

60 – 50 kg/m U75V 热轧异型钢轨跟端 热处理工艺研究

张凤明¹, 梁正伟¹, 侯斌², 薛虎东¹, 文浩然¹

(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. 包钢中铁轨道有限责任公司, 内蒙古 包头 014010)

摘要:对 60 – 50 kg/m U75V 热轧异型钢轨跟端锻压区域, 进行了不同终冷温度及冷却速度的热处理工艺试验研究, 分析了异型钢轨成型段、过渡段及热影响区的拉伸性能、轨顶面硬度、横断面硬度、显微组织、脱碳层。结果表明, 异型钢轨成型段和过渡段终冷温度控制在 650 °C 左右, 冷却速度控制在 1.3 ~ 1.7 °C/s 之间, 热影响区终冷温度控制在 550 °C 以下, 冷却速度不小于 2 °C/s, 可有效的解决异型钢轨成型段及过渡段硬度偏高、热影响区硬度偏低、软化区宽度超标的问题。

关键词: U75V 钢轨; 异型钢轨; 热处理工艺

中图分类号: U213.4; TG162.82

文献标识码: B

文章编号: 1009 – 5438(2023)02 – 0036 – 05

Study on Heat Treatment Process at Heel End of 60 – 50 kg/m U75V Hot Rolled Compromise Rail

Zhang Feng – ming¹, Liang Zheng – wei¹, Hou Bin², Xue Hu – dong¹, Wen Hao – ran¹

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

2. Baotou Steel China Railway Track Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In this paper, the experimental study on heat treatment process of forging area at heel end of 60 – 50 kg/m U75V hot rolled compromise rail with different finish cooling temperatures and cooling rates is carried out as well as the tensile properties, hardness of top surface of the rail and cross section, microstructure and decarburized layer of forming section, transition section and heat affected zone of the compromise rail are analyzed. The results showed that the finish cooling temperatures of forming and transition sections of the compromise rail were controlled at about 650 °C, cooling rate was controlled at 1.3 ~ 1.7 °C/s, finish cooling temperature of heat affected zone was controlled below 550 °C and cooling rate was not less than 2 °C/s, with which the problems of high hardness at forming and transition sections, low hardness at heat affected zone and width out of limits at softened zone of the compromise rail could be effectively solved.

Key words: U75V rail; compromise rail; heat treatment process

目前, 国内重载线路、客货混用线路、货运线路、城际线路、城市地铁等大部分使用标准范围内的

50 kg/m、60 kg/m 或 75 kg/m 对称断面的钢轨。不同断面钢轨线路之间需要使用锻制的异型钢轨进行

连接,实现了铁路线路从一种钢轨断面变换成另一种钢轨断面的安全平稳过渡^[1]。由于60-50 kg/m U75V 热轧异型钢轨跟端经高温模锻后,其金相组织为粗片状珠光体,为细化成型段、过渡段及热影响区的珠光体组织,恢复钢轨跟端锻压区域性能,需重新对钢轨跟端锻压区域进行正火热处理^[2-3]。本文针对U75V 热轧钢轨60 kg/m 锻制成50 kg/m 后跟

端锻压区域热处理工艺进行研究,结合优化的异型钢轨跟端热处理工艺,使生产的60-50 kg/m U75V 异型钢轨力学性能及金相组织均满足标准要求。

1 试验材料及方法

试验用热轧态 U75V 钢轨以 C、Mn、Si、V 为主要合金元素,钢轨的化学成分、力学性能等见表1。

表1 钢轨母材力学性能、化学成分及标准要求

熔炼号	力学性能			化学成分(质量分数)/%					
	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /%	轨顶面硬度 (HBW)	C	Si	Mn	V	P	S
22905176	1 039	10.0	299	0.75	0.65	0.93	0.05	0.020	0.003
标准要求	≥ 980	≥ 10.0	280~320	0.71~0.80	0.50~0.80	0.75~1.05	0.04~0.12	≤ 0.025	≤ 0.025

60-50 kg/m U75V 热轧异型钢轨跟端热处理工艺流程为:上料→跟端部位进入加热炉→中频感应加热→到温停止加热→跟端部位进入冷却装置→轨头喷风冷却→到温停止冷却→空冷至室温。异型钢轨加热设备主要技术参数为:采用双频感应加热,最大加热温度1 150 ℃,加热时间不大于4 min,可进行全断面加热,加热温差不大于30 ℃;冷却设备主要技术参数为:采用压缩空气冷却,冷却速度不大于20 ℃/s,最大风压1.6 MPa。试验用异型钢轨热处理设备适用于50 kg/m、60 kg/m、75 kg/m 轨型的生产。

依据 TB/T 2344.3—2018《钢轨第3部分:异型钢轨》^[4] 试验方法,对不同热处理工艺下异型钢轨进行力学性能和金相组织对比分析。检测分析设备采用 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。

2 试验结果及分析

针对热轧态 U75V 钢轨化学成分及异型钢轨热处理设备特点,制定了60-50 kg/m U75V 异型钢轨热处理工艺对比试验方案,见表2。

表2 60-50 kg/m U75V 异型钢轨热处理试验方案

工艺	加热温度 /℃	成型段		过渡段		热影响区	
		终冷温度 /℃	冷却速度 /(℃·s ⁻¹)	终冷温度 /℃	冷却速度 /(℃·s ⁻¹)	终冷温度 /℃	冷却速度 /(℃·s ⁻¹)
R1	1 020	700	1.3	660	1.5	600	1.8
R2	1 020	550	2.0	550	2.0	550	2.0
R3	980	500	4.0	500	4.0	500	4.0
R4	980	650	1.7	650	1.7	530	2.3

由表2可知,热处理方案主要针对异型钢轨的不同位置,采用控制轨头的终冷温度和冷却速度方式,从而达到异型钢轨成型段、过渡段、热影响区与母材强度、硬度相匹配的目的。依据标准对异型钢轨成型段拉伸性能及成型段和过渡段横断面硬度进行检测,不同热处理工艺下钢轨强度和横断面硬度见表3、表4。

表3 不同热处理工艺下异型钢轨拉伸性能

工艺	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	断后伸长率 A /%
R1	1 020	551	13.5
R2	1 181	724	13.5
R3	1 233	808	12.0
R4	1 064	572	13.0

由表 3、表 4 可知,四种工艺下异型钢轨成型段抗拉强度 $R_m \geq 1\ 020\ \text{MPa}$ 、断后伸长率 $A \geq 12.0\%$,成型段及过渡段钢轨横断面硬度(HRC)不小于 27.0,均满足标准要求。但在 R2、R3 热处理工艺下,由于异型钢轨成型段和过渡段终冷温度较低,冷却速度较大,导致跟端锻压区域的强度、硬度均已达到 U75V 钢轨热处理态的强度、硬度,与原始态母材强度匹配性较差。基于异型钢轨不同热处理后的拉伸性能、横断面硬度结果,钢轨成型段及过渡段终冷温度应不低于 $600\ ^\circ\text{C}$,冷却速度不大于 $1.7\ ^\circ\text{C}/\text{s}$ 。

依据 TB/T 2344.3—2018《钢轨第 3 部分:异型钢轨》对异型钢轨进行轨头顶面布氏硬度测试,轨头顶面磨去 $0.5\ \text{mm}$ 及以上,成型段和过渡段硬度测点间距 $100\ \text{mm}$,异型部分至母材硬度测点间距 $10\ \text{mm}$ 。异型部分布氏硬度要求在 $280 \sim 320$ 之间,热影响区(含 S 区)布氏硬度不小于 220,且最多允许 5 个测点硬度低于 280,即软化区的宽度(S 区宽度)不大于 $50\ \text{mm}$,异型钢轨顶面硬度测试示意图见图 1,热影响区及软化区宽度见图 2,其中 H_m 为 S 区最小硬度值, H_n 为母材硬度下限值。

表 4 不同热处理工艺下异型钢轨横断面硬度

工艺	位置	横断面硬度(HRC)					
		A1	A5	B1	B5	C1	C5
R1	成型段	28.9	27.5	27.4	28.1	27.2	27.1
	过渡段	31.0	29.8	30.1	30.0	29.5	28.7
R2	成型段	33.7	31.9	33.2	31.8	32.3	31.4
	过渡段	32.5	32.0	32.0	31.2	33.0	32.5
R3	成型段	36.4	35.9	35.7	35.1	36.2	36.0
	过渡段	35.8	33.9	34.4	33.2	35.6	33.0
R4	成型段	31.0	30.5	31.9	29.9	30.9	30.1
	过渡段	30.5	29.7	29.3	28.8	29.6	29.4
	钢轨母材	31.8	31.5	30.8	29.9	31.2	29.2
	标准要求	≥ 26.0					

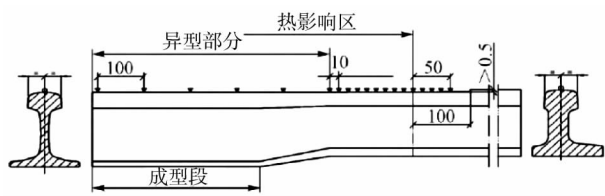


图 1 异型钢轨顶面硬度测试示意图

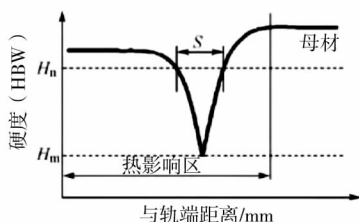


图 2 热影响区硬度及软化区宽度示意图

不同热处理工艺下异型钢轨顶面布氏硬度检测结果见图 3—图 6。

由图 3 可知,R1 工艺成型段、过渡段轨顶面布氏硬度可以满足标准要求,但热影响区硬度较低,且与成型段轨端距离 $670 \sim 790\ \text{mm}$ 内范围存在 11 点

布氏硬度低于 280,即软化区宽度(S 区宽度)约 $110\ \text{mm}$,不满足标准要求。由图 4、图 5 可知,R2 工艺、R3 工艺热影响区布氏硬度均大于 280,但成型段、过渡段硬度均偏高,均大于母材布氏硬度上限 330,不满足标准要求。由图 6 可知,R4 工艺成型段、过渡段、热影响区的布氏硬度均在 $280 \sim 330$ 之间,不存在硬度超标的高点或低点,且异型钢轨各区域布氏硬度差值不大于 33,整支异型钢轨硬度均匀且满足标准要求。结合四种热处理工艺下轨顶面硬度曲线可知:异型钢轨热影响区应适当的降低终冷温度,提高冷却速度,可以有效地改善热影区的硬度。异型钢轨热影响区终冷温度应控制在 $550\ ^\circ\text{C}$ 以下,冷却速度应不小于 $2\ ^\circ\text{C}/\text{s}$;成型段及过渡段应采用较高的终冷温度和较低的冷却速度,终冷温度应控制在 $650\ ^\circ\text{C}$ 左右,冷却速度控制在 $1.3 \sim 1.7\ ^\circ\text{C}/\text{s}$,采用以上热处理工艺,可使异型钢轨与 U75V 热轧态钢轨母材硬度相匹配。

分别对不同热处理工艺下异型钢轨成型段轨头部位进行显微组织和脱碳层观察,如图 7、图 8 所示。

由图7、图8可知,四种热处理工艺下异型钢轨成型段轨头均为典型的珠光体加少量铁素体组织,成型段显微组织与母材类型一致,不存在高碳马氏体、魏氏体等有害组织。R1 工艺脱碳层深度约为 0.33 mm,R2 工艺脱碳层深度约为 0.31 mm,R3 工

艺脱碳层深度约为 0.21 mm,R4 工艺脱碳层深度约为 0.19 mm,四种热处理工艺下成型段钢轨脱碳层深度均满足不大于 0.5 mm 的标准要求。同时,钢轨加热温度由 1 020 ℃降低到 980 ℃,轨头脱碳层深度可降低 0.10~0.14 mm。

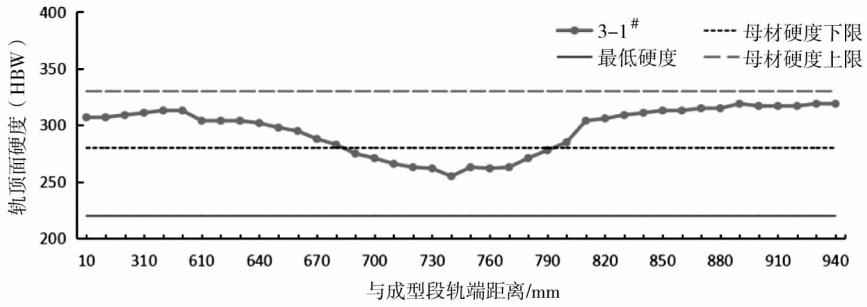


图3 R1 工艺轨顶面硬度曲线

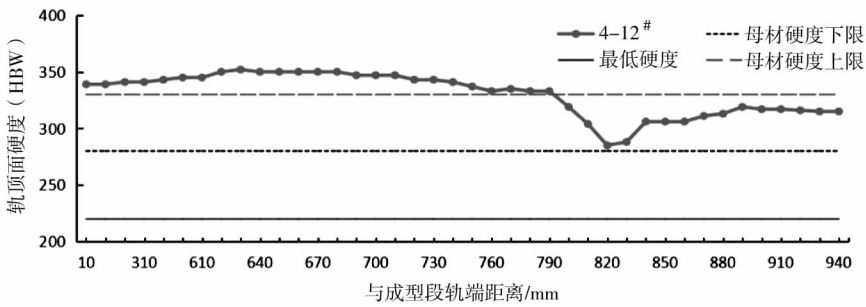


图4 R2 工艺轨顶面硬度曲线

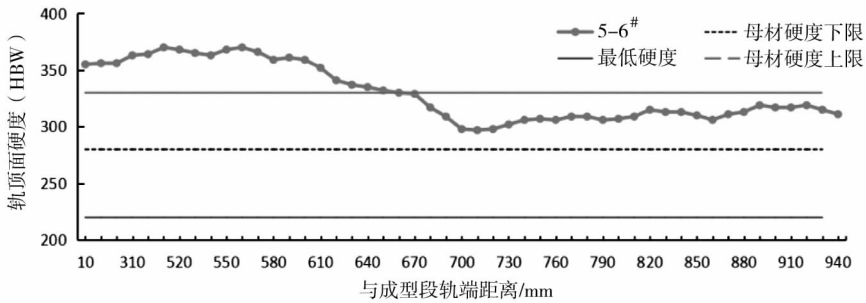


图5 R3 工艺轨顶面硬度曲线

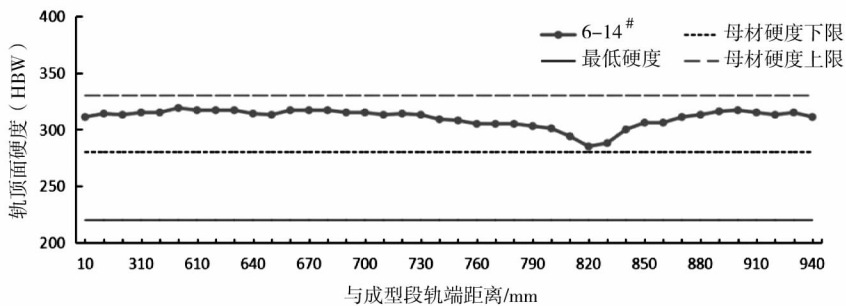


图6 R4 工艺轨顶面硬度曲线

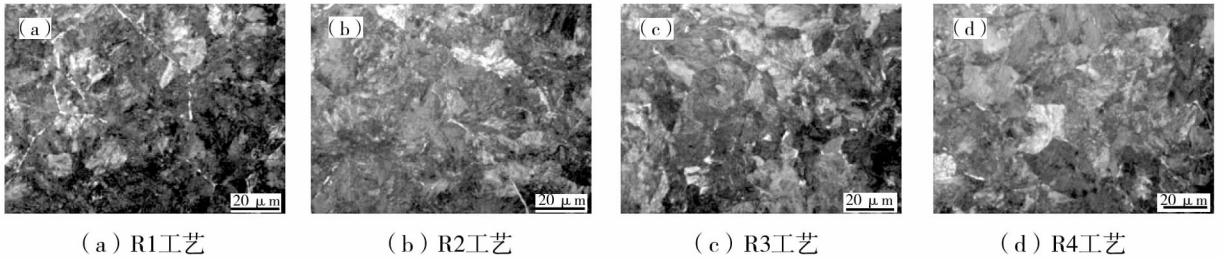


图7 不同热处理工艺成型段轨头显微组织

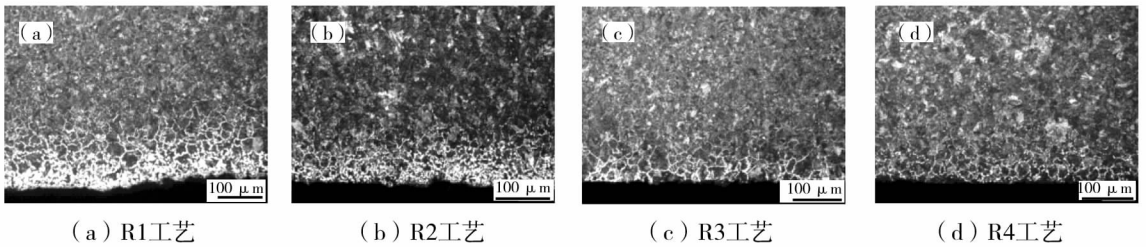


图8 不同热处理工艺成型段轨头脱碳层

3 结论

(1) 60-50 kg/m U75V 热轧异型钢轨成型段和过渡段,应采用较高的终冷温度和较低的冷却速度,热影响区应适当的降低终冷温度,提高冷却速度,可解决异型钢轨成型段及过渡段硬度偏高、热影响区硬度偏低、软化区宽度超标的问题。

(2) 60-50 kg/m U75V 热轧异型钢轨成型段和过渡段终冷温度应控制在 650 ℃ 左右,冷却速度控制在 1.3 ~ 1.7 ℃/s 之间;热影响区终冷温度不大于 550 ℃,冷却速度不小于 2 ℃/s。基于以上热处理工艺,钢轨抗拉强度 $R_m \geq 1\ 020$ MPa、断后伸长率 $A \geq 12.0\%$,横断面硬度(HRC)不小于 27.0,顶面布氏硬度(HBW)在 280 ~ 330 之间,且钢轨各区域布氏硬度差值不大于 33,满足标准要求。

(3) 不同热处理工艺下异型钢轨显微组织均为珠光体加少量铁素体,不存在异常及有害组织。四

种热处理工艺下成型段钢轨脱碳层深度在 0.19 ~ 0.33 mm 之间,满足标准要求。同时,钢轨加热温度由 1 020 ℃ 降低到 980 ℃,轨头脱碳层深度可降低 0.10 ~ 0.14 mm。

参 考 文 献

- [1] 程猛. 高速道岔尖轨跟端制造关键工艺及质量控制技术研究[D]. 石家庄:河北科技师范学院,2020.
- [2] 严建文,杨善林,黄照森,等. 加热温度对钢轨道岔跟端热成形工艺影响[J]. 锻压装备与制造技术,2019,54(5):63-65.
- [3] 詹新伟,王树青,杜吉康. 在线热处理 AT 钢轨的跟端锻压段热处理新工艺及新装备[J]. 铁道建筑,2022,62(9):30-34.
- [4] TB/T 2344.3—2018,钢轨第 3 部分:异型钢轨[S].