

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.09.006

## 提高车钩钩舌疲劳寿命的研究

杨首彦<sup>1</sup>, 韩 宝<sup>2</sup>, 王虎明<sup>2</sup>, 张挨元<sup>2</sup>, 王 瑞<sup>2</sup>

(1. 中国铁路呼和浩特局集团有限公司 包头车辆监造项目部, 内蒙古 包头 014030; 2. 内蒙古第一机械集团有限公司, 内蒙古 包头 014030)

**摘 要:**通过对不同工艺生产的 E 级钢钩舌实物性能指标、显微组织的分析及对比,研究钩舌的疲劳性能。指出了成分和热处理方式对钩舌疲劳性能的影响,为提高钩舌综合力学性能提供了研究方向。

**关键词:**铸造钩舌;钩舌工艺;力学性能;疲劳性能

中图分类号: TG115

文献标识码: A

文章编号: 1000-8365(2019)09-0907-04

### Study on Improving Fatigue Life of Coupler Knuckle

YANG Shouyan<sup>1</sup>, HAN Bao<sup>2</sup>, WANG Huming<sup>2</sup>, ZHANG Aiyuan<sup>2</sup>, WANG Rui<sup>2</sup>

(1. Baotou Vehicle Supervision and Manufacture Project Department of China Railway Hohhot Bureau Group Co., Ltd., Baotou 014030, China; 2. Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd., Baotou 014030, China)

**Abstract:** The fatigue properties of coupler hook tongue were studied by analyzing and comparing performance and microstructure of E-grade coupler hook tongues which produced by different processes. The effects of composition and heat treatment on the fatigue performance of the hook tongues were pointed out, which provided a research direction for improving the comprehensive mechanical properties of the hook tongue.

**Key words:** casting hook tongues; hook tongues technology; mechanical properties; fatigue property

钩舌是连接铁路机车与车辆之间的关键部件,它直接关系到列车的运行安全和可靠性。随着铁路运输不断向高速和重载方向发展,列车的纵向冲击力急剧增加,车钩钩舌接触面摩擦磨损严重,因此在保证钩舌强度的同时,疲劳性能也必须得到提高,疲劳试验结果表明,选择合适的强度与韧性匹配能更好的提高钩舌的疲劳寿命<sup>[1]</sup>,而韧性是强度和塑性的综合体现,高强度低塑性或低强度高塑性的材料都不具备良好的韧性。

本文采用不同工艺生产两批次各 10 件钩舌(标记为钩舌 1 和钩舌 2)并进行相关性能检测,指出了不同工艺对钩舌疲劳性能的影响。

### 1 铸件的结构特点及工艺

公司生产的为外贸 E 型车钩用 E 型钩舌,钩舌结构如图 1 所示。钩舌轮廓尺寸 278 mm×壁厚不均



图 1 钩舌结构三维图

Fig.1 The three-dimension diagram of knuckle

匀。钩舌所用材质为符合 AAR-M201 的 E 级钢,该钢种化学成分及力学性能如表 1 和表 2 所示。生产方式采用自动化水玻璃自硬砂造型线生产,冶炼采用 20 t 高功率偏心底碱性电弧炉和 25 t LF 钢包精炼炉双联工艺,采用氧化法进行冶炼。

表 1 E 级钢化学成分 w(%)

Tab.1 Chemical composition of grade E steel

| C     | Mn    | Si    | P     | S     |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| ≤0.32 | ≤1.85 | ≤0.40 | ≤0.04 | ≤0.04 |

表 2 E 级钢力学性能

Tab.2 Mechanical properties of grade E steel

| 抗拉强度 | 屈服强度 | 伸长率 | 断面收缩率 | 冲击吸收功      |
|------|------|-----|-------|------------|
| /MPa | /MPa | (%) | (%)   | /J         |
| ≥827 | ≥690 | ≥14 | ≥30   | ≥40 (-40℃) |

收稿日期: 2019-04-19

作者简介: 杨首彦(1968-),内蒙古包头人,本科,高级工程师。

主要从事铸造工艺及设备。电话: 13514897085,

E-mail: ysy22000@sina.com

通讯作者: 韩 宝(1987-),内蒙古乌兰察布人,硕士生,工程师。

主要从事铸造工艺技术及铸造新材料、新方法。

电话: 18647232782, E-mail: hbxc2018@163.com

## 2 钩舌工艺准备及性能检测

### 2.1 工艺及冶炼方案准备

钩舌 2 增加工艺为: S 面增加 58 mm×60 mm×18 mm 外冷铁 2 块, S 面及上下牵引颈部覆铬铁矿砂 20~30 mm, 外模芯子(1#、5# 芯)不刷涂料。内腔芯子用树脂砂制芯, 树脂含量 1.9%~2.2%。刷醇基锆英粉快干涂料, 其他与钩舌 1 工艺相同。

成分范围控制按表 1 执行, 电弧炉调整成分, 还原后出钢。稀土包内投入, 加入时机为出钢 1/4~1/3 时加入, 按 0.5 kg/t 加入。钛合金在精炼后期加入。浇注温度控制在 1 560~1 580 ℃。浇注速度控制在 15~25 s。冒口溢流时停止浇注。停顿 3~4 s 后点注一次。浇注时进行引火操作, 稀土只在钩舌 2 中加入, 其他工艺与钩舌 1 相同。

### 2.2 钩舌化学成分控制

前期工艺准备对成分进行了控制, 并从钩舌 1、钩舌 2 实物上试块部位取样进行化学成分分析, 利用同一台 ARL3460 光谱分析仪对试样进行化学成分检测, 结果见表 3。

表3 钩舌化学成分 w(%)  
Tab.3 Chemical composition of knuckle B

| 批次   | C    | Si   | Mn   | S     | P     | Cu   | Ni   | Cr   | Mo   | Al    |
|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| 钩舌 1 | 0.27 | 0.27 | 1.26 | 0.01  | 0.009 | 0.10 | 0.52 | 0.44 | 0.28 | 0.045 |
| 钩舌 2 | 0.24 | 0.37 | 1.36 | 0.012 | 0.003 | 0.05 | 0.53 | 0.43 | 0.21 | 0.031 |

其中钩舌 2 采用复合脱氧剂“硅钡铝”代替部分铝脱氧。精炼前加硅钡铝 10~20 kg 调整减少铝线

喂入量, 并最终将钢中铝含量控制在 0.025%~0.040%。精炼炉出钢喂铝线后, 采用投入法在钢液中加入 0.05%~0.08% 的稀土。

### 2.3 钩舌热处理控制及性能检测

对钩舌 1 和钩舌 2 分别采取不同的热处理工艺, 利用 30 t 万能试验机及冲击试验机进行力学性能检测, 检测结果见表 4。

另外钩舌 2 增加了预备热处理: 正火改善铸件的成分和组织的不均匀性, 改善和调整铸件的力学性能为调质热处理工序做好组织性能准备; 调质热处理时根据淬火硬度确定回火温度。

### 2.4 金相检测

从试样 1、试样 2 上取样进行抛光并用 4% 的硝酸酒精溶液浸蚀, 然后在 NEOPHOT21 金相显微镜下观察其组织, 发现试样 1 呈树枝晶分布的回火索氏体+少量不规则铁素体和回火索氏体混合分布, 组织仍有粗的晶粒, 组织未完全奥氏体化。而试样 2 组织均匀、细小, 为回火马氏体+残余奥氏体, 见图 2。

### 2.5 疲劳试验

试验载荷为满足钩舌技术要求的试验载荷频率进行试验; 试验要求每个钩舌应被实施试验载荷直到每个试验钩舌失效, 失效定义为钩舌的任何部分与母体分离。进过认可的 4 个试验钩舌测得的平均寿命必须超过 600 000 次且无一个钩舌的寿命在 400 000 次以下。

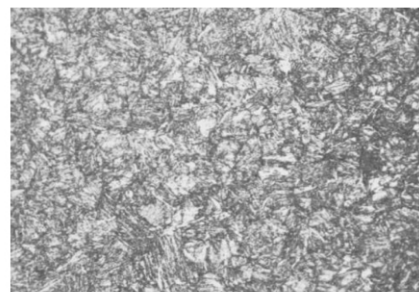
将两种钩舌分别取 4 件, 在同一疲劳试验台相同的条件下进行疲劳试验, 钩舌 1 试验数据见表 5。

表 4 钩舌热处理及物理性能  
Tab.4 Heat treatment and physical properties of knuckle

| 钩舌批次 | $R_m$ /MPa | $R_{el}$ /MPa | A (%) | Z (%) | $k_{J-40}$ ℃ | 非金属夹杂物     | 热处理工艺           |
|------|------------|---------------|-------|-------|--------------|------------|-----------------|
| 钩舌 1 | 970        | 875           | 18.0  | 49.5  | 50           | Ⅳ型细系 5 级   | 890 ℃淬火+550 ℃回火 |
|      | 935        | 840           | 18.0  | 52.0  | 40           |            | 890 ℃淬火+570 ℃回火 |
|      | 885        | 785           | 20.0  | 54.5  | 50           |            | 890 ℃淬火+590 ℃回火 |
| 钩舌 2 | 970        | 845           | 18.5  | 52.0  | 80           | Ⅲ型细系 1.5 级 | 910 ℃淬火+550 ℃回火 |
|      | 935        | 835           | 20.0  | 54.5  | 82           |            | 910 ℃淬火+570 ℃回火 |
|      | 885        | 775           | 22.0  | 59.5  | 102          |            | 910 ℃淬火+590 ℃回火 |



(a)试样 1×400



(b)试样 2×400

图 2 试样的金相组织

Fig.2 The microstructure of specimen 1 and 2

表 5 疲劳试验频次统计  
Tab.5 Frequency Statistics of fatigue test

| 批次   | 检验项目 | 检验结果    |         |         |         | 平均频次    |
|------|------|---------|---------|---------|---------|---------|
|      |      | 铸件 A    | 铸件 B    | 铸件 C    | 铸件 D    |         |
| 钩舌 1 | 疲劳试验 | 489 948 | 453 975 | 447 534 | 483 507 | 468 741 |
| 钩舌 2 | 疲劳试验 | 848 712 | 792 467 | 609 579 | 553 334 | 701 023 |

可以看出,钩舌 1 试验的 4 个钩舌平均试验频次为 468 741 次,没有达到 AAR M-216 中要求的平均频次达到 600 000 次的要求,试验失败。而钩舌 2 最低频次为 553 334 次,平均频次达到 701 023 次,满足技术条件要求。

3 分析与讨论

对钩舌 1 断裂的位置进行了解剖分析,见图 3。由图可知,断裂位置均为非正常部位,其中铸件 1-B 断裂位置为牵引台,从断裂位置来看,断裂部位存在夹杂物,1-A、1-C、1-D 断裂部位均为“S”面,在钩舌耳孔与“S”面衔接上箱部位存在缩孔,下箱部位存在夹杂物,夹杂为未彻底凝固形成,由表 4 也能

证明夹杂物等级严重超标,附带微小缩孔、缩松,对钩舌 1-A “S”面进行了解剖,可以看出在钩舌耳孔与“S”面衔接上、下箱部位存在缩孔。

图 4 为钩舌 2 断裂位置和“S 面”解剖位置图。由图可见,断裂位置均为钩舌牵引台部位,断裂部位平齐光滑,属于钩舌正常断裂部位,及杂物等级合格“S 面”解剖位置密实度合格。

钩舌 2 采用低碳 Cr-Ni-Mo 合金,由表 2 可见钩舌 2 中 C、Si、含量明显高于钩舌 1,而 Mo 的含量要小于钩舌 1,C 含量越大,强度越高,但会大大降低材料的韧性,增加焊后裂纹倾向,硅能促进先共析铁素体的形成,在贝氏体转变期间,抑制碳化物的形成。钢中加入适量的钼,能减轻钢的回火脆性倾向,



图 3 钩舌 1 断裂部位及形貌  
Fig.3 Position and images of break 1

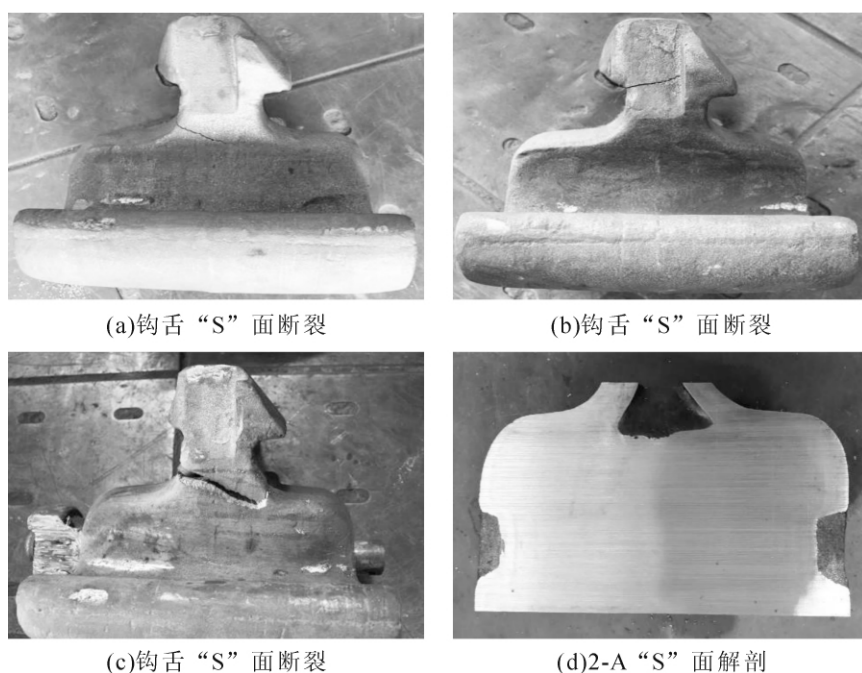


图4 钩舌2断裂部位及形貌

Fig.4 Position and images of break 2

能进一步提高钢的淬透性,铬钼钢具有高的抗拉强度与良好塑性的结合。铬在钢的回火过程中能抑制碳化物的析出,从而有利于调质方法进行热处理。此外,含量在2%以下的铬能完全固溶于铁素体中,提高其强度,而不降低其塑性<sup>[2]</sup>,钢中的镍使铁的碳化物失去稳定并因此促进石墨化。镍通过形成简单的置换固溶体起到强化铁素体的作用,镍起着进一步细化晶粒的作用<sup>[3]</sup>。

钩舌1和钩舌2分别采用不同的热处理方式,由表3可知,采用890℃淬火加不同温度回火,强度较高,但塑性低,而910℃淬火加不同温度回火,虽然强度较低,但符合钩舌标准要求,同时塑性得到提高。从表5可见,钩舌2的疲劳性能得到大幅提高,说明钩舌疲劳性能不仅仅是基体强度不足,更是由于塑韧性不好而影响基体的抗疲劳强度,疲劳寿命并不是由强度或者韧性单独控制的,它与强韧性配合有密切的关系,材料试验及事实表明,金属材料的强度愈高,则其缺口敏感性和裂纹敏感性愈高,其低应力使用状态下断裂的情况愈易发生<sup>[4]</sup>。要想兼顾钩舌的疲劳性能,需合理控制冶炼和热处理工艺。通过合金成分的微调 and 热处理方式的改变,得到理想的金相组织和力学性能。

钩舌2加入少量稀土,稀土在高温区具有显著细化奥氏体晶粒尺寸的作用,同时具有抑制先共析铁素体相变的效果,稀土异常活泼,在高温下,同钢

中有害杂质作用,形成低密度化合物,有净化钢液作用,另外,稀土有微合金化作用,可以细化晶粒,改善钢的疲劳性能。夹杂物在钢中是以不同于基体金属的额外相存在的,它可将完整的组织分隔开,使钢中组织变得不均匀,影响材料的性能,稀土元素可以吸附其它杂质元素,减少夹杂物且改变夹杂物的分布,减少夹杂物在晶界的偏聚,有利于提高材料的力学性能。

## 4 结论

(1)在要求范围内适当改变成分并加入稀土微合金化元素,使钩舌的综合性能得到改善。

(2)热处理方式对钩舌疲劳性能有很大的影响,实际生产中需兼顾钩舌的塑、韧性,提供合理的热处理方式。

(3)改进钩舌工艺并加强过程控制,使产品质量和性能的稳定性进一步提高。

## 参考文献:

- [1] 李辉,秦晓峰,姜岩,等. 强韧性配合对铁路货车钩舌疲劳性能的影响[J]. 机车车辆工艺, 2016:44-46.
- [2] 陆文华. 铸造合金熔炼[M]. 机械工业出版社, 2007.
- [3] 刘会龙,于普明,徐堃,等. 提高货车用铸造钩舌疲劳寿命的研究[J]. 铸造, 2017, 66(7):754-756.
- [4] 陆阳. 消除国产E级钢车钩疲劳裂纹的探讨[J]. 铸造, 2008, 57(6):592-595.