控制钢轨热处理过程中异常组织的热模拟研究*

梁正伟[1],何建中[2],李智丽[3],周乐育[4]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁轧钢厂,内蒙古 包头 014010;
2. 包钢(集团)公司总工室,内蒙古 包头 014010;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
4. 北京机电研究所,北京 100083)

摘 要: 实验室利用MMS-200型热模拟试验机研究了钢轨热处理过程中异常组织的转变及其控制,分析了异常组织转变的影响因素,从而避免了钢轨实际热处理过程中产生异常组织。

关键词: 热模拟; 异常组织; 热处理
中图分类号: TG113.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)04-0012-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.04.003

Thermal Simulation Study on Controlling Abnormal Microstructure During Rail Heat Treatment

LIANG Zheng-wei[1], *HE Jian-zhong*[2], *LI Zhi-li*[3], *ZHOU Le-yu*[4]

(1. *Rail and Beam Plant of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
2. *Chief Engineer Office of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
3. *Technical Center of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp.*, *Baotou* 014010, *Nei Monggol*, *China*;
4. *Beijing Research Institute of Mechanical & Electrical Technology*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract: By using the MMS-200 thermal simulation tester in laboratory, the transformation and control of abnormal microstructure during rail heat treatment are studied, the influencing factors of abnormal microstructure transformation are analyzed, so as to avoid the generation of abnormal microstructure during the actual heat treatment.

Key words: thermal simulation; abnormal microstructure; heat treatment

铁路轨道是铁路交通的重要基础,钢轨的质量、性能和其使用寿命都直接影响到铁路运输的效率和安全。随着我国高速铁路以及货运重载列车的大规模发展,使得对于铁路轨道的安全性和抗磨损性能提出了更高的要求[1]。钢轨通过提高纯净度、增加有利的合金元素等方法可以在一定程度上提高性能。通过对不同材质的钢轨进行相应的热处理可以较少的加工费用较大地提高钢轨的性能,具有非常高的使用价值[2]。

本文针对在线热处理调试过程中产生异常组织的钢轨,在实验室利用MMS-200型热模拟试验机对其进行了实验研究,通过其热处理过程中的组织转变及控制,分析了异常组织转变的影响因素,从而避免了实际生产过程钢轨在线热处理异常组织的产生。

1 试验方案

高强度级别的钢轨(≥1 080 MPa),由于合金元素Mn、Cr等的加入,容易在连铸坯的心部产生正偏

* 收稿日期: 2017-05-08
作者简介: 梁正伟(1970-),男,河南省洛阳市人,硕士,高级工程师,主要从事大型材工艺、质量管理工作。

析[3]，经轧制后遗传在钢轨的轨腰及上、下三角区，在后续在线热处理过程中易产生异常组织。本实验取样部位为易产生异常组织的钢轨轨腰中心区域，在该区域沿钢轨的轧制方向取样，经机加工制成 Φ8 mm × 12 mm的热模拟试样，在 MMS－200 型热模拟试验机上进行试验研究。设计了 6 组热模拟工艺试验，详见表 1。

将热电偶焊接在试样的长轴方向的中心，焊接好后安装于热模拟试验机中，在程序界面内按照表 1 设计的实验工艺输入参数依次进行试验。

表 1　热模拟试验工艺

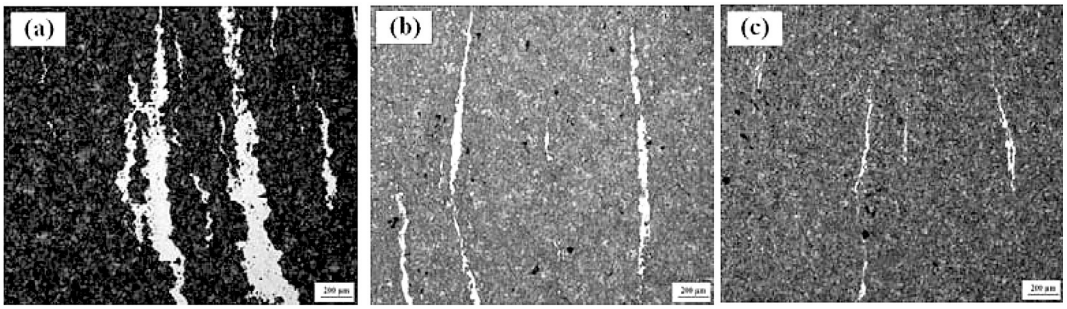
工艺组	试　验　工　艺
1	以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 冷到 520 ℃分别保温 60 s、90 s、120 s 后快冷到室温。
2	以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 冷到 560 ℃分别保温 60 s、90 s、120 s 后快冷到室温。
3	以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 冷到 600 ℃分别保温 90 s、120 s 后快冷到室温。
4	以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 冷到 520 ℃，再快速加热反温到 600 ℃，分别保温 30 s、60 s 后快冷到室温。
5	以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 分别冷到 520 ℃，再快速加热反温到 570 ℃、550 ℃，分别保温 60 s 后快冷到室温。
6	以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 分别冷到 450 ℃、470 ℃、490 ℃，再快速加热反温到 600 ℃，分别保温 60 s 后快冷到室温。

2　试验结果及分析

试样经每一组热模拟试验工艺后，用线切割沿试样纵向轴心剖开进行了组织检测分析，并依据试验结果进行下一步的方案设计调整。

2.1　热模拟工艺组 1 的试验结果

首先，模拟实际生产条件设计了热模拟工艺组 1，以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 冷到 520 ℃分别保温 60 s、90 s、120 s 后快冷到室温。其组织检验结果为珠光体和马氏体，随着保温时间的延长，条带状马氏体减少，分别见图 1(a)—(c)。

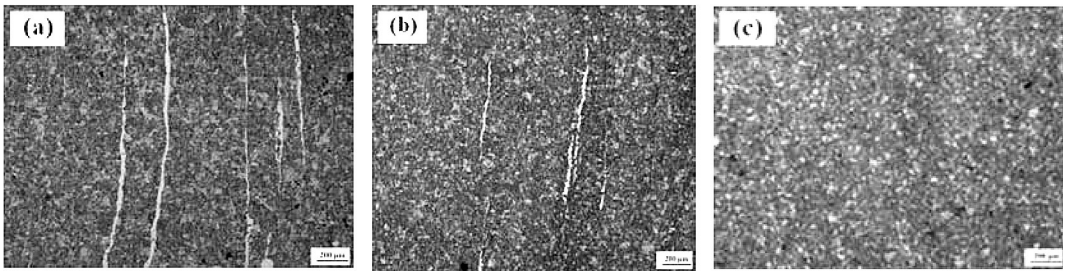


(a) 珠光体加马氏体 520 ℃ × 60 s　　(b) 珠光体加少量马氏体 520 ℃ × 90 s　　(c) 珠光体加马氏体 520 ℃ × 120 s

图 1　热模拟工艺组 1 的组织形貌

2.2　热模拟工艺组 2 的试验结果

热模拟工艺组 2 是在工艺组 1 的基础上，适当提高了珠光体的转变温度，以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 冷到 560 ℃分别保温 60 s、90 s 后快冷到室温。其组织检验结果分别为珠光体加马氏体和珠光体组织，提高珠光体转变温度后条状马氏体明显减少，转变时间足够长时在 120 s 可以转变为全部的珠光体组织，分别见图 2(a)—(c)。

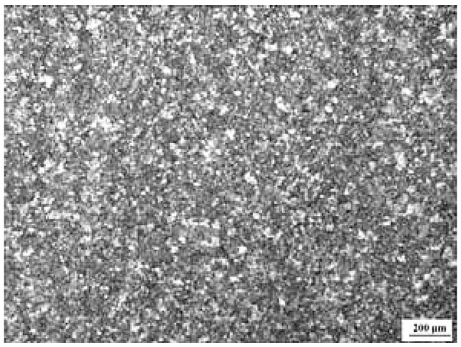


(a) 珠光体加少量马氏体 560 ℃×60 s　(b) 珠光体加微量马氏体 560 ℃×90 s　(c) 珠光体 560 ℃×120 s

图2 热模拟工艺组2的组织形貌

2.3 热模拟工艺组3的试验结果

热模拟工艺组3是在工艺2的基础上进一步提高珠光体的转变温度，以10 ℃/s将试样加热到930 ℃保温10 min奥氏体化后施加30%的压缩变形，然后以0.5 ℃/s的速度冷却到850 ℃，之后经90 s冷到600 ℃分别保温90 s、120 s后快冷到室温。其组织检验结果均为珠光体组织，见图3。当珠光体的转变温度提高到600 ℃时，珠光体转变时间缩短到90 s时可以获得完全的珠光体组织。



珠光体 600 ℃×90 s

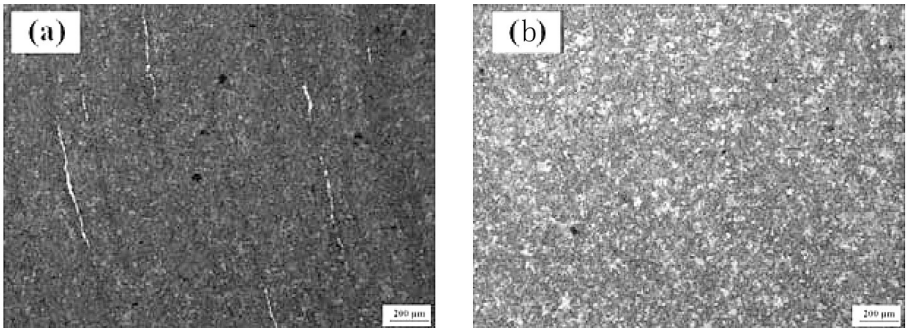
图3 热模拟工艺组3的组织形貌

2.4 热模拟工艺组4的试验结果

综合分析了热模拟工艺组1、2、3的试验结果，设计了热模拟工艺组4，以10 ℃/s将试样加热到930 ℃保温10 min奥氏体化后施加30%的压缩变形，然后以0.5 ℃/s的速度冷却到850 ℃，之后经90 s冷到520 ℃，再快速加热反温到600 ℃，分别保温30 s、60 s后快冷到室温。其组织检验结果分别为珠光体加微量马氏体和珠光体，分别见图4(a)—(b)。显微组织检测结果表明，后续到600 ℃，对进一步减少和消除条带状马氏体组织起到了明显的作用，从图4看出保温30 s时，带状马氏体组织明显减轻，保温60 s时可以获得完全的珠光体组织。

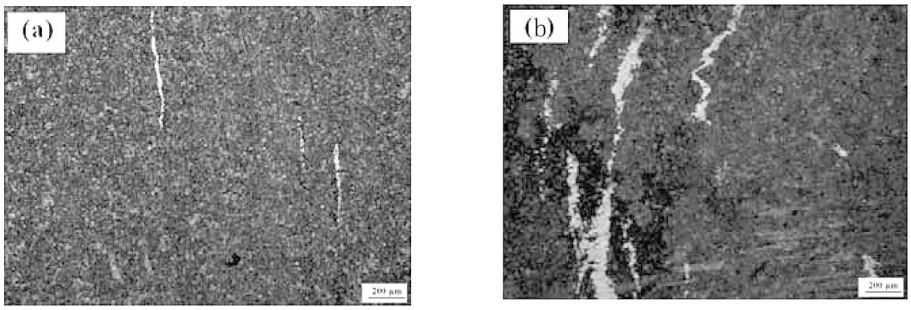
2.5 热模拟工艺组5的试验结果

在热模拟工艺4起到消除条带状马氏体组织的基础上，进一步摸索最佳工艺，设计了热模拟工艺组5，以10 ℃/s将试样加热到930 ℃保温10 min奥氏体化后施加30%的压缩变形，然后以0.5 ℃/s的速度冷却到850 ℃，之后经90 s分别冷到520 ℃，再快速加热到570 ℃、550 ℃，分别保温60 s后快冷到室温。其组织检验结果分别为珠光体和马氏体，分别见图5(a)—(b)。显微组织检验结果表明，降低温度后，不能起到消除条带状马氏体组织的作用。



(a) 珠光体加微量马氏体 反温到600 ℃×30 s　(b) 珠光体 反温到600 ℃×60 s

图4 热模拟工艺组4的组织形貌



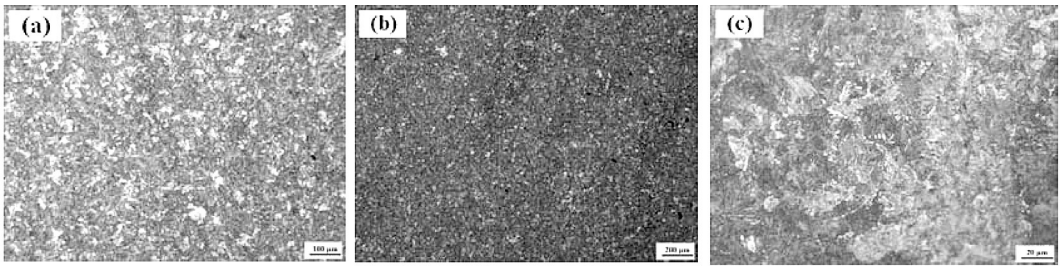
(a) 珠光体加微量马氏体
反温 570 ℃ ×60 s

(b) 珠光体加微量马氏体
反温 550 ℃ ×60 s

图 5　热模拟工艺组 5 的组织形貌

2.6　热模拟工艺组 6 的试验结果

进一步优化热模拟工艺，设计了热模拟工艺组 6，以 10 ℃/s 将试样加热到 930 ℃保温 10 min 奥氏体化后施加 30% 的压缩变形，然后以 0.5 ℃/s 的速度冷却到 850 ℃，之后经 90 s 分别冷到 490 ℃、470 ℃、450 ℃，再快速反温到 600 ℃，分别保温 60 s 后快冷到室温。其组织检验结果分别为珠光体和珠光体加贝氏体组织，分别见图 6(a)—(c)。如图 6(a)、(b) 所示冷到 490 ℃和 470 ℃再加热到 600 ℃保温 60 s 均获得了完全珠光体组织，如图 6(c) 所示冷到 450 ℃再加热到 600 ℃保温 60 s，组织中出现了贝氏体组织。贝氏体组织在珠光体型钢轨中也不允许存在[4]。



(a) 珠光体
冷到 490 ℃反温 600 ℃ ×60 s

(b) 珠光体
冷到 470 ℃反温 600 ℃ ×60 s

(c) 珠光体加贝氏体
冷到 450 ℃反温 600 ℃ ×60 s

图 6　热模拟工艺组 6 的组织形貌

2.7　热模拟试验结果分析

Mn、Cr 等合金元素的加入，能够使 C 曲线右移，推迟珠光体转变，从而提高钢的淬透性[3,5]，本试验中，取样部位为钢轨的轨腰中心区域，是偏析集中的区域，Mn、Cr 等合金元素在此偏聚，使得偏析带部位明显出现奥氏体的稳定化，致使钢轨热处理后珠光体转变不完全，室温得到部分马氏体组织。在热模拟试验中为促使稳定化的奥氏体转变为珠光体组织，尝试了提高珠光体转变温度、延长珠光体转变时间等工艺措施，实验结果表明这些措施对促进稳定化的奥氏体向珠光体的转变都起到了不同程度的作用，其中，后续再加热到 600 ℃，保温 60 s 以上对进一步消除条带状马氏体组织起到了明显的作用。现场的在线热处理工艺制度可以结合设备的实际能力，参考热模拟试验结果选择适当的工艺制度。

3　结论

(1) 通过热模拟试验，找出了解决钢轨中出现异常组织的方法，可以通过适当提高钢轨的珠光体转变温度以及延长转变时间改善并消除异常的组织。

(2) 在钢轨在线热处理过程中转变温度控制过低，但不低于 470 ℃的条件下，可以在后续冷却段弱冷使钢轨能够靠自热到 600 ℃的温度，保持大于 60 s 亦可以达到消除异常组织的目的。

(下转第 33 页)

第一次试轧时经过调整后 60TY1 道岔轨的断面尺寸满足标准要求，进行了小批量生产。

3.2　矫直

矫直机辊型采用常规设计，钢轨矫直过程稳定，没有产生扭转、弯曲缺陷。

3.3　加工

加工过程中由于轨头断面积增大，锯切时间加长，锯片温度升高，锯片冷却能力需加强，以提高锯片寿命。

4　钢轨质量

成品检查钢轨断面尺寸合格（见表 3），表面质量光洁，性能（见表 4）符合产品标准要求。

表 3　60TY1 道岔轨断面几何尺寸　　mm

数值	头宽	底宽	轨高	腰厚
标准值	113 ± 0.5	150 ± 1	$176^{+1}_{-0.2}$	$30^{+1}_{-0.5}$
平均值	112.8	150.1	176.4	30.3
范围值	112.5 ~ 113.1	149.3 ~ 150.6	176.1 ~ 176.8	29.8 ~ 30.5
频数/次	50	50	50	50

表 4　U71MnG 材质 60TY1 钢轨产品力学性能

数值	抗拉强度/MPa	延伸率/%	踏面硬度 HB
技术要求	≥880	≥10	260 ~ 300
平均值	932	13.7	269
范围值	898 ~ 962	10.5 ~ 15.5	262 ~ 273
频数/次	12	12	12

5　结论

（1）通过使用工字形开坯孔型设计方案，有效解决了头不对称道岔轨轧制稳定性的难题，

（2）采用该方法生产出的 60TY1 道岔轨断面几何尺寸及机械性能都能够满足高速铁路技术要求。

（3）用万能法轧制的 60TY1 道岔轨断面对称性好，几何尺寸容易调整；同时，热轧出钢弯曲度小，矫后平直度较高；

参　考　文　献

[1] TB/T 3109—2013，铁路道岔用非对称断面钢轨 [S].

[2] 许云祥. 型钢孔型设计 [M]. 北京：冶金工业出版社，1993.

（上接第 15 页）

参　考　文　献

[1] 卢祖文. 高速铁路轨道技术综述 [J]. 铁道工程学报，2007，(01)：50 - 63.

[2] 劳丽君，王超会. 铁路钢轨用钢及其热处理的研究进展 [J]. 热加工工艺，2009，38(10)：162 - 165.

[3] 潘建华. 钢轨中马氏体组织的产生原因及危害 [J]. 铁道物资科学管理，1996，14(6)：25 - 26.

[4] TB/T 2344—2012，43 ~ 75 kg/m 热轧钢轨订货技术条件 [S].

[5] 刘宗昌. 材料组织结构转变原理 [M]. 北京：冶金工业出版社，2006.