

中 华 人 民 共 和 国 行 业 标 准

P

SH/T3527-1999

石油化工不锈钢复合钢焊接规程

Code for the welding of stainless clad steel
for petrochemical industry

主编单位：中国石化集团第四建设公司

主编部门：中国石油化工集团公司

批准部门：国家石油和化学工业局

1999-12-27 发布

2000-05-01 实施

国家石油和化学工业局 发布

国家石油和化学工业局文件

国石化政发（1999）545号

关于批准《石油化工生产建筑设计规范》 等7项石油化工行业标准的通知

中国石油化工集团公司：

你公司报批的《石油化工生产建筑设计规范》等7项石油化工行业标准草案，业经我局批准，现予发布。标准名称、编号为：

强制性标准：

序号	标准编号	标准名称
1、	SH3017-1999	石油化工生产建筑设计规范（代替 SHJ17-90）

推荐性标准：

序号	标准编号	标准名称
1、	SH/T3411-1999	石油化工泵用过滤器选用、检验及验收
2、	SH/T3412-1999	石油化工管道用金属软管选用、检验及验收
3、	SH/T3413-1999	石油化工石油气管道阻火器选用、检验及验收
4、	SH/T3414-1999	石油化工钢制立式轻质油罐罐下采样器选用、检验及验收
5、	SH/T3523-1999	石油化工铬镍奥氏体钢、铁镍合金和镍合金管道焊接规程 (代替 SH3523-92)
6、	SH/T3527-1999	石油化工不锈钢复合钢焊接规程（代替 SH3527-92）

以上标准自2000年5月1日起实施。

国家石油和化学工业局
一九九九年十二月二十七日

前 言

本规程是根据中石化（1995）建标字269号文的通知，由我公司对原《不锈钢复合钢焊接规程》SH3527-92进行修订而成。

本规程共分五章和一个附录，这次修订的主要内容有：

1 第2章中，删去对复合钢板本身的技术质量要求，改为按复合钢板产品标准和设计规定进行验收。对焊接材料的选用进行了更改和扩充。

2 第3章中，增加复合钢板的工艺评定方法及检验项目，明确了各项检验的合格指标，增加了复合钢板焊工考试的方法和适用范围。

3 第4章中，对坡口形式、尺寸作了全面修改，提出了一些新的组对质量要求。

4 第5章增加了复合钢板的焊接程序要求，修改了复合钢板的返修方法。

在修订过程中，针对原规程中存在的问题，进行了比较广泛的调查研究，总结了近几年来石油化工工程中不锈钢复合钢结构的施工经验，参考了国外先进标准和有关技术资料，并征求了有关设计、施工等方面的意见，对其中主要问题进行了多次讨论，最后经审查定稿。

本规程在实施过程中，如发现需要修改补充之处，请将意见和有关资料提供我公司，以便今后

修订时参考。

我公司的通讯地址和邮政编码

通讯地址:天津市大港区世纪大道 180 号

邮政编码:300270

本规程的主编单位和主要起草人

主编单位: 中国石化集团第四建设公司

主要起草人: 陈英

1 总 则

1.0.1 本规程适用于石油化工工程不锈钢复合钢焊制的容器和管道,焊接方法为手弧焊、钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊和埋弧焊的焊接施工。

1.0.2 不锈钢复合钢的焊接除符合本规程要求外,尚应符合设计文件及相关标准的规定。

1.0.3 不锈钢复合钢焊接施工中的安全技术、劳动保护等应按《石油化工施工安全技术规程》SH3505 的有关规定执行。

1.0.4 进口材料应符合合同规定的标准和技术条件,焊接参照本规程执行。

1.0.5 相关标准:

下列标准包含的条文通过在本规程中引用,则构成本规程的条文。在本规程出版后,下列标准应是现行版本,使用本规程的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

《压力容器安全技术监察规程》

《锅炉压力容器焊工考试规则》

《钢制压力容器》 GB150

《钢制压力容器焊接工艺评定》 JB4708

《钢制压力容器焊接规程》 JB/T4709

《压力容器无损检测》 JB4730

《不锈钢复合钢板》 GB8165

《压力容器用爆炸不锈钢复合钢板》 JB4733

《不锈钢焊条》 GB/T983

《碳钢焊条》 GB5117

《低合金钢焊条》 GB5118

《焊接用钢丝》 GB1300

《气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝》 GB8110

《氩气》 GB4842

《工业液体二氧化碳》 GB6052

《碳素钢埋弧焊用焊剂》 GB5293

2 材 料

2.1 钢 材

2.1.1 不锈钢复合钢板应符合《不锈钢复合钢板》GB8165 或《压力容器用爆炸不锈钢复合钢板》

JB4733

的要求，并应具有出厂质量证明书。质量证明书应包括钢号、炉批号、规格、化学成分、力学性能、供货状态、标准号及合同中规定的附加技术条件。若指标不全或对材质有怀疑时，应予以复验。

2.1.2 钢材经验收合格后应作标识，按不同材质、规格分别放置，且复层不得与碳素钢及低合金钢接触。

2.1.3 常用不锈钢复合钢板复层的化学成分和力学性能见附录 A。

2.2 焊 接 材 料

2.2.1 不锈钢复合钢所使用的焊接材料应具有出厂质量证明书。质量证明书应包括标准号、牌号、规格、批号、熔敷金属的化学成分、力学性能及合同规定的技术条件，并应符合下列标准的规定：

- 1 不锈钢焊条应符合《不锈钢焊条》GB/T983；
- 2 基层焊条应符合《碳钢焊条》GB5117 和《低合金钢焊条》GB5118；
- 3 气体保护焊和埋弧焊焊接用钢丝应符合《焊接用钢丝》GB1300 和《气体保护焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB8110；

- 4 保护气体应符合《氩气》GB4842 和《工业液体二氧化碳》GB6052；

- 5 焊剂应符合《碳素钢埋弧焊用焊剂》GB5293。

2.2.2 对焊材质量证明书有怀疑或检验项目不全时，应按相应技术标准进行复验。

2.2.3 焊接材料的贮存保管应符合下列规定：

- 1 焊材库必须通风，库房内不得存放有害气体或有腐蚀性介质；
- 2 焊接材料应放在架子上，架子离地面高度和离墙面距离均不小于 300mm；
- 3 焊材应按种类、牌号、批号、规格和入库时间分别摆放，并有明显的标牌；
- 4 焊材库内应设温度计、湿度计，库内温度不应低于 5℃，相对湿度不超过 60%。

2.2.4 复层焊接材料应按下列原则选用：

- 1 复层为奥氏体不锈钢的焊接材料，应保证熔敷金属的主要合金元素的含量不低于复层材料标准规定的下限值；

- 2 对于有防晶间腐蚀要求的焊接接头，应采用熔敷金属中含有稳定化元素 Nb、Ti 或保证熔敷金属中含碳量小于或等于 0.04%的焊接材料；

- 3 复层为奥氏体不锈钢的手弧焊宜采用电弧稳定、飞溅少的钛钙型酸性焊条；

- 4 复层为异种奥氏体不锈钢的焊接材料，应保证熔敷金属中 Cr、Ni 含量不低于合金含量较低一侧复层材料标准规定的下限值；

- 5 复层为马氏体或铁素体不锈钢时，可选用与复层材料金相组织相同的焊接材料，也可选用奥氏体焊接材料；

- 6 复层为奥氏体与铁素体或马氏体异种不锈钢的焊接材料，其熔敷金属中 Cr、Ni 含量宜不低于奥氏体侧材料标准规定的下限值。

2.2.5 基层焊接材料按《钢制压力容器焊接规程》JB/T4709 的规定选用。

2.2.6 过渡层焊接材料应按下列原则选用：

- 1 不锈钢复合钢过渡层焊条宜选择 25%Cr-13%Ni 型或 25%Cr-20%Ni 型，以补充基层对复层

的稀释;

2 对复层含钼的不锈钢复合钢,应采用 25%Cr-13%Ni-Mo 型焊条。

2.2.7 常用不锈钢复合钢焊接材料可按表 2.2.7-1 ~ 2.2.7-3 选用。

表 2.2.7-1 常用不锈钢复合钢基层焊接材料选用

层 材 质	手 弧 焊		埋 弧 焊			氩 弧 焊	CO ₂ 保护焊
	焊 条		焊丝钢号	焊 剂		焊丝钢号	焊丝钢号
	型 号	牌 号		型 号	牌 号		
Q235-A、Q235-B、 20g、20R	E4303	J422	H08A	HJ401-H08A	HJ431	H08Mn2SiA	H08Mn2SiA
	E4315	J427	H08MnA	HJ401-H08MnA			
16Mn	E5015	J507	H08MnA H10Mn2 H10MnSi	HJ401-H08MnA	HJ431	H08Mn2SiA	H08Mn2SiA
16MnR	E5015	J507		HJ401-H10Mn2			
	E5015-G	J507R		HJ401-H10MnSi			
12CrMo	E5515-B1	R207	H13CrMoA	—	HJ350	H13CrMoA	—
15CrMo 15CrMoR	E5515-B2	R307					

表 2.2.7-2 同种复层材质过渡层及复层焊接材料选用

复层材质	过渡层焊接		复层焊接				备 注
	焊条牌号	焊条型号	焊条牌号	焊条型号	焊丝钢号	焊剂牌号	
0Cr18Ni9	A302 A307 A062 A402 A407	E309-16 E309-15 E309L-16 E310-16 E310-15	A102 A107	E308-16 E308-15	H0Cr21Ni10	HJ260	
00Cr19Ni10	A062	E309L-16	A002	E308L-16	H00Cr21Ni10	HJ260	
0Cr18Ni10Ti	A302 A307 A062 A402 A407	E309-16 E309-15 E309L-16 E310-16 E310-15	A132 A137	E347-16 E347-15	H0Cr20Ni10Ti H0Cr20Ni10Nb	HJ260	
0Cr17Ni12Mo2	A312 A042	E309Mo-16 E309MoL-16	A202	E316-16	H0Cr19Ni12Mo2	HJ260	
00Cr17Ni14Mo2	A042	E309MoL-16	A022	E316L-16	H00Cr19Ni12Mo2	HJ260	
0Cr13Al	A302 A307 A402 A407	E309-16 E309-15 E310-16 E310-15	A302 A102	E309-16 E308-16	—	—	奥氏体焊条
	G302 G307	E430-16 E430-15	G302 G307	E430-16 E430-15	—	—	同组织焊条
0Cr13	A302 A307 A402 A407	E309-16 E309-15 E310-16 E310-15	A302 A102	E309-16 E308-16	—	—	奥氏体焊条
	G302 G307	E430-16 E430-15	G202 G207	E410-16 E410-15	—	—	同组织焊条

表 2.2.7-3 异种复层材质过渡层及复层焊接材料选用

复层材质		过渡层焊接		复层焊接			
		焊条牌号	焊条型号	焊条牌号	焊条型号	焊丝钢号	焊剂牌号
0Cr18Ni9	00Cr19Ni10 00Cr18Ni10Ti 0Cr17Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2	A302 A307 A062	E309-16 E309-15 E309L-16	A102 A107	E308-16 E308-15	H0Cr21Ni10	HJ260
00Cr19Ni10	0Cr18Ni10Ti	A062	E309L-16	A002 A132 A137	E308L-16 E347-16 E347-15	H00Cr21Ni10 H0Cr20Ni10Ti H0Cr20Ni10Nb	HJ260
	0Cr17Ni12Mo2	A062 A042 A312	E309L-16 E309MoL-16 E309Mo-16	A202 A002	E316-16 E308L-16	H0Cr20Ni10Ti H0Cr20Ni10Nb H0Cr19Ni12Mo2	HJ260
	00Cr17Ni14Mo2	A062 A042	E309L-16 E309MoL-16	A002 A022	E308L-16 E316L-16	H00Cr21Ni10 H00Cr19Ni12Mo2	HJ260
0Cr18Ni10Ti	0Cr17Ni12Mo2	A062 A312	E309L-16 E309Mo-16	A132 A137 A202	E347-16 E347-15 E316-16	H0Cr20Ni10Ti H0Cr19Ni12Mo2 H0Cr20Ni10Nb	HJ260
	00Cr17Ni14Mo2	A062 A042	E309L-16 E309MoL-16	A132 A002	E347-16 E308L-16	H0Cr20Ni10Ti H0Cr19Ni12Mo2	HJ260
0Cr17Ni12Mo2	00Cr17Ni14Mo2	A042 A312	E309MoL-16 E309Mo-16	A202 A022	E316-16 E316L-16	H0Cr19Ni12Mo2 H00Cr19Ni12Mo2	HJ260
0Cr13 0Cr13Al	00Cr19Ni10 0Cr17Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2 0Cr18Ni9 0Cr18Ni10Ti	A302 A307 A062	E309-16 E309-15 E309L-16	A302 A307 A102 A107	E309-16 E309-15 E308-16 E308-15	H0Cr21Ni10	HJ260

3 焊接工艺评定和焊工考试

3.1 焊接工艺评定

3.1.1 焊接工艺评定除执行本规程规定外, 3.1.2 尚应符合《钢制压力容器焊接工艺评定》JB4708 的有关规定。

3.1.2 复层厚度包括在设计计算内时, 应按下列规定进行评定:

1 试件按复合钢板总厚度制备, 评定合格的焊接工艺适用的焊件厚度有效范围应按试件的总厚度计算;

2 试件经外观检查 and 无损检测后进行试样加工, 有热处理要求的试件, 热处理之后再进行加工, 其试样的种类和数量应按表 3.1.2-1 确定;

表 3.1.2-1 对接接头试样种类和数量

试件厚度 (mm)	拉伸试验	弯曲试验			冲击试验	
		面弯	背弯	侧弯	焊缝区	热影响区
$T < 20$	2	2	2	注	3	3
$T \geq 20$	2	—	—	4	3	3

注: 当试件厚度 $d \geq 10\text{mm}$ 时, 可用 4 个侧弯试样代替面弯和背弯。

3 拉伸试样应以复合钢板总厚度为准制备, 用机械方法去除试样焊缝余高, 使之与母材平齐, 并应符合下列规定:

a 试样型式及尺寸见图 3.1.2-1;

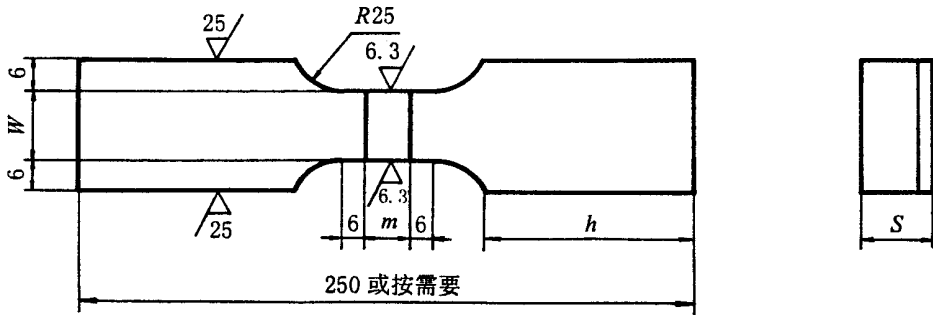


图 3.1.2-1 不锈钢复合钢板的拉伸试样

S - 试样厚度 W - 试样被测段宽度, 不小于 25mm

m - 焊缝最大宽度 h - 试样夹持部分长度, 根据试验机具而定

b 拉伸试验应按《金属拉伸试验方法》GB228 的要求测定焊接接头的抗拉强度;

c 每个试样的抗拉强度 s_b 应符合下式要求:

$$s_b \geq \frac{s_{b1}t_1 + s_{b2}t_2}{t_1 + t_2} \quad (3.1.2-1)$$

式中 s_{b1} ——复层抗拉强度标准下限值(MPa);

s_{b2} ——基层抗拉强度标准下限值(MPa);

t_1 ——复层厚度(mm);

t_2 ——基层厚度(mm)。

4 弯曲试样应以不锈钢复合钢板的总厚度制备, 弯曲试样应用机械方法去除焊缝余高, 试样拉伸

面应平齐，且保留焊缝两侧中至少一侧的母材原始表面，加工刀痕应与试样的纵轴平行，并符合下列规定：

a 试样的型式和尺寸见图 3.1.2-2 或图 3.1.2-3。试样长度 L 分别按下式计算：

$$L = D + 2.5S + 100 \quad (3.1.2-2)$$

$$L = D + 105 \quad (3.1.2-3)$$

式中 D —— 弯轴直径（mm）；

S —— 试样厚度（mm）。

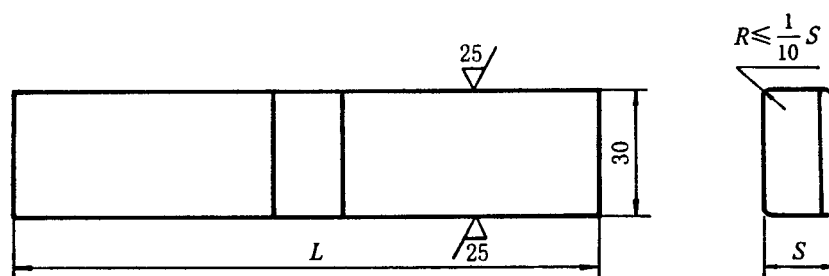


图 3.1.2-2 面弯、背弯试样

b 弯曲试验应按《金属弯曲试验方法》GB232 的要求测定接头的致密性和塑性；

c 面弯、背弯试样应按《钢制压力容器焊接工艺评定》JB4708 的要求进行评定，面弯、背弯的弯曲角度分别按受拉面材质选取；

d 侧弯试样的型式和尺寸见图 3.1.2-3；

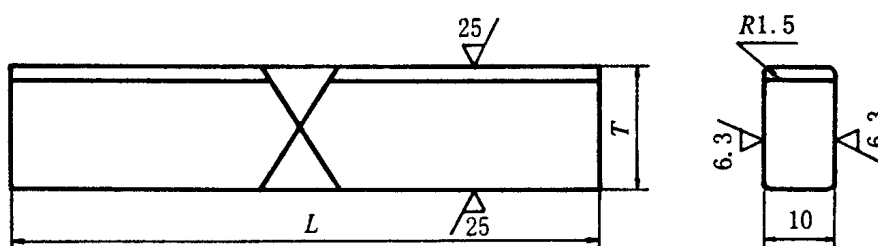


图 3.1.2-3 侧弯试样

T —— 试件厚度（mm）

侧弯试样应按表 3.1.2-2 的要求进行试验。

表 3.1.2-2 侧弯试验要求

试样宽度 B (mm)	弯轴直径 D (mm)	支座间距离(mm)	弯曲角度 (°)
10	40	62	180

e 合格标准：侧弯试样弯曲到规定的角度后，其受拉面上不得有横向长度(沿试样宽度方向)大于 1.5mm 的裂纹或缺陷，或纵向长度(沿试样长度方向)大于 3mm 的裂纹或缺陷。试样的棱角及焊接接头以外的复合界面开裂不计，但确因夹渣或其他焊接缺陷引起试样棱角开裂的长度应计入评定。

5 冲击试样应在基层上取样，并符合下列规定：

a 试样位置：试样垂直于焊缝轴线，缺口轴线垂直于母材表面，取样位置靠近基层外表

面

1 ~ 2mm。焊缝区试样的缺口轴线位于焊缝中心线上，热影响区试样的缺口轴线至试样轴线与熔合线交点的距离 S 大于零，且尽可能多地通过热影响区(图 3.1.2-4)；

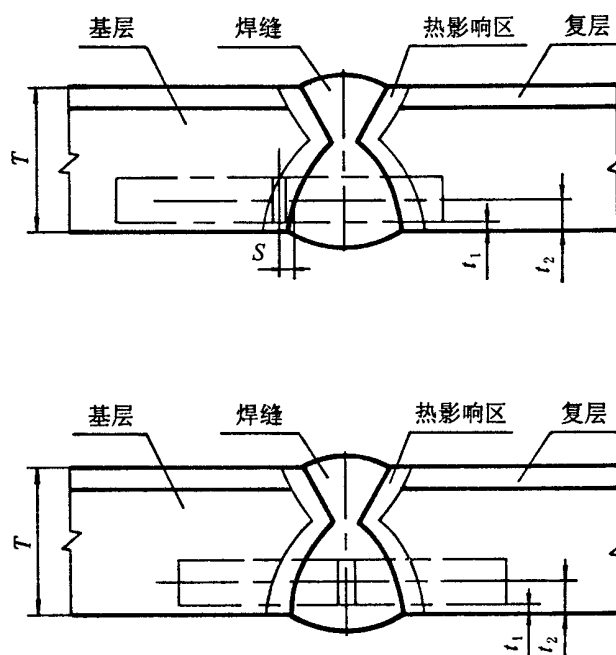


图 3.1.2-4 冲击试样取样位置

当 $T \leq 60\text{mm}$ 时， t_1 约为 1 ~ 2mm；当 $T > 60\text{mm}$ 时， $t_2 = T/4$ 。

b 试样型式、尺寸和试验方法应符合《金属夏比(V 型缺口)冲击试验方法》GB2106 的规定；

c 合格标准：每个区(焊缝区、热影响区)三个试样的冲击功平均值不低于母材标准规定值，且只允许有一个试样的冲击功低于规定值，但不低于规定值的 70%。

3.1.3 复层厚度不包括在设计计算内时，焊接工艺评定可按 3.1.2 执行，也可按下列条款执行：

- 1 基层焊缝单独进行评定，按《钢制压力容器焊接工艺评定》JB4708 规定执行；
- 2 复层、过渡层焊缝按《钢制压力容器焊接工艺评定》JB4708 中耐蚀层堆焊评定要求进行评定。

3.1.4 法兰堆焊及复合管堆焊，按《钢制压力容器焊接工艺评定》JB4708 中耐蚀层堆焊评定要求进行评定。

3.1.5 当图样有耐腐蚀性能或化学成分等检验要求时，工艺评定应增加相应的试验评定项目。

3.2 焊工考试

3.2.1 凡参加不锈钢复合钢焊接的焊工必须进行考试，合格后方可承担焊接作业。

3.2.2 焊工考试应执行《锅炉压力容器焊工考试规则》的有关规定，并按下述原则进行考试：

- 1 按基层材质和复层材质分别进行考试，也可按不锈钢复合钢进行考试；
- 2 分别考试时，试件的选择应按复合钢的总厚度考虑。

3.2.3 用不锈钢复合钢考试时，对接接头应取两件侧弯试样或面、背弯试样各一件作性能检验，取样尺寸、试验方法、合格标准执行 3.1.2 条第 4 款。

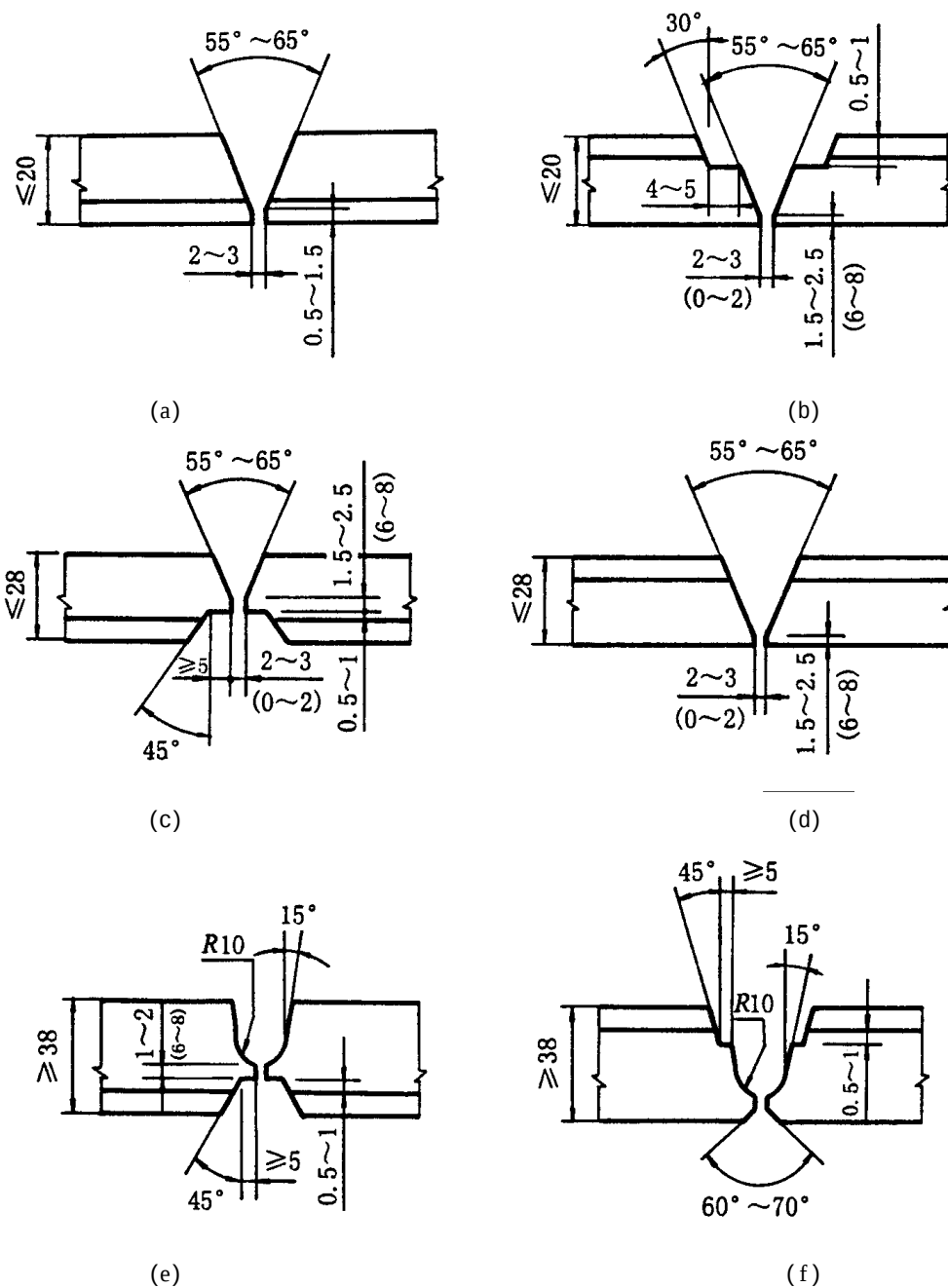
3.2.4 不锈钢复合钢的基层和复层焊缝可分别由具备相应资格的焊工进行施焊，但焊接过渡层焊缝的焊工应同时具备基层类和复层类材质的焊接资格。

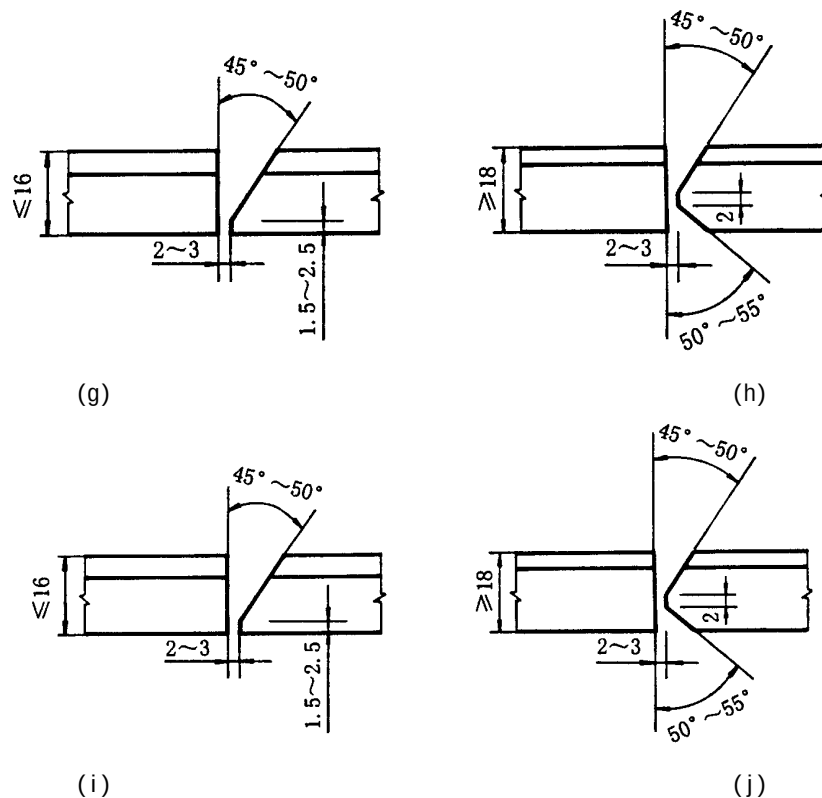
3.2.5 施焊工艺评定试件的焊工，如工艺评定合格，可用其结果申报相应焊接资格。

4 焊 前 准 备

4.1 坡口加工及检查

4.1.1 坡口形式及尺寸宜按设计规定或图 4.1.1 选用，其原则为保证焊接质量，填充金属量少，熔合比小，便于操作等。





注：括号内尺寸供埋弧焊使用。

图 4.1.1 不锈钢复合钢常用坡口形式

4.1.2 不锈钢复合钢的切割及坡口加工宜采用机械方法，切割面应光滑。采用剪床切割时，复层应朝上。

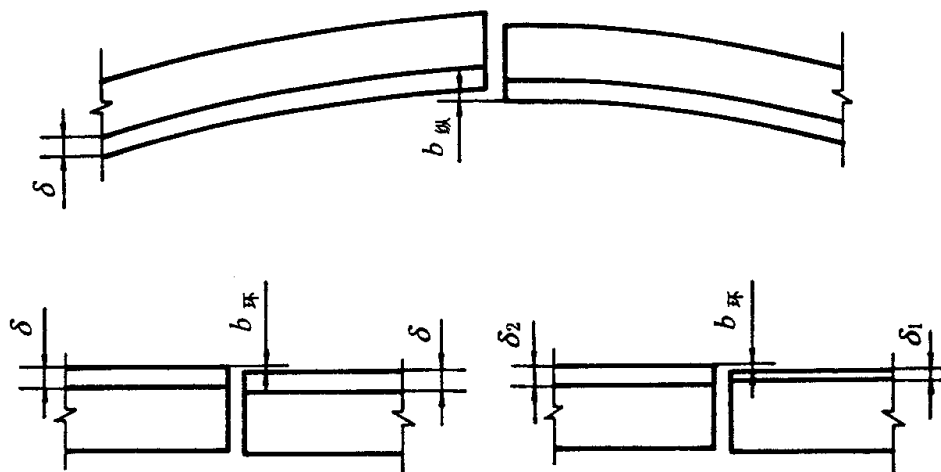
4.1.3 厚度大于 12mm 的不锈钢复合钢可采用等离子切割或氧乙炔切割，切割后，应用机械方法去除端面及热影响区缺陷。采用等离子切割时复层应朝上，采用氧乙炔切割时复层应朝下。严禁将切割的熔渣落在复层上。

4.1.4 加工完的坡口应进行外观检查，不得有裂纹和分层，否则应进行修补。

4.2 组对与定位焊接

4.2.1 坡口及其两侧各 20mm 范围内应进行表面清理，复层距坡口 100mm 范围内应涂防飞溅涂料。

4.2.2 组对时应以复层为基准，对口错边量不大于复层厚度的 50%，且不大于 2mm。当复层不等厚时，按较小的复层厚度 d_1 取错边量(图 4.2.2)。



复层等厚

复层不等厚, $\delta_1 < \delta_2$

图 4.2.2 对口错边量

4.2.3 定位焊应焊在基层母材上, 且采用与焊接基层金属相同的焊接材料。手弧焊定位焊焊缝尺寸参见表 4.2.3。

表 4.2.3 手弧焊定位焊焊缝尺寸 (mm)

焊件厚度	焊缝厚度	焊缝长度	间距
≤ 20	$\leq 0.70 \delta_0$ 且不小于 6	> 30	不大于 500
> 20	不小于 8	> 50	

注: δ_0 为基层厚度。

4.2.4 在装配过程中, 严禁在复层上焊接工卡具, 工卡具应焊在基层一侧, 且采用与焊接基层金属相同的焊接材料。去除工卡具时, 应防止损伤基层金属, 焊接处打磨光滑。

4.2.5 复层侧附件的焊接应符合设计图样要求, 当设计要求复层侧附件焊在基层金属上时, 应按下列步骤进行:

- 1 把复层部分剥开;
- 2 不锈钢托架直接焊在基层壳体上, 采用过渡层焊条焊接;
- 3 焊缝表面采用与焊复层相同的焊条进行焊接, 并圆滑过渡至母材。

5 焊 接

5.1 一般规定

5.1.1 焊接前应根据焊接工艺评定编制焊接工艺文件。

5.1.2 焊接环境应符合下列规定:

- 1 焊件温度低于 0°C 时, 在始焊处 100mm 范围内预热到 15°C 左右;
- 2 手弧焊时, 风速不大于 10m/s , 气体保护焊时, 风速不大于 2m/s ;
- 3 相对湿度不大于 90%;
- 4 焊接场所有防风、雨、雪措施。

5.1.3 焊接设备应处于完好状态,并安装经校验合格的电流、电压表。

5.1.4 焊工使用辅助工具应准备齐全。

5.1.5 焊条、焊剂使用前应按产品说明书要求进行烘干,烘好的焊条领出后应放在保温筒中,随用随取。焊条在保温筒中放置时间超过 4h,应重新进行烘干,但烘干次数不得超过两次。

5.2 预 热

5.2.1 当不锈钢复合钢的基层需要预热时,基层焊接应按基层要求进行预热,但预热的厚度参数应按不锈钢复合钢板的总厚度考虑,预热温度可按表 5.2.1 选用。

表 5.2.1 常用不锈钢复合钢基层焊接预热温度

复 合 钢		复合钢总厚度 (mm)	预热温度 (℃)
基 层 材 质	复 层 材 质		
Q235-A Q235-B 20R 20g	0Cr18Ni9 0Cr18Ni10Ti 0Cr17Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2	30 ~ 50	50 ~ 80
	00Cr19Ni10 0Cr13Al 0Cr13	≥ 50	100 ~ 150
16MnR 16Mn	0Cr18Ni9 0Cr18Ni10Ti 0Cr17Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2	30 ~ 50	100 ~ 150
	00Cr19Ni10 0Cr13Al 0Cr13	> 50	150 ~ 250
12CrMo 15CrMo 15CrMoR	0Cr18Ni9 0Cr18Ni10Ti 0Cr17Ni12Mo2 00Cr17Ni14Mo2 00Cr19Ni10 0Cr13Al 0Cr13	> 10	150 ~ 250

5.2.2 复层为铁素体或马氏体不锈钢,且采用与复层金相组织相同的焊接材料焊接时,复层必须进行预热,预热温度可按表 5.2.2 选取。

表 5.2.2 铁素体和马氏体不锈钢复合钢复层焊接预热温度

复层材质	预热温度 (°C)	备 注
0Cr13Al	≥ 100	同金相组织焊接材料
0Cr13	≥ 150	同金相组织焊接材料

5.2.3 当基层或复 5.2.4 层需要预热时， 5.2.5 施焊过渡层焊缝也必须进行预热。基层和复5.2.6 层均需要预热时， 5.2.7 过渡层焊缝应按预热温度较高一方选取。

5.2.4 预热宜采用电加热法。

5.2.5 当焊接环境温度低于 0 °C时，其预热温度应取规定预热温度的上限。

5.2.6 预热范围应以对口中心线为基准，两侧各取不小于总厚度的三倍，且不得小于 50mm，对有淬硬倾向或易产生延迟裂纹的材料，每侧不得小于 100mm 。

5.2.7 预热应在焊口两侧均匀进行，并防止过热。

5.3 焊 接 工 艺

5.3.1 焊接宜先焊基层，后焊过渡层和复层，且焊接基层时不得将基层金属沉积在复层上。当条件受到限制时，也可先焊复层，再焊过渡层和基层，在这种情况下，基层的焊接应选用与过渡层焊接相同的焊接材料。

5.3.2 焊接与无损检测的程序应按设计规定执行，当设计无规定时，可按下述方法之一进行：

1 基层、过渡层及复层焊缝全部焊接完毕后进行射线检测；

2 当满足下列条件时，射线检测可在过渡层及复层焊缝焊接之前进行，但过渡层和复层焊缝全部焊完后，再用射线检测，焊缝不得存在裂纹：

a 焊接接头处基层的厚度不小于设计计算值；

b 复层为非空气淬硬的不锈钢材料。

5.3.3 过渡层焊接宜用小线能量多道焊接。

5.3.4 过渡层的焊缝金属在基层处的厚度 b 宜为 1.5 ~ 2.5mm，在复层处的厚度 a 宜为 0.5 ~ $\delta/2$ mm，且不宜大于 2mm（图 5.3.4）。

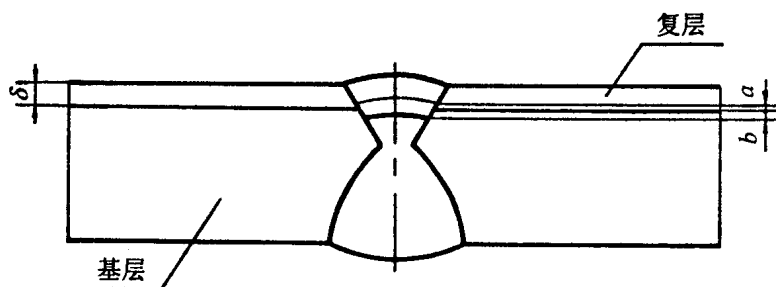


图 5.3.4 过渡层焊缝金属厚度

5.3.5 焊接复层前，必须将过渡层焊缝表面和坡口边缘清理干净。

5.3.6 焊接有预热要求的钢材，层间温度不应低于预热温度。

5.3.7 纵缝焊接时，应将过渡层及复层焊缝两端各留 30 ~ 50mm 不焊，待环缝基层焊接后，再将纵缝两端焊接成形。

5.3.8 角焊缝焊接应符合下列要求:

1 当设计图样无规定时,复合接管(包括人孔筒节)或碳素钢接管与设备壳体组焊,应使接管端部与壳体复合板界面对齐,焊接过渡层和复层焊缝时将管端部堆焊成形,不锈钢接管与设备壳体组焊时宜采用内齐平结构(图 5.3.8);

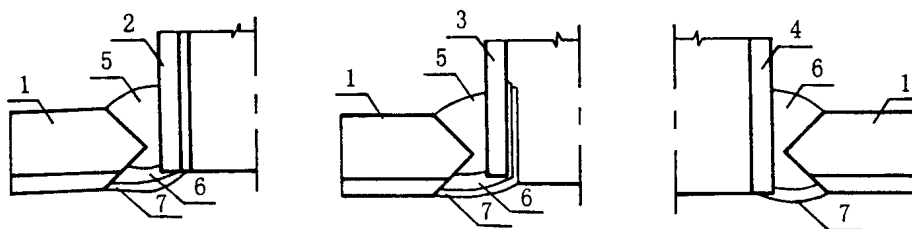


图 5.3.8 人孔、接管焊接示意

1—壳体 2—复合钢管 3—碳钢管 4—不锈钢管
5—用基层焊材 6—用过渡层焊材 7—用复层焊材

- 2 基层类材质相焊的部位,应选用与焊接基层相同的焊接材料;
- 3 复层类材质相焊的部位,应选用与焊接复层相同的焊接材料;
- 4 基层类材质与复层类材质相焊的部位,应选用过渡层焊接材料;

5 当接管角焊缝无法进行双面焊时,应先将复合管或碳钢接管端部堆焊成形,组对后用复层焊接材料焊接复层,再用过渡层焊接材料焊接其余焊道。

5.3.9 不锈钢复合钢经冷成形或热成形产生局部分层时,应先去掉复层,再将基层表面去掉 1~2mm 深度,分别用过渡层及复层焊条堆焊。焊后表面应磨平(图 5.3.9),并进行渗透检测。

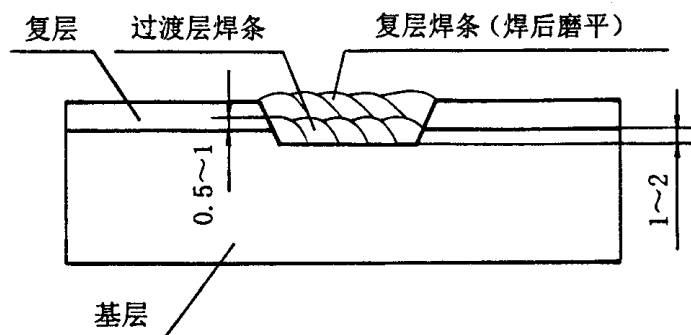


图 5.3.9 不锈钢复合钢修复示意

5.4 焊 接 检 验

5.4.1 焊缝外观应符合下列要求:

- 1 焊缝成形良好,尺寸应符合设计要求;
- 2 焊缝表面不得有气孔、夹渣、裂纹、弧坑和飞溅物;
- 3 基层钢材采用标准抗拉强度下限值大于 540MPa 钢及 Cr-Mo 低合金钢和焊缝系数为 1 的焊接接头,其焊缝表面均不得有咬边。除此之外,基层侧焊缝咬边深度不得大于 0.5mm,咬边长度不得大于该焊缝全长的 10%,且不得大于 100mm;
- 4 复层侧不得有咬边缺陷;
- 5 角焊缝的焊脚尺寸应符合设计规定,并应平缓过渡至母材。

- 5.4.2 焊缝无损检测应符合设计要求及《压力容器无损检测》JB4730 的规定。
- 5.4.3 当焊接与无损检测程序按 5.3.2 条第 2 款执行时，复层焊缝表面应进行渗透检测。
- 5.4.4 有耐腐蚀要求的不锈钢复合钢焊制容器、管道，其复层焊缝表面应进行酸洗钝化处理。

5.5 焊 缝 返 修

- 5.5.1 焊缝返修应由持证焊工担任。
- 5.5.2 返修前先对缺陷进行定位，当缺陷位置距复层表面不大于 8mm 时，应在复层一侧进行返修；否则，在基层一侧进行返修，并控制刨槽深度，严禁伤及过渡层焊缝。
- 5.5.3 磨削或碳弧气刨清除缺陷时，刨槽底部应修磨成 U 形，槽长不得小于 50mm。
- 5.5.4 焊缝返修应采用与正式焊接相同的焊接材料与工艺(埋弧自动焊除外)。
- 5.5.5 要求焊后热处理时，焊缝返修必须在热处理前进行。
- 5.5.6 返修后的焊缝应修磨成与原焊缝基本一致，并按原无损检测要求检验。
- 5.5.7 同一部位焊缝返修不应超过两次，超过时，应经施工单位技术总负责人批准。

5.6 焊后热处理

- 5.6.1 焊后热处理应按设计图样要求进行。
- 5.6.2 用不锈钢复合钢板制造的容器、管道或部件，当其基层需要进行焊后热处理时，应按基层要求选择热处理加热温度，其他参数按不锈钢复合钢板总厚度进行计算。常用不锈钢复合钢焊后热处理参数见表 5.6.2。

当基层材料需要焊后热处理时，复层盖面焊缝的焊接可在热处理之后进行。

表 5.6.2 常用不锈钢复合钢基层焊后热处理推荐参数

复层材料	基层材料	加热温度 (℃)	恒温时间 (h)	加热速度 (℃/h)	冷却速度 (℃/h)
铁素体系 马氏体系 奥氏体系 (稳定化、 超低碳)	Q235-A Q235-B 20R、20g	580 ~ 620	$T/25$ ，且 不小于 1/4	400℃以上时，加热速度 不得超过 5000/T℃/h， 且不得超过 200℃/h， 不得低于 50℃/h	不得超过 6500/T℃/h， 且不得超过 260℃/h，不 低于 50℃/h，400℃以 下自然冷却
	16Mn 16MnR	580 ~ 620			
	12CrMo 15CrMo 15CrMoR	600 ~ 680			

注：① T 为不锈钢复合钢总厚度 (mm)；

②奥氏体不锈钢复合钢应尽量避免焊后热处理，当需要进行焊后热处理时，应采取有效措施防止复层脱落和碳化物析出，控制 σ 相形成。

- 5.6.3 复层为铁素体或马氏体不锈钢复合钢制造的容器、管道或部件，应按复层材料要求进行焊后热处理。但采用奥氏体不锈钢焊接材料焊接过渡层和复层，且基层不要求焊后热处理时，可免做焊后热处理。
- 5.6.4 局部热处理时，宜采用电加热法，加热范围应以焊缝中心为基准，两侧不应小于焊缝宽度的三倍，且不小于 100mm。

用 词 说 明

本规程条文中要求执行严格程度不同的用词，说明如下：

（一）表示很严格，非这样做不可的用词

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

（二）表示严格，在正常情况下应这样做的用词

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

（三）表示允许稍有选择，在条件许可时，首先应这样做的用词

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做，采用“可”。

附录 A 常用不锈钢复合钢板复层的化学成分和力学性能

表 A 常用不锈钢复合钢板复层的化学成分和力学性能

复层钢号	国别	化 学 成 分 (%)										力 学 性 能						标准号
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti	Al	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	σ_b (MPa)	δ_5 (%)	HB	HRB	HV	
0Cr13	中	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.030	11.50 ~ 13.50					≥ 206	≥ 412	≥ 20	≤ 183	≤ 88	≤ 200	GB3280
SUS410S	日	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.040	≤ 0.030	11.50 ~ 13.50	≤ 0.08				≥ 177	≥ 412	≥ 20	≤ 183			JIS G4307
0Cr13Al	中	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.035	≤ 0.030	11.50 ~ 14.50				0.1 ~ 0.3							GB3280
SUS405	日	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 1.00	≤ 0.040	≤ 0.030	11.50 ~ 14.50	≤ 0.08			0.1 ~ 0.3	≥ 177	≥ 412	≥ 20	≤ 183			JIS G4307
0Cr18Ni9	中	≤ 0.07	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.030	17.00 ~ 19.00	8.00 ~ 11.00				≥ 206	≥ 520	≥ 40	≤ 187	≤ 90	≤ 200	GB3280
SUS304	日	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	18.00 ~ 20.00	8.00 ~ 10.50				≥ 206	≥ 520	≥ 40	< 187	< 90	< 200	JIS G4307
00Cr19Ni10	中	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.030	18.00 ~ 20.00	8.00 ~ 12.00				≥ 177	≥ 481	≥ 40	≤ 187	≤ 90	≤ 200	GB3280
SUS304L	日	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	18.00 ~ 20.00	9.00 ~ 13.00				≥ 177	≥ 481	≥ 40	< 187	< 90	< 200	JIS G4307
0Cr18Ni10Ti	中	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.030	17.00 ~ 19.00	9.00 ~ 12.00		≥ 5 × C		≥ 206	≥ 520	≥ 40	≤ 187	≤ 90	≤ 200	GB3280
SUS321	日	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	17.00 ~ 19.00	9.00 ~ 13.00		≥ 5 × C		≥ 206	≥ 520	≥ 40	≤ 187	≤ 90	≤ 200	JIS G4307
0Cr17Ni12Mo2	中	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.030	16.00 ~ 18.00	10.00 ~ 14.00	2.00 ~ 3.00			≥ 206	≥ 520	≥ 40	≤ 187	≤ 90	≤ 200	GB43280
SUS316	日	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	16.00 ~ 18.00	10.00 ~ 14.00	2.00 ~ 3.00			≥ 206	≥ 520	≥ 40	≤ 187	≤ 90	≤ 200	JIS G4307
00Cr17Ni14Mo2	中	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.035	≤ 0.030	16.00 ~ 18.00	12.00 ~ 15.00	2.00 ~ 3.00			≥ 177	≥ 481	≥ 40	≤ 187	≤ 90	≤ 200	GB3280
SUS316L	日	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	16.00 ~ 18.00	12.00 ~ 15.00	2.00 ~ 3.00			≥ 177	≥ 481	≥ 40	≤ 187	≤ 90	≤ 200	JIS G4307

石油化工不锈钢复合钢焊接规程

SH/T 3527-1999

条文说明

1 总 则

1.0.1 适用范围

随着不锈钢复合钢的应用日趋广泛,本规程修订后扩大了适用范围,在过去仅适用于不锈钢复合钢制压力容器的基础上,增加了不锈钢复合钢制常压容器和不锈钢复合钢制管道两项内容。

焊接方法中的熔化极气体保护焊包括自动焊和半自动焊,使用焊丝包括实芯焊丝和药芯焊丝。

1.0.4 国产不锈钢复合钢制造的容器或部件(包括复层为进口材料、经国内爆炸加工而生产的不锈钢复合钢),除设计文件另有要求外,焊接一律执行本规程;国外提供的成品不锈钢复合钢板,焊接参照本规程执行。引进工程项目,若合同无具体要求时,按本规程执行。

2 材 料

2.1 钢 材

2.1.1 不锈钢复合钢板的定货、验收及复验均按设计规定或《不锈钢复合钢板》GB8165、《压力容器用爆炸不锈钢复合钢板》JB4733的要求执行,具体内容不在本规程中重复。

2.1.3 目前,国内使用的不锈钢复合钢板,大多数采用进口的复层材料与国产基层材料经爆炸加工而成,如果把基层材料的化学成分、力学性能均引入本规程附录,与材料标准过多重复,而且占据篇幅较大,考虑到方便、实用,附录中只列出了常用国内外复层材料的化学成份和力学性能,供对照使用。

2.2 焊 接 材 料

2.2.4 ~ 2.2.7 不锈钢复合钢的基层焊接和复层焊接在焊接材料选用原则上与焊接相应的单一材料相同,关键在于过渡层焊接材料的选用。过渡层焊接材料的选用原则除补充基层焊缝对过渡层焊缝的稀释、防止产生脆硬马氏体外,还应保证复层焊缝所需的特殊合金成份含量符合要求,如 Mo、Nb、Ti 等。在表 2.2.7-2 和表 2.2.7-3 中,复层为非超低碳奥氏体不锈钢材质时,过渡层焊接也可选用超低碳不锈钢焊材,本条是参考美国及日本不锈钢复合钢板焊接技术资料进行修改制定的,过渡层焊接使用超低碳不锈钢焊条,能够更好地保证过渡层的焊接质量。当基层需要进行焊后热处理时,过渡层焊接推荐选用 25Cr-20Ni 焊条。

复层为铁素体或马氏体不锈钢材质时(如 0Cr13、0Cr13Al、SUS405、SUS410S 等),可选用与复层材料为同一金相组织系的焊接材料,也可选用奥氏体系焊接材料。从省略焊后热处理的观点,推荐使用奥氏体焊接材料。

过渡层的埋弧自动焊工艺不易控制,而且国内外尚无成熟工艺可以借鉴,故本规程没有推荐此工艺。复层焊接采用埋弧自动焊时,必须要控制好过渡层焊缝厚度和复层焊接时的电流,防止焊接复层时熔透过渡层焊缝。

3 焊接工艺评定和焊工考试

3.1 焊接工艺评定

3.1.2 ~ 3.1.3 焊接工艺评定主要原则是参照 ASME 第Ⅷ卷和第Ⅸ卷制定。

工艺评定可以按两种方法进行：一是用不锈钢复合钢板试件进行评定，适用于产品的厚度范围按复合钢板的总厚度计算，如焊接工艺评定试件的厚度采用 $\delta=16+3$ (mm) 复合钢板，评定合格后适用于产品的厚度范围（基层+复层）是 14 ~ 28mm。原则上，母材及焊缝金属的厚度范围应按复层和基层厚度分别计算，但是，目前使用的不锈钢复合钢板复层厚度多为 2 ~ 4mm，变化范围较小，为方便起见，将复层和基层视为一体来计算厚度范围。其它要求执行《压力容器焊接工艺评定》JB4708；二是基层焊缝和复层焊缝单独进行评定，基层焊缝的评定全部按 JB4708 进行，复层及过渡层焊缝按《压力容器焊接工艺评定》JB4708 耐蚀层堆焊进行评定。

采用不锈钢复合钢板试件评定时，考虑到工艺评定作为资源可以长期使用，故拉伸试样试验结果评定不是按《不锈钢复合钢板》(GB8165-87)中规定的不小于基层标准抗拉强度，而是按《压力容器用爆炸不锈钢复合钢板》(JB4733-96)中规定的标准值评定，即 $s_b \geq \frac{S_{b1}t_1 + S_{b2}t_2}{t_1 + t_2}$ 。

弯曲试样取样种类和数量与 JB4708-92 相同，使用时最好选用侧弯试样。侧弯试验的弯轴直径、弯曲角度及评定参照 ASME 标准，原始复层和基层之间的复合界面开裂可以忽略。面背弯的弯轴直径和弯曲角度参照 JB4708-92 表 10，分别按受拉面材质选取。

冲击试样只在基层上取样，试样形式、尺寸、试验方法及合格标准均同 JB4708-92。

3.2 焊工考试

3.2.2 根据不锈钢复合钢板的焊接特点，结合《锅炉压力容器焊工考试规则》和多年来各施工单位焊工考试情况，从事复合钢板焊接的焊工，可采取两种方法进行考试。

第一种方法：用复层材质和基层材质分别进行考试，考试方法执行《锅炉压力容器焊工考试规则》，施焊过渡层焊缝和复层焊缝的焊工资格不能按复层厚度确定，应按复合钢板的总厚度考虑，例如，用手工焊焊接 16MnR-321， $\delta=16+3$ (mm)的复合钢板对接焊缝时，焊工应具备 D2-5J 和 D4-5 两种资格，而不是 D2-5J 和 D4-1；

第二种方法：用复合钢板试板进行考试，此种方法考试合格后，不能按《锅炉压力容器焊工考试规则》申报焊工资格，但应将考试结果呈报当地监察部门备案。

4 焊前准备

4.1 坡口加工及检查

4.1.1 坡口形式是参考美国、日本有关不锈钢复合钢板的焊接技术资料、结合部分设计单位的技术文件，并根据近年来的施工经验而确定的，综合考虑了焊接质量、施焊条件、工厂预制和现场组焊等多方面的因素。

4.2 组对与定位焊接

4.2.5 考虑到爆炸复合钢板质量已比较稳定，且剪切强度比较高，标准剪切强度由《不锈钢复合钢板》(GB8165-87)中规定的 $\tau \geq 147\text{MPa}$ 提高到《压力容器用爆炸不锈钢复合钢板》(JB4733-96)中规定的 $\tau \geq 200\text{MPa}$ ，因此，复层侧附件焊接前，对该处是否采用超声波进行贴合质量检查或复层是否需要剥离，本规程不做强制规定，但设计图样有要求时，应执行设计规定。

5 焊 接

5.1 一 般 规 定

5.1.2 该条与 GB150-98 第 10.3.1.2 ~ 3 一致。

5.2 预 热

5.2.1 ~ 5.2.4 预热的目的是降低焊接接头的冷却速度，减少淬硬组织，防止产生冷裂纹。当基层需预热、复层不需要预热时，基层焊缝和过渡层焊缝焊接时均按基层要求进行预热。当基层不需要预热、复层材质需要预热时，只需在焊接过渡层和复层焊缝时按复层材料要求进行预热；当基层和复层均需要预热时，分别按各自条件进行预热，但过渡层焊缝预热按要求较高一方进行。

预热温度的选择参照 JB4709-92 和有关技术资料。

5.3 焊 接 工 艺

5.3.1 不锈钢复合钢板的基本焊接程序是先焊基层，再焊过渡层，最后焊接复层，但由于结构原因，有时无法实现基本焊接程序，如设备上复合接管与对焊法兰的连接环缝，卷制复合管纵缝，小直径复合管拼接环缝等。在这种情况下，只能先焊复层，再焊过渡层，最后焊接基层，参照《不锈钢复合钢焊接技术条件》GB/T13148-91 标准和有关资料，此种情况有两焊接方法可以选择。

第一种方法是：采用与复层材料相匹配的焊材焊接复层，用纯铁素体焊材焊接过渡层，最后用与基层材料匹配的焊材焊接基层，因为在不锈钢复层焊缝上堆焊纯铁素体焊缝作过渡层，纯铁素体焊缝中混入少量的铬镍合金元素不致形成塑性很差的金属组织，在纯铁素体焊缝上熔焊基层类焊缝金属不会产生任何问题。

第二种方法是：用与复层材料匹配的焊材焊接复层，用高铬镍奥氏体焊材焊接过渡层和基层，虽然该方法形成了异种金属组织接头，蠕变强度有所下降，但考虑到目前国内尚无纯铁素体焊材产品，所以，本规程只选择第二种方法。

5.3.2 关于焊接与无损检测的程序，有关标准及部分设计文件要求各不相同，归纳起来有三种做法：

- 1 基层、过渡层和复层焊缝全部焊完后，按要求分别进行射线检测和表面渗透检测；
- 2 基层和过渡层焊接完毕，按要求进行射线检测，合格后焊接复层，复层焊缝表面进行渗透检测；
- 3 基层焊缝焊接完后按图样要求进行射线检测，合格后再焊过渡层和复层，复层焊缝表面做渗透检测。

第三种方法的优点是便于焊缝返修，返修一律从基层一侧进行。缺点是，如果过渡层焊缝熔合比控制不当，容易产生裂纹缺陷，检验不到。第一种方法和第二种方法虽然解决了过渡层焊缝漏检问题，但同时都给焊缝返修工作造成了一定难度。参照 ASME 第Ⅷ卷 UCL 篇，本规程对不锈钢复合钢的焊接与无损检测程序规定了两种作法，一般情况下，应采取基层、过渡层和复层全部焊完后进行射线检测这一程序；当设计厚度裕量较大，基层焊接后能够保证基层焊缝处的厚度不小于设计厚度，射线检测可在过渡层焊接之前进行，但焊缝全部焊完后，必须再次进行射线检测，检查无裂纹即可。上述两种方法选用时应根据具体情况综合考虑。

5.3.7 不锈钢复合钢制造的容器或部件，纵环 T 型焊缝处的焊接应该特别加以重视。如果按照普通单层材料的常规焊接方法，复合钢板纵缝焊接成形后再组对焊接环缝，很容易将纵缝端部的过

渡层焊缝熔入环向基层焊缝，再加上该处的焊接应力比较复杂，可能产生裂纹缺陷或造成较严重的焊接质量隐患，因此，合理制定 T 型焊缝处基层与过渡层焊缝焊接程序是非常重要的。为确保该处的焊接质量，要求纵缝两端部附近的过渡层和复层焊缝必须在环向基层焊缝焊完后再焊接，作为规程条款强制执行。

5.3.8 参照中国石化集团北京设计院复合钢制容器技术条件制定。

5.3.9 不锈钢复合钢板经冷加工或热加工后可能产生局部脱层现象，本条规定了修复方法。

5.4 焊 接 检 验

5.4.1 参照 GB150-98 第 10.3 条制定。

5.5 焊 缝 返 修

5.5.2 不锈钢复合钢板的焊缝返修比较复杂，当过渡层焊缝或复层焊缝焊接后，如果从复层一侧进行返修，清除缺陷后，复合界面位置不易观察，补焊基层焊缝时，很可能熔及复层；如果从基层一侧返修，当缺陷靠近复合界面时，清除缺陷后，在补焊过程中可能将部分过渡层金属熔入补焊的基层焊缝。为避免上述两种问题发生，本规程对焊缝返修作了严格规定，返修前应进行缺陷定位，靠近复层的缺陷必须从复层侧返修，清除缺陷后选用过渡层焊条补焊，再用复层焊条盖面。远离复合界面的基层焊缝缺陷，从基层侧返修。

5.6 焊后热处理

奥氏体不锈钢焊后热处理效果如何，有不同说法，受目前经验所限，还不能对焊态及焊后热处理状态的奥氏体不锈钢焊件作安全性比较，因此，有关标准对奥氏体不锈钢焊件是否进行焊后热处理都没有做强制规定。

不锈钢复合钢板焊后热处理时，对于不同材料有不同影响。复层为奥氏体不锈钢时，由于复层材料与基层材料热膨胀系数差别较大，在热处理过程中，复合界面附近产生附加残余应力，影响复合界面结合强度或引起局部脱层。同时，不含稳定化元素的奥氏体复层在焊后热处理过程中，可能有铬的碳化物析出，降低其耐腐蚀性能；铁素体不锈钢复层在焊后热处理过程中，容易形成 σ 相，复层组织脆化，降低复合钢板的使用性能，因此，不锈钢复合钢板应尽量避免焊后热处理。