

# 复合板分离器裂纹的成因与控制措施

## Causes and Control Measures of Cracks in Composite Plate Separator

蔡春

Chun Cai

四川天华股份有限公司  
中国·四川 合江 646200  
Sichuan Tianhua Co.,Ltd.,  
Hejiang, Sichuan, 646200, China

**【摘要】**文章通过阐述典型的复合板分离器不锈钢耐蚀层裂纹,分析复合板分离器不锈钢耐蚀层裂纹产生的原因与控制措施。

**【Abstract】**This paper describes the typical composite plate separator stainless steel corrosion resistant layer crack, analysis of composite plate separator stainless steel corrosion resistant layer crack causes and control measures.

**【关键词】**复合板;分离器;裂纹

**【Keywords】**composite plate;separator;crack

**【DOI】**10.36012/etr.v1i3.419

### 1 复合板分离器情况简介

中国四川天华股份有限公司合成氨装置吸收塔入口分离器(分离器 1)、甲醇装置循环气分离器(分离器 2)设备参数及工艺参数如下表 1 所示。

表 1 分离器 1 与分离器 2 工艺参数

设备名称	尺寸/mm	压力/MPa		温度/℃		介质	设备材质
		设计	工作	设计	工作		
分离器 1	φ2400× 3700× (26+4)	3.14	2.81	132	104	转化气+ 工艺冷凝液	16MnR+ 0Cr18Ni9
分离器 2	φ1800× 7220× (34+3)	5.7	4.65	60	40	甲醇液+ 循环气	Q345R+ 0Cr18Ni9

2017 年 12 月,吸收塔入口分离器在定期检验过程中,发现内部筒体环焊缝两侧宽度 50mm 范围内人孔及接管周围出现大面积裂纹(见图 1 和图 2)。

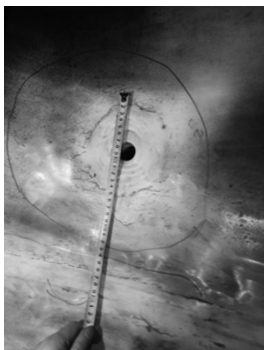


图 1 分离器 1 接管焊缝裂纹



图 2 分离器 1 主环焊缝裂纹

2018 年 12 月,甲醇装置的循环气分离器在定期检验过程中,发现筒体下部纵焊缝两侧 150mm、环焊缝两侧 50mm 范围

内出现大面积裂纹(见图 3),人孔及接管热影响区出现局部裂纹(见图 4)。在发现复合层焊缝两侧及热影响区有裂纹后,对两台分离器复合层其他部位进行表面无损检测,未发现裂纹;对基层母材从外部进行超声检测,未发现裂纹。



图 3 分离器 2 纵焊缝两侧裂纹



图 4 分离器 2 纵焊缝两侧裂纹局部图

### 2 裂纹产生的原因分析

#### 2.1 分离器 1 复合层裂纹原因分析

分离器 1 发现裂纹后,检查其他部位未发现裂纹。对焊缝两侧有裂纹部位进行打磨处理,打磨至基层,并对基层进行无损检测,未发现基层产生裂纹。复合层材质为 0Cr18Ni9,是一种很常见的普通奥氏体不锈钢<sup>[1]</sup>。而 0Cr18Ni9 不锈钢焊接的主要问题是:①0Cr18Ni9 不锈钢焊缝易在焊缝区、母材敏化区等部位产生晶间腐蚀;②0Cr18Ni9 不锈钢热物理性能导热性差,线膨胀系数大,焊接残余应力较大,在拉应力和腐蚀共同作用下,易在焊缝区产生应力腐蚀开裂;③0Cr18Ni9 不锈

钢焊接时极易产生热裂纹, 由于焊缝金属结晶期间存在加大拉应力, 加之导热系数低和线膨胀系数大, 在焊接局部加热和冷却的条件下, 焊接接头在冷却过程中可形成较大的拉应力; ④16MnR 和 0Cr18Ni9 是两种不同的材质, 其化学成分、物理性能及晶体组织存在较大差异, 在焊接过程中稀释作用强烈, 使过渡层、复合层焊缝中含碳量增多, 增大了裂纹倾向。同时, 由于基层与复合层含铬量差别较大, 促使碳向复合层迁移扩散, 在交界处的焊缝金属区域形成增碳层(基层侧 16MnR)和脱碳层(复合层 0Cr18Ni9), 两者性能悬殊较大, 这一过渡层的存在往往使塑性性能局部降低, 使该过渡层在承受校圆压应力时容易出现裂纹。

复合层裂纹位于内部筒体下环焊缝 50mm 范围内的人孔及接管周围, 而人孔及接管亦为焊缝集中区域, 分析认为此裂纹位于焊接接头及焊缝的热影响区, 为焊缝、焊接未按规范要求施工导致。

## 2.2 分离器 2 裂纹原因分析

分离器 2 环焊缝、接管、人孔热影响区裂纹, 分析认为与分离器 1 的成因相同, 均为焊接接头及焊接焊缝未严格控制所致。但分离器 2 纵焊缝两侧裂纹达到 300mm 宽度, 分析认为, 其裂纹位置已超出热影响区, 主要在制造过程中产生, 产生原因如下: ①不锈钢复合钢板在弯卷变形时冷作硬化现象严重; 随着变形度增加, 硬化后强度指标迅速升高, 塑性显著下降; ②当设备受热时会引起金属材料的晶粒粗大和脆性增加, 从而导致内应力增加而降低材料的力学性能; ③卷制中往复次数越多, 复合层和基层越易冷加工硬化, 越易形成复合层脱层和裂纹, 严重时裂纹向基层延伸扩展。根据相关制造厂的复合板设备制造经验, 在复合板卷制过程中, 应尽量减少滚压次数, 最好控制在 1.5 次以内; ④由于复合层和基层材料的导热系数和线膨胀系数相差较大(不锈钢的导热系数约为碳钢的 1/3, 线膨胀系数是碳钢的 1.5 倍), 随着温度的升高, 膨胀的差值也相应增加。因此, 复合板在焊接的过程中, 多次热循环会使焊接接头内部产生很大的内应力。同时, 在焊接过程中, 加热和冷却不均匀, 使得沿基层厚度的方向上产生很大的残余应力, 这种残余应力在复合层表面上形成拉伸应力, 造成了复合钢板焊接后复合层表面易产生裂纹, 特别是微裂纹较为明显, 而这些微裂纹在筒节校圆过程中会使裂纹扩展, 形成更大的裂纹。

## 2.3 复合板焊缝焊接裂纹的其他原因

### 2.3.1 坡口形式不合理及焊接工艺问题

坡口形式采用单一的“V”型、“U”型坡口: ①不锈钢复合板焊接的关键在于基层与复合层的交界处(即过渡层), 此处

易出现应力集中、马氏体组织和热裂纹等缺陷, 此种坡口形式虽然实施起来较为简单, 但对复合层的焊接高度不好控制, 加上错边量的影响, 过渡层的位置也不好确定, 也就无法对潜在的各种缺陷进行控制; ②焊接复合层时, 合金元素容易融入基层母材中, 造成对复合层焊缝的稀释, 易出现马氏体组织。

### 2.3.2 筒节制作工艺不合理

制造厂采购板材时, 为节约制造成本, 按照实际周长展开尺寸采购板材, 没有预留带头板(预弯量), 也没有进行预弯切除直边, 加上板材又比较厚, 筒节直径比较小, 要想使筒节上焊缝两边较短的直边段变成圆形, 就需要在筒节校圆过程中, 施加很大的压力并反复校圆, 导致筒节校圆过程中受力情况复杂, 既有来自于上辊向下的压力, 也有辊子向两侧的切向力, 焊缝内侧处于受压区, 焊缝外侧是受拉状态, 导致基层外侧焊缝热影响区处容易产生裂纹。

## 3 防止复合板裂纹产生的控制措施

从上述分析可知, 复合板分离器复合层裂纹产生的主要原因为焊接裂纹及卷制裂纹, 防止裂纹产生的关键在于控制焊接质量及复合板卷制。

### 3.1 焊接质量的控制

#### 3.1.1 焊接坡口的设计

不锈钢复合钢板的坡口形式及相关尺寸应按照 NB/T 47015—2011《压力容器焊接规程》的要求进行, 也可以按图 5 的改进形式进行。

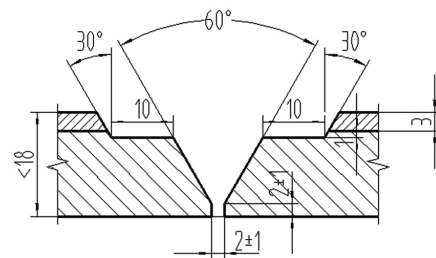


图 5 不锈钢复合钢板对接接头坡口改进形式与尺寸

上图改进坡口形式的主要优点是: ①在剥离复合层时, 向基层刨深度 1~2mm, 以增加过渡层和复合层的焊接质量, 减少焊缝两侧热影响区裂纹产生; ②基层与复合层完全分开, 便于焊工的实际操作; ③便于对基层焊接质量进行射线检测, 易于发现缺陷, 便于返修; ④焊接时尽量以复合层为基准, 使复合层对齐, 以保证其耐腐蚀性能。

#### 3.1.2 严格控制错边量

对不锈钢复合板错边量的控制要求比普通碳钢板或低合金钢板严格, 控制不锈钢复合板错边量不超标, 是保证其强度和耐腐蚀性能的一个关键控制指标。应采取以下措施进行控

制:①筒体下料展开尺寸要预留预压切除量,并保证下料尺寸正确;②保证筒节滚圆质量,并控制好圆度;③焊缝组对以复合层为基准,防止复合层错边量超标,保证封头与筒体、筒体与筒体的组对质量。

### 3.1.3 焊接顺序

为保证不锈钢复合钢板焊接性能,对基层、过渡层、复合层应分别进行焊接,遵循先焊接基层,再焊接过渡层,最后焊接复合层的焊接顺序。

### 3.1.4 焊接工艺

焊接应严格按照焊接工艺评定方法和有关标准施焊。焊接前,不锈钢复合板坡口两侧 200mm 范围内应有保护措施,防止碳钢焊接飞溅粘附在不锈钢复合层上而造成锈蚀。

### 3.1.5 基层焊接

基层的焊接应严格防止基层焊缝超焊到不锈钢过渡层或复合层焊缝上,避免基层成分对过渡层和奥氏体不锈钢层焊缝金属的稀释作用,使焊缝中奥氏体元素含量降低,在过渡层或复合层形成马氏体。若焊缝中出现马氏体组织,会恶化焊接接头性能,产生裂纹。

### 3.1.6 过渡层焊接

过渡层焊接时,一定要把坡口内的基层金属全部覆盖上,确保裸露的基层金属不与复合层相焊,并盖过复合层与基层交界面 0.5~1.5mm。为减少稀释率,在保证焊透的情况下,采用小直径焊条、小参数多道不摆动焊(直道焊)。

### 3.1.7 复合层焊接

复合层焊接时,为保证焊接质量,应采取快速多层多道小参数不摆动焊法。复合层焊接不应预热和缓冷,有时甚至可以采取强制冷却措施,以减少焊缝在 425~815℃区间(奥氏体不锈钢敏化区间)停留,防止产生“敏化-晶间腐蚀”和焊缝区 475℃脆化,从而保证焊缝金属具有良好的力学性能和抗晶间腐蚀性能。

不锈钢复合钢板焊接的关键是提高焊缝一次的合格率,减少返修率和返修次数。由于不锈钢复合板焊接接头的组织和性能十分不均匀,焊缝返修时容易产生热裂纹。另外,接触介质的不锈钢复合层应放在最后焊接。

## 3.2 复合钢板卷制质量控制

①为防止卷板过程中出现裂纹,应按文章 2.2 的相关要求操作。在复合钢板变形率 $\geq 2.0\%$ 时,必须采取复合钢板预卷的成型方法,即预弯。在卷板机上或油压机上预弯,合格后,切除直边量,并切出坡口,再卷制成对口纵缝,焊接纵缝。

②在复合钢板卷制校圆过程中,因焊缝只填满了基层,要

采用薄钢板将过渡层及复合层焊缝填满,并点焊固定,减少滚板机振动,减少应力集中。卷制过程中应监控测量硬度,防止冷硬化产生。

③尽量委托有复合板卷制经验的单位加工,或者在加工过程中将卷制过程作为质量监控重点,以防止出现筒体卷裂、复合层脱裂、多次卷制等情况。

## 3.3 预热和热处理

由于复合钢板两种金属的热膨胀系数不同,热处理过程中残余应力有可能增大,必要时应做消除应力处理,但一般情况下不做此种处理。当不得已进行消除应力处理时,必须按容器的用途采用适当的方法。当母材为低碳钢,其母材厚度 $\leq 25\text{mm}$ 时,不需消除应力;当母材厚度 $>25\text{mm}$ 时,若预热温度在 100℃以上就不需要消除应力;当母材厚度 $>38\text{mm}$ 时,才进行消除热应力处理。

不锈钢复合板焊前预热和焊后热处理按 NB/T 47015—2011《压力容器焊接规程》进行<sup>[1]</sup>。①焊前预热。不锈钢复合板基层需要预热时,应以复合钢板的总厚度作为确定预热温度的厚度参数。当基层需要进行预热时,施焊过渡层的焊缝也必须进行预热。②焊后热处理。不锈钢复合钢板应尽量避免焊后热处理,当确实需要进行焊后热处理时,应避免复合层母材和焊接接头中铬碳化物和形成 $\sigma$ 相。如焊后热处理温度在不锈钢的敏化温度区间之内,就会降低不锈钢的耐腐蚀性能,使不锈钢产生晶间腐蚀裂纹。为解决此问题,可以采用降低热处理温度,延长恒温时间的方法进行<sup>[1]</sup>。

## 4 检验要求

①检验项目。主要检验项目有:复合钢板的外观尺寸和成形质量、焊缝质量、组对质量、各受压原件及内部装置的位置、耐压性能,重点检验复合层与基层结合部位是否存在焊接缺陷,一旦检验出存在夹渣或热裂纹,必须进行返修,直至合格为止。②检验手段。主要有直观检查、量具检查、无损探伤检测、理化性能检验、水压试验等。③入厂还应进行压力容器质量证明技术资料的审查,审查是否进行监检以及相关项目的检验,以确保设备质量合格、手续合法合规。

### 参考文献

[1]于启湛,丁成钢,史春元.不锈钢的焊接[M].北京:机械工业出版社,2009.

[2]NB/T 47015—2011 压力容器焊接规程[S].

[3]中协石 ASME 规范产品委员会编著. ASME 锅炉及压力容器规范 VIII 卷 第一册 压力容器建造规则(新版)[M].北京:中国石化出版社,2017.