

砂型铸造铁路货车车钩铸钢钩体 铸造工艺分析与验证

郑宝堂

(中车齐齐哈尔车辆有限公司铸钢分厂, 黑龙江齐齐哈尔 161002)

摘要: 应用AnyCasting软件对铁路货车17型车钩钩体铸钢件的工艺方案进行数值模拟, 分析预测了初始工艺状态下铸件内部可能产生的缩孔缩松缺陷。通过车钩铸件铸造工艺生产验证和铸件解剖检查, 验证了数值模拟结果的准确性。有针对性地采取工艺措施之后, 铸造出质量合格的车钩铸件。

关键词: 数值模拟; 钩体; 密实度; E级钢

车钩是铁路货车车钩缓冲装置的重要组成部分, 车钩钩体为箱形铸钢件, 材质E级钢。由于其与钩舌、锁铁、推铁等铸件相互配合以完成开锁、闭锁、落锁以及连挂等功能^[1], 其结构比较复杂, 钩体结构图如图1a中所示, 钩体轮廓尺寸长975 mm、宽574 mm、高496 mm, 壁厚范围10~80 mm。在铸造过程中, 在很多局部空间形成热节, 而热节部位极易形成缩松、缩孔等缺陷, 造成铸件密实度质量不良。密实度系指铸件内部缩孔、缩松、疏松等缺陷的严重程度^[2], 密实度质量不良会形成危险源, 降低钩体强度, 影响钩缓系统安全可靠, 进而严重威胁铁路货车安全运行^[2]。因此, 在制造过程中对钩体关键受力部位的密实度等级应进行严格控制。为了预先直观地分析、观察车钩铸造过程中内部缺陷的形成及严重程度, 本研究采用AnyCasting软件对车钩铸件充型凝固过程进行数值模拟分析, 然后与铸件实物解剖检查结果进行参照对比, 验证数值模拟准确性, 并为钩体铸造工艺的设计和 optimization 提供参考依据。

1 原铸造工艺

为了了解铸件原铸造工艺条件下铸造成形时所产生的缩孔缩松状况, 首先在采取很少工艺措施(尾部冒口及排气针)的情况下对17型钩体铸件的充型凝固过程进行数值模拟, 同时在生产现场投产2箱同样状况的钩体, 以验证数值模拟结果并提供最真实的原始状态的密实度情况。初始工艺如图1所示, 工艺布局为1箱2件, 浇道从钩身部位进入铸件, 为了减少浇注系统气割、气刨面积, 内浇道末端高度为25 mm, 如图1所示。

2 数值模拟结果与分析

本次数值模拟在网格划分时将模型划分为7个可变网格区域, 各区域依次为左边缘、左钩头、左钩身、浇注系统及钩尾、右钩身、右钩头、右边缘, 网格数量分别为10、90、55、70、55、90、10, 如图2所示。由于材料库中没有E级钢材质, 因此选取含碳量相近的SM25C。设置换热系数时, 参照其他模拟案例, 将空气与铸件、模型间设为 $0.001 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$, 铸件与模型设为 $0.1 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ 。浇注温度 1580°C , 浇口半径30 mm, 选择直接浇注, 根据实际30 s的充型时间, 得出浇

作者简介:

郑宝堂(1985-), 男, 高级工程师, 从事铁路货车车钩铸件铸造工艺的设计工作。电话: 15946265273, E-mail: zhengbaot@163.com

中图分类号: TG24

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2021)05-0609-06

收稿日期:

2020-12-08 收到初稿,
2021-02-26 收到修订稿。

注速度约为75 cm/s。激活重力设置、收缩模型重力收缩、表面张力、湍流、氧化/夹渣等模块，结束条件设为凝固率为100%时结束。设置内容如表1所示。

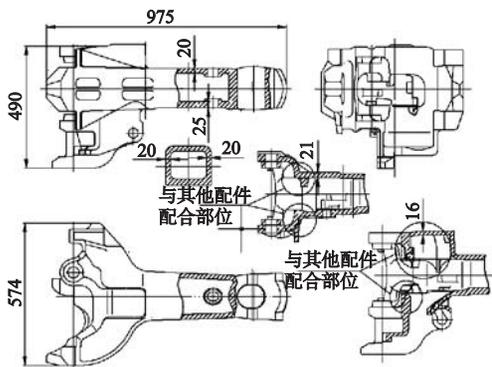
2.1 充型过程分析

通过充型分析可以看出，在浇注过程中，钢液首先从钩身部位进入铸型，然后从前后两侧分别填充钩头与钩尾，随着钢液持续浇注，慢慢填充整个型腔，直至最后填充冒口、排气针，充型顺序如图3a所示。在整个浇注过程中时，由于浇注系统内浇道末端上扬，导致钢液进入型腔时，在钩身部位流动受阻，

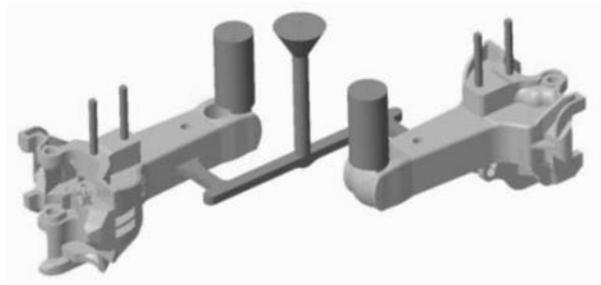
打破原来层流状态，形成紊流。同时，向上持续冲刷浇口对应部位的砂芯（如图3b），极易造成该部位掉砂，砂粒随钢液从该部位向两侧流动，容易造成附近部位的夹砂缺陷，因此，应该对浇注系统进行改进，以改变钢液进入型腔时的流动状态，形成层流，减少对砂芯的冲击。

2.2 凝固过程分析

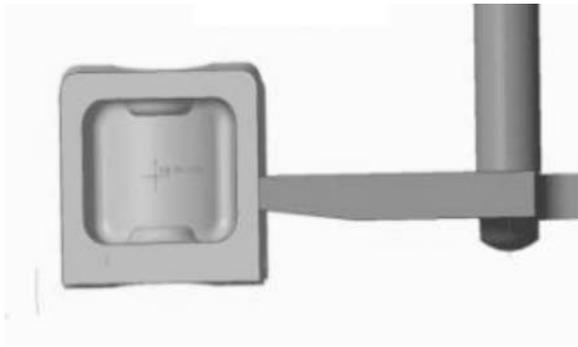
17型车钩钩体凝固过程数值模拟结果如图3所示。通过对凝固时间及凝固顺序的数值模拟结果进行分析可以看出，在铸件未采取任何工艺措施的情况下，在



(a) 铸件轮廓及壁厚示意图



(b) 工艺布局



(c) 内浇道末端



(d) 现场造型照片

图1 铸件轮廓、工艺布局及现场造型

Fig. 1 Casting profile, preliminary process layout and on-site molding

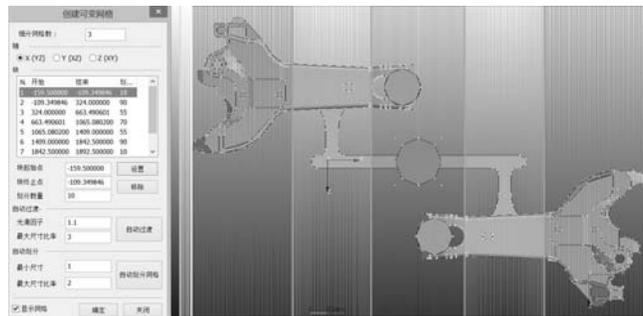


图2 网格划分中可变网格区域及数量

Fig. 2 Area and number of variable grid

钢液凝固过程中在各个热节部位形成孤立液相，其余钢液不能对这些部位进行补缩，进而产生缩孔，如图4a所示。进一步通过“概率缺陷参数”功能选择“残余熔体模数”逐层观察缺陷部位^[3]，每一层存在的缩孔如图4b-4i所示，为了方便观测缩孔缺陷在钩体上的部位，对图示缺陷所在的截面在钩体俯视图上做出标记，如图4j所示。

3 实物验证

为了验证AnyCasting软件数值模拟的结果是否准确，投产了2箱与数值模拟状态相同的钩体，按数值

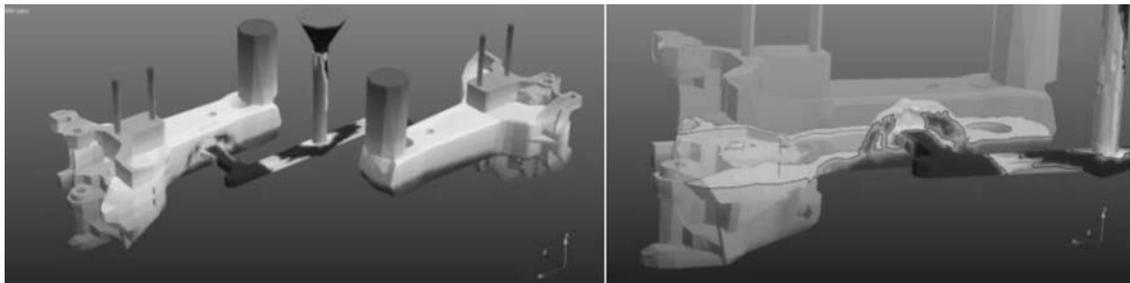
模拟时的缺陷部位逐层锯切解剖，查看内部密实度状况，如图5所示。

由以上的密实度照片可以看出，在数值模拟的过程中出现缩孔缺陷的部位，经锯床解剖实物后进行验证，实物缩孔情况基本与数值模拟情况相符，从而验证了AnyCasting软件数值模拟结果的可靠性，原始状态实物解剖缺陷评定等级如表2。

铁路货车车钩采购、验收的技术标准为TB/T456—2008《机车车辆用车钩、钩尾框》^[1]，标准中对需要检测密实度的部位及相应等级的规定如图6及表3所示。

表1 数值模拟分析前设置内容
Table 1 Setting contents before numerical simulation analysis

铸造类型	材质	换热系数/(cal·cm ² ·s ⁻¹ ·°C ⁻¹)		初始温度/°C	浇注温度/°C	浇口半径/mm	浇注速度/(cm·s ⁻¹)
		空气-铸件/模型	铸件-模型				
砂型铸造	SM25C	0.001	0.1	25	1 580	30	75

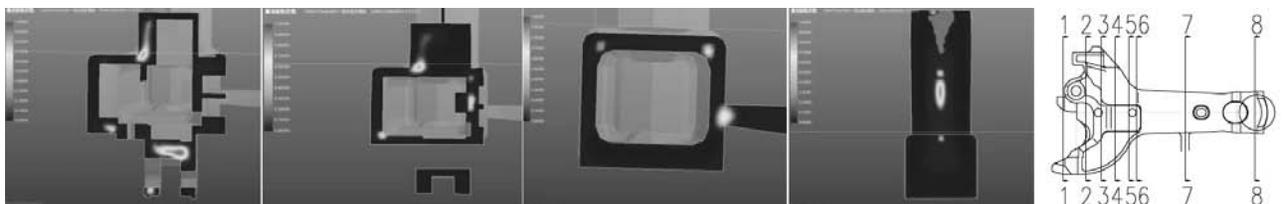


(a) 铸件充型顺序 (b) 钢液对砂芯的冲刷

图3 利用Anycasting进行充型分析
Fig. 3 Simulation results of mold filling process



(a) 孤立液相区 (b) 截面1缩孔 (c) 截面2缩孔 (d) 截面3缩孔 (e) 截面4缩孔



(f) 截面5缩孔 (g) 截面6缩孔 (h) 截面7缩孔 (i) 截面8缩孔 (j) 各截面剖切部位图

图4 数值模拟缩孔缩松缺陷及其所在部位的截面示意图

Fig. 4 Schematic diagram showing simulated shrinkage and porosity defects and location at cross section

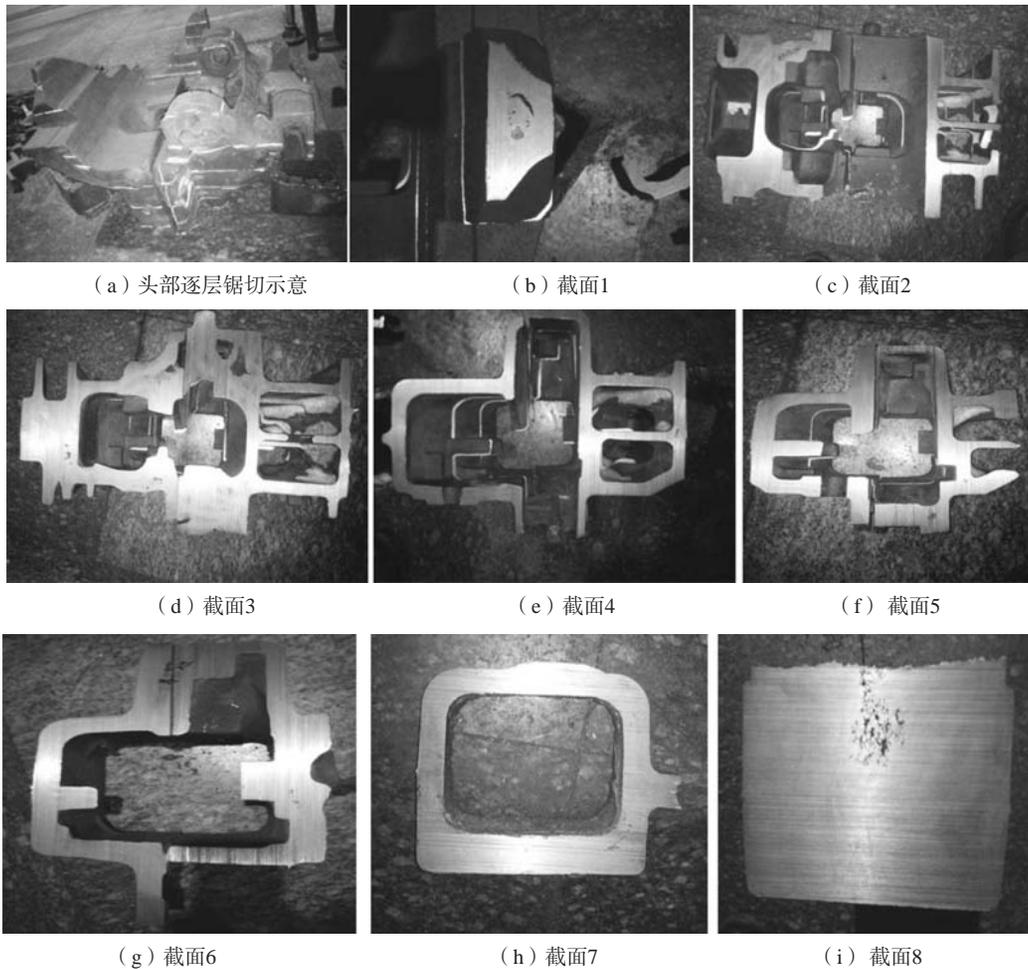


图5 初始工艺状态实物解剖部位的缩孔缩松

Fig. 5 Shrinkage and porosity defects of dissected coupler produced using preliminary casting process

表2 初始工艺状态实物解剖部位及缺陷评定等级

Table 2 Dissected positions and defect evaluation grade/level of casting produced by preliminary casting process

截面1	截面2	截面3	截面4	截面5	截面6	截面7	截面8
5	5	6	3	3	3	2	6

4 铸造工艺改进后的实施结果

根据产品的技术要求, 结合上述数值模拟结果, 采取相应的工艺措施进行改进: ①在钩头原排气针部位及上钩耳部位设置发热保温冒口; ②在图4j中截面2、3、6部位的上下箱砂型设置随型外冷铁; ③在截面2、3部位内腔设置内冷铁; ④尾部冒口由明冒口改为发热保温暗冒口, 改善补缩效果; ⑤改进内浇道结构, 使钢液充型方式由上扬充型改为向下缓坡充型; ⑥在截面3内腔上下牵引台之间设置暗冒口; ⑦在截面4右侧内腔砂芯设置随型外冷铁。改进后的解剖部位实物图如图7所示。可以看出, 改进后铸件的剖面基本没有发现缩孔缩松缺陷, 各解剖面密实度等级为1~2级, 完全满足技术标准要求。

表3 17型钩体评定区域内的缺陷允许的最大等级

Table 3 The maximum allowable level of defects in assessment area of type 17 coupler

评定部位	A	B	C	D	E	F	G
钩体头部位置	3	5	4	4	4	2	3
钩体钩身位置	3	4	4	4			

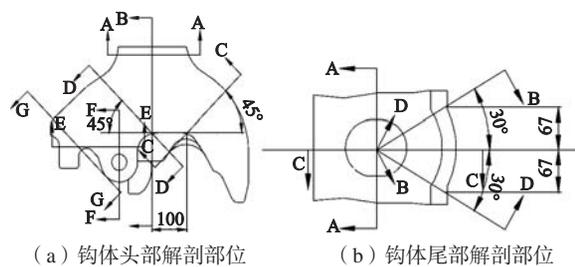


图6 17型钩体密实度解剖部位

Fig. 6 Sectional positions for compactness assessment of type 17 coupler

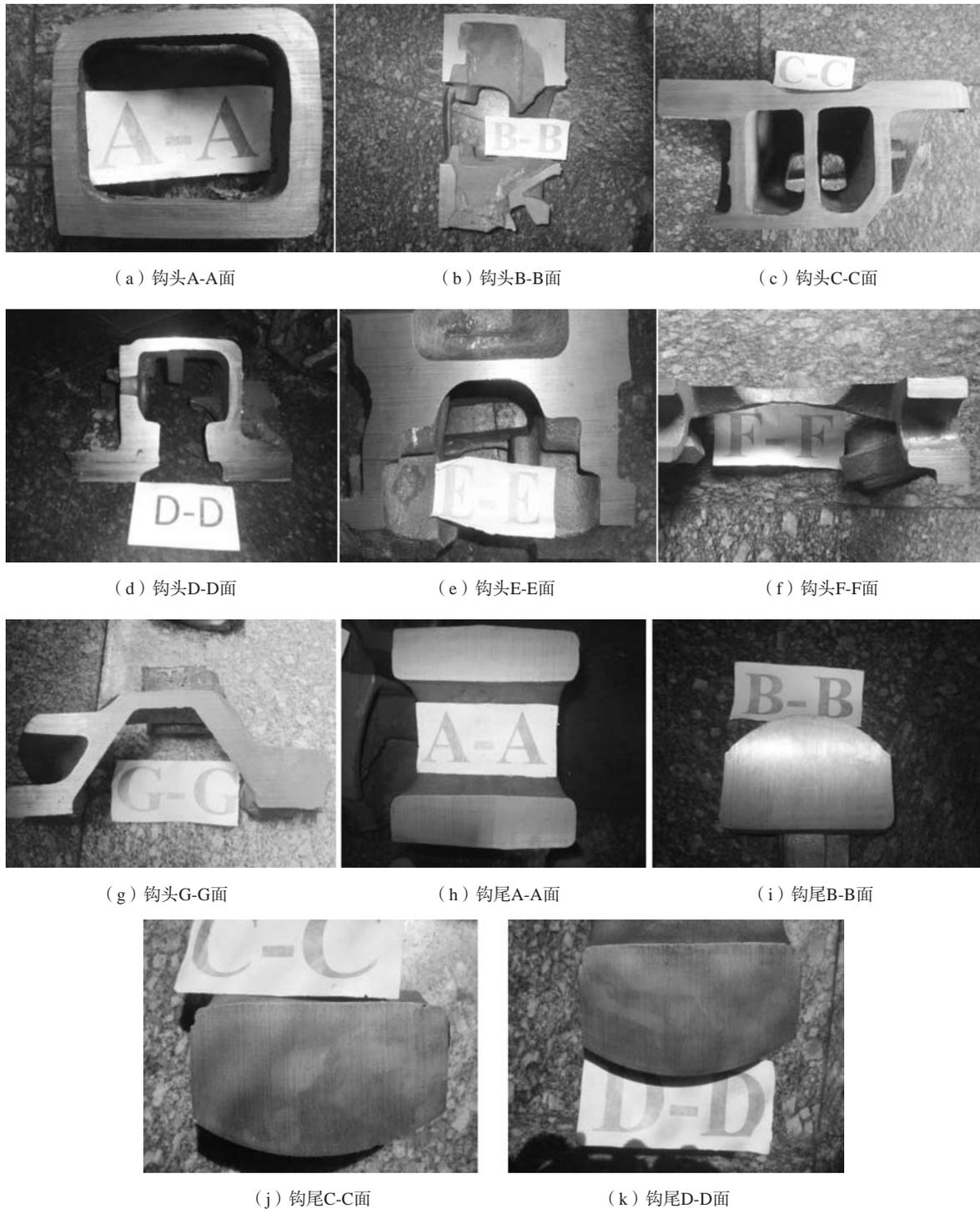


图7 工艺改进后解剖照片

Fig. 7 Photos of dissected coupler produced using improved casting process

5 结论

(1) 利用AnyCasting软件对车钩钩体进行充型分析, 可以观察浇注过程中钢液的充型顺序及流动状态, 检验浇注系统的合理性, 为工艺优化提供提前预判。

(2) 通过凝固分析结果与实物解剖结果的对比, 可以看出数值模拟分析的结果较为准确, 与实物解剖的结果基本一致, 可以为合理地设计铸造工艺提供前期参考。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国铁道部. 机车车辆用车钩、钩尾框: TB/T 456-2008 [S]. 北京: 中国铁道出版社, 2008.
- [2] 王春山. 铁路货车铸造技术——摇枕、侧架、车钩 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2014.
- [3] 樊安国. ProCAST铸造模拟技术在车钩上的应用 [J]. 机车车辆工艺, 2004 (4): 39-40.

Analysis and Verification of Casting Process of Railway Freight Vehicle Cast Steel Coupler Body by Sand Casting

ZHENG Bao-tang

(Steel Casting Branch of CRRC Qiqihar Rolling Stock Co., Ltd., Qiqihar 161002, Heilongjiang, China)

Abstract:

The preliminary process capability analysis of 17 type coupler steel castings for railway freight cars was carried out by using AnyCasting software numerical simulation technology. The shrinkage and porosity defects in the castings were predicted. The accuracy of numerical simulation results was verified by the actual casting production and dissection inspection of coupler casting. After the process measures are taken, the qualified coupler castings were obtained.

Key words:

numerical simulation; coupler; compactness; grade E steel
