

不同热过程对Type 347H不锈钢焊接接头性能及组织的影响

柳云天^{1, 2}, 龚巍^{1, 2}, 孟繁禹¹

1. 哈尔滨锅炉厂有限责任公司 黑龙江哈尔滨 150046

2. 高效清洁燃煤电站锅炉国家重点实验室 黑龙江哈尔滨 150046

摘要: 研究含稳定化元素Nb的Type 347H奥氏体不锈钢焊接接头在稳定化处理、固溶处理及焊态3种热循环条件下的性能变化规律。试验结果表明: 3种热循环条件下, 焊接接头性能均可满足使用需求; 稳定化处理后, Type 347H不锈钢焊接接头的室温抗拉强度最高, 580℃抗拉强度最低、屈强比最高, 室温冲击初度最差, 焊接接头硬度最高, 较其他热循环条件有更高的硬化倾向; 固溶处理和焊态下的焊接接头性能较稳定化处理表现更均衡。

关键词: Type 347H不锈钢; 稳定化处理; 固溶处理; 焊态

1 序言

Type 347H是 $w_c=0.04\%\sim 0.08\%$, 且含Nb元素的奥氏体不锈钢, 具有良好的高温使用性能及抗晶间腐蚀性能, 因而在压力容器、石油化工及电站锅炉等领域有大量的应用。对于其焊接后的热处理要求没有统一的规定, 一般情况下认为不锈钢焊后不必进行热处理。对于Type 347H不锈钢有标准及研究推荐焊后进行稳定化处理, 将焊接熔合区的 $M_{23}C_6$ 重新溶解, 避免产生刀状腐蚀^[1, 2]。也有观点认为稳定化处理弊大于利^[3, 4], 在某些工况下会要求奥氏体不锈钢焊后进行固溶处理^[5]。因此, 有必要研究Type 347H不锈钢在不同热循环下焊接接头性能的变化。

2 试验方案

2.1 试验准备

选用ASME A240 S34709 (Type 347H) 不锈钢 $\delta=42\text{mm}$ 厚板材进行试验, 单块试板规格长 $\times$ 宽为 $600\text{mm}\times 150\text{mm}$, 钢板固溶状态下供货; 焊材选用不锈钢焊条CHS132R以及不锈钢埋弧焊焊丝GWS-347, 匹配焊剂GXS-340; 埋弧焊采用伊萨LAF 1251型直流焊接电源。

焊接坡口选用拘束度更小的根部圆弧形坡口, 坡口分A、B两侧加工, 采用不锈钢专用刀具刨削加工成形, 坡口形式如图1所示。

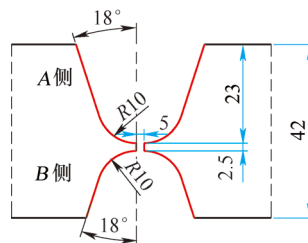


图1 焊接坡口形式

本次试验主要研究焊接接头分别在焊态、稳定化处理以及固溶热处理3种热循环下性能的表现, 对比原始母材, 共4组试验。每组试验单独制备一副试板。试验类型及热处理制度见表1。

表1 热处理类型及制度

序号	试样名称	热处理类型	热处理温度 /℃	保温时间 /h	冷却方式
1	AW	焊态	—	—	—
2	ST	稳定化处理	900 ± 10	2	空冷
3	SA	固溶热处理	1150 ± 10	1	水冷
4	BM	母材	—	—	—

其中,根据石油化工行业标准推荐,并参考张力文等^[5]的研究制定的稳定化处理制度;固溶热处理制度除参考ASME标准对于Type 347H不锈钢的最低要求外,还借鉴了李炯辉^[6]对于高碳不锈钢应适当提高固溶热处理温度的建议。

2.2 试验过程

由于在室温至最大层间温度(150℃)区间内,奥氏体不锈钢平均线膨胀系数较低合金钢高出40%,因此试板焊接过程中应减小焊接变形。采用A、B侧交替换面的方式进行焊接,以变形抵消变形,焊道分布及试样宏观形貌如图2所示。

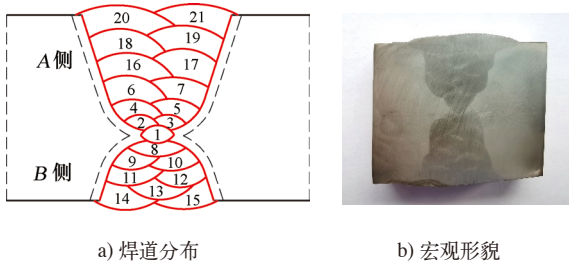


图2 试样断面

焊接工艺采用A侧焊条电弧焊打底,坡口其他部分采用埋弧焊填充的方法进行焊接,焊接顺序及焊接参数见表2。

表2 焊接顺序及焊接参数

焊道	焊接方法	填充金属		电流极性	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接速度/(cm·min ⁻¹)
		种类或牌号	直径/mm				
A侧 1~5	SMAW	CHS132R	4.0	DCEP	130~150	13~16	12~18
A侧 6~7	SAW	GWS-347	3.2	DCEP	390~410	31~33	36~39
B侧 8~15	SAW	GWS-347	3.2	DCEP	395~405	31~33	36~39
A侧 16~21	SAW	GWS-347	3.2	DCEP	395~405	31~33	36~39

3 试验结果及分析

3.1 无损检测

在完成相应热循环后,对AW、ST及SA试板按照NB/T 47013—2015检测标准进行RT检测,技术等级B级,Ⅰ级合格;按照NB/T 47013—2015进行PT检测,Ⅰ级合格。

3.2 力学性能

按照NB/T 47014—2011《承压设备焊接工艺评

定》中对于拉伸试样的要求制备焊接接头全厚度肩板形拉伸试样;按照GB/T 228.1—2010《金属材料拉伸试验 第1部分:室温试验方法》制备 ϕ 12.5mm母材室温拉伸试样。按照GB/T 228.2—2015《金属材料拉伸试验 第2部分:高温试验方法》制备 ϕ 10mm焊接接头及母材的高温圆形拉伸试样,试验温度为580℃。试验结果如图3、图4所示。

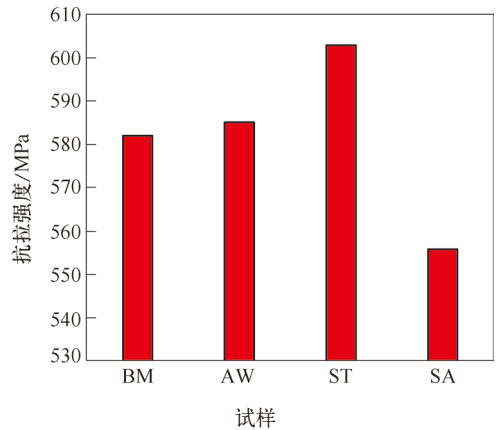


图3 室温抗拉强度

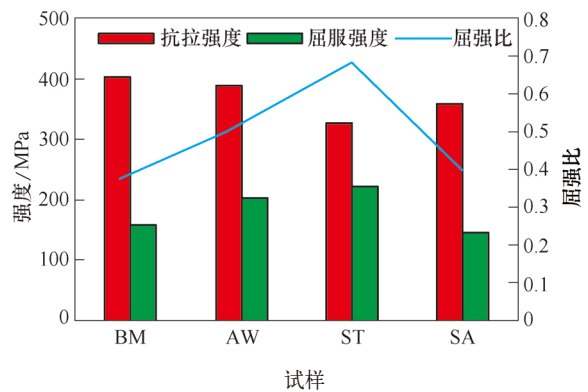


图4 580℃抗拉、屈服强度及屈服比

室温环境下,经历3种热循环的拉伸试样抗拉强度均大于母材的最低要求值515MPa。焊态AW试样与母材BM试样结果最接近;固溶SA试样强度的裕度最小;稳定化处理ST试样强度有明显提升。580℃高温环境下,焊态AW试样、固溶SA试样均与母材BM试样的抗拉强度及屈服强度接近;稳定化处理ST试样强度最低,而屈服强度却最高,导致稳定化处理ST试样的高温屈服比最高,其抵抗高温破坏的储备能力相对最弱。

3.3 冲击韧性

制备AW、ST及SA焊缝,以及母材BM的横向冲击试样。按照GB/T 229—2020《金属材料 夏比

摆锤冲击试验方法》进行试样制备及冲击试验，V型缺口，试样尺寸为10mm×10mm×55mm。由于Type 347H不锈钢多用于高温工况，因此仅研究室温下的冲击韧度。冲击取样位置为先焊面及后焊面的焊缝位置，每个位置3个试样。每种热循环取6个试样进行冲击试验取平均值，试验结果如图5所示。

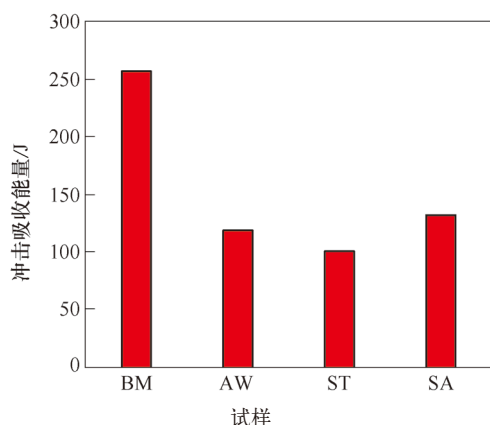


图5 室温冲击韧度

固溶SA试样焊缝两侧室温冲击韧度平均值最高，相对更接近母材BM性能；焊态AW试样较稳定化处理ST试样冲击韧度更好，6个冲击试样最大值与最小值之差仅为11J，冲击韧度表现更平均；稳定化处理ST试样平均冲击值最低。

3.4 硬度

在焊接接头上制取AW、ST及SA3种热循环条件下的硬度试样，每种热循环在焊缝两侧分别制备1个试样。每个硬度试样测量位置均包含母材、HAZ及焊缝，每个位置测试3点，点间距0.5mm，测量HV10硬度值。计算每个位置6个点硬度的平均值，试验结果如图6所示。

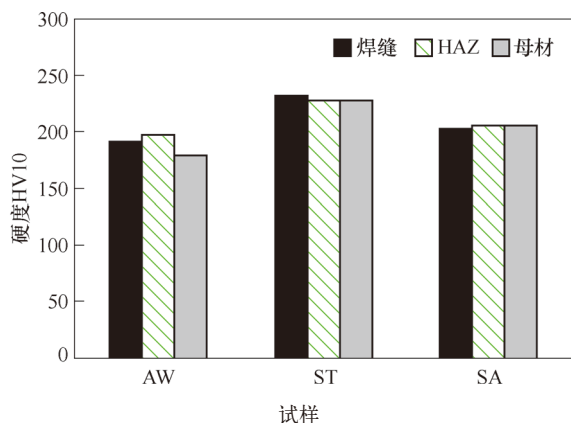


图6 硬度试验结果

焊接接头母材、HAZ及焊缝位置硬度值趋势相

似，即焊态AW试样硬度值在焊缝、HAZ及母材平均值最低；固溶SA试样在各个位置上硬度较AW试样均有小幅升高；稳定化处理ST试样硬度最高，焊缝平均硬度233 HV10，HAZ平均硬度228 HV10，母材平均硬度230 HV10，均显著高于AW及SA试样。

3.5 微观形貌

在AW、ST及SA焊缝中心制取微观试样，规格为20mm×10mm×10mm。将盐酸、酒精、双氧水按5:5:1的比例进行混合后，对3组试样进行腐蚀。采用卡尔蔡司Axiovert 200型显微镜，对试样进行微观观察，结果如图7所示。

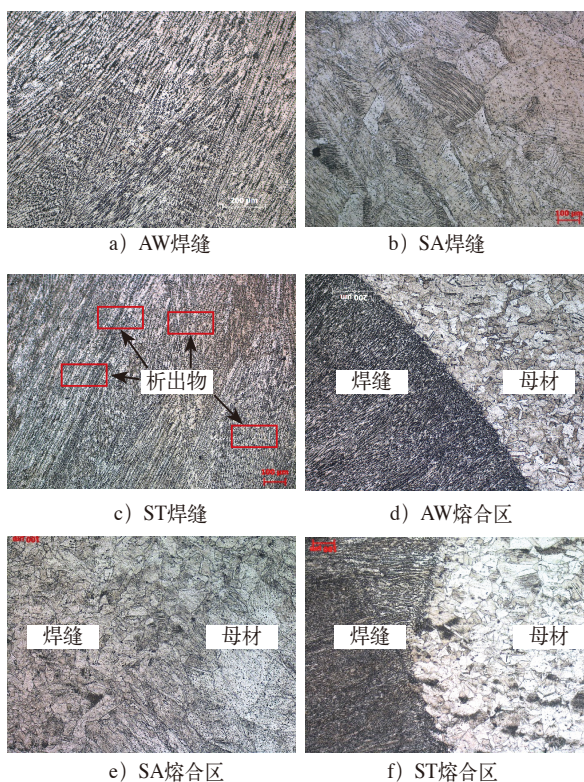


图7 三种热循环状态下的微观形貌

从微观形貌上看，焊态AW试样的焊缝区及稳定化处理ST试样的焊缝区为奥氏体和枝状晶 δ 铁素体呈柱状分布，采用磁性法测量AW及ST焊缝 δ 铁素体含量均为6%~7%，可见稳定化处理后， δ 铁素体含量并未发生明显改变。但稳定化处理后，焊缝中有析出物从铁素体中产生。二者熔合区同样呈相似形貌，热影响区母材与焊缝熔合线清晰，母材晶粒度未出现明显长大情况。

由于固溶温度超过1100℃，焊缝中析出物溶解， δ 铁素体基本消失，剩余的单项奥氏体内弥散分布着小颗粒铁素体。采用磁性法测量焊缝 δ 铁素

四臂螺旋天线一体化设计与SLM成形

刘大勇, 洪元, 李青, 杨立明, 李立洲, 迟百宏

北京卫星信息工程研究所 北京 100095

摘要: 针对当前星载四臂螺旋天线设计复杂、加工难度大、生产周期长等问题, 同时为满足其高可靠、低成本、快速制造的需求, 提出了一种基于激光选区熔化成形技术 (SLM) 的四臂螺旋天线一体化设计与制备方法。该方法结合SLM成形工艺特点, 对四臂螺旋一体化天线进行了电设计与结构设计, 并通过SLM工艺参数优化, 完成了一体化四臂螺旋天线的制备。零件数由原来的11个缩减为3个, 天线重量大幅降低; 同时力学性能显著提高, 电性能满足设计要求, 证明了基于SLM成形工艺的四臂螺旋天线一体化设计和制备方法的可行性。

关键词: SLM成形; 四臂螺旋天线; 一体化设计; 电性能; 结构设计; 快速制造; 对比分析

1 序言

新一代航空航天装备逐渐向轻量化、结构复杂化、功能多样化, 以及高可靠、长寿命及低成本的方向不断发展, 同时航天材料及其成形技术也正朝向整体化、复杂化和精密化的方向迅速发展^[1, 2]。增

材制造技术的发展突破了制造业的传统模式, 该技术适合于新产品的开发、单件或少批量产品试制等^[3], 特别是针对航天产品批量小、产品结构变化快的特点, 能够实现设计制造过程信息的快捷、准确传递。增材制造技术在航天制造领域中的应用, 不仅

基金项目: 国防科工局双百工艺 (JCKY2018203C033)。

体含量为0~0.2%, 由于钉扎力减小, 故晶粒长大明显。SA熔合区焊缝与母材熔合线模糊, 母材晶粒度为4~5级, 与原始母材相同。

4 结束语

1) Type 347H不锈钢厚板焊接接头在焊态、固溶处理及稳定化处理后性能, 均可满足使用要求。

2) 稳定化处理后Type 347H不锈钢室温抗拉强度最高, 580℃环境下抗拉强度最低、屈强比最高, 室温冲击韧性最差, 焊缝、HAZ及母材硬度值最高。相比焊态和固溶处理, 试样经稳定化处理后有明显的硬化倾向。

3) Type 347H奥氏体不锈钢厚壁产品在焊后不必进行稳定化处理, 可在焊态下或固溶状态下使用。

参考文献:

[1] 李建国. 321, 347不锈钢焊接接头的焊后热处理[J].

压力容器, 2016, 33 (8): 70-74.

[2] 张文华. 不锈钢及其热处理[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2010.

[3] GHALAMBAZ M, ABDOLLAHI M, ESLAMI A, et al. A case study on failure of AISI 347H stabilized stainless steel pipe in a petrochemical plant[J]. Case Studies in Engineering Failure Analysis, 2017 (9): 52-62.

[4] 王庆晖, 田波清. TP347不锈钢焊后稳定化热处理工艺[J]. 电焊机, 2016, 46 (4): 118-120.

[5] 张力文, 钟玉平. 固溶处理对304H焊接接头高温蠕变疲劳性能的影响[J]. 压力容器, 2019, 36 (3): 13-18.

[6] 李炯辉. 金属材料金相图鉴 (上册) [M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

MW 20210502