贝氏体钢轨的回火试验研究

李智丽,何建中,梁正伟,张凤鸣,史文义

(内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章对淬火后的75 kg/m贝氏体钢轨在实验室进行了系列回火试验,并对不同回火工艺下钢轨的力学性能、显微组织进行了对比分析,结果表明试验钢轨经320 ℃保温48 h能够获得最佳的力学性能,满足重载铁路钢轨的使用要求。

关键词: 贝氏体钢轨; 回火; 力学性能; 显微组织

中图分类号: TG156.6; TG113 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2020)04-0001-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.04.001

Study on Tempering Test of Bainite Rail

Li Zhi-li, He Jian-zhong, Liang Zheng-wei, Zhang Feng-ming, Shi Wen-yi

(*Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In the paper, the series of tempering tests of quenched 75 kg/m bainite rail in laboratory are introduced as well as the mechanical properties and microstructure of the rails with different tempering processes are compared and analyzed. The results showed that the optimum mechanical properties of test rails could be achieved with 320 ℃ heat preservation for 48 h, which could satisfy the operating requirements of rail for heavy haul railway.

Key words: bainite rail; tempering; mechanical properties; microstructure

贝氏体钢轨是近年来发展起来的一种低碳合金钢轨,与传统的高碳珠光体型钢轨相比,贝氏体钢轨具有高强韧性匹配特点,因而具有巨大的开发潜力[1-2]。本文针对在线淬火的75 kg/m贝氏体钢轨开展了实验室回火试验研究,对比分析了不同回火工艺对贝氏体钢轨力学性能和显微组织的影响,为现场贝氏体钢轨生产工艺的制定提供了依据。

1 试验材料及方法

回火试验采用包钢生产的75 kg/m淬火态贝氏体钢轨,试样长度1 000 mm,试验用的贝氏体钢轨中C含量为0.10%~0.25%,加入适量的Si、Mn、Cr、Ni、Mo等合金元素,具体化学成分如表1所示。

收稿日期: 2020-05-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFB0304504)

作者简介: 李智丽(1971-),女,辽宁省盘锦市人,硕士,正高级工程师,现从事金属材料热处理及物理检测工作。

表1 贝氏体钢轨化学成分(质量分数) %

化学元素	C	Si	Mn	P	S	Cr + Ni + Mo
含量	0.10 ~ 0.25	0.5 ~ 1.5	1.4 ~ 2.5	0.007	0.003	1.5 ~ 2.0

试验钢轨淬火态的性能为: 抗拉强度 1 400 ~ 1 420 MPa、延伸率 11% ~ 12%、常温冲击 A_{ku} 90 ~ 100 J、踏面硬度 430 ~ 440 HB、残余应力 350 ~ 400 MPa,见表2。

表2 试验钢轨淬火态的力学性能

检测项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	延伸率/%	常温冲击 A_{ku}/J	踏面硬度/HB	残余应力/MPa
性能值	1 400 ~ 1 420	1 250 ~ 1 280	11.0 ~ 12.0	90 ~ 100	430 ~ 440	350 ~ 400

按照贝氏体钢轨高强度、高韧性、高耐磨性的使用技术要求,研制的贝氏体钢轨的抗拉强度 $R_m \geqslant$ 1 380 MPa,踏面硬度: 400 ~ 460 HB,延伸率 $A \geqslant$ 12%,常温冲击 $A_{ku} \geqslant$80 J,残余应力≤330 MPa。

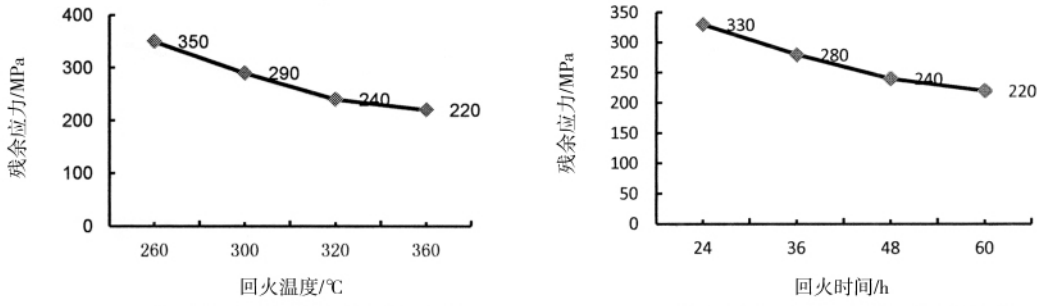
试验采用低温回火工艺,设定温度分别为 260 ℃、300 ℃、320 ℃、360 ℃,保温时间 24 h、30 h、48 h。回火试验后的钢轨分别进行残余应力、拉伸、冲击、踏面硬度、显微组织、断口等检测分析。

回火试验采用 RX4 - 65 - 8 的模拟卷取炉,装载量为 400 kg,炉膛尺寸为 1 100 mm × 650 mm × 500 mm。检测试验分析分别采用 Instron 60 t 电子拉伸试验机、NI750 冲击试验机、TH600 布氏硬度计、德国蔡司 observer AIM 光学显微镜和 EVO50HV 型扫描电子显微镜。

2 试验结果及分析

2.1 不同回火工艺对钢轨残余应力的影响

贝氏体钢轨经在线淬火后,在获得高强度高韧性的同时,也伴生了较高的残余应力,影响钢轨的服役寿命。资料研究表明通过回火处理可以稳定贝氏体钢轨中的残余奥氏体、降低钢轨内部的残余应力[3-4]。实验室通过对在线淬火的 75 kg/m 贝氏体钢轨进行了不同回火工艺试验,对钢轨残余应力的变化进行了研究。如图1(a)所示,分别在 260 ℃、300 ℃、320 ℃、360 ℃对在线淬火贝氏体钢轨进行回火试验保温 48 h,轨底残余应力随回火温度的变化。从图1(a)中可以看出,轨底残余应力随回火温度的提高呈下降趋势,320 ℃钢轨轨底的残余应力值下降至240 MPa,360 ℃钢轨轨底的残余应力值下降至 220 MPa。如图1(b)所示为在线淬火贝氏体钢轨在 320 ℃回火保温不同时间 24 h、36 h、48 h、60 h,轨底残余应力随回火保温时间的变化。从图1(b)来看,轨底残余应力随回火时间的延长呈下降趋势,回火时间在 48 h 以上,钢轨轨底的残余应力值下降至 240 MPa,保温时间 24 h 和 36 h,钢轨的轨底残余应力仍大于 250 MPa。

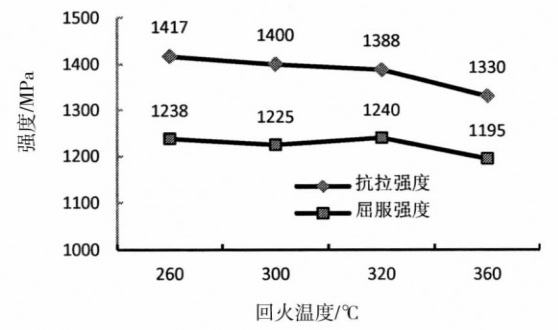


(a) 残余应力随回火温度的变化 (b) 残余应力随回火时间的变化

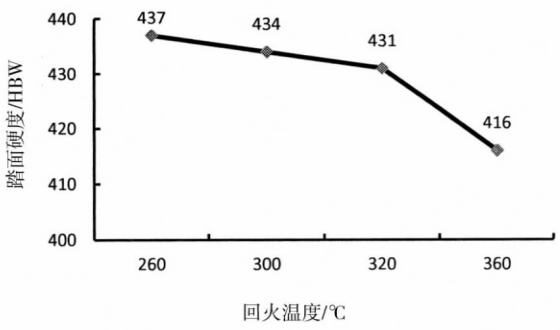
图1 残余应力随不同回火工艺的变化

2.2　不同回火工艺对钢轨力学性能的影响

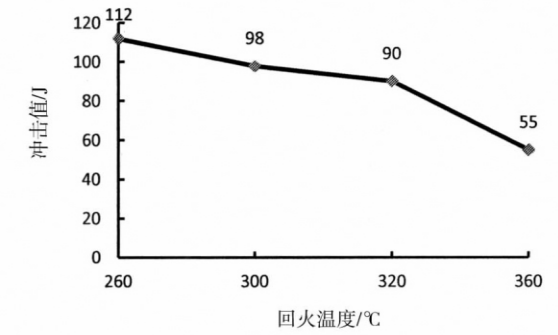
实验室对在线淬火的 75 kg/m 贝氏体钢轨分别进行了不同回火温度和不同回火时间的对比试验，图 2 分别为 260 ℃、300 ℃、320 ℃、360 ℃回火保温 48 h 力学性能随回火温度的变化。从图 2(a) —(d) 可以看出，随着回火温度从 260 ℃提高到 360 ℃，延伸率明显提高，抗拉强度、屈服强度、冲击性能、踏面硬度均有不同程度的下降。回火温度提高到 360 ℃时，抗拉强度 1 330 MPa、冲击性能 55 J，已经不能满足贝氏体钢轨的研发目标要求。回火温度 320 ℃时，抗拉强度为 1 388 MPa、踏面硬度为 431 HB、冲击值为 90 J、延伸率为 14. 6%，能够满足贝氏体钢轨的要求。



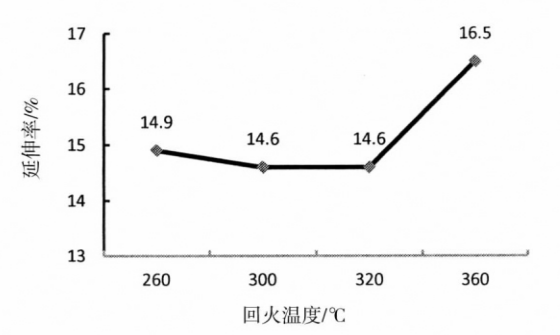
（a）抗拉强度和屈服强度随回火温度的变化



（b）踏面硬度随回火温度的变化



（c）冲击值随回火温度的变化



（d）延伸率随回火温度的变化

图 2　不同回火温度保温 48 h 的力学性能随回火温度的变化

2.3　不同回火工艺钢轨的显微组织

对 260 ℃、300 ℃、320 ℃、360 ℃回火保温 48 h 试验钢轨轨头部位的显微组织形貌进行了对比分析，图 3 是不同回火温度保温 48 h 试样轨头踏面下 10 mm 部位的显微组织形貌。从图 3(a) —(d) 可以看出，随着回火温度从 260 ℃提高到 360 ℃，显微组织变化不明显，由贝氏体 + 马氏体 + 残余奥氏体组成。随着回火温度的升高，显微组织中的碳化物略有增加，表现在显微组织腐蚀观察过程中组织更加易于着色。

2.4　回火前后拉伸断口的 SEM 对比分析

利用扫描电子显微镜(SEM) 对比分析了 75 kg/m贝氏体钢轨的在线淬火态拉伸断口(图 4a、b、c) 和 320 ℃回火保温 48 h 的拉伸断口(图 4d、e、f) 。图 4a为淬火态拉伸断口的低倍宏观形貌，肉眼可见在断口面上有较多明显的小平台，小平台区域局部放大观察，平台中心为颗粒状的非金属夹杂物，夹杂物周围的平台区域的断口形貌为准解理形貌，见图 4b; 平台外的拉伸断口形貌为韧窝形貌，见图 4c; 整个拉伸断口的形貌由韧窝 + 准解理形貌 + 剪切唇构成; 图 4d 为回火后的拉伸断口低倍宏观形貌，整个断口中心平整，未见小平台，局部放大观察如图 4e、f，均为细小的韧窝形貌，未观察到在非金属夹杂物周围的准解理形貌，整个拉伸断口的形貌由韧窝 + 剪切唇构成。通过回火前后拉伸断口的扫描电镜对比分析可以看出，通过回火工艺消除了拉伸断口上的夹杂物周围的脆性平台准解理形貌，使钢轨的韧性得到进一步提高。

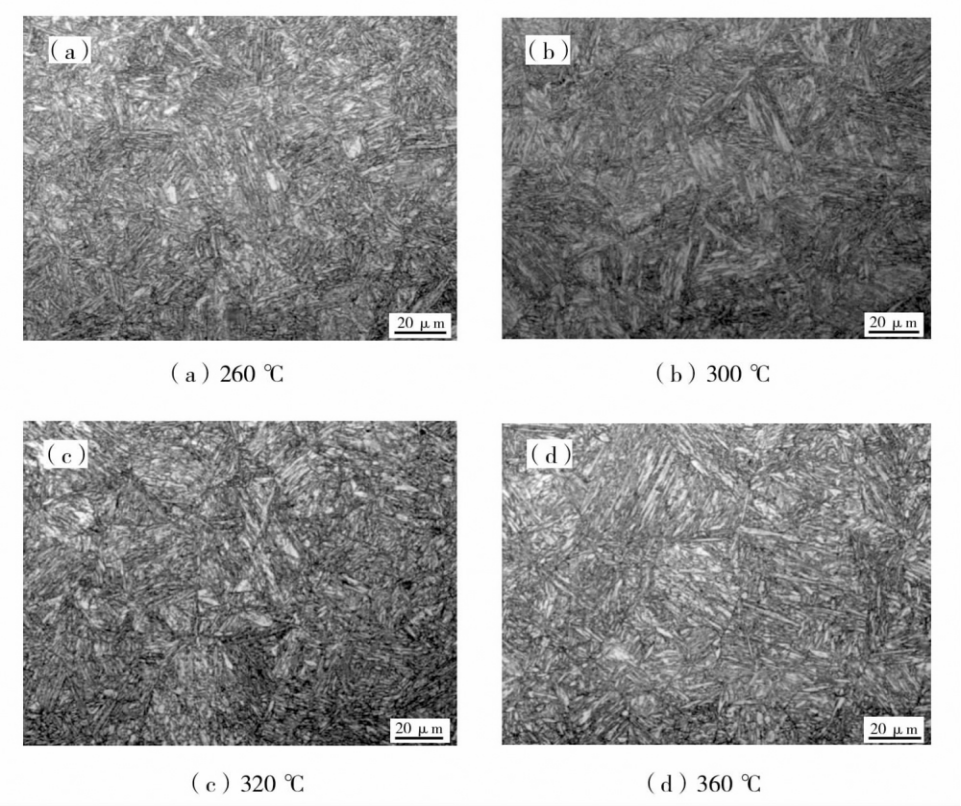


图3 不同回火温度保温48 h试样的显微组织(踏面下10 mm)

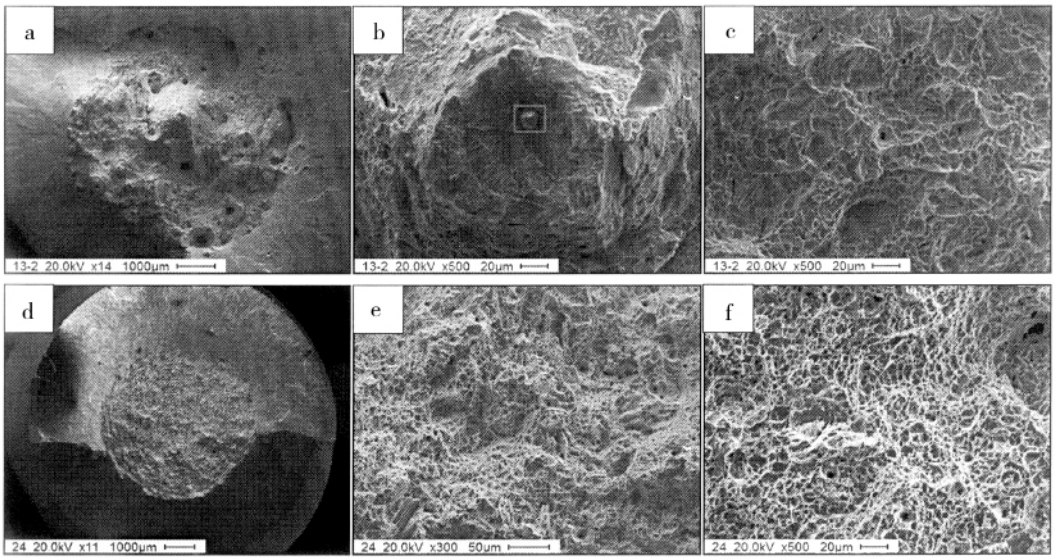


图4 回火前后拉伸断口的SEM形貌

3 结论

(1) 贝氏体钢轨的低温回火试验表明,320 ℃回火保温48 h能够使钢轨在满足轨底残余应力小于250 MPa的同时,钢轨的抗拉强度、冲击功、踏面硬度、延伸率等性能满足1 380 MPa级别贝氏体钢轨研发目标要求。

(下转第8页)

表7 全系列工业稳定试验精矿成分(质量分数) %

项目	TFe	SiO_2	P	F	K_2O+Na_2O	S
1#系列	65.94	2.81	0.08	0.25	0.30	0.83
2#系列	65.73	2.97	0.06	0.34	0.33	0.84

表8 TD-Ⅴ工业试验指标与8月份指标对比

药剂	矿温/℃	加药量/(mL·min^{-1})		品位/%			回收率/%
		水玻璃	捕收剂	浮给	浮精	浮尾	
TD-Ⅴ	30	921.5	1 205	55.56	65.84	24.89	75.12
GQ-601(8月)	55	1 048	1 112	55.55	65.62	26.71	74.22

由表8可知,与2019年8月平均指标相比,工业试验铁反浮选精矿由65.62%提高至65.84%;浮尾品位由26.71%降至24.86%,铁回收率提高了1.26百分点。浮选温度由55 ℃降到30 ℃,降低25 ℃。通过对两种药剂用量进行分析,水玻璃降低12.07%,捕收剂升高8.36%。

低温药剂推广后,可取得明显的经济效益和社会效益。按照2018年宝山矿业铁反浮选浮给干矿量243.2万t,浮给矿浆含水量为268.8万t,使用TD-Ⅴ捕收剂后,浮选温度由55 ℃降至30 ℃,节煤2.64万t,节约成本为854.03万元。另外,根据国家发改委提供的数据,工业锅炉每燃烧1 t标准煤产生CO_2 26.20 kg、SO_2 8.5 kg,当浮选温度降至30 ℃时,预计可减排CO_2 691 t、SO_2 224 t。

4 结论

(1)小型试验表明,TD-Ⅴ捕收剂浮精提高0.09百分点,浮尾降低1.16百分点,回收率提高1.59百分点;TD-Ⅴ捕收剂用量是GQ-601用量的1.01倍,矿温由55 ℃降到30 ℃。

(2)工业试验结果表明,使用TD-Ⅴ捕收剂,当浮选温度降至30 ℃时,生产的精矿品位为65.84%,尾矿品位为24.89%,回收率为88.87%,杂质指标达到下游工序要求。

参考文献

[1] 于秀兰.包钢选矿厂尾矿综合利用进展[J].矿产综合利用,2007,(3):32-34.

(上接第4页)

(2)低温回火后贝氏体钢轨的显微组织由贝氏体+回火马氏体+残余奥氏体组成。

(3)低温回火在保持贝氏体钢轨高强度、高硬度的同时可以明显改善其韧性。

参考文献

[1] 周清跃,张银花,陈朝阳,等.国内外钢轨钢研究及进展[J].中国铁道科学,2002,23(6):120-126.

[2] 谭谆礼,高博,高古辉,等.国内外贝氏体钢轨的研发现状[J].金属热处理,2018,43(4):10-18.

[3] 武会宾,尚成嘉,赵运堂,等.回火对低碳贝氏体钢组织稳定性及力学性能的影响[J].钢铁,2005,40(3):62-65.

[4] 刘志学,程巨强,徐美玲,等.回火温度对25SiMnNi2CrMo钢组织和性能的影响[J].西安工业大学学报,2011,31(4):345-348.