

管类环焊缝热时效和振动时效去除焊接应力对比研究

曹 慧

(北京新立机械有限责任公司, 北京 100039)



摘要:采用 X 射线衍射法, 对 20 # 钢 $\Phi 159\text{mm} \times 8\text{mm}$ 钢管、1Cr18Ni9Ti 不锈钢 $\Phi 60\text{mm} \times 5\text{mm}$ 钢管试件的环焊缝进行焊接应力测量, 然后分别采用热时效和平台振动时效法去除焊接应力后, 再次对试件进行应力测量, 对比热时效和振动时效法去除焊接应力的效果, 试验证明, 热时效去除焊接应力的效果较好, 平台振动法去除管类零件环缝的应力效果较差。

关键词: 热时效; 平台振动时效; 焊接应力测量

Contrast Research of Heat Ageing and Platform VSR Ageing Removing Welding Stress for Pipe Girth Weld

Cao Hui

(Beijing Xinli Machinery Co.Ltd, Beijing 100039)

Abstract: Through X-ray diffraction method, the welding stress of the 20 steel $\Phi 159\text{mm} \times 8\text{mm}$ pipe girth weld and the stainless steel 1Cr18Ni9Ti $\Phi 60\text{mm} \times 5\text{mm}$ pipe girth weld were measured, then thermal ageing and platform VSR were used to remove welding stress. The welding stress were measured again to compare the two methods on the effect of removing the welding stress. Tests show that thermal ageing is better to remove welding stress, while platform VSR has poorer effect on removing welding stress of the pipe girth weld.

Key words: thermal ageing; platform VSR ageing; welding stress measurement

1 引言

焊接残余应力不仅会导致焊接接头产生裂纹等缺陷, 还会对结构的断裂特性、疲劳强度和形状尺寸精度有不利的影 响, 使工件产生变形、开裂, 降低工件的使用寿命等。焊接过程中, 需要采取各种措施将焊接残余应力减至最小, 或者焊后将它们尽量消除。

目前经常使用热时效和振动时效两种工艺技术来消除焊接残余应力。热时效是将工件加热到弹塑性转变温度, 保温缓冷, 使工件处于低应力状态。振动时效是使工件受到振动, 将交变应力与残余应力互相叠加, 在应力集中最严重部位就会超过材料的屈服极限, 从而产生塑性变形, 降低了残余应力。振动时效

与热时效相比, 设备投资少, 能耗低, 可以在工件生产现场进行, 工艺简单, 没有环境污染, 但是需要验证振动消除应力的效果。

本文针对 20#钢、1Cr18Ni9Ti 不锈钢管类试件的环焊缝, 分别采用热时效、振动时效方法, 采用 X 射线衍射法测量焊后、热时效、振动时效后的残余应力值, 对热时效、振动时效去除应力效果进行对比。

2 工艺试验

2.1 焊接试件

试件为: a. $\Phi 159\text{mm} \times 8\text{mm}$ 的 20#钢管, 接头形式为管对接, 焊接位置为斜 45°固定焊, 采用 CO_2 气体保

作者简介: 曹慧 (1981-), 高级工程师, 焊接工艺与设备专业; 研究方向: 大型结构件焊接工艺研究。

收稿日期: 2014-08-13

护焊单面焊双面成形，不留钝边，开有 60°V 型坡口，打底填充盖面共焊接 3 层，数量 4 件，如图 1 所示；b. $\Phi 60\text{mm}\times 5\text{mm}$ 的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢钢管，接头形式为管对接，焊接位置为水平固定全位置焊，采用手工钨极氩弧焊（TIG）单面焊双面成形，不留钝边，开有 60°V 型坡口，打底盖面共焊接 2 层，数量 4 件，如图 2 所示。

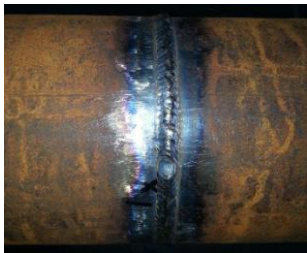


图 1 $\Phi 159\text{mm}\times 8\text{mm}$ 试件实物图



图 2 $\Phi 60\text{mm}\times 5\text{mm}$ 试件实物图

2.2 试验过程

试件完成焊接后，采用 XSTRESS3000X 射线应力分析仪对试件进行应力分析，每个试件均测试 4 点，测试点选取位置如图 3 所示，其中 1 点、3 点位于焊缝一侧，2 点、4 点位于焊缝另一侧。

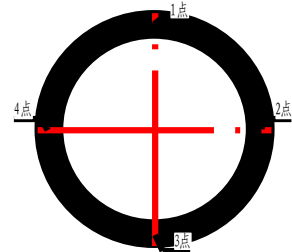


图 3 焊缝应力测试点选取位置示意图

试件环缝完成应力测试后，分别将 2 件 20#钢管试件、2 件 1Cr18Ni9Ti 不锈钢钢管试件进行热时效处理，其中 20#钢管试件采用电炉 550℃保温 2h 热时效处理，1Cr18Ni9Ti 不锈钢钢管试件采用电炉 900℃保温 1h 热时效处理。

另外 2 件 20#钢管试件、2 件 1Cr18Ni9Ti 不锈钢

钢管试件进行振动时效处理。

振动时效设备采用 VSR 超智慧-A 型振动时效设备，激振力 35kN。由于 20#钢管试件、不锈钢钢管试件均为管类结构，无法直接振动，故采用平台振动方式，即将各钢管试件装夹在振动平台上，将橡胶垫垫在振动平台下，将激振器装夹在振动平台上，振动平台与试件一起进行振动时效处理。

试件环缝分别进行热时效和平台振动时效处理后，再采用 XSTRESS3000 X 射线应力分析仪对试件原测试点进行应力分析。

3 试验结果分析

$\Phi 159\text{mm}\times 8\text{mm}$ 的 20#钢管试件环缝焊后、热时效后检测点残余应力值如表 1 所示，焊后、振动时效后检测点残余应力值如表 2 所示； $\Phi 60\text{mm}\times 5\text{mm}$ 的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢钢管试件环缝焊后、热时效后检测点残余应力值如表 3 所示，焊后、振动时效后检测点残余应力值如表 4 所示。

表 1 20#钢管试件焊后、热时效后检测点残余应力值

试件 编号	点的 位置	焊接后残余应力值/MPa		热处理后残余应力值/MPa	
		轴方向	径向	轴方向	径向
1#	1	-233	-538	+8	+23
	2	-214	-472	-15	-79
	3	-31	-343	-28	-55
	4	-163	-483	-15	-46
2#	1	-7	-304	+17	-6
	2	-165	-400	+42	-96
	3	-124	-372	+10	-106
	4	-144	-484	+27	-10

表 2 20#钢管试件焊后、平台振动时效后
检测点残余应力值

试件编号	点的 位置	焊接后残余应力值/MPa		振动后残余应力值/MPa	
		轴方向	径向	轴方向	径向
3#	1	-35	-221	+53	-116
	2	+13	-286	+18	-260
	3	-89	-103	-77	-140
	4	-18	-414	-7	-112
4#	1	-181	-482	-146	-458
	2	-398	-567	-197	-481
	3	-189	-361	-192	-399
	4	-148	-498	-241	-503

表 3 1Cr18Ni9Ti 钢管试件焊后、热时效后
检测点残余应力值

试件 编号	点的 位置	焊接后残余应力值 /MPa		热处理后残余应力值 /MPa	
		轴方向	径向	轴方向	径向
1#	1	-101	+62	-35	-75
	2	-129	-274	+10	-70
	3	-212	-243	-72	+55
	4	-122	-39	+10	-16
2#	1	-326	-306	-253	-317
	2	-368	-490	-292	-351
	3	-195	-487	-212	-190
	4	-270	-360	-165	-265

表 4 1Cr18Ni9Ti 钢管试件焊后、平台振动时效后
检测点残余应力值

试件编号	点的 位置	焊接后残余应力值/MPa		振动后残余应力值/MPa	
		轴方向	径向	轴方向	径向
3#	1	-195	-172	-61	-177
	2	-29	-149	-129	-247
	3	-145	-203	-165	-306
	4	-136	-278	-122	-162
4#	1	-171	-279	-144	-280
	2	-96	-119	-89	-135
	3	-222	-302	-151	-318
	4	-160	-255	-69	-215

注：数字前“+”表示拉应力，“-”表示压应力。

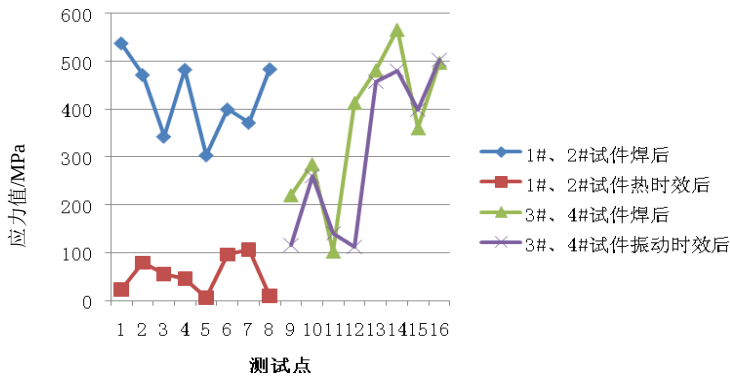


图 4 20#钢管焊后、热时效、振动时效后径向残余应力对比图

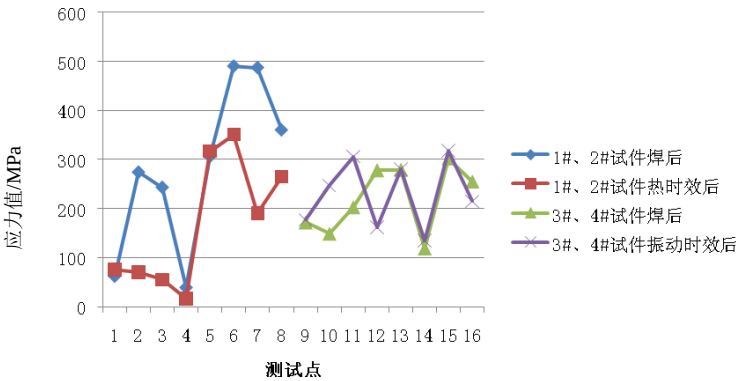


图 5 不锈钢管焊后、热时效、振动时效后径向残余应力对比图

由表 1、表 2 可知， $\Phi 159\text{mm}\times 8\text{mm}$ 的 20#钢管环缝的轴方向、径向的焊接残余应力较大，特别是径向残余应力，最高值达 -567MPa 。由表 1 及图 4 可知，经过热时效后，焊接残余应力值大幅降低，如 2#试件第 4 检测点，焊后检测应力值为 -484MPa ，热时效后检测应力值为 -10MPa ，焊接应力去除率高达 98%。由表 2 及图 4 可知，经过平台振动时效后，残余应力去除效果并不理想，部分检测点应力值有增大现象，

如 4#试件第 3 检测点、第 4 检测点等。

由表 3、表 4 可知， $\Phi 60\text{mm}\times 5\text{mm}$ 的 1Cr18Ni9Ti 钢管环缝的轴方向、径向的焊接残余应力与 $\Phi 159\text{mm}\times 8\text{mm}$ 的 20#钢管的相比，应力较小，但仍是径向残余应力高于轴向残余应力，最高值达 -490MPa 。由表 3 及图 5 可看出，经过热时效后，残余应力值有所降低，焊接应力去除率平均不到 50%。由表 4 及图 5 可看出，经过平台振动时效后，应力去

除效果很不理想,大部分检测点应力值有增大现象,如3#试件第2检测点、第3检测点等。

由表1、表3可知,20#钢管环缝的轴向、径向应力值均较高,其热时效效果优于1Cr18Ni9Ti钢管试件,这是由热时效的机理决定的,热时效是通过加热,降低材料的屈服强度达到松弛应力的目的,残余应力值越大,热时效效果越好。由表2、表4可知,20#钢管试件、1Cr18Ni9Ti钢管试件平台振动时效的效果均不理想,振动时效去应力的机理是在激振器所产生的周期性外力——激振力的作用下使工件共振,施加于工件上的交变应力与残余应力相互叠加,发生局部屈服,进而产生塑性变形,降低了残余应力并使其重新分布。振动时效时需先找到被振工件的共振频率后进行振动。本文中,被振工件较小,采用平台振动时,

激振频率极有可能为平台的共振频率,而不是20#钢管试件、1Cr18Ni9Ti钢管试件的共振频率,导致其振动时效去应力效果较差,甚至部分检测点应力出现增大现象。

4 结束语

a. 20#钢管试件、1Cr18Ni9Ti不锈钢钢管试件热时效去除焊接应力效果好,残余应力值越高的试件热时效处理效果越好。

b. 20#钢管试件、1Cr18Ni9Ti不锈钢钢管试件平台振动时效去除焊接应力效果较差,部分检测点应力出现增加现象。建议小型零件不采用平台振动时效法去除焊接应力。

~~~~~

(上接第21页)

接一遍需待上一道焊缝冷却再进行下一层焊接,焊接热输入量不会过大,且上一道焊缝总为下一道焊缝的热影响区,等轴晶晶粒细而多,因此TA1纯钛氩弧焊接头抗拉强度高于潜弧焊接头。

#### 4 结束语

a. 当焊接电流为455A,焊接速度为24cm/min,焊接电压为15V,采用纯氩气进行潜弧焊,一次可熔透10mm厚的TA1工业纯钛板。

b. 氩气可有效增加焊缝熔深,通过合理匹配焊接工艺参数,可获得成型美观的钛及钛合金潜弧焊焊接头,焊缝满足QJ1666A—2011 I级焊缝要求。

c. 与母材相比,TA1潜弧焊焊接接头焊缝区显微组织发生明显的变化,呈现柱状 $\alpha$ ,在 $\alpha$ 内部同时伴随有针状 $\alpha$ 组织,热影响区主要为等轴 $\alpha$ 组织,熔合区组

织呈现为柱状晶和等轴晶粒联生的形态。

d. TA1工业纯钛厚板潜弧焊接头抗拉强度略低于母材的抗拉强度,在显微组织为柱状晶的焊缝区断裂,接头抗拉强度达到母材的93.4%。

#### 参考文献

- 1 陈长军,张敏,马红岩.钛合金的焊接.机械工人,2007(5):52~53
- 2 中国机械工程学会焊接学会.焊接手册.第2卷,北京:机械工业出版社,2007
- 3 陈国庆,张秉刚,王廷,等.TA15钛合金潜弧焊接头组织与性能分析.焊接学报,2010,21(7):5~8
- 4 王利发,刘建中,胡本润,等.TA15钛合金潜弧焊焊接接头疲劳损伤研究.失效分析与预防,2007,2(2):16~19
- 5 李明利,刘占民.大电流钨极氩-氦混合气体电弧行为分析.焊接学报,2005,26(8):39~41