

浅析 SA213-T92 钢焊接热处理工艺

罗启云 宋仁明 袁立中

青海火电工程公司 810003

摘要： 本文主要介绍了 SA213-T92（以下简称 T92）钢在火力发电机组中焊接热处理工艺方法。通过近年来我国大型、高效、环保型火力发电燃煤机组的不断发展，通过公司承接的超（超）临界火电机组安装中积累的实践经验、数据和技术资料，对 T92 钢的焊接热处理工艺方法进行分析与探讨。

关键词： SA213-T92 钢 焊接 热处理工艺

0 前言

近年来，我国火力发电机组已经进入了高参数、大型化发展。为了适应火力发电机组建设的需要，公司开展了针对 T92 钢的焊接试验研究工作，对 T92 钢的焊接性能，做了充分的研究和分析，制定了详细的焊接工艺评定方案，进行了工

艺评定工作。通过 T92 钢焊接的工艺评定工作和在实践应用，收集了技术数据，积累了一定的经验。在某电厂 660MW 超超临界机组工程锅炉过热器、再热器系统安装施工中得到了应用。

1 T92 钢焊接工艺原理

T92 钢是在 SA213-T91 钢的基础上经过改良而发展起来的，与 T91 相比，T92 钢加入了 1.5%~2.0%的钨，减少 0.5% 钼的含量以调整铁素体—奥氏体元素之间的平衡，并且加入了微量的合金元素硼。由于 W 的固溶强化和 Nb、V 的碳氮化物的弥散强化作用，600℃时许用应力比 P91 高

34%，在高温下（600℃及以上）可以有效地减低结构的设计壁厚，降低结构的整体重量，达到了 TP347 的水平，属于新一代高 Cr 马氏体热强钢，是可以替代奥氏体钢的候选材料之一。

1.1 T92 钢具有优良的常温及高温力学性能。通过加入 W 元素，显著提高了钢材的高温蠕变断裂强度，T92 钢的工作温度可达 630℃，其常温机械性能和化学成份如表 1 和表 2 所示。

表 1 T92 钢的主要化学成分

元素	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	W	Nb	N	B	AL	S	P
下	0.0	—	0.3	8.5	—	0.3	0.0	1.5	0.0	0.03	0.0	—	—	—
上	0.1	0.5	0.6	9.5	0.4	0.6	0.2	2.0	0.0	0.07	0.0	0.0	0.0	0.0

表 2 T92 钢常温机械性能

材料	屈服强	抗拉强度	延伸率(%)	弯曲角	硬度(HB)	Akv (EN 标准)
SA213 T92	440	620	20	180	≤250	41

1.2 T92 钢中碳的含量保持在一个较低的水平是为了保证最佳的加工性能，高温蠕变断裂强度非

常高，抗腐蚀性能好，提高了耐热钢的工作温度，减少了钢材的厚度，降低了钢材的消耗量，降低了管道热应力。

1.3 由于 T92 钢的含碳量低于 T91 钢材，是低碳马氏体钢，须在马氏体组织区焊接，其预热温度和层间温度可以大大降低，据相关资料显示，止

2 T92 钢焊接施工工艺流程及操作要

点

2.1 施工工艺流程

施工工艺流程如图 1 所示。

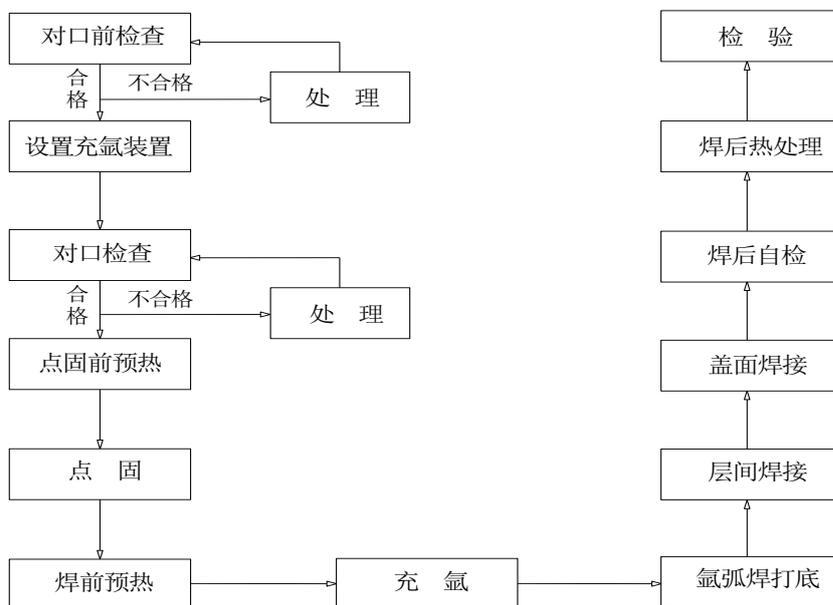


图1 焊接工艺流程图

裂预热温度为 100-250℃左右。

2.2 操作要点

2.2.1 T92 钢焊接工艺采用：就某 660MW 超超临界机组电厂，锅炉末级过热器出口联箱的焊口为例，焊口规格最小管径为 $\phi 60 \times 13.5\text{mm}$ ，采用 GTAW+SMAW 焊接工艺。

焊接焊丝采用 MTS616（型号为：ER90S-G（~B9）），焊条采用 MTS616（型号为：ER9015-G（~B9mod）），进行两层氩弧焊打底，氩弧焊打底及焊条填充第一层（道）时，为防止焊缝根部氧化，焊缝背面必须进行充气保护，焊接工艺参数见表 3。

表 3 T92 钢焊接工艺参数表

焊层(道)号	焊接方法	焊条(丝)		电流范围		电压范围(V)	焊接速度(cm/min)
		型(牌)号	规格(mm)	极性	电流(A)		
1~2	GTAW	MTS616	$\phi 2.4$	正接	65-85	10-14	60-80
3	SMAW	MTS616	$\phi 2.5$	反接	65-85	10-14	60-80
4	SMAW	MTS616	$\phi 2.5$	反接	75-90	20-24	60-80
盖面	SMAW	MTS616	$\phi 2.5$	反接	75-90	20-24	70-90

2.2.2 对口前检查

应符合《火力发电厂焊接技术规范》(DL/T869-2004)的相关规定和要求。

2.2.3 焊口点固

1) 点固采用 GTAW 方法,除坡口表面应清理出金属光泽以外,使用的焊丝表面也要用砂布清理干净,最后再用干布擦拭一次。

2) 点固前应在焊口两侧中间用弱火焰预热至 100~150℃,然后点固再保温缓冷,避免点固点冷却速度过快出现裂纹。点固材料、焊接工艺、焊工资质与正式施焊相同。焊口点固完成后应检查点焊处,若发现缺陷应及时用机械方法铲除、打磨后重新进行焊接。严禁在管子表面试验电流、乱引弧或任意焊接临时支撑物。

3) 起弧点固前,可开大氩气流量 10~15L/min,约 10~20s,再起弧把氩气流量恢复到 8~12L/min 正常值,再开始点固焊接。

4) 点固长度 10~15mm,厚度 2.5~3mm,点固位置以焊工方便为主。

5) 收弧时可采用回焊划圈加丝衰减熄弧,延缓约 10s 停气,以便保证点固点焊缝的质量。

2.2.4 焊前预热

1) 焊前预热可采用电加热或者弱火焰预热,预热温度为 100~150℃,恒温 3~5min。

2) 在焊接前,必须确保最低预热温度。

2.2.5 充氩

1) 管子组对前,利用水溶纸对两端管口进行封堵(每侧距管口 200~300mm 处),将焊前制作的专用氩装置插入焊缝坡口内进行充氩,其它焊口间隙用耐高温胶带粘牢,形成密封小室。

2) 待充氩一段时间后,确认氩气充满密封气室后,撕开准备焊接的部位,方可氩弧焊打底。

3) 充氩时氩气流量控制在 6~8L/min,开始一刹那可加大氩气流量 10~15L/min,在氩弧焊施焊开始后,充氩流量应马上恢复正常流量。

4) 在氩弧焊打底过程中,应经常检查气室中氩气的充满程度,随时调节充氩流量。

5) 氩弧焊施焊临近结束时,即氩弧焊封口时,

由于气室内氩气均从此口冲出,因此,应减小充氩流量。

2.2.6 氩弧焊打底

1) 焊丝选用 MTS616 ϕ 2.4mm,具体焊接参数参见表 3。

2) 引弧时应提前 1.5~4s 输送氩气,排除氩气输送软管内及焊口处的空气;熄弧后,应适当延时 5~15s 熄气,保护尚未冷却的焊丝及熔池,降低焊缝表面氧化程度。

3) 氩弧焊打底过程中,用聚光手电筒仔细检查根部焊缝,确保无可看缺陷,打底完成并经目测检查合格后,立即进行次层的焊接。

4) 氩弧焊打底 2 层,每层厚度应为 2.4~3mm,层间温度控制在 200~250℃。

2.2.7 层间及盖面焊接

1) 层间与盖面焊采用焊 SMAW 方法;焊条选用 MTS616 ϕ 2.5mm,具体焊接参数参见表 3。

2) 焊缝宜采用二人对称焊。

3) 施焊过程中应始终保持层间温度为 200~250℃。

4) 施焊时,应严格控制线能量,不能超过 20KJ/cm。

5) 单层焊道的厚度不大于所用焊条直径,尽可能采用窄道焊。

6) 多层多道焊接头应错开,严禁同时在一处收弧,以免局部温度过高影响施焊质量。

7) 焊接过程中,认真观察熔化状态,应特别注意焊接接头和收弧质量,收弧时应将熔池填满,避免以出现弧坑裂纹。

2.2.8 T92 钢焊后热处理工艺

焊后热处理工艺参数主要包括加热方法、热电偶的选用和固定、升降温速度、恒温温度、保温时间、加热方法等,这些因素都会影响焊后热处理的效果。因此,在进行焊后热处理时必须对这些工艺参数进行优化,合理的选择和确定焊后热处理工艺参数。T92 钢焊后热处理工艺曲线图见图 2。

1) T92 钢焊后热处理加热方法,采用远红外加热或中频感应加热方式进行。

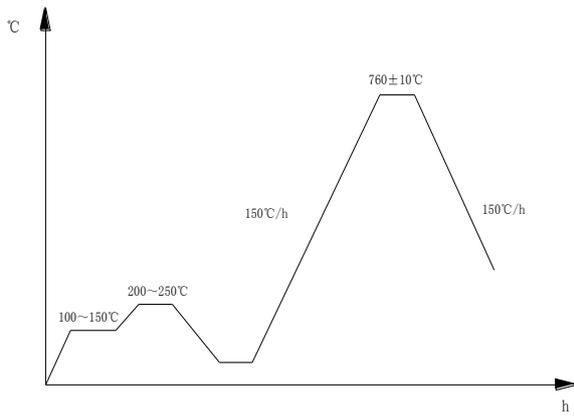


图2 T92钢焊接热处理曲线图

2) 热电偶的选用和固定

(1) 远红外加热时，使用K型铠装热电偶作为温度控制元件来监控测温。

(2) 铠装热电偶采用绑扎式，铠装热电偶的热端与管壁必须紧密贴牢，热电偶热端与加热器之间必须使用隔热材料做好隔热措施，确保有效隔热，避免加热器的直接热辐射。

(3) 热电偶的合理布置是正确反映部件温度的前提。根据其作用，可以分为控制热电偶和监测热电偶，控温热电偶沿着焊缝中心线布置，同时位于对应控温加热区中心加热带的中央，每个平面上布置的控温热电偶数量取决与部件的具体尺寸、空间布置和几何形状等。T92小径管垂直管件上热电偶布置见图3所示，

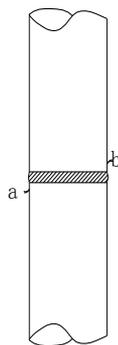


图3 垂直管件热电偶布置图

其中a为监控热电偶，b为控温热电偶。

3) 焊后热处理升降温速度

T92钢热处理升温速度：300℃以下，且≤150℃/h；

降温速度：300℃以上，且不大于150℃/h，300℃以下拆除保温和加热器在相对静止的空气中冷却（或在保温层内冷却至室温）。

4) 恒温温度

T92钢焊后热处理恒温温度为760±10℃，焊接（热处理）技术人员在热处理实施之前应收集同一批焊材熔敷金属的Mn、Ni含量及Ac₁相变温度信息，必要时进行分析测试。根据Mn、Ni含量或Ac₁相变温度在760±10℃范围内调整热处理的控温温度，如Ni+Mn<1.0%可取770℃即上限，如1.0%≤Mn+Ni<1.5%控温温度为760~765℃，但控温温度绝对不能超过770℃这一上限。

5) 保温时间

以焊件内外壁温差>20℃为准，T92钢保温时间为每增加1mm厚度，保温时间增加10min，且≤1h。热处理温度冷却至300℃以下可不作控制。

3 焊接接头质量检验

3.1 施焊完成后，焊工应按DL/T869-2004相关规定的要求对焊接接头的外观质量进行100%自检。

3.2 热处理完毕待焊件冷却至常温后，应对母材区、热影响区和焊缝区每个位置进行硬度测试，其平均值作为该区域的硬度值。要求焊缝硬度均值不低于母材硬度均值，各区域最高硬度值不超过270HB，最低硬度值不小于180HB。硬度检验偏低时，原则上应割口重新焊接，硬度值偏高且能断定为回火不足造成的，应重新进行一次焊后高温回火处理。

3.3 焊缝的无损探伤按《钢制承压管道对接焊接接头射线检验技术规程》（DL/T821-2002）和《管道焊接接头超声波检验技术规程》

（DL/T820-2002）进行。

4 意见及建议

4.1 焊接工艺中预热温度，层间温度和焊接线能量（焊道层厚）对T92钢的焊接接头性能的影响关系密切。过高的预热温度和层间温度及过大的焊接线能量（过厚的焊道层）会使T92钢焊接接

头的韧度下降，会导致焊缝和热影响区出现 δ 铁素体而使蠕变断裂强度恶化。

4.2 热处理方法、热处理温度及热处理温度的精确控制将直接影响 T92 钢焊接接头的韧度性能。

4.3 只有彻底改变传统耐热钢焊条电弧焊时采用

的大电流厚焊道的焊接陋习，严格控制过高的预热温度和层间温度及过大的焊接线能量，改进热处理工艺和对温度的精确控制，才能从根本上解决 T92 小径管焊接时应焊接工艺不当可能产生的主要问题。

参考文献

- 【1】 《新型耐热钢焊接》 杨富、章应霖等编著 中国电力出版社出版 2007
- 【2】 《T/P92 钢焊接指导性工艺》 国电焊接信息网 2007
- 【3】 青海火电工程公司《SA213-T92 钢焊接工艺评定》 2008
- 【4】 《火电机组焊接热处理》 中国电机工程学会电站焊接专业委员会 2009