

12Cr1MoVG耐热钢管道 焊接工艺研究

中国核工业华兴建设有限公司 (江苏仪征 211900) 路书永 蒋冬冬

【摘要】某煤化工项目的高温高压蒸汽管道,材质为12Cr1MoVG,属珠光体型耐热钢,CE=0.41%~0.67%,焊接性较差。通过分析,选用ER55-B2MnV焊丝及E5515-B2-V焊条进行焊接。根据现场条件,设置不同的焊前预热及焊后热处理条件进行试验,最终确定了合理的焊接工艺及热处理工艺,并成功地应用到工程上,取得了很好的效果。

1. 概述

近年来,国内大型化工项目日趋增多,其中安装工程涉及到高压蒸汽管道的焊接。如国内某化工厂年产20万t乙二醇项目,其高温高压蒸汽管道设计温度为495℃、压力为5.88MPa,材质为12Cr1MoVG。

为了满足项目需求,公司组织了耐热钢管道焊接技术研究工作,调研国内外耐热钢管道焊接技术的发展状况,通过开展焊接工艺试验,优化焊接工艺,最终确定了合适的焊接工艺及热处理工艺,并成功地将工艺应用到工程项目上。

2. 12Cr1MoVG钢焊接性分析

(1) 化学成分及力学性能 12Cr1MoVG钢的化学成分及力学性能分别如表1、表2所示。

表1 12Cr1MoVG钢的化学成分(质量分数) (%)

C	Mn	Si	Cr	Mo	V
0.08	0.4	0.17	0.90	0.25	0.15
0.15	0.7	0.37	1.20	0.35	0.30

表2 12Cr1MoVG钢的力学性能

抗拉强度 /MPa	屈服强度 /MPa	断后伸长率A (%)		冲击吸收能量A _{KV} /J	
		纵向	横向	纵向	横向
470~640	≥255	21	19	40	27

由表1中数据可见,12Cr1MoVG属于1Cr-

0.5Mo-V型耐热

钢,金相分析

(见图1)显示为珠光体型。

Cr、Mo使得钢的抗氧化性、高

温强度得到显著改善,少量的V可进一步增加钢的热强性。

(2) 焊接性的间接判断法 根据国际焊接协会碳当量公式计算材质的CE=0.41%~0.67%。由此可见,12Cr1MoVG钢的焊接性较差。

(3) 热影响区硬化及冷裂纹 Cr、Mo、V等合金元素的加入,一方面提高了钢材的性能,另一方面也对钢材的焊接性产生了很大的影响。冷却速度过大,很可能形成马氏体比例较高的脆硬组织,加上厚壁管道的拘束应力较大和氢的扩散聚集,很容易在热影响区引起冷裂纹。冷裂纹主要和拘束应力、氢的来源、组织淬硬倾向三个方面有关。

第一,拘束应力:是在焊接时造成的收缩力,由于受到周围构件的拘束,在焊接区产生拘束应力。收缩时受拘束作用产生的应力大部分集中在容易变形的焊接区,从而产生很大的拘束应力。拘束应力和拘束度成正比,而拘束度和母材的厚度有关。

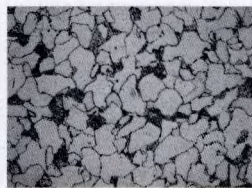


图1 12Cr1MoVG金相组织500×

本文获得“中国安装协会焊接专业委员会2012年年会暨焊接标准及先进焊接技术研讨会”论文大赛三等奖。

第二, 氢的来源主要有: ①焊条药皮中的有机物。②药皮成分含有的结晶水。③硅酸钠、硅酸钾等粘结剂中含有的化学水分。④接头表面的潮气、油脂、垢及锈斑等, 这些氢源受电弧热而分离氢离子并溶解在熔池中, 在冷却过程中溶解氢向焊缝金属及附近的母材扩散, 使塑性下降并与焊接应力作用相叠加, 是造成裂纹的原因。

第三, HAZ组织有淬硬倾向: 12Cr1MoVG钢在焊接热循环作用下, 热影响区的组织分布是不均匀的, 熔合区和过热区有严重的晶粒长大现象, 是整个焊接接头的薄弱环节。对于合金元素较多、淬硬倾向较大的钢种, 将出现淬火马氏体组织, 不仅使焊接接头塑性降低, 而且容易产生裂纹。

(4) 再热裂纹 再热裂纹的产生与钢种的合金元素Cr、Mo、V有关, 其形成温度一般在500~

700℃, 在焊后热处理或长期高温工作中, 在热影响区熔合线附近的粗晶区内会发生这种裂纹。

3. 焊前准备

(1) 焊材选用 为保证焊缝性能同母材匹配, 具有必要的高温抗氧化性和热强性, 焊缝成分应与母材相近, 选用ER55-B2MnV焊丝及E5515-B2-V焊条进行焊接。低氢型焊条的选用可有效地避免冷裂纹的产生, 焊接材料的化学成分如表3所示。

(2) 热处理方案的确定 根据现场条件, 设置不同的焊前预热条件及焊后热处理条件进行试验: $\phi 89\text{mm} \times 6\text{mm}$ 管道分不同热处理工艺或不采取热处理, $\phi 219\text{mm} \times 22\text{mm}$ 厚壁管道分为不同热处理工艺, 检查裂纹发生, 分析不同条件下焊缝的力学性能及金相组织变化。具体热处理方案如表4所示。

表3 焊材的化学成分(质量分数)

焊材牌号	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V
ER 55-B2MnV	0.06~0.10	1.20~1.60	0.60~0.90	≤0.030	≤0.025	≤0.25	1.00~1.30	0.50~0.70	0.20~0.40
E5515-B2-V	0.05~0.12	≤0.90	≤0.60	≤0.035	≤0.035	—	0.80~1.50	0.40~0.65	0.10~0.35

表4 热处理方案

序号	材料	规格/mm × mm	焊接方法	焊前预热	焊后热处理/℃
1	12Cr1MoVG	$\phi 89 \times 6$	GTAW	是	720~750
2	12Cr1MoVG	$\phi 89 \times 6$	GTAW	是	300~350
3	12Cr1MoVG	$\phi 89 \times 6$	GTAW	否	焊后保温
4	12Cr1MoVG	$\phi 89 \times 6$	SMAW	否	焊后保温
5	12Cr1MoVG	$\phi 89 \times 6$	SMAW	是	300~350
6	12Cr1MoVG	$\phi 219 \times 22$	GTAW/ SMAW	是	720~750
7	12Cr1MoVG	$\phi 219 \times 22$	GTAW/ SMAW	是	500~550
8	12Cr1MoVG	$\phi 219 \times 22$	GTAW/ SMAW	是	300~350

4. 焊接工艺试验

(1) 坡口制备与组对 $\phi 89\text{mm} \times 6\text{mm}$ 管道下料采用砂轮切割机, $\phi 219\text{mm} \times 22\text{mm}$ 管道采用锯床下料。坡口采用机械加工方法, 发现有裂纹、分层等缺陷, 必须及时清除。坡口组对前, 将坡口两侧25mm范围内的铁锈等清理干净, 直到呈现金属光泽。

定位焊缝要均匀分布, 其尺寸如表5所示。正式焊接需要预热时, 定位焊缝也应按相同的要求预热, 取预热温度的上限, 预热范围为从焊缝中心向两侧各100mm。

表5 定位焊缝尺寸

焊件尺寸/mm × mm	焊缝厚度/mm	焊缝长度/mm	焊缝数量
$\phi 89 \times 6$	2~3	10~20	2
$\phi 219 \times 22$	2~3	20~30	3

$\phi 219\text{mm} \times 22\text{mm}$

管道采用U形坡口, $\alpha = 12^\circ$, 钝边1~3mm, 根部间隙2~3mm, 半径10mm, 如图2所示。

$\phi 89\text{mm} \times 6\text{mm}$ 管道采用V形60°坡口。

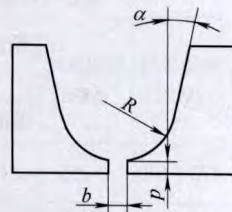


图2 厚壁管U形坡口

(2) 预热和层间温度 预热温度的选取根据SH3520—2004《石油化工铬钼耐热钢焊接规程》，预热温度为200~300℃。由于采用钨极氩弧焊打底，管道焊前预热温度下限温度可下降50℃，确定的预热温度为150~250℃。预热采用电加热法，在坡口两侧均匀进行。

预热范围以对口中心线为基准，两侧各100mm，加热区以外的100mm范围内应采取保温措施。在坡口中心50~100mm内进行测量。

(3) 焊接 焊件达到预热温度后应及时进行焊接。在保持预热温度的条件下，每条焊缝要一次连续焊完。焊后有热处理要求的焊缝因故中断焊接时应进行后热，再次焊接前要进行检查，确认无裂纹后方可按原工艺要求继续施焊。多层焊时层间温度应等于或稍高于预热温度，且每层的接头处应错

开。需焊后热处理的焊缝，焊接完毕后应立即进行200~350℃、15min的后热，然后保温缓冷。

焊工按指定的焊接工艺指导书施焊。焊丝使用前清除锈垢和油污，至露出金属光泽。焊条使用前在320℃烘箱内烘焙1h，使用时放在100℃保温桶内，随用随取。钨极氩弧焊的电极采用铈钨棒，为保证根部焊缝的质量，氩气纯度在99.96%以上。

焊接环境温度≥0℃。钨极氩弧焊打底时，采用接触引弧。焊接时采用短弧焊，焊嘴与焊件间距离≤10mm。提前送气，滞后停气，收弧可采用减少焊接电流或减慢焊速多加焊丝完成。焊条电弧焊时注意层间清渣，以防止产生气孔、夹渣等缺陷，如有缺陷应立即铲除重焊。

焊机采用ZX7-400STG，焊接位置为水平固定，焊接参数如表6所示。

表6 12Cr1MoVG管道焊接参数

序号	管道规格 /mm×mm	焊接 方法	焊材牌号 规格/mm	层次	电流种类极性	焊接电流 /A	电弧电压 /V	焊接速度 /cm·min ⁻¹	保护 气体
1	φ89×6	GTAW	ER 55-B2MnV φ2.4	1	直流正接	70~90	12~15	3~6	Ar 99.99%
		GTAW	ER 55-B2MnV φ2.4	2~4	直流正接	80~100	11~15	3~9	Ar 99.99%
2	φ89×6	SMAW	E5515-B2-V φ3.2	1~3	直流反接	110~160	21~26	5~8	—
3	φ219×22	GTAW	ER 55-B2MnV φ2.4	1~3	直流正接	80~110	9~12	3~8	Ar 99.99%
		SMAW	E5515-B2-V φ3.2	4~10	直流反接	120~160	21~27	5~8	—

(4) 焊后热处理 采用柔性陶瓷电阻加热的方法，对管道焊缝进行整体焊后热处理。

热处理的加热范围为焊缝两侧各不少于焊缝宽度的3倍，选择加热范围为200mm。加热区以外100mm范围内予以保温，管道端口封闭。

5. 焊接检验

(1) 外观检验 焊缝在焊接完毕后立即清理，去除焊渣、飞溅物等，然后进行外观检查。焊缝外观成形良好，与母材圆滑过渡。焊接接头表面的质量符合下列要求：①不得有裂纹、未熔合、气孔、夹渣及飞溅存在。②不得有咬边。③焊缝表面不得低于管道表面。

(2) 无损检验 管道焊接接头的无损检测按JB 4730 进行焊缝等级评定，X射线透照质量等级≥AB级，焊接接头经射线检测后的合格等级≥II级。

(3) 理化试验 拉伸试验执行GB/T228，抗拉强度≥470MPa。弯曲试验执行GB/T232，弯轴直径4S，支座间距离6S+3，弯曲角度为180°。试样弯曲到规定角度后，其拉伸面上沿任何方向不得有单条长度大于3mm的裂纹或其他缺陷。

硬度检验执行GB/T231标准，检查两处，每处三点，焊缝热影响区母材各一点，热处理后焊缝硬度合格值为不超过母材布氏硬度加100HBW，且≥270HBW。

冲击试验按GB/T229，焊缝热影响区母材分别取样，每个区3个试样为一组的常温冲击平均值≥27J，至多允许有一个试样的冲击吸收能量低于规定值，但不低于规定值的70%。

无损检测标准按JB 4730-2005，X射线检测II级合格。

(4) 试验结果 试验结果如表7所示, 弯曲试样结果如图3所示。

表7 12Cr1MoVG管道焊接试验结果

序号	规格/mm × mm	焊接方法	焊前预热/℃	焊后热处理/℃	检验结果
1	φ 89 × 6	GTAW	150	720 ~ 750	均合格
2	φ 89 × 6	GTAW	150	300 ~ 350	均合格
3	φ 89 × 6	GTAW	不预热	保温缓冷	均合格
4	φ 89 × 6	SMAW	不预热	保温缓冷	弯曲裂纹
5	φ 89 × 6	SMAW	150	300 ~ 350	均合格
6	φ 219 × 22	GTAW/ SMAW	150	720 ~ 750	均合格
7	φ 219 × 22	GTAW/ SMAW	150	500 ~ 550	焊缝冲击不合格
8	φ 219 × 22	GTAW/ SMAW	150	300 ~ 350	冲击均不合格



图3 焊条电弧焊弯曲试样出现的裂纹

根据试验结果以上可得出如下几点:

第一, 薄壁管SMAW在不进行消氢热处理只保温缓冷的情况下, 氢源受电弧热分离氢离子并溶解在熔池中, 在冷却过程中溶解氢向焊缝金属及附近的母材扩散, 使塑性下降并与焊接应力作用相叠加, 是造成裂纹的原因。

第二, 厚壁管进行300 ~ 350℃热处理, 虽然在一定的程度上对消除残余氢含量起到了作用, 但厚壁管在拘束应力的作用下, 焊接接头的淬硬性仍较高, 故厚壁管只进行300 ~ 350℃热处理时冲击性能明显下降。

第三, 厚壁管进行500 ~ 550℃热处理, 对消除残余氢含量和减少拘束应力起到一定的作用, 使得冷裂纹的敏感性降低, 但未完全消除, 并易产生再热裂纹。再热裂纹的产生与钢种的合金元素Cr、Mo、V有关, 其形成温度一般在500 ~ 700℃, 故焊缝区域的冲击性能下降。

6. 结语

(1) 薄壁管采用手工钨极氩弧焊后热处理和

非热处理效果一致。因此, 在施工现场热处理条件不具备的情况下, 现场施工薄壁管手工钨极氩弧焊可以不热处理。

(2) 薄壁管采用焊条电弧焊在不进行消氢热处理的情况下, 极易产生裂纹, 在进行消氢热处理时, 可以得到合格焊缝。

(3) 厚壁管需要在合适的热处理 (720 ~ 750℃) 条件下, 才可得到合格焊缝。MW

(20120820)

新一代全数字化双丝窄间隙埋弧自动装备

在核岛压力容器主环缝的焊接上, 由于焊缝质量要求可追溯性, 焊接过程要求实时记录、存储, 原有的模拟量控制技术已无法满足要求, 为此, 对原双丝窄间隙埋弧焊机进行全面技术升级, 开展全数字化控制技术的研究, 使我国的双丝窄间隙埋弧焊机, 满足核电等重大装备自动焊接的要求, 为我国核电装备制造业的发展做出贡献。目前, 在投入我国加氢反应器、核电蒸发器、核电汽轮机转子等重大产品生产使用的同时, 进一步开发了大厚度焊接专用焊枪, 成功攻克了中国二重8万t模锻压机制造中的关键工艺攻关任务——主工作缸600mm深度坡口的焊接, 创造了世界新纪录。

(国家重大技术装备网)