

18 - 8 不锈钢焊接裂纹的失效研究与分析

山东大学材料科学与工程学院(250061)

T64
刘秀忠

B
崔建军

有一罐体材质为 1Cr18Ni9 不锈钢的换热器,罐体厚度为 9 mm,工作介质为水蒸汽和水,运行压力为 0.4 ~ 0.5 MPa,水蒸汽温度为 140 ~ 190 ℃,管子内部循环水温度为 70 ~ 85 ℃。该换热器罐体投入使用仅 6 天即在罐体环焊缝附近产生裂纹,使产品失效破坏。罐体的具体尺寸和裂纹位置示意图见图 1。为查找原因,防止此类裂纹的再次产生,通过光学显微镜、电子显微镜、电子探针等分析测试手段,对裂纹的形态、位置、性质、焊接接头及裂纹附近的组织形态、化学成分等进行了分析,找出了产生裂纹的原因,并提出了预防措施。

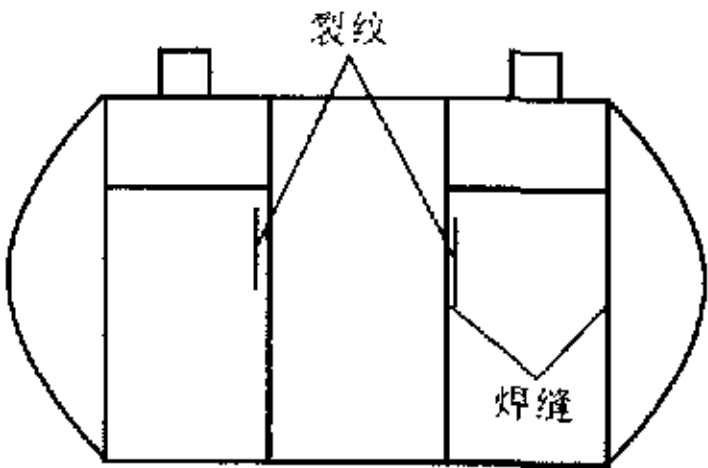


图 1 罐体的尺寸及裂纹位置

1 裂纹的宏观及微观形态

该裂纹主要出现在焊接热影响区,且平行于焊缝,裂纹长度为 12 ~ 50 mm,表面看裂纹的走向基本为直线,断面上可以看到裂纹是由从表面向内部扩展,在光学显微镜下可以看到裂纹扩展时基本为沿晶开裂,且有许多网状的微裂纹,裂纹断口附近没有明显的塑性

变形,由于工件在使用过程中断裂破坏,宏观裂纹处有腐蚀现象,断口上有腐蚀产物存在。从裂纹产生的位置、罐体的材料和裂纹的形态、特征等可以判断该裂纹为焊接热影响区的液化裂纹。

2 化学成分对裂纹形成及扩展的影响

对于该不锈钢罐体焊接热影响区所产生的裂纹,应用光学显微镜对母材和裂纹处组织及夹杂物进行了分析,结果发现,在母材和裂纹处有大量的夹杂物存在。用电子探针对母材上的夹杂物进行分析表明,夹杂物主要为氧化物、硫化物或复合夹杂,具体成分见表 1。裂纹处的化学成分中含有较多的 O, S, Mn, Cu, Fe 等元素,同时在微裂纹处发现大量的 Si, O 元素等,具体成分见表 1。母材中大量的夹杂物特别是硫化物的存在,很容易在焊接过程中产生偏析而形成低熔共晶液膜。微裂纹处的化学成分中含有 S, Mn, Cu, Fe 等元素,说明有 MnS、FeS 等夹杂物存在。FeS 对热裂纹的影响较大,它沿晶界析出,并与 FeO 形成低熔共晶(988 ℃),是引起裂纹的主要原因之一;另外, Mn, Cu 共存时,很容易在局部区域产生成分偏析而形成偏析液膜,在拉应力的作用下使液膜沿奥氏体晶界开裂,形成了液化裂纹。裂纹处 O 元素的存在,说明有氧化物夹杂,成分分析表明氧化物主要是硅酸盐夹杂,这种夹杂物一方面降低金属的塑性变形能力;另一方面易产生应力集中,从而为裂纹的扩展创造了条件。

表 1 母材及裂纹处夹杂物电子探针成分分析结果(%)

区域	O	S	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Ti
母材	36.38		52.74		10.43			
		29.17	8.05	52.46	8.75	1.58		
裂纹处	11.77	3.15	32.05	10.47	17.05	2.26	3.52	19.73
	64.84	Al(1.31)	0.60		1.79	Si(30.87)	K(0.59)	

3 工艺因素对裂纹的影响

工艺因素对液化裂纹的影响是不容忽视的,特别是焊接热输入的影响。焊接时,热输入越大,则输入的热量越多,晶间低熔共晶的熔化越严重,晶界处于液态

的时间就越长。因此,液化裂纹的倾向也就越大。另外,焊接热输入的增加,不仅促使晶间液化,而且由于热输入的增加,容易使过热区晶粒粗大,增大偏析程度和焊接应力,从而增加液化裂纹的倾向。不锈钢换热器的焊接工艺参数见表 2。

表2 不锈钢换热器的焊接工艺参数

焊条牌号	焊条直径 d/mm	焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/(\text{cm} \cdot \text{min}^{-1})$	热输入 $E/(\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-1})$
A102	2.5	80 ~ 130	25 ~ 28	9 ~ 12	13.33

从表中可以看出,不锈钢换热器的焊接热输入为13.33 kJ/cm,虽然焊接热输入和低合金结构钢相比并不高,但由于不锈钢的导热系数小和线膨胀系数大,在焊接的局部加热和冷却的条件下,很容易产生局部过热和较大的焊接应力,促进了裂纹的产生和扩展。另外,在实际焊接过程中,当实际使用的焊接电流大于规定值时,更容易产生过热和焊接应力,使焊接热影响区的晶粒粗大,塑韧性降低,抗裂能力下降。

4 其他因素对裂纹产生及扩展的影响

裂纹的产生和扩展受许多因素的影响,除了化学成分、工艺等影响因素外,还要受到结构、工作介质、环境温度等因素的影响。对于发生在高温状态的热裂纹,常温下虽不再扩展,但它往往成为裂纹,在力的作用下扩展为宏观裂纹。从图1可以看出,裂纹主要出现在环焊缝上,说明该处有较大的拉应力。在焊接生产中,由于环焊缝最后焊接,焊接时的拘束应力较大,焊接应力也较大;另外,母材中的夹杂物又容易产生应力集中。因此,焊接时很容易在应力的作用下沿奥氏

体晶界的共晶液膜开裂,形成液化裂纹。另外使用过程中,在工作压力的作用下,焊接热影响区受到了拉应力的作用,各种应力的共同作用结果使裂纹沿晶界扩展,最后发展为宏观裂纹。

5 结 论

(1) 不锈钢换热器的环焊缝热影响区的裂纹主要是热裂纹,即液化裂纹。

(2) 液化裂纹的产生主要是由于母材中杂质太多,在不均匀的焊接加热和冷却过程中,很容易由于偏析而在晶界上形成低熔共晶液膜,在拉应力的作用下形成了液化裂纹。

(3) 不锈钢换热器罐体在使用过程中,焊接热影响区的液化裂纹作为裂纹源,在各种应力的作用下进一步扩展成宏观裂纹。

(收稿日期 2002 11 15)

作者简介: 刘秀忠,1962年出生,副教授。主要研究方向:焊接冶金及金属的焊接性、钎焊技术及材料、焊接检验及质量控制等。

广 告 索 引

成都华远电器设备有限公司 (封1)
 成都焊研威达自动焊接设备有限公司 (封2)
 华泰电器有限公司 (封3)
 温州电焊设备总厂 (封4)
 中美合资常州泛洋电气设备有限公司 (彩插1)
 无锡华联焊割设备厂·无锡华联精工机械有限公司 (彩插2)
 上海恒通电焊机厂 (彩插3)
 梅塞尔切割焊接有限公司(昆山) (彩插4)
 英国曼彻特 (彩插5)
 无锡市阳通机械设备有限公司 (彩插6、7)
 飞马特集团 (彩插8)
 珠海雅各臣发展有限公司 (彩插9)
 吴江市正大电热电器有限公司·吴江市焊割设备厂 (彩插10)
 南通振康机械有限公司 (彩插11)
 河北东光金属焊接材料厂 (彩插12)
 哈尔滨电机厂有限责任公司机械电子设备分公司 (彩插13)
 欧地希机电(上海)有限公司 (彩插14)
 华威集团 (彩插15)
 上海施威焊接产业有限公司·上海施威专业焊接设备厂 (彩插16)
 吴江市东南焊割设备有限公司 (彩插17)
 四川立应科技股份有限公司 (彩插18)

中国搅拌摩擦焊中心 (彩插19)
 哈尔滨焊接研究所 (彩插20)
 威尔焊接有限责任公司 (单插1)
 哈尔滨焊接研究所高频焊研究室 (单插2)
 上海正特焊接器材制造有限公司·温州市正特电焊设备厂(原温州市瓯海电焊设备厂) (单插3)
 珠海市科盈焊接器材有限公司 (单插4)
 大连环宇振动时效科技开发有限公司·大连理工大学工程力学系 (单插5)
 郑州机械研究所焊接中心 (单插6)
 沈阳恒进真空设备厂 (单插7)
 焊接器材网 (单插8)
 机械工业第一设计研究院工厂 (单插9上)
 西安昌泰化工厂 (单插9下)
 济南华云集团华云振动时效开发公司 (单插10上)
 济南西格马科技有限公司 (单插10下)
 温州市正联机械制造有限公司 (单插11)
 《焊接》、《焊接学报》、《CHINA WELDING》、《焊接文摘》2003年征订启事 (单插12)
 北京嘉克新兴科技有限公司·北京市嘉克电力电子技术研究所·清华大学机械厂 (1)
 分类广告 (43,47)
 湖南省永州市哈陵焊接器材有限责任公司 (48)