

T91/P91 窄间隙热丝 TIG 焊接工艺对接头力学性能的影响

沈学峰¹, 杨成龙³, 杨仁杰^{1,2}, 唐新华¹, 芦凤桂¹

(1.上海交通大学 材料学院, 上海 200240; 2.上海电气电站设备有限公司汽轮机厂, 上海 200240; 3.大连船舶重工集团有限公司, 辽宁 大连 116005)

摘要:通过对 T91/P91 窄间隙热丝 TIG 焊试验, 对比研究了焊接接头各区包括焊缝、热影响区、母材的显微组织, 以及各项力学性能比如常温拉伸、高温拉伸、硬度及冲击性能, 从而探究窄间隙热丝 TIG 焊对 T91/P91 钢焊接性的影响。试验结果表明, 焊接接头组织均匀, 主要为回火马氏体, 抗拉强度达到了母材水平甚至比母材更强; 焊缝区域硬度分布比较均匀, 硬度值高于热影响区和母材; 焊缝的冲击韧性也与母材相当。研究结果表明, 窄间隙热丝 TIG 焊可以改进 T91/P91 焊接接头的焊接质量, 焊接接头各项力学性能均满足使用需求, 从而获得了较高质量的焊接接头。

关键词:窄间隙; 热丝 TIG 焊; 显微组织; 力学性能

中图分类号: TG444⁺.74

文献标识码: A

文章编号: 1001-3814(2012)21-0169-03

Effect of Hot-wire NG-TIG Process on Mechanical Properties of Welded Joints for T91/P91 Steel

SHEN Xuefeng¹, YANG Chenglong³, YANG Renjie^{1,2}, TANG Xinhua¹, LU Fenggui¹

(1. Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Electric Power Generation Equipment Co., Ltd., Shanghai 200240, China; 3. Dalian Shipbuilding Industry Co., Ltd., Dalian 116005, China)

Abstract: In order to study the weld properties of narrow gap hot-wire TIG (NG-TIG) welding on T91/P91, the microstructure and mechanical properties of welded joint and HAZ as well as base metal were studied respectively (including room temperature tensile, high temperature tensile, hardness and impact properties), which can give an access to explore the effect of narrow gap hot-wire NG-TIG welding. The results show that homogeneous microstructure and good mechanical properties such as higher tensile strength, hardness of the welded joint is higher than base metal and equivalent impact energy, which indicate that the quality of the T91/P91 welded joint were improved by hot-wire NG-TIG, which can meet the requirements of industrial standards.

Key words: narrow gap; hot-wire TG welding; microstructure; mechanical properties

T91/P91 即 9Cr1MoVNbN 耐热钢, 是在 ASTM 213T91 钢的基础上, 降低含碳量, 添加微量 Nb、V 合金化, 并控制含 N 量得到的具有较高抗拉强度、高温蠕变和持久强度、较低热膨胀性、良好的导热性、加工性和抗氧化性能, 适用于电站锅炉使用的耐热钢, 及蠕变工业耐热钢等^[1-3]。目前国内外主要把它用在电站过热器、再热器的高温段^[4-5]。

T91/P91 钢属于空冷马氏体钢, 焊接性相对较差, 其冷裂纹敏感性较强^[6], 也有一定的热裂纹倾向, 同时也不可忽视接头性能的弱化。合理的焊接工艺是控制和改善该钢焊接性的重要技术手段。

窄间隙热丝钨极氩弧焊(NG-TIG)方法是一种

高品质、高效率的焊接方法。由于坡口间隙小, 节省大量填充金属和焊接时间, 加工金属量减少, 焊接效率提高。热丝 TIG 焊通过对焊丝进行预热, 以提高热输入量, 增加熔化速度, 提高焊接效率, 同时具有 TIG 焊高品质焊缝的特点。热丝 TIG 焊的焊丝送进独立于焊接电流, 因此能够更好地控制焊缝成形。

通过 T91/P91 窄间隙热丝 TIG 试验, 对比研究了焊接接头各区包括焊缝、热影响区、母材的显微组织, 以及其各项力学性能, 探究窄间隙 TIG 热丝焊对于 T91/P91 钢焊接性的影响。

1 试验材料和方法

接头两侧母材均采用 P91 钢。P91 钢及焊丝化学成分如表 1 所示。工件壁厚约为 150 mm, 窄间隙坡口宽度约为 10 mm。母材 P91 的常温力学性能: $R_{p0.2} \geq 430 \text{ MPa}$, $R_m = 600 \sim 830 \text{ MPa}$, $A \geq 18\%$, $Z \geq 50\%$, $A_{KV} \geq 68 \text{ J}$ 。

收稿日期: 2012-05-16

作者简介: 沈雪峰(1987-), 男, 辽宁沈阳人, 硕士, 主要从事蒸汽管道阀门窄间隙热丝焊性能研究

通讯作者: 芦凤桂, 副教授, 主要从事焊接冶金及焊接过程模拟方面的研究; 电话: 13801827534; E-mail: Lfg119@sjtu.edu.cn

表 1 P91 母材及焊丝的化学成分(质量分数,%)
Tab.1 Chemical composition of base metal and wire(wt%)

	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Nb	V	N
P91	0.08~0.12	0.3~0.6	≤0.5	8.0~9.5	0.85~1.05	≤0.40	0.06~0.10	0.18~0.25	0.03~0.07
焊丝	0.1	0.5	0.3	9.0	1.0	0.7	0.06	0.2	-

由于焊件壁厚较大,采用 TIG 热丝单道多层全位置焊接(包括平焊、立焊、仰焊、上坡焊与下坡焊),为保证良好的焊缝成形,采用低频脉冲(2Hz)控制焊接熔池成形过程,热丝电流为 60A,将焊丝加热到 300℃从而保证较高的熔覆效率。并在焊后进行了回火热处理。

焊接接头的显微组织观察与分析在 OLYMPUS-CK40M 金相显微镜上进行;焊缝和母材试样的拉伸试验在 ZwickRoell 万能材料试验机进行,试样采用 ASTM E8 圆形拉伸试样;在 GB3808 摆锤式冲击试验机上进行了焊缝、热影响区以及母材的冲击试验,冲击试样为 Charpy V 型标准冲击试样。

2 结果与分析

2.1 接头显微组织与分析

焊接接头包括焊缝、热影响区及母材,其宏观金相如图 1 所示,焊缝宽度约 10mm,热影响区的宽度 2mm。热影响区包含粗晶区、细晶区以及两相区。

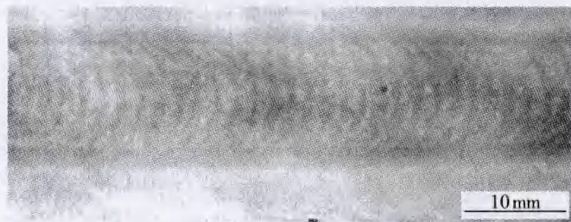


图 1 焊接接头的宏观金相组织
Fig.1 Microstructure of welded joint

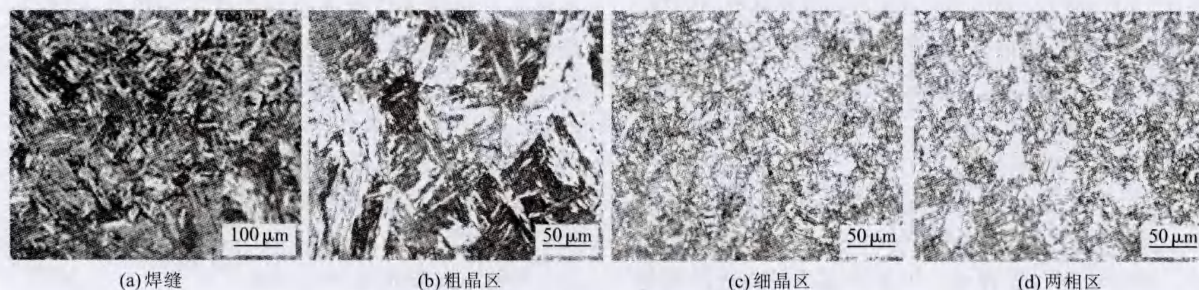


图 2 焊缝及热影响区微观金相组织
Fig.2 Microstructure of HAZ welding seam

表 2 接头常温拉伸试验结果
Tab.2 Tensile test results of welded joint at room temperature

	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A(\%)$	断裂位置
母材试样	445.7	615.87	34.18	中间
接头试样	429.04	614.74	17.61	母材

焊缝及两侧热影响区显微组织如图 2 所示,可见,焊缝组织为比较明显板条状回火马氏体,晶粒较为粗大,在回火处理后马氏体板条发生多边化回复,在板条界和板条内均有细小碳化物析出,这种组织,既保留有马氏体强化效果,又形成了亚稳结构从而具有良好的强韧性。热影响区粗晶区的宽度较小(≤0.5 mm),其组织比焊缝组织粗大,以回火马氏体为主;细晶区尺寸较宽约为 1mm,晶粒非常细小,组织为回火马氏体;两相区组织表明部分组织发生了相变,另一部分仍旧保持母材的组织为回火马氏体。在热影响区各区晶内和晶界也均有细小碳化物析出,碳化物的排列主要呈交叉分布。

热影响区的微观组织比较复杂,这是由于受到焊接过程热输入、相转变、以及材料本身晶粒长大特点^[7]的影响。粗晶区的晶粒较粗大,这是由于焊接过程受到热输入(熔化的焊丝及母材金属形成的熔池温度高达 1600℃^[8])及随后冷却的影响,形成粗大的板条马氏体。焊后回火时,马氏体发生回火转变,形成位错网络,碳化物粒子在板条界和板条内析出并发生聚集长大,发生碳原子的集团化过程^[9]。细晶区和两相区晶粒较细小,这是因为受焊接过程热输入影响较小,回火时碳化物析出也较均匀。

2.2 拉伸性能测试结果与分析

焊接接头及母材常温拉伸试验结果如表 2 所

示。试验采取同一位置多试样取平均值的方法。从结果可以看出,接头试样断裂位置出现在母材处,这说明窄间隙 TIG 热丝焊接接头的焊缝成形好,焊接质量高,抗拉性能好。焊接接头试样的断后伸长率远低于母材拉伸试样。

对焊缝及母材进行维氏显微硬度测试, 结果如图 3 所示。可看出, 焊缝的硬度明显比两侧母材都要高, 且焊缝比较宽, 这样就会导致颈缩部分的长度相比纯母材试样小, 故伸长率明显减小。

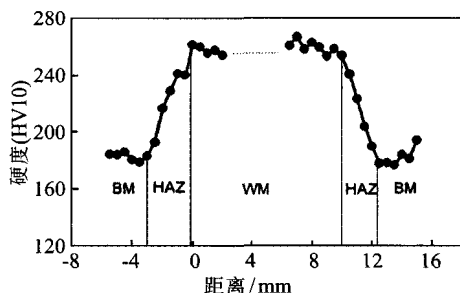


图 3 焊缝及母材维氏硬度实验结果
Fig.3 Hardness test results of the welding joint

表 3 是焊接接头的高温拉伸试验结果。可看出, 随着温度的升高, 抗拉强度和屈服强度都有所下降。温度在 600℃左右时, 强度比室温下降明显, 伸长率与室温时相比相差不大。断裂位置也都发生在母材侧。

表 3 焊接接头高温拉伸试验结果

Tab.3 Tensile test results of welded joint at high temperature

试验温度/℃	$R_{p0.2}$ /MPa	R_m /MPa	A (%)	断裂位置
580	265	290	10.15	母材
600	255	280	9.49	母材
610	225	260	9.55	母材

从上述结果可以看出, 无论是常温还是高温下, 焊接接头的抗拉性能均较好。

2.3 冲击试验结果与分析

冲击试验结果如图 4 所示。试验同样采取多试样取平均值方法。从结果中可见, 焊缝的冲击功与母材十分接近。热影响区冲击功比焊缝和母材稍高, 熔合线冲击功出现极低现象, 但这 4 个区域的冲击功均满足对冲击韧性的要求。热影响区冲击功较高是因为细晶区区域较大, 缺口开在细晶区导致冲击功较高。熔合线冲击功较低是因为组织比较粗大的缘故。总的来说, 回火时的马氏体回复形成的亚结构保证了组织的强韧性, 使得接头的冲击韧性并没有严重恶化。

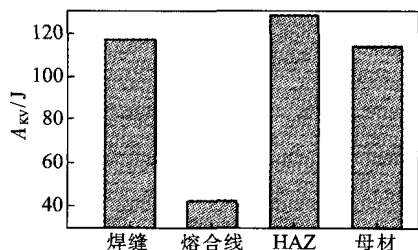


图 4 冲击试验结果
Fig.4 Test results of impact test

综上, 焊接接头的各项力学性能与母材的相比说明, 通过对窄间隙 TIG 热丝焊多层焊接工艺参数的良好控制, 能够很好的改善 P91 同种钢接头的焊接性能, 使得焊接接头的拉伸、硬度、冲击等性能能够满足使用需求。

3 结论

(1) 窄间隙焊缝两侧熔合良好, 未发现任何焊接缺陷。焊缝微观金相组织以回火板条马氏体为主。热影响区粗晶区组织为粗大的回火马氏体组织, 粗晶区尺寸较小($\leq 0.5\text{mm}$), 细晶区尺寸较大约为 1 mm 左右。

(2) 室温及高温拉伸断裂均发生在母材一侧, 焊接接头的强度与母材相当; 高温下屈服强度和抗拉强度比室温下降明显。常温拉伸和高温拉伸强度均满足 ASME 标准许用应力。

(3) 焊缝硬度值约为 260HV, 母材的硬度值最低约为 180HV, 热影响区硬度呈现从焊缝到母材逐渐下降的趋势, 表明焊缝是整个接头中硬度最高的部位。

(4) 焊缝的冲击功为 117J, 大于或与母材(114 J)相当, 表明焊缝的冲击韧性 with 母材相当, 从而满足了使用要求; 热影响区冲击功较母材高; 在焊缝与热影响区的熔合线附近出现了较低的冲击功, 主要原因是熔合线附近组织粗大。

参考文献:

- [1] Irving B. Welding tailored blanks is hot issue for automakers[J]. Weld. J.2001, 80:40-44.
- [2] Rlova O, Bursik J, Kucharfova K, *et al.* Simulation of dissimilar weld joints of steel P91 [J]. Mater. Sci. Eng, 1998, A245 (1):39-48.
- [3] Cadek J, Sustek V, Pahutov M. An analysis of a set of creep data for a 9Cr-1Mo-0.2V steel [J]. Mater. Sci. Eng., 1997, A225:22-28.
- [4] 温好极, 高星焰. T91/P91 钢管介绍[J]. 锅炉制造, 1991, (2):6-31.
- [5] 王非森, 陈思杰, 高增. 降熔元素对 T91 钢 TLP 连接组织和性能的影响[J]. 电焊机, 2008, 38(11):18-21.
- [6] 常铁军, 龚正春, 李子峰, 等. T91 钢 TIG+MIG 焊接接头性能及组织[J]. 焊接学报, 2005, 26(12):59-62.
- [7] Alberry P J, Jones W K. Hot tensile properties of simulated heat-affected zone microstructures of 9Cr-1Mo weldment [J]. Met. Techno, 1977, (4):360-364.
- [8] 天津大学教研室. 金属熔焊原理与工艺[M]. 北京:机械工业出版社, 1980.
- [9] Nagkuta S. Development and use of an anisotropic damage model for the high-temperature life assessment of a P91 weldment[J]. Metal. Trans., 1983, A 14:1025-1030. [13]