

焊接残余应力对H₂S应力腐蚀开裂影响的探讨

苏益仁 赵惠中 李克敏

(四川石油管理局设计院)

硫化物应力腐蚀开裂是由于湿H₂S与拉应力对钢材共同作用的结果。这种静拉应力,可以是工作应力、残余应力、装配应力、温度应力或它们的组合。受力结构中局部的高拉应力区往往是开裂的起源,而残余应力就是造成这种局部高拉应力的重要原因之一。在钢材应力腐蚀破坏事故中,残余应力往往起重要作用。因此,研究焊接残余应力对应力腐蚀的影响是一个重要课题。

焊接残余应力的产生及其对应力腐蚀的影响

一、焊接残余应力的产生

焊接残余应力是由于焊件不均匀加热产生热塑性变形的结果,制造施工时由于结构强力组装,也将在焊接接头附近留下因装配而引起的残余应力。一些合金钢焊后不均匀急冷,组织先后发生相变,引起比容的变化,产生体积效应,这也是引起焊接残余应力的一个原因。

在焊接过程中,钢材在一个相当窄的区域被加热到熔点,远离焊缝的钢板尚处在低温,成为刚性约束,使焊缝附近高温区产生压缩塑性变形,冷却后焊缝区就产生了纵向残余拉应力,而临近区域产生压应力。在实际焊接结构中,由于结构形状和壁厚的不同,施焊方法和次序的差异及结构所受的外界约束的大小不同,焊接残余应力在结构中的大小和分布是十分复杂的。

二、焊接残余应力对应力腐蚀的影响

在实际生产中,结构的工作应力在设计和使用中被严格控制,而制造加工过程中残留在其中的内应力却是难以控制的。在大量的应力腐蚀破坏事故中,单纯由工作应力引起的破坏比较少见,往往残余应力起了重要作用。表—1所列的是部分不锈钢应力腐蚀破坏事故中,引起破坏的各种应力来源。由表—1可见,残余应力引起的破坏占79%。

造成不锈钢应力腐蚀破坏的应力主要来源 表1

应力种类	件数	%
加工残余应力	55	48.7
焊接残余应力	35	31.0
运行中的热应力	17	15.0
工作应力	4	3.5
安装应力	2	1.8
合 计	113	100

在四川气田,威远脱硫二厂再生塔渗漏、付纳输气线螺旋焊缝管爆破、双卧线环形焊缝破坏事故以及卧—2站换冷器排污管焊缝泄漏等均应力腐蚀开裂破坏,焊接残余应力引起上述应力腐蚀破坏起了重要作用。

焊接残余应力对 H_2S 应力腐蚀开裂影响的室内试验

一、实验目的

为了证实焊接残余应力对硫化物应力腐蚀开裂的单独影响及焊后消除应力热处理的作用,我们选用了焊后不会造成淬硬组织的低碳钢进行以下室内试验。

二、试验步骤及结果

1. 试板准备

12毫米厚A3低碳钢板,气切下料刨边,加工成图纸要求尺寸(图1)。钢板化学成份及机械性能见表2、3。

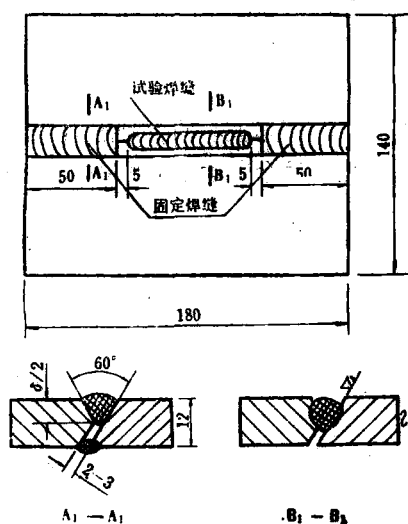


图1 焊接试件尺寸

试板及焊肉化学成份 表2

成份 部位	C	Si	Mn	P	S
母 材	0.20	0.20	0.48	0.010	0.045
焊 肉	0.11	0.14	0.39	0.023	0.039

2. 焊接

按图纸要求装配点定好,先焊固定焊缝,待试板冷却后再焊试验焊道。用 $\varnothing 3.2$ 的422焊条,用正常焊速在坡口内焊一道试验焊缝

试板机械性能

表3

	σ_b	σ_s	$\sigma\%$	$\varphi\%$	HRB
1*	42.9	26.93	35.2	61	84
2*	44.38	27.52	36	61.8	83
3*	44.50	27.33	34.1	60.8	80

(约15~18秒焊完),焊接电流为180~190A。

3. 焊后处理

焊后试板,一些经650℃保温45分钟回火消除应力处理,其余保持焊后状态。试件放置半月后,用刷子和酒精清洗试板并用肉眼和实体显微镜检验焊缝上是否有裂纹,确认无裂纹者方可进行腐蚀试验。

4. 应力腐蚀浸泡试验

将两组试板分别浸入装满5%NaCl+0.5%HAC的饱和 H_2S 水溶液的干燥器中,不加任何外载荷,每只干燥器中各装一块焊后回火和未回火的试板。一周后取出肉眼检查,发现未回火试板,焊后均开裂(图2),回火后试板均未开裂(图3)。

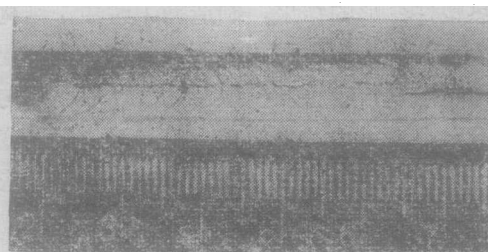


图2 未经消除残余应力的焊缝浸泡后开裂

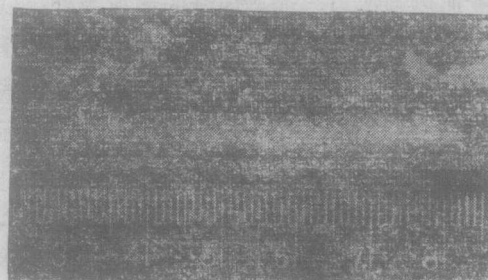


图3 经回火处理消除残余应力的焊缝浸泡后不开裂

5. 试板金相检验

将浸泡后的两种试板, 切开观察焊缝及热影响区金相组织, 分别测量各区的硬度值。从金相组织及硬度数据可以肯定, 焊缝和热影响区均为正常的低碳钢焊接接头组织, 无淬硬现象, 硬度远低于HB200, 不存在对硫化物应力腐蚀敏感的组织。开裂和未开裂试板焊缝及热影响区金相组织及硬度基本相同。因此可以确认, 试验焊缝经腐蚀介质浸泡后发生应力腐蚀开裂, 仅是由于焊接

残余应力的作用。

6. 焊接试板残余应力的测定

为了进一步确证焊后试板开裂是由于焊接残余应力引起的应力腐蚀开裂, 用应力释放电测法测量了同批试板中残余应力的数值。

用YJD—1型静态电阻应变仪, 配BA—120型2×2毫米小应变片, 对试板焊缝上的残余应力进行实测。其贴片方案见图4。

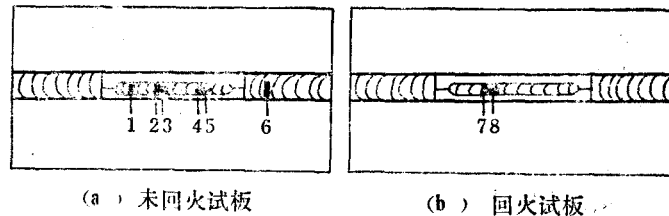


图4 应变片贴片位置图

由于在焊接试验焊道时, 试板受到预先焊好的固定焊缝的刚性约束, 试验焊道冷却收缩时, 在其中产生很大的横向拉应力, 同时整个试验焊道的纵向收缩也受到周围母材的约束, 产生沿焊缝的纵向拉应力。因此, 我们粗略地将试验焊道上各测点看成是两个主应力方向已知的平面应力状态。

贴好应变片后, 用环氧树脂将其密封好, 与应变仪接上, 利用平衡箱将各测点预调好平衡, 然后用线切割机(或手工锯)将各测点从试板上切下, 使其残余应力完全释放, 测出各点的应变值, 利用以下公式:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_1 + \nu \epsilon_2)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2} (\epsilon_2 + \nu \epsilon_1)$$

各点应力测量结果

表4

测点 数值	1	2	3	4	5	6	7	8
应变值 $\mu\epsilon$	-1200	-800	-410	-1030	-540	+250	-33	-24
应力值 公升/毫米 ²	25.2	20.8	13.4	24.8	17.5	-5.25	0.7	0.5
	(横)	(横)	(纵)	(横)	(纵)	(横)	(横)	(纵)

1点数值为按单轴应力计算结果

6点数值为负值说明固定焊缝原存在横向压应力

分别求出各测点的残余应力。结果列于表4。

从表4数值可见: 未回火的焊接试板中存在很高的焊接残余应力(接近屈服极限), 这是引起试板发生硫化物应力开裂的来源。经650℃回火的试板, 焊接残余应力基本上完全消除, 因此在浸泡腐蚀中未发生开裂。

7. 回火温度对消除焊接残余应力的影响

为了进一步掌握回火温度对消除焊接残余应力的规律,我们取一定数量的同批焊接试板进行不同温度的回火处理(均保温45分钟),测量各试板中的焊接残余应力,其结果示于图5。

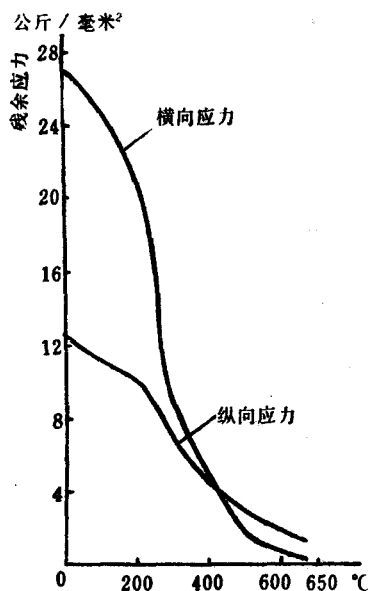


图5 焊后回火温度对试板中残余应力的影响

从图5可以看出,焊接残余应力随回火温度的升高而降低。经300℃以上回火处理的试板,焊接残余应力已消除大半(横向应力8.7公斤/毫米²,纵向应力7.3公斤/毫米²),至使试板在浸泡试验中不会发生硫化物应力破裂。温度在600℃以上回火处理,焊接残余应力已基本消除。

8. 其他补充试验

我们分别把腐蚀液的 H_2S 浓度改为700~500ppm,把试板厚度改为8毫米,用同批未回火的试板进行试验,均发生开裂。

改变试验焊缝的约束,将两端约束改为单端约束,并把试验焊道与固定焊道的距离分别改为3、6、30毫米,进行浸泡试验。除一块试板外均不发生开裂。发生开裂的试板试验焊道距固定焊道6毫米,在焊道收弧处有

一个深陷的焊接缺陷,裂纹就从这里开始。

此外对 $\varnothing 106 \times 6$ 的20*钢管的对焊接头进行了类似的试验,由于接头约束刚度小,环焊缝中焊接残余应力低(横向约10公斤/毫米²,纵向约5公斤/毫米²),经一周腐蚀浸泡未发现开裂。

从以上补充试验可以看出,引起开裂的控制因素是残余应力的大小,在一定条件下,焊接缺陷的存在为应力腐蚀开裂留下隐患。

三、试验结论

1.在焊接残余应力很高,并有应力集中的情况下,即使焊缝硬度不高,残余应力的单独作用就足以使焊缝在敏感介质中发生硫化物应力腐蚀开裂。因此,在可能发生硫化物应力腐蚀开裂的环境中,焊接结构焊后进行降低残余应力的处理是合理的。

2.焊后高温回火对降低焊接残余应力是十分有效的,是防止设备发生硫化物应力腐蚀开裂的有效措施之一。

3.在本试验所用试板形式和腐蚀条件下,引起试板发生硫化物应力腐蚀开裂的控制因素是残余应力的大小,焊接缺陷为应力腐蚀裂纹的萌生、扩展提供了有利条件。当然,实际使用的焊接结构并不是未消除残余应力都一定要发生硫化物应力腐蚀开裂,这取决于腐蚀环境的苛刻程度、结构中残余应力与工作应力迭加后的总应力值以及材料本身对应力腐蚀开裂的敏感性。在确定采取消除焊接残余应力的措施前应权衡技术上的必要性与经济上的合理性。

降低焊接残余应力的方法

一、合理的装焊次序和适当的焊前预热

为了减小焊后残余应力,在装焊顺序的安排上应尽量使焊缝纵向、横向收缩比较自由,而不受较大的约束。例如:钢板拼接时应先焊错开的短焊缝,后焊直通的长焊缝,

使焊缝有较大的横向收缩余地。焊接长焊缝时,在可能的情况下采用由中央向两端施焊的焊法,使焊接方向指向自由端,让焊件两端能较自由地收缩。

焊前预热可以减少焊接区与结构整体温度之间的差别,使加热和冷却时不均匀膨胀和收缩有所减少,从而使不均匀塑性变形尽可能减小,以达到减小焊接残余应力的目的。

二、焊后整体或局部热处理

采用各种加热方法,将焊后结构整体或局部加热到高温,利用材料在高温下屈服强度下降,结构内的残余应力使局部发生蠕变,以达到松弛焊接残余应力的目的。这种方法一般可将80~90%以上的残余应力松弛掉。局部回火处理的效果不及整体热处理。高温回火法是生产中应用较为广泛的方法。

三、焊缝区外加拉伸载荷

加载法是利用力的作用使焊接接头残余应力区发生塑性变形,以达到松弛焊接残余应力的目的。压力容器、管线机械拉伸可利用过载水压试验来实现。此外用锤击焊缝使

之产生延伸塑性变形,或用施加局部振动,靠交变应力使焊缝区产生塑性变形以及爆炸法等都是外加机械载荷使之部分消除残余应力的方法。大型焊接球罐的焊缝残余应力消除,可采取低温消除应力的方法,又称温差拉伸法,即在焊缝两侧各用一个适当宽度的氧—乙炔炬加热,在焰炬后一定距离处喷水冷却,焰炬和喷水管以相同的速度向前移动,造成一个两侧高、焊缝区低的温度场,两侧金属因受热膨胀使低温焊缝产生拉伸塑性变形,以抵消原来的压缩塑性变形,从而降低焊接残余应力。

参考文献

- [1] 《焊接结构》 T.A.尼古拉也夫著
- [2] 《残余应力》(上、下) 一机部机械院机电研究所、陕西机械学院 1977.3
- [3] 《国外焊接技术》 1975.1
- [4] 《压力容器〈液氨贮槽〉焊缝应力测定及分析》 机械科学研究院、北京金属结构厂 1968.7
- [5] 《配管技术》(日) 1982.7

滇黔桂川石油矿场装备技术讨论会在南宁召开

滇、黔、桂、川石油学会联合组织的石油矿场装备技术讨论会,于今年10月21日至30日在南宁召开。参加会议的有北京石油勘探开发科学研究院、东濮油田、兰州石油化工机器厂和在四川从事石油和天然气勘探开发、生产、科研和教学的23个单位、81名代表。四川省石油学会常务理事、四川石油管理局总机械师任康生同志主持了会议。中国石油学会石油工程学会员事、石油部石油勘探开发科学研究院副院长于炳忠同志作了我国石油矿场机械现状和发展方向的报告。

这次会议共收到38篇论文,主要内容有:钻机的动力和传动机的改造;地震钻机在自动化、轻便化方面的改进;从理论和实践上阐述了泥浆泵的改进意见;在泥浆净化方面,主要针对泥浆筛,从理论、结构以及效率的检测等问题进行了讨论;介绍了钻机自动送钻装置的情况;阐述了螺杆钻具的原理、结构及使用;介绍了国外采气井发展动向及我国防硫采气井口装置的研制,较系统地介绍了国外永久式完井方法和气井完井初步设想。

会议认为,为了提高石油矿场机械装备水平,必须抓好基础理论研究;不断改造现有矿场机械设备,增加机械产品品种,提高产品质量,实现产品标准化;针对生产急需,引进国外先进技术装备,以适应油、气勘探开发工作的发展需要。

(方维奎供稿)

焊接残余应力对H₂S应力腐蚀开裂影响的探讨

苏益仁 赵惠中 李克敏

本文简要介绍焊接残余应力对应力腐蚀开裂的影响,重点叙述低碳钢硫化物应力腐蚀开裂的室内试验及焊后回火的作用,最后介绍生产中降低焊接残余应力的常用方法。

《天然气工业》 第3卷 第4期 1983

Effects of Residual Stress of Welding on H₂S Stress Corrosion Cracking

Su Yiren Zhao Huizhong Li Kemin

Effects of residual stress of welding on stress corrosion cracking are briefly introduced in this paper. The discussion mainly emphasizes the sulfide stress corrosion cracking of low carbon steels in the conditions of laboratory tests and the effects of tempering after welding. Finally some common ways used in industry for reducing residual stress of welding are suggested.

NGI Vol.3 No.4 1983

油气工业中CO₂的腐蚀及其抑制

熊楚才

本文简要论述CO₂的腐蚀状况和CO₂的腐蚀机理及其应采取的措施。室内试验表明,CO₂腐蚀不及H₂S严重,但抑制其腐蚀将比H₂S困难。

《天然气工业》 第3卷 第4期 1983

CO₂ Corrosion and Its Inhibition in Oil and Gas Industry

Xiong Chucai

CO₂ corrosion, its mechanism and the measures taken for inhibition are discussed briefly. In laboratory tests, it is shown that corrosion of carbon dioxide is less serious than that of hydrogen sulfide. The inhibition of the former, however, is more difficult than that of the latter.

NGI Vol.3 No.4 1983

水垢及其控制

范嗣英

本文简要介绍水垢造成的危害,常见的碳酸钙、硫酸钙水垢成份的生成机理以及常用的控制水垢的方法。

《天然气工业》 第3卷 第4期 1983

Scale and Its Preclusion

Fan Siying

Harmfulness of scales, the forming mechanisms of CaCO₃ and CaSO₄ scales and some usual ways for precluding them are briefly introduced in this paper.

NGI Vol.3 No.4 1983

龙门山及其邻区大地构造若干问题

赵友年

本文采用黄汲清教授的命名原则,对龙门山及其邻侧的大地构造进行划分;论述了它的深断裂体系以及古生代扬子准地台边缘离散解体,后龙门山冒地槽的发生与发展,前龙门山大地构造分区特征;分析了龙门山“薄壳碰撞”及四川盆地形成机制;并从龙门山前凹陷带的沉积史,探索该区的油气远景。

《天然气工业》 第3卷 第4期 1983

Some Tectonic Problems of Longmen Mountains and Their Adjacent Areas

Zhao Younian

The tectonic divisions and their nomenclature of Longmen mountains and their adjacent areas are based on the principles recognized by professor Huang Jiqing in this paper. The abyssal fault system, the disintegration on the margin of palaeozoic Yangzi peneplatform, the formation and development of back Longmen miogeosyncline, and the characteristics of the tectonic division of fore Longmen are described by the author. The "thin shell collision" of Longmen mountains and the mechanism of the formation of Sichuan basin are analysed, and the oil and gas prospecting in this region is also discussed on the basis of depositional history in the front depression of the Longmen mountains.

NGI Vol.3 No.4 1983