

# Study on hot welding parameters of rail under Chinese standard in Southeast Asia

Yonggang Wang

CCCC Second Highway Engineering Co., Ltd., Xi'an, Shanxi, 710066, China

## Abstract

The main line of a track engineering project in Southeast Asia is a ballast track, seamless line, the total length of the line is 688.3km, the main line turnout welding adopts aluminum hot welding form, the turnout rail is 60 kg/m type U75V heat treatment rail, using S60 SkV-E Z120 type aluminum thermal solder. Type inspection and production inspection follow TB / T 1632.1-2014 and TB / T 1632.3-2019 standards. After the type inspection specimen welding, the qualified specimens undergo static bending, fatigue, tensile performance, hardness, microstructure, chemical analysis and fracture test in the third-party laboratory with ISO certification. By analyzing the causes and data comparison of the unqualified test items, adjusting the process parameters, a set of welding quality can meet the Chinese standard and be suitable for Southeast Asia, which can guarantee the stable joint welding quality in the construction process, and can provide the reference and basis for the adjustment and selection of welding parameters of S60 SkV-E U75V type 60 kg/m heat treatment rail under the Chinese standard in Southeast Asia.

## Keywords

aluminum hot welding; welding parameters; type inspection; Chinese standard

## 东南亚区域中国标准下钢轨铝热焊接参数研究

王永岗

中交第二公路工程局有限公司, 中国·陕西 西安 710066

## 摘 要

东南亚某轨道工程项目正线为有砟轨道、无缝线路, 线路全长688.3km, 正线道岔焊接采用铝热焊形式, 道岔钢轨为60kg/m型U75V热处理钢轨, 使用S60 SkV-E Z120型铝热焊剂。型式检验及生产检验均遵循TB/T 1632.1-2014及TB/T 1632.3-2019标准, 型式检验试件焊接完成后, 进行外观、平直度检查及探伤, 合格的试件在具有ISO认证的第三方试验室进行静弯、疲劳、拉伸性能、硬度、显微组织、化学分析及断口试验。通过对试验过程中不合格的试验项目进行原因分析、数据对比, 及时调整工艺参数, 确定一套焊接质量能够满足中国标准、适用于东南亚区域的焊接参数, 为施工过程中稳定的接头焊接质量提供保障, 可以为东南亚区域中国标准下60kg/m型U75V热处理钢轨使用S60 SkV-E铝热焊剂焊接参数的调整和选取提供参考和依据。

## 关键词

铝热焊接; 焊接参数; 型式检验; 中国标准

## 1 引言

该轨道项目线路全长 688.3km, 标准轨距, 正线道岔焊接采用铝热焊形式, 道岔数量为 147 组。项目铝热焊接头型式检验及生产检验遵循 TB/T 1632.1-2014 及 TB/T 1632.3-2019 标准。试验要求如表 1 所示。

型式检验流程: 试件焊接完成仿形打磨后, 对接头进行外观检查、平直度检查、超声波探伤及磁粉探伤等检测; 上述检测合格后, 试验接头送到经过 ISO 认证的第三方试验室进行型式检验。一组完整的型式检验试件包含 16 个接

头, 其中, 10 个接头进行静弯试验, 3 个接头进行疲劳试验, 1 个接头进行拉伸试验, 2 个接头进行硬度试验, 利用硬度试件进行显微组织和化学成分试验, 利用静弯试件进行断口试验。一组试件的 16 个接头必须一次性全部通过所有试验才认定为合格<sup>[1]</sup>。型式检验类型及试件数量如表 1-2 所示。

生产检验流程: 焊接完成 4 个试件并仿形打磨后, 对接头进行外观检查、平直度检查、超声波探伤及磁粉探伤等检测; 上述检测合格后, 对接头进行静弯试验、焊缝硬度试验及断口试验, 全部试验通过即为合格。

【作者简介】王永岗 (1991-), 男, 中国甘肃静宁人, 本科, 工程师, 从事轨道工程施工管理研究。

表 1 中国标准 60kg/m 钢轨铝热焊接试验要求

试验类型		试验要求
静弯	轨头受压	980 MPa 级钢轨: $F \geq 1300 \text{ kN}$ , $f_{\max} \geq 10 \text{ mm}$
	轨头受拉	980 MPa 级钢轨: $F \geq 1200 \text{ kN}$ , $f_{\max} \geq 10 \text{ mm}$
疲劳		$F_{\min} = 70 \text{ kN}$ , $F_{\max} = 350 \text{ kN}$ , 支距 1.0m, 荷载循环次数: 200 万次, 不断
拉伸性能		980 MPa 级钢轨: $R_m \geq 780 \text{ MPa}$
硬度	焊缝硬度	热处理钢轨: $H_P - 40 \sim H_P + 20$ (HBW10/3000)
	软化区宽度	热处理钢轨: $W \leq 30 \text{ mm}$
显微组织及化学成分		焊缝、热影响区不应出现无马氏体和魏氏体组织等
断口		不应出现疏松、缩孔或由焊接引起的裂纹类缺陷

注:  $F$ —静弯荷载,  $f_{\max}$ —静弯最大挠度,  $F_{\max}$ —弯曲疲劳最大荷载,  $F_{\min}$ —弯曲疲劳最小荷载,  $R_m$ —抗拉强度平均值,  $H_P$ —母材硬度平均值,  $W$ —软化区宽度

\* 热处理钢轨焊接接头的静弯、拉伸检验项目, 按照相应牌号热轧钢轨焊接接头的要求执行。

表 2 型式检验类型及试件数量

编号	试验类型								
	静弯 (10)		疲劳 (3)	拉伸 (1)	硬度 (2)		显微组织 (1)	化学成分 (1)	断口 (10)
	轨头受压 (8)	轨头受拉 (2)			焊缝硬度 (1)	软化区宽度 (1)			
1	●								●
2	●								●
3	●								●
4	●								●
5	●								●
6	●								●
7	●								●
8	●								●
9		●							●
10		●							●
11			●						
12			●						
13			●						
14				●					
15					●			●	
16						●		●	

## 2 铝热焊接原理

铝热焊接是一种利用铝粉与氧化铁等金属氧化物在高温触发下发生剧烈氧化还原反应从而实现焊接的技术, 铝热反应过程中释放大量热量, 生成高温钢水和氧化铝熔渣, 高温钢水浇铸到预热的砂型和钢轨形成的空腔中, 冷却后得到牢固的焊接接头<sup>[2]</sup>。

其化学反应式为:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$

## 3 铝热焊接工艺参数

铝热焊接工艺参数主要包括预热枪高度、气体压力、预热时间、焊缝宽度、尖点高度、拆模时间、去除轨头砂型时间和推瘤时间等。工艺参数的选取对焊接质量有决定性的影响, 各个参数的改变对焊接质量的影响也不尽相同。

### 3.1 预热枪高度

预热枪高度直接影响到焊接区域的温度分布和预热效果。如果预热枪高度过低, 可能导致轨头预热不足, 形成不均匀的热量分布; 如果高度过高, 则可能导致轨脚温度不达标, 预热不充分, 影响焊接的融合性和强度。

### 3.2 气体压力

铝热焊接采用丙烷、乙炔及其他燃气和氧气混合燃烧进行预热, 燃气和氧气的气体压力对燃气充分燃烧、保护气氛等有较大影响。压力过高可能导致焊接过程中气体流量过大, 造成预热区域的氧化或烧伤; 气体压力过低则可能无法充分保护预热区域, 导致焊缝存在缺陷。

### 3.3 预热时间

预热时间决定了焊接区域的温度均匀性。预热时间过短可能导致局部温度差异过大, 造成焊接接头的热应力不均

匀,进而引发裂纹或接头强度不足;过长的预热时间可能导致焊接接头的局部软化,降低接头的强度。

### 3.4 焊缝宽度

焊缝宽度对焊接接头的强度和外观有直接影响。焊缝宽度过大,焊接时容易形成气孔、夹渣等焊接缺陷;焊缝宽度过小,可能导致焊接接头融合不良,接头强度不足。

### 3.5 尖点高度

尖点高度对接头外观及平直度的影响较大。尖点高度过高可能导致接头起拱量过大,从而形成高接头;尖点高度过小则可能导致接头冷却后塌陷,形成低接头。

### 3.6 拆模时间

拆模时间可以控制铝热焊接接头的冷却速度。如果拆模过早,冷却速度过快可能导致接头产生形变和裂纹;如果拆模过晚,则会影响后续推瘤的效果,进而影响焊接接头的外观。

### 3.7 去除轨头砂型时间、推瘤时间

去除轨头砂型时间、推瘤时间均对接头的表面质量和

形状有较大影响。时间过长可能导致焊接接头推瘤困难甚至无法推瘤;时间过短则可能导致接头内部钢水未完全冷却,推瘤冷却后形成表面缺陷。

## 4 焊接工艺参数选择

### 4.1 首组焊接参数

型式检验初期,项目根据焊剂生产厂家的建议,结合以往项目施工经验,选择了一组铝热焊接参数进行型式检验,如表3所示。

型式检验使用60kg/m U75V热处理钢轨、Z120型焊剂,接头自身具有强度高、硬度高、韧性较差的特点。型式检验过程中,发现静弯试验荷载值基本可以满足标准要求<sup>[3]</sup>,但挠度值不能全部达到标准要求,部分不合格试件静弯试验曲线如图1所示。

首组焊接参数焊接的试件静弯试验合格率仅为40%,如表4所示。

表3 首组焊接参数

预热枪高度 (mm)	气体压力 (bar)		预热时间 (min)	焊缝宽度 (mm)	尖点高度 (mm)	拆模时间	去除轨头砂型时间	推瘤时间
	氧气	丙烷						
40	4.5	1.5	3.5	28	1.8-2.3	4' 30"	8' 10"	8' 20"

注:因预热燃气为丙烷,选择使用32个枪孔的预热枪。

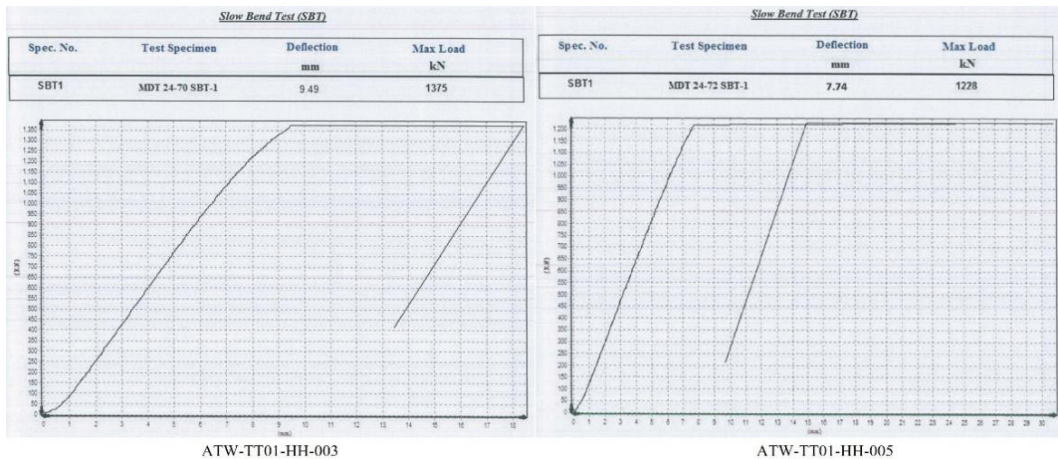


图1 静弯试验曲线

表4 第1次静弯试验数据及结果

试件编号	钢轨类型	静弯值 /kN	挠度 /mm	结果	备注
ATW-TT01-HH-001	H/H	1434	10.35	√	轨头受压
ATW-TT01-HH-002	H/H	1424	10.26	√	轨头受压
ATW-TT01-HH-003	H/H	1375	9.49	×	轨头受压
ATW-TT01-HH-004	H/H	1309	8.56	×	轨头受压
ATW-TT01-HH-005	H/H	1228	7.74	×	轨头受压
ATW-TT01-HH-006	H/H	1447	10.51	√	轨头受压
ATW-TT01-HH-007	H/H	1425	10.21	√	轨头受压
ATW-TT01-HH-008	H/H	1378	9.47	×	轨头受压
ATW-TT01-HH-009	H/H	1212	7.79	×	轨头受拉
ATW-TT01-HH-010	H/H	1207	6.97	×	轨头受拉

第1次静弯试验不合格后,除已经开始的硬度试验和拉伸性能试验,其余剩余试验均被取消。通过分析静弯试验数据,结合现场焊接情况,总结了以下几点主要原因并制定了改进措施。

- (1) 预热时气体燃烧不充分,导致热量输出不稳定;
- (2) 预热火焰状态控制较差,导致待焊钢轨端面存在氧化或碳化现象;
- (3) 试件待焊面不垂直,导致接头焊缝厚度不均匀,应力分布失衡;
- (4) 试件轨脚三角区打磨不到位,导致应力集中。

改进措施为:

- (1) 在氧气压力不变的情况下,减小乙炔的压力,使气体燃烧充分;
- (2) 控制火焰形态,全程使用中性焰进行预热;
- (3) 对轨前检查试件待焊面垂直度,不垂直度不得超过1%;
- (4) 加强试件接头轨脚三角区的打磨,使焊缝圆滑,避免应力集中。

#### 4.2 第二、三、四组焊接参数

分析首组参数静弯试验不合格的原因后,项目将首组参数的硬度试验结果作为参考,进行了进一步分析。

接头硬度为351.08(HBW10/3000),软化区宽度为16mm,接头的硬度试验符合规范要求,但焊缝硬度偏高,软化区宽度较小、接头韧性偏低。若要符合静弯试验要求,需要增加接头韧性,但同时不能过多地降低接头焊缝硬度。项目认为应当加强预热以增加接头韧性,从而使得静弯试验的挠度可以满足标准要求,决定将:(1)丙烷的气体压力从1.5bar调整到1.2bar;(2)预热时间由3.5min分别调整至4min、4.5min、5min;其余参数保持不变作为第二、三、四组参数,每组参数分别焊接2个试件,进行第2次静弯试验以验证三组新参数,静弯试验数据及结果如表5所示。

从表5可得知,第二组参数静弯试验挠度偏小,接头韧性较差,认为是预热不足导致;第四组参数静弯值偏小,接头强度较低,可能由于预热过度导致;而第三组参数可同时符合静弯值和挠度的要求。

表5 第2次静弯试验数据及结果

试件编号	钢轨类型	静弯值/kN	挠度/mm	结果	备注
ATW-IT01-HH-001	H/H	1329	8.61	×	轨头受压,预热4min
ATW-IT01-HH-002	H/H	1483	10.12	√	轨头受压,预热4min
ATW-IT02-HH-001	H/H	1498	10.85	√	轨头受压,预热4.5min
ATW-IT02-HH-002	H/H	1470	10.36	√	轨头受压,预热4.5min
ATW-IT03-HH-001	H/H	1367	10.01	√	轨头受压,预热5min
ATW-IT03-HH-002	H/H	1223	7.85	×	轨头受压,预热5min

#### 4.3 第五组焊接参数

项目计划采用第三组参数进行全部试件的型式检验,但在试验准备过程中收到第三方试验室关于首组参数拉伸试验不合格的试验报告。

虽然相较于首组参数,第三组参数已经有了较大改变,但首组参数拉伸试验的数据仍可作为参考,应当分析其不合格原因并继续改进参数。经分析,导致拉伸试验失败的可能原因为:(1)焊后冷却过快,导致脆性相物质生成;(2)焊缝宽度偏小,导致焊接接头融合不良,降低了接头抗拉强度。因此在第三组参数的基础上进行了部分调整:(1)去除轨头砂型时间及推瘤时间加长20s;(2)焊缝宽度增大2mm。调整后按照第五组参数继续焊接了2个试件并进行了静弯试验,试验数据及结果如表6所示。

试验结果表明,第五组参数焊接的试件也可以满足静弯试验的要求。

#### 5 焊接工艺参数确定

通过上述一系列措施及对焊接参数的调整,决定使用第五组参数进行全部静弯试验试件的焊接及试验,静弯试验数据及结果如表7所示。

全部静弯试验通过后,继续按照第五组参数进行了后续6个试件的焊接及试验,最终通过全部试验,试验结果如表8所示。

型式检验通过后,确定了第五组参数为最终的铝热焊接参数,具体参数如表9所示。

#### 6 实际应用效果

型式检验通过后,正线道岔焊接正式开展。根据TB/T 1632.3-2019标准要求,累计焊接200个接头需要进行一次生产检验。表10为第一次生产检验试验数据及结果。

生产检验证明,该组铝热焊接参数良好稳定,接头质量完全符合铝热焊接规范要求。

表6 第3次静弯试验数据及结果

试件编号	钢轨类型	静弯值/kN	挠度/mm	结果	备注
ATW-IT04-HH-001	H/H	1481	10.92	√	轨头受压,预热4.5min
ATW-IT04-HH-002	H/H	1476	10.89	√	轨头受压,预热4.5min

表7 第4次静弯试验数据及结果

试件编号	钢轨类型	静弯值 /kN	挠度 /mm	结果	备注
ATW-TT02-HH-001	H/H	1489	11.00	√	轨头受压
ATW-TT02-HH-002	H/H	1480	11.04	√	轨头受压
ATW-TT02-HH-003	H/H	1408	10.26	√	轨头受压
ATW-TT02-HH-004	H/H	1490	10.84	√	轨头受压
ATW-TT02-HH-005	H/H	1461	10.85	√	轨头受压
ATW-TT02-HH-006	H/H	1495	11.41	√	轨头受压
ATW-TT02-HH-007	H/H	1419	10.25	√	轨头受压
ATW-TT02-HH-008	H/H	1435	10.63	√	轨头受压
ATW-TT02-HH-009	H/H	1589	13.81	√	轨头受拉
ATW-TT02-HH-010	H/H	1469	10.57	√	轨头受拉

表8 剩余试件型式检验结果

试件编号	试验类型					
	疲劳	拉伸	硬度		显微组织	化学成分
			焊缝硬度	软化区宽度		
ATW-TT02-HH-011	√					
ATW-TT02-HH-012	√					
ATW-TT02-HH-013	√					
ATW-TT02-HH-014		√				
ATW-TT02-HH-015			√			√
ATW-TT02-HH-016				√	√	

表9 最终铝热焊接参数

预热枪高度 (mm)	气体压力 (bar)		预热时间 (min)	焊缝宽度 (mm)	尖点高度 (mm)	拆模时间	去除轨头砂型时间	推瘤时间
	氧气	丙烷						
40	4.5	1.2	4.5	30	1.8-2.3	4' 30"	8' 30"	8' 40"

表10 生产检验试验数据及结果

试件编号	钢轨类型	静弯值 /kN	挠度 /mm	焊缝硬度 / HBW10/3000	结果	备注
ATW-PT01-001	H/H	1490	10.78	/	√	轨头受压
ATW-PT01-002	H/H	1466	10.63	/	√	轨头受压
ATW-PT01-003	H/H	1398	10.26	/	√	轨头受拉
ATW-PT01-004	H/H	/	/	346.22	√	

## 7 结语

通过型式检验及生产检验的验证,该项目目前使用的铝热焊接参数符合中国标准焊接质量要求,并且使用该参数焊接的接头质量稳定。在型式检验过程中,焊接工艺参数调试难点为:使用的60kg/m型U75V热处理钢轨和Z120型焊剂焊接的接头自身具有强度高、硬度高、韧性较差的特点,静弯试验的挠度值难以连续达到要求。

对于60kg/m型U75V热处理钢轨在中国标准下使用S60 SkV-E Z120型焊剂焊接进行铝热焊接型式检验,总结出以下几点经验:

①在硬度及软化区宽度符合规范要求的前提下,预热时间应适当延长;

②在确保浇铸质量的前提下,焊缝宽度可适当增大;

③钢轨端面垂直度对钢轨焊接接头质量影响较大,应当严格控制。

该项目铝热焊接参数研究的成果为调试出一套稳定的焊接工艺参数,该套参数为项目铝热焊接接头质量提供了保障,可以作为东南亚区域中国标准下U75V热处理钢轨铝热焊接参数调整和选取的参考和依据。

### 参考文献

- [1] 王健相.钢轨铝热焊接工艺及其质量控制[J].安徽大学学报,2017(5):10-11
- [2] 小半径曲线钢轨磨耗速率影响因素[J].设备管理与维修,2023(04)
- [3] 轨道平顺性在无缝线路安全控制中的作用[J].铁道工程学报