

1 180 MPa 级以上冷轧高强钢窄搭接焊接工艺研究

吴 刚¹, 张宝卫¹, 张庆波¹, 张行宽¹, 陈景瑞¹, 田 跃¹, 亢志强²

(1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司稀土钢冷轧板材厂, 内蒙古 包头 014010;

2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司营销中心, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章阐述了一种 1 180 MPa 级以上冷轧高强钢窄搭接焊接工艺及焊缝质量的判断方法。通过焊接试验分析研究焊缝缺陷种类及原因, 明确了消除焊接缺陷, 提升焊接质量的参数调整方法, 所得焊缝经焊接监测系统反馈结果合格, 焊缝杯突试验结果合格, 拉伸试验非焊缝处断裂符合要求。结果证明, 该材料在低焊接电流, 低焊接速度, 高焊接压力焊接工艺参数组合所得焊缝质量合格。

关键词: 1 180 MPa; 窄搭接焊接工艺; 焊缝质量判断方法; 焊缝缺陷

中图分类号: TG404

文献标识码: B

文章编号: 1009-5438(2026)03-0028-05

Research on Narrow Lap Welding Process of Over 1 180 MPa Grade Cold-rolled High-strength Steel

Wu Gang¹, Zhang Baowei¹, Zhang Qingbo¹, Zhang Xingkuan¹,
Chen Jingrui¹, Tian Yue¹, Kang Zhiqiang²

(1. Cold Rolled Rare Earth Steel Plate Plant of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd.,

Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;

2. Marketing Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010,

Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In this paper, the narrow lap welding process and evaluation method of weld quality for over 1 180 MPa grade cold-rolled high-strength steel are elaborated. The types and causes of weld defects are analyzed and investigated through weld test so that the parameter adjustment methods for eliminating weld defects and improving weld quality are determined. The weld joints are qualified according to the feedback of welding monitoring system, the results of cupping test for weld joints are qualified and the fracture not at weld joint in tensile test could meet the requirement. The results proved that the weld joints of the material were qualified with the combination of welding process parameters of low welding current, low welding speed and high welding pressure.

Key words: 1 180 MPa; narrow lap welding process; evaluation method of weld quality; weld defect

我厂采用 TMEIC 公司 MSW-C150D-26-2PIPR 型窄搭接焊机。该款焊机用于连续镀锌生产线, 将中低碳钢的带头、带尾通过自动搭接焊接进行

连接, 实现连续生产目的。该设备的搭接焊缝是连接带钢两端最有效的方法之一且适用范围广泛。焊机主要由焊机本体、焊接电源等部分组成。焊接过

程为:首先将前后带钢定位固定于焊机的剪切位置处,夹板装置闭合夹紧带头、带尾;其次双面方形剪切机将带钢两端切除,含剩余带尾部分的出口夹板抬起,含带头部分的入口夹板前进,从而进行搭接和搭接补偿;最后进行焊接,完成后打开夹具,带钢运行。

1 焊接材料和方法

1.1 试验材料

试验带钢为 CR820 1180DP,厚度规格 1.4 ~ 1.6 mm,其材料化学成分如表 1 所示,材料力学性能见表 2。

表 1 钢种化学成分(质量分数) %					
C	Si	Mn	P	S	Al _i
≤0.23	≤0.5	≤3.0	≤0.04	≤0.015	≥0.010

表 2 材料力学性能			
牌号	屈服强 R _{eL} /MPa	抗拉强度 R/MPa	断后伸长率 A ₈₀ /% (L ₀ = 80 mm, b ₀ = 20 mm)
CR820 1180DP	820 ~ 1 150	≥1 180	≥5

1.2 焊接设备及原理

(1)焊接试验设备

TMEIC 窄搭接焊机 MSW 型见图 1,凭借其焊缝质量高、焊接稳定性强、焊接速度快等特点被国内各大钢厂的连续镀锌产线选用。

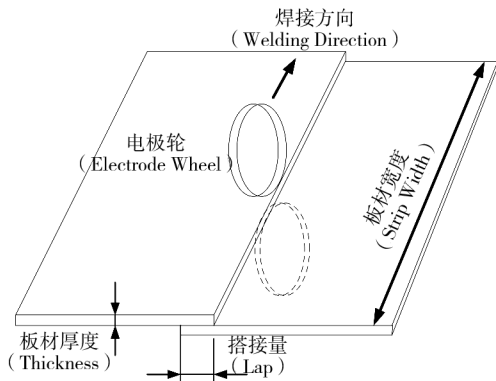


图 1 MSW 型窄搭接焊机简图

(2)焊接原理

该设备焊接原理为焦耳定律,公式为

$$Q = I^2 Rt$$
 (1)

式中: I 为作用于焊缝处电流值,kA; R 为焊轮接触带钢时电阻, Ω ; t 为焊接时间,min。

1.3 焊接参数

焊接参数共有 5 项,分别为电流、速度、压力、搭接量和补偿量。

(1)焊接电流

焊接电流产生原理是首先利用焊接变压器将一次侧供电电源输入的高电压交流电 380 V (± 10%) 转换为二次侧低电压交流电;其次晶闸管将焊接变压器二次侧的低电压交流电转换为直流电。通过调整触发角改变输出电压的平均值,实现控制焊接电流大小;最后焊接变压器提供低电压大电流,焊接电流经过焊机本体的导电铜棒至上下电极轮,与带钢发生电流热效应使焊材熔融,晶闸管调节电流波形确保焊接区域金属均匀受热熔化,焊接电流原理图见图 2。

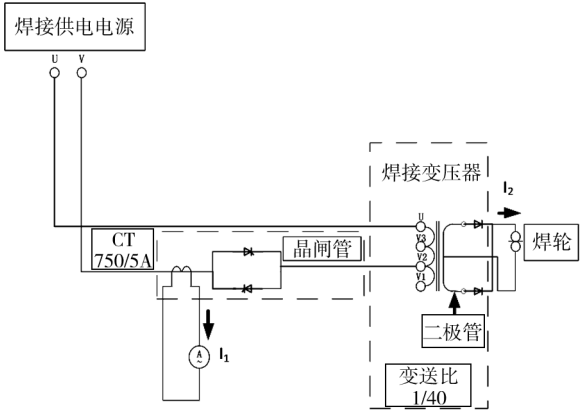


图 2 焊接电流原理图

$$I_2 = \text{变送比}(40/1) \times \text{CT 比率}(750/5A) \times I_1$$
$$= 40 \times 150 \times I_1$$
 (2)

$$I_2 = 40 \times 150 \times I_1$$

式中: I_1 为一次侧电流,A; I_2 为二次侧电流,A;变送比为一次侧绕组与二次侧绕电流比值,CT 比率为电流互感器二次侧与一次侧电流的比值。焊接变压器最大容量 150 kVA,最大输入量为 310 kVA,焊接电流 5 ~ 25 kA。

(2)焊接速度

焊接速度控制原理是输入焊接速度值,CPU 将给定速度下发至定位模块,经变频器伺服放大板控制伺服电机转速实现焊接速度调节,其控制原理见图 3。

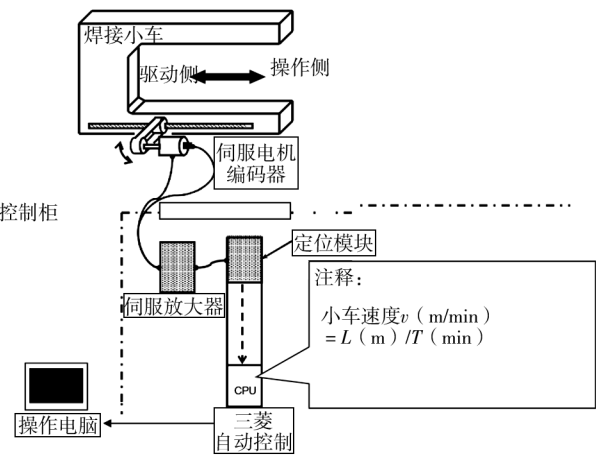


图 3 焊接速度控制原理图

$$v = L/T$$

(3)

式中: v 为小车速度,m/min; L 为焊接小车行走距离,m; T 为焊接小车行走时间,min。速度设定范围为2 ~ 15 m/min,其中焊接等待速度为8 m/min,小车减速位速度为1.5 m/min。

(3) 搭接量补偿系统

搭接量补偿系统是通过移动入、出口夹紧台传动侧楔形块实现补偿量大小的控制。在无补偿情况下,上下电极轮加压碾压于搭接的带头和带尾时,可能会发生滑动,导致实际搭接量在驱动侧减少,加入补偿系统会抵消因带钢滑动导致的搭接量减小,避免焊接缺陷发生,有补偿系统见图 4,其中 L 为搭接量, LC 为补偿搭接量。

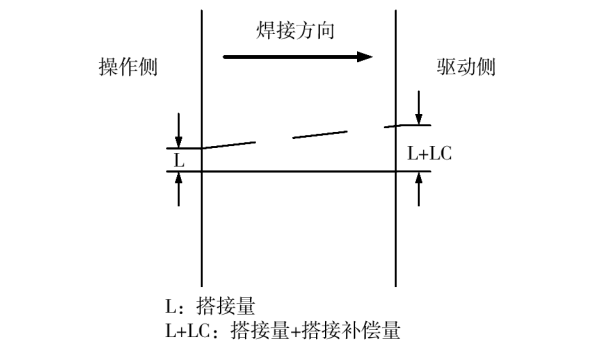


图 4 搭接量补偿系统

1.4 焊缝质量判断

(1) 焊接监测系统

该系统上部区域显示当前带头、带尾钢卷信息(例如卷号、厚度、宽度等)和焊接参数设定值(如电

流、速度、压力等);中部区域为焊接全过程中电流、速度、压力、温度多点采集反馈值绘制后的曲线;下部区域为上述焊接参数及温度值的平均值、最大最小值及各参数上下限设定值,自动判断焊是否超限,于 HMI(人机接口)画面实时显示参数是否合格。

(2) 焊缝杯突试验

焊缝杯突试验是操作人员检验焊缝强度从而判断是否放行的有效手段。常规生产时取焊缝金属样板做 2 点(操作侧与驱动侧)杯突试验;停线检修时做焊缝金属样板 5 点试验。根据杯突试验中焊缝断裂结果比对,焊缝质量判定标准见图 5,结合焊接曲线综合判定该条焊缝板材可否放行。

	焊缝延加热影响区开裂	合格
	焊缝中心呈新星开裂	合格
	垂直于焊缝开裂	合格
	焊缝中心开裂	不合格

图 5 焊缝质量判断标准

(3) 拉伸试验

当上述方法无法判断焊缝质量时,根据金属材料拉伸试验第 1 部分:室温试验方法国家标准(GB/T 228.1—2021)^[1],取焊缝区域板材,在 10 ~ 35 ℃ 室温环境下,用拉力拉伸试验样直至断裂。根据断裂区域及试验数据,最终判断焊缝强度是否合格。

2 焊接试验结果及分析

2.1 焊接参数调整

取 DP1180 带钢为 1.55 mm 厚度样本进行同种钢焊接试验,焊缝样本共 27 个,取部分焊接参数样本,见表 3。

表 3 焊接试验参数

电流 /kA	速度 /(m · min ⁻¹)	焊轮压力 /kN	搭接量 /mm	补偿量 /mm
22.5	14	19.0	1.0	0.6
22.0	13.8	19.3	1.0	0.6
21.5	13.5	19.5	1.0	0.7
21.5	13.0	19.0	1.1	0.8
21.5	12.8	19.7	1.0	0.7
21.3	12.5	20.0	1.1	0.7
21.0	12.3	20.0	1.2	0.6
20.9	12.0	20.5	1.2	0.7

在大焊接电流、高焊接速度下的焊缝表面发生焊渣堆积现象,焊缝杯突试验断裂延中心开裂,母材间未有效熔融,焊缝强度小于母材强度。结果表明:大电流输入带钢产生的高热量导致焊缝表面起皮缺陷,焊缝强度降低,焊缝途经清洗段 90°转向辊、炉区 S 辊等极易发生断带事故。为提升焊缝强度,采用低电流、低速度焊接参数调整方法。由焦耳定律可知,热量与电流的平方、焊接速度呈线性关系。随着焊接电流的降低,焊接速度也相应的降低以保证输入能量匹配,可消除高电流诱发的焊件表面过烧

和焊轮的粘损现象,减轻表面起皮缺陷的发生。焊接总能量相同的条件下,较低的焊接速度降低了焊缝加热速度和冷却速度、减缓焊轮、碾压轮对熔池的挤压,有利于保持熔池的稳定性,并抑制了焊缝组织淬火硬化倾向^[2],同时适当增大焊接压力促使两母材熔融;在增大焊接压力的前提下,同时减小焊接速度,以减小焊接后内应力^[3]。最终当焊接电流为 17.3 kA,焊接速度为 11.7 m/min,焊轮压力为 20.6 kN时所得焊缝表面平整,杯突试验结果全部合格,见图 6。

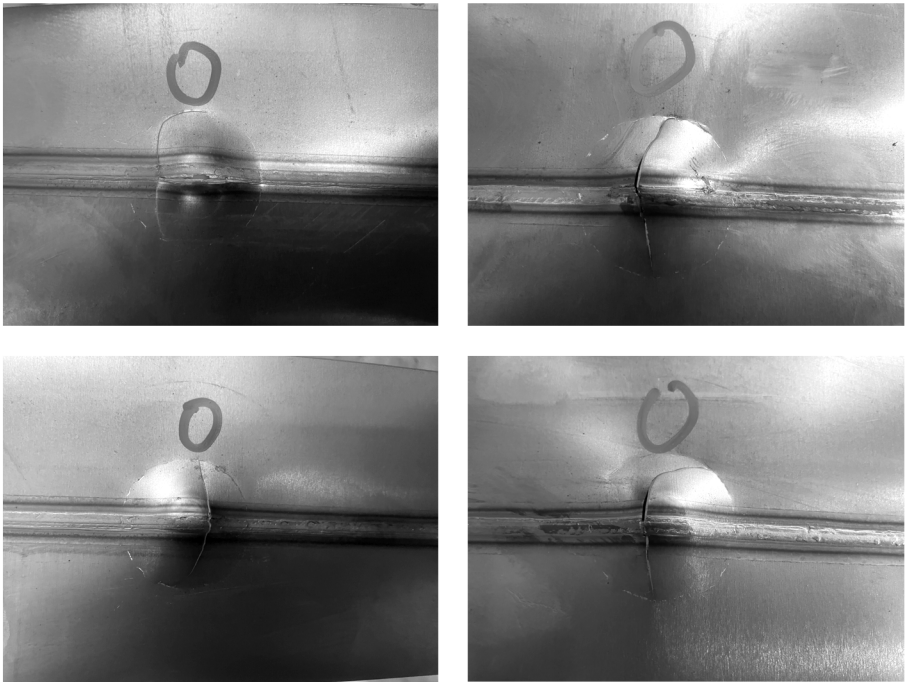


图6 焊缝杯突试验结果

2.2 焊接监测系统结果

经分析调整参数后,根据焊接监测系统反馈值(见表 4),电流平均值为 17.2 kA,介于上下限 13.8 ~ 20.8 kA 内且等于其最值,表明焊接电流输出稳定;速度平均值为 11.7 m/min,介于上下限 9.3 ~ 14.0 m/min 内且等于其最值,表明焊接速度控制精确;焊轮压力平均值为 20.9 kN,介于上下限 16.5 ~ 24.7 kN 内且等于其最值,表明压力无波动。焊接平均温度为 1 043 ℃,介于上下限 900 ~ 1 170 ℃ 内,与其最值偏差小于 26 ℃,表明焊接过程熔池温度控制稳定。从焊接曲线可以看出,温度曲线逼近电流曲线,证明电热效率高,焊接压力增加幅度适中,焊接温度控制稳定,系统判定焊接参数及焊接温度值

合格。

表 4 焊接检测系统反馈结果值

	电流 /kA	速度 /(m·min ⁻¹)	焊轮压力 /kN	焊接温度 /℃
上限	20.8	14.0	24.7	1 170
下限	13.8	9.3	16.5	900
最大值	17.2	11.7	20.9	1 069
最小值	17.2	11.7	20.9	1 013
平均值	17.2	11.7	20.9	1 043
判定结果	合格	合格	合格	合格

2.3 焊缝拉伸试验

为验证焊接结果是否准确,将焊缝金属取样,送检测中心进行拉伸试验。焊缝材料拉伸试验数据见表 5,检验标准为 GB/T 228. 1—2021,环境温度为 21 ℃。屈服强度为 1 117 MPa,介于母材 820 ~ 1 150 MPa;抗拉强度值为 1 305 MPa,大于母材 1 180 MPa,焊缝拉伸结果为非焊缝处断裂。该检测结果证明,调整后焊缝强度大于母材强度,判定焊缝质量合格。在实际生产中,焊缝经过清洗段、炉区、锌锅、平整机、滚涂机和卷取机,下线成功产出成品。

表 5 拉伸实验结果数据

试样号	$R_{(r0.2)}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A_{80}/\%$
1	1 117	1 305	2.0
2	1 123	1 316	2.0

3 结论

(1) 通过采用低焊接电流 17.3 kA,低速度 11.7 m/min 参数组合,可有效减少焊缝表面起皮缺陷,增强焊接熔池稳定性,抑制焊缝组织因快速冷却产生硬化。

(2) 通过采用低焊接速度 11.7 m/min,高压力 20.6 kN 参数组合,可提高焊缝组织塑性,消除焊缝

组织残余应力。

(3) 通过该材质焊接试验,焊缝检测系统参数反馈,焊缝杯突,拉伸试验证明该冷轧高强钢窄搭接焊接工艺焊缝质量合格,成功产出焊接成品。

(4) 综上所述,通过合理匹配焊接电流、焊接速度、焊轮压力等关键焊接参数,可有效改善 1 180 MPa 级冷轧高强钢搭接焊缝质量和良好力学性能,为我厂在同类超高强钢材料的焊接稳定性提供了可靠的技术参考与工艺依据。

(5) 该焊接工艺技术方案在实际生产中表现出良好的操作性与稳定性,为我厂先进高强钢批量化生产提供了可靠的焊接工艺路径,具有重要的工程应用推广价值。

参 考 文 献

[1] GB/T 228. 1—2021. 金属材料拉伸试验第 1 部分:温室实验方法[S]. 北京:中国国际出版社. 高怡斐,董莉,刘涛. 2021.

[2] 刘祥东. 800 MPa 级 TRIP 钢窄搭接焊接工艺研究[J]. 武钢科技. 2014,52(25):25—28.

[3] 赵帅. 提高窄搭接焊机焊接高强钢稳定性的研究[J]. 山西冶金. 2023,46(9):118—122.

(上接第 20 页)

参 考 文 献

[1] 徐筱芴,张玉琴,刘伟云,等. 浅析电火花毛化轧辊表面处理工艺技术[J]. 河南冶金,2011,19(1):34—36.

[2] 王钊,陈荐,何建军,等. 电火花表面强化技术研究与发展概况[J]. 热处理技术与装备,

2008(6):46—50.

[3] 王刚,侯印慧. 电火花打毛机用于轧辊表面处理及其自动控制系统[J]. 技术世界,2007(4):15—17.

[4] 王明黔,郭永强,陈甚超. 两种电火花毛化方式的重要工艺参数和控制方式比较[J]. 冶金设备,2006(S1):55—57.