

回火温度对 10Ni5CrMoV 钢焊缝组织及性能影响

郑 钢

(重庆科创职业学院 信息与机电工程学院, 重庆 402160)

摘 要:对 10Ni5CrMoV 钢焊接接头进行了不同焊后回火处理,对比分析了不同回火温度对焊缝组织、硬度以及韧性的影响规律。结果表明:焊后空冷条件下,焊缝组织中存在大量的片状马氏体,韧性较差;冲击断口中出现大面积较平区域,同时基体侧与焊缝侧之间的硬度梯度较大。随着回火温度的升高,焊缝组织中的片状马氏体逐渐减少,板条状回火马氏体逐渐增多,基体侧与焊缝侧之间的硬度梯度逐渐减小,同时断口中的大面积较平区域逐渐减少,韧窝逐渐增多,焊缝的韧性逐渐提高。回火温度为 600℃时,焊缝组织主要表现为细小的粒状回火索氏体,基体侧与焊缝侧之间的硬度梯度 ΔH 降低至 150HV,同时断口中出现大量较小较深的断裂韧窝,韧性最好。

关键词:10Ni5CrMoV 钢;回火温度;力学性能

DOI: 10.14158/j.cnki.1001-3814.2017.11.056

中图分类号: TG142;TG441.8

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2017)11-0201-03

Effects of Tempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of 10Ni5CrMoV Steel Welding Seam

ZHENG Gang

(Information and Mechanical Electrical Engineering Institute, Chongqing Creation Vocational College, Chongqing 402160, China)

Abstract: The 10Ni5CrMoV steel welded joints were heat treated with different post weld tempering, and the effects of different tempering temperature on the microstructure and mechanical properties of welding seam were compared and analyzed. The results show that there is large amounts of lamellar martensite in air cooling state, and the toughness is low. There is a large flat area in impact fracture morphology and the hardness gradient between the substrate and weld is big. With the increase of tempering temperature, the lamellar martensite reduces, the plate strip tempered martensite increases, and the hardness gradient between the substrate and weld decreases gradually, while the large flat area in impact fracture morphology reduces, the dimple increases gradually, and the toughness of welding seam improves gradually. When the temperature is 600℃, the microstructure of welding seam is small granular tempered sorbite, the hardness gradient (ΔH) between the substrate and weld reduces to 150HV, it appears a large number of small deep fracture dimple and the toughness is the best.

Key words: 10Ni5CrMoV steel; tempering temperature; mechanical properties

为了提高焊接稳定性,防止焊缝发生开裂,对金属材料焊接后应采取相应的热处理。通过合理的焊后热处理能够消除焊缝中的焊接残余应力,降低脆性开裂,避免焊后出现焊接缺陷^[1-2]。众多研究人员对焊缝的焊后热处理工艺进行了广泛研究。刘福广^[3]等以汽轮机末级叶片的焊接接头为研究对象,对焊接接头采用不同焊后热处理工艺,研究了不同热处理条件下焊接接头的组织与性能变化;张敏^[4]等对马氏体不锈钢 0Cr13Ni5Mo 的焊接接头经过高温油淬

后,进行了不同温度的焊后回火处理;杨厚君^[5]等对焊态和焊后热处理两种状态下的 A/F 异种钢焊接接头的残余应力进行了研究。10Ni5CrMoV 钢是一种应用广泛且具有高强度、高韧性、高屈服强度的结构钢,主要应用于压力容器、高压管道等重要产品中,在工业生产中占有重要地位,但目前针对 10Ni5CrMoV 钢焊接热处理工艺研究的相关报道较少^[6]。本文采用 D246 焊材对 10Ni5CrMoV 钢进行焊接,分析了焊后不同回火温度条件下焊缝的组织及性能。

1 试验材料及方法

试验母材为 10Ni5CrMoV,规格为 120mm×20mm×20mm,焊材选用 D246,母材及焊材化学成分如表 1 所示。

收稿日期:2016-06-12

作者简介:郑钢(1969-),男,四川人,讲师,本科,主要从事先进机械装备设计及加工技术工作;电话:023-49845887;
E-mail:362299713@qq.com

表1 10Ni5CrMoV 和 D246 焊材化学成分(质量分数,%)
Tab.1 Chemical composition of 10Ni5CrMoV and D246 welding material (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	S、P	Ni	Mo	V	Fe
10Ni5CrMoV	0.08	0.24	0.47	0.75	≤0.07	4.61	0.49	0.18	余量
D246	0.34	1.15	0.63	7.21	≤0.04	2.11	0.20	0.16	余量

选取4组母材试样,焊接前在各个母材试样中间处(沿着长度方向)开V形坡口,坡口角度为60°,焊接过程中采用手工钨极氩弧焊打底+焊条电弧焊填充盖面。然后,对第1组试样采取焊后直接空冷,其余3组焊后分别进行不同回火温度热处理,具体回火工艺分别为400℃×4h、500℃×4h、600℃×4h,随炉冷却。最后,对焊缝进行金相观察、硬度检测、冲击试验及断口扫描。

2 试验结果

2.1 显微组织分析

经焊后空冷及焊后不同回火温度热处理后焊缝的显微组织形貌如图1所示。通过显微组织形貌观

察可看出,焊后直接空冷条件下焊缝中出现大量的粗大片状马氏体组织,且在马氏体周围分布有少量的铁素体和珠光体组织。先共析铁素体从奥氏体晶界沿着奥氏体的晶面向晶内生长,同时,由于冷却速度较快,部分组织并未彻底转变为粗大的片状马氏体而保留下来。粗大的片状马氏体残余应力较高,脆性大,在其内部含有大量的显微裂纹,这些显微裂纹在内应力作用下,会逐渐扩展成宏观裂纹,导致焊缝发生开裂,焊缝的强度及抗冲击韧性等力学性能较低。焊后经400℃回火处理后,粗大的片状马氏体减少,出现部分板条状回火马氏体,该回火工艺条件下主要表现为大量片状马氏体和板条回火马氏体的混合组织。焊后经500℃回火处理后,组织明显改善,粗大的片状马氏体消失,主要表现为细小的板条状回火马氏体,该组织的稳定性及韧性等力学性能较高。焊后经600℃回火处理后,板条状回火马氏体大部分转变为粒状回火索氏体组织。

2.2 显微硬度分析

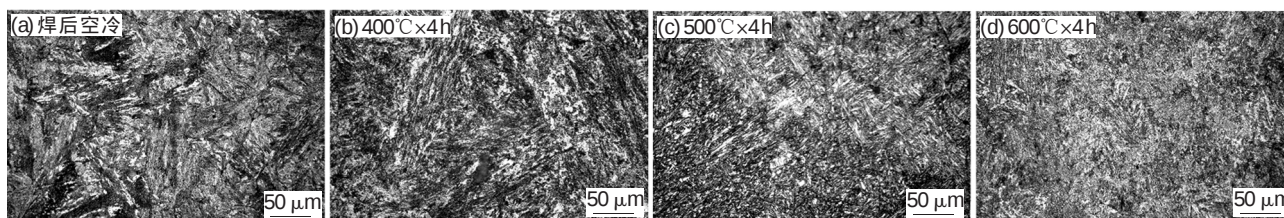


图1 焊缝显微组织

Fig.1 Microstructure of welding seam

分别对焊后空冷及焊后400、500、600℃热处理条件下的焊接试样进行显微硬度测试。由基体侧向焊缝方向沿直线进行硬度测试,硬度测试点距为0.5mm,显微硬度计的加载载荷为1000g,加载时间为10s。各试样的显微硬度测试结果如图2所示。由图可以看出:焊后空冷条件下,基体侧与焊缝之间的硬

度梯度较高,梯度值 ΔH 约为300HV,且焊缝处硬度较高;焊后400℃回火后,基体侧与焊缝之间的硬度梯度减小,硬度梯度值 ΔH 约为260HV,焊缝处硬度降低;焊后500℃回火后,基体侧与焊缝之间的硬度梯度继续减小,硬度梯度值 ΔH 约为220HV;当焊后回火温度达到600℃时,基体侧与焊缝之间的硬度梯度最小,硬度梯度值 ΔH 约为150HV,且焊缝处硬度明显降低。焊后空冷条件下焊缝主要表现为粗大的片状马氏体,使其硬度较高,随着回火温度的提高,焊缝逐渐转变为回火索氏体,同时靠近熔合线处的焊缝中的元素逐渐向基体侧迁移,在靠近基体侧形成硬质化合物,使基体侧与焊缝处的硬度梯度减小。基体侧与焊缝之间较低的硬度梯度能够改善基体与焊缝之间的结合性能,使焊缝熔合区的力学性能提高。

2.3 冲击断口分析

通过冲击试验得出:焊后空冷条件下焊缝韧性

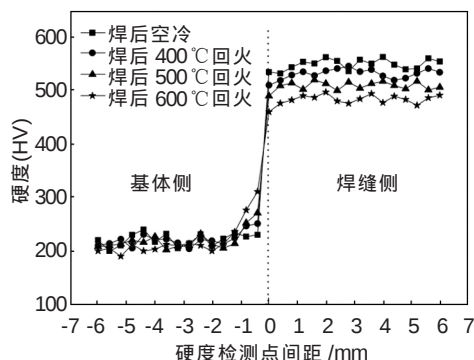


图2 焊态和焊后热处理条件下试样的显微硬度分布
Fig.2 Microhardness distribution of samples as welded and post weld heat treatment

为 34J, 焊后进行回火处理后, 焊缝韧性明显提高, 且随着回火温度的升高冲击韧性越高。当回火温度达到 600℃ 时, 焊缝的冲击韧性最高, 为 64J。对焊后空冷及焊后不同回火温度下焊缝断口进行 SEM 扫描, 各个试样的断口形貌如图 3 所示。可以发现: 焊后空冷条件下断面中含有大面积的较平区域, 断面较为平整, 出现大量的解理断裂河流花样, 脆性较高, 韧性较差, 此时断裂形式表现为脆性断裂。焊后

经 400℃ 回火处理后, 断面出现一定数量的韧窝, 且较为平整的断面面积减少。焊后进行 500℃ 回火处理后, 断口中的韧窝数量增多, 韧窝深度明显加深, 断面起伏较大, 未出现平整的断裂面, 该回火温度下韧性明显改善。当焊后回火温度达到 600℃ 时, 焊缝断口中的韧窝深度相对经 500℃ 回火处理的断口深度变深, 且韧窝数量增多, 韧性进一步提高, 说明随着回火温度的升高, 焊缝韧性提高。

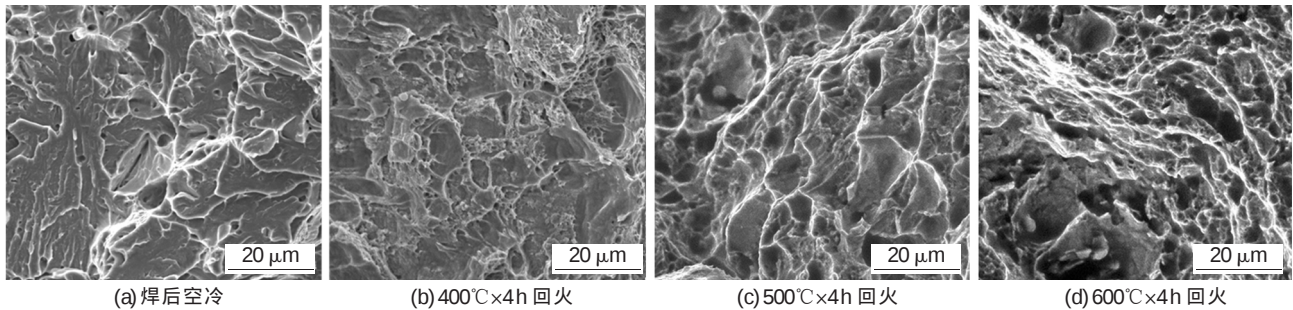


图 3 不同回火温度下焊缝断口形貌

Fig.3 Fracture morphologies of welding seam under different tempering temperature

3 结论

(1) 焊后空冷条件下, 焊缝主要表现为粗大的片状马氏体, 焊后随着回火温度的提高, 粗大的片状马氏体逐渐减少, 细小的板条状回火马氏体逐渐增多, 当回火温度达到 600℃ 时, 粗大的片状马氏体基本转变为细小的粒状回火马氏体;

(2) 焊后空冷条件下, 基体侧与焊缝侧之间的硬度梯度 ΔH 约为 300HV, 硬度梯度较大, 同时焊缝脆性较高, 表现为脆性断裂。随着回火温度的提高, 基体侧与焊缝侧之间的硬度梯度逐渐减小, 韧性逐渐改善。当回火温度达到 600℃ 时, 基体侧与焊缝侧之间的硬度梯度 ΔH 降低至 150HV, 同时断口中出现大量较小、较深的断裂韧窝, 韧性较高。

参考文献:

- [1] 赵晓兵, 何长红, 彭云, 等. 800MPa 级高强钢焊缝金属热处理组织与性能[J]. 焊接学报, 2007, 28(7): 101-104.
- [2] 宋天民. 焊接残余应力的产生与消除[M]. 北京: 中国石化出版社, 2004: 15-16.
- [3] 刘福广, 李太江, 王彩侠, 等. 焊后热处理对 05Cr17Ni4Cu4Nb 钢焊接接头组织与性能的影响[J]. 金属热处理, 2010, 35(11): 65-69.
- [4] 张敏, 孟强, 张恩华, 等. 热处理工艺对 0Cr13Ni5Mo 钢焊接接头组织和性能的影响[J]. 金属热处理, 2012, 37(5): 70-73.
- [5] 厚君, 曹晟, 吕文广, 等. 焊后热处理对 A/F 异种钢焊接接头影响的试验研究 [J]. 武汉水利电力大学学报, 1998, 31(2): 56-60.
- [6] 常铁军. 10Ni5CrMoV 钢的组织遗传规律及其消除工艺研究 [J]. 热加工工艺, 2002, 31(3): 24-25, 28.

(上接第 200 页) 在于制定合理的焊接工艺, 使用 $\phi 3.2\text{mm}$ 的 CHS102SiN 焊条, 采用 80~110A 的焊接电流, 16~19V 的焊接电压, 5~9cm/min 的焊接速度等焊接工艺参数焊接 S30815 钢, 获得的焊接接头性能不低于母材, 其焊接工艺是可行的。

参考文献:

- [1] 王晓瑜. 253MA 不锈钢高温变形行为及组织性能研究[D]. 沈

阳: 东北大学, 2014.

- [2] 张良锋, 杨公升, 郭志农, 等. 节镍耐热不锈钢 253MA 的焊接工艺研究[J]. 中国造船, 2010, 51(S2): 313-315.
- [3] 谭蓉. 进口 253MA 材质管件的焊接工艺研究[J]. 电焊机, 2010, 40(10): 83-84.
- [4] 韩肇俊. 3 种新型奥氏体耐热不锈钢 253MA、153MA 和 353MA 评述介绍[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版), 2009 (2): 169-174.