

热处理工艺对 SA213-T23 焊接接头性能的影响

毛允娴

(广东火电工程总公司, 广东 广州 510730)

摘要 T23 是我国火力发电厂引进的新型钢种, 现已逐步应用于锅炉过热器、再热器管道, 其焊接工艺仍在探索阶段。为制定较为合理的焊接工艺方案, 适应电站焊接施工要求和保证焊接质量, 针对 T23 小管焊接在母材、焊材、坡口形式、焊接位置、焊接方法、工艺参数等基本参数一致的条件下进行对比试验, 分析了不同热处理工艺对 SA213-T23 焊接接头性能的影响。

关键词 热处理工艺 SA213-T23 焊接接头性能 影响

中图分类号 TG407

文献标识码 B

文章编号 1001-2303(2005)08-0012-04

Influence of heat treatment on SA213-T23 weld joint's properties

MAO Yun-xian

(Guangdong Power Engineering Corp., Guangzhou 510730, China)

Abstract: T23 is a newly-imported steel. It comes to be used for boiler overheater & reheater piping system in domestic forepower plants. However its welding process is still uncertain. Being comparison tested under the same condition of base metal, welding material, groove type, welding position, welding method etc. It analyzes the influences of different heat-treatment processes on the properties of welding joint of SA213-T23.

Key words: heat treatment SA213-T23 properties of weld joint influence

前言

为提高能源利用率, 电站机组的容量和参数越来越高, 特别是 20 世纪 90 年代中期以来, 随着世界范围钢铁冶炼技术的革命性进步, 我国水电和火电建设的重要结构和部件采用了不少新的钢种, SA213-T23 就是其中的一种。T23 是由 T22 改良发展而来的, 它是在 T22 化学成分的基础上添加 1.6% 的钨(W), 减少 0.20% 的钼(Mo)和 0.04%~0.10% 的碳(C)含量, 以及增加少量钒(V)、铌(Nb)、镍(Ni)和硼(B)成分形成。依赖于这些特殊元素的加入以及适当的热处理, 正火+回火、淬火+回火, T23 钢的蠕变强度和许用应力都大幅度地提高。

T23 这类新材质目前已广泛应用到电站的水冷壁、过热器等部件, 由于减少了含碳量, 改善了 T23 的焊接性能。有资料显示, 在小管焊接中不用预

热和热处理, 仍能确保 T23 在生产和运行中始终保持良好、稳定的抗蠕变特性。由于 T23 是新钢种, 其焊接工艺仍在探索阶段, 目前国内对其焊接及热处理工艺尚无权威定论。为了找到较适合的焊接工艺方案, 针对 T23 小管焊接, 通过采用了不同的方案, 对比预热、焊后热处理对 T23 焊接工艺及使用性能的影响, 在焊接试验中进一步验证其有关性能。

1 T23 焊接性分析

T23 化学成分如表 1 所示。

表 1 T23 钢的化学成分 %

ω (C)	ω (Mn)	ω (Si)	ω (S)	ω (P)	ω (Cr)	ω (Mo)
0.04 ~ 0.10	0.10 ~ 0.60	0.50 (max)	0.010 (max)	0.030 (max)	1.9 ~ 2.6	0.05 ~ 0.30
ω (V)	ω (W)	ω (Nb)	ω (B)	ω (N)	ω (Al)	
0.20 ~ 0.30	1.45 ~ 1.75	0.02 ~ 0.08	0.000 5 ~ 0.006 0	0.030 (max)	0.030 (max)	

收稿日期 2005-04-07

作者简介: 毛允娴(1971—), 女, 浙江宁波人, 焊接工程师, 主要从事焊工培训以及焊接工艺试验等工作。

ASME 标准中 SA213-T23 钢属于 2-1/4Cr-1.6W-Mo 系列钢材,属于低碳微合金化的控轧钢和细晶粒钢,经正火+回火供货状态下 T23 钢的微观组织为回火贝氏体-马氏体及优化处理后的沉淀析出物,因含碳量低(碳被限制在小于等于 0.10%),且严格控制硫、磷含量,减少形成裂纹的倾向,同时加入了钒(V)、铌(Nb)、镍(Ni)和硼(B)等微合金化元素,供货状态下其金相组织的特点是晶粒细小均匀,提高了材料的高温蠕变强度和许用应力。

比较以往电站水冷壁大多数选用 20g 而言, T23 钢较大幅度地减少了碳含量,提高了焊接性,有利于降低焊接热影响区硬度值。T23 中添加了大量微合金元素,其中与碳亲和力较强的合金元素(如钒元素),因为材料中碳含量已受到严格控制,除部分与 C 形成 VC 外,其余以原子状态溶入固溶体,起到固溶强化的作用;与碳亲和力较弱的元素(如 Mn、Cr、W、Mo 等),由于 Cr、W 含量较高将形成特殊的化合物,如 Cr_7C_3 或 $(Fe, Cr)_7C_3$ 、WC 或 $(Fe, W)_6C$,形成合金渗碳体起到弥散硬化,增加强度和硬度的作用。

根据以上分析, T23 在焊接过程中要注意控制焊接线能量的输入,选用适当的焊接电流和焊接速度,并控制层间温度,防止合金元素的烧损,同时选用相匹配的焊接材料进行焊接,在焊接过程中能起到渗合金作用,以弥补合金元素的损失,保证焊缝微观组织和力学性能。

2 焊接工艺试验方案

由于 T23 主要用于电站水冷壁、过热器部件,为使试验具有实用性和参考价值,针对 T23 小管进行试验,且采用手工钨极氩弧焊方法,与实际工程施工相对应。为分析、对比不同预热及热处理工艺对 T23 小管氩弧焊焊接接头性能的影响,进行了一组对比试验,该组对比试验是在材质、焊接材料、坡口形式、焊接位置、工艺参数等条件均基本一致的情况下,通过采用不同预热及热处理工艺,比较各性能指标的差异。

2.1 焊接工艺试验

试验参数:材质 SA213-T23;规格 $\phi 48 \text{ mm} \times 7 \text{ mm}$;焊接位置 垂直固定(2G);焊接方法 手工钨极氩弧焊;焊接材料 TGS-2CW($\phi 2.4 \text{ mm}$ 日本三菱公司生产);保护气体 氩气(氩气纯度大于等于 99.95%);氩气流量 8~10 L/min;焊机 INVERTIC-I-300;坡口形式如图 1 所示。

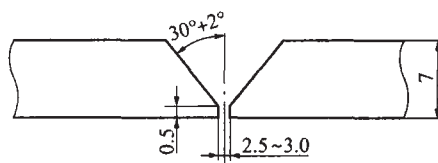


图 1 焊缝坡口尺寸

管口在组对前应对母材内外壁每侧 10~15 mm 范围内的油、漆、垢、锈等清理干净,直至露出金属光泽。焊口组对尺寸如图 1 所示,并应尽量使内壁齐平。

焊材化学成分如表 2 所示。

表 2 TGS-2CW 焊丝化学成分 %

ω (C)	ω (Mn)	ω (Si)	ω (S)	ω (P)	ω (Cr)	
0.06	0.48	0.40	0.007	0.006	2.45	
ω (Mo)	ω (V)	ω (W)	ω (Cu)	ω (B)	ω (Nb)	ω (Al)
0.50	0.33	1.25	0.11	<0.01	0.03	<0.01

2.2 预热及热处理方案的选择

进行了 3 组对比试验,每组方案的基本试验条件均相同,只是在是否预热、有无焊后热处理方面有所差异,经查有关资料, T23 的 A_{c1} 温度范围为 800~820 °C,并参考有关热处理规范要求,确定焊后热处理温度为 715~735 °C。

具体方案设置如表 3 所示。

表 3 不同方案热处理参数对比

名称	预热 $t/^\circ\text{C}$	层间温度 $t/^\circ\text{C}$	焊后热处理 $t/^\circ\text{C}(0.75 \text{ h})$
方案一	150~200	≤ 350	—
方案二	—	≤ 350	715~735
方案三	150~200	≤ 350	715~735

3 实验过程

a. 选择有经验的、焊接质量稳定的焊工作为工艺试验操作者。

b. 每组方案各焊制 3 个焊口进行相关检验。

c. 焊接前制定详细的焊接工艺试验方案,确定焊接工艺参数参考值,明确注意事项,并严格按工艺试验方案要求进行施焊。

d. 焊接预热方法可采用火焰加热,预热温度及层间温度用专用测温笔进行测试。

e. 各方案的焊接工艺参数记录值如表 4、表 5、表 6 所示。

为防止出现根部烧焦、气孔等缺陷,在 3 个方案中均严格控制线能量的输入,第二层焊接速度较快是为避免第二层焊接时对打底层的重加热,导

表 4 方案一焊接工艺参数

焊层 焊道	焊接 方法	电流 I/A(正接)	电压 U/V	焊接速度 v/mm·min ⁻¹	线能量 E/kJ·cm ⁻¹
1	GTAW	98~105	11~12	50~55	11.7~15.1
2/1-2	GTAW	98~105	11~12	55~75	11.7~13.7
3/1-2	GTAW	116~120	11~12	48~52	14.7~18.0
4/1-2	GTAW	116~120	11~12	44~58	13.2~18.9

表 5 方案二焊接工艺参数

焊层 焊道	焊接 方法	电流 I/A(正接)	电压 U/V	焊接速度 v/mm·min ⁻¹	线能量 E/kJ·cm ⁻¹
1	GTAW	105~115	11~12	50~55	12.6~16.6
2/1-2	GTAW	105~115	11~12	60~70	11.5~13.8
3/1-2	GTAW	105~115	11~12	55~60	11.5~15.5
4/1-2	GTAW	105~115	11~12	45~60	11.5~18.4

表 6 方案三焊接工艺参数

焊层 焊道	焊接 方法	电流 I/A(正接)	电压 U/V	焊接速度 v/mm·min ⁻¹	线能量 E/kJ·cm ⁻¹
1	GTAW	105~115	11~12	45~50	13.8~18.4
2/1-2	GTAW	105~115	11~12	60~65	11.5~13.8
3/1-2	GTAW	105~115	11~12	50~60	13.8~16.5
4/1-2	GTAW	105~115	11~12	50~60	13.8~16.5

致根层焊缝出现过烧现象,同时为控制层间温度,不宜在同一处进行重复施焊,焊接速度不宜太慢,以免停留某处过久造成过烧、咬边等缺陷。

4 各方案试验结果对比

所有按要求焊制的焊口经外观、透视检验合格后,进行相关力学性能、金相试验检验。各方案试样检验结果如下。

4.1 各方案焊接接头力学性能及微观金相

a. 方案一焊接接头力学性能检测项目为:正弯 180°未发现裂纹;反弯 180°未发现裂纹;抗拉强度为 633 MPa 时,母材断裂;母材硬度值为 150 HB;热影响区硬度值为 152 HB,冲击值为 90 J/cm²;焊缝中心硬度值为 212 HB,冲击值为 106 J/cm²。其微观金相组织如图 2 所示。



图 2 方案一焊接接头金相组织

经方案一试焊,焊接接头各项力学性能指标均达到试验要求,微观组织正常,母材区为铁素体+少量回火贝氏体,热影响区为铁素体+回火贝氏体,且铁素体区内有较多的合金碳化物析出,熔合区为铁素体基体+大量弥散分布的合金碳化物组织,且在晶粒边界上碳化物析出较多。

b. 方案二焊接接头力学性能检测项目为:正弯 180°未发现裂纹;反弯 180°未发现裂纹;抗拉强度为 579 MPa 时,母材断裂;母材硬度值为 127 HB;热影响区硬度值为 136 HB,冲击值为 214 J/cm²;焊缝中心硬度值为 206 HB,冲击值为 184 J/cm²。其微观金相组织如图 3 所示。



图 3 方案二焊接接头金相组织

经方案二试焊,焊接接头各项力学性能指标均达到试验要求,微观组织正常。母材区为铁素体+少量回火贝氏体,热影响区为铁素体+回火贝氏体,贝氏体组织十分明显,由于进行了焊后热处理,碳化物进行了重组,有部分合金元素经高温回火以固溶体的形式存在,因此,比较方案一、二的热影响区可见铁素体基体上的碳化物析出较少,熔合区为铁素体基体+细小的合金碳化物组织,碳化物分布较均匀。因此比较方案一、二,因焊后热处理导致碳化物分布不同,且合金在热处理后固溶强化效果增强,使材料在热处理后硬度下降而冲击韧性增强。

c. 方案三焊接接头力学性能检测项目为:正弯 180°未发现裂纹;反弯 180°未发现裂纹;抗拉强度为 576 MPa 时,母材断裂;母材硬度值为 133 HB;热影响区硬度值为 128 HB,冲击值为 209 J/cm²;焊缝中心硬度值为 152 HB,冲击值为 205 J/cm²。其微观金相组织如图 4 所示。

经方案三试焊,焊接接头各项力学性能指标均达到试验要求,微观组织正常。母材区为铁素体+少量回火贝氏体,热影响区为铁素体+回火贝氏体,熔合区为铁素体基体+细小的合金碳化物组织,碳化物分布较均匀。因此比较方案二、三,

$$T'_x = 4.319k\varphi^{1/3} + T_{a0} \quad (9)$$

图 2 是晶化温度点与加热速率立方根的关系曲线。因此可知,晶化转变点与加热速度具有正比关系,加热速度越快,晶化转变点越高,其关系为根号三分之一。随加热速度的增加,终了晶化温度 T'_x 与晶化开始温度 T_x 之差越大,相变发生的温度区间越宽。

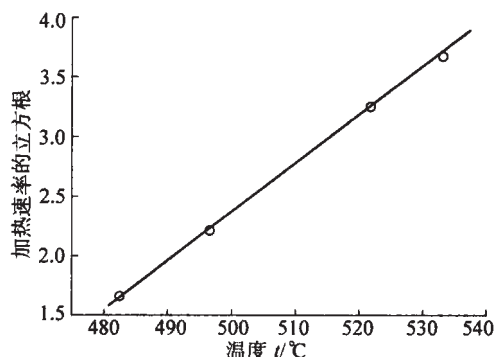


图 2 加热速率的立方根和晶化温度线性拟合结果

由于玻璃转变现象不遵循形核和长大的扩散机制,无法用式(8)进行拟合。根据热分析方法可以测得^[5]:在不同加热速率下,晶化峰值温度对应的峰值温度晶化比例变化较大(见表 2),也不适合采用式(8)进行拟合。

4 结论

采用 DSC 技术研究铜基非晶合金 Cu50Zr43Al7

表 2 大块铜基非晶合金 Cu50Zr43Al7 在不同加热速率下峰值温度对应晶化体积分数

加热速度 $v/K \cdot \min$	晶化体积分数/%
5	68.62
10	59.90
30	36.60
50	26.80

连续升温晶化动力学过程,研究结果表明:

a. 加热速度越快,晶化转变点越高,晶化转变温度点与加热速度的立方根具有正比关系。

b. 随加热速率的增加,非晶合金的玻璃转变温度点和峰值温度点也随之向高温区移动,终了温度 T'_x 与晶化开始温度 T_a 之差增大。

参考文献:

- [1] Klement W, Willens R H, Duwez P. Noncrystalline Structure in Solidified Cold-silicon Alloy[J]. Nature, 1960, 187(4740): 869-875.
- [2] Peker A, Johnson W L. A Highly Processable Metallic Glass Zr41.2Ti13.8Cu12.5Ni10.0Be22.5[J]. Appl. Phys. Lett., 1993, 63(17): 2642-2649.
- [3] Masumoto T. Recent Progress in Amorphous Metallic Materials in Japan[J]. Mater. Sci. Eng., 1994 (A179-180): 8-16.
- [4] 刘江龙, 邹至荣. 高能束热处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [5] 李余增. 热分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.

Page 14



图 4 方案三焊接接头金相组织

材料的力学性能和金相组织相差不大,可见有无预热对 T23 小管焊接接头质量影响不大。

4.2 试验结果比较

a. 以上 3 组方案按不同热处理方案处理,在相同焊接条件下所焊制的焊接接头力学性能、微观金相结果均达到试验要求,证明在有无热处理的条件下, T23 钢材均能达到使用要求的性能指标。

b. 方案二及方案三的力学性能指标相近,说明有无预热对 T23 小管焊接来说影响不大。

c. 方案一与方案二、三指标差别在于焊缝硬度和冲击值,说明经焊后热处理碳化物分布均匀,改善了焊缝组织,降低焊缝硬度且提高冲击韧性。

5 结论

a. 对 T23 材质小管全氩弧焊接来说,按不同热处理方案处理,在相同焊接条件下均可得到优质焊接接头,说明焊接热处理对材质焊接力学性能影响不大,对于小管焊接只要控制好焊接速度、层间温度等,可不采取预热和焊后热处理措施。

b. 焊后热处理对焊缝的硬度和冲击韧性仍有一定的影响。因此对于 T23 大管焊接来说,因管壁较厚,焊接完成后热输入不均可能会造成组织间合金成分差异较大,焊后残余应力较大,所以对 T23 大管是否需预热和焊后热处理仍有待进一步探讨。