表面清理方式对激光焊不同焊接接头的质量影响分析

闫海宁[1]，杨腾[1]，林皓[1]，周禄军[1]，王春明[2]
1.中车南京浦镇车辆有限公司　江苏南京　210031
2.华中科技大学　湖北武汉　430000

摘要：为了避免焊前表面清理造成焊缝质量的不稳定、表面残留物总量高，进而使杂质进入焊缝，导致焊缝腐蚀、结构损坏等质量隐患的问题，针对2mm厚SUS301L-DLT不锈钢材料分别就对接和搭接两种标准接头为试验对象，采用不做任何清理、丙酮清洗、砂轮打磨后用丙酮清洗等3种方式对焊缝表面进行清理。结果表明：通过评估证实了清理方式不同对焊缝的力学性能影响不大，而与焊缝表面状态有直接关系；采用丙酮清洗方式对不锈钢进行清理，综合效果最佳。

关键词：SUS301L-DLT不锈钢；激光焊接；清理方式；搭接

Analysis of the influence of surface cleaning methods on the different welded joints quality of laser welding

YAN Haining[1], YANG Teng[1], LIN Hao[1], ZHOU Lujun[1], WANG Chunming[2]
1.CRRC Nanjing Puzhen Co., Ltd., Nanjing 210031, Jiangsu, China
2.Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430000, Hubei, China

Abstract: In order to avoid the problem of pre-weld surface cleaning affecting the instability of weld quality, the total amount of surface residue is high, which in turn leads to the entry of impurities into the weld, resulting in weld corrosion, structural damage and other quality hazards. In this paper, for the 2mm-SUS301L-DLT stainless steel materials were butt and lap joints of two standard joints for the test object, respectively, do not do any cleanup, acetone cleaning, grinding wheel grinding with acetone cleaning on the surface of the weld surface cleanup mode comparison test. The results show that: through the evaluation of the different cleaning methods to confirm the mechanical properties of the weld has little impact on the weld and the weld surface state has a direct relationship; the use of acetone cleaning on the stainless steel cleaning, the best overall effect.

Keywords: SUS301L-DLT stainless steel; laser welding; cleaning method; lap joint

1　序言

伴随我国轨道交通行业的升级，早期制造轨道车辆车体所用材料大都为普通碳素钢，现在也向多品种、多元化等方面迅速发展，例如高强钢、铝合金、不锈钢等材料品种。与铝合金车体相比，不锈钢车体具有安全系数高、维修简便、成本较低等优点。不锈钢轨道车辆车体的焊接工艺主要采用熔化极气体保护焊（MIG焊或MAG焊）、电阻点焊，

以及一些近年新兴的技术，如搅拌摩擦焊、激光焊等工艺。CMT焊接技术是在MIG/MAG焊基础上开发的一种革新技术，它是一种低飞溅、低热输入的焊接方法，改善了传统熔化焊的一些缺点。CMT焊接技术具有以下特点：焊缝成形均匀一致，引弧迅速可靠，电弧更加稳定，焊缝质量重复精度高，低热输入，减小变形的可能性，以及较好的搭桥能力等。激光焊技术作为一种适合不锈钢薄板焊接的新技术，具有焊接质量好、成本适中等特点，非常适合不锈钢车体中的手工焊接，并可以替代部分自动焊接技术[1-5]。

对于一般的焊接过程来说，焊前试件的清理方式对焊缝质量有一定程度的影响。焊前预处理是一个重要而且必不可少的工序，因此，有必要研究不同焊前预处理状态对焊接质量的影响。

2　焊接材料及设备

本试验以2mm厚的SUS301L-DLT不锈钢侧墙蒙皮为试验材料，研究了对接、搭接两种不同的焊接形式在不同清理方式下的焊接质量。该系列不锈钢具有优异的耐蚀性和高强度，且焊接性良好，易于冷加工，因此非常适合作为车体不锈钢材料，已经成为国内外城轨车体的主流材料之一。

试验研究的焊前清理方式包括：不做任何清理（A）、丙酮清洗（B）、砂纸打磨后用丙酮清洗（C）。

焊接试板的尺寸为300mm×300mm×4mm，保护气体采用99.999%高纯度氩气。采用IPG YRL-4000光纤激光器，最大功率为4000W。激光光束经过聚焦后，焦距为250mm，焦点直径为0.3mm。试验材料的化学成分和力学性能见表1、表2。

表1　SUS301L-DLT不锈钢的化学成分（质量分数）（%）

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N	Fe
≤0.03	≤1	≤2.0	≤0.045	≤0.03	18～20	8～10.5	≤0.02	其余

表2　SUS301L-DLT不锈钢的力学性能

调质代号	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	伸长率（%）
1/4H	≥345	≥690	≥40

3　表面清理方式对焊缝的影响

本试验比较了3种不同焊前清理方式下激光焊对接和搭接焊缝的质量。试验采用了针对2mm厚SUS301L-DLT材料的激光对接和T形搭接的优化参数，见表3。

表3　激光焊焊接参数

焊接形式	激光功率/W	焊接速度/（m/min）	离焦量/mm	气体流量/（L/min）	激光倾角/（°）	焊前清理方式
对接	3600	3.2	+4	25	0	A、B、C
搭接	3600	3.0	+4	25	0	A、B、C

3.1　表面形貌的影响

（1）对接焊缝表面形貌　对于对接焊缝，不同焊前清理方式的焊缝表面形貌如图1～图3所示。从图1～图3可发现，在不同清理方式下，焊缝的表面成形、焊缝的横截面形貌差别不大。

a）正面

b）背面

图1　焊前清理方式为A的对接焊缝表面形貌

a）正面

b）背面

图2　焊前清理方式为B的对接焊缝表面形貌

a）正面

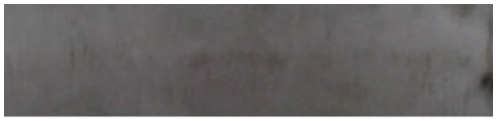
b）背面

图3　焊前清理方式为C的对接焊缝表面形貌

（2）搭接焊缝表面形貌　对于搭接焊缝，3种不同焊前清理方式下的焊缝表面形貌如图4～图6所示。从图4～图6可发现，焊缝表面成形均匀稳定，

焊脚焊透，实现了单面焊接双面成形的目标。

a）正面



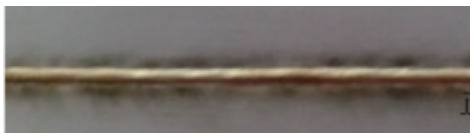
b）背面

图4　焊前清理方式为A的搭接焊缝表面形貌

a）正面

b）背面

图5　焊前清理方式为B的搭接焊缝表面形貌



a）正面

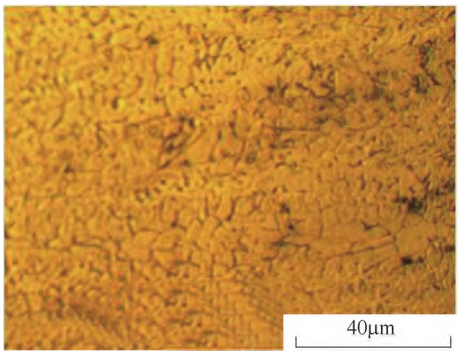
b）背面

图6　焊前清理方式为C的搭接焊缝表面形貌

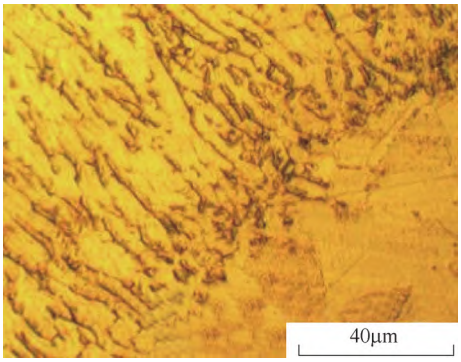
通过观察不同焊前清理方式下的焊缝横截面形貌，可知3种不同预处理方式对焊缝形貌的影响不大。

3.2　微观组织的影响

（1）对接焊缝微观组织　3种不同清理方式下的对接焊缝微观组织如图7～图9所示。热影响区是焊缝区与母材过渡区域，其中热影响区与焊缝之间有一条明显的熔合线分隔，并可以清晰地看到熔合线。焊缝中晶粒的结晶方向垂直于熔合线并指向焊缝中心。在焊接热源作用下，热影响区的晶粒经历回复和再结晶过程，并逐渐长大，晶粒尺寸呈现粗化趋势。距焊缝越近的位置，晶粒尺寸的粗化趋势越明显。热影响区的组织不均匀性导致该区域的性能也不均匀，在承受载荷时往往成为接头性能较弱的部分。大部分试样在拉伸时断裂位置多出现在热影响区，这一点得到了验证。对比3种不同清理方式下的微观组织，发现它们之间几乎没有明显的差异。

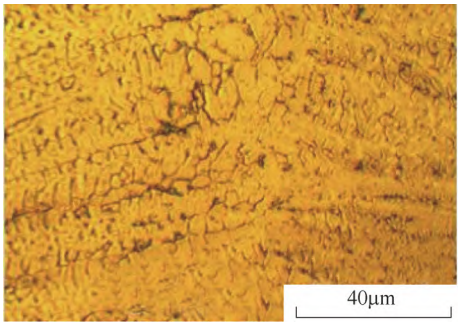


a）焊缝中心

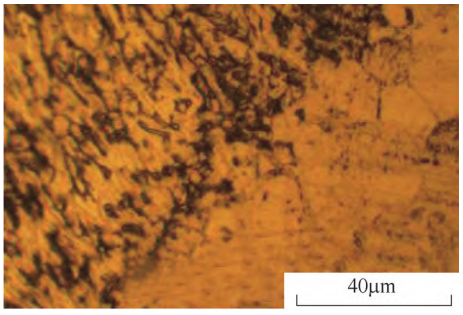


b）热影响区

图7　焊前清理方式为A的对接焊缝微观组织

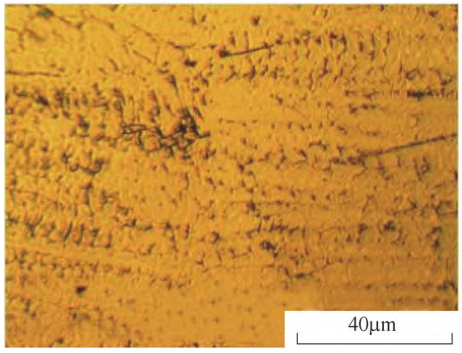


a）焊缝中心

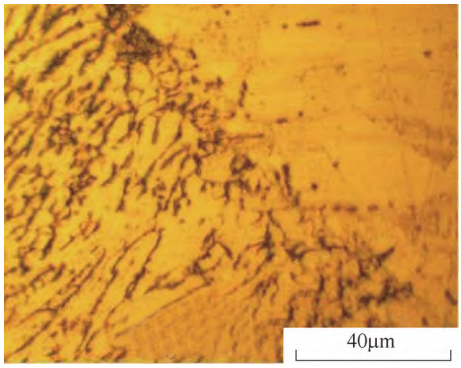


b）热影响区

图8　焊前清理方式为B的对接焊缝微观组织



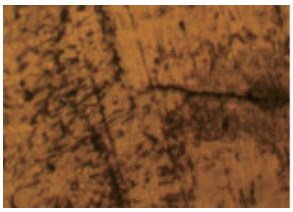
a）焊缝中心



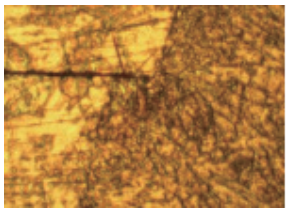
b）热影响区

图9　焊前清理方式为C的对接焊缝微观组织

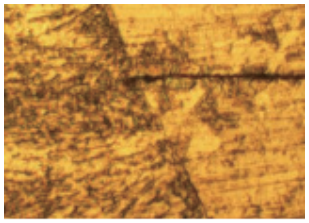
（2）搭接焊缝微观组织　对比3种不同清理方式下的搭接焊缝微观组织，发现三者之间差别不大。为了进一步分析接头微观组织，对搭接焊缝界面进行微观组织观察，如图10所示。



a）焊前清理方式A



b）焊前清理方式B



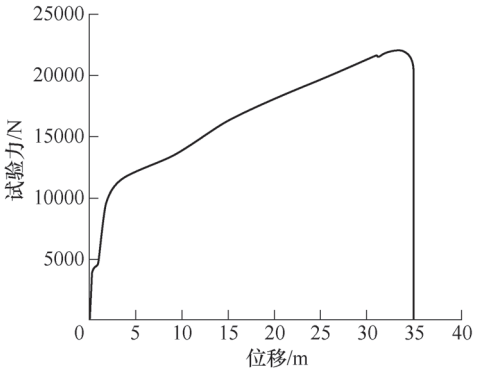
c）焊前清理方式C

图10　搭接焊缝界面微观组织

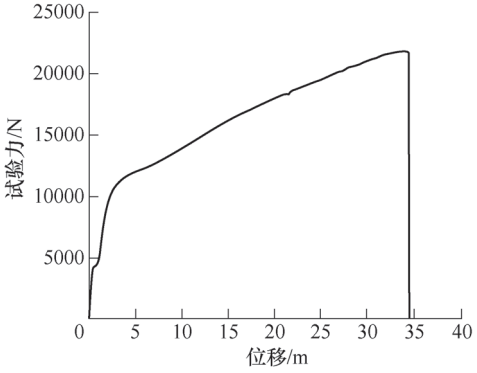
由图10可发现，当焊前清理方式为B和C时，热影响区处的搭接界面非常规整，而当焊前清理方式为A时，热影响区处的搭接界面不太平整，可能与钢板表面的污物或氧化层有关，难熔的表面污物或氧化层嵌入焊缝中，会成为接头性能薄弱环节。

3.3　力学性能的影响

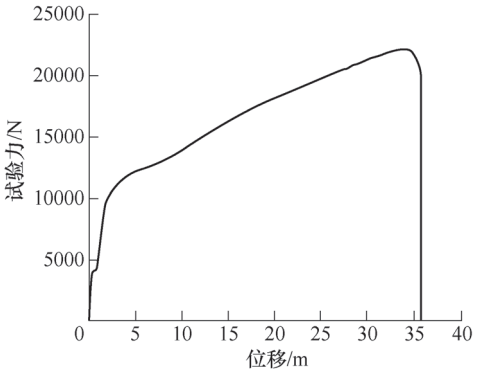
（1）对接焊缝力学性能　不同焊前清理方式下的对接焊缝应力-应变曲线如图11所示，抗拉强度见表4。



a）焊前清理方式A



b）焊前清理方式B



c）焊前清理方式C

图11　不同焊前清理方式下对接焊缝应力-应变曲线

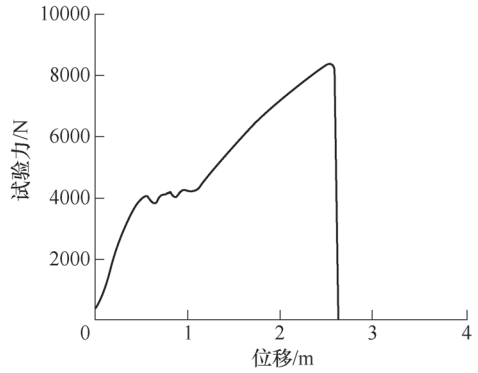
表4　不同焊前预处理方式下对接焊缝抗拉强度（MPa）

焊前预处理方式	A	B	C
抗拉强度	712.5	718.6	715.2

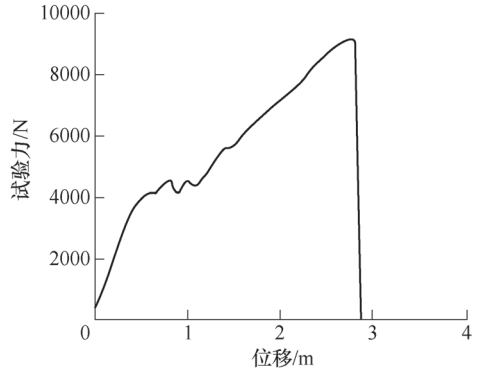
由表4可看出，在3种不同的焊前清理方式下，焊缝的抗拉强度均达到母材的98%以上，且3种预处理方式下焊缝抗拉强度之间的差距很小，在0.1%以

下。因此可得出结论，对于301L-DLT不锈钢的激光焊对接，焊前的不同清理方式对焊缝的强度影响不大。

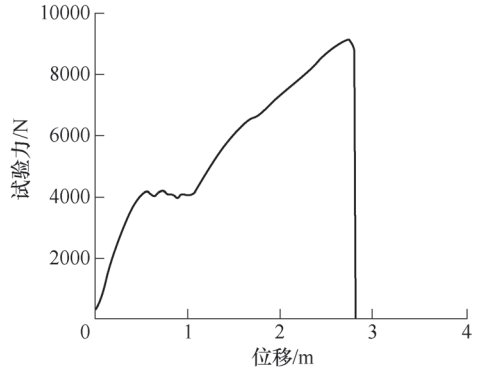
（2）搭接焊缝力学性能　不同焊前清理方式下搭接焊缝应力-应变曲线如图12所示，抗拉强度见表5。



a）焊前清理方式A



b）焊前清理方式B



c）焊前清理方式C

图12　不同焊前清理方式下搭接焊缝应力-应变曲线

表5　不同焊前清理方式下搭接焊缝抗拉强度（MPa）

焊前清理方式	A	B	C
抗拉强度	648	719	706

相比前述对接试验，焊前清理方式对搭接焊缝承载能力的影响更大。当焊前对试样不进行任何清理时，焊缝的抗拉强度为648MPa；焊前对试样采用丙酮进行清洗后得到的搭接焊缝的承载能力有一定程度的提高，焊缝的抗拉强度可达到719MPa，焊缝承载能力相对于不进行任何清理时提高了9.8%。因此，在进行不锈钢激光焊搭接时，焊前推荐采用丙酮对试样进行清理或打磨。

4　结束语

综上所述，通过工艺试验得出了焊前清理方式对激光焊对接、搭接接头的影响。

1）焊前清理方式对不锈钢激光对接焊缝影响不大，在3种不同清理方式下得到的焊缝抗拉强度之间的差距＜1%。

2）焊前清理方式对不锈钢激光搭接焊缝的焊接质量有一定的影响，焊前对试样进行丙酮清洗或者砂纸打磨＋丙酮清洗，可以提高焊缝承载能力，提高约10%。

3）焊前清理方式对不锈钢激光搭接焊缝成形的影响不明显，在3种不同的焊前清理方式下，焊缝成形均稳定。

参考文献：

[1] 彭蝶，张连华，韩晓辉，等. 轨道交通制造焊接技术应用现状及发展趋势[J]. 金属加工（热加工），2020（8）：6-9，13.

[2] 刘佳. 轨道客车用 SUS301L 奥氏体不锈钢激光叠焊技术研究[D]. 吉林：长春理工大学，2012.

[3] 张金娟，马世辉，罗少国. 激光焊焊接速度对 SUS301L-DLT 焊接接头表面成形的影响[J]. 电焊机，2013，43（12）：94-97.

[4] 郑凯，李刚卿，韩晓辉，等. 激光焊接参数对不锈钢搭接焊缝性能的影响[J]. 电焊机，2018，48（3）：236-240.

[5] 赵佳佳. 不锈钢地铁车体的腐蚀原因及其防腐蚀措施[J]. 腐蚀与防护，2020，41（8）：52-55.

MW 20240419