

# 复合板压力容器焊接技术要点分析

谢小强

(陕西化建工程有限责任公司 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 石油化工食品等行业, 由于工作介质的特殊要求, 如耐腐蚀性、洁净度等, 经常采用复合板材料来制造压力容器。复合板既能满足容器使用功能, 又能在节省下料的情况下, 经济且满足强度, 保证安全性能。因复合板为异种材料, 其物理性能及化学成分不同, 在焊接时, 极易出现焊接裂纹, 制造有一定难度。本文从复合板压力容器焊接材料选取、焊接接头、操作要点、无损检测及热处理方面, 叙述复合板压力容器焊接过程的控制要点及参考数据, 指导复合板容器的焊接过程, 减少焊接缺陷的产生, 保证容器的制造质量。

**关键词:** 复合板; 焊接方法; 焊接接头; 操作要点; 无损检测及热处理

## 1 焊接方法选择

复合板焊接方法较多, 但覆层、过渡层、基层的焊接方法一般是不同的。目前常用焊接方式有钨极氩弧焊或焊条电弧焊焊接复层, 用埋弧焊或焊条电弧焊焊接基层。

(1) 基层材料是容器的强度层, 容器需要有足够的强度。一般在设计时, 基层必须具备容器全部的强度和安全性能, 因此基层材料均采用焊接性能较好的结构钢, 如碳钢和普通低合金钢等作为基层材料, 且相对较厚, 采用焊条电弧焊、埋弧焊和  $\text{CO}_2$  气体保护焊。

(2) 不锈钢复合钢板的覆层目前应用较多的是奥氏体不锈钢, 其次是铁素体不锈钢, 对这种覆层的焊接常用电弧焊和氩弧焊。而对于以铜、铝等为覆层的复合钢板焊接, 应选择电弧功率较高的惰性气体保护焊,

如 He+Ar 混合气体保护焊、He 弧焊等。

## 2 焊接材料选择

复合板焊接材料一般根据基层、复合层、过渡层材料分为三种, 基层材料按照等强原则进行, 过渡层按照异种材料的可焊性兼顾性进行选择, 而复合层按照其满足特殊性能要求进行选择。因复合层焊接材料的成分应与覆层相近, 过渡层的焊接材料则应按照异种钢焊接来选用。过渡层和复层的焊接材料选用如表。

## 3 焊接接头结构设计

复合钢板焊接接头设计除了要遵循一般接头设计原则, 还必须考虑便于分别对基层、覆层及过渡层的焊接施工以及减少焊接第一焊道时被稀释的问题。图 1 所示为不锈钢复合钢板、铜及铜合金复合钢板对接

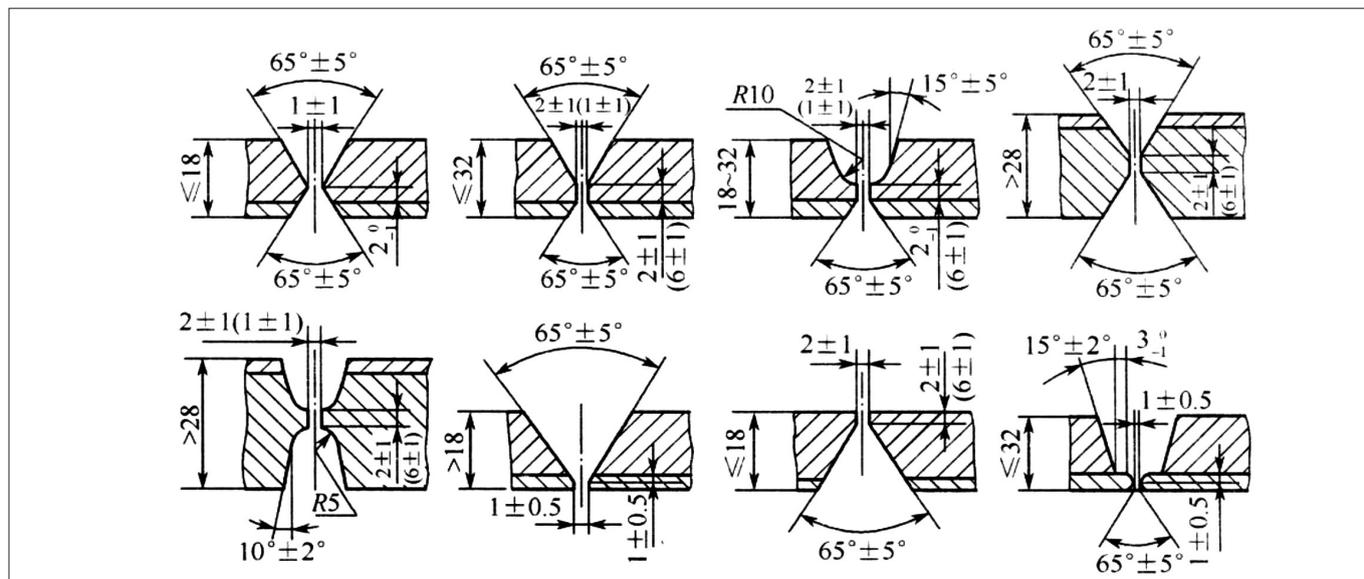


图 1 不锈钢、铜及铜合金复合钢板对接接头的常用坡口形式

表 过渡层和覆层的焊接材料 (推荐)

覆层金属	过渡层焊道		填充焊道	
	药皮焊条	光焊条和焊丝	药皮焊条	光焊条和焊丝
奥氏体 Cr-Ni 不锈钢				
OCr18Ni9	E309、E309L	ER309、ER309L	E308、E308L	ER308、ER308L
00Cr18Ni10	E309L	ER309L	E308L	ER308L
0Cr23Ni13	E309L	ER309L	E309L	ER309L
0Cr25Ni20	E310、E310Nb	ER310	E310、E310Nb	ER310
OCr17Ni11Mo	E309Mo	ER309	E316、E316L、E318	ER316、ER316L、ER318
00Cr17Ni14Mo2	E309L、E309Mo	ER309L	E316L、E318	ER316L、ER318
OCr19Ni13Mo3	E309Mo	ER309	E317、E317L	ER317、ER317L
00Cr19Ni13Mo3	E309Mo	ER309L	E317L	ER317L
OCr18Ni11Ti	E309L、E309Mo	ER309L	E347	ER321
OCr18Ni11Nb	E309Nb	ER309L	E347	ER347
铬不锈钢				
OCr13Al	ENiCrFe-2 或 ENiCrFe-3 ①	ERNiCrFe-5 或 ERNiCrFe-6 ③②	ENiCrFe-2 或 ENiCrFe-3 ①	ERNiCrFe-5 或 ERNiCrFe-6 ①③
1Cr17	E309 ①	ER309 ①	E309 ①	ER309 ①
1Cr15	E310 ① E430 ②	ER310G ① ER430 ②	E310 ① E430 ②	ER310 ① ER430 ②
1Cr13	ENiCrFe-2 或 ENiCrFe-3 ①	ERNiCrFe-5 或 ERNiCrFe-6 ③②	ENiCrFe-2 或 ENiCrFe-3 ①	ERNiCrFe5 或 ERNiCrFe-6 ①③
0Cr13	E309 ① ER310 ① E430 ②	ER309G ① ER310 ① ER430 ②	E309 ① E310 ① E410 ② E410NiMo ② E430	ER309 ① ER310 ① ER410 ② ER410NiMo ② ER430 ②
镍合金				
镍	ENi-1	ERNi-1	ENi-1	ERNi-1
镍 - 铜	ENiCu-7	ERNiCu-7	ENiCu-7	ERNiCu-7
镍 - 铬 - 铁	ENiCrFe-1、 ENiCrFe-2、ENiCrFe-3	ERNiCrFe-5	ENiCrFe-1、ENiCrFe-3	ERNiCrFe-5
铜合金				
铜	ENiCu-7	ERNiCu-7		ERCu
铜	ECuAl-A2	ERCuAl-A2		
铜	ENi-1	ERNi-1		
铜 - 镍	ENiCu-7	ERNiCu-7 ERNi-1	ECuNi	ERCuNi
铜 - 铝	ECuAl-A2	ERCuAl-A2	ECuAl-A2	ERCuAl-A2
铜 - 硅	ECuSi	ERCuSi-A	ECuSi	ERCuSi-A RBCuZn-C ④
铜 - 锡 - 锌	ECuSn-A	ERCuSn-A	ECuSn-A	ERCuSn-A

说明: (1) 不推荐在温度低于 10℃ 的材料上进行焊接; (2) 推荐最小预热温度 150℃, 尤其是厚度大于 12mm 的钢板; (3) ERNiCrFe-6 焊缝金属可时效硬化; (4) 采用氧乙炔焰熔焊。

头常用坡口形式。

钛及钛合金或铝及铝合金覆层与钢基层冶金上相容性差,因此在接头设计上要减少降低基层金属熔入覆层金属。而且在构造上与不锈钢复合钢板有较大区别,如图2所示。

#### 4 焊接工艺要点

(1) 一般情况下焊接程序是先焊基层并清根,然后按规定质量要求检验合格后,再焊过渡层,最后焊覆层,如图3所示。

(2) 焊接基层时,应防止覆层的过热和熔化。

(3) 焊接过渡层时,控制减少熔敷金属的稀释率,用小直径焊条和窄焊道,采用较小焊接参数,避免摆动,减少融合比,在采用多道焊接时,应避免焊道接头在同一断面;选用合金元素含量比覆层高的填充金属,以保证其化学成分(合金含量)。

(4) 焊接覆层时,焊缝表面应平整、美观。

(5) 需要焊后热处理消除焊接残余应力时,最好在焊完基层焊缝后进行,基层热处理后焊过渡层和覆层。一般热处理温度宜取下限,适当延长保温时间。对覆层喷丸处理也有利于降低应力。

(6) 当不锈钢复合钢板厚度小于10mm时,在不影响接头力学性能和耐蚀性的前提下,可以考虑采用与焊接覆层相同的填充金属焊接整个接头,这样工艺

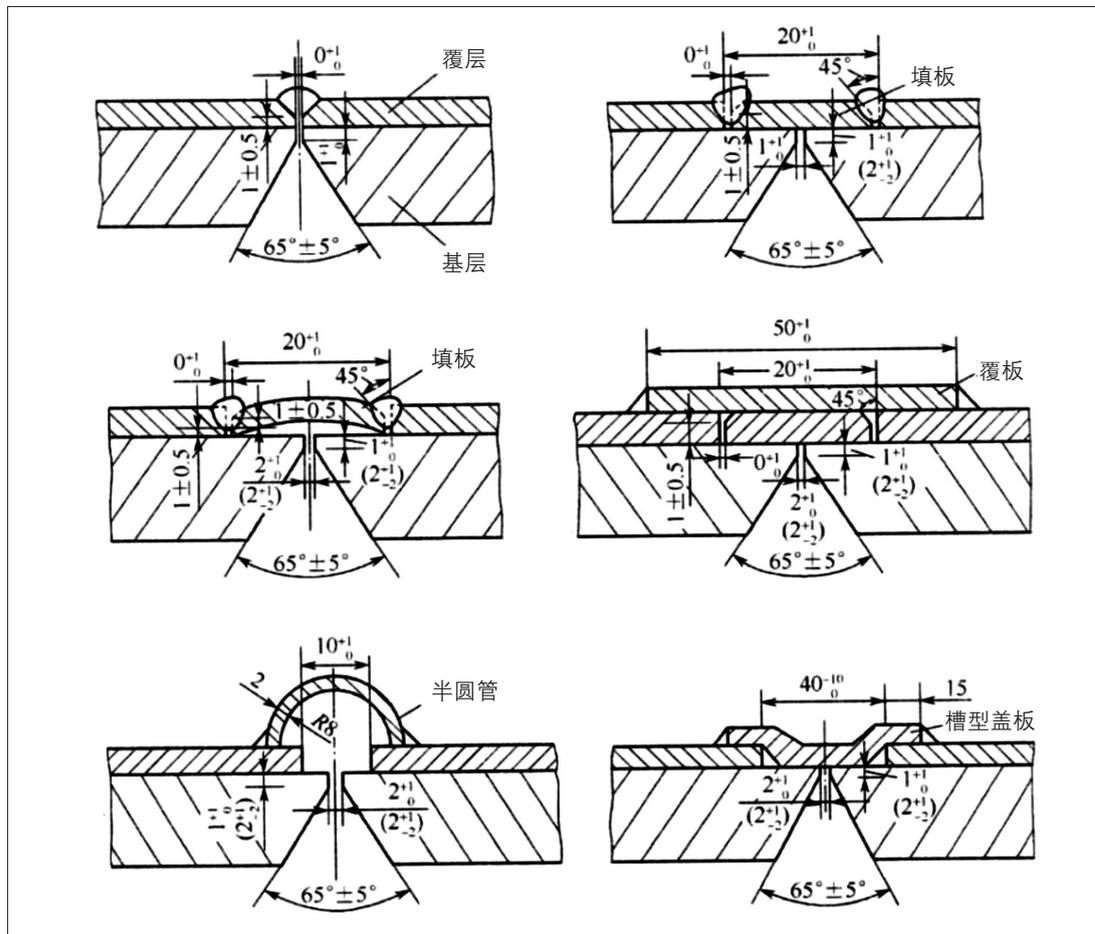


图2 钛及钛合金复合钢板对接接头的常用坡口形式

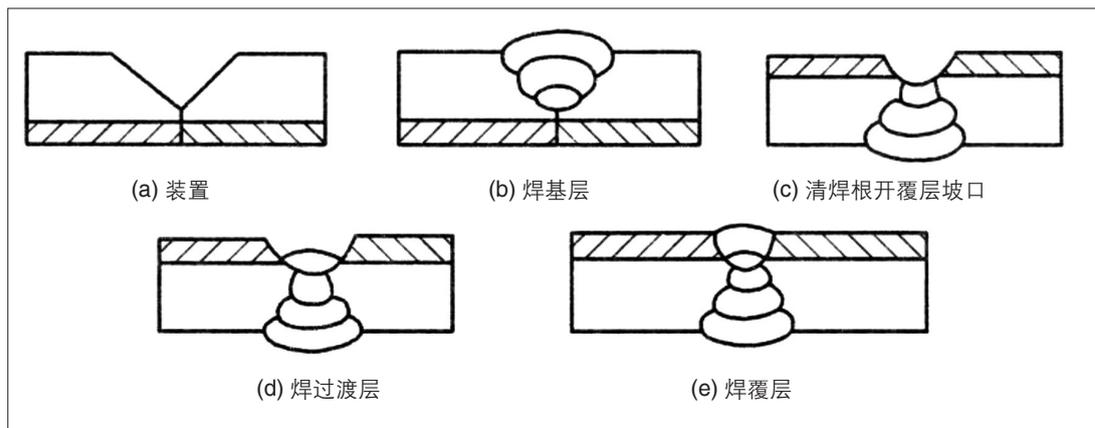


图3 焊接顺序

可以简化,成本可能会降低。

#### 5 无损检测及热处理焊后热处理

##### 5.1 清除覆层或者过渡层

复合板无损检测的种类有RT、UT、MT、PT等,RT适合基层及完整焊缝的检测,UT适合基层检测,但是覆层或过渡层焊接完毕后,无法使用,如在接管的D类焊缝的检测中,必须将覆层或者过渡层清除后进行。

MT 可用于铁磁性材料的表面检测,如碳钢层的坡口和焊缝等,PT 可检测非铁磁性材料的表面缺陷,如覆层为不锈钢的过渡层及覆层表面。检测的时机选择,可根据设计文件进行选择,如在基层厚度较厚时,我们可以分厚度进行多次进行检测,如在基层的 1/2、1/3 处分别进行检测,最终再进行检测。覆层和基层界面处,也可按照相关标准,在设计文件允许的条件下,分别对基础进行 RT 和 PT 或者 MT 的检测,也可在基层和覆层都焊接完毕的情况下进行 RT 和表面的 PT 检测,但是前种检测方式有对过渡层漏检的风险,如在过渡层产生的内部缺陷夹渣、裂纹等,这种情况下需要综合评判整体的焊接质量水平,进行检测方式的选择,如在焊接质量综合水平不可靠时,必须选择在全部分焊缝焊接完毕后再进行 UT 或者 RT 检测。

### 5.2 消除焊接残余应力

如常见的不锈钢碳钢复合板,我们在热处理时,低合金钢热处理温度为  $(620 \pm 20)^\circ\text{C}$ ,但带不锈钢层复合板容器在热处理时可适当降低热处理温度到  $(580 \pm 20)^\circ\text{C}$ ,延长热处理保温时间,适当加快热处理加热及冷却速度等方式,减少在敏化区域的停留时间,从而减少对不锈钢的耐蚀性的影响。这种方法需要工艺性能试验,来验证热处理对复合层抗腐蚀性能的影响。

## 6 结语

复合板压力容器在制造过程中,需要对焊接材料、焊接坡口、焊接顺序、焊接工艺和制造过程进行有效控制,选用合理的无损检测方式和时机,确保制造过程合规合理,从而保证容器的整体质量,为用户提供安全可靠、符合国家标准的容器产品,减少交付后在运行中质量安全风险。

### 参考文献:

- [1] 袁红,沈强. 不锈钢复合板压力容器焊接接头的疲劳分析[J]. 中国金属通报,2020(04):264+266.
- [2] 王桂江,张磊磊. 不锈钢复合材料的压力容器焊接质量控制[J]. 中国石油和化工标准与质量,2018,38(17):26-27.
- [3] 侯仰博. 奥氏体不锈钢复合板制压力容器不同热处理工艺对焊接接头性能的影响[J]. 焊接技术,2018,47(03):81-85.
- [4] 付洪亮,付林也,侯斯允. 不锈钢复合板压力容器焊接工艺的研究[J]. 沈阳工程学院学报(自然科学版),2016,12(04):378-380+384.

**作者简介:** 谢小强(1982.03-),男,汉族,陕西西乡人,本科,工程师,研究方向:压力容器制造。

