低温回火对U75V热处理钢轨组织与性能的影响

薛虎东[1],王嘉伟[1],达木仁扎布[2]

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心,内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司轨梁厂,内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章按照俄标ГОСТ Р 51685—2013检测了U75V热处理钢轨力学性能。结果表明,回火后U75V热处理钢轨拉伸性能达到俄标OT350HH耐低温钢轨要求,冲击性能低于标准要求。这主要与钢的化学成分和热处理生产工艺不同有关。

关键词: 材料学; 冲击韧性; 回火; U75V热处理钢轨
中图分类号: U213.4 **文献标识码**: B **文章编号**: 1009-5438(2020)04-0048-04
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2020.04.013

Effects of Low Temperature Tempering on Microstructure and Properties of U75V Heat Treated Rail

Xue Hu-dong[1], *Wang Jia-wei*[1], *Da-murenzhabu*[2]

(1. *Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*;
2. *Rail and Beam Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou* 014010, *Inner Mongolia Autonomous Region, China*)

Abstract: In this paper, the mechanical properties of U75V heat treated rail were tested in accordance with the Russian standard ГОСТ Р 51685-2013. The results showed that the tensile property of rail after tempering could meet requirements of the Russian standard OT350HH for low temperature resistant rail and impact performance is lower than standard requirements. This is mainly because the chemical composition and heat treatment process of steel are different.

Key words: materials science; impact toughness; tempering; U75V heat treated rail

《铁路"十三五"发展规划》提出,到2020年全国铁路营业里程达到15万km,其中,中西部路网规模继续扩大,铁路网规模达到9万km左右。我国西北地区矿产资源丰富,加快西部铁路建设对发展国民经济意义重大。但该区域冬季气温低且漫长,极寒时候温度接近-60 ℃,如青藏高原。钢轨钢属于高碳钢,碳含量在0.65%以上,碳含量的增加,钢材韧塑性下降。钢轨长年低温环境下服役,低温使其焊缝的脆性进一步增加,脆性断裂的倾向加大,直接影响铁路运输的安全[1]。

1 钢轨低温性能研究现状

目前国内重点关注400 HB级别以上珠光体型钢轨和贝氏体钢轨,研究钢轨在低温下的力学性能

收稿日期: 2019-11-28
作者简介: 薛虎东(1986-),男,陕西省榆林市人,硕士,高级工程师,主要从事钢轨新产品研发。

较少，部分研究也是实验室对钢轨进行低温性能检验。清华大学奚望、王元清、冯宝锐等人[2-4]对 U71Mn、U75V 钢轨在 +20 ~ -60 ℃范围内进行力学性能检测，得出随着温度的降低，钢轨抗拉强度增加、冲击功和断裂韧性 K_{IC} 下降。利用 Boltzmann 函数对试验结果进行了回归分析，获得温度和钢轨冲击功之间的关系。并通过冲击功和断裂韧性公式分析，用低温冲击韧性预测断裂韧性。根据研究结果建议在低温寒冷地区宜铺设低温韧性好的 U71Mn 钢轨。马蕾等人[5]实验室用欧标 ER8 车轮和 U71Mn 钢轨研究了低温环境下轮轨材料滚动磨损模拟试验，结果显示，试验后低温环境下轮轨材料的摩擦系数、磨损量、轮/轨硬度比明显升高，且车轮硬化情况较严重；室温环境下轮轨材料磨损表面犁沟及剥层现象严重，以磨粒磨损为主，低温环境下轮轨材料磨损以黏着磨损为主。国外俄罗斯对钢轨低温韧性有大量的研究。俄标 ГОСТ Р 51685—2013[6]中有 OT350HH 耐低温热处理钢轨。A. B. Yur'ev[7]等人从合金加入量、加入成本和钢轨性能对比分析了在 NKMK 冶炼厂分别加入 FeV、(FeV) N、VN 三种合金的钢轨，得出加入 VN 合金在不降低钢轨强度、硬度、低温冲击性能的情况下，低温冲击韧性波动范围小，-60 ℃轨头低温回火后 U 型冲击韧性 27 ~ 35 J/cm^2，加入其它合金 -60 ℃冲击韧性为 16 ~ 50 J/cm^2。

本文针对钢轨在寒冷地区服役工况，选择与俄标 OT350HH 钢轨成分相似、性能同级别的 U75V 热处理钢轨按 ГОСТ Р 51685—2013 进行拉伸、低温冲击性能检测[6]。对下一步优化 U75V 热处理钢轨韧性性能和按俄标出口钢轨具有一定的意义。

2　试验方案

2.1　试验材料

选取包钢生产的 60 kg/m U75V 热处理钢轨，具体试验钢轨和俄标 OT350HH 钢轨化学成分见表 1。

表 1　U75V 钢轨的化学成分(质量分数)　　%

钢质	C	Si	Mn	P	S	V	Cr	N
U75V 热处理	0.80	0.64	0.93	0.017	0.008	0.066		≤0.009
俄标 OT350HH	0.71 ~ 0.82	0.25 ~ 0.60	0.75 ~ 1.25	≤0.020	≤0.020	0.05 ~ 0.15	≤0.20	0.010 ~ 0.020

注：其中俄标 ГОСТ Р 51685—2013 规定 OT350HH 钢轨残余元素 w[Ni] ≤ 0.20%，w[Ni] + w[Cu] ≤ 0.27%。

2.2　试验方法

钢轨拉伸、冲击性能取样位置见图 1，俄标拉伸试样取样位置、尺寸与 TB/T 2344—2012[8]一致；冲击试样为钢轨踏面中心线，沿钢轨轧制方向，试样尺寸为 10 mm × 10 mm × 55 mm。缺口为 U 型，按照 GB/T 229—2007进行测试。

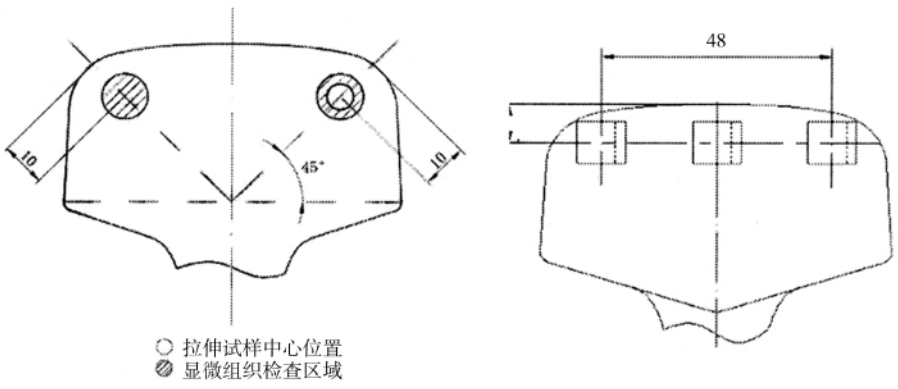


图 1　U75V 热处理钢轨拉伸、冲击和显微组织检测取样位置

试样按照俄标在 200 ℃下保温 6 h 回火热处理。其中未回火和回火拉伸试样数目均为 2 个，冲击试样未回火和回火数目各6 个。在设备型号 5989 电子拉伸试验机、N1750、JB -5 冲击设备进行性能

检测。在 LEO EVO50HV 扫描电镜下对冲击断口进行观察。在型号 Tecnai G2 F20 透射电镜下观察回火后试样组织形貌。

3 试验结果

3.1 回火热处理对钢轨力学性能

U75V 热处理钢轨未回火和低温回火试样拉伸、冲击性能见表2。钢轨低温回火后,屈服强度和低温冲击有明显的改善。对抗拉强度、断面收缩率、伸长率影响较小。未回火和回火抗拉强度、伸长率、面缩率达到俄标 OT350HH 要求,但是,未回火屈服强度和 -60 ℃低温冲击韧性低于 OT350HH 标准要求。回火后,屈服强度、低温冲击韧性均值较未回火分别增加 81 MPa 和 5.2 J/cm^2。

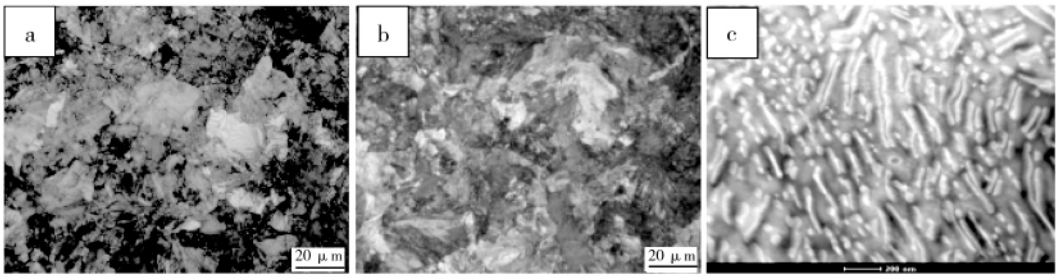
表2 未回火和回火后 U75V 热处理钢轨拉伸、冲击性能

工艺	$R_{p0.2}$/MPa	R_m/MPa	A/%	Z/%	冲击韧性(-60 ℃)/(J·cm^{-2})
未回火	772	1 266	13.25	33.5	8.0
回火	853	1 236	13.5	35.0	13.2
OT350HH[6]	≥800	≥1 180	≥8.0	≥25.0	≥25.0

注: 冲击韧性按照俄标 ГОСТ Р 51685—2013 检测。

3.2 回火热处理对钢轨的显微组织

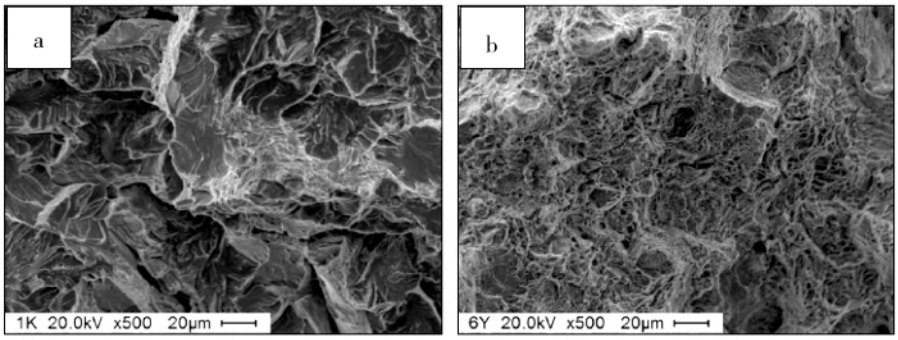
图2为 U75V 热处理钢轨未回火和回火试样显微组织。组织均为珠光体组织,从图2(a)中可以看出,热处理后钢轨显微组织为珠光体,有明显的片层间距;回火后,图2(b)片层类珠光体减少;图2(c)为回火试样 TEM 显微组织。可以看出,回火试样中片层珠光体在保温过程中进行球化,连续薄片状的渗碳体从一些部位断裂,形成球状类珠光体组织。



(a)未回火光学 (b)回火后光学 (c)回火后TEM

图2 U75V 热处理钢轨未回火和回火光学显微组织

图3为冲击断口扫描电镜图。图3(a)为未回火 U75V 热处理钢轨 -60 ℃冲击断口的扫描电子显微镜照片,形貌显示为解理断裂,有明显的河流状和解理台阶。图3(b)为回火后 -60 ℃冲击断口的扫描电子显微镜照片,可以看出,回火试样出现有许多撕裂棱,解理台阶数量减少。



(a)未回火 (b)回火

图3 U75V 热处理钢轨冲击断口 SEM 图

4　分析讨论

一般热处理钢轨组织中的珠光体晶粒是由相互间隔薄片状的铁素体和渗碳体组成。片层的珠光体组织是一种不稳定的组织，在回火过程中，随着保温时间的增加，原子活力增加，扩散速度增加，片状的渗碳体逐渐转变为粒状(图 2(b))。与片层状珠光体相比，在成分相同的情况下，粒状珠光体的强度、硬度稍低，主要由于粒状珠光体中铁素体与渗碳体的相界面较片状珠光体的少，对位错动力的阻力减小。因此粒状珠光体位错可较大范围内移动，塑性变形量较大，较片层珠光体塑性增加，这与表 2 数据一致。俄罗斯 OT350HH 热处理钢轨为整体淬火，为降低整体淬火后钢轨残余应力和保证钢轨尺寸精度，对钢轨淬火设备和低温回火工艺进行优化。这是由于低温回火一般不降低钢材的硬度，可消除淬火应力，避免变形、开裂，保持钢材的尺寸稳定性，减少内应力和降低脆性。

除了生产工艺不同，俄标 OT350HH 钢轨的化学成分也与本试验热处理 U75V 的化学成分不同。最大的区别在于 ГОСТ Р 51685—2013[6] 标准中要求 OT350HH 钢轨 w[N] 0.010% ~ 0.020%，而 TB/T 2344—2012[8] 规定 U75V 热处理钢轨 w[N] ≤ 0.009 0%。俄罗斯生产的耐低温热处理钢轨采用 VN 等合金强化钢的性能，在保证强度、硬度基本相同的情况下，降低钢中碳含量，可较大幅度的提高钢轨低温冲击韧性。

此外，俄标 OT350HH 耐低温钢轨较 U75V 热处理合金多加 Ni、Cr 等合金元素。这是因为低温回火后片层珠光体型组织转变成分粒状珠光体组织，而粒状珠光体的性能，主要取决于碳化物颗粒的大小、形态和分布。OT350HH 钢轨中加入多种碳化物形成合金元素可降低碳的扩散能力，对推迟珠光体的形核和长大过程有显著的影响；同时，加入的合金元素会在奥氏体和铁素体界面聚集，阻止界面的移动，影响钢轨力学性能。

5　结论

(1) 在 200 ℃下保温 6 h，U75V 热处理钢轨部分片层珠光体组织转变为粒状珠光体。回火后屈服强度、-60 ℃冲击韧性明显增加，分别提高 81 MPa 和 5.2 J/cm^2。

(2) 在 200 ℃下保温 6 h，U75V 热处理钢轨拉伸性能达到俄标 ГОСТ Р 51685—2013 中 OT350HH 拉伸性能要求，-60 ℃冲击韧性未达到要求。

参　考　文　献

[1] 冯宝锐，王元清，石永久. 低温下铁路钢轨抗脆断设计方法[J]. 铁道工程学报，2009，126(3)：15 - 19.

[2] 奚望，王元清，石永久. 钢轨钢材低温力学性能的试验研究[J]. 铁道工程学报，2006，98(8)：25 - 29.

[3] 王元清，奚望，石永久，等. 钢轨钢材低温冲击功的试验研究[J]. 清华大学学报，2007，47(9)：1414 - 1417.

[4] 冯宝锐，王元清，石永久，等. 低温下铁路钢轨钢材断裂韧度 K_{IC} 的试验研究[J]. 铁道学报，2008，30(2)：83 - 87.

[5] 马蕾，何成刚，赵相吉，等. 低温环境下轮轨材料滚动磨损模拟试验研究[J]. 摩擦学学报，2016，36(1)：92 - 97.

[6] ГОСТ Р 51685—2013，钢轨通用技术条件[S].

[7] A. B. Yur'ev，L. A. GodikGodik，N. A. Kozyrev，L. V. Korneva，et al.. Using Nitrovan Alloy in the Production of Low - Temperature Rail Steel[J]. Steel in Translation，2008，38(9)：756 - 758.

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