%以上。

(2)成功探索双通双注浇口杯、一体式预埋浇口管、应用排气阀等新工艺、新方法、新材料、新技术，具有一定的行业推广价值。

(3)优化后的工艺措施不仅对小型铸钢件内部质量改善显著，对铸钢件表面质量也明显改善。

参考文献：

[1] 余欢. 铸造工艺学[M]. 北京：机械工艺出版社，2018.
YU H. Foundry technology [M]. Beijing: China Machine Press, 2018.

[2] 杨绍清. 中国铁路重载运输货车技术发展[J]. 铁道车辆，2009, 47(12): 1-6.
YANG S Q. Technological development of chinese railway heavy haul freight cars[J]. Rolling Stock, 2009, 47(12): 1-6.

[3] 李新亚. 中国机械工程学会铸造分会. 铸造手册(5)[M]. 北京：机械工业出版社，2011.
LI X Y. Foundry institution of Chinese mechanical engineering society. Foundry handbook(5)[M]. Beijing: China Machine Press, 2011.

[4] 徐贵宝，曹健峰，朱正锋. 中国铁路关键铸钢件生产质量控制[J]. 铸造，2010, 59(9): 973-976.
XU G B, CAO J F, ZHU Z F. Quality control of China railway key steel castings[J]. Foundry, 2010, 59(9): 973-976.

[5] 郝占宽. 重载货车车钩缓冲装置安全性研究[D]. 兰州：兰州交通大学，2016.
HAO Z K. Research on the safety of coupler buffer device of heavy loaded truck [D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong Universitiy,

2016.

[6] 李平. 铸钢冷却壁的铸造工艺[J]. 铸造,2011, 60(4): 404-406.
LI P. Foundry technique of cast steel cooling stave[J]. Foundry, 2011, 60(4): 404-406.

[7] 樊超,张挨元,杜志强,刘江,李卫国,韩宝,王虎明,刘跃辉,李志杰.一种模块化精益铸造生产方法[J]. 铸造技术,2020, 41(10): 943-945.
FAN C, ZHANG A Y, DU Z Q, LIU J, LI W G, HAN B, WANG H M, LIU Y H, LI Z J. Modular lean casting production method[J]. Foundry Technology, 2020, 41(10): 943-945.

[8] 刘跃辉,杜志强,王虎明,樊超,韩宝,前里舸尔,李卫国,刘江,王瑞.新型链式车钩铸造工艺设计与应用研究[J]. 铸造技术,2021, 42(2): 101-104.
LIU Y H, DU Z Q, WANG H M, FAN C, HAN B, QIANLI G E, LI W G, LIU J, WANG R. Casting process design and application of a new type of chain coupler[J]. Foundry Technology, 2021, 42(2): 101-104.

[9] 张挨元,贾枝树,樊超,刘跃辉,杜志强,刘江,张晓敏,韩宝,王虎明,王瑞. 一种中小型铸钢件精益化通用铸造生产方法[J]. 铸造技术,2021, 42(2): 108-112.
ZHANG A Y, JIA Z S, FAN C, LIU Y H, DU Z Q, LIU J, ZHANG X M, HAN B, WANG H M, WANG R. General lean production method for small to medium steel castings[J]. Foundry Technology, 2021, 42(2): 108-112.

[10] 毛红奎,徐宏. 铸造过程模拟仿真及工艺设计[M]. 北京:国防工业出版社,2011.
MAO H K, XU H. Casting process simulation and process design [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2011.

[11] 刘桐旺. 金属型铸造凝固过程中界面热交换系数的研究 [D]. 重庆:重庆大学,2016.
LIU T W. Study on interface heat transfer coefficient during solidification of metal mold casting[D]. Chongqing: Chongqing University, 2016.

[12] 樊超,王光明,张挨元,杜志强,王虎明,刘跃辉,前里舸尔. ProCAST 模拟仿真技术在铸钢件缺陷预测中的应用 [J]. 铸造技术, 2019, 40(7): 705-707, 711.
FAN C, WANG G M, ZHANG A Y, DU Z Q, WANG H M, LIU Y H, QIANLI G E. Application of ProCAST simulation technology in defect prediction of cast steel castings[J]. Foundry Technology, 2019, 40(7): 705-707, 711.

[13] 樊超,杜志强,刘江,李卫国,王虎明. 利用发热保温冒口解决钩体头部缩孔缺陷的探索[J]. 铸造技术,2017, 38(12): 3021-3023.
FAN C, DU Z Q, LIU J, LI W G, WANG H M. Probe of the shrinkage cavity of the hook body solved by thermal insulation riser[J]. Foundry Technology, 2017, 38(12): 3021-3023.

[14] 黄列群,潘东杰,何芝梅,薛存球,马益诚,沈永华,林方夫,高强. 铁型覆砂铸造及其发展[J]. 现代铸铁,2006, 26(3): 12-20.
HUANG L Q, PAN D J, HE Z M, XUE C Q, MA Y C, SHEN Y H, LIN F F, GAO Q. Sand-faced metal mould casting process and its development[J]. Modern Cast Iron, 2006, 26(3): 12-20.

[15] 李远才,等. 覆膜砂及制型(芯)技术[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
LI Y C, et al. Coated sand and molding (core) technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2007.

[16] 王桂梅. 有机酯自硬水玻璃砂研究与实践 [J]. 铸造工程,2003, 27(1): 4-5.
WANG G M. A study and practice of ester-silicate self-hardened sand[J]. Foundry Engineering, 2003, 27(1): 4-5.

[17] 丁根宝. 铸造工艺学(上册)[M]. 北京:机械工业出版社,1985.
DING G B. Foundry Technology (I) [M]. Beijing: China Machine Press, 1985.