DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2014.06.006

文章编号:1005-0523(2014)06-0024-05

重载铁路75 kg·m^{-1}钢轨铝热焊接头力学性能试验分析

程建平[1],陶佳元[2],许玉德[2],王天一[2],孙宏方[1]

(1.朔黄铁路发展有限责任公司,河北 肃宁 062350;2.同济大学道路与交通工程教育部重点实验室,上海 201804)

摘要:某重载铁路线路采用铝热焊技术实现钢轨现场焊接,为分析评价铝热焊接头的力学性能,对现场取样的焊接钢轨进行一系列室内力学试验,试验结果表明:部分试样轨头受压静弯试验不满足荷载力要求,所有试样最大挠度均低于规范限值;部分试样疲劳加载次数未达到200万次要求的;所有试样的冲击吸收功远低于规范要求。该重载铁路75 kg·m^{-1}钢轨铝热焊接头的力学性能不满足规范要求,需要对焊剂、焊接设备以及焊接工艺进行改进,以满足重载铁路高强度钢轨对铝热焊接头力学性能的要求。

关键词:重载铁路;铝热焊;焊接接头;力学性能;试验

中图分类号:U213.9+2 **文献标志码**:A

铝热焊是一种以氧化铁为氧化剂,铝粉为还原剂的热剂焊。作为钢轨在线焊接、原位修复和断轨抢修的主要手段之一,铝热焊因其机动性好、操作方便、不依赖电力、焊接速度快的特点[1-2],在国内外重载铁路现场作业中得到了广泛应用[3-6]。目前,我国重载铁路面临着扩能改造的需求,列车轴重、编组数及年运量不断增加,原有的钢轨已无法满足近乎苛刻的使用条件,磨耗非常严重[7-8],因此,越来越多具有高强度、高硬度的新型钢轨投入使用,对铝热焊剂以及现场的焊接工艺都提出了更高的要求[9-10]。铝热焊在自身质量控制方面的缺点[3]以及对重载铁路高强度钢轨铝热焊经验的不足,势必对钢轨焊接接头的质量产生影响。现场运营实践表明,75 kg·m^{-1}的PG4淬火轨(强度1 300 MPa级,轨顶面硬度380 HB)铝热焊接头连续出现了多处断裂,对行车运行带来安全隐患。

根据相关规范,对某重载铁路线路现场获取的75 kg·m^{-1}铝热焊焊接钢轨试样进行了一系列力学试验,以此评价钢轨焊接接头的力学性能。

1 试验方法

根据铁道行业标准钢轨焊接(TB/T 1632.1-2005)[11]的要求,对铝热焊焊接钢轨进行取样。具体取样及试样编号情况如表1所示。为了准确地对铝热焊钢轨的各项力学性能进行试验,在试验前对钢轨试样焊接接头的平直度、表面质量以及内部伤损进行了检验,结果符合规范要求。

表1 钢轨取样及编号情况

Tab.1 The number scheme of rail samples

试验项目	钢轨试验根数/根	规格/m	编号	试样说明
静弯试验	10	1.3	1# - 10#	1# - 8#轨头受压;9# - 10#轨头受拉
疲劳试验	4	1.8	11# - 14#	
拉伸试验	1	0.5	15#	按200 mm取样,取样数量为9个
冲击试验	1	0.5	16#	按50 mm取样,取样数量为12个

收稿日期:2014-10-08

基金项目:国家科技支撑计划项目(2013BAG20B00)

作者简介:程建平(1965—),男,高级工程师,研究方向为铁路重载运输。

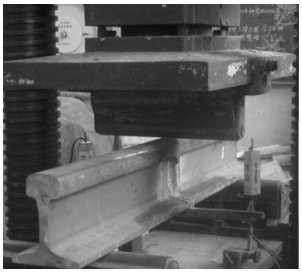
(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

静弯试验钢轨试样长度为1.3 m，焊缝中心位于试样中心，两端锯切加工，钢轨试样置于支距为1 m的支座上，焊缝中心承受集中荷载。试验设备选用压力试验机。疲劳试验钢轨试样长度为1.8 m，试样简支于支距为1.5 m的支座上，采用脉动弯曲疲劳试验，试验设备主要为疲劳试验机。拉伸试验采用d_0=10 mm，l_0=5 d_0的圆棒状拉伸试样，试验设备为电子万能试验机。冲击试验采用10 mm×10 mm×55 mm的U形缺口试样，所用设备为冲击试验机。各试验设备型号及图片见表2和图1。

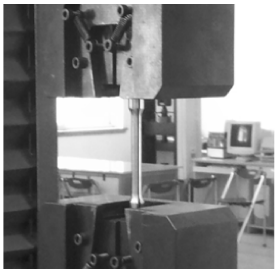
表2　试验设备型号

Tab.2　Type of testing equipment

序号	试验项目	试验设备型号	试验设备产地
1	静弯试验	TY_5000KN液压式压力试验机	长春
2	疲劳试验	PME-500液压脉动疲劳试验机	济南
3	拉伸试验	CSS-44200电子万能试验机	长春
4	冲击试验	M2-2069落钟式冲击试验机	扬州


(a) 静弯试验


(b) 疲劳试验


(c) 拉伸试验


(d) 冲击试验

图1　试验设备

Fig.1　Testing equipments

2　试验结果分析

2.1　静弯试验

试样1#－8#进行轨头受压静弯试验，9#－10#进行轨头受拉静弯试验。记录钢轨发生脆断时的荷载和支距中间的对应挠度，试验结果如表3所示。

表3　静弯试验结果

Tab.3　Results of bending test

试样编号	F/kN	f_{max}/mm	试样编号	F/kN	f_{max}/mm
1#	1 746.4	6.7	6#	1 790.5	6.9
2#	1 810.1	7.0	7#	1 899.2	7.5
3#	1 737.5	6.6	8#	1 768.9	6.8
4#	1 597.4	5.9	9#	1 897.3	7.5
5#	1 668.0	6.3	10#	1 703.2	6.5

根据钢轨焊接标准(TB/T 1632.3-2005)[12]中规定，75 kg·m^{-1}的980 MPa级以上钢轨静弯试验承受的荷载力F应分别大于1 600 kN(轨头受压)、1 500 kN(轨头受拉)，最大挠度f_{max}应大于10 mm。本次试验除受压试样4#不满足荷载力要求(达到限值的99.8%)，其余试样均满足规范要求；所有试样均不满足最大挠度大于10 mm的规范要求，试样最大挠度平均值仅为规范限值的67.7%。

2.2　疲劳试验

根据钢轨试样类型及试验设备支座支距，确定本次试验最大荷载为300 kN，荷载频率为5 Hz，荷载比

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

为0.2。试验结果为：11#钢轨发生脆断，脆断时加载次数为156万次；其余3根试样（12#-14#）均达到200万次的荷载循环次数要求。

2.3 拉伸试验

按照钢轨焊接标准（TB/T 1632.3-2005）中规定，对焊接钢轨的轨头（15#-1，15#-2，15#-3）、轨腰（15#-4，15#-5，15#-6）和轨底（15#-7，15#-8，15#-9）分别取样，取样位置如图2所示（单位为mm）。对试样进行拉伸试验，分别记录抗拉强度和断后伸长率，如表4所示。将9个试样的抗拉强度平均值R_m、断后伸长率平均值A作为试验结果。

根据钢轨焊接标准（TB/T 1632.3-2005）中规定，75 kg·m^{-1}的980 MPa级以上钢轨抗拉强度平均值R_m须大于780 MPa，断后伸长率平均值A须大于2%。两项指标试验结果满足规范要求。但由表4中结果可知，焊接钢轨横断面抗拉强度分布并不均匀，其中轨头、轨腰及轨底各位置的抗拉强度平均值分别为809.25，794.10 MPa和765.73 MPa，由上至下呈现出下降趋势。

2.4 冲击试验

按规范要求，对焊接钢轨的轨头（16#-1，16#-2，16#-3，16#-4）、轨腰（16#-5，16#-6，16#-7，16#-8）和轨底（16#-9，16#-10，16#-11，16#-12）分别取样，取样位置如图3所示（单位为mm）。记录12个试样的冲击吸收功，并将12个试样的冲击吸收功A_{KU}的平均值作为试验结果，试验结果如表5所示。

冲击试验结果表明，试样各位置处的冲击吸收功均小于规范要求（6 J），而其中轨头处冲击韧性明显高于轨腰和轨底处，分布规律与拉伸试验结果一致。

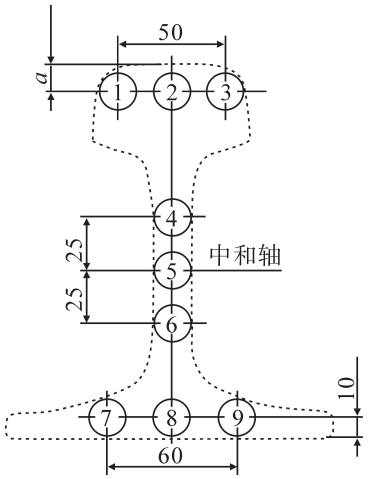


图2 拉伸试验取样位置

Fig.2 Sampling location in tensile test

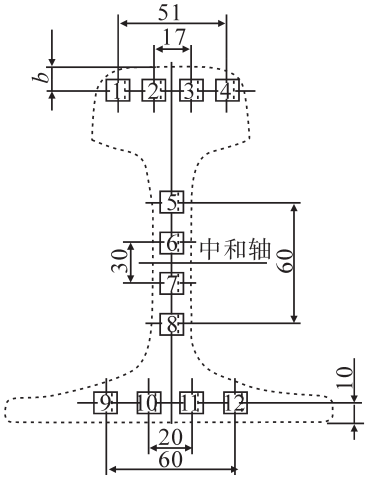


图3 冲击试验取样位置

Fig.3 Sampling location in impact test

表4 拉伸试验结果

Tab.4 Results of tensile test

试样编号	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%	试样编号	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%
15#-1	879.14	3.62	15#-6	763.51	2.26
15#-2	732.04	1.44	15#-7	785.98	2.12
15#-3	816.57	2.26	15#-8	766.93	2.10
15#-4	857.42	2.60	15#-9	744.27	2.44
15#-5	761.38	2.08	平均值	789.69	2.32

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表5　冲击试验结果

Tab.5　Results of impact test

试样编号	A_{KU}/J	试样编号	A_{KU}/J
16#-1	3.0	16#-8	2.0
16#-2	4.0	16#-9	3.0
16#-3	8.0	16#-10	2.0
16#-4	4.0	16#-11	3.0
16#-5	3.0	16#-12	2.0
16#-6	2.0	平均值	3.2
16#-7	2.0	规范限值	6.0

3　结论与建议

对铝热焊焊接钢轨进行了静弯、疲劳、拉伸和冲击试验，得到以下结论：

1）静弯试验结果表明，除受压试样4#不满足荷载力要求（1 600 kN），其余均满足荷载力要求；所有试样均不满足最大挠度限值（10 mm）的规范要求。

2）疲劳试验结果表明，11#试样发生脆断，脆断时加载次数为156万次；其余3根试样均达到200万次的荷载循环次数要求。

3）拉伸试验结果表明，部分试样抗拉强度低于标准要求，各试样抗拉强度平均值789.69 MPa，满足强度要求（780 MPa）；断后伸长率均值为2.32%，满足规范要求（2%）。

4）冲击试验结果表明，试样的冲击吸收功平均值3.2 J低于规范要求（6.0 J）。

综上，该重载铁路75 kg·m⁻¹钢轨铝热焊接头的力学性能不满足规范要求，主要表现为：所有试样最大挠度及冲击吸收功均低于规范限值；部分试样静弯试验荷载力与疲劳加载次数未达到规范要求；试样横断面抗拉强度及冲击韧性分布不均匀。测试结果表明现场对重载铁路75 kg·m⁻¹钢轨的铝热焊技术尚不成熟，缺乏经验，从而导致焊接接头的质量波动较大。

因此，需要针对重载铁路高强度钢轨改进铝热焊的焊剂、焊接设备以及焊接工艺，以满足钢轨铝热焊接头的力学性能要求，保障行车安全。

参考文献：

[1] 王元清, 周晖, 奚望, 等. 铁路钢轨铝热焊接接头的低温力学性能试验[J]. 焊接学报, 2010,31(7):13-16, 21.
[2] 车军, 郑韶先, 苏程, 等. 国内钢轨焊接的现状及发展趋势[J]. 焊接, 2011(10):33-35.
[3] 刘正文, 丁韦, 李力, 等. 重载线路铝热焊接头轨头下部夹杂缺陷分析[J]. 焊接技术, 2012,41(9):46-48.
[4] 李金华, 李力, 丁韦, 等. 75 kg·m⁻¹钢轨铝热焊接头断裂失效研究[J]. 铁道建筑, 2011(11):102-105.
[5] KRISTAN J. Advcmces in rail welding [J]. Railway Track and Structure, 2004,100(2):15-17.
[6] MUTTON P J, ALVAREZ E F. Failure modes in aluminothermic rail welds under high axle load conditions [J]. Engineering Failure Analysis, 2004, 11(2): 151-166.
[7] 贺颂, 徐伟人. LR1200焊轨车PG4焊接工艺调试[J]. 上海铁道科技, 2013(1):38-39.
[8] 王少锋, 许玉德, 周宇, 等. 基于临界平面法的钢轨裂纹萌生寿命预测模型研究[J].华东交通大学学报,2011,28(5):77-82.
[9] 周清跃, 张建峰, 郭战伟, 等. 重载铁路钢轨的伤损及预防对策研究[J]. 中国铁道科学, 2010,31(1):27-31.
[10] 崔成林, 高松福, 迟俊杰, 等. 国内外钢轨铝热焊接技术研究现状和发展[J]. 铁道建筑, 2009(6):96-100.
[11] 中华人民共和国铁道部. TB/T 1632.1-2005 钢轨焊接 第1部分:通用技术条件[S]. 北京:中国铁道出版社, 2005.
[12] 中华人民共和国铁道部. TB/T 1632.3-2005 钢轨焊接 第3部分:铝热焊接[S]. 北京:中国铁道出版社, 2005.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Test Study on Mechanical Properties of Thermit Welded Joint of 75 kg·m^{-1} Rail in Heavy Haul Railway

Cheng Jianping[1], Tao Jiayuan[2], Xu Yude[2], Wang Tianyi[2], Sun Hongfang[1]

(1. Shuohuang Railway Development Co., Ltd., Suning 062350, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China)

Abstract: Thermit welding is applied in the heavy haul railway line to realize site welding of rails. In order to evaluate mechanical properties of the thermit welded joint, this study carried out a series of laboratory tests for the site samples. The test results show as follows: Some of the samples do not meet the requirements of load in bending test; The maximum deflection of each testing sample is lower than limit; The number of fatigue loading cycles of some samples are less than the limit of 2×10^6; The impact absorbing energy of all samples do not meet the standard requirements. In general, mechanical properties of thermit welded joint of 75 kg·m^{-1} rail do not meet the current requirements. It is necessary to make improvements in welding flux, equipment and process to enhance the performance of thermit welded joint and to meet the requirements as well.

Key words: heavy haul railway; thermit welding; welded joint; mechanical properties; test

（上接第16页）

[10] 李创军,柯以茂. 大断面黄土隧道弧形导坑三台阶七步开挖施工技术研究[J]. 公路交通科技:应用技术版, 2013(11): 126-129.

[11] 丁维利. 大断面黄土隧道二台阶四步开挖施工技术[J]. 铁道标准设计, 2007(S1):109-112.

Study on Construction Parameters of Shallow and Large-section Loess Tunnel

Dou Shixue[1], Wang Keyuan[1], Zhang Wuxing[1], Li Zhiqing[2]

(1. The Fifth Engineering Co., Ltd., China Railway 25th Bureau Group, Qingdao 266000, China; 2. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;)

Abstract: Aiming at a shallow and large-section loess tunnel of Datong-Xi'an railway and based on Plaxis-3D finite analysis software, this paper uses Mohr-Coulomb model to numerically simulate the three-bench seven-step excavation method. The influence of different excavation footage cycles, lengths of step and sizes of block on the deformation and stability are studied. The results show as follows: when the excavation footage cycle is 1 m, the maximum accumulated incremental deformation of excavation step is separately 30 mm; when the length of step is 5 m, the relative convergence of tunnel is 74mm; when the length of upper step is 3 m, the relative convergence of tunnel is 76 mm. It finds out that the construction parameters above during excavation may make the deformation small with good stability.

Key words: loess tunnel; large section; shallow buried; numerical simulation; construction parameters

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net