

钢 102 焊后热处理工艺优化的研究

太原锅炉集团有限公司工艺标准处 (山西 030021) 刘速志 田文珍

【摘要】 钢 102 为低合金贝氏体型耐热钢, 该钢具再热脆化敏感性。本文采用 Gleeble-1500 模拟实际接头 HAZ, 研究该钢种的再热脆化敏感温度, 并用实际钢 102 焊接接头试验对回火参数进行优化, 从而为制定合理的焊后热处理工艺奠定了基础。

钢 102 即 2Cr-1/2MoWVTiB 型 12Cr2MoWVTiB 钢, 是我国 60 年代末至 70 年代中期研制成功的多元微合金化低合金贝氏体型耐热钢, 采用了固溶强化、稳定碳化物相、强化晶界等多种强化手段, 具有良好的综合力学性能。由于各种合金元素的适当配合, 使钢 102 具有较高的热强性, 其热强性能和使用温度超过国外同类钢种, 因此钢 102 可用于锅炉过热管屏、再热器管及主蒸汽管道。

该钢具有较强的再热裂纹敏感性, 目前在这种钢的焊接及焊后热处理中仍存在许多问题, 焊接质量事故时有发生。例如, 某电厂的 10~25t/h 锅炉末级过热器出口集箱管 ($\phi 51\text{mm} \times 7\text{mm}$ 钢 102 管) 发现裂纹, 裂纹出现在钢 102 管一侧的焊接接头 HAZ, 呈沿晶开裂, 直接危及设备的安全使用。据分析, 这些裂纹属再热裂纹, 是焊后热处理规范不当所致。有关钢 102 的再热裂敏感性以及钢 102 的热处理工艺规范, 国内并无资料报道。本文主要研究采用 HS-102 气体保护焊丝焊接, 钢 102 焊后热处理工艺优化问题。

一、试验材料

试验材料为钢 102 钢管, 规格为 $\phi 63\text{mm} \times 8\text{mm}$ 。钢管基材化学成分见表 1。

表 1 钢 102 基材化学成分 (质量分数) (%)

规格/mm	C	Si	Mn	S	P	Cr
63×8	0.14	0.55	0.50	0.013	0.011	1.56
规格/mm	Mo	W	V	Ti	B	Cu
63×8	0.56	0.40	0.35	0.12	0.003	0.11

低合金耐热钢焊接接头消除应力裂纹 (SR 裂纹), 主要取决于钢中碳化物形成元素的特性及含量, 再热裂纹指数 $\Delta G > 0$, $P_{\text{SR}} > 0$ 时, 具有再热裂纹敏感性。

$$\Delta G = \text{Cr} + 3.3\text{Mo} + 8.1\text{V} - 2 \quad (1)$$

$$P_{\text{SR}} = \text{Cr} + \text{Cu} + 2\text{Mo} + 10\text{V} + 7\text{Nb} + 5\text{Ti} - 2 \quad (2)$$

根据式 (1)、(2) 及表 1 计算, 试验用钢管 $\Delta G = 4.24 > 0$, $P_{\text{SR}} = 4.89 > 0$, 因此可判定该试验钢种具有再热裂纹敏感性。

根据晶间杂质析集学说: 再热裂纹与再热脆化有相同的形成机理, 文献资料研究结果表明, 再热裂纹与再热脆化的敏感温度大致相同。本文在现有的试验材料 (国内现有钢 102 均为薄壁无缝钢管, 无法制取再热裂纹试样) 及试验条件下, 主要研究再热脆化, 避开再热脆化敏感温度进行高温回火参数的优化。

二、试验方法

1. 再热脆化试验

为了研究焊接 HAZ 韧性与回火温度之间的关系, 我们进行了热模拟试验, 实际焊接接头的 HAZ 粗晶区是一个很小的区域, 再热脆化及再热裂纹就出现在这个区域。本试验在 $\phi 63\text{mm} \times 8\text{mm}$ 管壁上制取 $6\text{mm} \times 11\text{mm} \times 80\text{mm}$ 热模拟试样, 采用 Gleeble-1500 模拟实际接头 HAZ 粗晶区, 试验后进行组织分析, 并与实际接头 HAZ 组织对照, 组织吻合后确认模拟参数为: 升温时间 4s, 峰值 1315℃, 峰值不停留, 峰值至 1100℃冷却时间 2s, 1100~800℃冷却时间 7s, $t_{8/5}$: 15s, 500~300℃冷却时间 60s。

热模拟试验结束后, 试样经不同温度回火, 回火后试样进行室温冲击试验, 试验按 GB2650 进行。

2. 高温回火参数优化试验

(1) 实际管接头试验 试验选用的接头形式为大型锅炉厂实际生产中所采用的对接接头, 坡口形式及焊接工艺参数见表 2, 坡口及焊道排列见图 1。

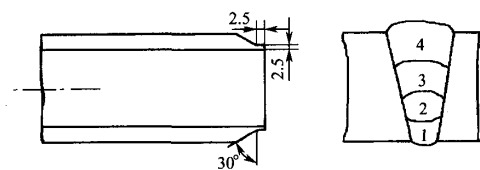


图1 坡口及焊道排列

表2 焊接工艺参数

焊接顺序	焊接方法	焊接电流/A	电弧电压/V	焊接时间/s	摆动频率次/周
1	TIG	130	—	90	0
2	MAG	100	22	55	0
3	MAG	100	22	99	58
4	MAG	100	22	110	69
焊接顺序	摆动幅值/mm	温度/℃	干伸长/mm	保护气体	
1	0	15	—	Ar	
2	0	150	14	90% Ar +	
3	10~12	220	14	10% CO ₂	
4	16~17	300	14	—	

(2) 高温回火试验 实际生产中,在达到技术要求的前提下,主要考虑的是效率和效益问题,因此对高温回火参数主要考虑回火温度。本试验在再热脆化试验的基础上,避开再热脆化敏感温度,进行高温回火参数优化。

(3) 冲击试验 回火后试样进行冲击试验,结果如图2所示。

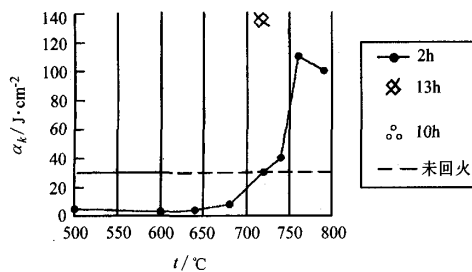


图2 冲击韧度与回火温度的关系

三、试验结果及分析

1. 再热脆化试验结果分析

从图2可以看出,钢102在回火时间(2h)一定时,回火温度在500~720℃时均有脆化的趋向,冲击韧度差,均低于未回火试样冲击韧度;在740~790℃回

火,冲击韧度较好,高于未回火试样,这说明钢102在一定温度范围内确实具有再热脆化现象。

为了进一步确定再热脆化的敏感温度区间,我们分别做了600℃及720℃延长回火时间的对比试验,试验结果见图2。由试验结果可知:在同一回火温度下,延长回火时间即提高回火参数,冲击韧度得到一定程度的改善,但600℃经10h回火,冲击韧度能仍很差,说明600℃是再热脆化敏感温度;720℃经13h回火,冲击韧度得到很大程度的改善,这说明720℃不是再热脆化敏感温度,在适当提高回火参数情况下,冲击韧度可得到改善。因此,再热脆化敏感温度应为500~700℃,在制定热处理工艺时应避开这一敏感温度区间,在740~790℃为宜,760℃为最佳。

2. 高温回火参数优化试验结果及分析

图3结果表明:在740~760℃进行高温回火,基材、熔合线处冲击韧度较好,高于焊前状态基材的韧性,焊缝冲击韧度稍低。在790℃进行高温回火,基材、焊缝处冲击韧度都比焊前状态基材的冲击韧度低。由此可见回火温度应在740~760℃之间,本试验结果与热模拟试验结果基本一致。

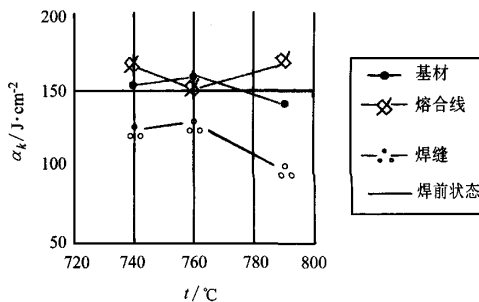


图3 实际接头冲击韧度与回火温度的关系

四、最佳热处理制度的确定

1. 最佳热处理参数的确定

经以上试验,确定钢102最佳消应热处理参数760℃×2h,在此规范下回火,可避开再热脆化敏感温度,接头可获得较好的韧性。

2. 钢102接头综合力学性能

按钢102焊接工艺规范焊接实际接头,按最佳热处理工艺参数760℃×2h进行回火,并做接头综合力学性能试验,结果见表3、表4。

(下转第42页)

工艺,但在实际生产过程中碰到了很多问题,在不断摸索总结的过程中,我们先后采用了如附表所示的两种方法。

我们最先使用的是第一种方法,下表列出了使用各种银钎料钎焊的效果及对相应银钎料的成分的化验结果,从中可以看出这种焊接方式对钎料中的含银量要求很高,含银量必须大于 70% (质量分数),焊接性能才达到我们的要求。而国内同一牌号的钎料含银量都不同,只有长沙电工合金厂生产的钎料符合我们的要求,可是这个厂现已处于停产状态,致使钎料的购买很困难。

另外,这种焊接方法操作难度大,对焊工的技术要求高,产品合格率比较低,因此必须要找到一种更好的办法来解决这些问题。

两种焊接方法

第一种方法				第二种方法
待焊材料	45(T235)-YG8			同左
焊剂	101(飞机牌)上海斯米克焊材有限公司			同左
焊条	长沙电工合金厂	长沙电工合金厂	上海焊接材料厂	HL308
成分(质量分数,%)	Ag69.04	Ag70.11	Ag67.96	对银焊条成分无特殊要求
HL308	Zn4.18	Zn3.92	Zn	
	Cu26.59	Cu25.78	Cu30.82	
焊前准备	YG8 合金条焊面磨出,45 钢(T235)基体开缺口,然后丙酮清洗			在原来基础上增加将硬质合金待焊表面上黄铜(薄薄一层)
焊接方法	手工气焊			同左
焊接性能	焊接性能一般	焊接性能较好	焊接性能差	焊接性能良好
	温度偏高	温度较低	温度高	温度较低
焊接质量	质量一般	质量较好	质量差	质量好
	变形一般	变形小	变形较大	变形小
	局部未焊透	基本焊透	大面积虚焊	焊接牢固
结果	尚能满足工艺要求,但很难操作	较好满足工艺要求但操作难度大,合格率 50%~60%	不能满足工艺要求	能很好满足操作要求,操作难度一般,合格率在 95%以上

通过不断试验总结,终于试验出第二种方法,即:焊接前在硬质合金待焊表面涂上薄薄的一层黄铜,使钎焊母材成为 45 钢与黄铜,取得了很好的效果。增加这道工序的依据有以下几点:

- (1) 黄铜具有良好的钎焊性。
- (2) 黄铜与硬质合金的亲合力较好。
- (3) 碳钢与黄铜的焊接性优于与硬质合金的焊接性。

通过以上的改进,取得了良好的效果,不但对银钎料的要求降低了,而且还降低了焊接难度,大大提高了产品合格率。此外,托片磨损后,还可以重新修磨合金面,使托片重复使用,大大降低了成本。

6. 注意事项

- (1) 焊前一定要认真用丙酮清洗待焊表面,去钝化层。
- (2) 黄铜涂层要均匀,高出部分要磨去。
- (3) 焊接要平稳,合金加热要缓慢,不能过热。
- (4) 为防基体变形及焊接退火,焊接加热时火焰应

偏向合金方向。 (20041018)

(上接第 38 页)

表 3 接头综合力学性能试验结果

接头拉伸 δ_5 /MPa	接头弯曲性能 (弯角 50°)
615 610/613	面弯 合格
(断于基材)	面弯 合格

表 4 接头综合力学性能试验结果

接头	冲击 A_{KV} /J	性能 a_{KV} /J·cm ⁻²
焊缝	39 57 59/52	98 142 148/129
熔合线	64 47 74/62	160 118 185/154
基材	64 60 66/63	160 150 165/158
焊前状态基材	62 60 62/61	155 150 155/153
技术要求	27	34

由表 3、表 4 结果可见:按推荐的热处理规范进行消应热处理,钢 102 接头综合力学性能良好,满足了技术要求。

五、结论

(1) 钢 102 具有再热脆化敏感性,敏感温度范围为 500~700℃。

(2) 钢 102 焊接接头最佳消应热处理规范为 760℃×2h。 (20050117)