



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3527—2009
代替 SH 3527—1999

石油化工不锈钢复合钢焊接规程

Specification for welding of stainless clad steel
in petrochemical industry

2009-12-04 发布

2010-06-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 材料	1
3.1 一般规定	1
3.2 钢材	2
3.3 焊接材料	2
4 焊接工艺评定和焊工考试	6
4.1 焊接工艺评定	6
4.2 焊工考试	9
5 焊前准备	9
5.1 坡口加工及检查	9
5.2 组对与定位焊接	11
6 焊接	11
6.1 一般规定	11
6.2 预热	12
6.3 焊接工艺	12
6.4 焊接检验	14
6.5 焊缝返修	14
6.6 焊后热处理	15
附录 A (资料性附录) 常用不锈钢复合钢板复层的化学成分和力学性能	16
用词说明	18
附: 条文说明	19

前　　言

本规程是根据国家发展和改革委员会办公厅《2006年行业标准项目计划》(发改办工业[2006]1093号),由中国石油化工集团公司组织中国石化集团第四建设公司和海洋石油工程股份有限公司对SH 3527—1999《石油化工不锈钢复合钢焊接规程》进行修订而成。

本规程共分6章和1个资料性附录。

本规程与SH 3527—1999《石油化工不锈钢复合钢焊接规程》(上一版本)相比,主要变化如下:

——调整了规程的编写结构;

——增加了复层为奥氏体-铁素体双相不锈钢复合钢焊接的有关规定;

——对不锈钢复合钢焊接的工艺评定及焊工考试进行了补充规定;

——增加了焊接时引弧板及熄弧板的有关规定。

本规程以黑体字标志的条文为强制性条文,应严格执行。

本规程由中国石油化工集团公司施工技术淄博站管理,由中国石化集团第四建设公司负责解释。

本规程在实施过程中,如发现需要修改或补充之处,请将意见和有关资料提供给管理单位和主编单位,以便今后修订时参考。

管理单位:中国石油化工集团公司施工技术淄博站

通讯地址:山东省淄博市临淄区建设路29号

邮政编码:255438

电　　话:0533—6295840

传　　真:0533—7501126

主编单位:中国石化集团第四建设公司

通讯地址:天津市大港区世纪大道180号

邮政编码:300270

　　海洋石油工程股份有限公司

通讯地址:天津市塘沽区渤海石油路688号

邮政编码:300451

主要起草人:陈英　李雪梅

主要审查人:霍瑞民　葛春玉　吴忠宪　汪庆华　张桂红　王敬一　杨雷　张虎伟　钟智峰
郭文兵　汤日光

本规程于1992年首次发布,1999年第1次修订,本次为第2次修订。

石油化工不锈钢复合钢焊接规程

1 范围

本规程规定了不锈钢复合钢焊接材料、焊接工艺评定、焊工考试、焊接工艺、焊接检验和焊后热处理的要求。本规程适用于石油化工建设工程新建、改建和扩建项目的不锈钢复合钢设备和管道采用焊条电弧焊、钨极气体保护焊、熔化极气体保护焊和埋弧焊等方法的焊接施工。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规程的引用而成为本规程的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规程，然而，鼓励根据本规程达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版适用于本规程。

- GB 2653 焊接接头弯曲及压扁试验方法
- GB/T 228 金属材料 室温拉伸试验方法
- GB/T 229 金属夏比缺口冲击试验方法
- GB/T 4842 氩
- GB/T 5117 碳钢焊条
- GB/T 5118 低合金钢焊条
- GB/T 5293 碳素钢埋弧焊用焊剂
- GB/T 8110 气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝
- GB/T 8165 不锈钢复合钢板和钢带
- GB/T 983 不锈钢焊条
- GB/T 14957 熔化焊用钢丝
- GB/T 12470 埋弧焊用低合金钢焊丝与焊剂
- GB/T 17854 埋弧焊用不锈钢焊丝与焊剂
- GB 50484 石油化工建设工程施工安全技术规范
- JB 4708 钢制压力容器焊接工艺评定
- JB/T 4730.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
- JB/T 4730.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
- JB/T 4730.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
- JB/T 4730.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测
- JB 4733 压力容器用爆炸不锈钢复合钢板
- JB/T 4747 压力容器用钢焊条订货技术条件
- YB/T 5092 焊接用不锈钢丝
- 国质检锅[2002]109号 锅炉压力容器管道焊工考试与管理规则

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1 不锈钢复合钢和焊接材料应具有出厂质量证明文件。

3.1.2 当材料有下列情况之一时，不得使用：

- a) 质量证明文件特性数据不符合产品标准及订货技术条件或对其有异议；

- b) 实物标识与质量证明文件标识不符;
- c) 要求复验的材料未经复验或复验不合格。

3.2 钢材

3.2.1 不锈钢复合钢板应符合GB/T 8165或JB 4733的要求。常用不锈钢复合钢板复层的化学成分和力学性能参见本规程附录A。

3.2.2 不锈钢复合钢板质量证明文件应包括钢号、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。

3.2.3 不锈钢复合钢板经验收合格后应作上标识，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。

3.2.4 进口不锈钢复合钢板尚应符合合同规定的标准和技术条件。

3.3 焊接材料

3.3.1 不锈钢复合钢所使用的焊接材料质量证明文件包括标准号、牌号、规格、批号、熔敷金属的化学成分、力学性能应符合下列标准和合同技术条件的规定：

- a) 焊条应符合 GB/T 983、GB/T 5117 和 GB/T 5118 的规定；
- b) 气体保护焊用的焊丝应符合 YB/T 5092、GB/T 8110 和 GB/T 14957 的规定；
- c) 埋弧焊用钢丝与焊剂应符合 GB/T 5293、GB/T 12470 和 GB/T 17854 的规定；
- d) 用于承压设备的焊接材料还应符合 JB/T 4747 的规定；
- e) 订货合同规定的其他技术条件。

3.3.2 焊接用的氩气纯度应符合 GB/T 4842 的规定；焊接用的二氧化碳气体纯度应不低于 99.5%，含水量应不大于 0.005%。

3.3.3 焊条、焊丝和焊剂等焊接材料应存放在库房内，库内温度不应低于 5℃，相对湿度不超过 60%，并应符合下列规定：

- a) 库房应建立焊接材料领取、发放和回收制度；
- b) 焊材库应通风，库房内不得存放有害气体或有腐蚀性介质；
- c) 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；
- d) 焊接材料应按种类、牌号、批号、规格和入库时间分别摆放，并有明显的标牌；
- e) 库内应设温度、湿度测量设施，进行温度和湿度控制。

3.3.4 基层焊接材料按下列原则选用：

- a) 相同强度等级的碳素钢、低合金钢相焊的焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于相应母材标准规定下限值；
- b) 不同强度等级钢号的碳素钢、低合金钢相焊的焊接材料应保证焊缝金属的抗拉强度高于或等于强度较低一侧母材标准规定下限值，且不超过强度较高一侧母材标准规定的上限值；
- c) 铬钼耐热钢相同钢号相焊的焊接材料除应保证焊缝金属力学性能高于或等于相应母材标准规定的下限值外，且应保证焊缝金属中的铬、钼含量不低于母材标准规定的下限值；
- d) 常用不锈钢复合钢基层焊接材料也可按表 1 选用。

3.3.5 复层钢材选用焊接材料应保证焊缝金属的耐腐蚀性能，当有力学性能要求时，还应保证力学性能，并按下列原则选用：

- a) 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；
- b) 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% 的焊条或含碳量小于或等于 0.03% 的焊丝；
- c) 奥氏体不锈钢的焊条电弧焊宜采用钛钙型酸性焊条；
- d) 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；

- e) 马氏体或铁素体不锈钢的焊接材料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;
- f) 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一侧标准规定值的下限值;
- g) 奥氏体-铁素体双相不锈钢的焊接材料除设计文件另有规定外,熔敷金属铁素体相比例宜控制在 35%~60%范围;保护气体宜选用 1%~2%的氮气和 98%~99%的氩气混合气体;
- h) 常用不锈钢复合钢复层焊接材料也可按表 2 和表 3 选用。

3.3.6 过渡层焊接材料按下列原则选用:

- a) 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;
- b) 对复层含钼的不锈钢复合钢,应采用 25%Cr-13%Ni-Mo 型焊条;
- c) 常用不锈复合钢同种复层材质过渡层焊接材料可按表 2 选用;
- d) 常用不锈复合钢异种复层材质过渡层焊接材料可按表 3 选用。

表 1 常用不锈钢复合钢基层焊接材料

基层材质	焊条电弧焊		埋弧焊			钨极气体保护焊 焊丝型号(钢号)	熔化极气体保护焊 焊丝钢号		
	焊条		焊丝钢号	焊剂					
	型号	牌号示例		型号	牌号示例				
Q235-A	E4303	J422	H08A H08MnA	HJ401-H08A HJ401-H08MnA	HJ431	ER49-1	H08Mn2Si		
Q235-B、Q235-C 20、Q245R	E4315	J427	H08A H08MnA	HJ401-H08A HJ401-H08MnA	HJ431	ER50-2	H08Mn2SiA		
Q345、Q345R	E5015 E5015-G E5016	J507 J507RH J506	H10Mn2 H10MnSi	HJ401-H10Mn2 HJ404-H08MnA	HJ431 SJ101	ER50-2	H08Mn2SiA		
12CrMo	E5515-B1	R207	H13CrMoA	HJ402-H10Mn2 HJ404-H08MnA	HJ350 (H13CrMoA)	—	—		
15CrMo 15CrMoR	E5515-B2	R307							

表 2 同种复层材质过渡层及复层焊接材料

复层材质	过渡层焊接			复层焊接			备注
	焊条型号	焊条牌号示例	焊条型号	焊条牌号示例	焊丝钢号	焊剂牌号示例	
06Cr19Ni10	E309-16、E309-15 E309L-16、E310-16 E310-15	A302、A307 A062、A402 A407	E308-16 E308-15	A102 A107	H08Cr21Ni10	HJ260 SJ601	
022Cr19Ni10	E309L-16	A062	E308L-16	A002	H03Cr21Ni10	HJ260 SJ601	
06Cr18Ni11Ti	E309-16、E309-15 E309L-16、E310-16 E310-15	A302、A307 A062、A402 A407	E347-16 E347-15	A132 A137	H08Cr19Ni10Ti H08Cr20Ni10Nb	HJ260 SJ601	
06Cr17Ni12Mo2	E309Mo-16 E309MoL-16	A312 A042	E316-16	A202	H08Cr19Ni12Mo2	HJ260 SJ601	
022Cr17Ni12Mo2	E309MoL-16	A042	E316L-16	A022	H03Cr19Ni12Mo2	HJ260 SJ601	
06Cr13Al	E309-16、E309-15 E310-16、E310-15 ENiCrFe-3	A302、A307 A402、A407 —	E309-16 E308-16 ENiCrFe-3	A302 A102 —	—	—	奥氏体焊条
06Cr13	E430-16 E430-15	G302 G307	E430-16 E430-15	G302 G307	—	—	同组织焊条
	E309-16、E309-15 E310-16、E310-15 ENiCrFe-3	A302、A307 A402、A407 —	E309-16 E308-16 ENiCrFe-3	A302 A102 —	—	—	奥氏体焊条
	E430-16 E430-15	G302 G307	E430-16 E430-15	G202 G207	—	—	同组织焊条
2205	E2209-17	—	E2209-17	—	ER2209	—	熔敷金属含N 0.08%~0.20%

注：2205 表示双相不锈钢的合金成分，含铬量约 22%、含镍量约 5%。

表 3 异种复层材质过渡层及复层焊接材料

复层材质		过渡层焊接				复层焊接			
		焊条型号	焊条牌号示例	焊条型号	焊条牌号示例	焊丝钢号	焊剂牌号示例		
06Cr19Ni10	022Cr19Ni10 06Cr18Ni11Ti 06Cr17Ni12Mo2 022Cr17Ni12Mo2	E309-16 E309-15 E309L-16	A302 A307 A062	E308-16 E308-15	A102 A107	H08Cr21Ni10	HJ260 SJ601		
	06Cr18Ni11Ti	E309L-16	A062	E308L-16	A002	H03Cr21Ni10	HJ260 SJ601		
022Cr19Ni10	06Cr17Ni12Mo2 0309Mo-16	E309L-16 E309MoL-16 E309Mo-16	A062 A042 A312	E316-16 E308L-16	A202 A002	H08Cr19Ni10Ti H08Cr20Ni10Nb H08Cr19Ni12Mo2	HJ260 SJ601		
	022Cr17Ni12Mo2	E309L-16 E309MoL-16	A062 A042	E308L-16 E316L-16	A002 A022	H03Cr21Ni10	HJ260 SJ601		
06Cr18Ni11Ti	06Cr17Ni12Mo2 0309Mo-16	E309L-16 E309Mo-16	A062 A312	E347-16 E347-15 E316-16	A132 A137 A202	H08Cr19Ni12Mo2 H08Cr19Ni10Ti H08Cr20Ni10Nb	HJ260 SJ601		
	022Cr17Ni12Mo2	E309L-16 E309MoL-16 E309Mo-16	A062 A042 A312	E347-16 E347-15 E308L-16	A132 A137 A002	H08Cr19Ni10Ti H08Cr19Ni12Mo2 H08Cr19Ni10Nb	HJ260 SJ601		
06Cr17Ni12Mo2	022Cr17Ni12Mo2 0309Mo-16	E309L-16 E309Mo-16	A062 A042	E316-16 E316L-16	A202 A022	H08Cr19Ni12Mo2 H08Cr19Ni10Nb	HJ260 SJ601		
	06Cr13 06Cr13Al	022Cr19Ni10 06Cr17Ni12Mo2 022Cr17Ni12Mo2 06Cr19Ni10 06Cr18Ni11Ti	E309-16 E309-15 E309L-16	A302 A307 A062	E309-16 E309-15 E308-16 E308-15	A302 A307 A102 A107	HJ260 SJ601		

4 焊接工艺评定和焊工考试

4.1 焊接工艺评定

4.1.1 复层厚度包括在强度计算内时，按 JB 4708 的规定进行焊接工艺评定。

4.1.2 复层厚度不包括在强度计算内时，可采用不锈钢复合钢板试件进行焊接工艺评定，也可采用基层材料进行基层焊缝和耐蚀层堆焊组合评定。

4.1.3 采用复合钢板试件进行焊接评定应符合下列规定：

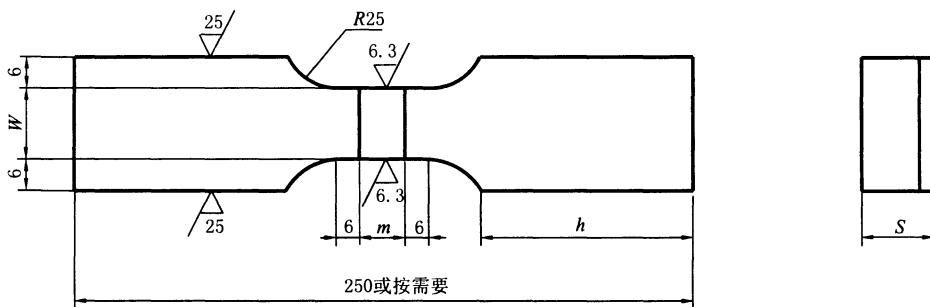
- 工艺评定试验采用的焊接方法、基层及复层材料的类别号和组别号等应与实际产品相同，材料的分类分组方法执行 JB 4708 的规定；
- 试件按复合钢板总厚度制备，评定合格的焊接工艺适用的焊件厚度有效范围应按试件基层和复层厚度分别计算，并按 JB 4708 规定执行；但连接复层的焊缝金属最小厚度应根据 JB 4708 进行化学成分分析确定；
- 试件经外观检查和无损检测后进行试样加工；有热处理要求的试件，热处理之后进行加工，其试样的种类和数量应按表 4 确定；

表 4 对接接头试样种类和数量

试件厚度 S 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
<10	2	2	2	—	3	3
≥10	2	—	—	4	3	3

d) 拉伸试样应以复合钢总厚度为准制备，试样应用机械方法去除焊缝余高，使之与母材平齐，并应符合下列规定：

1) 试样型式及尺寸见图1，试样被测段宽度 W 不小于 25mm；



注： S —— 试样厚度，mm；

W —— 试件受拉伸平行侧面宽度，mm；

m —— 焊缝最大宽度，mm；

h —— 试样夹持部分长度，根据试验机具而定，mm。

图 1 不锈钢复合钢板的拉伸试样

2) 拉伸试验应按 GB/T 228 的规定测定焊接接头的抗拉强度，每个试样的抗拉强度 R_m 应符合公式（1）的要求；

式中：

R_{ml} — 复层抗拉强度标准下限值, MPa;

R_{m2} —— 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。

e) 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:

1) 面弯、背弯试样的型式和尺寸见图2, 试样长度L按公式(2)计算;

式中：

D — 弯轴直径, mm;

S — 试样厚度, mm。

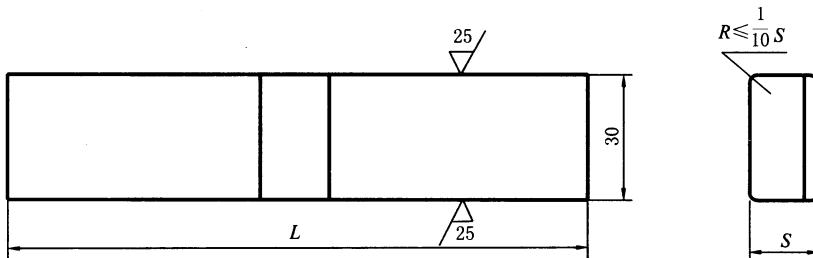


图 2 面弯、背弯试样

2) 侧弯试样的型式和尺寸见图3, 试样长度L按公式(3)计算:

3) 弯曲试验应按GB 2653和表5的要求测定接头的致密性和塑性;

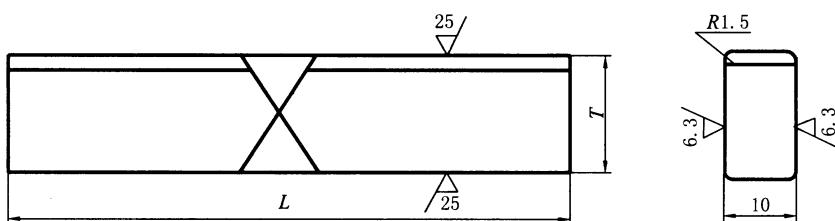


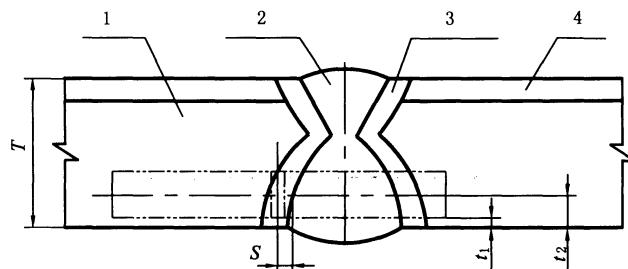
图 3 侧弯试样

表 5 弯曲试验要求

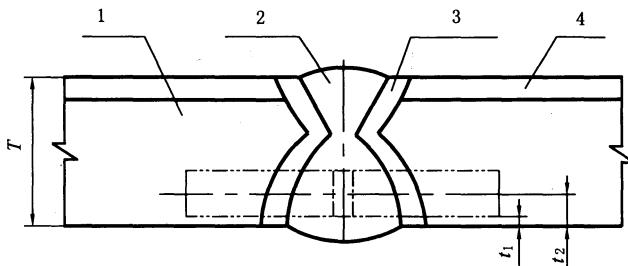
试样厚度 S mm	弯轴直径 D mm	支座间距离 mm	弯曲角度 °
<10	$4S$	$6S+3$	180
≥ 10	40	63	180

4) 合格标准为:

- 面弯、背弯试样弯曲到规定的角度后，在受拉面焊缝、熔合线及热影响区内任何方向不得有大于3mm的开口缺陷；
 - 侧弯试样弯曲到规定的角度后，在试样受拉面上复合层焊层任何方向不得有大于1.5mm的开口缺陷，熔合线及受拉面其他部位的焊缝、熔合线及热影响区任何方向不得有大于3mm的开口缺陷；
 - 当轧制法、爆炸法生产的复合钢板试样复合界面开裂和非焊接缺陷引起的试样棱角开裂尺寸大于或等于3mm时，允许从原焊接试板上另取试样重新进行试验；
- f) 冲击试样应在基层上取样，并符合下列规定：
- 1) 试样纵轴线垂直于焊缝轴线，缺口轴线垂直于母材表面，取样位置靠近基层外表面1mm~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纵轴线与熔合线交点的距离S大于零，且尽可能多的通过热影响区(图4)：
 - $T \leq 40\text{mm}$ 时， t_1 约为0.5mm~2mm；
 - $T > 40\text{mm}$ 时， $t_2 = T/4$ ；



a) 热影响区冲击试件位置



b) 焊缝区冲击试件位置

1—基层；2—焊缝；3—热影响区；4—复层

图4 冲击试样取样位置

- 2) 试样型式、尺寸和试验方法应符合GB/T 229的规定；
- 3) 合格标准为每个区(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%。

4.1.4 采用组合评定时应符合下列规定：

- 1) 基层焊缝单独进行评定，按JB 4708规定执行；
- 2) 复层、过渡层焊缝按JB 4708耐蚀层堆焊评定要求进行评定。

4.1.5 法兰堆焊及复合管堆焊按JB 4708中耐蚀层堆焊评定要求进行评定。

4.1.6 不锈钢接管与不锈钢复合钢壳体焊接时，应采用过渡层焊接材料作为填充金属，其焊接工艺应按JB 4708异种钢材料进行焊接工艺评定。

4.1.7 设计文件有耐腐蚀性能或化学成分等特殊检验要求时，应通过工艺评定增加相应的试验项目。

4.2 焊工考试

4.2.1 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。

4.2.2 焊工考试应执行《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》的有关规定，并按下述原则之一进行考试：

a) 焊接复合钢板基层部分的焊工应按对接接头焊缝进行考试取得资格，焊接过渡层及复层部分的焊工应按耐蚀层堆焊进行考试；

b) 不锈钢接管与不锈复合钢壳体焊接的焊工应采用过渡层焊接材料作为填充金属。

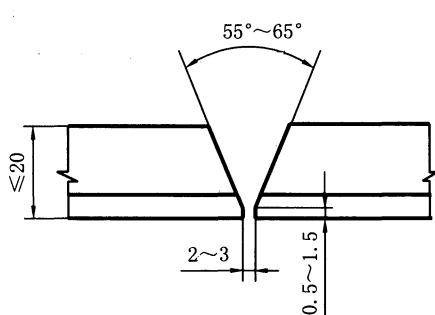
4.2.3 焊工也可采用不锈钢复合钢试件进行考试，先焊基层焊缝，然后在基层焊缝表面进行耐蚀层堆焊，试件经外观检验和无损检测合格后，取二件侧弯试样进行性能检验，试样尺寸、试验方法、合格标准应执行本规程4.1.3条的规定。

4.2.4 采用不锈钢复合钢试件考试合格的焊工，也同时取得了基层焊缝和耐蚀层堆焊的资格。

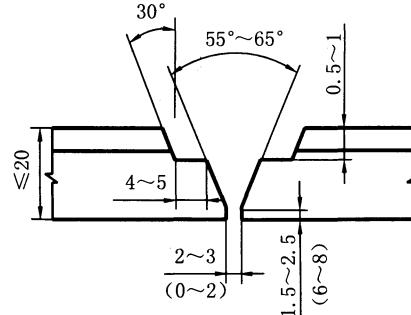
5 焊前准备

5.1 坡口加工及检查

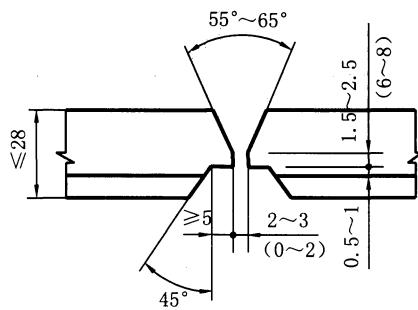
5.1.1 焊接施工的坡口形式及尺寸应根据填充金属量少、熔合比小、便于操作等原则，按设计文件规定或图5选用，也可自行设计。



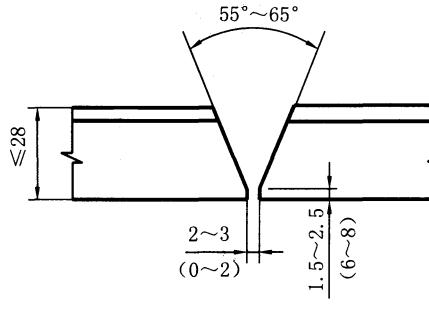
a) I型



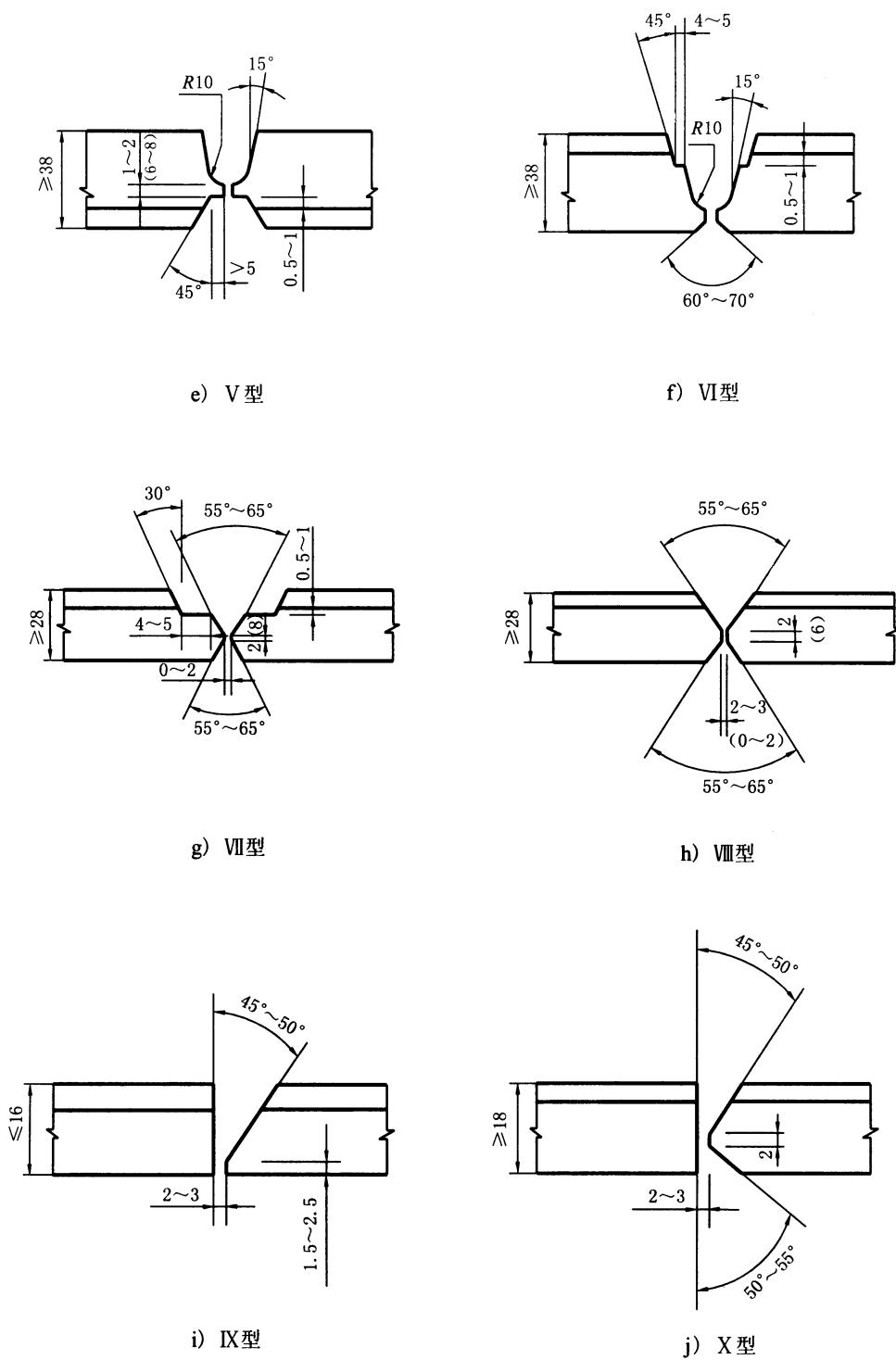
b) II型



c) III型



d) IV型



注：括号内尺寸供埋弧焊使用。

图 5 不锈钢复合钢常用坡口形式

5.1.2 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。

5.1.3 厚度大于12mm的不锈钢复合钢也可采用等离子切割，不得将切割的熔渣落在复层上。切割后应用机械方法清理切割面至露出金属光泽。

5.1.4 加工完的坡口应进行外观检查，不得有裂纹和分层。

5.2 组对与定位焊接

5.2.1 坡口及其两侧各20mm范围内进行表面清理，去除油污、水、锈及氧化皮等污物。复层距坡口100mm范围内应涂防飞溅涂料。

5.2.2 组对时应以复层为基准，复层等厚时对口错边量 b 不应大于复层厚度的50%，且不大于2mm；当复层不等厚时对口错边量按较小的复层厚度 δ_2 计算（见图6）。

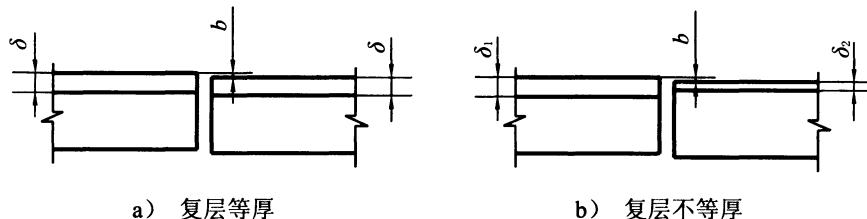


图 6 对口错边量

5.2.3 定位焊缝应焊在基层母材上，定位焊缝应有评定合格的焊接工艺，且由合格的焊工进行施焊。多道定位焊缝端部应形成阶梯状。手弧焊定位焊焊缝尺寸参见表6。

表 6 定位焊焊缝尺寸

单位：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	>20	不大于500
>20	不小于8	>30	

注： δ_0 为基层厚度。

5.2.4 在组装过程中，工卡具应焊在基层一侧，不得在复层上焊接工卡具，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。

5.2.5 设计文件要求复层侧附件焊在基层金属上时，应按下列步骤进行：

- 复层部分剥开；
- 采用过渡层焊条直接将附件焊接在基层壳体上；
- 采用与焊复层相同焊条焊接表面焊道，并圆滑过渡至复层母材。

6 焊接

6.1 一般规定

6.1.1 焊接前应根据焊接工艺评定报告编制焊接工艺文件。

6.1.2 焊接环境应符合下列规定：

- 焊件温度低于0℃时，在始焊处100mm范围内预热到15℃以上；
- 焊条电弧焊时，风速不大于8m/s；气体保护焊时，风速不大于2m/s；
- 相对湿度不大于90%；
- 焊接场所有防风、雨、雪措施。

- 6.1.3 焊接设备应处于完好状态，并应有经校验合格的电流表、电压表。
- 6.1.4 焊工使用辅助工具准备齐全。
- 6.1.5 焊条、焊剂使用前应按焊接工艺文件要求进行烘干并放置在恒温箱中。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，但重复烘干次数不得超过两次。
- 6.1.6 焊接过程中未熔化的埋弧焊焊剂可以回收再使用，在重新使用之前，应清除旧焊剂中的熔渣、杂质及粉尘，并加入不少于50%的新焊剂均匀混合。
- 6.1.7 焊接应在坡口内引弧和熄弧，不得在非焊接部位引弧和熄弧。不锈钢复合钢板的拼接焊缝、壳体纵向焊缝等对接焊缝焊接时，应在两侧端部设置引弧板和熄弧板。引弧板和熄弧板应符合下列要求：
- 材质应采用与壳体相同的复合钢板或与复合钢板基层具有相同的类别号的单一材料；
 - 坡口形式与待焊焊缝相同；
 - 复合钢的引弧板和熄弧板组对应以复合界面为基准对齐，单一材料的引弧板和熄弧板组对时，上表面不得超过复合钢的复合界面；
 - 引弧板和熄弧板在焊缝冷却后用火焰切割去除，砂轮机打磨至光滑。
- 6.1.8 焊接施工的安全技术、劳动保护等应按SH 3505的有关规定执行。

6.2 预热

- 6.2.1 不锈钢复合钢的基层需要预热时，预热温度按基层要求选取（见表7），预热的厚度参数应按不锈钢复合钢板的总厚度确定。

表7 常用不锈钢复合钢基层焊接预热温度

基层材质	复合钢总厚度 mm	预热温度 ℃
Q235-A Q235-B Q245R	30~50	50~80
	≥50	100~150
Q345R Q345	30~50	100~150
	>50	150~250
12CrMo 15CrMo 15CrMoR	>10	150~250

- 6.2.2 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，复层应进行预热，并符合下列规定：

- 06Cr13Al材质焊接预热温度应不低于100℃；
- 06Cr13材质焊接预热温度应不低于150℃。

- 6.2.3 当基层或复层需要预热时，施焊过渡层焊缝也应进行预热。基层和复层均需要预热时，过渡层焊缝应按预热温度较高者选取。

- 6.2.4 预热宜采用电加热法。

- 6.2.5 当焊接环境温度低于0℃时，其预热温度应取规定预热温度的上限值。

- 6.2.6 预热范围应以焊接点为中心，周围各方向不小于焊件板厚的3倍，且不应小于100mm。

- 6.2.7 预热应在焊接点周围或沿焊缝长度方向均匀进行，并应防止过热。

6.3 焊接工艺

- 6.3.1 焊接应先焊基层，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，后焊过渡层和基层，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。

6.3.2 焊接与无损检测的程序设计文件无规定时，按下述方法之一进行：

- a) 基层、过渡层及复层焊缝应全部焊接完毕进行射线检测；
- b) 符合下列条件时，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，再进行5%射线检测抽查，焊缝不得存在裂纹：
 - 1) 复层厚度不包括在强度计算内；
 - 2) 复层为非空气淬硬的不锈钢材料。

6.3.3 过渡层及复层焊接宜用小线能量多道焊接，奥氏体不锈钢复层焊接层间温度不宜大于150℃，奥氏体—铁素体双相不锈钢复层焊接层间温度不宜大于100℃。

6.3.4 过渡层的焊缝金属在基层处的厚度 b 宜为1.5mm~2.5mm，在复层处的厚度 a 宜为0.5mm~ $\delta/2$ mm，且不宜大于2mm（见图7）。

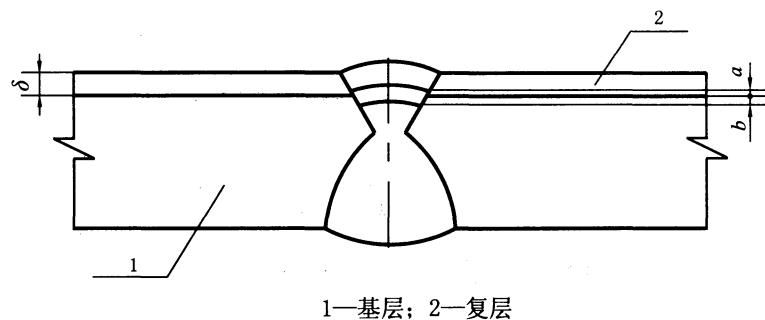


图7 过渡层焊缝金属厚度

6.3.5 焊接复层前应将过渡焊缝表面和坡口边缘清理干净。

6.3.6 焊接有预热要求的钢材，层间温度不应低于预热温度。

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

6.3.8 角接接头焊接应符合下列要求：

- a) 设计文件无规定时，不锈钢接管与设备不锈钢复合钢壳体组焊时宜采用内齐平结构；复合接管（包括人孔筒节）或碳素钢及低合金钢接管与设备不锈钢复合钢壳体组焊，应使接管端部与不锈钢复合钢壳体复合钢板界面对齐；焊接过渡层和复层焊缝时将管端部堆焊成形（见图8）；

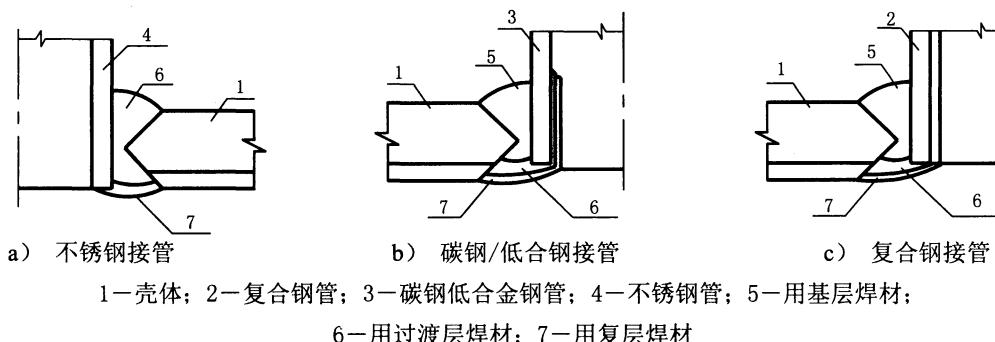
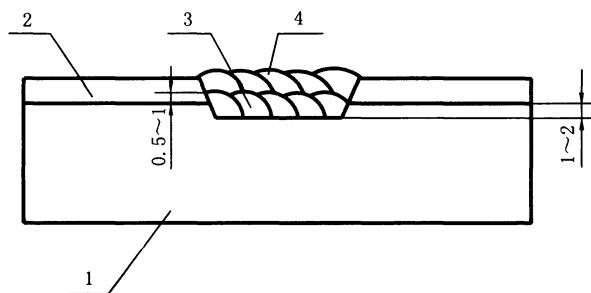


图8 人孔、接管焊接示意

- b) 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；
- c) 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；
- d) 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；
- e) 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；
- f) 当接管为单一不锈钢材料时，应采用过渡层焊接材料作为填充金属。

6.3.9 不锈钢复合钢经冷成形或热成形产生局部部分层时，可进行修复，应先去掉复层，再将基层表面去掉1mm~2mm后，分别用过渡层及复层焊条堆焊，焊后表面磨平（见图9），并按JB/T4730.5进行渗透检测，I级合格。



1—基层；2—复层；3—过渡层焊道；4—复层焊道（焊后磨平）

图9 不锈钢复合钢修复示意

6.4 焊接检验

6.4.1 焊缝外观质量应符合下列要求：

- a) 焊缝成形良好，尺寸应符合设计文件要求；
- b) 焊缝表面不得有气孔、夹渣、裂纹、弧坑和飞溅物等缺陷；
- c) 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；基层采用标准抗拉强度下限值大于或等于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；
- d) 复层侧不得有咬边缺陷；
- e) 角焊缝的焊脚尺寸应符合设计文件规定，并应平缓过渡至母材。

6.4.2 焊缝无损检测比例、合格标准应符合设计文件要求，检测方法执行JB/T 4730.2~5标准的规定。

6.4.3 有耐腐蚀要求的不锈钢复合钢焊制设备和管道，其复层焊缝表面应进行酸洗钝化处理。

6.5 焊缝返修

6.5.1 焊缝返修应由持证焊工担任。

6.5.2 返修前应采用超声检测对缺陷进行定位，缺陷位置距复层表面不大于8mm时，应在复层一侧进行返修；缺陷位置距复层表面大于8mm时，在基层一侧进行返修，并控制刨槽深度，不得伤及过渡层焊缝。

6.5.3 采用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。

6.5.4 对于裂纹缺陷，应采用磁粉检测、渗透检测或超声检测等方法确定裂纹的位置和范围，清除裂纹时，应将裂纹两端完好金属各去除不少于20mm的长度。

6.5.5 焊缝返修应采用评定合格的焊接工艺。

6.5.6 进行焊后热处理的焊接接头，其焊缝返修应在热处理前进行。

6.5.7 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。

6.5.8 同一部位焊缝返修不应超过两次，超次返修时应制定返修措施，并按本单位质量管理程序的规定进行审批。

6.6 焊后热处理

6.6.1 焊后热处理应按设计文件要求进行。

6.6.2 用不锈钢复合钢板制造的设备、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8。热处理的加热速度、恒温时间及冷却速度应符合下列要求：

- 加热升温至400℃后，升温速度最大不得超过 $5000/\delta$ ℃/h，且不得超过200℃/h；最小不得低于50℃/h；
- 恒温时间应按 $\delta/25h$ ，且不小于1/4h，在恒温期间，各测温点的温度均应在热处理温度规定的范围内，其差值不得大于65℃；
- 降温时的冷却速度不得超过 $6500/\delta$ ℃/h，且不得超过260℃/h，最小不得低于50℃/h，温度降至400℃后可自然冷却；
- 升温时，加热区内任意5000mm长度内温差不得大于120℃。

注： δ 为管子壁厚，mm。

表 8 常用不锈钢复合钢基层焊后热处理参数

复层材料	基层材料	保温温度 ℃
铁素体系、马氏体系 奥氏体系、(稳定化、超低碳)	Q235-A、Q235-B 20、Q245R	580~620
	Q345、Q345R	580~620
	12CrMo、15CrMo、15CrMoR	600~680

6.6.3 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。

6.6.4 奥氏体不锈钢复合钢制造的设备、管道或部件进行焊后热处理时，应采取防止复层脱落和碳化物析出的措施，控制 σ 相形成。

6.6.5 复层为铁素体或马氏体不锈钢复合钢制造的设备、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。

6.6.6 局部热处理时应对整个圆周同时进行加热，加热方法宜采用电加热，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。

附录 A
(资料性附录)

常用不锈钢复合钢板复层的化学成分和力学性能

A.1 常用不锈钢复合钢板复层的化学成分见表A.1。

表A.1 常用不锈钢复合钢板复层的化学成分

复层钢号	国别	化学成分 %									标准号
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	
06Cr13	中	0.08	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50~13.50	(0.60)	—	—	GB/T3280
SUS410S	日	≤0.08	≤1.00	≤1.00	≤0.040	≤0.030	11.50~13.50	≤0.08	—	—	JIS G4307
06Cr13Al ^a	中	0.08	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50~14.50	(0.60)	—	—	GB/T3280
SUS405 ^a	日	0.08	1.00	1.00	0.040	0.030	11.50~14.50	≤0.08	—	—	JIS G4307
06Cr19Ni10	中	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	18.00~20.00	8.00~10.50	—	0.10	GB/T3280
SUS304	日	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00~20.00	8.00~10.50	—	—	JIS G4307
022Cr19Ni10	中	0.03	0.75	2.00	0.045	0.030	18.00~20.00	8.00~12.00	—	0.10	GB/T3280
SUS304L	日	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.00~20.00	9.00~13.00	—	—	JIS G4307
06Cr18Ni11Ti ^b	中	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	17.00~19.00	9.00~12.00	—	0.10	GB/T3280
SUS321 ^b	日	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.00~19.00	9.00~13.00	—	—	JIS G4307
06Cr17Ni12Mo2	中	0.08	0.75	2.00	0.045	0.030	16.00~18.00	10.00~14.00	2.00~3.00	0.10	GB/T3280
SUS316	日	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00~18.00	10.00~14.00	2.00~3.00	—	JIS G4307
022Cr17Ni12Mo2	中	0.03	0.75	2.00	0.045	0.030	16.00~18.00	10.00~14.00	2.00~3.00	0.10	GB/T3280
SUS316L	日	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	16.00~18.00	12.00~15.00	2.00~3.00	—	JIS G4307
022Cr22Ni5Mo3N	中	0.03	1.00	2.00	0.03	0.020	21.00~23.00	4.50~6.50	2.50~3.50	0.08~0.20	GB/T3280
2205	美	0.03	1.00	2.00	0.030	0.020	21.00~23.00	4.50~6.50	2.50~3.50	0.08~0.20	ASTM A240 S31803

注：括号内的值为允许添加的最大值。

^a 钢中Al含量为0.1%~0.3%。

^b 钢中Ti含量大于或等于5倍的碳含量。

A.2 常用不锈钢复合钢板复层的力学性能见表 A.2。

表 A.2 常用不锈钢复合钢板复层的力学性能

复层钢号	国别	力学性能						标准号
		$R_{P_{0.2}}$ MPa	R_m MPa	A %	HBW	HRB	HV	
06Cr13	中	≥205	≥415	≥20	≤185	≤89	≤200	GB/T3280
SUS410S	日	≥177	≥412	≥20	≤183	—	—	JIS G4307
06Cr13Al ^a	中	≥170	≥415	≥20	≤179	≤88	≤200	GB/T3280
SUS405 ^a	日	≥177	≥412	≥20	≤183	—	—	JIS G4307
06Cr19Ni10	中	≥205	≥515	≥40	≤201	≤92	≤210	GB/T3280
SUS304	日	≥206	≥520	≥40	<187	<90	<200	JIS G4307
022Cr19Ni10	中	≥170	≥485	≥40	≤201	≤92	≤210	GB/T3280
SUS304L	日	≥177	≥481	≥40	<187	<90	<200	JIS G4307
06Cr18Ni11Ti ^b	中	≥205	≥515	≥40	≤217	≤95	≤220	GB/T3280
SUS321 ^b	日	≥206	≥520	≥40	≤187	≤90	≤200	JIS G4307
06Cr17Ni12Mo2	中	≥205	≥515	≥40	≤217	≤95	≤220	GB/T3280
SUS316	日	≥206	≥520	≥40	≤187	≤90	≤200	JIS G4307
022Cr17Ni12Mo2	中	≥170	≥485	≥40	≤217	≤95	≤220	GB/T3280
SUS316L	日	≥177	≥481	≥40	≤187	≤90	≤200	JIS G4307
022Cr22Ni5Mo3N	中	≥450	≥620	≥25	≤293	—	—	GB/T3280
2205	美	≥450	≥620	≥25	≤293	—	≤310	ASTM A240 S31803

^a 钢中Al含量为0.1%~0.3%。

^b 钢中Ti含量大于或等于5倍的碳含量。

用词说明

对本规程条文中要求执行严格程度用的助动词，说明如下：

(一) 表示要求很严格、非这样做不可并具有法定责任时，用的助动词为“必须”(must)。

(二) 表示要准确地符合规程而应严格遵守时，用的助动词为：

正面词采用“应”(shall)；

反面词采用“不应”或“不得”(shall not)。

(三) 表示在几种可能性中推荐特别合适的一种，不提及也不排除其他可能性，或表示是首选的但未必是所要求的，或表示不赞成但也不禁止某种可能性时，用的助动词为：

正面词采用“宜”(should)；

反面词采用“不宜”(should not)。

(四) 表示在规程的界限内所允许的行动步骤时，用的助动词为：

正面词采用“可”(may)；

反面词采用“不必”(need not)。

中华人民共和国石油化工行业标准

石油化工不锈钢复合钢焊接规程

SH/T 3527—2009

条文说明

2009 北京

目 次

3 材料.....	23
3.1 一般规定.....	23
3.3 焊接材料.....	23
4 焊接工艺评定和焊工考试.....	23
4.1 焊接工艺评定.....	23
4.2 焊工考试.....	23
5 焊前准备.....	24
6 焊接.....	24
6.3 焊接工艺.....	24
6.6 焊后热处理.....	24

石油化工不锈钢复合钢焊接规程

3 材料

3.1 一般规定

3.1.1、3.1.2 规定了不锈钢复合钢和焊接材料质量证明文件的要求和对其内容进行核查的要求。及材料使用前的复检要求。不锈钢复合钢和焊接材料质量证明文件是产品安全性能监督检验项目。材料的质量是保证产品质量的基础，是实现安全生产的保证，因此不符合要求不锈钢复合钢和焊接材料不能使用，本条作为强制性条文规定。

3.3 焊接材料

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。

3.3.5 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。

3.3.6 在表 2 和表 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。

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。

对于常用不锈钢复合钢同种复层材质过渡层焊接材料选用增加了复层为双相不锈钢 SAF2205 的焊材选用。

4 焊接工艺评定和焊工考试

4.1 焊接工艺评定

4.1.1 复层厚度包括在强度计算内时，按 JB 4708 的规定进行焊接工艺评定。

4.1.2、4.1.3、4.1.4 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，评定合格的焊接工艺适用的焊件厚度有效范围应按试件基层和复层厚度分别计算，并按 JB 4708 规定执行；但连接复层的焊缝金属最小厚度应根据 JB 4708 进行化学成分分析确定；二是采用组合评定，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 JB 4708 进行。复层、过渡层焊缝按 JB 4708 耐蚀层堆焊评定要求进行评定。

4.2 焊工考试

4.2.1 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。此条规定是保证不锈钢复合钢焊接质量的重要环节。

4.2.2 根据不锈钢复合钢板的焊接特点，结合《锅炉压力容器压力管道焊工考试与管理规则》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《锅炉压力容器压力管道焊工考

试与管理规则》，焊接复合钢板基层部分的焊工应按对接接头焊缝进行考试取得资格，焊接过渡层及复层部分的焊工应按耐蚀层堆焊进行考试；

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。

5 焊前准备

5.1.1 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并根据近几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。

6 焊接

6.3 焊接工艺

6.3.1 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/T 13148—91 标准和有关资料，此种情况有两种焊接方法可以选择。

第一种方法：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：采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。

6.6 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 δ 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。