

不锈钢薄板高频冷焊与 TIG 焊接头的性能对比

周传昆, 王 伟, 娄双涛, 陆凯雷

(常州博瑞电力自动化设备有限公司, 江苏 常州 213025)

摘 要:开展了 0.5 mm 厚 304 不锈钢板高频冷焊与 TIG 焊接头性能对比试验。结果表明:相比 TIG 焊工艺,在高频脉冲电流作用下,低热输入量使得冷焊的焊缝宽度小了 50%、最大焊接变形量小了 23.8%,接头周围的氧化程度更低。连续交替的未焊透和弧坑缺陷使得焊缝成为冷焊接头的最薄弱区域,抗拉强度及伸长率分别低于 TIG 焊的约 5.9% 和 10.1%。但接头抗拉强度的稳定性达到 TIG 焊的 3.6 倍。低热输入也使得冷焊接头焊缝区的柱状晶及热影响区的奥氏体粗大程度较 TIG 焊的低。高频冷焊技术可满足薄板焊接的实际需求。

关键词:高频冷焊;TIG 焊;不锈钢;拉伸性能

DOI: 10.14158/j. cnki. 1001-3814. 20210495

中图分类号: TG444+.74

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2023)07-0122-03

Performance Comparison Between High Frequency Cold Welding and TIG Welding of Stainless Sheet Steel

ZHOU Chuankun, WANG Wei, LOU Shuangtao, LU Kailei

(NR Electric Power Electronics Co., Ltd., Changzhou 213025, China)

Abstract: The performance of high frequency cold welding joint and TIG welding joint of 0.5mm thick 304 stainless steel sheet was compared. The results show that compared with TIG welding process, under the action of high frequency pulse current, low heat input makes the width of cold welding seam reduce by 50%, the maximum welding deformation reduce by 23.8%, and the oxidation degree around the joint is even lower. Continuous and alternate incomplete penetration and crater defects make the weld the weakest zone of the cold welded joint, and the tensile strength and elongation are about 5.9% and 10.1% lower than those of TIG welding joint, respectively. However, the tensile strength stability of the joint can reach 3.6 times of that of TIG welding joint. The low heat input also makes the columnar crystal in the WZ and austenite coarseness in the HAZ of cold welded joint lower than that of TIG welding. The high frequency cold welding technology can meet the actual demand of thin plate welding.

Key words: high frequency cold welding; TIG welding; stainless steel; tensile property

目前,随着轻量化理念的推广,电力行业中机箱及机柜所用的板材越来越薄,对于薄板的焊接研究也越来越深入。本文对 0.5 mm 厚不锈钢板材的冷焊技术做了研究,尝试探索高频冷焊工艺替代传统低电流的 TIG 焊工艺。该技术原理是将存储在电容中的电能通过脉冲电弧的形式瞬间释放在钨极和工件之间,温度极高的电弧使金属工件和焊丝(如有)迅速熔接,产生冶金结合,而通过调节放电电流、放电时间等参数,可有效降低焊接热输入,以达到冷焊效果,进而控制焊接变形^[1]。随着我国制造技术的发展,采用先进的焊接方法来提高焊接接头质量已成

为必然趋势^[2-3]。由于国内外对于冷焊技术的研究主要集中在设备表面微小缺陷的修复上,在板材连续焊接性能的研究上无相关文献可参考^[4]。故开展不锈钢薄板冷焊与 TIG 焊的性能对比研究具有重要的理论意义和实用价值,为国内电力行业机箱及机柜设备生产提供参考,也为薄板焊接领域提供一种新的方法。

1 试验方法

采用 JH-3000A 型高精密冷焊机及 TIG 焊机分别对 300 mm×150 mm×0.5 mm 的 304 不锈钢板进行对接焊,均采用纯氩气防护,不填充焊丝,焊接工艺参数分别如表 1、2 所示。

如图 1 所示,将焊后试板平放在三坐标测量仪的检测平台上,并将试板的四角与平台表面粘贴固

收稿日期:2021-03-01

作者简介:周传昆(1991-),男,江苏扬州人,工程师,硕士研究生,主要从事新型焊接工艺研究;电话:18795992620;
E-mail:453640661@qq.com

表 1 冷焊工艺参数
Tab.1 Cold welding process parameters

放电电流 /A	放电时间 /ms	焊接速度 /(mm·min ⁻¹)	气体流量 /(L·min ⁻¹)	电弧长度 /mm
50	30	450	23	2

表 2 TIG 焊工艺参数
Tab.2 TIG welding process parameters

焊接电流 /A	焊接电压 /V	焊接速度 /(mm·min ⁻¹)	气体流量 /(L·min ⁻¹)	电弧长度 /mm
7	20	250	23	2

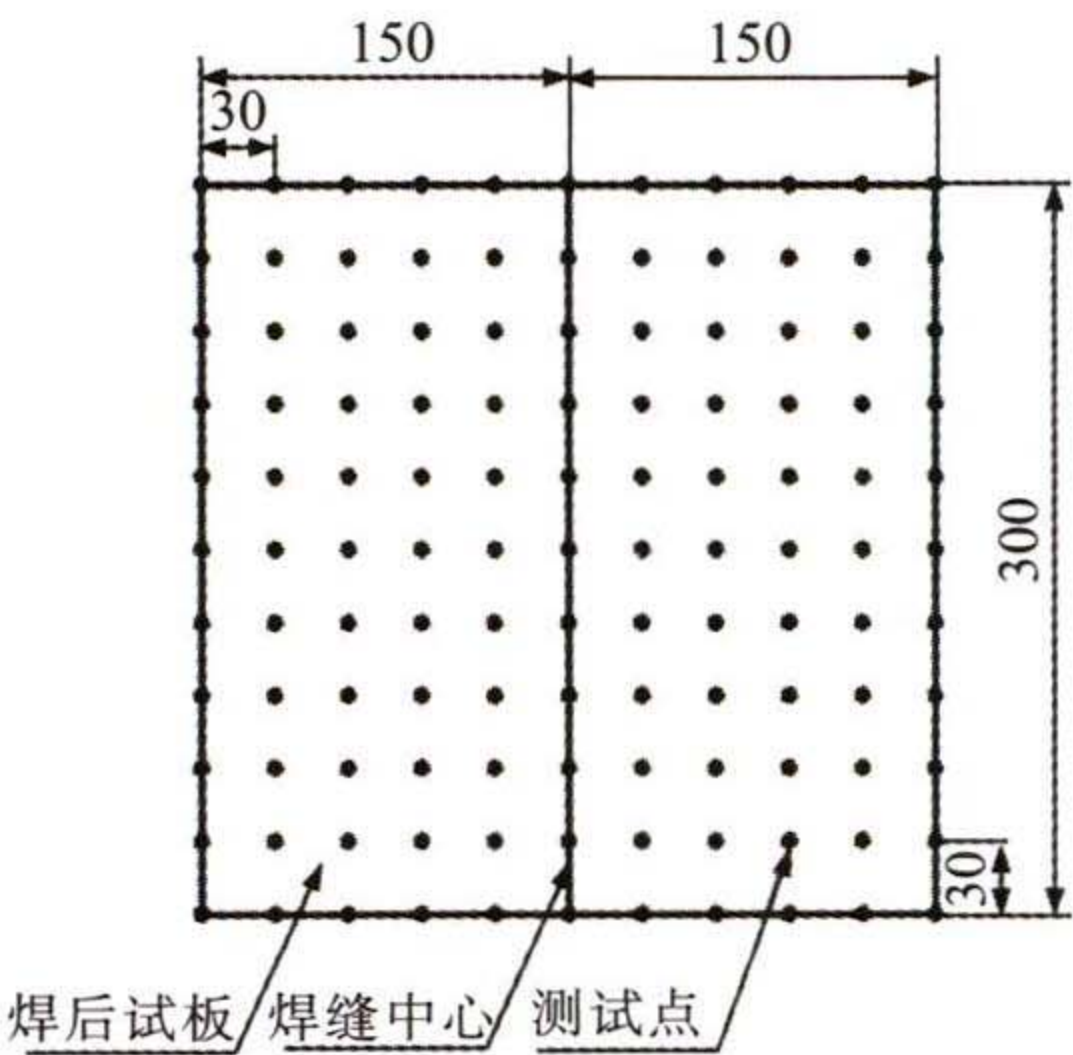


图 1 试板形貌测试示意图
Fig.1 Schematic of morphology test of test plate

定,沿着横向及纵向每隔 30mm 测试焊板表面各点(即图 1 中标记点)的高度值,分析整体变形情况。
在每个试样上取拉伸及横向金相试样,测试各

接头的抗拉强度、断裂伸长率,并观察接头各区域的组织形态。另外,参照图 2 所示的方式在冷焊试样上制备层面金相试样,观察其层面形貌特征。

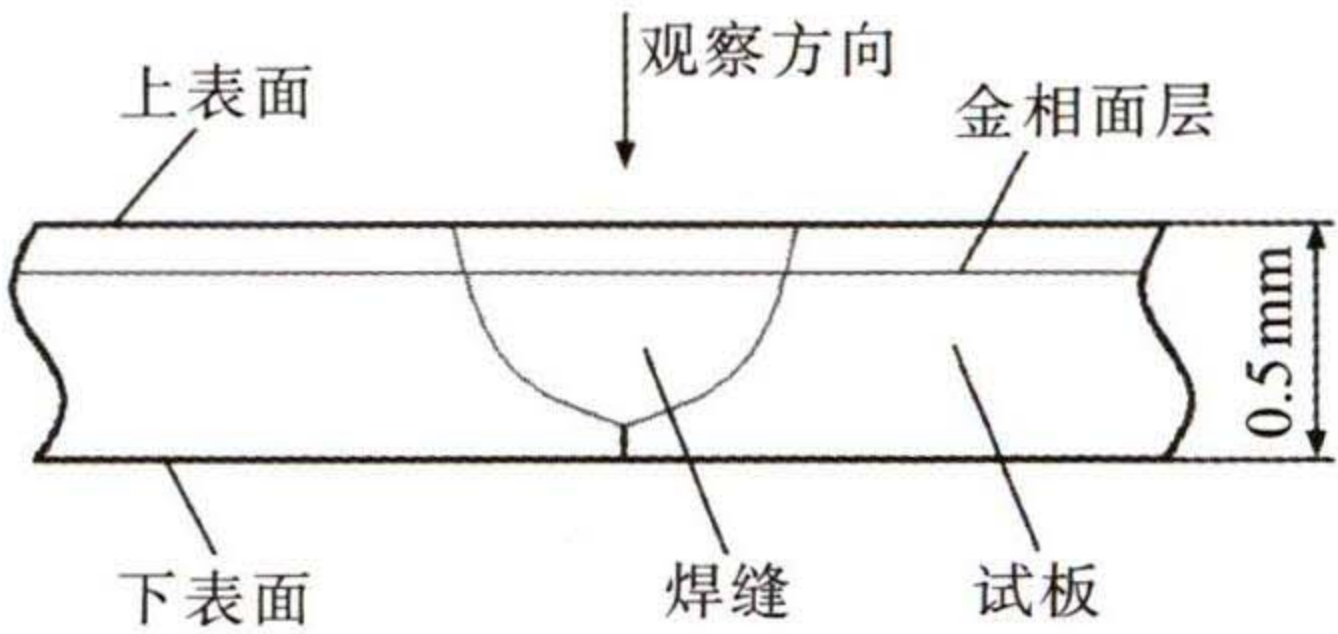
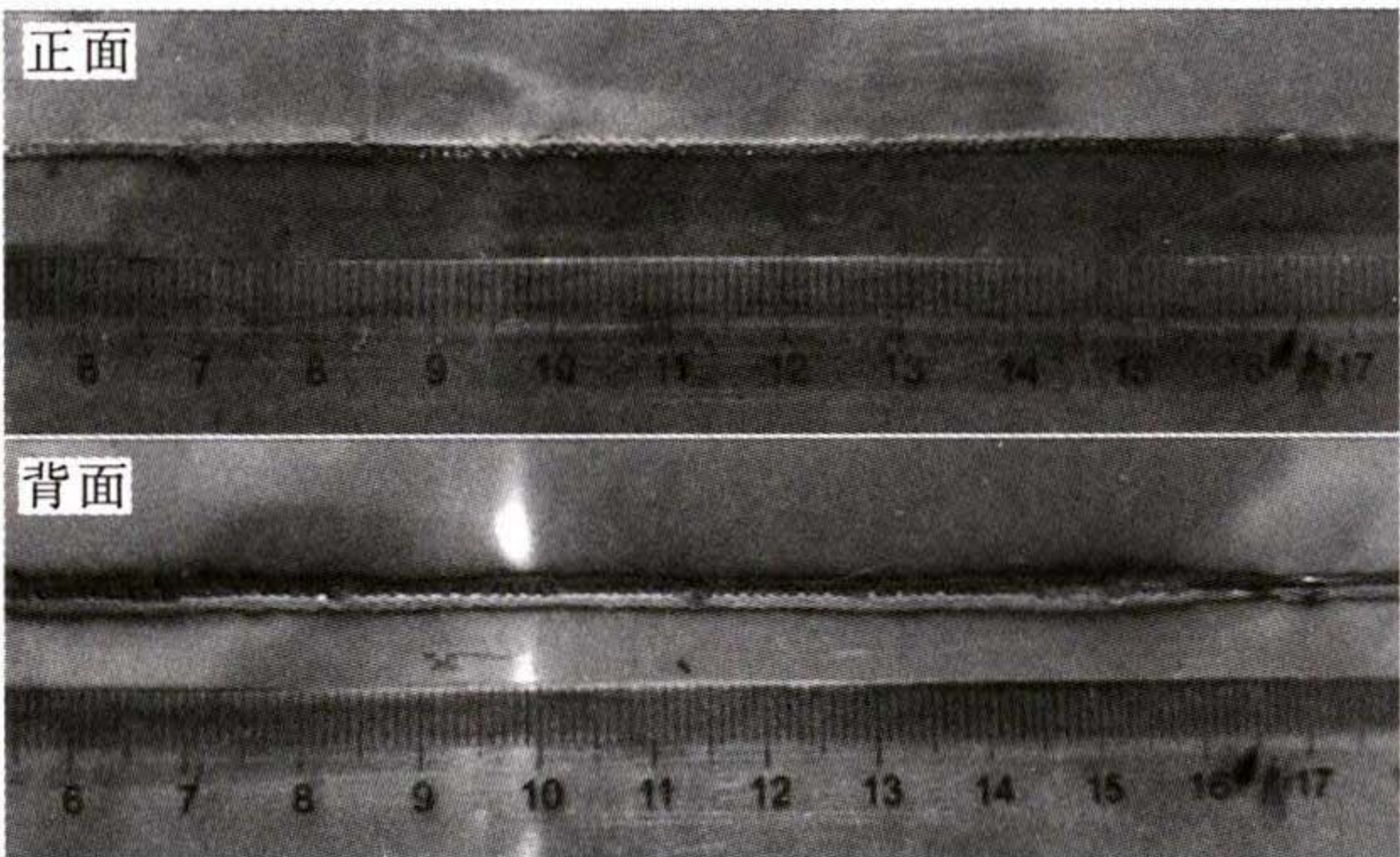


图 2 冷焊接头层面观察示意图
Fig.2 Schematic diagram of cold welded joint layer observation

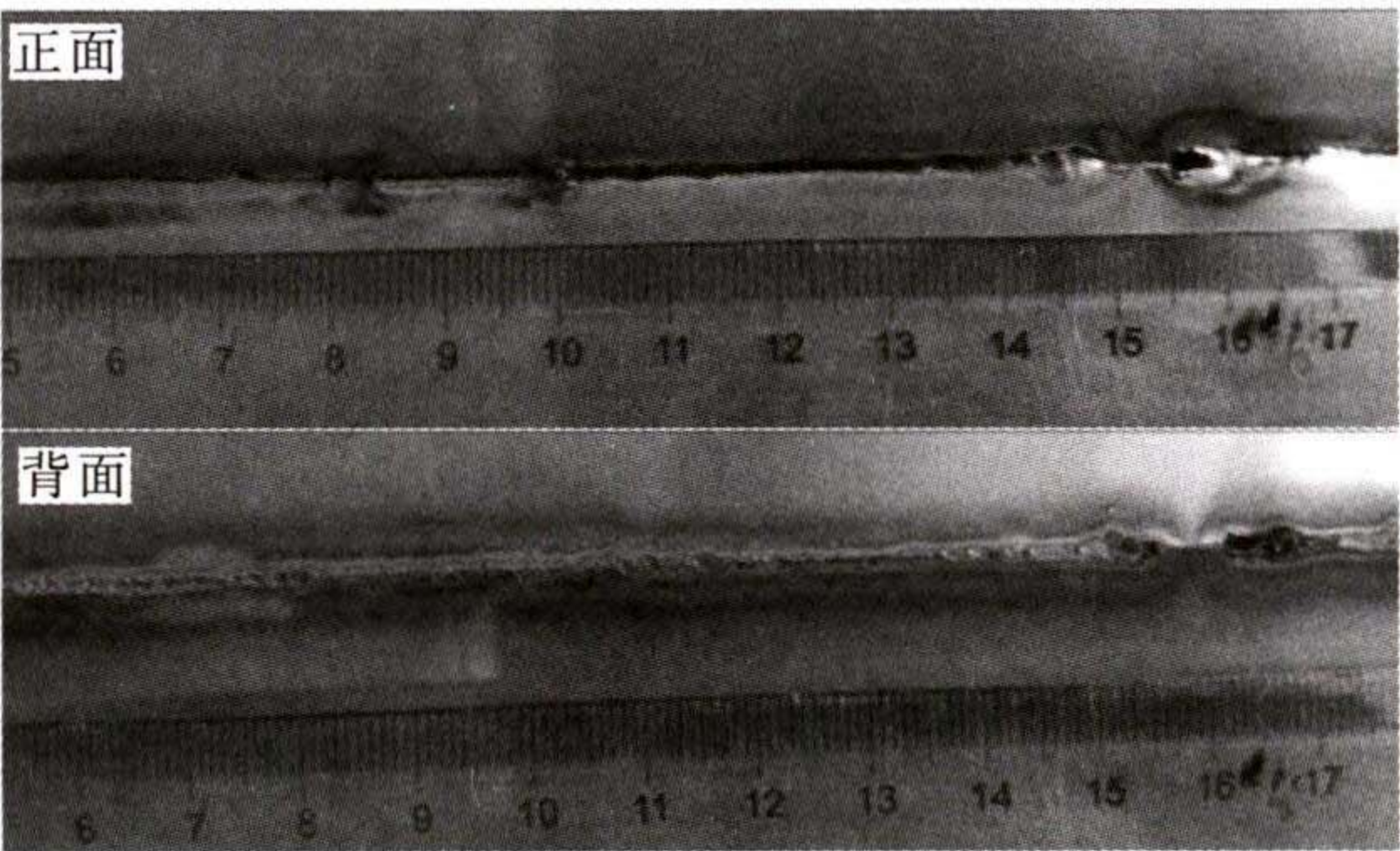
2 结果分析

2.1 焊缝外观形貌对比

图 3 给出了冷焊及 TIG 焊的焊缝外观形貌。在冷焊的脉冲电流作用下,形成熔池并凝固成焊点,连续的焊点相互叠加形成焊缝,焊缝表面宽度约 1mm,焊点中心有明显的弧坑,而背面呈现均匀间断的焊透点,如图 3(a)所示。图 3(b)给出了 TIG 焊的焊缝外观形貌,熔池连续形成完整焊缝,焊缝宽度约 2mm,因焊接热输入较大,正面有一定的咬边,甚至局部出现了烧穿;背面氧化发黑严重,且有显著的熔池金属塌陷。



(a)冷焊形貌



(b)TIG 焊形貌

图 3 焊缝外观形貌
Fig.3 Weld appearance

2.2 试板变形量对比

试板焊接变形后的关键尺寸如表 3 所示,结合

表 3 试板焊接变形后的关键尺寸(mm)
Tab.3 Key dimensions of the test plate after welding deformation(mm)

检测参数	冷焊	TIG 焊
最小高度	4.5	4.7
最大高度	13.8	16.9
极差高度(最大变形量)	9.3	12.2

图 4 给出的试板焊后形貌拟合图,比较冷焊及 TIG 焊的焊接变形量。可看出两者的变形趋势相近,均呈现焊缝低两侧高的“V”翘曲变形^[5]。用最大及最小高度的极差值表征焊接最大变形量,冷焊产生的最大变形量比 TIG 焊的小 23.8%,且冷焊的焊缝两侧变形对称性较 TIG 焊的优良。因为对于直流 TIG 焊而言,尽管焊接电流仅 7A,但电弧连续工作产生的热量远大于放电电流 50A 的高频冷焊的,薄板变形量更大。

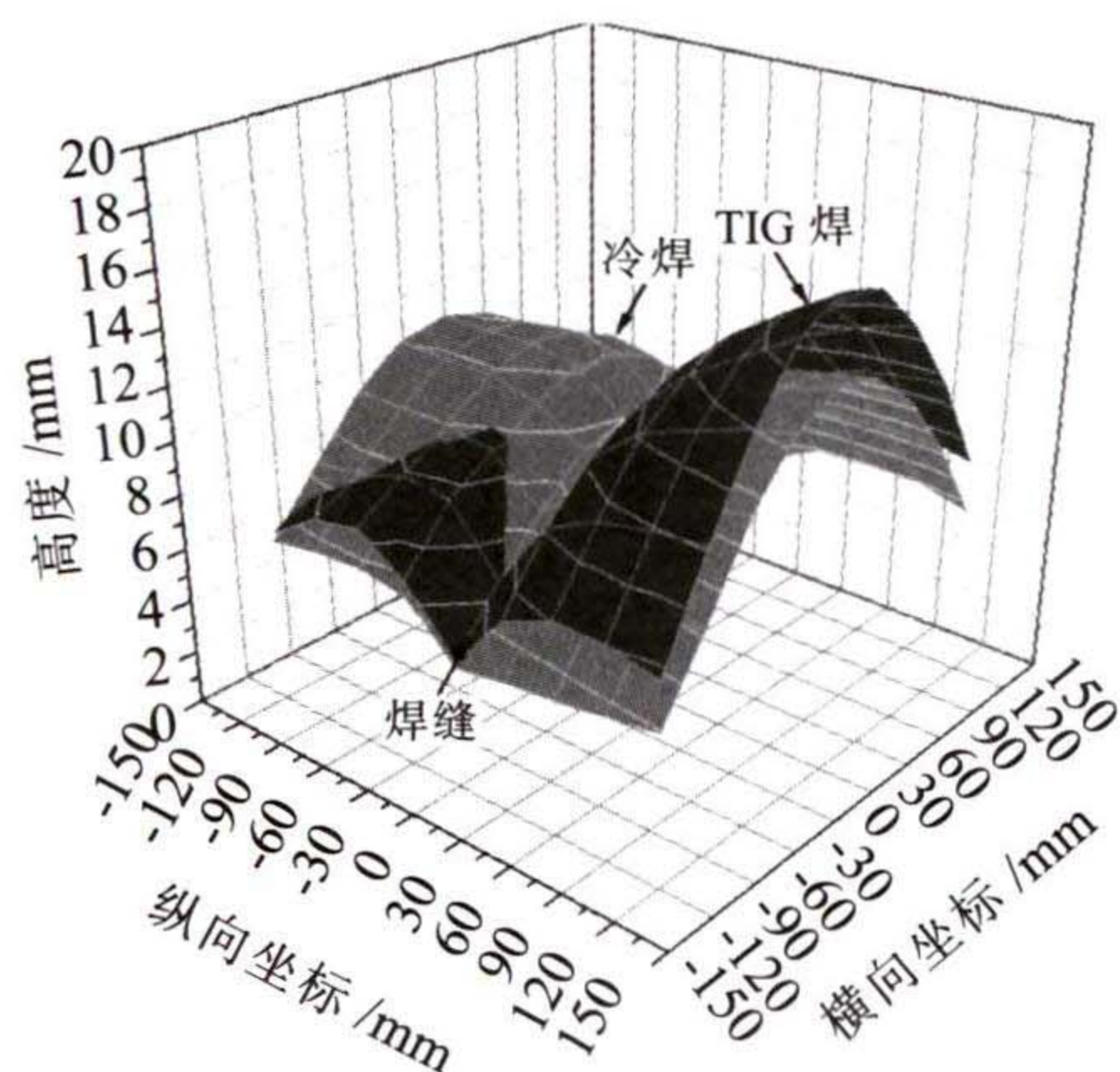


图 4 冷焊及 TIG 焊试板表面形貌图
Fig.4 Surface topography of test plate after cold welding and TIG welding

2.3 接头组织对比

图 5 给出了冷焊接头的层面微观形貌，熔池金属呈现出由熔合线向中心生长的柱状晶形态，但焊点中心存在显著的弧坑缺陷。因为冷焊脉冲产生的较大电弧冲击力使得中心金属塌陷至试板背面，而极低的热输入使得焊点边缘液态金属瞬间冷却结

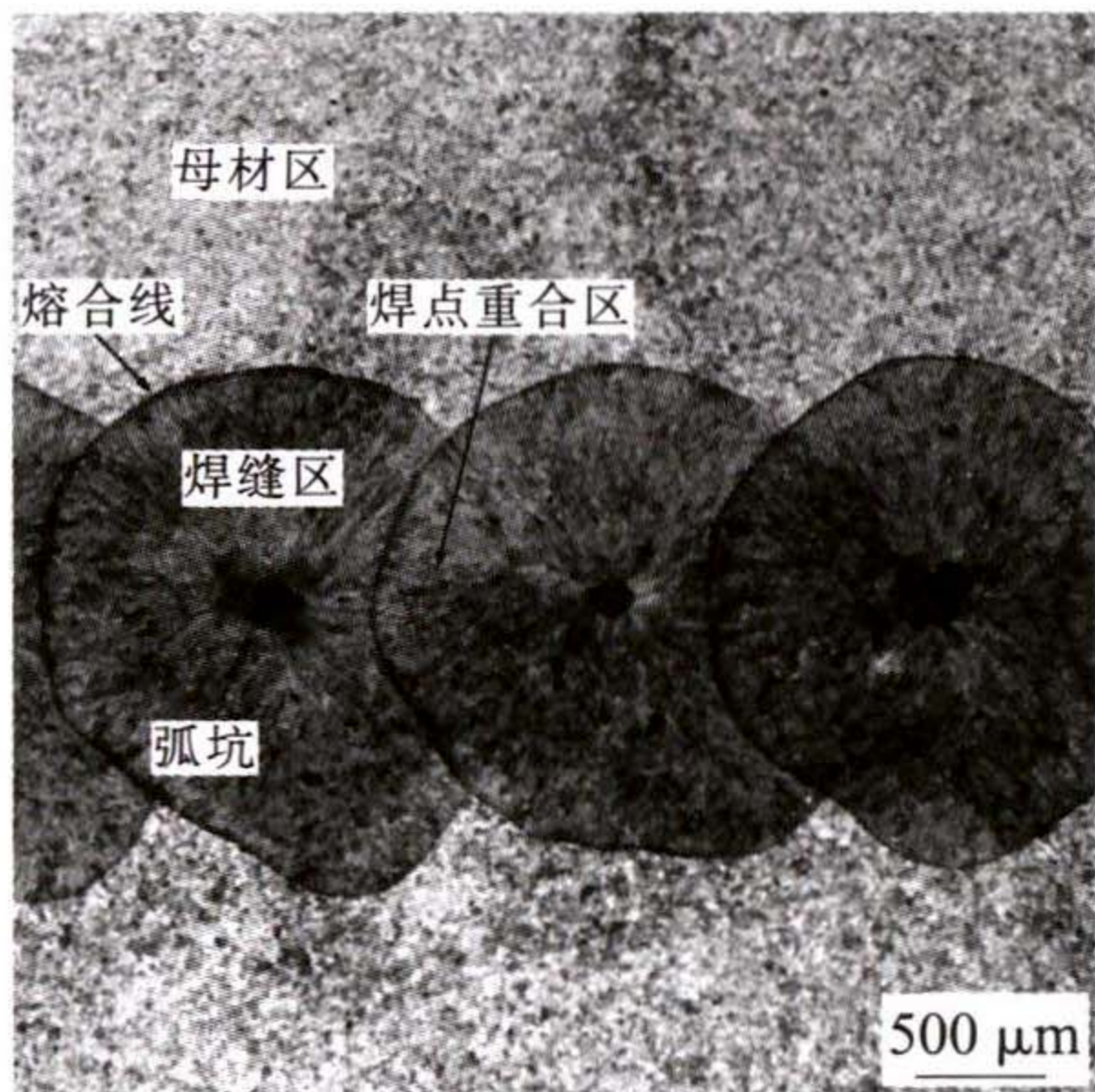


图 5 冷焊接头显微形貌
Fig.5 Microstructure of cold welded joints

晶,并指向中心形成柱状晶^[6],但最后结晶的中心部位得不到液态金属的填充,形成了弧坑缺陷。

冷焊及 TIG 焊接头横向组织形貌对比如图 6 所示。结合图 5 可以看出,相对于恒定流的 TIG 焊,高频脉冲使得冷焊焊缝由焊点相互交错叠加形成,接头存在多条熔合线。较低的热输入使得冷焊熔池金属瞬间冷却,熔合线附近的柱状晶没有 TIG 焊的显著,且热影响区内奥氏体晶粒粗大程度略低于 TIG 焊的^[7]。

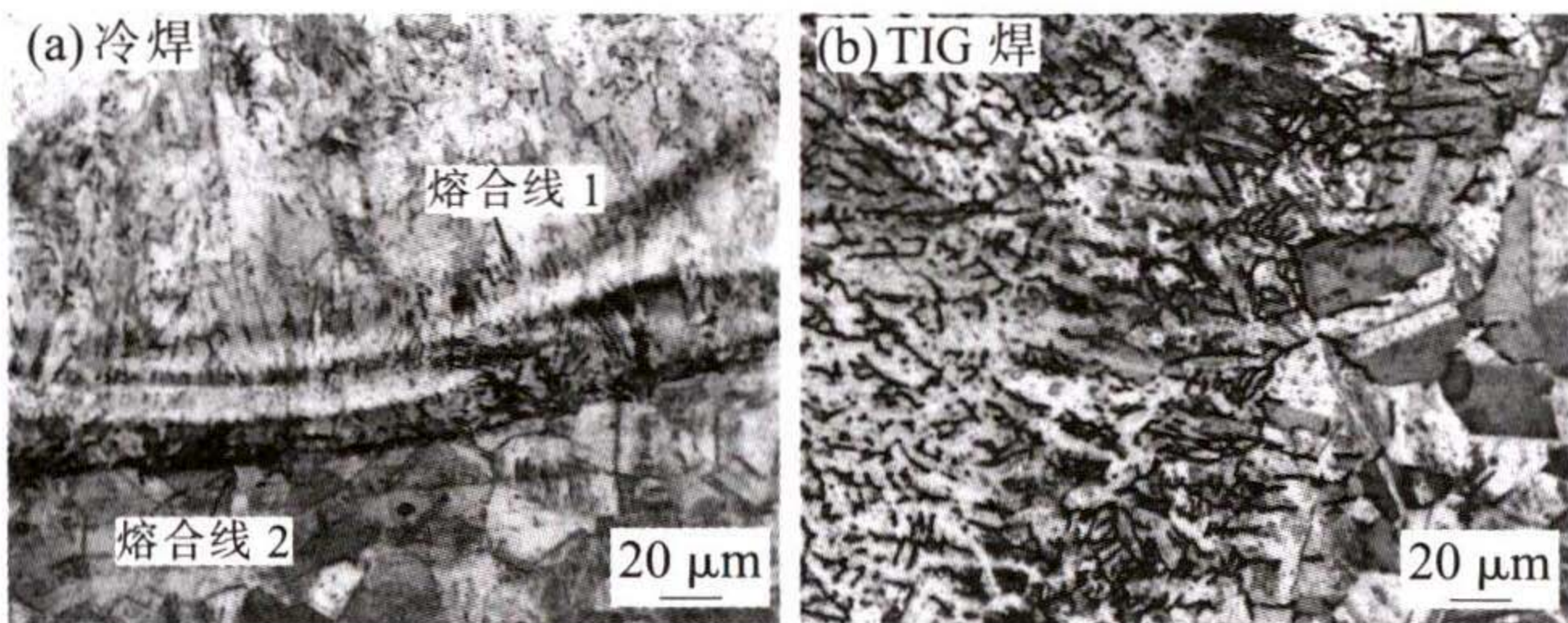


图 6 冷焊与 TIG 焊接头显微组织对比
Fig.6 Comparison of microstructure between cold welding and TIG welding joints

2.4 接头拉伸性能对比

表 4 给出了冷焊与 TIG 焊接头抗拉强度对比数据,所有接头均在焊缝区域发生断裂。相对于 TIG 焊工艺,冷焊接头的抗拉强度平均值低约 5.7%,伸长率平均值低约 10.1%;而 TIG 焊接头抗拉强度的均方差约为冷焊的 3.6 倍,稳定性远低于冷焊。结合宏观形貌可知,冷焊交替存在的弧坑及未焊透缺陷,使得接头的实际承载面积略小于完全焊透的 TIG 焊的,接头承载的最大拉力略小,且整体塑性也略小,焊缝区成为接头最薄弱的环节。

表 4 冷焊与 TIG 焊接头的抗拉强度对比
Tab.4 Comparison of tensile strength between cold welding and TIG welding joints

焊接方法	抗拉强度 /MPa	抗拉强度平均值 /MPa	抗拉强度均方差 /MPa	伸长率 (%)	伸长率平均值 (%)	断裂位置	断裂图片
冷焊	425.5	443.0	26.2	32.7	28.6	焊缝	
	476.9			29.3		焊缝	
	419.6			23.8		焊缝	
	450.2			28.8		焊缝	
TIG 焊	426.8	470.0	94.3	23.5	31.8	焊缝	
	570.9			47.9		焊缝	
	360.6			19.6		焊缝	
	521.6			36.3		焊缝	

(下转第 129 页)

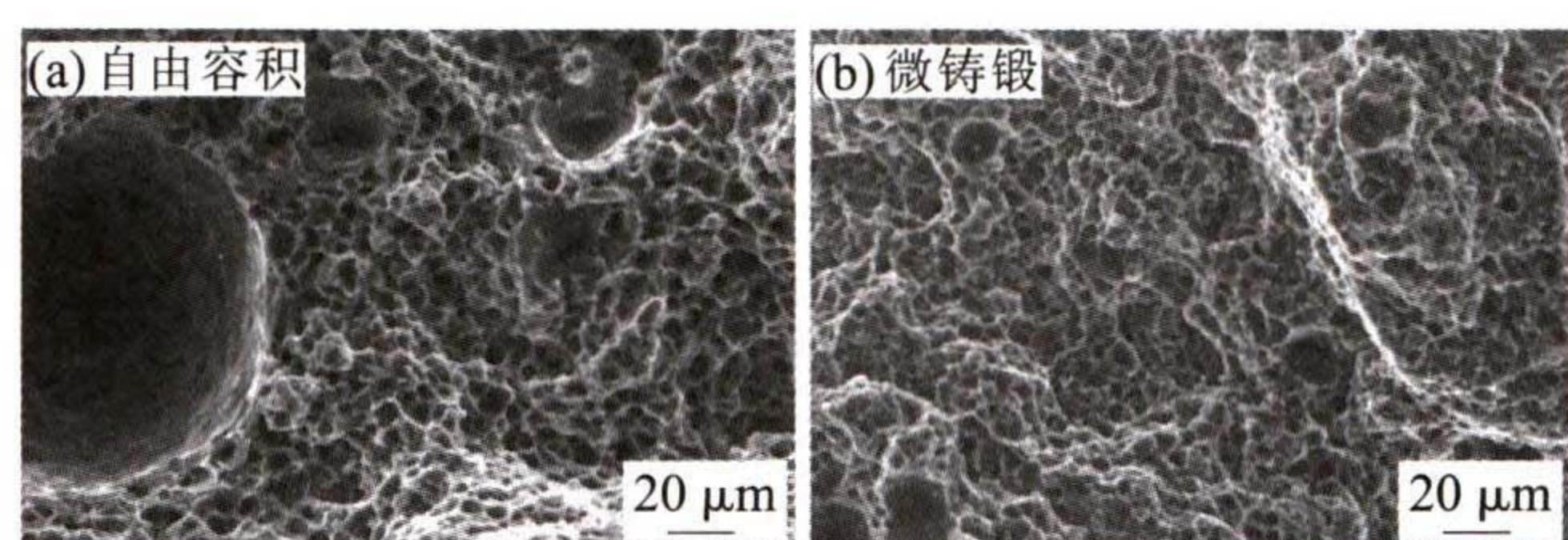


图 8 ZL114A 铝合金拉伸试样断口形貌对比图
Fig.8 Comparison of fracture morphologies of ZL114A aluminium alloy tensile specimens

性较好,韧窝也为均匀细小的等轴韧窝。

3 结论

(1) 与电弧-激光自由熔积工艺相比,电弧-激光微铸锻复合增材成形件表面形貌更加平整,不存在翘曲和塌陷,成形过程中的电弧稳定性更好。

(2) 经微铸锻增材成形的试样内部气孔明显减少,内部组织更加致密,更均匀;由于受到轧制力作用,内部晶粒发生变形,并有再结晶趋势,晶界处的 Mg_2Si 相也大为减少;经过 T6 热处理后的显微组织为 $\alpha(Al)$ 基体 + 弥散分布的共晶硅。

(3) 电弧-激光微铸锻复合增材成形工艺获得的试样,其强度和塑性最均匀,综合性能最优,与电弧-激光自由熔积相比, x 向的抗拉强度提高了 10.3%,屈服强度提高了 17.1%,伸长率提高了 25%,

z 向的抗拉强度提高了 12.4%,屈服强度提高了 19.9%,伸长率提高了 50%,布氏硬度平均值提高了 3.5%。室温拉伸断口形貌均为细小的等轴韧窝。

参考文献:

- [1] 周开心,王少华,王桂兰,等. 微铸锻对电弧增材制造 5A56 铝合金组织与性能的影响 [J]. 热加工工艺,2021,50(5): 12-17.
- [2] 朱士一,高建成,张海鸥,等. 23Co13Ni11Cr3Mo 钢电弧微铸锻增材制造组织性能研究 [J]. 新技术新工艺,2018(8): 64-67.
- [3] 王维,张永泽,杨光,等. 冷焊与冷焊激光复合修复 ZL114A 铝合金组织和力学性能研究 [J]. 稀有金属,2020,44(1): 21-28.
- [4] 汪永阳,黄安国,李颀,等. ZL114A 铝合金激光填丝焊接工艺及显微组织研究[J]. 应用激光,2009(5):27-31.
- [5] 张丽炜,李嘉宁,刘立强,等. 激光及电弧增材制造技术研究进展[J]. 山东建筑大学学报,2020,35(2):68-75.
- [6] 王桂兰,符友恒,梁立业,等. 电弧微铸轧复合增材新方法制造高强度钢零件[J]. 热加工工艺,2015,44(13):24-26.
- [7] 戴宏胜. 塑性变形时铝合金的组织与性能变化探析[J]. 科技展望,2015,25(31):51.
- [8] 许飞,陈俐,郭路云. 填充焊丝对 6A02 铝合金光纤激光焊接接头组织性能的影响[J]. 焊接学报,2018(8):92-96. 

(上接第 124 页)

3 结论

(1) 低热输入使得冷焊焊缝宽度较 TIG 焊的小 50%,周围的氧化程度较 TIG 焊低,且焊接变形量较 TIG 焊的小 23.8%。

(2) 高频脉冲电流使得冷焊接头焊点相互叠加,焊缝区的柱状晶及热影响区内奥氏体粗化程度没有 TIG 焊的显著,但焊点中心区域存在显著的弧坑缺陷。

(3) 弧坑及未焊透缺陷使得冷焊的焊缝区成为接头的最薄弱焊接,抗拉强度及塑性较 TIG 焊的略有降低,但其抗拉强度的稳定性可达到 TIG 焊的 3.6 倍,能够满足结构连接的需求。

冷焊用于薄板甚至超薄板的焊接具有显著优势,焊接变形量显著小于常规焊接,氧化程度低,可满足一般结构连接的需求,但脉冲电流使得接头产生的弧坑及未焊透缺陷是限制接头强度及塑性的主

要因素。如何通过调整焊接参数等解决该问题,将是进一步提高冷焊接头强度的重要研究方向。

参考文献:

- [1] 刘天祥,陈焕明. 脉冲 TIG 焊工艺参数对薄板不锈钢焊缝成形的影响[J]. 热加工工艺,2015,44(19): 187-189.
- [2] 陈兴东,郭洋,黄滔. 特种焊接技术在核电汽轮机部件修复及再制造方面的应用[J]. 电焊接,2020(3): 53-59.
- [3] 林树疆. 浅析无损冷焊在电力设备零部件缺陷修复方面的应用[J]. 山东工业技术,2017(13): 169-170.
- [4] 秦小钦,周新鹏,王广,等. 冷焊技术在齿轮轴上的修复应用[J]. 内燃机与配件,2019(16): 156-157.
- [5] 刘阳,姜斌,王卉子,等. 焊接顺序对横向止挡焊接残余应力及变形的影响[J]. 机械工程学报,2019(24): 57-65.
- [6] 王浩军,张兵宪,李静,等. 激光焊接工艺对 304 不锈钢薄板搭接接头组织性能的影响 [J]. 热加工工艺,2021,50(1): 30-34.
- [7] 江海红,秦国梁,冯超,等. 304 不锈钢薄板列置双 TIG 高速焊缝组织与性能[J]. 焊接学报,2019(1): 161-162. 