

文章编号:CN23 - 1249(2005)01 - 0060 - 04

# 国产 T91 钢管手工氩弧焊接头的高温性能

龚正春,王立滨,徐世斌

(哈尔滨锅炉厂有限责任公司,黑龙江 哈尔滨 150046)

**摘 要:**上海宝山钢铁股份有限公司生产的  $\phi 60.3 \times 8$  mm 的 T91 钢管进行了化学成分、力学性能、金相组织、持久强度的试验,并对母材及手工氩弧焊接头的 T91 钢管进行了时效试验和时效后的力学性能、金相组织测定。试验结果表明上海宝山钢铁股份有限公司生产的  $\phi 60.3 \times 8$  mm 的 T91 钢管其化学成分、力学性能、金相组织均满足标准 GB5310 - 1995 的要求。

**关键词:**T91;化学成分;力学性能;持久强度

**中图分类号:**TG142.73 **文献标识码:**A

## The High Temperature Property of Manual Argon Arc Welding Joint for Demestic - Made T91 Steel Tube

GONG Zhengchun, WANG Libin, XU Shibin

(Harbin Boiler Co., Ltd., Harbin 150046, China)

**Abstract:** The chemical composition, mechanical property, microstructure and sustained strength of T91 steel tube for  $\phi 60.3 \times 8$  mm produced by Shanghai baoshan iron & steel Co., LTD are measured as well as the age test and mechanical property, microstructure measure of the base metal and manual argon arc welding joint of T91 steel tube after aging. All these tests proved that the chemical composition, mechanical properties and microstructure of T91 steel tube for  $\phi 60.3 \times 8$  mm produced by Shanghai baoshan iron & steel Co., LTD can satisfy requirement of standard GB5310 - 1995.

**Key words:** T91; chemical composition; mechanical property; sustained strength

## 0 引 言

T91 钢系马氏体耐热钢,是 9Cr1MoVG 型钢的典型钢种之一。它通过在 9Cr1Mo 钢的基础上添加 V、Nb 等碳化物形成元素,提高了蠕变强度 ( $550 \times 10^4$  h/240 MPa) 和组织稳定性<sup>[1]</sup>。T91 钢管是综合性能良好的改良型 9Cr - 1Mo 热强钢,适用于制造工作温度 625 以下的高温过热器、再热器部件。1985 年该钢纳入 ASME SA213 标准。被我国等效采用列入 GB5310 - 1995《高压锅炉用无

缝钢管》标准,钢号为 10Cr9Mo1VNb,在 300/600 MW 火电机组锅炉受热面中大量使用<sup>[2]</sup>。

9Cr - 1Mo - V - Nb - N 的高温强度可与 TP304 不锈钢相比,因此能用于电站锅炉的过热器和再热器管来代替 TP304H<sup>[3]</sup>。在锅炉上用于过热器和再热器以及主蒸汽管道等部件,用来代替 102 和 TP304H 等不锈钢,其高温持久强度优异。2000 年 3 月上海宝山钢铁股份有限公司为我厂提供的  $\phi 60.3 \times 8$  mm 的 T91 试验样管 24 m,供货状态为 1 050 正火 + 790 回火。我们对

收稿日期:2004 - 06 - 12

作者简介:龚正春(1962 - ),男,江苏启东人,高级工程师,从事核电材料,铸造材料锅炉及压力容器材料的科研工作。

T91 钢管的质量进行了评定,评定如果如下。

## 1 试验材料及方法

试验用料是由上海宝山钢铁股份有限公司为我厂提供的,炉号为 202737,其化学成分分析结果 1995 标准要求。透射电镜试样采用 MTP - 1A 型双喷电子减薄仪减薄,在 PHILPS CM12 型透射电镜下进行观察,对碳化物采用 EDAX<sup>R</sup>9100 型能谱分析仪进行成分测定。对手工氩弧焊接头的持久试样采用圆棒试样,两头堆焊 102 后进行 760 / 0.5 h 空冷的消除应力热处理,用 CLL - 0910A 型六头持久试验机进行持久试验。手工氩弧焊采用日本某制钢所  $\phi$ 2.4 mm 的 TGS - 9cb 焊丝,采用日本 Pulse CompA 300P 交直两用手工焊机,焊前预热温度 10 ,焊接电流 140 A,焊接电压 12 V。用 2515X 型射线机对焊接接头进行 X 光控伤拍照,用 H15 型热处理炉对手工氩弧焊和自动焊接头进行 760 / 0.5 h 空冷的消除应力热处理。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 化学成分与分析

焊接材料选用牌号为 TGS - 9CB 的焊丝,这是因为它符合同质原则,与母材相似:C、Si 含量低,S、P 含量较低,还具有一定数量的 V、Nb(有助于形成稳定的碳化物,减少低熔点共晶,细化晶粒,降低组织应力)。其相变点  $A_{c1}$  为 830 ~ 850

, $A_{c3}$  为 900 ~ 950 , $M_s$  为 370 <sup>[1]</sup>。

Mb、Nb、V 用来提高持久强度,另外加 Nb、V 有利于焊接,低碳是为了有利于焊接,加 Nb、V、N 起析出强化作用。Cr、Si 的加入有利于抗氧化性能的提高。由于 V/Nb 碳氮化物的沉淀强化使 T91 的持久强度增加<sup>[4]</sup>。

### 2.2 力学性能

T91 取纵向试样,冲击试样尺寸为 5 ×10 ×55 mm。其力学性能试验结果如表 2。从表 2 可看出,上海宝山钢铁股份有限公司供应的 T91 钢管的力学性能符合 GB5310 - 1995 标准的要求。

### 2.3 高温瞬时拉伸性能

T91 钢管的母材、手工氩弧焊接头的高温瞬时拉伸性能。从表中可看出,上海宝山钢铁股份有限公司供应的 T91 钢管的高温力学性能符合 GB5310 - 1995 标准的要求。

### 2.4 高温长期时效稳定性

对 T91 钢管进行 625 长达 1 000 h、3 000 h、5 000 h、10 000 h 的时效处理,判定时效前后拉伸、夏比冲击功和金相组织的变化。长期时效后的力学性能试验结果,经过 625 长达 10 000 h 时效后力学性能的变化很小。

### 2.5 高温持久强度

对手工氩弧焊接头的持久试样采用圆棒试样,试验温度 625 ,最长试验时间 9 485 h,外推 10 万小时的持久强度值  $\sigma_{10}^5 = 45.26$  MPa,见表 1。

表 1 T91 钢管的力学性能

	$\sigma_b$ / MPa	$\sigma_s$ / MPa	$\sigma_{0.2}$ / MPa	压扁	扩口	HB	$A_{KV}$ / (J)	0	$A_{KV}$ / (J)	- 20	$A_{KV}$ / (J)
F000030 母材 1 <sup>#</sup>	555	660	23	合格	合格	184	104		106		104
F000030 母材 2 <sup>#</sup>	560	655	25	合格	合格		108		102		114
手工氩弧焊接头 3 <sup>#</sup>	450	660	18				102		140		108
							44		20		24
							30		23		20
							40				
GB5310 - 95 10Cr9Mo1VNb	415	585	20	合格	合格		35				

注:1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup> 拉力试样采用板状试样,3<sup>#</sup> 拉力试样采用圆棒小试样。

### 2.6 金相组织

T91 钢的金相组织是在正火和回火热处理时形成和回火马氏体。T91 钢管母材的金相组织为回火马氏体,晶粒度为 9 级,见照片 1,符合 GB5310 - 1995 的要求。手工氩弧焊焊缝的金相组织见照片 2,从照片 2 可看到其组织为粗大的马氏体,并且在晶内和晶界上都有碳化物析出;手工氩弧焊接头热影响区的金相组织见照片 3,从

照片 3 可看到其组织与母材相近,晶界上的碳化物多。625 时效后 T91 钢管的金相组织都是 M<sub>回火</sub> + 碳化物。手工氩弧焊焊缝经 5 000 h 时效后的金相组织见照片 5,手工氩弧焊接头热影响区经 5 000 h 时效后的金相组织见照片 6。照片 7 是 T91 钢管手工氩弧焊持久试样 62<sup>#</sup> (应力 60 MPa,断裂时间 9 485 h) 上母材的 TEM 照片,可看到经过 9 485 h 马氏体已完全回复,位错密度很

低,马氏体再结晶变成等轴 $\alpha$ -Fe,个别保留回复阶段的马氏体板条,在照片7上可看到马氏体回复过程中的亚晶和再结晶带来的晶粒长大;在持久试样62#的热影响区中可看到有大量孔洞,照片8是亚晶粒和晶粒的TEM照片。

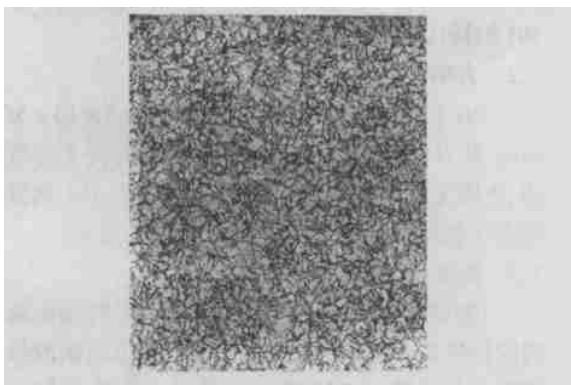


图1 T91 钢管母材的金相组织(×400)

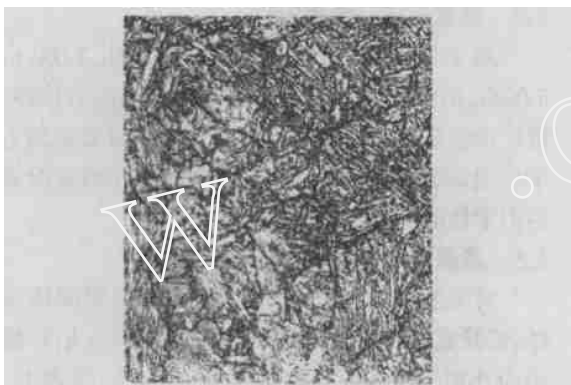


图2 T91 钢管手工氩弧焊缝的金相组织(×400)

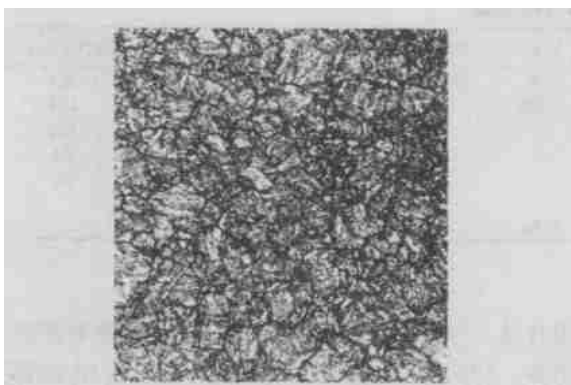


图3 T91 钢管手工氩弧接头热影响区的金相组织(×400)

## 2.7 断口分析

T91 钢管母材的冲击断口属于韧窝断口;经过 625 1 000 h 时效后断口仍

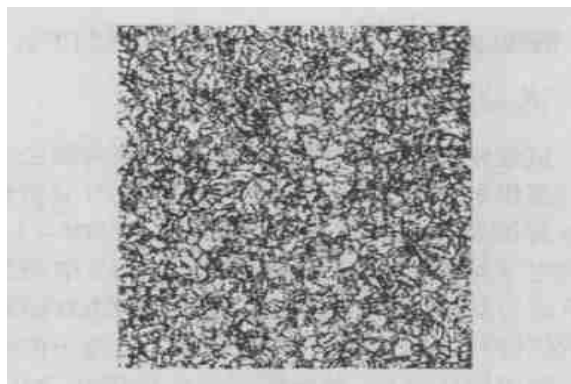


图4 T91 钢管母材经 625 5 000 h 时效后的金相组织(×400)

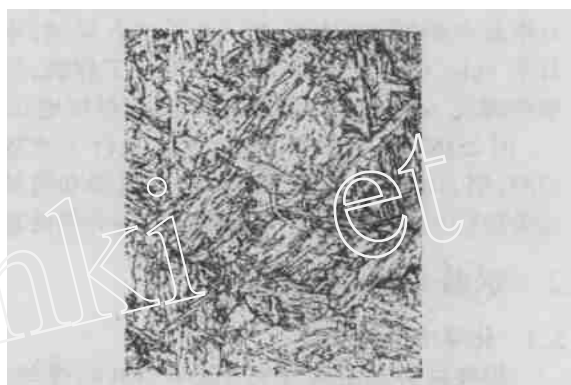


图5 T91 钢管手工氩弧焊缝约 625 5 000 h 时效后的金相组织(×400)

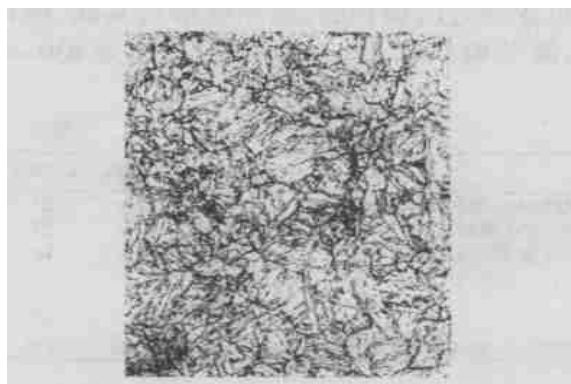


图6 T91 钢管手工氩弧接头热影响区经 625 5 000 h 时效后的金相组织(×400)

为韧窝断口,并有二次裂纹产生;经过 625 3 000 h 时效后断口仍为韧窝断口,但二次裂纹增多;经过 625 5 000 h 时效后断口仍为韧窝断口,有二次裂纹,见照片9。T91 钢管手工氩弧焊缝的冲击断口心部为准解理+解理断口,冲击断口边缘是韧窝断口,并有夹杂;经过 625 1 000 h 时效后断口为准解理+解理+韧窝断口,韧窝

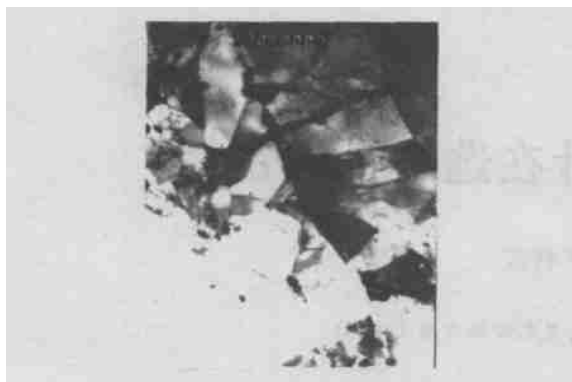


图 7 持久 62<sup>#</sup> 试样母材中亚晶粒的 TEM 照片 (×17 000)

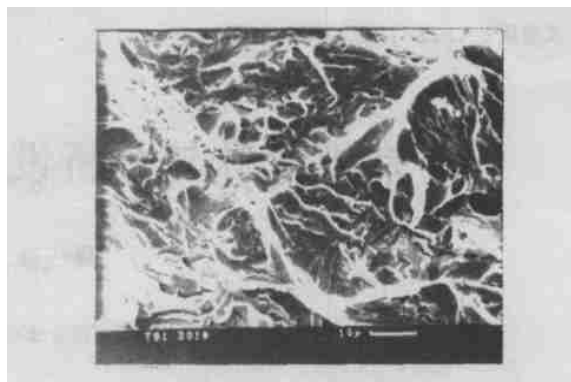


图 10 301<sup>#</sup> 样的 SEM 照片 (×1 500)



图 8 持久 62<sup>#</sup> 试样中热影响区的 TEM 照片 (×28 000)

比时效前增多,见照片 10;经过 625 3 000 h 时效后断口韧窝占大部分,其余为准解理和解理断口;经过 625 5 000 h 时效后断口全部为韧窝断口,并有很多细小夹杂。经 625 5 000 h 时效后整个断口还是韧窝多;手工氩弧焊持久试样 62<sup>#</sup> (应力 60 MPa,断裂时间 9 485 h)的断口为韧窝断口,并有孔洞。

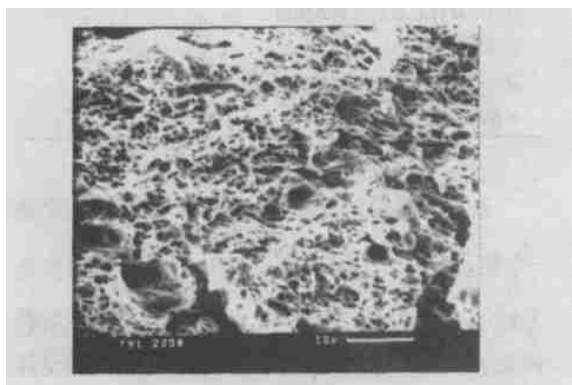


图 9 205<sup>#</sup> 样的 SEM 照片 (×2 000)

### 3 结束语

上海宝山钢铁集团公司供应我厂的  $\phi 60.3 \times 8$  mm 的 T91 钢管的化学成分、力学性能、金相组织等均符合 GB5310 - 1995 标准的要求。T91 钢管经过 625 10 000 h 时效后力学性能的变化很小。断口分析结果表明,T91 钢管的冲击断口为韧窝断口;手工氩弧焊焊缝的断口除韧窝外,出现了准解理+解理断口,但经过 625 5 000 h 时效后又变为韧窝断口。T91 钢管手工氩弧焊接头,625 外推 10 万小时的持久强度值  $\sigma_{10}^5 = 45.26$  MPa。

### 参考文献

- [1] 李春光,张晓东. SA213 - T91 钢小径管背面保护钨极氩弧焊接工艺[J]. 吉林电力,2001,(3):42.
- [2] 彭孙鸿,尤凤志,姜明娟,等. 热穿孔温度对 T91 钢管持久强度的影响[J]. 特殊钢,2001,22(2):10.
- [3] Lihui ZHU, Qinxin ZHAO, Haicheng GU and Yansun LU. Effects of long - term creep at elevated temperatures on rupture ductility in 9Cr - 1Mo - V - Nb - N steel [J]. J. Mater Sci Technol, 1998,(14):226.
- [4] W Bendick, NEW 9 % ~ 12 % CR STEELS FOR BOLTER TUBES AND PIPES OPERATING EXPERIENCES AND PUTURE DEVELOPMENTS[C]. EPRI - Conference in San Sebastian/ Spain, April 1998, 3.

(编辑:刘宝珍)