

焊接参数对轨道交通车辆不锈钢磁控电阻点焊的影响

郭 猛 胡立国 刘海伟 康丽齐 袁海堃 周 勇

(中车长春轨道客车股份有限公司工程技术中心, 130062, 长春//第一作者, 高级工程师)

摘 要 以轨道车辆用 2 mm 厚的 SUS301L-LDT 不锈钢为研究对象,对比分析了熔核形貌和磁控电阻点焊的机械性能,以及不同焊接参数下磁控电阻点焊的剪切强度变化规律。结果表明,同等外加磁场强度条件下,当焊接参数增大或焊接周波增加时,点焊试件的拉剪强度和熔核宽高比变化更加明显。当焊接电流为 10 kA、焊接周波为 0.50 s 时,在外加磁场的作用下,点焊的拉伸强度最大增加 16.47%;当焊接电流增加、焊接周波缩短时,点焊的拉剪失效位移增加较为明显;当焊接电流为 11 kA、焊接周波为 0.44 s 时,在外加磁场的作用下点焊的拉剪失效位移最大为 4.98 mm。可见,影响电阻点焊磁控效果的主要因素为焊接电流和焊接周波。

关键词 轨道交通车辆; 不锈钢; 磁控电阻点焊; 焊接参数
中图分类号 U270.6; TG 453

DOI:10.16037/j.1007-869x.2022.02.011

Influence of Welding Parameters on Stainless Steel Magnetic Controlled Resistance Spot Welding of Rail Transit Vehicle

GUO Meng, HU Liguu, LIU Haiwei, KANG Liqi, YUAN Haikun, ZHOU Yong

Abstract Based on the 2 mm thick SUS301L-LDT stainless steel used in rail transit vehicle, the mechanical properties of welding nugget feature and magnetic controlled resistance spot welding, the variation law of magnetic controlled resistance spot welding shear strength in different welding parameter conditions are comparatively analyzed. Results show that under the same external magnetic field action, the spot welding sample shear strength and the aspect ratio changes of nugget width will be more obvious when the welding parameter or the welding cycle increases. For example, under the external magnetic field action, when the welding current is 10 kA and the welding cycle is 0.50 s, the maximum tensile strength of spot welding increases by 16.47%. When the welding current increases and the welding cycle is shortened, the tension shear failure displacement of spot welding will increase more obviously. For example, when the welding current is 11 kA and the welding cycle is 0.44 s, the maximum tension shear

failure displacement of spot welding under the external magnetic field action increases to 4.98 mm. Consequently, the welding current and the welding cycle are detected as the main causes to influence the magnetic control effect of resistance spot welding.

Key words rail transit vehicle; stainless steel; magnetic controlled resistance spot welding; welding parameter

Author's address Engineering Technology Center, CRRC Changchun Railway Vehicles Co., Ltd., 130062, Changchun, China

电阻点焊以其高效率、焊接变形小等优点广泛应用于不锈钢轨道交通车辆生产中。伴随着轨道交通车辆的国际化进程,中车长春轨道客车股份有限公司(以下简称“中车长客”)的不锈钢车辆成功进入巴西、泰国及美国等国际市场以及香港特区市场,客户对不锈钢车辆制造水平的要求亦日益提高。因此,不锈钢车辆的焊接质量、平面度外观质量成为不锈钢车辆制造过程中的重要指标^[1]。

电阻点焊参数的选择,尤其点焊电流的选择对点焊质量影响较大。当焊接电流较小时,熔核未完全生长;当焊接参数过大时,形成的粗晶组织同样对点焊强度有较大的影响^[2-3]。近年来不少学者对利用电磁搅拌技术提高汽车和轨道交通车辆点焊接头质量进行了研究。文献[4-5]对双相高强钢使用永磁体作为外加磁场进行点焊试验,使点焊接头的剪切强度、熔核直径等均有大幅提高。文献[6]对超高强度合金钢 30CrMnSiNi2A 进行外加磁场点焊试验,取得了良好的效果。文献[7]分析了永磁体磁场对铝合金电阻点焊力学性能及微观组织的影响,焊点剪切力增幅在 4%~25%。文献[8]发现外加磁场对不锈钢点焊质量有明显的改善作用。

中车长客针对不锈钢磁控电阻点焊进行了试验分析,发现利用磁控电阻点焊技术能够提高点焊拉剪强度。本文主要从不同焊接参数下的磁控电阻点焊接头的拉剪强度影响规律出发,分析焊接参数与磁控电阻点焊双层作用下的点焊接头强度,以

得到磁控电阻点焊的最佳焊接参数组合,为不锈钢点焊生产提供依据。

1 不锈钢磁控电阻点焊试验材料与方法

试验材料选用板厚组合为 2 mm + 2 mm 轨道

表 1 SUS301L-DLT 不锈钢的化学成分质量分数

Tab.1 Chemical composition of SUS301L-DLT stainless steel							单位: %
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N
<0. 030	<1. 00	<2. 00	<0. 045	<0. 030	6. 00 ~ 8. 00	16. 00 ~ 18. 00	<0. 20

表 2 SUS301L-DHT 不锈钢的力学性能

Tab.2 Mechanical properties of SUS301L-DLT stainless steel		
屈服强度/(N/mm ²)	抗拉强度/(N/mm ²)	延伸率/%
> 345	> 690	> 40

表 3 SUS301L-DHT 不锈钢磁控电阻点焊试验焊接参数

Tab. 3 Welding parameters of SUS301L-DLT stainless steel in magnetron resistance spot welding test		
焊接电流/kA	焊接周波/s	永磁体到点焊工件表面的距离/mm
10	0. 44	1、2、3、5、7、无
10	0. 38	1、2、3、5、7、无
10	0. 50	1、2、3、5、7、无
9	0. 44	1、2、3、5、7、无
11	0. 44	1、2、3、5、7、无

注:“无”表示无外加磁场。

本文磁控电阻点焊外加磁场采用钕铁硼永磁体。磁控电阻点焊试验装置(见图 1)的设计主要考虑在能够提供足够磁场强度的前提下方便调整永磁体到点焊工件表面的距离,因此,本文设计了便于调整磁场强度的磁体固定安装座对永磁体进行固定。

2 不锈钢磁控电阻点焊试验结果分析

采用磁控电阻点焊技术,当电流通过熔核时在外加磁场的作用下产生洛伦兹力,使熔核金属发生流动和搅拌作用。因此,磁控电阻点焊下的熔核与普通点焊下的熔核形貌相比,熔核直径和熔核宽高比均有不同程度的增加,由此带来点焊剪切强度增加;同时,磁控电阻点焊搅拌作用造成熔核组织晶粒细化,因此熔核的塑性增加,表现为拉伸失效位移增加。因此,本文对外加磁场作用下的点焊熔核形貌和点焊机械性能进行分析,以确定最佳磁控电

交通车辆用 SUS301L-DLT 不锈钢,其化学成分和力学性能见表 1~2。采用日本 NASTOA 逆变恒流控制点焊机,电极采用球头半径为 R100 的铬钴铜电极。为验证不同焊接热输入条件下的磁控电阻点焊效果,试验共设置了 5 组焊接参数(见表 3)。



图 1 磁控电阻点焊试验装置

Fig. 1 Test device for magnetron resistance spot welding

阻点焊焊接参数。

2. 1 不同点焊参数下磁控电阻点焊熔核形貌分析

普通点焊时熔核熔化金属只在焊接电流产生的磁场下运动,而磁控电阻点焊过程中磁场为焊接电流产生的磁场和外加磁场综合作用下的复合磁场。此时熔核金属受到的磁力和磁场方向均发生较大变化,具体表现为沿熔核直径方向产生冲刷作用,从而使熔核直径增大,料件焊点的熔深减小。图 2 为焊接电流为 10 kA、焊接周波为 0. 50 s 时,外加磁场作用下熔核形貌的变化情况。从图 2 中可以看出,当永磁体到工件距离变小,外加磁场强度增加时,熔核的直径逐渐增加,且熔核呈现扁平趋势。

图 3~4 为不同焊接参数下外加磁场强度对熔核直径和熔核宽高比的影响。由图 3~4 可见:不同焊接参数条件下,在外加磁场的作用下点焊熔核直径和宽高比均有不同程度的增加。当焊接电流为 10 kA 时,焊接周波越长,熔核直径和熔核宽高比越大,说明相同焊接电流条件下增加焊接周波对磁控电阻点焊的效果越明显;当焊接周波恒定为 0. 44 s,焊接电流分别为 10 kA 和 11 kA 时点焊熔核宽高比变化不大;当焊接电流为 9kA、永磁体到熔核中心

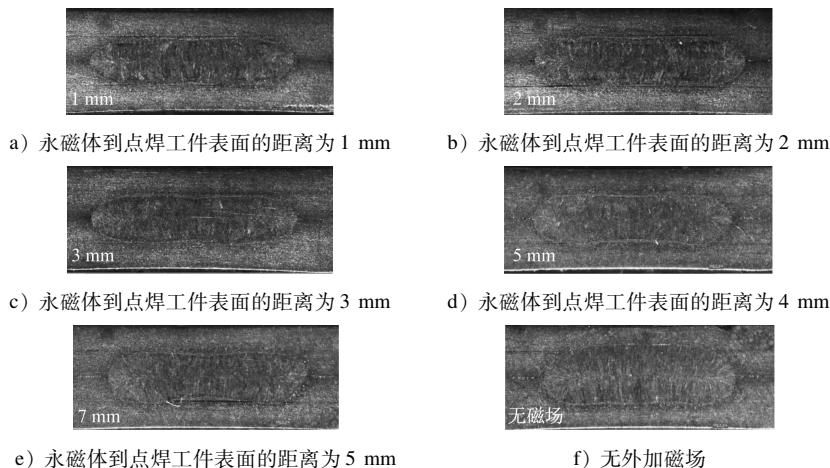


图2 外加磁场作用下的熔核形貌

Fig. 2 Morphology of molten core under external magnetic field actions

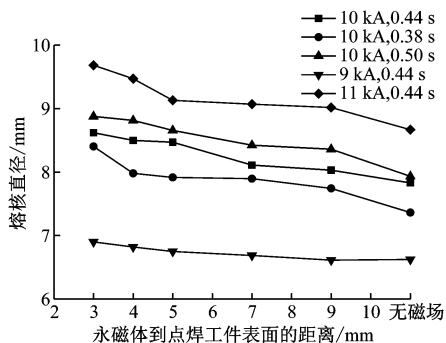


图3 不同焊接参数和外加磁场强度下的熔核直径

Fig. 3 Diameters of molten core under different welding parameters and external magnetic field intensities

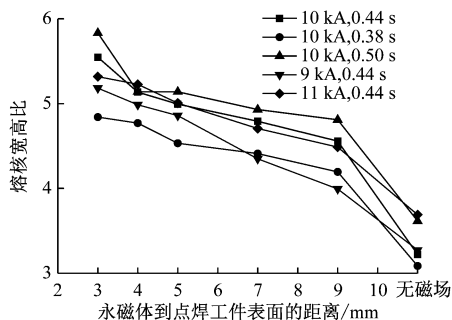


图4 不同焊接参数和外加磁场强度下的熔核宽高比

Fig. 4 Aspect ratios of molten core under different welding parameters and external magnetic field intensities

距离大于 7 mm 时,点焊熔核宽高比较焊接电流为 10 kA 和 11 kA 时有明显降幅,说明焊接电流为 9 kA 且外加磁场较小时磁控效果明显降低;当焊接电流为 10 kA、焊接周波为 0.50 s 时,熔核宽高比增加最为明显,说明此时磁控效果最佳。

2.2 不同点焊参数下磁控电阻点焊拉伸性能分析

点焊试件的拉伸性能是点焊质量最直观的表

现,亦是最易检测的点焊质量指标之一。因此,对磁控电阻点焊的拉伸性能进行分析非常必要。

图 5 ~ 7 为不同焊接参数和外加磁场强度下的拉伸强度、拉伸强度增加比和拉伸失效位移对比。由图 5 ~ 7 可见,随着外加磁场强度的增加,不同焊接参数下的试验片拉伸强度增加趋势基本一致,当焊接电流为 11 kA、焊接周波 0.44 s,以及焊接电流为 10 kA、焊接周波为 0.50 s 时,由于热输入量较大,磁控电阻点焊的拉伸强度增加绝对值也较大。当焊接电流为 10 kA、焊接周波为 0.50 s 时,磁控电阻点焊拉伸强度的增加最为明显。这是因为当焊接周波增加时热输入量较大,熔核熔化金属较多;另外随着焊接周波的增加,有效搅拌时间增加,电磁搅拌效果亦得到了增强。

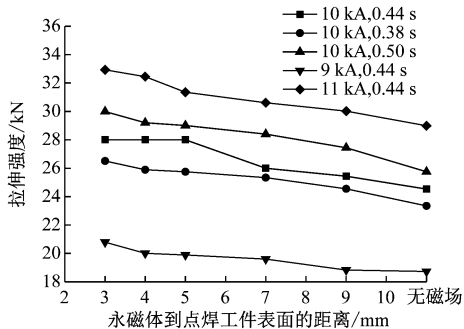


图5 不同焊接参数和外加磁场强度下点焊的拉剪强度
Fig. 5 Shear strength under different welding parameters and external magnetic field intensities

3 结论

1) 不锈钢磁控电阻点焊过程中外加磁场的方式能够起到提高点焊焊核的拉伸强度、细化熔核组

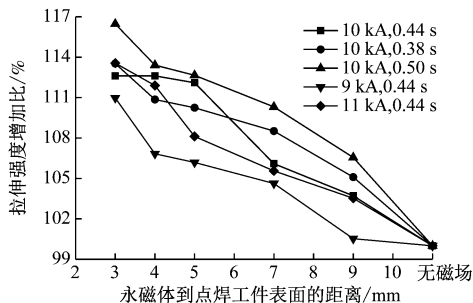


图6 不同焊接参数和外加磁场强度下点焊的拉伸强度增加比

Fig. 6 Increase ratio of tensile strength under different welding parameters and external magnetic field intensities

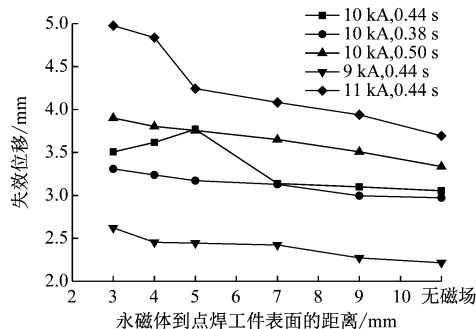


图7 不同焊接参数和外加磁场强度下的拉剪试验失效位移

Fig. 7 Failure displacement of shear tests under different welding parameters and external magnetic field intensities

织、提高熔核宽高比、减小点焊凹坑及提高失效位移的效果,且焊接参数增大时效果更加明显。

2) 不同焊接参数下电阻点焊磁控效果差别较大,影响磁控效果的主要因素为焊接电流和焊接周波。当焊接电流为 10 kA、焊接周波为 0.50 s 时,熔核宽高比和磁控电阻点焊拉剪强度增加最为明显,说明此时磁控效果最明显。通过设置合理的焊接参数,可以有效提高不锈钢磁控电阻点焊的机械性能。

参考文献

- [1] 康丽齐,孙志鹏,吕冬连,等. 不锈钢轨道车辆电阻点焊设备焊接性能检验技术研究[J]. 城市轨道交通研究,2021(2):101.
- KANG Liqi, SUN Zhipeng, LYU Donglian, et al. Research on

welding performance testing technology of resistance spot welding equipment for stainless steel rail vehicles [J]. Urban Mass Transit, 2021(2):101.

- [2] 蔡洪能,王雅生,张占伟,等. 汽车用钢板电阻点焊工艺参数优化选择方法[J]. 材料工程,2006(增刊1):304.
- CAI Hongneng, WANG Yasheng, ZHANG Zhanwei, et al. Optimal spot welding parameters selection for automobile steel plate [J]. Journal of Materials Engineering, 2006(S1):304.
- [3] 胡心彬,万斌,董仕节. 汽车用镀锌钢板电阻点焊工艺参数的优化[J]. 热加工工艺,2010(23):206.
- HU Xinbin, WAN Bin, DONG Shijie. Optimization on welding parameters of resistance spot welding process for automobile galvanized steel plate [J]. Hot Working Technology, 2010(23):206.
- [4] 杨蕊. 工艺参数对 B1500HS 点焊直径/拉剪强度影响的研究[J]. 热加工工艺,2016(7):244.
- YANG Rui. Research on influence of welding parameters on diameter/shear strength of spot welding for B1500HS [J]. Hot Working Technology, 2016(7):244.
- [5] 沈琦,李永兵,陈关龙,等. 永磁体磁场对双相高强钢电阻点焊质量的影响[J]. 焊接学报,2011(4):21.
- SHEN Qi, LI Yongbing, CHEN Guanlong, et al. Research on influence of welding parameters on diameter/shear strength of spot welding for B1500HS [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2011(4):21.
- [6] 沈琦,李永兵,李锐华,等. 永磁体作用下电阻点焊熔核中的电磁场分布规律[J]. 上海交通大学学报,2011(1):25.
- SHEN Qi, LI Yongbing, LI Ruihua, et al. Magnetic field distribution in resistance spot welding nugget under permanent magnet [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2011(1):25.
- [7] 黄道业. 外加径向恒定磁场对超高强度合金钢 30CrMnSiNi2A 电阻点焊接头力学性能的影响[J]. 热加工工艺,2015(11):225.
- HUANG Daoye. Effects of external radial constant magnetic field on mechanical properties of ultra-high strength alloy steel 30CrMnSiNi2A resistance spot-welded joints [J]. Hot Working Technology, 2015(11):225.
- [8] 姚杞,李洋,罗震,等. 永磁体磁场对铝合金电阻点焊力学性能及微观组织的影响[J]. 焊接学报,2016(4):52.
- YAO Qi, LI Yang, LUO Zhen, et al. Impact of external magnetic field generated by permanent magnet on mechanical property and microstructure of aluminum alloy resistance spot weld [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2016(4):52.

(收稿日期:2021-09-28)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—56830728 转 821