

T91/P91 钢管在电站锅炉应用中的质量控制

于秀清, 陈力朋, 陈家伦

(哈尔滨锅炉厂有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150046)

摘 要: 结合锅炉制造实际情况, 将 T91/P91 材料广泛应用在电站锅炉上, 并讨论了应用于电站锅炉时, 在生产过程中原材料、焊接、热处理及冷热加工等各质量指标的控制要求。

关 键 词: 原材料; 焊接; 热处理; 冷热加工

中图分类号: TK225 文献标识码: B

1 引 言

T91/P91 钢是在 9Cr-1Mo 钢的基础上添加微量 V, Nb 调正 Si、Ni 和 Al 的含量后形成的一种新型钢种。该钢的高温持久强度、抗蠕变性能及持久塑性均优于 9Cr-1Mo 钢; 抗氧化性和抗腐蚀性同 9Cr-1Mo 钢相当。其设计许用应力在 550 °C 以上, 其为 9Cr-1Mo 和 $2\frac{1}{4}$ Cr1Mo 钢的两倍, 在 625 °C 时, 持久强度与 1Cr19Ni9 等同。因此, 目前在亚临界机组, 超临界锅炉管子壁温在 650 °C 以下的过热器管和再热器管中得以广泛应用, 并可用于壁温 600 °C 以下的集箱和蒸汽管道, 是一个很有前途的钢种。

各国对该钢种采用标准及使用钢号为:

美国 ASME 钢号为 ASMESA213T91 和 ASME-

SA 335P91

德国 DIN17175 钢号为 X10CrMoVNb91

法国 NFA-49213 钢号为 TUZ10CDVNb09.01

中国 GB5310-95 钢号为 10Cr9Mo1VNb

与奥氏体不锈钢相比, 该种材料的强化机理主要是沉淀强化、位错钉扎强化; 固溶强化效应很小, 而且具有抗热疲劳等特点, 极适用于锅炉用管。在低合金钢与奥氏体钢异种钢对接焊中, 由于热膨胀系数的差异而产生热应力, 采用 T91 材料代替奥氏体不锈钢材料后, 就避免了这个问题。特别是由于它具有高强度, 使其在实际应用时厚度可以远远超过低合金钢(如 $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo), 从而大大降低了成本

而倍受青睐。

2 原材料质量控制

按照美国 ASTM 法规, T91/P91 化学成份分析如表 1 所示。

表 1 T91/P91 材料的化学成份

C	0.08~0.12	Mo	0.85~1.05
Mn	0.30~0.60	V	0.18~0.25
Si	0.2~0.50	Nb	0.06~0.10
P≤	0.020	N≤	0.03
S≤	0.010	Al≤	0.04
Cr	8.00~9.50	Ni+Cu≤	1.00
		Ni≤	~0.40

S: 是热脆性及促进空洞形核(MnS)的因素, 故应越少越好;

Al: 降低高温持久塑性(且在 10^4 h 以后更加明显), 由于出现在焊接接头硬度的软化区及热影响区的粗晶区, 故也应严格控制;

V: 对 T91/P91 钢的强度影响研究认为, V 含量适宜偏下限控制为佳。

材料的机械性能符合 ASTM 要求, 屈服强度: ≥ 415 MPa; 抗拉强度: ≥ 585 MPa; 延伸率 50 mm $\geq 20\%$ 。其中只给出了最小值。

T91/P91 材料通常采用正火和回火交货状态。ASTM 法规规定了 1 050 °C 或稍高一些的正火温度和 780 °C 的回火温度。

正火是为了获得均匀的马氏体组织并处理热加工时引起的粗糙的碳-氮化合物。最理想的温度是 1 040~1 060 °C, 因为太高的温度会粗化奥氏体晶粒度从而引起硬度的降低。回火温度一般在 760~780 °C 之间。经过正火和回火之后, 材料一般情况进行空冷, 但在管壁较厚时, 要求以油或空气、水雾淬火。

显微组织几乎为全马氏体结构, 正是这种结构

收稿日期: 2003-02-27

作者简介: 于秀清(1970-), 女, 黑龙江哈尔滨人, 现任哈尔滨电站工程有限责任公司工程师。

决定了均匀的机械性能。

3 焊接质量控制

焊接材料的选择首先要考虑焊材质量。生产厂家和焊条、焊剂的高清洁度,可以避免污染和回火脆性。

为提高焊接金属的再结晶温度并降低回火脆性的灵敏度,焊材的生产厂家在生产中往往要加入一些微量合金元素,但不同元素需要控制在一定范围内以获得优良的硬度和蠕变特性。这些元素的影响如下:

控制硅元素含量以降低冲击硬度,硅含量最好控制在 0.19%~0.26% 之间。

如果锰和镍含量高,则 AC1 温度降低得到奥氏体的可能性升高。锰含量一般在 0.5%~0.8% 之间。

铬含量在 8%~10% 之间,其范围变化没有什么太大影响。一般正常含量在 9%。

加钒元素可以提高蠕变断裂强度,其含量最好控制在 0.20%~0.25%。

镍元素可以提高蠕变性能,其最好的控制范围在 0.04%~0.05%。Ni 含量 0.04% 为最佳。

T91/P91 的焊接材料及焊接工艺选择如下:

手工电弧焊(SMAW):

焊条 CM-9Cb, 预热 200~250 °C, 电流 130 A, 电压 25 V, 焊接速度 110~115 mm/min。

手工氩弧焊(MGTAW):

焊丝 TGS-9Cb, 直径 $\phi 2.5$ mm, 直流反接, 保护气 Ar, 流量 10~12 L/mm, 预热 200~250 °C, 最大层间温度 300 °C, 电流 130 A, 电压 11~14 V, 焊接速度 45~50 mm/min。

熔化极气体保护焊(MIG):

焊丝 MGS-9Cb, 直径 $\phi 0.8$ mm, 直流反接, 保护气 Ar+CO₂, 流量 12~14 L/mm; 预热 200~250 °C, 最大层间温度 300 °C, 电流 90~110 A, 电压 22~24 V, 焊接速度 330~390 mm/min。

钨极氩弧焊(TIG):

焊丝 TGS-9Cb 或 H06Cr9Mo1V。

埋弧焊(SAW):

焊丝 H06Cr9Mo1V 或 US-9Cb, 焊剂 PF-200S, 直径 $\phi 2.0$ mm、 $\phi 3.2$ mm。

具体举例如下: $\phi 457$ mm \times 65 mm P91 集箱

焊接工艺: 手工氩弧焊+手工焊+埋弧焊

手工氩弧焊: 焊丝 H06Cr9Mo1V 或 TGS-9Cb, 直径 $\phi 2.0$ mm, 直流反接, 电压 11~14 V, 电流 90~140 A, 250 °C 预热。

手工电弧焊: 焊条 CM-9Cb, 直径采用 $\phi 3.2$ mm $\phi 4.0$ mm $\phi 5.0$ mm 三种规格, 直流反接, 三层工艺:

$\phi 3.2$ mm、电流 110~130 A, 电压 22~26 V;

$\phi 4.0$ mm、电流 160~190 A, 电压 23~27 V;

$\phi 5.0$ mm、电流 190~240 A, 电压 24~28 V。

埋弧焊: 焊丝 H06Cr9Mo1V 直径 $\phi 2.0$ mm、 $\phi 3.2$ mm 两种规格, 对应的电压和电流分别为:

$\phi 2.0$ mm、电流 240~320 A, 电压 28~32 V;

$\phi 3.2$ mm、电流 400~450 A, 电压 30~32 V。

焊后进行热处理: 750~770 °C, 炉冷至 ≤ 400 °C, 出炉空冷;

最后测得力学性能结果见表 2。

表 2 测试结果

σ_t /MPa	断裂位置	冷 弯	冲击韧性 AKV/J	硬度 HB
710/715	焊口外	面弯 50° 背弯 50°	22/58/58	231

以上各项指标均符合标准要求。

T91 材料常用于与合金钢或不锈钢对接。常用的焊接方法和焊材选择可归纳如表 3 所示。

表 3 SA-213T91 管对接或异种钢对接时所采用的焊接方法和焊材选择

对接材料	焊接方法	焊材
T91+T91	手工氩弧焊	TGS-9Cb
T91+T91	TIG/MIG	MGS-9Cb
T91+12Cr1MoV	手工氩弧焊	TGS-9Cb
T91+SA-213TP304H	手工氩弧焊	ERNiCr-3
T91+12Cr2MoWVTiB	手工氩弧焊	TGS-9Cb
T91+12Cr2MoWVTiB	TIG/MIG	MGS-9Cb
T91+SA213TP347H	手工氩弧焊	ERNiCr-3
T91+SA213T22	手工氩弧焊	E9015, B3L

4 热处理质量控制

预热处理和中间热处理

试验表明,为防止 SA-213T91 材料裂纹的产生,需要 200~250 °C 的预热温度。

中间热处理要在施焊后立即进行,且温度应该保持 350 °C,保温 2~3 h 后冷却。

焊后热处理温度对于 T91/P91 有很大的影响。由于热处理的影响,加入微量元素形成碳化物可以获得较优良的蠕变性能,这种效应在机械性能试

验中得到证实。

焊后热处理需要在焊后 24 h 内进行。

图 1 示出了 0 °C 和室温下夏氏冲击值不同消应力温度由 720 °C 的 14 J 变为 780 °C 时的 75 J。

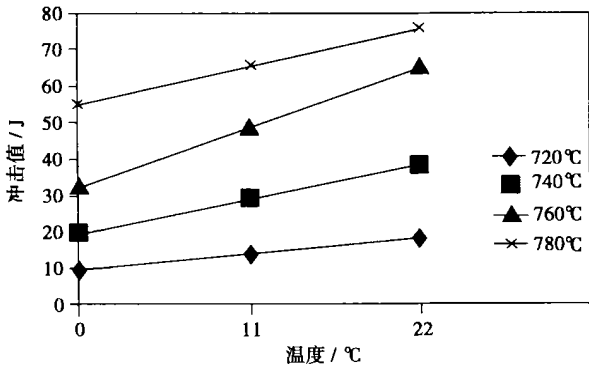


图 1 焊后热处理温度对于硬度的影响

同理, 适当的时间范围对消应力也是很重要的。

下列的消应力时间是推荐的最小值:

近似 8mm 厚时, 30 min;

8 ~ 20mm 时, 60 min;

20 ~ 60mm 时, 120 min;

大于 60mm 时, 180 min。

对于预热和后热典型的焊接热处理周期如图 2 所示。

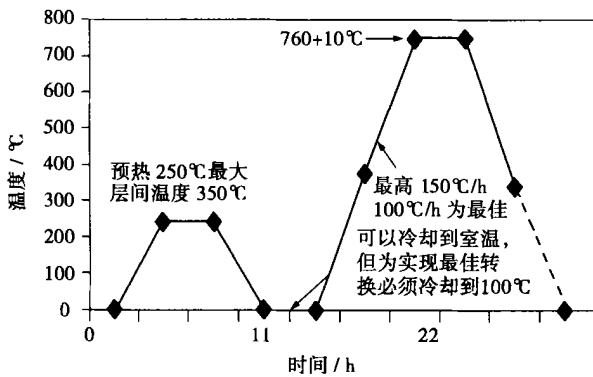


图 2 典型的焊接热处理周期

常用的钢材对接所采用的热处理温度和保温时

间可归纳如表 4 所示。

表 4 T91/P91 管焊接接头所采用的热处理时间、温度和方选择

对接材料	热处理温度/°C	热处理时间/min	热处理目的
T91+ T91	750~ 770	45	退火
T91+12Cr1MoV	730~ 750	45	退火
T91+SA-213TP304H	750~ 770	45	退火
T91+12Cr2MoWVTiB	750~ 770	45	退火
T91+SA213TP347H	750~ 770	45	退火

5 冷热加工质量控制

(1) 热加工: T91/P91 钢热加工温度范围是 950 ~ 1 100 °C, 热加工后可在空气中冷却。

(2) 冷弯: 当管子外径小于 60 mm, 弯管外弯侧纤维伸长率小于 15% 时可采用无芯冷弯。当弯管外弯侧纤维伸长率小于 5% 时, 弯后不做消除应力热处理; 但当外层纤维伸长率为 5% ~ 15% 时, 弯后应在 750 °C ± 20 °C 间进行消除应力热处理。

(3) 热弯: 由于材料金相组织为马氏体组织, 建议不采用 850 ~ 950 °C 之间热弯。一般当 R/D ≤ 5 时, 要求在 950 ~ 1 050 °C 进行热弯; 当 R/D > 5 时, 在 750 ~ 780 °C 之间进行热弯。要求终弯温度大于 800 °C。热弯后的热处理要求采用正火加回火, 正火: ≥ 1 040 °C 空冷; 回火: 730 ~ 780 °C 空冷。

综上所述, T91/P91 材料的原材料质量, 焊接质量, 热处理质量, 冷热加工质量等各项指标对于确保其高温性能具有重要的意义, 因此在生产中必须严格加以控制才能确保产品质量。

参考文献:

[1] ASME Boiler and Pressure Vessel Code Section II PartA [S] .
 [2] LEON ROSEN BROCK. Aerial overview of the welding of T91 materiel [J] . Australasian welding, 2001, 46(2): 5- 8.
 [3] 陈家伦, 于秀清. 用于锅炉的耐高温铁素体管材 T91/P91 性能综述 [J] . 锅炉制造, 1996(1): 15- 21.

(辉 编辑)

Concerning various oil-saving and alternative technologies for diesel engine fuel oil it is noted that HS-A diesel oil can replace No.0 diesel oil for use in high, medium and low-speed diesels and various diesel oil burners. The combustion mechanism and the variation of residual carbon value of the HS-A diesel oil are analyzed and some test conditions given. The synthesis technology of the above-mentioned oil features a simplified process, low investment and production cost.

Key words: diesel engine fuel oil, alternative technology, chemical additive, experimental research

125 MW 机组锅炉给水泵液力偶合器损坏原因分析— **An Analysis of the Causes Leading to the Damage of the Fluid Couplings of Boiler Feedwater Pumps for a 125MW Power plant** [刊, 汉] / LIU Gui-ping, LI Xian-bao (Jiaozuo AES Wanfang Power Plant, Zuozu, China, Post Code: 454172), JI Li-gang (Jiaozuo Brake Co. Ltd., Jiaozuo, China, Post Code: 454000) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 421 ~ 422

In a period of less than three months the fluid couplings of two boiler feedwater pumps for a 125MW unit had all broken down due to a furnace flame-out caused by boiler slag drop-thumping. A detailed analysis has shown that the failure condition and component damage are identical for each of the two cases of the coupling failure. The main cause can be attributed to an excessively high operating oil temperature of the couplings, which has exceeded the fusion temperature (130 °C) of the tungalloy of the coupling component. In view of the above, several measures were proposed to deal with the situation, such as a reduction of the coupling operating oil temperature, a lower speed adopted for conducting boiler load increase and decrease, a moderate range of adjustment for the coupling flow-guide tube, etc. The introduction of the above measures has resulted in an enhancement of the feedwater pump unit service life as well as the safety and economic operation of the boiler units. **Key words:** 125MW power plant, fluid coupling, flow-guide tube of a coupling

T91/P91 钢管在电站锅炉应用中的质量控制— **Quality Control of T91/P91 Steel Tubes Used in Utility Boilers** [刊, 汉] / YU Xiu-qing, CHEN Li-peng, CHEN Jia-lun (Harbin Boiler Co. Ltd., Harbin, China, Post Code: 150046) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 423 ~ 425

In conjunction with specific conditions of boiler fabrication T91/P91 steel tubes have been widely used for manufacturing utility boilers. The requirements of quality index control during the production process are discussed, which cover such a variety of aspects as raw materials, welding, heat treatment, cold and hot working, etc. **Key words:** raw materials, welding, heat treatment

VN 技术在容克式空气预热器密封改造中的应用— **The Use of VN (Vertical Layout of Air Heater and Nonadjustable Seal Partition Plate) Technology in the Technical Modification of Seals for Ljungstrom Regenerative Air Heaters** [刊, 汉] / GONG Han-qiang (Shengli Power Plant, Jinan, China, Post Code: 257087) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 426 ~ 427

Key words: air heater, VN (vertical layout of air heater and nonadjustable seal partition plate) technology, Ljungstrom air heater, seal modification

“曙光—机器设计”燃气轮机制造科研生产联合体— **“Machine Design - Aurora” - A Ukraine-based Gas Turbine Manufacturing Enterprise Known for its Integration of Scientific Research with Production** [刊, 汉] / TIAN Guang, KOU Dan, JI Gui-ming (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(4). — 428 ~ 429