

# 客车车辆用奥氏体不锈钢自动焊工艺研究

Research on Automatic Welding of Austenitic Stainless Steel Used for Rolling Stock

梁吉庆<sup>1</sup> 张强<sup>1,2</sup> 韩建民<sup>2</sup>

1-南车四方车辆有限公司; 2-北京交通大学机械电子与工程学院

**摘要:** 本文采用自动焊方法, 并通过试验不同的焊接参数, 研究了 SUS 304 奥氏体不锈钢焊接接头的组织及性能, 奥氏体不锈钢采用 ER 308LSi  $\Phi$ 1.0mm 焊丝焊接 4mm 厚试板, 研究了不同焊接参数得到的焊缝接头质量, 得到了正确的焊接参数, 同时对焊后试板进行渗透探伤及射线探伤, 均无缺陷。通过对焊缝及热影响区力学性能分析, 得出焊缝力学性能达到了 325MPa, 采用直径 40mm 压头的弯曲试验, 试验结果均合格, 且宏观微观熔合良好, 可以满足产品的使用要求。

**关键词:** 自动焊; 奥氏体不锈钢; 机械性能; 微观组织

## 1 前言

奥氏体不锈钢具有母材导热系数小, 线膨胀系数大, 焊后变形大的特性<sup>[1]</sup>。客车集便器用不锈钢污物箱, 焊缝长度均大于 2 米, 采用手工焊焊接, 焊后变形大<sup>[2]</sup>, 调修困难, 采用火焰+机械(压力机)调修法, 降低了箱体的强度和机械性能。

自动焊具有生产效率高, 焊接质量高而且稳定, 节省材料和电能消耗, 改善劳动条件<sup>[3]</sup>, 降低劳动强度等优点, 其生产效率是手工焊的 3 倍, 焊接质量大大提高, 由于速度快, 热输入小, 焊后变形小, 可以大大减少焊后调修<sup>[4]</sup>。

本文将自动焊设备应用于不锈钢薄板焊接, 通过工艺试验, 进行 4mm 厚奥氏体不锈钢自动焊焊接工艺试验, 同时研究自动焊焊接电流、焊接电压及焊接速度对焊接质量的影响。并研究了自动焊工艺焊接奥氏体不锈钢焊接接头组织与性能。



(a) 客车集便器自动焊焊接工装



(b) 客车集便器自动焊焊接

图 1 奥氏体不锈钢自动焊设备

## 2 母材及填充材料简介

### 2.1 母材和焊材的化学成分及机械性能

SUS304 不锈钢属于奥氏体不锈钢, 由于具有良好的综合性能和良好的腐蚀性, 304 不锈钢广泛应用于综合力学性能要求较高的工程机械中, 其 Cr 含量约为 18%, Ni 含量为 8%~10%, 屈服强度为 399MPa, 抗拉强度为 627MPa, 断裂延伸率达到了 58.5%, 说明具有良好的塑性。见表 1、表 2。

表 1 母材和焊材的化学成分 (W%)

材料	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	N	Mo
SUS304	0.025	0.54	1.74	0.028	0.0029	8.009	18.16	0.18	0.07	0.06
ER308LSi	0.01	0.91	1.70	0.02	0.01	10.3	19.5	0.07	0.05	0.03

表 2 母材和焊材的性能

材料	屈服强度 Re10.2 (MPa)	抗拉强度 Rm (MPa)	(A%)	冲击功 (KV <sub>2</sub> J)
SUS304	399	627	58.5	92 (-20° C)
ER308LSi	450	620	36	85 (-65° C)

## 2.2 母材的微观组织

图 2 为 304 不锈钢微观组织, 304 不锈钢微观组织为孪晶奥氏体+少量树枝状分布的铁素体, 且铁素体沿着轧制方向分布。

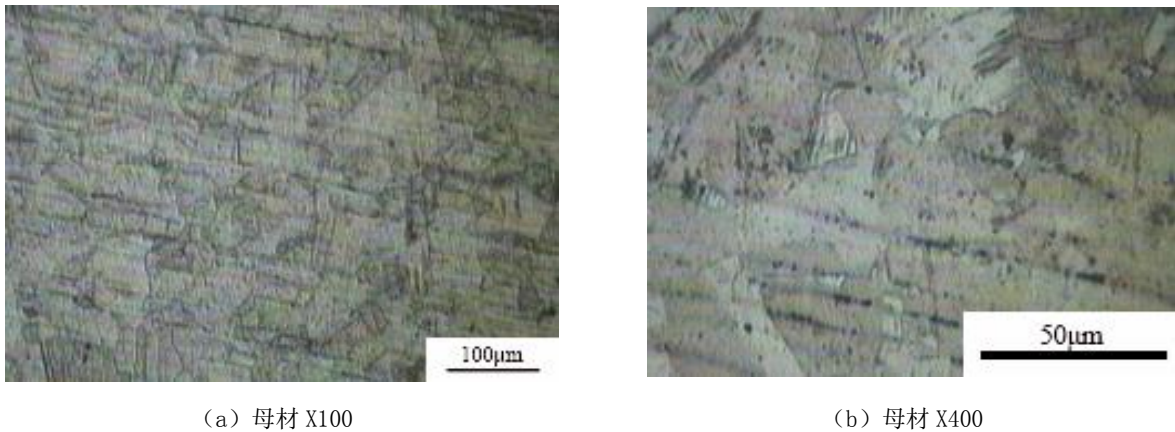


图 2 SUS304 不锈钢微观形貌

## 3 SUS304 自动焊焊接工艺参数

### 3.1 SUS304 自动焊接接头型式及焊接顺序

工艺试验选用尺寸为 800mm×400mm×4mm 试板进行焊接, 采用单面焊双面成形焊接型式, 焊前不预热。焊接接头型式和焊接顺序见图 3。

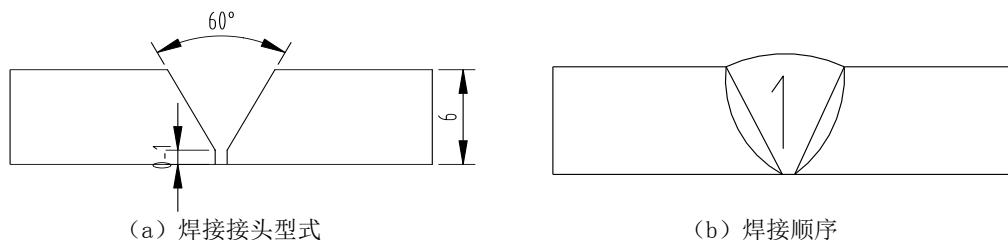


图 3 SUS304 自动焊焊接接头型式和焊接顺序

### 3.2 焊接工艺参数

分别采用表 3 中三种参数进行奥氏体不锈钢自动焊焊接, 采用参数一焊接完成后发现奥氏体不锈钢背面未焊透。而采用参数三焊接背面烧穿现象比较严重, 采用参数二可以得到熔合性能良好的焊缝。

表 3 奥氏体不锈钢自动焊焊接工艺参数

工艺参数	焊接工艺	焊材规格 (mm)	电流强度 (A)	电弧电压 (V)	电流种类/极性	焊接速度 (mm /s)	热输入 (J/mm)
参数一	MAG 脉冲	ER 308LSi Φ1.0	135	19	直流反接	12	0.22
参数二	MAG 脉冲	ER 308LSi Φ1.0	155	22	直流反接	12	0.28
参数三	MAG 脉冲	ER 308LSi Φ1.0	175	25	直流反接	12	0.36

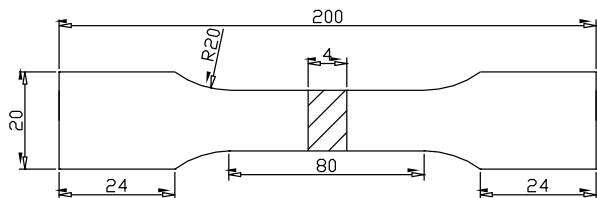
## 4 焊接接头组织及性能

### 4.1 焊接接头的拉伸试验

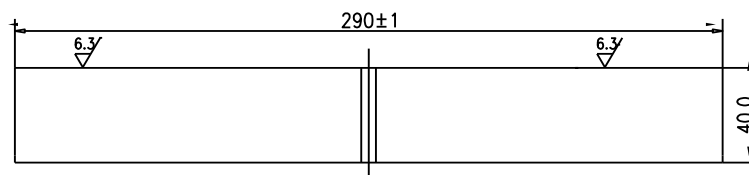
拉伸试验按照 GB/T 228 标准进行，取两组试样，试样尺寸如图 4. a 所示，编号为 T-1、T-2，通过金属万能试验机对试样进行拉伸，得到焊接接头的屈服强度最小为 468MPa，抗拉强度为最小为 643MPa，其断裂位置均位于母材。断后延伸率最小为 32.8%，焊缝的性能达到了母材强度。见表 4。

表 4 焊缝接头拉伸式样的抗拉强度

拉伸试样编号	屈服强度 (Re1) MPa	抗拉强度 (Rm) MPa	断后延伸率 (A) %
T-1	468	643	32.8
T-2	454	667	37.4



(a) 拉伸试样



(b) 弯曲试样

图 4 机械性能试验示意

### 4.2 焊接接头的弯曲性能

弯曲试验按照 GB/T 2653 标准进行，试样尺寸如图 4. b 所示，分别进行两组正弯、两组背弯试验，试样的厚度为母材厚度，弯曲半径为 40mm，弯曲试验完成后未发现裂纹、未熔合等缺陷，说明焊缝弯曲性能良好，具有较好的弯曲力学性能。见表 5。

表 5 奥氏体不锈钢自动焊焊接接头的弯曲试验

弯曲试样编号	弯曲方式	弯曲角度 (°)	弯曲半径 (mm)	弯曲结果
B-1	正弯	180	40	合格
B-2	正弯	180	40	合格
Z-1	背弯	180	40	合格
Z-2	背弯	180	40	合格

### 4.3 焊接接头宏观及微观组织

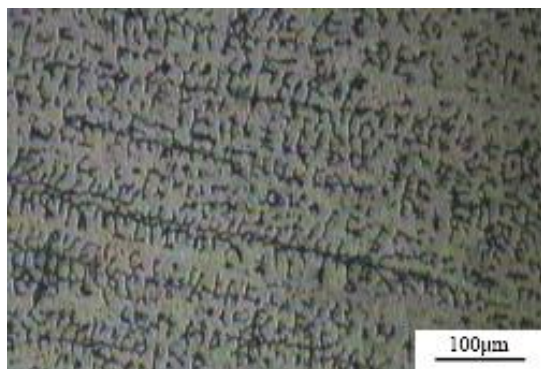
图 5 是奥氏体不锈钢自动焊焊接接头宏观金相，焊缝成形良好，无未熔合等缺陷，且

焊缝为单面焊双面成形，背面成形良好。

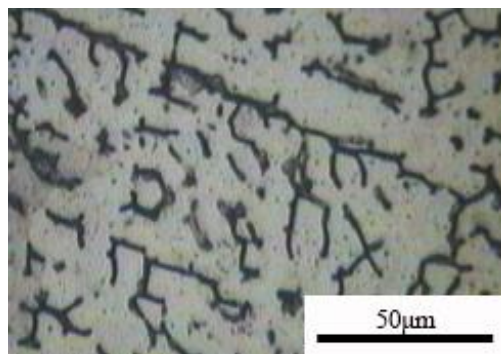
图6分别为奥氏体不锈钢自动焊焊缝中部放大100倍与放大400倍的微观金相，从图中可以看出，奥氏体不锈钢自动焊焊缝中部为奥氏体+鱼骨状的铁素体，这些鱼骨状的铁素体分布比较均匀。



图5 焊接接头的宏观金相

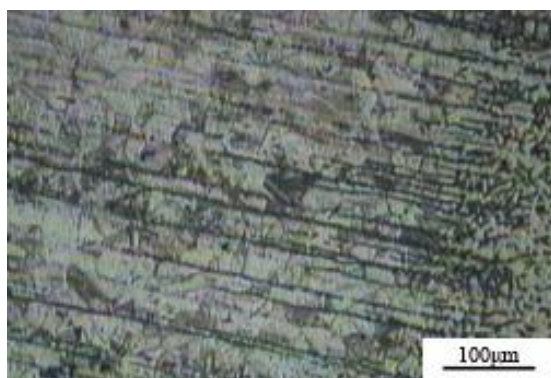


(a) 焊缝中部 (X100)

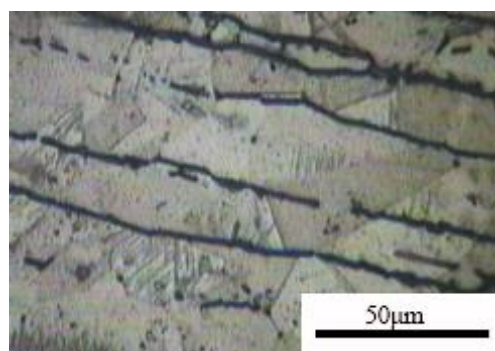


(b) 焊缝中部 (X400)

图6 焊缝中部微观形貌



(a) 热影响区 (X100)



(b) 焊缝中部 (X400)

图7 热影响区焊缝微观形貌

图7为奥氏体不锈钢自动焊热影响区，从图中可以看出，不锈钢热影响区组织为奥氏体+条状的铁素体组织，且条状铁素体一直延伸到奥氏体不锈钢中。

## 5 结束语

5.1 采用自动焊工艺，并运用熔化极活性气体保护焊 MAG (98%Ar+2%CO<sub>2</sub>) 方法，研究了奥氏体不锈钢焊接工艺。通过工艺试验，得到熔合性能良好的焊缝，其焊接电流为 155A，焊接电压为 22V，焊接速度为 12mm/s。

5.2 通过力学性能试验，得出其屈服强度为 468MPa，抗拉强度为 673MPa，焊缝具有良好的力学性能。

5.3 对试板分别进行正弯及背弯试验，其弯曲性能良好，无表面裂纹。

5.4 通过微观金相实验，不锈钢为全奥氏体组织，而焊缝区为奥氏体+鱼骨状铁素体组织，热影响区为奥氏体+条状的铁素体组织。

## 参考文献

- [1] 张其枢，堵耀庭. 不锈钢焊接[M]. 北京：机械工业出版社. 2000.
- [2] 满达虎，王丽芳. 奥氏体不锈钢焊接热裂纹的成因及防止对策. 热加工工艺[J]. 2012, 41(11):181~184.
- [3] 徐海涛，唐衡郴，刘春宁，尹德猛，王陆钊，田忠利. 铝合金 MIG 自动焊焊接工艺. 电焊机[J], 2011, 41(11):99~101.
- [4] 秦斌，王宝森. 焊接速度对奥氏体不锈钢接头性能的影响. 钢铁钒钛，2008, 29(2):24~26.

作者简介：梁吉庆