

高温焊接对 1.25Cr0.5Mo 焊接构件疲劳寿命的影响

尹成江¹, 宋天民², 李万丽³

(1. 东北石油大学 石油工程学院, 大庆 163318; 2. 辽宁石油化工大学, 抚顺 113001;
3. 中国石化集团第四建设公司, 天津 300270)

摘 要: 选取不同的温度(550, 650, 750, 850 ℃)对 1.25Cr0.5Mo 钢进行高温焊接, 在高温焊接及常温焊接后对焊件进行残余应力测试和疲劳试验. 结果表明, 550, 650, 750, 850 ℃ 高温下焊接的试件, 其焊缝热影响区的残余应力最大值(纵向、横向)比常温下焊接焊缝热影响区残余应力最大值(纵向、横向)都显著降低; 纵向和横向降低幅度分为 50.1%, 48.9%; 74.8%, 67.4%; 83.9%, 79.4%; 91%, 89.7%. 高温焊接试件的疲劳寿命的平均值比常温下焊接试件疲劳寿命的平均值分别提高 31.02%, 38.84%, 47.23% 和 62.28%. 结果表明, 高温焊接能明显降低焊件的残余应力和提高焊件的疲劳寿命.

关键词: 高温焊接; 残余应力; 疲劳寿命

中图分类号: TG 456 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2015)04-0106-03

0 序 言

由于焊接热作用的影响, 焊接结构焊后存在较高的焊接残余应力, 它会降低焊接结构的疲劳寿命和抗应力腐蚀的性能等, 从而影响焊接结构持久可靠使用^[1]. 焊接残余应力产生的根本原因是焊件内部产生的不均匀弹塑性形变. 在焊接过程中, 不均匀弹塑性形变主要是加热和冷却过程中焊接各部位温差所致^[1]. 为降低焊接残余应力, 除了热处理外, 还可以采用机械拉伸、温差拉伸、滚压、低应力无变形焊接技术、振动时效、振动焊接、脉冲磁处理法等^[2-5]. 除了以上方法外, 提高焊接接头疲劳寿命的方法还有超声波冲击法、随焊冲击碾压整形等^[6-7].

1988 年, 日本住友金属公司发明了对钢管采用高温对接焊的焊接新方法, 但高温焊接在国内很少有人进行研究, 特别是在焊接残余应力及疲劳寿命方面的研究. 高温焊接是焊前将试件加热到高温(>500 ℃), 焊接时一直保持试件处在高温状态下的一种焊接方法, 高温焊接不同于焊前预热. 文中通过试验, 研究了高温焊接对 1.25Cr0.5Mo 焊件焊接残余应力及疲劳寿命的影响, 这些研究旨在探索一种新的焊接方法, 使焊件焊后不需要进行消除焊接残余应力的退火工序便可以直接应用, 在工程上可以降低焊件成本、节能省时.

1 试验方法

1.1 焊接试验

试验选用五组 1.25Cr0.5Mo 钢试件, 试件尺寸如图 1 所示. 在试验中, 所用试板厚度为 22 mm, 由于试板较厚而不能一次焊透, 需要开坡口. V 形坡口如图 1 所示^[8].

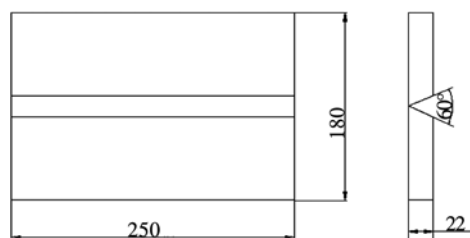


图 1 1.25Cr0.5Mo 钢试件图(mm)

Fig. 1 Specimen of 1.25Cr0.5Mo steel materials

试板焊接采用焊条电弧焊, 焊条型号为 CMA-96, 焊接参数为: 工作电压 36 V, 工作交变电流 110 A, 焊接速度 12 ~ 14 cm/min^[9]. 焊缝余高不超过 1.5 mm, 焊缝宽度在 15 ~ 20 mm 之间, 经 X 射线检测, 试板焊接质量合格.

第一组试件在常温下进行焊接, 在空气中自然冷却; 另外四组试件在加热炉加热, 分别加热至预设温度(550, 650, 750, 850 ℃)后取出, 放置在自制的开口式加热炉上进行焊接, 自制加热炉的温度调到与试板加热的温度相一致, 用热电偶测定试板温度,

保证其在恒温下焊接. 焊后用保温棉进行缓冷保温,缓慢冷却至室温.

1.2 焊接残余应力测量

采用小盲孔法,对焊后五组试件分别进行焊接残余应力测量. 粘贴电阻应变片(4 个)依次相距 10 mm,如图 2 所示. 焊接残余应力测量数据如表 1 所示.

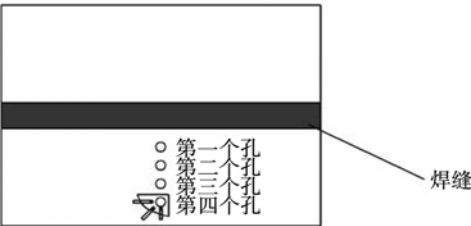


图 2 应变片粘贴位置示意图
Fig. 2 Location of strain piece affixed

表 1 试板焊接残余应力测量数值

Table 1 Data of residual stresses of weld specimen				
焊接方法	孔序	纵向残余应力 σ_x/MPa	横向残余应力 σ_y/MPa	应力性质
常温焊接	1	398.7	180.9	拉应力
	2	347.1	107.4	
	3	260.4	87.3	
	4	187.1	58.9	
550 ℃ 高温焊接	1	199.0	92.4	拉应力
	2	161.6	71.4	
	3	111.8	52.4	
	4	80.3	36.3	
650 ℃ 高温焊接	1	100.3	58.9	拉应力
	2	85.7	30.2	
	3	67.2	17.8	
	4	40.4	10.7	
750 ℃ 高温焊接	1	64.0	37.3	拉应力
	2	38.0	21.7	
	3	26.9	17.4	
	4	21.8	11.6	
850 ℃ 高温焊接	1	35.9	18.6	拉应力
	2	27.6	11.0	
	3	20.7	7.8	
	4	15.6	5.2	

由表 1 可知,常温条件下焊接的 1.25Cr0.5Mo 试板在焊缝热影响区纵、横向焊接残余拉应力的最大值分别为 398.7 MPa 和 180.9 MPa. 550 ℃ 高温下焊接的残余应力最大值比常温下焊接残余应力最大值降低了:纵向焊接残余应力最大值下降幅度(η_x) = 50.1%,横向焊接残余应力最大值下降幅度(η_y) = 48.9%;650 ℃ 高温下焊接的残余应力最大

值比常温下降低了:纵向 $\eta_x = 74.8\%$,横向 $\eta_y = 67.4\%$;750 ℃ 高温下焊接的残余应力最大值比常温下降低了:纵向 $\eta_x = 83.9\%$,横向 $\eta_y = 79.4\%$;850 ℃ 高温下焊接的残余应力最大值比常温下降低了:纵向 $\eta_x = 91\%$,横向 $\eta_y = 89.7\%$.

1.3 疲劳试验

对 1.25Cr0.5Mo 钢五组试件做了低周疲劳试验,疲劳试件截取位置如图 3 中 A、B 所示,疲劳试件的具体尺寸如图 4 所示. 采用国家标准 GB/T 15248—2008《金属材料轴向等幅低循环疲劳试验方法》进行试验.

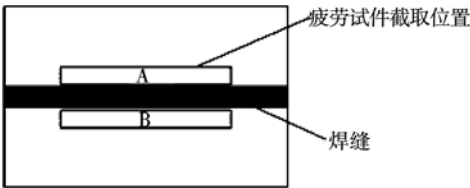


图 3 疲劳试件截取位置图
Fig. 3 Intercepting position of fatigue samples

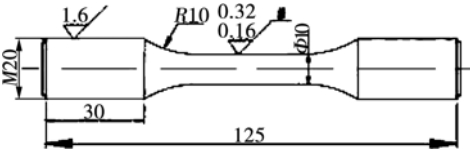


图 4 疲劳试件尺寸(mm)
Fig. 4 Fatigue sample and its dimension

试验条件:试验温度 25 ℃;载荷控制方式为应力控制;载荷的选择,选取常温焊接时的焊接残余应力最大值 398.7 MPa 对应的载荷 $F = 31\text{ kN}$;波形:全逆转三角波;循环特征系数为 -1;载波频率为 2 Hz,周期为 0.5 s. 疲劳试验结果如表 2 所示.

表 2 1.25Cr0.5Mo 钢疲劳试验数据

Table 2 Fatigue test data of 1.25Cr0.5Mo steel samples				
焊接温度 $T/^\circ\text{C}$	疲劳试件 编号	载荷 P/kN	疲劳寿命 $N(\text{周次})$	疲劳寿命平均值 $\bar{N}(\text{周次})$
常温	1	31	4 547	4 639
常温	2	31	4 730	
550	3	31	5 930	6 078
550	4	31	6 226	
650	5	31	6 501	6 441
650	6	31	6 381	
750	7	31	6 929	6 830
750	8	31	6 731	
850	9	31	7 528	7 528
850	10	31	未拉断	

由表 2 可知,550,650,750,850 °C 高温焊接试件的疲劳寿命的平均值,比常温下焊接试件疲劳寿命的平均值,分别提高 31.02%,38.84%,47.23% 和 62.28%。

应当指出,从焊接试板上截取疲劳试样,在截取和加工过程中,焊接残余应力都会发生变化,由于试件截取位置相同,假设对残余应力的影响是相同的。

2 高温焊接降低残余应力的机理分析

常温焊接时,焊接热源集中作用在焊件的焊接区域,由于热传导,在热源周围的金属上形成了一个温度场。该温度场的温度梯度很大,在焊缝区域,最高温度可以达到材料的熔点,在离焊缝不远处温度就急剧下降至室温。常温焊接的焊接残余应力正是由于焊接后冷却时不均匀温度场引起的^[1]。在加热过程中,焊接区域由于受热而发生热膨胀,但周围的较冷区域会约束热膨胀,这使焊接区域形成塑性的热压缩;相反,在冷却过程中,焊接区域由于冷却而发生收缩,但受到周围区域的约束限制这种收缩,最后,焊接区域就会出现拉伸的残余应力。如果通过某种手段能使焊接时热源集中区的温度和周围区域温度梯度减小,就能降低焊后产生的焊接残余应力。

高温焊接的工艺过程是焊接前将待焊的试件放在加热炉中加热至一定温度,加热完成后将试件取出放在自制的加热装置上进行焊接,自制的加热装置使焊接区与周围区域的温差减小,焊接完成后将试件保温缓冷,减小了试件各部位的温度梯度,使冷却时焊接区与周围区域的温差降低,从而有效地降低焊接后所产生的焊接残余应力。

高温焊接及随后的保温缓冷使焊缝金属凝固时受周围区域限制收缩大为减少,加热温度越高,凝固过程中的温度梯度越小,受到的限制收缩越小,焊缝及热影响区产生的残余应力越小。

高温焊接降低焊接残余应力的机理是:高温焊接使焊缝区与相邻区域的温度梯度减小,从而减小焊缝和热影响区冷却时收缩受限,达到降低焊接残余应力的目的。

3 结 论

(1) 在不同温度下对 1.25Cr0.5Mo 试板进行高温焊接试验,高温焊接能降低构件的焊接残余应力,在文中试验条件下,高温焊接的温度越高,产生的焊接残余应力越小。850 °C 高温下焊接的残余应力最大值比常温降低了;纵向焊接残余应力最大值下降

幅度 $\eta_x = 91\%$, 横向焊接残余应力最大值下降幅度 $\eta_y = 89.7\%$ 。

(2) 对不同温度高温焊接试验的 1.25Cr0.5Mo 试板进行疲劳试验,在文中条件下,高温焊接的温度越高,焊接构件的疲劳寿命越高。850 °C 高温焊接试件的疲劳寿命的平均值比常温下焊接试件疲劳寿命的平均值提高了 62.28%。

参考文献:

- [1] 宋天民. 焊接残余应力的产生与消除[M]. 北京: 中国石化出版, 2005.
- [2] 宋天民. 振动时效对焊件疲劳寿命的影响及机理分析[J]. 吉林大学自然科学学报, 1997(2): 55-57.
Song Tianmin. The analysis of effect of vibratory stress relief on fatigue life of weldment[J]. Natural Science Journal of Jilin University, 1997(2): 55-57.
- [3] 宋天民, 张国福, 管建军, 等. 振动焊接对焊件疲劳寿命的影响及机理分析[J]. 西安石油学院学报: 自然科学版, 2001, 16(3): 60-63.
Song Tianmin, Zhang Guofu, Guan Jianjun, et al. The analysis of effect of vibration welding on fatigue life of weldment[J]. Journal of Xi'an Petroleum Institute: Natural Science Edition, 2001, 16(3): 60-63.
- [4] 王者昌. 关于焊接残余应力消除原理的探讨[J]. 焊接学报, 2000, 21(2): 55-58.
Wang Zhechang. The investigation on elimination of welding residual stress[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2000, 21(2): 55-58.
- [5] 唐 非, 鹿安理, 方慧珍, 等. 一种降低残余应力的新方法——脉冲磁处理法[J]. 焊接学报, 2000, 21(2): 29-31.
Tang Fei, Lu Anli, Fang Huizhen, et al. A new method of reducing welding residual stress—impulse magnetic treatment[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2000, 21(2): 29-31.
- [6] 王东坡, 霍立兴, 张玉凤, 等. 提高焊接接头疲劳强度的超声波冲击法[J]. 焊接学报, 1999, 20(3): 158-163.
Wang Dongpo, Huo Lixing, Zhang Yufeng, et al. The ultrasonic wave impulsion treatment for enhancing fatigue strength of welding joint[J]. Transactions of the China Welding Institution, 1999, 20(3): 158-163.
- [7] 王佳杰, 杨建国, 张敬强, 等. 随焊冲击碾压整形新方法及其承载接头拉伸与疲劳性能[J]. 焊接学报, 2012, 33(11): 35-38.
Wang Jiajie, Yang Jianguo, Zhang Jingqiang, et al. A new weld shaping method with trailing impact rolling and tensile and fatigue properties for equal load-carrying capacity joints[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2012, 33(11): 35-38.
- [8] 焊接手册第三卷第 1 篇. 焊接结构基础[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [9] 王文翰. 焊接技术手册[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1999.

作者简介: 尹成江, 男, 1967 年出生, 博士研究生, 副教授. 主要从事消除焊接残余应力的方法研究. 发表论文 10 余篇. Email: ycj1967@163.com