贝氏体合金钢轨与PD3钢轨闪光焊接工艺研究

中铁宝桥股份有限公司 （陕西宝鸡 721006） 李 松 程 亮

【摘要】 通过试验研究了贝氏体合金钢轨与PD3钢轨两种异种材料闪光对接焊工艺，并确定了保证焊接接头质量的焊接工艺和热处理工艺等。整体焊接接头的强韧性达到了《时速200公里客运专线60AT钢轨焊接暂行技术条件》的要求，可以满足提速或准高速贝氏体钢焊接辙叉制造技术标准的要求。

1. 概述

在高速铁路线路中，传统的高锰钢辙叉虽然具有整体性好、预硬化后耐磨性好以及铺设更换方便等优点，但也存在一些不易克服的缺点，诸如使用寿命离散，不能和钢轨直接焊接，即使采用介质焊，其焊接接头的性能也达不到钢轨焊接接头性能。因此，高锰钢辙叉的这些缺点限制了其在高速铁路中的普遍应用，而使用贝氏体合金钢来制造辙叉成为解决这一难题的手段之一。

国外发达国家已大量使用合金钢辙叉，国内也有了拼装式合金钢辙叉，但拼装式辙叉在整体性、稳定性、对列车的平稳行驶以及安装维护上都存在着很多不足。为此，公司研究开发了新一代焊接贝氏体钢辙叉。辙叉的叉尖部分采用耐磨高韧的贝氏体合金钢，叉跟轨组件采用淬火PD3钢轨加工焊接而成；叉尖部分与叉跟轨采用闪光对接焊。通过大量的工艺试验，摸索总结出了贝氏体合金钢和普通淬火PD3钢轨闪光焊工艺，填补了我国合金钢焊接辙叉制造史上的技术空白。目前我公司批量生产的60kg/m钢轨12号提速贝氏体合金钢焊接辙叉，可以与线路上同型号的高锰钢辙叉互换。

2. 试验方法及设备

（1）试验材料 叉跟轨试件用材质为PD3的60kg/m钢轨。首先按叉跟轨断面进行加工，然后纵向对接。其断面符合产品标准中型式试验断面图尺寸，如图1所示。叉跟轨型式试件长度为650mm，其化学成分和力学性能如表1所示。

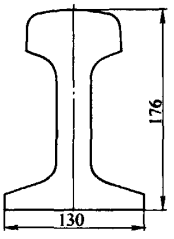


图1 型式试验断面图尺寸（截面积：97.586cm²）

表1 60 kg/m钢轨的化学成分和力学性能

化学成分（质量分数,%）						σ_b	δ_5	HB(10点	落锤挠
C	Si	Mn	P	S	V	/MPa	(%)	平均值)	度/mm
0.75	0.60	0.89	0.017	0.011	0.05	1040	10	301.2	43

注：母材金相组织为S+P+F。

试验用贝氏体合金钢，在低碳锰系钢中加入少量合金元素。组织为贝氏体、马氏体和奥氏体的复相组织。屈服强度为1100MPa，硬度为40HRC。型式试件断面尺寸与叉跟轨相同。

（2）试验设备 焊接采用GAA100/580型钢轨闪光焊机，焊头正火采用中频感应加热设备，静弯试验用JW—300型静弯试验机，落锤试验为专用的钢轨落锤试验机。疲劳试验委托中国飞机强度研究所，在P960型液压脉动疲劳试验机上进行。

3. 焊接工艺及正火处理

（1）焊接工艺 通过优化试验，最终确定的焊接主要参数如表2所示。

表2 焊接主要参数检测值

序号	检测参数	检测值
1	预热次数	9
2	烧化初速/mm·s^{-1}	≥0.2
3	烧化末速/mm·s^{-1}	≥1.8
4	烧化量/mm	12~16
5	顶锻速度/mm·s^{-1}	≥55

(2) 试件焊接 焊前对夹持导电部位进行了打磨除锈，按已确定的焊接参数连续焊接了21个焊头，供各种检验。焊后用砂轮机纵向打磨清理毛刺，使焊头轨顶面及工作边平直，其他部位平直或圆顺。

(3) 正火处理 用专门制作的感应圈对焊接区域进行正火处理，以消除焊接残余应力和均匀组织，细化晶粒，改善焊头的综合性能。正火温度：轨头=(930±20)℃，轨底≥860℃。

4. 试验结果

由于本试验属国内首次，我国目前尚无相关检验标准，故参考《时速200公里客运专线60AT钢轨焊接暂行技术条件》制定了相对应的性能标准，焊头的各项检测按标准执行。

(1) 外观 对型式试件焊头外观检测，轨顶面、轨底面及轨头内侧面的平直度均≤0.5mm，轨头和轨底上下圆角及轨颚部位均打磨圆顺，满足标准要求。

(2) 探伤 经超声波检验，所有焊头都未出现未焊透、过烧、裂纹和夹渣等焊接缺陷，焊头的探伤质量良好。

(3) 静弯 在JW—300型静弯试验机上进行，支座间距1m。共制作了3根静弯试件。静弯试验结果如表3所示。

表3 静弯试验结果

受力状态	合格标准/kN	试件编号	破断载荷/kN	挠度/mm	断口情况
轨头受压	≥1470	1	2290	32	无缺陷
		2	2255	26	无缺陷
		3	2167	22	无缺陷

(4) 落锤 落锤试验高度为2.8m，锤重1t，支座间距1m。试件数量为3个。3个试件均达到4锤不断，高于标准2锤不断的要求。

(5) 断口 断口检验是利用静弯和落锤试验折断的试件进行的。断口均无肉眼可见的裂纹、过烧、未熔透、气孔和夹渣等缺陷，所检断口均为合格。

(6) 疲劳 采用三点弯曲加载的方法对试件进行疲劳试验。试件长1.27m，支点间距1m；加载点在焊缝处，轨底受拉；最大载荷340kN、最小载荷68kN，循环系数为0.2；加载频率为5Hz，疲劳次数达200万次，3个试件的焊接接头均完好无损。

(7) 硬度 试板硬度分布如图2所示。

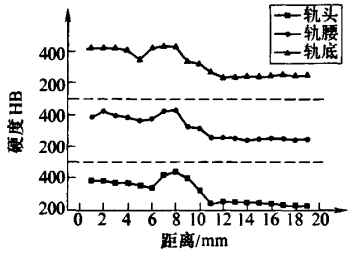


图2 试板硬度分布

(8) 拉伸试验 拉伸试验结果如表4所示。

表4 拉伸试验结果

类别	取样部位	σ_b/MPa	δ_5(%)	ψ(%)	平均值 σ_b/MPa	平均值 δ_5(%)	平均值 ψ(%)
焊接接头	轨头	1115	10	31	1117.5	10	28.5
		1120	10	26			
	轨腰	970	12	34	962.5	12.5	33.5
		955	13	33			
	轨底	920	10	41.0	925	10.5	38.5
		930	11	36.0			

从表4可以看出，焊接接头中轨头、轨腰以及轨底的抗拉强度和伸长率、断面收缩率均满足标准的要求。

(9) 冲击 冲击试验结果如表5所示。

表5 冲击试验结果

类别	取样部位	常温 a_k/J·cm^{-2}	平均值/J·cm^{-2}
焊缝	轨头	10	25
		51	
		14	
	轨腰	10	11
		11	
		13	
	轨底	10	12
		16	
		11	

冲击试验结果表明，焊缝平均冲击值达到16J/cm^2，这是由于焊头中叉跟轨中焊缝熔敷金属的冲击韧度较高，使焊缝的韧性得到了成倍的提高。

（10）金相　钢轨母材和焊接热影响区组织为珠光体和少量的铁素体，焊缝组织为珠光体＋贝氏体＋铁素体，贝钢母材组织为贝氏体、少量残余奥氏体和马氏体，在焊缝和热影响区组织为珠光体＋贝氏体＋铁素体，以及部分回火马氏体的复相组织。

5. 讨论

贝氏体合金钢轨与PD3钢轨异种材料闪光对接焊头主要性能和《时速200公里客运专线60AT钢轨焊接技术条件》的比较。

贝氏体合金钢轨与PD3钢轨闪光对接焊头断面与60AT钢轨断面相比，前者为对称断面，后者不对称；前者高度为176mm，后者为152mm；前者断面积为97.586cm^2，后者为104.746cm^2。因此，前者的断面积是后者的93%。在这一前提下，贝氏体合金钢轨与PD3钢轨闪光对接焊头主要性能和《时速200公里60AT钢轨焊接技术条件》比较如下：

（1）静弯性能　本试验的静弯破断载荷平均为2273kN，挠度平均为26.7mm，而60AT钢轨标准要求的破断载荷为1470kN，挠度为20mm。由此可知，本试验的静弯破断载荷比60AT钢轨标准要求的高出了52%，挠度高出了33.5%。

（2）落锤性能　本试验的落锤试验各项参数都与《时速200公里60AT钢轨焊接技术条件》的要求相同，所有试件均达到4锤不断，而标准要求2锤不断。可见，本试验的对接焊头动载冲击功比标准要求的高出一倍。

（3）疲劳性能　本试验的落锤试验各项参数都与《时速200公里60AT钢轨焊接技术条件》的要求相同，所有试件均达到2×10^6次不断，表面完好无损。

由此比较，贝氏体合金钢轨与PD3钢轨闪光对接焊头的静载弯曲、冲击动载和疲劳性能指标不仅达到了《时速200公里60AT钢轨焊接技术条件》的要求，而且其强塑韧性均有较大的储备。

（4）焊接参数对焊头质量的影响　众所周知，在闪光焊中，焊缝的质量对工艺参数十分敏感。在所有的闪光焊工艺参数中，预热、等速烧化速度、快速烧化速度以及顶锻速度等几个参数尤为关键。预热次数和预热时间直接影响烧化时是否均匀。烧化速度是保证稳定闪光的重要参数，过小的速度使闪光过程中易产生中断，而过大的速度又使过梁爆破后火口深度增加。而检验结果表明，焊接后的正火处理选择合适的加热参数可以有效地均匀焊缝组织并细化晶粒度，提高焊缝的力学性能。焊缝的外观、断口和金相组织说明没有焊接宏观缺陷，微观组织比较均匀。因此，本试验优化选择的闪光焊接参数和正火处理参数是合适的。

6. 结语

（1）贝氏体合金钢轨与PD3钢轨闪光焊接接头各项性能均达到了《时速200公里客运专线60AT钢轨焊接暂行技术条件》的要求。

（2）贝氏体合金钢轨与PD3钢轨闪光焊接工艺，能够满足提速或准高速贝氏体钢焊接辙叉制造技术标准的要求。

（3）贝氏体合金钢轨与PD3钢轨闪光焊接工艺已应用于道岔设备制造领域，填补了国内合金钢焊接道岔制造史上的一项空白。**MW**　（20080612）

（上接第28页）

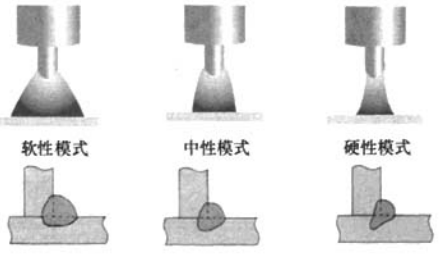


图5　三种脉冲焊接模式

（4）焊接规范的一元化调节，即调节焊接电流时电弧电压自动跟随变化。在一元化调整状态下微调电弧电压，熔滴过渡平稳、无飞溅时为较佳工艺匹配参数。

4. 结语

唐山松下引进开发的YM—350/500AG2逆变脉冲熔化极气体保护焊机，具有三种电弧形态模式，微电脑自动优化选择最佳工艺参数配合，脉冲电流焊接时熔滴过渡始终处于可控射流（射滴）状态，可实现无飞溅焊接。焊接效率高，焊缝成形好，焊缝及热影响区的组织和性能得到改善，为焊接TCS铁素体不锈钢优质机车提供了可靠保证。**MW**　（20080728）