

T92/HR3C 异种钢接头热影响区内高温铁素体的试验分析

郑子杰^{1,2}, 田志豪², 王崇斌², 孙 锋¹

(1. 上海交通大学 材料科学与工程学院, 上海 200240; 2. 上海锅炉厂有限公司, 上海 200245)

摘要: 利用热力学计算软件JMatPro计算了T92材料的相图,通过热处理试验模拟T92热影响区组织,确定了HR3C/T92接头T92一侧热影响区的白色块状组织为高温铁素体(δ -Fe),并尝试了该高温铁素体的去除工艺。利用高温持久试验及接头组织微观分析,探讨了该高温铁素体对接头持久性能的影响。

关键词: 异种钢接头; 高温铁素体; 焊后热处理; 持久强度

中图分类号: TG142

文献标识码: B

文章编号: 1672-4763(2013)04-0052-04

0 前言

以T92/HR3C为代表的M/A异种钢小口径钢管对接在超超临界锅炉受热面中十分常见,现行的制造工艺一般为采用热丝TIG焊(GTAW(HW)),填充金属为镍基焊材(ERNiCr-3)。在焊接过程中使用连续焊接,焊后进行焊后热处理,规范同T92材料。在对该T92/HR3C异种钢接头进行组织观察的过程中,几乎都能在接头T92一侧的热影响区中发现大量白色块状组织(图1),为确定该白色块状组织的性质及其对焊接接头性能的影响,进行了以下相关试验研究。

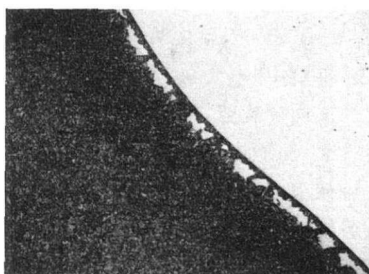


图1 接头T92侧热影响区中的白色块状组织

1 试样制备和试验方案

为简化焊接过程,排除焊接因素的影响,在保证焊接质量的前提下,选用热输入量最大、最小和实际使用的3种焊接参数进行单层单道焊接,得到3个接头试样,取样观察热影响区组织。

根据试验用T92材料的化学成分(表1),利

用JMatPro软件计算其热力学平衡相图(图2),并参考相图进行热处理模拟试验。

表1 T92材料化学成分 wt%

项目	T92	SA213-T92 标准
C	0.11	0.07~0.13
Mn	0.44	0.30~0.60
Si	0.33	≤0.50
S	0.010	≤0.010
P	0.015	≤0.020
Cr	9.06	8.50~9.50
Mo	0.43	0.30~0.60
Ti	<0.01	≤0.01
V	0.23	0.15~0.25
Ni	0.17	≤0.40
Al	<0.015	≤0.02
N	0.067	0.03~0.07
B	0.0014	0.001~0.006
Nb	0.075	0.04~0.09
W	1.52	1.50~2.00
Zr	<0.01	≤0.01

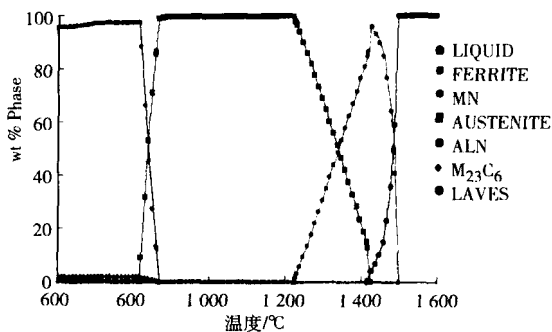


图2 T92相图

收稿日期:2013-04-08

作者简介:郑子杰(1986),男,主要从事电站锅炉材料研究。

对 3 个接头试样及热处理模拟试样进行焊后热处理模拟试验,包括去应力处理(760℃回火)和正火+回火(1 050℃正火+760℃回火)处理。

对实际产品的 T92/HR3C 焊接接头取样进行不同应力下的持久性能试验,并进行微观组织分析,考察其持久性能。

2 试验结果及分析

2.1 白色块状组织的分析和确定

对不同焊接参数进行焊接的接头取样用苦味酸进行腐蚀,在金相显微镜下均观察到 T92 侧热影响区存在与实际产品相同的白色块状组织(图 3)。由于组织位于 T92 侧热影响区,且离熔合线有一定距离,经苦味酸腐蚀后呈白色,晶内几乎无析出相,初步判断其为铁素体组织。文献[1]采用了先浅浸蚀再染色的复合彩色金相显微组织显示方法,也鉴别出该组织为铁素体相。

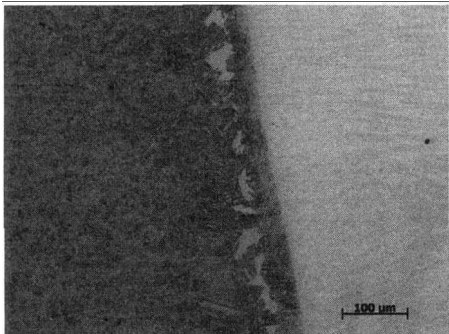


图 3 不同参数单层焊接的热影响区组织

T92 相图中显示其铁素体相区由低于 800℃的常温铁素体相区和 1 200℃~1 500℃的高温铁素体相区两部分组成,与文献[2]的计算结果相一致,T92 材料的成分决定了其在 1 200℃~1 500℃温度区间内存在高温铁素体,很难通过成分调整来避免该温度区间内铁素体的形成。在焊接过程中熔合线温度大约为 1 500℃(T92 熔点),该热影响区的铁素体组织沿着熔合线形成,应为高温铁素体(δ -Fe)。

根据 T92 相图,对 T92 母材进行 1 300℃保温 30 min 的热处理,模拟出其高温铁素体组织(图 4),对比可见,该高温铁素体组织与热影响区的白色块状组织形态十分相似。由此可以推断 T92/HR3C 异种钢焊接接头中 T92 侧热影响区的白色块状组织为高温铁素体(δ -Fe)。



图 4 1300℃保温 30 min 出的 δ -Fe

2.2 δ -Fe 的热处理消除

对焊接接头试样和 T92 母材热处理模拟试样进行的焊后热处理模拟试验结果见表 2。热处理模拟出的 δ -Fe 与实际接头热影响区的 δ -Fe 的试验结果一致。

表 2 接头和热处理模拟试样的焊后热处理模拟

试样号	试样状态	热影响区组织	进行 760℃	进行 1 050℃
			回火后 δ -Fe 变化	正火+760℃ 回火后 δ -Fe 变化
1	现行参数焊接	出现 δ -Fe	无明显变化	基本去除
2	最大热输入量	出现 δ -Fe	无明显变化	基本去除
3	最小热输入量	出现 δ -Fe	无明显变化	基本去除
4	热处理模拟热影响区	出现 δ -Fe	无明显变化	基本去除

表 2 试验结果表明,无法通过调整焊接参数来避免 δ -Fe 的出现,按现行工艺进行的焊后 760℃及以下的回火处理也不能消除该 δ -Fe,但如果按 T92 正火工艺进行 1 050℃的正火处理,则可以完全消除,进行正火+回火处理后的热影响区组织见图 5。

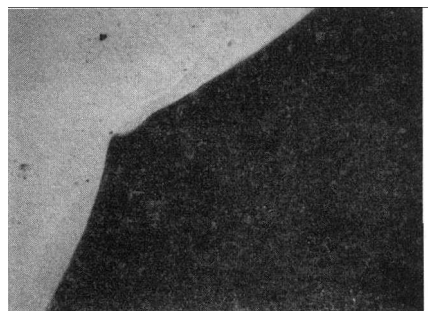


图 5 正火+回火处理后的焊缝热影响区组织

2.3 δ -Fe 对持久性能的影响

一般情况下认为 T92 的回火马氏体组织中出现铁素体(F)对性能是不利的,表 3 列出了按

现行工艺进行焊接的 T92/HR3C 接头在较低应力下的持久断裂时间及断裂位置,目测断裂位置基本都在 T92 一侧,断口形态一致,几乎都呈 45℃ 切断。

表 3 T92/HR3C 接头持久试验结果

试验温度/℃	试验应力/MPa	断裂时间/h	断裂位置
625	120	2 203	焊缝 T92 侧
	110	2 301	焊缝 T92 侧
	100	2 923	焊缝 T92 侧
	90	4 533	焊缝 T92 侧
	80	8 015	焊缝 T92 侧

对试验时间最长(8 015 h)的试样沿纵向解剖进行了微观组织观察,断口截面整体形貌见图 6,可见接头沿 T92 侧熔合线开裂,T92 侧热影响区的 δ -Fe 形貌见图 7,经过 8 000 h 持久试验后其数量、尺寸及形态未见明显变化。用扫描电镜对其进行观察(图 8),发现该 δ -Fe 形态保持良好,晶界上有较多细小的碳化物颗粒析出,晶内也有少量碳化物析出,晶界与基体结合牢固,未见有孔洞或微裂纹出现。

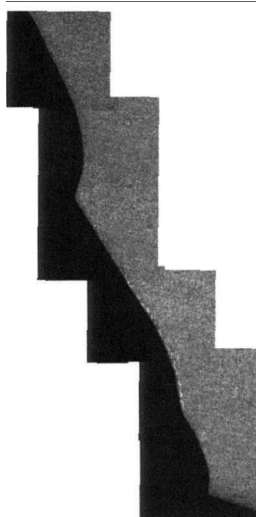


图 6 断口截面整体形貌

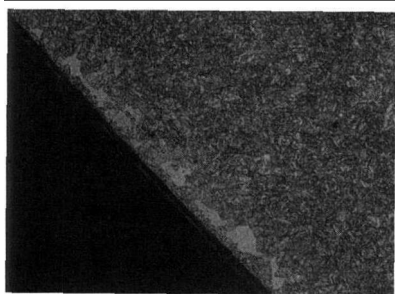


图 7 持久断裂试样中 δ -Fe 形貌

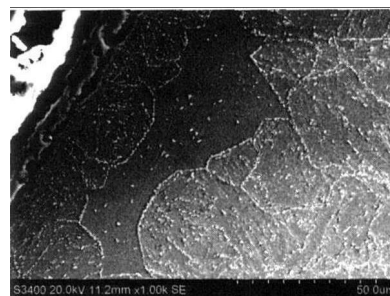


图 8 持久断裂试样中 δ -Fe 形貌(SEM)

另外,对该 δ -Fe 进行了硬度测试,其显微维氏硬度值在 200~220 HV 之间,远远高于一般铁素体(120~140HV),与附近 T92 母材回火马氏体组织硬度相当,说明该 δ -Fe 为合金铁素体,具有较高的强度。

持久试验及微观组织分析表明,按现行工艺进行焊接的 T92/HR3C 接头,其在持久状态下相对薄弱的部位是焊缝 T92 侧熔合线,有研究显示^[3],在长期时效过程中,铁素体钢与镍基焊材间发生碳迁移,在熔合线两侧分别形成增碳层和脱碳层,碳迁移是低应力条件下蠕变失效的主要原因。而 T92 侧热影响区中的 δ -Fe 在持久试验过程中尺寸及形态保持良好,与基体结合紧密,晶粒附近未见孔洞或微裂纹萌生。

3 结论和建议

(1) T92/HR3C 异种钢焊接接头中 T92 侧热影响区的白色块状组织为高温铁素体(δ -Fe)组织。

(2) 该高温铁素体(δ -Fe)组织很难通过调整 T92 材料成分及焊接参数来避免其出现,通过焊后进行正火处理可以将其基本去除。

(3) 持久试验表明,该高温铁素体(δ -Fe)强度较高,组织稳定,与回火马氏体基体结合紧密,相界未见萌生孔洞或微裂纹,不是导致 T92/HR3C 接头短期持久失效的根本原因。

参考文献:

- [1] 张路,赵彦芬,赖云亭,等. 异种钢焊接接头熔合线附近块状铁素体的彩色金相鉴别方法[J]. 理化检验—物理分册, 2012,48(2):98-99.
- [2] 石如星,刘正东,张才明. P92 耐热钢 δ -铁素体含量的热力学计算和试验分析[J]. 钢铁,2011,46(11):90.
- [3] 巩建鸣,姜勇,涂善东. 碳迁移对镍基和奥氏体焊条焊接的 Cr5Mo 异种钢焊接接头蠕变破断寿命的影响[J]. 材料工程, 2003(10):22.

Analysis of δ -ferrite on Heat-affected Zone of T92/HR3C Dissimilar Steel Welded Joints

ZHENG Zi-jie^{1,2}, TIAN Zhi-hao², WANG Chong-bin², SUN Feng¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China;

2. Shanghai Boiler Works Co., Ltd., Shanghai 200245, China)

Abstract: With the help of thermo-calc software, the equilibrium phase diagram of T92 was calculated. In addition, the microstructure of T92's heat-affected zone was simulated by heat treatment test. The results show that the massive microstructure in T92's heat-affected zone of T92/HR3C welded joints was δ -ferrite. Some heat treatment processes were tried to remove the δ -ferrite. Creep and stress-rupture test and microstructure analysis were taken to investigate the effects of δ -ferrite on creep rupture of welded joints.

Key words: dissimilar steel welded joints; δ -ferrite; post weld heat treatment; creep rupture strength

(上接第41页)

[8] 高正阳,宋玮,方立军,等. 1 000 MW 超超临界机组双切圆锅炉 NO 排放特性的数值模拟[J]. 中国电机工程学报, 2009,29(32):12-18.

[9] 阎维平,陈吟颖. 生物质混合物与煤共热解的协同特性[J]. 中国电机工程学报,2007. 27(2):80-86.

Study on Pollutant Release Laws During Steady Combustion of Pulverised Coal and Biomass Blends

YE Jiang-ming

(Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211167, China)

Abstract: For monitoring pollutant more closely to actual production by using laboratory furniture, the co-combustion experiments of coal and biomass were conducted by means of a self-regulating pollutant monitoring experimental system. The effects of blending ratio, coals, biomass and temperature on the release laws of NO and SO₂ during steady combustion of pulverised coal and biomass blends were studied. The results show that: The more blending corn cob ratios, the lower concentration of NO and SO₂; Blending corn cob always can reduce NO and SO₂ release for different coals. But the effects are not the entire same; The effect of biomass type on NO release is obvious. NO release of fuel can increase when the biomass with more high nitrogen content. However, blending different biomass always can reduce SO₂ release, and the effect of biomass type is negligible; During the experiment temperature region, enhancing temperature always can accelerate NO and SO₂ release. The higher temperature, the greater concentration of NO and SO₂ during the steady area.

Key words: pulverized coal; biomass; steady combustion; pollutant release