

# 15CrMoR 低合金耐热钢焊接工艺评定

陈文静, 屈金山, 钟 玉, 潘全喜

(西华大学 材料科学与工程学院, 四川 成都 610039)

**摘要:**根据 15CrMoR 低合金耐热钢的化学成分及它的碳当量计算值,分析了该材料的焊接裂纹敏感性。采用 V 型坡口对接试件、A302 焊条进行了焊接工艺试验。试验结果表明,采用 A302 焊条焊接 15CrMoR 低合金耐热钢,焊后不必进行热处理就能满足 JB4708-2000 焊接工艺评定的要求,试验证明所采用的焊接工艺可应用到生产实践中。

**关键词:**耐热钢;碳当量;焊接裂纹;焊接工艺

**中图分类号:** TG457.11

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2303(2006)06-0066-02

## Welding procedure of low alloy heat-resistance steel 15CrMoR

CHEN Wen-jing, QU Jin-shan, ZHONG Yu, PAN Quan-xi

(School of Materials Science and Engineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

**Abstract:** Based on the compositions of 15CrMoR and its carbon equivalent, the welding crack sensibility of the heat-resistant steel is analyzed. The welding process test has been carried out by means of V type bevel butt welding with electrode A302, which shows it can meet the requirements of the standard JB4708-2000 without heat treatment after welding and is applicable for welding production.

**Key words:** heat-resistant steel; carbon equivalent; welding crack; welding procedure

## 0 引言

某公司生产制作的压力容器材质为 15CrMoR 低合金耐热钢板,厚度 16 mm。该容器所装的介质为变换水蒸气。由于 15CrMoR 材料是该公司首次使用的低合金耐热钢,属 IV 类材料,在焊接时易出现冷裂纹、焊接热影响区硬化和热处理后产生再热裂纹等问题<sup>[1-2]</sup>。因此在制定焊接工艺方案时,根据该公司的实际情况和整台设备在热处理后可能出现的焊接缺陷,制定了相应的返修焊接工艺,并进行了焊接工艺评定。生产实践证明制定的返修焊接工艺可行。

## 1 碳当量计算

含有 Cr, Mo 的珠光体耐热钢具有明显的淬硬倾向,焊接时在焊缝和热影响区极易出现硬脆的马氏体组织,产生很大的内应力,导致焊接接头热影响区产生裂纹。如果焊接线能量过大,热影响区晶粒明显粗化,在焊接残余应力的作用下,焊缝热影响区的粗晶区还易出现再热裂纹。另外,在焊后热处

理过程中也有产生再热裂纹的可能,可以根据该钢材化学成分确定的碳当量间接评判 15CrMoR 钢的焊接性<sup>[1-5]</sup>。根据日本 JIS 和 WES 推荐的碳当量公式

$$C_{eq} = C + Mn/6 + Si/24 + Ni/40 + Cr/5 + Mo/4 + V/14, \quad (1)$$

当  $C_{eq} < 0.46\%$  时,钢材的淬硬倾向不明显,其焊接性优良;当  $C_{eq} = 0.46\% \sim 0.52\%$  时,钢材的淬硬倾向逐渐明显,其焊接时需适当采取相应的措施;当  $C_{eq} > 0.52\%$  时,钢材的淬硬倾向强,属于较难焊接的材料<sup>[1,6-7]</sup>。

将 15CrMoR 钢的化学成分(见表 1)代入式(1)得

$$C_{eq} = 0.14 + 0.47/6 + 0.21/24 + 1.1/5 + 0.53/4 = 0.58\%。 \quad (2)$$

表 1 15CrMoR 的化学成分 %

| 材料牌号    | $\omega(C)$ | $\omega(Mn)$ | $\omega(Si)$ | $\omega(P)$ | $\omega(S)$ | $\omega(Cr)$ | $\omega(Mo)$ |
|---------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|
| 15CrMoR | 0.140       | 0.470        | 0.210        | 0.017       | 0.015       | 1.100        | 0.530        |

可见,15CrMoR 钢有很大的淬硬性,如果没有特殊的控制措施,很难避免焊接裂纹的出现,同时返修焊接时拘束度较大,易出现较大的拘束应力。因此,在焊接 15CrMoR 钢时要采取适当的工艺措施和选择合适的焊接材料,才能避免焊接裂纹出现。

## 2 返修焊接工艺的确定

### 2.1 焊接材料的选用

通过分析 15CrMoR 焊接性可知,焊接材料的

收稿日期:2006-03-03;修回日期:2006-05-12

作者简介:陈文静(1971—),女,四川内江人,硕士,主要从事材料焊接工艺和焊接接头质量控制方面的研究工作。

选择是非常重要的。由于补焊后不能再进行焊后热处理,加之补焊时焊接拘束度大,因此选用奥氏体焊条焊接。用奥氏体焊条焊接珠光体耐热钢属于异种钢焊接。如果选用 18-8 型焊条可以防止裂纹的产生,但是焊缝区易产生脆硬的马氏体组织;如果选用 25-20 型焊条,焊缝易形成纯奥氏体组织,易出现热裂纹<sup>[2]</sup>。为了避免上述问题的出现,选用了 A302 焊条进行焊接,其化学成分如表 2 所示。

表 2 焊条 A302 的化学成分 %

| 牌号   | $\omega(\text{C})$ | $\omega(\text{Mn})$ | $\omega(\text{Si})$ | $\omega(\text{S})$ | $\omega(\text{P})$ | $\omega(\text{Cr})$ | $\omega(\text{Ni})$ | $\omega(\text{Mo})$ | $\omega(\text{Cu})$ |
|------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| A302 | 0.066              | 1.040               | 0.630               | 0.009              | 0.027              | 23.940              | 12.620              | 0.430               | 0.170               |

## 2.2 焊前预热

由于该类钢的淬硬倾向大,且异种钢焊接时接头各区域金属热膨胀系数不同,如果焊接时冷却速度较大则易形成马氏体组织,导致裂纹的产生。因此,焊前预热非常重要,本试验采用的预热温度 200℃~250℃,预热范围在坡口两侧 100~150 mm。

## 2.3 焊接工艺参数

通过反复试验,最终确定的焊接工艺参数见表 3。

表 3 焊接工艺参数

| 焊层    | 焊接方法  | 焊材牌号<br>规格          | 焊接电流<br>I/A | 焊接电压<br>U/V |
|-------|-------|---------------------|-------------|-------------|
| 第 1 层 | 焊条电弧焊 | A302, $\varphi$ 2.5 | 60~80       | 20~22       |
| 第 2 层 | 焊条电弧焊 | A302, $\varphi$ 3.2 | 100~120     | 22~24       |

注:采用直流反接

## 3 焊接工艺评定

(1)按 JB4708-2000 标准,选用厚 16 mm 的 15CrMoR 板状对接焊接头进行焊接工艺评定。

(2)接头坡口形式如图 1 所示,该坡口由机械加工方法得到,相关参数标在图中。

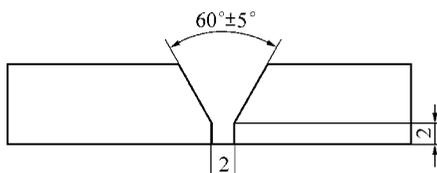


图 1 坡口形式

(3)焊前应仔细清理坡口表面及两侧各 50 mm 范围内的油污、水和铁锈等杂质。

(4)焊接材料选用 A302 焊条,焊接前对焊条应进行 200℃~250℃烘焙并保温 1~2 h,然后放在保温筒内,随用随取。

(5)定位施焊前要进行预热,预热范围在坡口两侧 100~150 mm,预热温度为 200℃~250℃。

(6)定位焊后立即清除熔渣,测量温度,符合层

间温度要求后立即施焊,焊接时如冷却速度过快,则易形成淬硬组织,如果拘束力较大,则易导致冷裂纹的产生,因此在施焊时始终保持层间温度不低于预热温度。

(7)背面采用机械方法清根。

(8)焊后立即用石棉毡缠绕焊缝,保温并缓冷 1 h 以上,然后去掉石棉毡在空气中冷却到室温。

(9)焊接工艺评定参数如表 4 所示。

表 4 焊接工艺参数

| 焊层    | 焊接方法      | 焊材牌号<br>规格          | 焊接电流<br>I/A | 焊接电压<br>U/V | 焊接速度<br>$v/\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$ |
|-------|-----------|---------------------|-------------|-------------|---|
| 第 1 层 | 焊条<br>电弧焊 | A302/ $\varphi$ 3.2 | 100~120     | 22~24       | 6~7                                       |
| 其余各层  |           | A302/ $\varphi$ 4.0 | 130~150     | 24~26       | 6~7                                       |
| 背面层   |           | A302/ $\varphi$ 4.0 | 130~150     | 24~26       | 6~7                                       |

注:采用直流反接。

(10)试件缓慢冷却后做 100%X 射线探伤。焊接工艺评定结果见表 5。

表 5 焊接工艺评定结果

| 射线探伤 | 拉力试验<br>JB4730-94<br>$\sigma_b/\text{MPa}$ | 面弯,背弯试验<br>$D=4a, 180^\circ$ | 冲击试验(常温) $W_u/J$<br>焊缝区 热影响区 |                |
|------|--|------------------------------|------------------------------|----------------|
| 合格   | 581/577                                    | 合格                           | 70/76/76<br>74               | 64/58/50<br>57 |

## 4 结论

(1)该工艺获得的焊接接头各项性能指标均满足 JB4708-2000 焊接工艺评定的要求,可以应用到生产实践中。

(2)只要焊接材料选择得当,应用正确的焊接工艺,焊后不需要热处理,就可以得到性能满足要求的焊接接头。

## 参考文献:

- [1] 宋天虎.焊手册(第 2 卷)——材料的焊接/中国工程学会焊接学会编(第 2 版)[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [2] 钱昌黔.耐热钢焊接[M].北京:水利电力出版社,1988.
- [3] 李亚江,王娟,刘鹏.异种难焊材料的焊接及应用[M].北京:化学工业出版社,2004.
- [4] 李亚江,王娟,刘鹏.低合金钢焊接及工程应用[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [5] 李亚江.特殊及难焊材料的焊接[M].北京:化学工业出版社,2003.
- [7] 周振丰,张文钺.焊接冶金与金属焊接性(第二版)[M].北京:机械工业出版社,1992.
- [6] 陈路.工业焊接技术与质量试验检测评定标准实用手册[M].北京:北京电子出版物出版中心,2003.
- [8] JB4708-2000 钢制压力容器焊接工艺评定[S].北京:国家机械工业局,国家石油和化学工业局,2000.