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[1],韩　宝[2],王虎明[2],张挨元[2],王　瑞[2]

(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[1], HAN Bao[2], WANG Huming[2], ZHANG Aiyuan[2], WANG Rui[2]

(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[1],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。

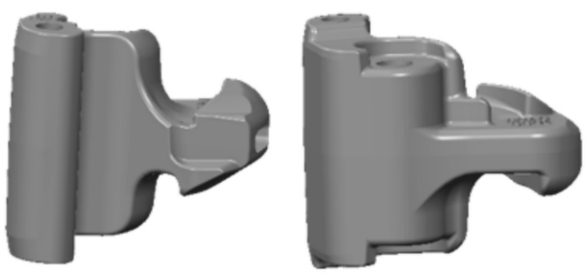


图1 钩舌结构三维图
Fig.1 The three-dimension diagram of knuckle

**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 /MPa | 屈服强度 /MPa | 伸长率 (%) | 断面收缩率 (%) | 冲击吸收功 /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:ysya22000@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 钩舌化学成分检控制

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 分别采取不了同的热处理工艺，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。

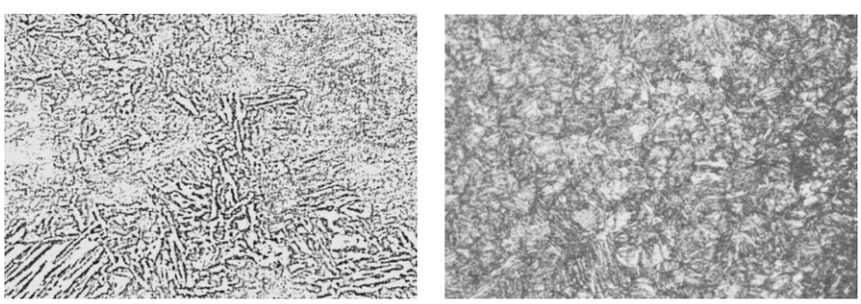
### 2.5 疲劳试验

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 | $A$(%) | $Z$(%) | $k_V$/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 |

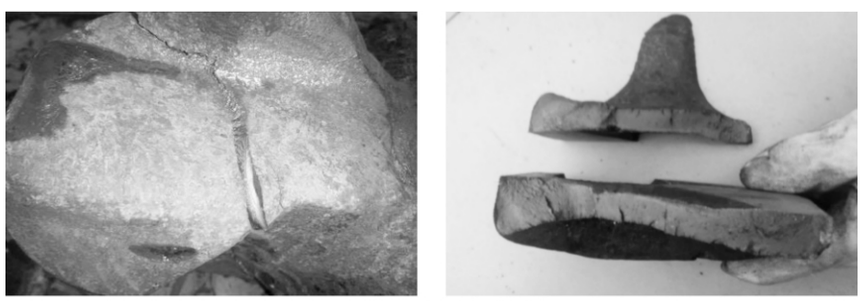
可以看出，钩舌 1 试验的 4 个钩舌平均试验频次为 468 741 次，没有达到 AAR M-216 中要求的平均频次达到 600 000 次的要求，试验失败。而钩舌 2 最低频次为 553 334 次，平均频次达到 701 023 次，满足技术条件要求。

## 3　分析与讨论

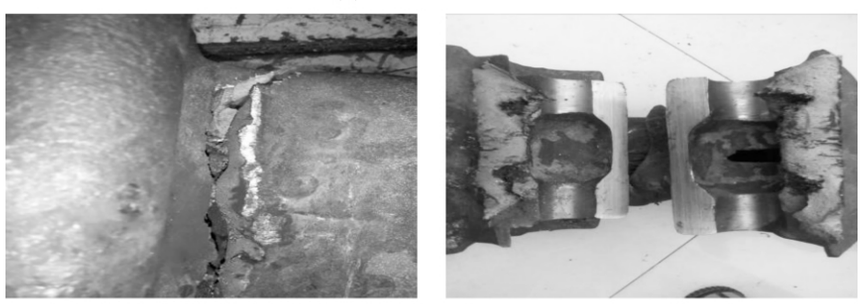
对钩舌 1 断裂的位置进行了解剖分析，见图 3。由图可知，断裂位置均为非正常部位，其中铸件 1-B 断裂位置为牵引台，从断裂位置来看，断裂部位存在夹杂物，1-A、1-C、1-D 断裂部位均为“S”面，在钩舌耳孔与“S”面衔接上箱部位存在缩孔，下箱部位存在夹杂物，夹杂为未彻底凝固形成，由表 4 也能证明夹杂物等级严重超标，附带微小缩孔、缩松，对钩舌 1-A “S”面进行了解剖，可以看出在钩舌耳孔与“S”面衔接上、下箱部位存在缩孔。

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。

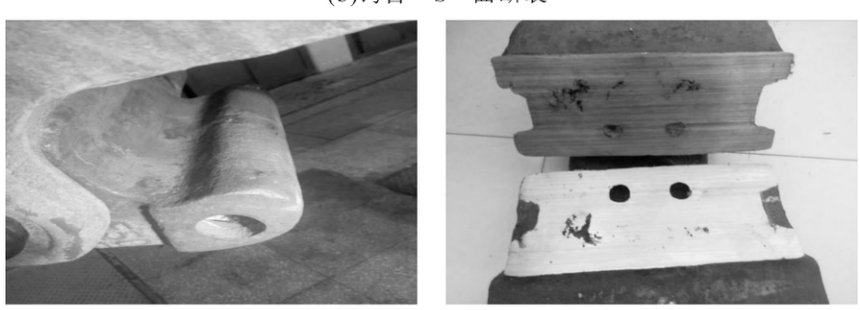
钩舌 2 采用低碳 Cr-Ni-Mo 合金，由表 2 可见钩舌 2 中 C、Si、含量明显高于钩舌 1，而 Mo 的含量要小于钩舌 1，C 含量越大，强度越高，但会大大降低材料的韧性，增加焊后裂纹倾向，硅能促进先共析铁素体的形成，在贝氏体转变期间，抑制碳化物的形成。钢中加入适量的钼，能减轻钢的回火脆性倾向，



(a)钩舌牵引台断裂

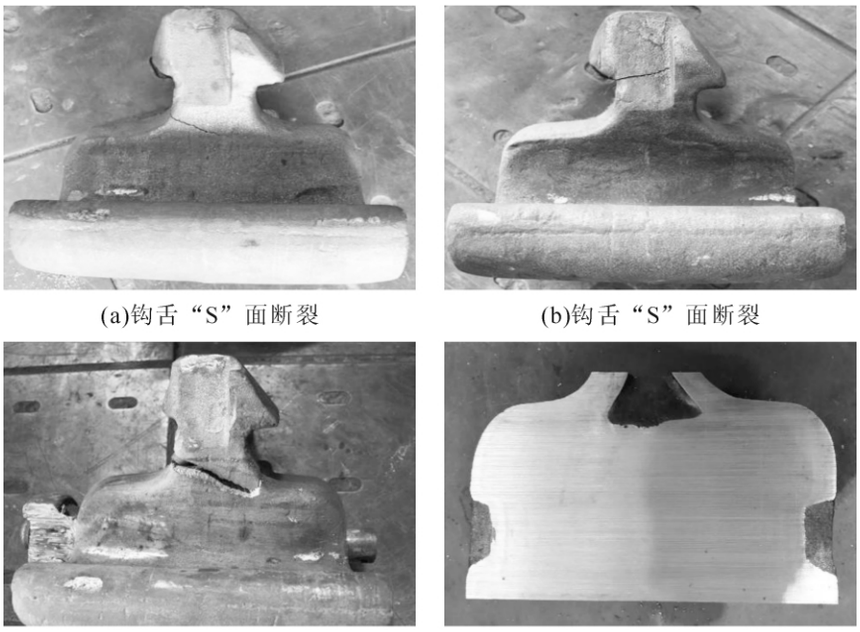


(b)钩舌“S”面断裂



(c)1-A“S”面解剖

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



(a)钩舌“S”面断裂　(b)钩舌“S”面断裂

(c)钩舌“S”面断裂　(d)2-A“S”面解剖

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[2]，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[3]。

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裂断的情况愈易发生[4]。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和热处理方式的改变，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，它能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，秦晓锋，姜岩，等. 强韧性配合对铁路货车钩舌皮劳性能的影响[J]. 机车车辆工艺，2016：44-46.

[2] 陆文华. 铸造合金机器熔炼[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.