

DOI: 10.7512/j.issn.1001-2303.2025.06.21

超超临界机组 G115 耐热钢管 TIP TIG 接头组织与性能研究

盛美芳¹, 刘 鹏^{2,4*}, 郭新芳³, 杨刘波⁴

1. 山东高速建设科技有限公司, 山东 济南 250014
2. 山东建筑大学 材料科学与工程学院, 山东 济南 250101
3. 山东拓能核电检测有限公司, 山东 济南 250102
4. 博科数联(青岛)智能科技有限公司, 山东 青岛 266109

摘要: 采用 TIG 打底+TIP TIG 焊对电站锅炉 $\Phi 530 \text{ mm} \times 115 \text{ mm}$ 的 G115 钢管进行连接, 并进行 770 °C 高温回火热处理, 利用金相、硬度、冲击及电化学腐蚀等试验手段对接头显微组织与力学性能进行分析。研究表明, 焊缝区主要由马氏体及少量铁素体组成, 组织以等轴晶和柱状晶为主; 热影响区以板条马氏体及部分原奥氏体组织为主; 母材呈现针片状马氏体形态。接头硬度呈现先下降后升高的趋势, 母材处最低 (210.5 HV_{0.2}), 热影响区略高于母材区, 熔合区硬度先降低再逐渐升高, 焊缝区硬度最高约为 281.3 HV_{0.2}。冲击韧性则表现出相反趋势, 热影响区冲击吸收功达 103.09 J, 显著优于焊缝区的 59.37 J, 但两者均满足工程要求。电化学腐蚀试验揭示母材耐腐蚀性最优, 焊缝区因高硬度马氏体组织导致耐蚀性下降。研究表明, TIP TIG 焊接工艺可实现 G115 耐热钢管的高质量连接, 但焊缝区高硬度与低韧性特征需通过工艺优化 (如热输入调控或合金成分设计) 进一步改善, 以提升接头综合服役性能。

关键词: G115 耐热钢管; TIP TIG 焊; 显微组织; 力学性能; 腐蚀

中图分类号: TG457.1 文献标识码: A 文章编号: 1001-2303(2025)06-0155-08

Study on the Microstructures and Properties of TIP TIG Joints of Ultra-Supercritical Unit G115 Heat-resistant Steel Pipe

SHENG Meifang¹, LIU Peng^{2,4*}, GUO Xinfang³, YANG Liubo⁴

1. Shandong Hi-speed Construction Technology Co., Ltd., Jinan 250101, China
2. School of Materials Science and Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China
3. Shandong Tuoneng nuclear Power Testing Co., Ltd., Jinan 250102, China
4. BKSL (Qingdao) Intelligent Technology Co., Ltd., Qingdao 266109, China.

Abstract: The TIG backing + TIP TIG welding method was used to connect G115 steel pipes of $\Phi 530 \times 115 \text{ mm}$ in power plant boilers, and a high-temperature tempering treatment was carried out at 770 °C. The microstructure and mechanical properties of the joint were analyzed using metallographic, hardness, impact, and electrochemical corrosion testing methods. The research shows that the weld bead area is mainly composed of martensite and a small amount of ferrite, with the structure being mainly equiaxed and columnar crystals; the heat-affected zone is mainly composed of plate martensite and some original austenite structures; the parent material presents a needle-like martensite morphology. The hardness of the joint shows a trend of first decreasing and then increasing, with the lowest at the parent material (210.5 HV_{0.2}), the heat-affected zone slightly higher than the parent material zone, the hardness of the fusion zone first decreasing and then gradually increasing, and the highest hardness in the weld bead zone being about 281.3 HV_{0.2}. The impact toughness shows the opposite trend, with the impact absorption work of the heat-affected zone reaching 103.09 J, significantly better than the 59.37 J of the weld

收稿日期: 2024-09-22 修回日期: 2024-10-16

基金项目: 山东省自然科学基金(ZR2016JL017)

通讯作者: 刘 鹏(1979—),男,博士,教授,主要从事金属材料焊接与增材制造方面研究。E-mail: liupeng1286@163.com。



bead zone, but both meet engineering requirements. Electrochemical corrosion tests reveal that the parent material has the best corrosion resistance, while the weld bead area has reduced corrosion resistance due to the high-hardness martensite structure. The research indicates that the TIP TIG welding process can achieve high-quality connections of G115 heat-resistant steel pipes, but the high hardness and low toughness characteristics of the weld bead area need to be further improved through process optimization (such as heat input control or alloy composition design) to enhance the comprehensive service performance of the joint.

Keywords: G115 heat-resistant steel pipe; TIP TIG welding; microstructures; mechanical properties; corrosion

引用格式: 盛美芳, 刘鹏, 郭新芳, 等. 超超临界机组 G115 耐热钢管 TIP TIG 接头组织与性能研究[J]. 电焊机, 2025, 55(6): 155-162.

Citation: SHENG Meifang, LIU Peng, GUO Xinfang, et al. Study on the Microstructures and Properties of TIP TIG Joints of Ultra-Supercritical Unit G115 Heat-resistant Steel Pipe[J]. Electric Welding Machine, 2025, 55(6): 155-162.

0 引言

目前 650 °C 超超临界电站汽轮机转子的制造已经采用先进的 9%~12%Cr 马氏体耐热钢, 其具有较高的持久强度、耐蚀性、热强性、韧性和冷变形性能, 可在高湿蒸汽及酸碱溶液中长期运行, 且减震性优良, 未来可广泛应用于电站高压蒸汽汽轮机转子结构^[1-2]。该型耐热钢主要基于“选择性强化”设计理念^[3-4], 在原有超超临界耐热钢基础上, 通过调整合金成分, 适当添加微量合金元素制备出的新型 G115 马氏体耐热钢, 可在 620~650 °C 范围内使用, 具有更好的组织稳定性和更高的蠕变断裂强度^[5], 适用于制造大直径管道和集管等厚壁零件。

目前针对 G115 钢母材的研究主要集中在热处理工艺、热时效、拉伸变形、蠕变和氧化行为等方面^[6-7]。但对于 G115 新型耐热钢大厚壁管用结构的焊接工艺及接头组织性能的研究还比较少。章亚林^[8]等采用 GTAW 进行了小口径 G115 钢管 ($\phi 45$ mm $\times$ 8 mm) 焊接工艺试验, 开 V 型坡口, 分 4 层 6 道焊接, 盖面层焊接 2 道, 焊前预热 150 °C, 层间温度 150~250 °C, 焊后进行 760 $\pm$ 10 °C 保温 1.5 h 的热处理, 获得无气孔、夹渣、裂纹和未熔合等缺陷的接头, 对接头显微组织结构和力学性能进行了试验分析, 其常温拉伸和弯曲性能满足使用要求。仲春生^[9]等采用 GTAW 打底、SMAW 填充及盖面的工艺对 G115 钢管进行焊接, 管道规格 $\phi 45$ mm $\times$ 10 mm, GTAW 焊丝选用 GTR-W93 ($\phi 2.0$ mm), SMAW 的焊条选用 GER-93 ($\phi 2.6$ mm)。研究表明, 焊前合理的预热温度、焊中层间温度以及焊后热处理温度对接头力学性能影响很大; 为防止焊根焊道氧化,

必须采用氩气进行背面保护。徐连勇等^[10]采用冷金属过渡+脉冲 (CMT+P) 方式对 15 mm 厚度 G115 钢进行焊接, 焊材为同质实心焊丝 $\phi 1.2$ mm GER-95, 焊接接头的室温拉伸性能特别是热影响区的冲击韧性明显提高, 但该方法在实际生产应用中尚未被采用。Cai^[11]等采用 CMT+P 工艺成功焊接了厚度为 15 mm 的 G115 钢, 分析了热输入对 G115 焊接接头组织和力学性能的影响, 表明随热输入的增加, 焊接接头的高温持续时间增加, 析出相沿晶界析出晶粒增加, 提高了焊接接头的强度, 但冲击能量明显降低。郭新芳等^[12]采用 TIG 焊打底+SMAW 填充焊缝的方法, 对 $\phi 530$ mm $\times$ 115 mm 大厚壁 G115 耐热钢管进行焊接, 分析表明, 焊缝由回火马氏体组织组成, 热影响区以板条马氏体组织为主, 接头焊缝区平均硬度最高, 为 302.8 HV_{0.2}, 接头的冲击韧性较好, 能满足实际使用要求, 但该工艺方法焊接效率较低。

本研究以 650 °C 超超临界电站锅炉用大厚壁 (115 mm 厚) G115 耐热钢管为对象, 采用 TIG 打底和动态振动热丝钨极氩弧焊 (TIP TIG) 填充的高效率焊接方法进行连接。利用金相显微镜、显微硬度计、冲击试验机等分析测试手段, 对接头各区域显微组织与性能进行试验分析, 探索接头组织性能与焊接工艺间的关系, 为 G115 耐热钢的推广应用提供重要的研究基础。

1 试验材料与方法

试验母材为大口径厚壁 G115 (牌号 08Cr9W3Co3VNbCuBN) 耐热钢管, 尺寸 $\phi 530$ mm $\times$ 115 mm,



其化学成分与力学性能如表 1、表 2 所示。

试验方法采用 TIG 打底+TIP TIG 填充及盖面，焊机型号 ZX7-400STG。TIP TIG 焊采用自动高频振动送丝装置，利于熔滴过渡到熔池中，起到熔池搅拌作用，促进熔池内液态金属的流动，改善焊缝质量。焊接工艺、焊道和焊层的关系如表 3 所示。

表 1 G115 钢管的化学成分(质量分数, %)

C	Si	Mn	Cr	Co	Ni	W	Nb	N	Cu	Al	V
0.065~0.095	≤0.5	0.30~0.70	8.50~9.50	2.85~3.20	≤0.03	2.40~3.10	0.03~0.09	0.005~0.012	0.50~1.10	≤0.01	0.16~0.24

表 2 G115 钢管的力学性能

抗拉强度	屈服强度	断后伸长	冲击吸收功	硬度	硬度
R_m /MPa	R_{eL} /MPa	率 A /%	A_{KV2} /J	/HBW	/HV
≥600	≥80	≥20	≥40	195~250	195~265

焊接工艺参数如表 4 所示。所选焊材为 BYH15，化学成分如表 5 所示。焊接过程中，正面与管道内部均采用氩气保护，TIG 焊正面保护气气体流量为 10~15 L/min，TIP TIG 焊正面保护气气体流量为 20~25 L/min，管道内部保护气体流量为 10~12 L/min，

表 3 焊接方法、焊层与焊道

焊接方法	焊层	焊道
TIP TIG	48	6
TIP TIG	43~47	5
TIP TIG	14~42	4
TIP TIG	6~13	3
TIG	5	3
TIG	3~4	2
TIG	1~2	1

送丝振幅 230 Hz。

表 4 焊接工艺参数

焊层	焊接方法	焊材	直径/mm	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(mm·min ⁻¹)	送丝速度/(m·min ⁻¹)	热输入/(kJ·mm ⁻¹)
盖面	TIP TIG	BYH15	2.4	150~180	11~15	50~80	0.74~1.18	0.74~1.94
填充	TIP TIG	BYH15	1.0	170~200	11~15	50~80	1.74~1.48	0.74~1.94
根部	GTAW	BYH15	1.0	90~120	8~10	30~50	—	0.52~1.44

表 5 焊丝 BYH15 化学成分(质量分数, %)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Al	Co
0.115	0.31	0.63	8.93	0.45	0.01	2.97
Mo	W	V	B	Nb	N	
0.05	2.58	0.2	0.005	0.03	0.0023	

采用 V 型坡口对接形式，根面和根间隙分别为 1.5 mm 和 3 mm，坡口形式及尺寸如图 1 所示。

焊接完成后制备金相试样，所用腐蚀液为 FeCl₃ 盐酸溶液(5 g FeCl₃+50 mL HCl+100 mL H₂O)。图 2 为 G115 钢焊接接头宏观形貌，可见接头成形良好，母材、热影响区和焊缝界限清晰，未观察到裂纹、气孔、夹渣和未熔合等明显缺陷。为便于后续分析，将焊接接头沿厚度方向分为上、中、下三个区域，分别对应盖面区、填充区和焊根区。

采用 Nikon Epiphot 300U/200 型金相显微镜、HV-1000 型显微硬度计、电化学腐蚀分析设备及 JBW-300H 型冲击试验机对接头各区域显微组织、硬度分布、耐腐蚀性及冲击韧性等进行试验与分

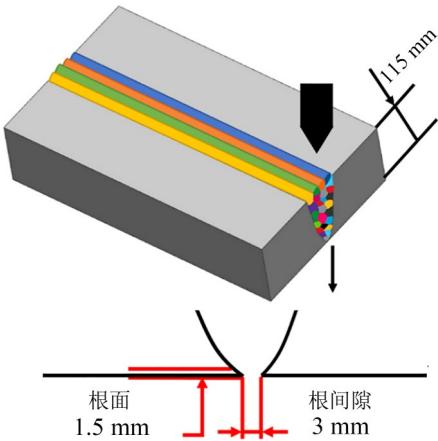


图 1 坡口示意

Fig. 1 Groove diagram

析。各项性能测试均按照相关标准进行。

2 试验结果与分析

2.1 显微组织

焊根区显微组织如图 3 所示。由图可知，焊根



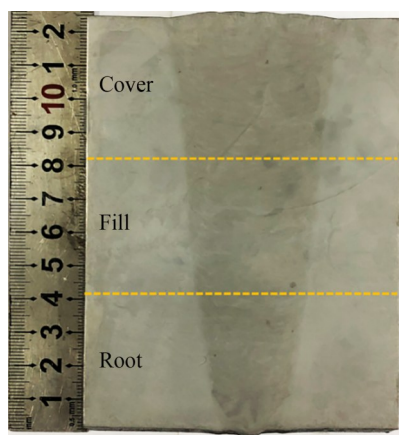


图2 焊接接头的宏观形貌

Fig. 2 Macro-morphology of the welded joint

区几乎由等轴晶组织构成,且晶粒尺寸较小。如图3a所示,焊根区域附近母材由于受到热量传递的影响相对较少,晶粒变化不大,主要由针状马氏体构成。图3b中,热影响区逐渐出现板条马氏体和残余奥氏体,可能是其粗晶区经历温度(1 200~1 300 °C)远高于 A_{c3} ,组织完全奥氏体化,在没有沉淀物约束的情况下晶粒长大粗化。而细晶粒区也经历了高温转变温度(1 000~1 100 °C),但与粗晶区相比,其停

留时间更短,导致原有沉淀相可能发生部分的溶解,但仍然存在一些未溶解的细沉淀相出现在该区域,进而限制了其组织的粗化^[14]。图3c中,熔合区组织从针片状马氏体和板条马氏体过渡转变为焊缝区(见图3d)的等轴晶组织,这与熔池的冷却特征密切相关,其较高的冷却速度增大了焊缝金属的过冷度,提高了形核率,促进了等轴晶的优先形核与长大。

填充区显微组织以柱状晶和等轴晶为主,整体晶粒尺寸相对粗大,如图4所示。靠近母材的区域(见图4a),受熔池与两侧母材间热量传递及温度梯度的影响,晶粒发生择优生长和拉长,形成了片状马氏体组织。向热影响区过渡时(见图4b),晶粒进一步粗化,片状马氏体数量减少,并逐渐出现板条状组织且数量开始明显增多。这一转变可能与层间温度影响有关:一方面,较高的层间温度促进了奥氏体相变;另一方面,越靠近焊缝中心,层间热循环带来的回火效果越明显。如图4c所示,熔合区组织呈现从板条状马氏体和残余奥氏体形态逐渐过渡转变为等轴晶的形态;而在图4d中,填充焊缝区存在回火马氏体组织,在填充焊过程中后一层焊道

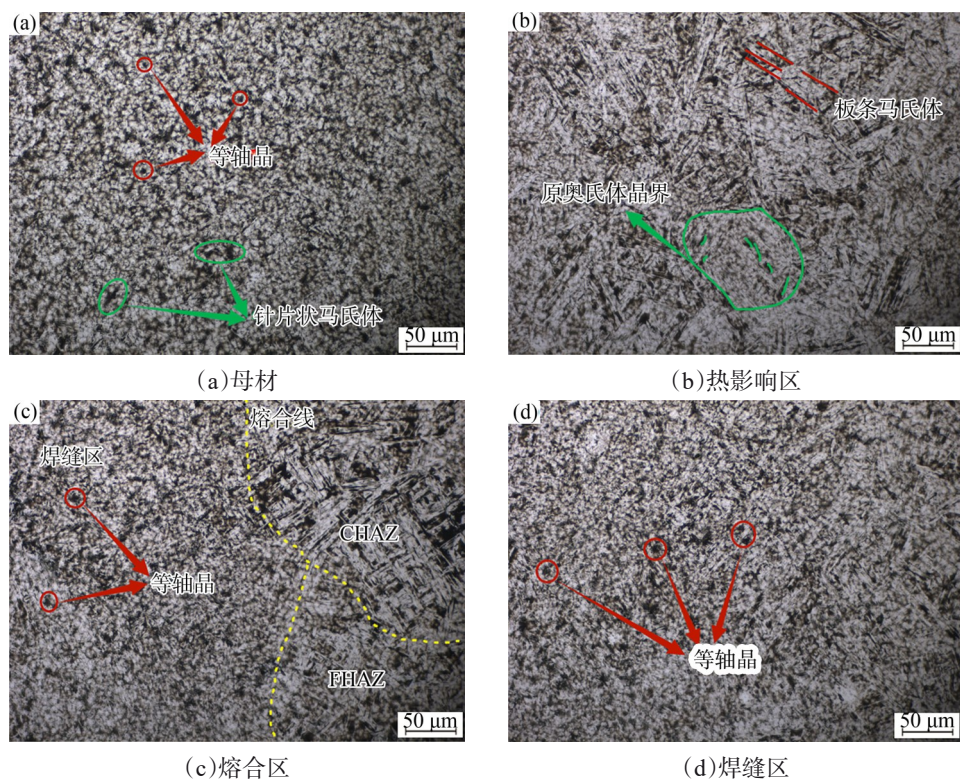


图3 焊根区显微组织

Fig. 3 Microstructure of the root zone

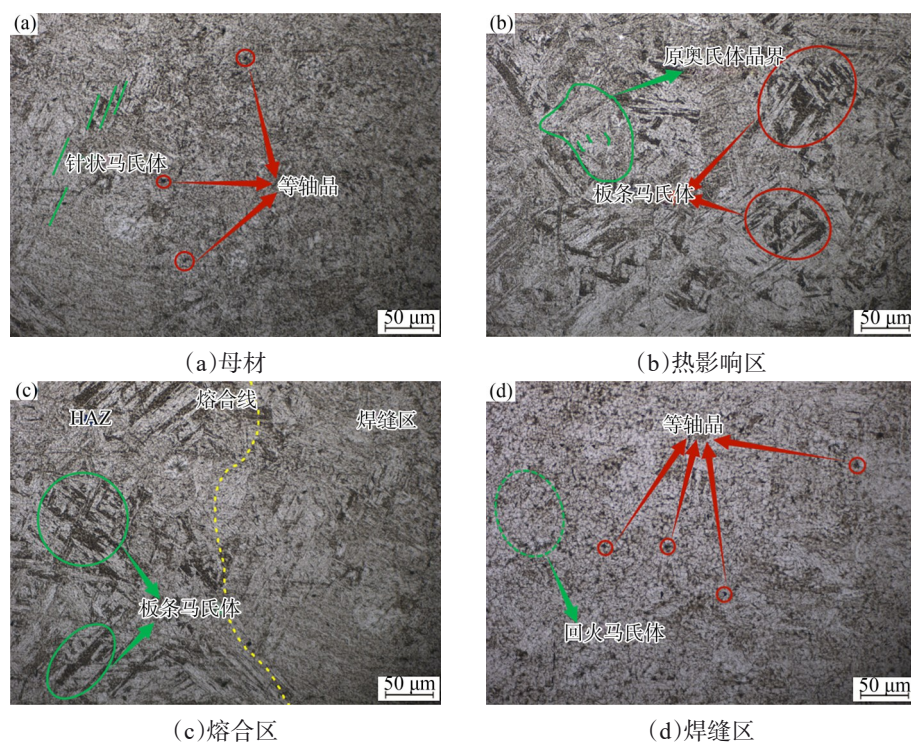


图4 填充区显微组织

Fig. 4 Microstructure of the filling zone

会对前一层焊道二次加热,产生相变再结晶,最终形成等轴晶。

盖面区显微组织如图5所示,以柱状晶和等轴晶为主,且晶粒较粗大。图5a为盖面区近母材的显

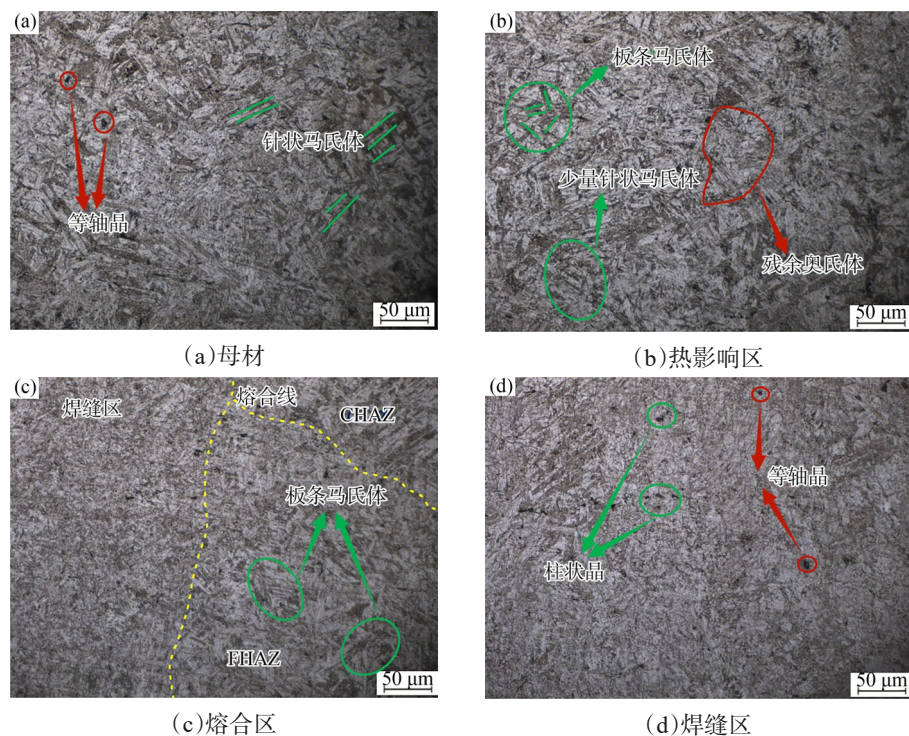


图5 盖面区显微组织

Fig. 5 Microstructure of the capping zone



微组织,组织呈现片状马氏体组织形态,同时还存在少量的残余奥氏体。其中片状马氏体的存在,可能源于原奥氏体晶粒内部及晶界的非均匀化形核与长大。热影响区(见图5b)在焊接热循环作用下,晶粒长大,并向远离焊缝的方向形成了粗大的针状马氏体,随后逐渐转变为板条状马氏体。在多层热循环的影响下,板条马氏体数量增多,而残余奥氏体含量逐渐减少。此外,熔合区(见图5c)的组织转变与填充区相近,也存在板条状马氏体和残余奥氏体向等轴晶组织的过渡。而图5d中,焊缝区下部区为等轴晶,上部为柱状晶组织,这是由于前一层焊道对下一层焊道有一定的冷却效果。尽管焊接过程中层间温度控制在200~250℃,这有助于延长熔池的冷却时间,但整个接头的冷却速率仍较快,进而导致在根部区域形成等轴晶粒组织,在上部区域形成粗柱状晶组织。

2.2 硬度分布及影响

接头盖面、填充、根部区域硬度曲线如图6所示。焊接接头横截面不同区域(盖面、填充、根部区域)的显微硬度分布特征较为相似,其硬度均呈现先下降后升高的趋势,母材处硬度最低,热影响区硬度略高于母材,而在熔合线附近硬度会迅速降到最低点,随后逐渐升高,在焊缝区硬度达到最高。热影响区硬度的提升可归因于该区域形成了具有高位错密度的板条状马氏体组织。硬度测试结果表明,靠近焊缝的母材区域,其盖面、填充、根部三个部位的显微硬度分别为233.6 HV_{0.2}、235.9 HV_{0.2}和233.2 HV_{0.2},热影响区相应位置的硬度平均值分别为244.6 HV_{0.2}、246.4 HV_{0.2}和238.1 HV_{0.2},而焊缝区三个位置的显微硬度平均值则显著提升,达到275.1 HV_{0.2}、277.2 HV_{0.2}和277.9 HV_{0.2}。

接头显著的硬度变化原因包括:(1)焊接过程中,层间热循环导致母材和熔池之间析出大量超细碳化物,越靠近焊缝中心,层间热循环的回火效果也越大;随着与熔合边界距离的接近,热影响区的硬度先减小后增大;(2)焊接接头经过高温回火后,由于弥散强化,组织会更加均匀,各类碳化物和MX相的大量析出也有利于整体性能的提高。从晶粒尺寸来看,焊缝区域晶粒较细,焊缝晶粒细小是硬度值最高的原因之一。

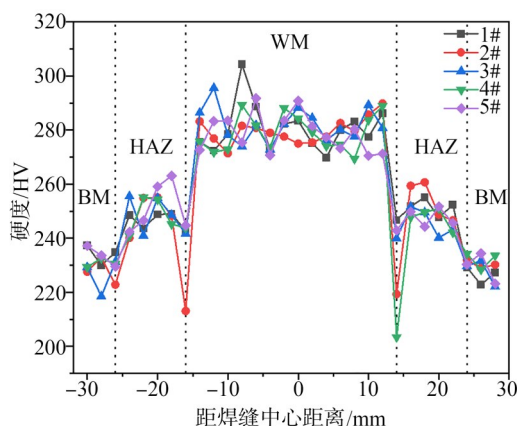


图6 焊接接头各区域硬度分布

Fig. 6 Hardness distribution of each zone of the welded joint

2.3 接头冲击韧性

依据NB 47014、GB/T 229标准,在20℃条件下,采用夏比V型缺口冲击试验(KV2)对焊接接头进行了试验。在焊缝和热影响区各取3个试样,每个区域制备3个试样,每个区域的冲击值为3个试样的平均值。热影响区位置编号从上往下分别为HAZ1(盖面区)、HAZ2(填充区)、HAZ3(焊根区),焊缝区位置编号从上往下分别为WZ1(盖面区)、WZ2(填充区)、WZ3(焊根区)。

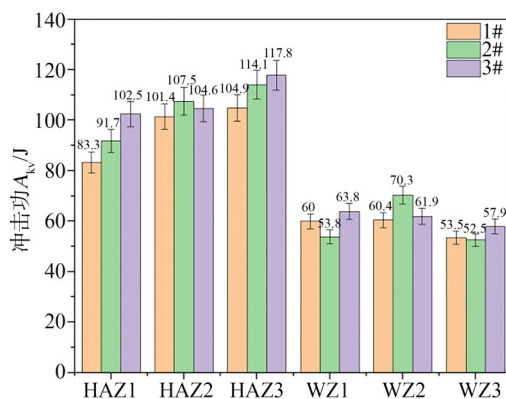


图7 接头冲击吸收功

Fig. 7 Impact absorption work of the joint

接头HAZ冲击吸收功结果见图7,结果表明,热影响区的冲击韧性显著优于焊缝区。HAZ的平均冲击功分别为盖面区92.48 J、填充区104.5 J和焊根区112.3 J。WZ冲击吸收能量平均值分别为盖面区59.23 J、填充区64.22 J和焊根区54.65 J。这可能是焊缝区域几乎全为晶粒各向异性的等轴晶,晶粒的大小和取向趋于一致,容易产生裂纹,且其晶粒尺寸相对较大,韧性较差^[12]。

2.4 电化学腐蚀性能

焊接接头在 3.5%NaCl 溶液体系中的极化曲线如图 8 所示。结果表明,在相同的腐蚀时间内,母材区具有自腐蚀电位为 -0.236 V ,其腐蚀电流密度为 $2.749\text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$;热影响区的自腐蚀电位为 -0.305 V ,其腐蚀电流密度为 $3.336\text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$;焊缝区自腐蚀电位为 -0.338 V ,腐蚀电流密度最高为 $6.037\text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。进行比较表明,母材的自腐蚀电位最高且其腐蚀电流密度最低,其耐腐蚀性最好,而焊缝区的腐蚀电流密度最大,且其自腐蚀电位较低,其耐腐蚀性最差。热影响区电化学腐蚀性能介于二者之间。

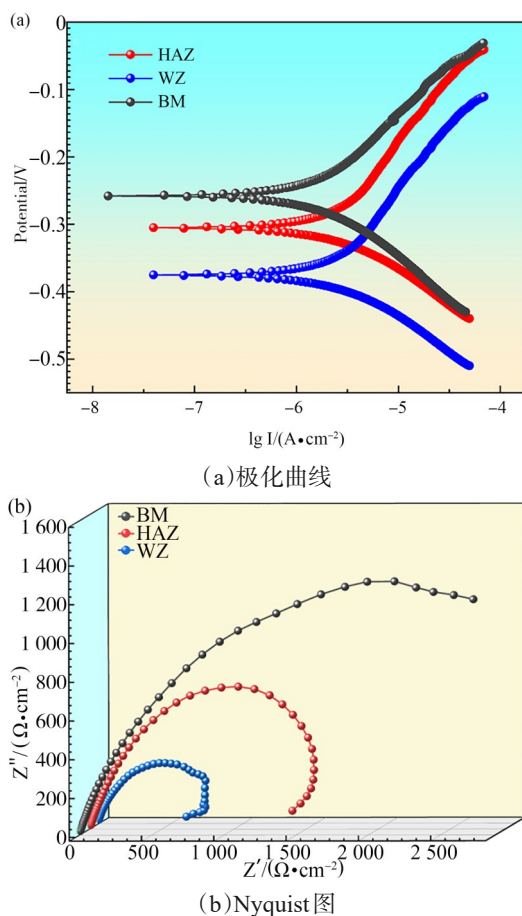


图8 焊接接头各区域电化学腐蚀

Fig. 8 Electrochemical corrosion diagram of each zone of the welded joint

3 结论

(1)采用 TIG+TIP-TIG 焊接工艺,选择合理的焊接工艺参数,并进行 $770\text{ }^{\circ}\text{C}$ 回火处理,有效实现了

G115 大壁厚耐热钢管的高质量连接,接头成形良好,未出现裂纹、气孔、夹渣和未熔合等明显缺陷。

(2)焊接接头焊缝区主要由马氏体和少量铁素体组成,组织形貌为等轴晶和柱状晶,焊缝底部主要为细小的等轴晶;热影响区主要由原奥氏体晶界和板条马氏体组成。

(3)接头硬度呈现出先下降后升高的趋势,热影响区硬度略高于母材,熔合线附近硬度达到最低,焊缝区硬度最高。冲击韧性则表现出相反趋势,热影响区冲击吸收功显著优于焊缝区,但两者均满足承压设备焊接工艺评定 NB T47014 标准的使用要求。

(4)电化学腐蚀试验表明,母材耐腐蚀性最优,焊缝区因高硬度马氏体组织导致耐蚀性下降。

参考文献:

- [1] 刘正东,陈正宗,包汉生,等. 新一代马氏体耐热钢 G115 研发及工程化[M]. 北京:冶金工业出版社, 2020.
- [2] 李其,陈正宗,蒋新亮,等. 9%~12%Cr 高中压转子材料发展历程与工程化关键技术[J]. 钢铁, 2021, 56 (2):40-49.
- LI Q, CHEN Z Z, BAO H S, et al. Development and engineering manufacture technology of 9%-12% Cr high and medium pressure rotor material[J]. Iron and Steel, 2021, 56(2):40-49.
- [3] Liu Z, Liu Z D, Wang X D, et al. Investigation of the microstructure and strength in G115 steel with the different concentration of tungsten during creep test [J]. Materials. Characterization, 2019, 149:95-104.
- [4] Dong C, Liu Z D, Wang X D, et al. Formation behavior of long needle-like M23C6 carbides in a nickel based alloy without γ' phase during long time aging[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2020, 821:153259.
- [5] 何焕生,余黎明,刘晨曦,等. 新一代马氏体耐热钢 G115 的研究进展[J]. 金属学报, 2022, 58(3):311-323.
- HE H S, YU L M, LIU C X, et al. Research progress of a novel martensitic heat-resistant steel G115 [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2022, 58(3):311-323.
- [6] Shang C G, Zhou Z G, Wang F, et al. Evolution of oxide film of a new martensitic steel 9Cr3W3Co in supercritical water[J]. Corrosion Science, 2022, 209:110771.
- [7] Xiao B, Xu L Y, Cayron C, et al. Solute-dislocation interactions and creep-enhanced Cu precipitation in a



- novel ferritic-martensitic steel [J]. Acta Materialia, 2020, 195: 199-208.
- [8] 章亚林, 王立玉, 王学, 等. 小口径 G115 新型马氏体耐热钢管接头组织性能分析[J]. 热加工工艺, 2022, 53(1): 75-78+83.
ZHANG Y L, WANG L Y, WANG X, et al. Microstructure and mechanical property analysis of small Diameter G115 new martensitic heat resistant steel tube welded joint [J]. Hot Working Technology, 2022, 53(1): 75-78+83.
- [9] 仲春生, 陈立虎, 钱法祥, 等. G115 新型耐热钢焊接工艺试验[J]. 焊接技术, 2022, 51(10): 54-58.
- [10] 徐连勇, 庞红宁, 赵雷, 等. G115 钢 CMT+P 焊接工艺及组织和性能[J]. 焊接学报, 2020, 41(8): 1-5.
XU L Y, PANG H N, ZHAO L, et al. Microstructure and mechanical properties of CMT + P welding process on G115 steel [J]. Transactions of the China Welding Institution, 2020, 41(8): 1-5.
- [11] Cai H Y, Xu L Y, Zhao L, et al. Cold metal transfer plus pulse (CMT+P) welding of G115 steel: Mechanisms, microstructure, and mechanical properties [J]. Materials Science and Engineering A, 2022, 843: 143156.
- [12] 郭新芳, 崔凤友, 范宏举, 等. 大口径厚壁 G115 耐热钢管 TIG+SMAW 工艺及性能分析[J]. 电焊机, 2022, 52(08): 101-107.
GUO X F, CUI F Y, FANG H J, et al. TIG+SMAW process and properties analysis of large diameter thick-walled G115 heat-resistant steel pipe [J]. Electric Welding Machine, 2022, 52(8): 101-107.
- [13] 王勇斌. 厚壁 G115 耐热钢熔焊接头组织结构与性能研究[D]. 山东: 山东建筑大学, 2023.
- [14] Pandey C, Mahapatra M M, Kumar P, et al. Role of evolving microstructure on the mechanical behaviour of P92 steel welded joint in as-welded and post weld heat treated state [J]. Journal of Materials Processing and Technology, 2019, 263: 241-255.

编辑部网址: <http://www.71dhj.com>

