责任编辑　张利华

中华人民共和国行业标准
铝及铝合金焊接技术规程
HGJ 222-92
★　★　★
编　辑　化工部工程建设标准编辑中心
（北京和平里北街化工大院3号楼）
邮政编码：100013
印　刷　河北省沧州市人民印刷厂
1993年1月　第一版

中华人民共和国行业标准

铝及铝合金焊接技术规程

HGJ 222-92

975672

1993　北　京

中华人民共和国行业标准

铝及铝合金焊接技术规程

HGJ 222-92

主编单位：中国化学工程第十三建设公司
批准部门：化 学 工 业 部
施行日期：1 9 9 3 年 1 月 1 日

[illegible]本监督检验所

修 订 说 明

根据化工部(90)化基标字第21号文的安排，部委托中国化学工程第十三建设公司对《铝及铝合金焊接施工及验收技术规程(试行)》(炼化建603-74)进行了修订。

本规程在修订过程中，认真分析了原规程的执行情况，总结了化肥、乙烯、纯碱、磷铵等工程以及制造厂家的施工经验，参考了国内外最新版本的技术标准。本规程的技术指标是根据国内及国际八十年代工程建设和容器制造中铝及铝合金焊接方面的技术指标确定的，符合我国目前焊接技术水平。本规程与相关专业的标准进行了协调，经会审后定稿。

本规程对铝及铝合金的焊接，从施工准备到焊接检验，其中包括焊接工艺评定和焊工考试等现场施工的全过程，都做了较系统和完整的规定。在焊接工艺评定和焊工考试中，较合理地规定了评定、考试的替代范围，可保证适量减少评定和考试的数量，降低施工成本。规程将对保证工程质量、提高生产效率、加快施工进度、达到焊件长周期安全运行起到积极作用。

随着建设事业的发展，我国焊接技术水平的提高，新焊接材料、新焊接设备、新焊接工艺将不断涌现，希望各单位在执行本规程的过程中认真总结经验，积极提供改进意见，以便今后补充完善。

本规程的有关咨询事宜，请函寄河北省石家庄市槐中中路化工部施工标准化管理中心站(邮编：050021)。

化学工业部

一九九二年六月一日

目 次

1 总 则 …… (1)
2 术语、符号 …… (2)
2.1 术 语 …… (2)
2.2 符 号 …… (2)
3 材 料 …… (4)
3.1 一般规定 …… (4)
3.2 母 材 …… (4)
3.3 焊接材料 …… (6)
4 焊接施工 …… (9)
4.1 一般规定 …… (9)
4.2 焊前准备 …… (9)
4.3 焊接工艺要求 …… (11)
5 焊接工艺评定 …… (15)
5.1 一般规定 …… (15)
5.2 评定要求 …… (15)
5.3 检验项目及合格标准 …… (17)
6 焊工考试 …… (24)
6.1 一般规定 …… (24)
6.2 操作技能考试 …… (25)
7 焊接检验 …… (30)
7.1 一般规定 …… (30)
7.2 外观检查 …… (30)
7.3 射线探伤 …… (31)
7.4 焊缝返修 …… (35)
附录A 焊接工艺规程格式 …… (36)
附录B 本规程用词说明 …… (37)
条文说明 …… (39)

1 总 则

1.0.1 本规程规定了铝及铝合金焊接技术要求和质量验收标准。

1.0.2 本规程适用于化工、炼油装置工程建设施工中以工业纯铝和防锈铝合金制作与安装的设备、容器和管道的焊接，焊接方法为手工钨极氩弧焊和熔化极氩弧焊。

1.0.3 焊接施工应遵照设计文件规定，并应符合本规程要求。

1.0.4 铝制压力容器的焊接，除应符合本规程外，尚应符合国家颁布的有关压力容器的法令、法规及规定。

1.0.5 焊接施工应同时具备以下条件：

1.0.5.1 已进行了焊接工艺评定；

1.0.5.2 焊工已考试合格；

1.0.5.3 已编制焊接工艺规程并经批准；

1.0.5.4 已进行图纸会审和技术交底；

1.0.5.5 材料、机具、施工环境等均符合要求。

1.0.6 焊接作业的安全技术、劳动保护等应符合现行的有关规定。

2 术语、符号

本章的术语、符号仅适用于本规程。

2.1 术 语

2.1.1 双面同步氩弧焊：手工钨极氩弧焊时，由两名焊工同时在焊缝的正反两面对同一焊接部位用相同的焊接速度进行焊接的工艺方法。

2.1.2 错边量：两焊件组对或焊缝焊完后表面所错开的垂直距离。

2.1.3 试件：在焊接工艺评定和焊工考试中所焊接的焊件。

2.1.4 试样：对试件进行分割(或不分割)、加工后用以考核焊接接头质量的局部试件。

2.1.5 重要因素：指在工艺评定中影响焊接接头力学性能的焊接条件，或在焊工操作技能考试中影响焊工熔敷焊缝金属能力的焊接条件。

2.1.6 非重要因素：重要因素之外的焊接条件。

2.2 符 号

2.2.1 本规程中符号的含义及计量单位规定如下：

S——母材厚度，mm；

b——错边量，mm；

T——试件厚度；焊缝射线探伤时的透照厚度，为母材厚度和焊缝余高之和，mm；

t——熔敷焊缝金属厚度，mm；

a——试样厚度，mm；

B——试样宽度，mm；

D——弯轴直径，mm；

Φ——管子外径，mm；

P——设计压力，MPa。

3 材 料

3.1 一般规定

3.1.1 工程中应优先选用已列入国家标准或行业标准的母材和焊丝。

3.1.2 工程中使用的母材和焊丝应具备出厂质量合格证书或质量复验合格报告。

3.1.3 母材和焊丝应妥善保管，防止损伤、污染和腐蚀。

3.1.4 当选用国外材料时，其使用范围应符合相应标准的规定，并应有该材料的质量证明书。

3.2 母 材

3.2.1 工程中选用的母材，应符合下列现行的国家标准规定：

GB 3193《铝及铝合金热轧板》；

GB 3880《铝及铝合金板材》；

GB 4437《铝及铝合金热挤压管》；

GB 6893《工业用铝及铝合金拉(轧)制管》。

常用工业纯铝及防锈铝合金的主要化学成份和力学性能应符合表 3.2.1 的规定。

3.2.2 当对母材有特殊要求时，应在设计图样或相应的技术条件上注明。

3.2.3 施工单位对设备、容器和管道材料的代用，必须事先取得原设计单位的设计修改证明文件，并对改动部位作详细记载。

表 3.2.1　铝及铝合金加工产品主要化学成份及力学性能

序号	名称	牌号	主要化学成份(%)			热轧状态力学性能(不小于)						
						板材				管材		
			Mg	Mn	Al	板厚(mm)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	延伸率 δ_{10} (%)	抗拉强度 σ_b (MPa)	屈服点 $\sigma_{0.2}$ (MPa)	延伸率 δ (%)
1	一号工业纯铝	L1			99.7	5～10	69		15	≤118		20.0
2	二号工业纯铝	L2			99.6	11～25	78		18			
3	三号工业纯铝	L3			99.5							
4	四号工业纯铝	L4			99.3							
5	五号工业纯铝	L5			99.0	5～10	69		18			
6	六号工业纯铝	L6			98.8	11～25	78		18			
7	二号防锈铝	LF2	2.0～2.8	或 Cr0.15～0.4	余量	5～25	177		7	≤226		
8	三号防锈铝	LF3	3.2～3.8	0.30～0.6	余量	5～10	186	78	15			
						11～25	177	69	12	177	69	15.0
9	四号防锈铝	LF4	4.0～4.9	0.40～1.0	余量							
10	五号防锈铝	LF5	4.8～5.5	0.30～0.6	余量	5～10	275	128	15	255	108	15.0
11	十一号防锈铝	LF11	4.8～5.5	0.30～0.6	余量	11～25	265	118	13			
12	六号防锈铝	LF6	5.8～6.8	0.50～0.8	余量	5～10	314	157	15	314	147	15.0
						11～25	304	147	11			
13	二十一号防锈铝	LF21		1.0～1.6	余量	5～10	108		15	≤167		
						11～25	118		15			

注：化学成份引自 GB 3190-82；力学性能数据：板材引自 GB 3193-82，管材引自 GB 4437-84。

3.2.4 损伤和锈蚀严重的母材，不得在工程中使用。

3.3 焊接材料

3.3.1 母材焊接所选用的焊丝，应符合现行的国家标准《铝及铝合金焊丝》(GB 10858)的规定。

工业纯铝及防锈铝合金焊接选用焊丝的化学成份应符合表3.3.1的规定。

3.3.2 选用焊丝时，应综合考虑母材的化学成份、力学性能及使用条件等因素，并应符合下列规定：

3.3.2.1 焊接纯铝时，应选用纯度与母材相同或比母材高的焊丝；

3.3.2.2 焊接铝锰合金时，应选用含锰量与母材相近的焊丝，或铝硅合金焊丝；

3.3.2.3 焊接铝镁合金时，应选用含镁量与母材相同或比母材高的焊丝；

3.3.2.4 异种铝及铝合金的焊接，应选用与抗拉强度较高的母材相应的焊丝。

表 3.3.1　　铝及铝合金焊丝的化学成份

类别	型号	化学成份(%)									
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al	其它元素总量
纯铝	SAl-1	Fe+Si 1.0		0.05	0.05	-	-	0.10	0.05	≥99.0	0.15
	SAl-2	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03		0.04	0.03	≥99.7	
	SAl-3	0.30	0.30	-	-	-		-	-	≥99.5	
铝镁	SAlMg-1	0.25	0.40	0.10	0.50～1.0	2.40～3.0	0.05～0.20	-	0.05～0.20	余量	
	SAlMg-2	Fe+Si 0.45		0.05	0.01	3.10～3.90	0.15～0.35	0.20	0.05～0.15		
	SAlMg-3	0.40	0.40	0.10	0.50～1.0	4.30～5.20	0.05～0.25	0.25	0.15		
	SAlMg-5	0.40	0.40	-	0.20～0.60	4.70～5.70	-	-	0.05～0.20		
铝锰	SAlMn	0.60	0.70	-	1.0～1.6	-	-	-	-		
铝硅	SAlSi-1	4.5～6.0	0.80	0.30	0.05	0.05		0.10	0.20		

注：除规定外，单个数值表示最大值。

常用母材焊接时，焊丝的选用宜符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2　　常用母材焊丝选用表

母材牌号	L3	LF2	LF2+LF21	LF4	LF2+LF4	LF4+LF21	LF21
焊丝牌号	SAl-2	SAlMg-1		SAlMg-3 SAlMg4.5Mn(德) ER5183(美、日)			SAlMn
	SAl-3	SAlMg-5					SAlSi-1

3.3.3　焊接时所使用的氩气应符合现行的国家标准《氩气》(GB 4842)的规定。

3.3.4　手工钨极氩弧焊电极应选用铈钨极，也可选用钍钨极。施焊前应根据焊接电流的大小正确选用钨极直径。

钨极的最大许用电流宜符合表 3.3.4 的规定。

表 3.3.4　　钨极最大许用电流

钨极直径 (mm)	Φ3	Φ4	Φ5	Φ6	Φ7
最大许用电流 (A)	140～160	220～240	260～280	350～370	380～420

注：最大许用电流范围中，下限值适用于钍钨极，上限值适用于铈钨极。

4　焊接施工

4.1　一般规定

4.1.1　施工单位必须具备健全的焊接施工全面质量管理体系和制度。

4.1.2　焊接施工前应按第 5 章的规定对拟采用的焊接工艺进行评定。

4.1.3　从事铝材焊接作业的焊工，应按第 6 章的规定考试合格。

焊工施焊前应明确所焊母材的种类、选用的焊接材料、焊接工艺及对焊接接头的质量要求，并严格按焊接工艺规程要求施焊。

4.1.4　施工单位在焊接施工前应根据焊接工艺评定报告，编制焊接工艺规程。

焊接工艺规程的格式宜符合附录 A 的规定。

4.1.5　使用的氩弧焊机必须具有适合焊接的电特性和足够的电流容量，且具有参数稳定、调节灵活和安全可靠的使用性能。

4.1.6　焊接场所应保持清洁，并应有防风、防雨雪设施。氩弧焊时的相对湿度一般应不大于 80%，环境温度应不低于 5℃。

注：相对湿度和环境温度在距焊件 500mm～1000mm 范围内测量。

4.2　焊前准备

4.2.1　铝材可采用机械或等离子弧等方法切割下料。

坡口加工宜采用机械方法，加工后的坡口表面应平整，且无毛刺和飞边。

坡口型式和尺寸应根据接头型式、母材厚度、焊接位置、焊接方法、有无垫板及使用条件等，并参照焊接工艺评定结果确定。

4.2.2 施工中可根据结构形式、焊接位置及施工条件，在焊缝背面加临时垫板。若焊缝背面加保留垫板，应征得原设计单位同意。

垫板可使用不锈钢、碳钢或铜等对焊缝质量无不良影响的材料。

4.2.3 焊前应将焊丝、焊件坡口及其附近表面的油污和氧化膜清除(若使用垫板，其表面亦应按同样要求清除)，清除顺序及方法如下：

4.2.3.1 用丙酮或四氯化碳等有机溶剂除去表面油污，坡口两侧的清除范围应不小于 50mm。

4.2.3.2 清除油污后，焊丝应采用化学法，坡口宜采用机械法(也可采用化学法)清除表面氧化膜。

机械法：坡口及其附近表面可用锉削、刮削、铣削或用直径为 0.2mm 左右的不锈钢丝刷清除至露出金属光泽，两侧的清除范围距坡口边缘应不小于 30mm，使用的钢丝刷应定期进行脱脂处理。

化学法：用约 70℃5%～10%的 NaOH 溶液浸泡 30～60s 后，接着用约 15%的 HNO_3(常温)浸泡 2min 左右后用温水洗净，再使其完全干燥，或者采用其它类似方法。

对已经可靠表面处理并未被氧化或受污染的焊丝，不需再进行上述清理可直接使用。

4.2.4 清理好的焊件和焊丝，在焊前应不被沾污，若无有效的防护措施，应在 8h 内施焊，否则应重新进行清理。

4.2.5 管道焊件组对时，应做到内壁平齐，其错边量 b 应符合下列规定：

当壁厚 S≤5mm 时，b≤0.5mm；

当壁厚 S>5mm 时，b≤0.1S 且 b≤2mm。

4.2.6 设备、容器焊件组对时，其错边量 b 应符合下列规定：

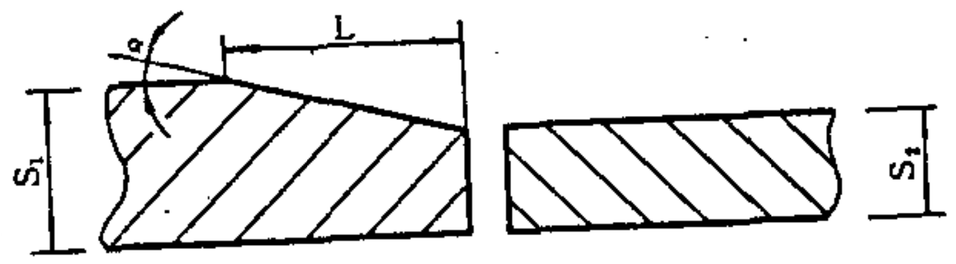
纵焊缝：

当壁厚 S≤5mm 时，b≤0.5mm；

当壁厚 S>5mm 时，b≤0.1S 且 b≤2mm。

环焊缝：b≤0.2S 且 b≤5 mm。

4.2.7 不等厚对接焊件组对时，薄件端面应位于厚件端面之内。当表面错边量超过 3mm 或单面焊焊缝根部错边量超过 2mm 时，应按图 4.2.7 的规定加工厚板边缘。



$L \geqslant 4(S_1-S_2)$或 $\alpha \leqslant 14°$

图 4.2.7 不等厚对接焊件组对

4.2.8 焊机使用前，应检查其接地是否完好，冷却水路和气路是否畅通，其各项功能是否能正常工作。

4.3 焊接工艺要求

4.3.1 定位焊缝应符合下列规定：

4.3.1.1 焊件组对可使用铝材定位板在坡口外点焊定位，也可在坡口内点固。焊接定位焊缝时，选用的焊丝应与母材相匹配。

4.3.1.2 定位焊缝应有适当的长度、间距和高度，以保证其具有足够的强度而不致在焊接过程中开裂。

4.3.1.3 定位焊缝如发现缺陷应及时处理。对作为正式焊缝一部分的根部定位焊缝，还应将其表面的黑粉、氧化膜清除，并将两端修整成缓坡形。

4.3.1.4 拆除定位板时不应损伤母材，拆除后应将残留焊肉打磨至与母材表面齐平。

4.3.2 焊接工艺应符合下列要求：

4.3.2.1 手工钨极氩弧焊应采用交流电源；熔化极氩弧焊应采用直流电源，焊丝接正极。

4.3.2.2 为减少焊接变形，应采取合理的施焊方法和顺序，或进行刚性固定，并应预先考虑收缩余量。

4.3.2.3 正式焊接前，可在试板上进行堆焊试验，调整好各工艺参数并确认无气孔后再进行正式焊接。

4.3.2.4 在保证焊缝熔透和熔合良好的条件下，应在焊接工艺规程允许范围内尽量采用大电流、快焊速施焊。焊丝的横向摆动幅度宜不超过其直径的三倍。

4.3.2.5 无特殊要求时焊件焊前不进行预热，多层焊时，层间温度应尽可能低，宜不高于100℃。

4.3.2.6 钨极氩弧焊时，焊接过程中焊丝端部不应离开氩气保护区，焊丝送进时与焊缝表面的夹角宜在15°左右。焊枪与焊缝表面的夹角宜保持在80°～90°之间。

对厚度不小于4mm的立焊和横焊位置的焊缝，当条件允许时，底层焊接可采用双面同步氩弧焊工艺。

4.3.2.7 焊接过程中，焊层间的氧化膜、过高焊肉及其它焊接缺陷必须清除。对需清根的双面焊或进行封底焊的焊缝，应采用机械法清理焊根。

4.3.2.8 纵焊缝两端应装上铝制的引弧板和引出板。纵、环焊缝清理弧坑后接续焊时也宜在引弧板上引燃电弧，待电弧燃烧稳定后再进行焊接。

4.3.2.9 当喷嘴上有明显阻碍氩气气流流通的飞溅物附着时，必须将飞溅物清除或更换喷嘴。

当钨极端部出现污染、形状不规则等现象时，必须修整或更换。

4.3.2.10 应在焊接工艺规程规定的范围内正确选用焊接工艺参数。焊接工艺参数宜在下列范围内选用：

手工钨极氩弧焊见表4.3.2.10-1；

手工钨极双面同步氩弧焊见表4.3.2.10-2；

熔化极半自动氩弧焊见表4.3.2.10-3；

熔化极自动氩弧焊见表4.3.2.10-4。

表4.3.2.10-1 手工钨极氩弧焊焊接工艺参数

母材厚度 (mm)	焊丝直径 (mm)	钨极直径 (mm)	喷嘴直径 (mm)	氩气流量 (l/min)	焊接电流 (A)	焊接层数
1.5～3	2～3	2～3	8～12	4～10	40～110	1
4～8	3～5	3～5	10～14	8～14	100～250	1～3
10～12	5～6	5～6	12～16	12～16	240～300	3～4
14～16	6	6～7	14～18	14～18	280～360	4～5
18～20	6	6～7	16～20	16～18	280～380	5～6

表4.3.2.10-2 手工钨极双面同步氩弧焊焊接工艺参数

母材厚度 (mm)	焊丝直径 (mm)	钨极直径 (mm)	喷嘴直径 (mm)	氩气流量 (l/min)	焊接电流 (A)
4～6	4～5	3～4	12～14	10～12	60～110
8～10	5～6	3～4	12～14	12～14	130～170
12～14	5～6	3～4	12～16	12～16	170～210
16～18	5～6	4～5	16～18	16～18	210～240

注：① 焊接电流系指底层焊时每台焊机的电流值。

② 覆盖层由一名焊工施焊，其焊接工艺参数见表 4.3.2.10-1。

③ 当母材厚度大于或等于 10mm 时，焊前可进行 100～150℃预热。

表 4.3.2.10-3　熔化极半自动氩弧焊焊接工艺参数

母材厚度 (mm)	焊丝直径 (mm)	喷嘴直径 (mm)	氩气流量 (l/min)	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接层数 (正面/反面)
8～10	1.6～2.5	20	25～30	140～280	20～30	1～2/1
12～14	2.5～3	20	25～30	260～300	25～30	2/1～2
16～18	2.5～3	20	30～35	300～360	28～35	2/2
20～22	2.5～3	20	35～40	330～360	35～40	2/2

表 4.3.2.10-4　熔化极自动氩弧焊焊接工艺参数

母材厚度 (mm)	焊丝直径 (mm)	喷嘴直径 (mm)	氩气流量 (l/min)	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)	焊接速度 (cm/min)	焊接层数 (正面/反面)
10	3	28/17	30～40	280～310	24～26	25～40	1/1
12	3	28/17	30～40	290～320	24～26	25～40	1/1
16	4	28/17	30～40	380～420	26～30	25～40	1/1
20	4	28/17	35～45	460～520	28～34	25～40	1/1
25	4	28/17	40～50	480～550	28～36	25～40	1/1

5　焊接工艺评定

5.1　一般规定

5.1.1　评定前应拟订焊接工艺评定指导书，指导书的内容应能满足编制焊接工艺规程的要求。

5.1.2　评定所选用的母材、焊接材料、焊接设备、焊丝与焊件表面的清理及采取的工艺措施等，应符合本规程的有关规定。

5.1.3　试件焊接应由本单位操作技能水平较高的焊工进行。评定所用的测量仪表应经检定合格。

5.1.4　焊接工艺评定过程中应做好记录，评定完毕应提出评定报告。

5.2　评定要求

5.2.1　焊接方法分为手工钨极氩弧焊、熔化极半自动氩弧焊、熔化极自动氩弧焊和其间的组合焊。

组合焊评定合格后用于焊件时，可采用其中任一种焊接方法，但每种焊接方法所熔敷的焊缝金属厚度都应在已评定的各自有效范围内。

5.2.2　母材应按表 5.2.2 的规定分类。任一牌号母材评定合格，可替代同一类别中其它牌号的母材。

两种类别间材料的焊接，不论各自是否经过评定，均应重新进行评定。

表 5.2.2　　母 材 分 类 表

类别	母材种类	牌号举例
Ⅰ	工业纯铝、铝锰合金	L1、L2、L3、L4、L5、L6、LF21
Ⅱ	铝镁合金(Mg<4%)	LF2、LF3
Ⅲ	铝镁合金(Mg≥4%)	LF4、LF5、LF6、LF11

5.2.3　试件分板状试件和管状试件，一律采用对接接头。

焊接位置：板状试件为平焊、横焊、立焊和仰焊；管状试件为水平转动、垂直固定、水平固定和 45°固定。

板状试件和管状试件可以互相替代。

试件可在任一位置进行焊接，经评定合格后，可替代所有位置的评定。

5.2.4　试件尺寸和数量应能满足制备试样的要求，试件厚度应充分考虑适用于母材厚度的有效范围。

评定合格的焊接工艺所适用的母材评定厚度和熔敷焊缝金属评定厚度的有效范围，应符合表 5.2.4 的规定。

表 5.2.4　　试件厚度适用的评定厚度范围(mm)

试件厚度 T	母材评定厚度 T 的范围		熔敷焊缝金属评定厚度 t 的范围	
	最小	最大	最小	最大
1.5≤T≤10	1.5	2T	不限	2t
T>10	4	2T	不限	2t

注：① 试件焊接时，若其中任一焊道的厚度大于 13mm，适用于母材评定的最大厚度为 1.1T。

② 适用于角焊缝时母材评定厚度的范围不限。

5.2.5　对接接头评定合格的焊接工艺，可用于所有母材厚度

和各种直径管子的所有尺寸角焊缝。

5.2.6　当改变下列重要因素之一时，应重新评定焊接工艺：

5.2.6.1　改变焊接方法；

5.2.6.2　改变母材类别；

5.2.6.3　选用的焊丝不符合 3.3.2 的规定；

5.2.6.4　焊件母材厚度超过表 5.2.4 规定的评定有效范围；

5.2.6.5　如需预热，预热温度比评定合格值降低 50℃以上。

5.2.7　当改变下列非重要因素时，不需重新评定焊接工艺：

5.2.7.1　改变坡口型式、尺寸及组对间隙；

5.2.7.2　改变焊接位置，立焊位置由上向焊改变为下向焊或相反；

5.2.7.3　改变焊丝牌号和直径、焊接电流、电弧电压、氩气流量、钨极直径、喷嘴直径及填充金属尺寸等工艺参数；

5.2.7.4　增加或去掉垫板、单面焊改为双面焊或相反、单焊丝改为多焊丝或相反、改变背面清根方法等。

5.3　检验项目及合格标准

5.3.1　当设计文件无规定时，试件接头应依次进行外观检查、渗透探伤、射线探伤和力学性能试验。

若设计文件规定进行其它检验项目时，应提出检验方法和合格标准。

板状试件两端不进行检验的舍弃部分长度应各为 30mm(焊工考试要求相同)。

5.3.2　试件接头的力学性能试验只进行拉伸和横向弯曲试验。试样的数量、取样部位、加工及试验方法，应符合下列规定：

5.3.2.1　试样数量：当试件厚度 T<20mm 时，应取拉伸、面弯、背弯各 2 个；当试件厚度 T≥20mm 时，应取拉伸 2 个、侧弯 4

个。

5.3.2.2 试样样坯的截取应采用机械方法，如采用等离子弧切割，每侧的加工余量不得小于 5mm。带垫板试件样坯截取前应将垫板去除。

取样部位：板状试件应符合图 5.3.2.2-1 的规定；管状试件水平固定和 45°固定位置应符合图 5.3.2.2-2 的规定。

舍	拉	背	面	备	背	面	拉	舍
弃	伸	弯	弯	用	弯	弯	伸	弃

(a)T＜20mm

舍	侧	拉	侧	备	侧	拉	侧	舍
弃	弯	伸	弯	用	弯	伸	弯	弃

(b)T≥20mm

图 5.3.2.2-1 板状试件取样部位

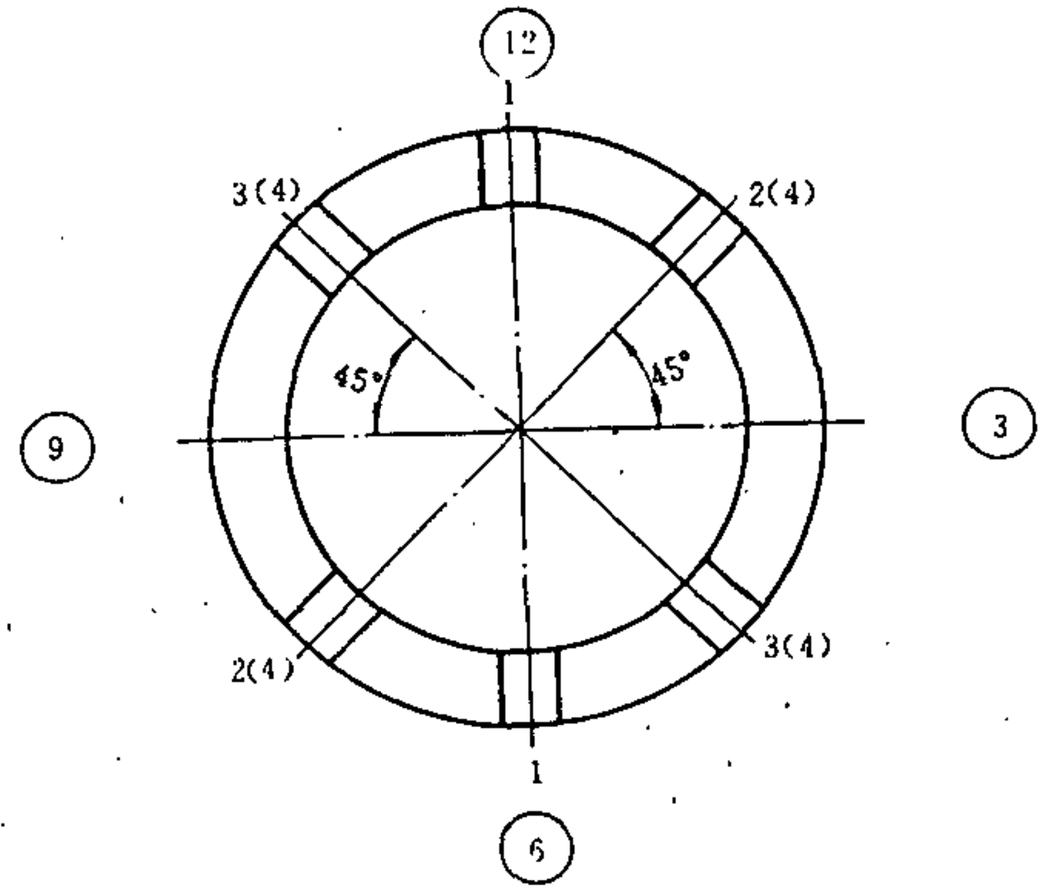


图 5.3.2.2-2 管状试件取样部位

注：1——拉伸试样、2——面弯试样、3——背弯试样、4——侧弯试样；
③、⑥、⑨、⑫——钟点记号，为水平固定和 45°固定位置焊接时的定位标记。

5.3.2.3 试样的焊缝余高应用机械法除去，使之与母材齐平。在除去焊缝余高前，允许对试件进行冷校直。

为加工出规定的试样形式，应尽量减小试样受试部位的母材表面加工量。

拉伸试样的加工尺寸：板状试件和外径大于 76mm 的管状试件试样应符合图 5.3.2.3-1 的规定；外径小于或等于 76mm 的管状试件试样应符合图 5.3.2.3-2 的规定；外径小于或等于 76mm 的全截面管状试件试样应符合图 5.3.2.3-3 的规定，一个管接头可代表两个拉伸试样。

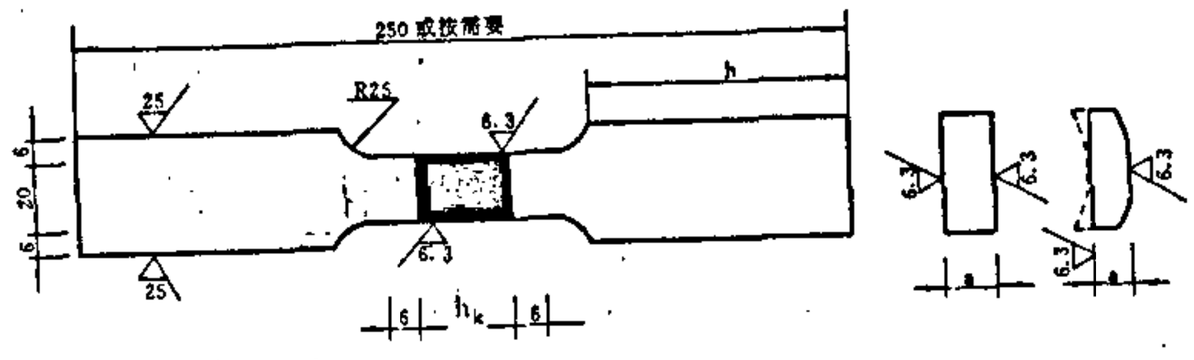


图 5.3.2.3-1 拉伸试样尺寸(mm)

注：a——试样厚度；
h_k——焊缝最大宽度；
h——夹持部分长度，根据试验机夹具而定。

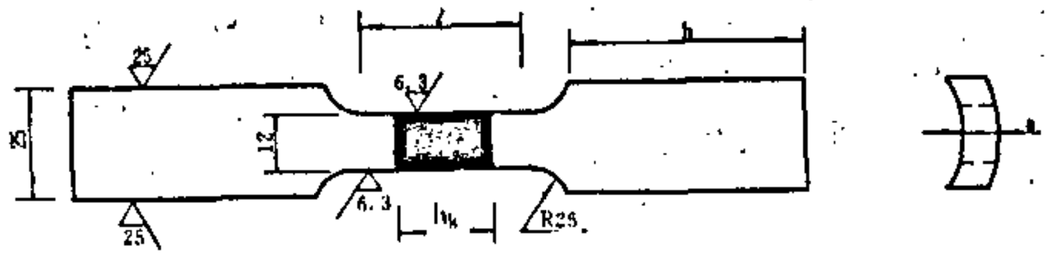


图 5.3.2.3-2 管状试件拉伸试样尺寸(mm)

注：*l*——受拉伸平行侧面长度，大于或等于 h_k+2a。

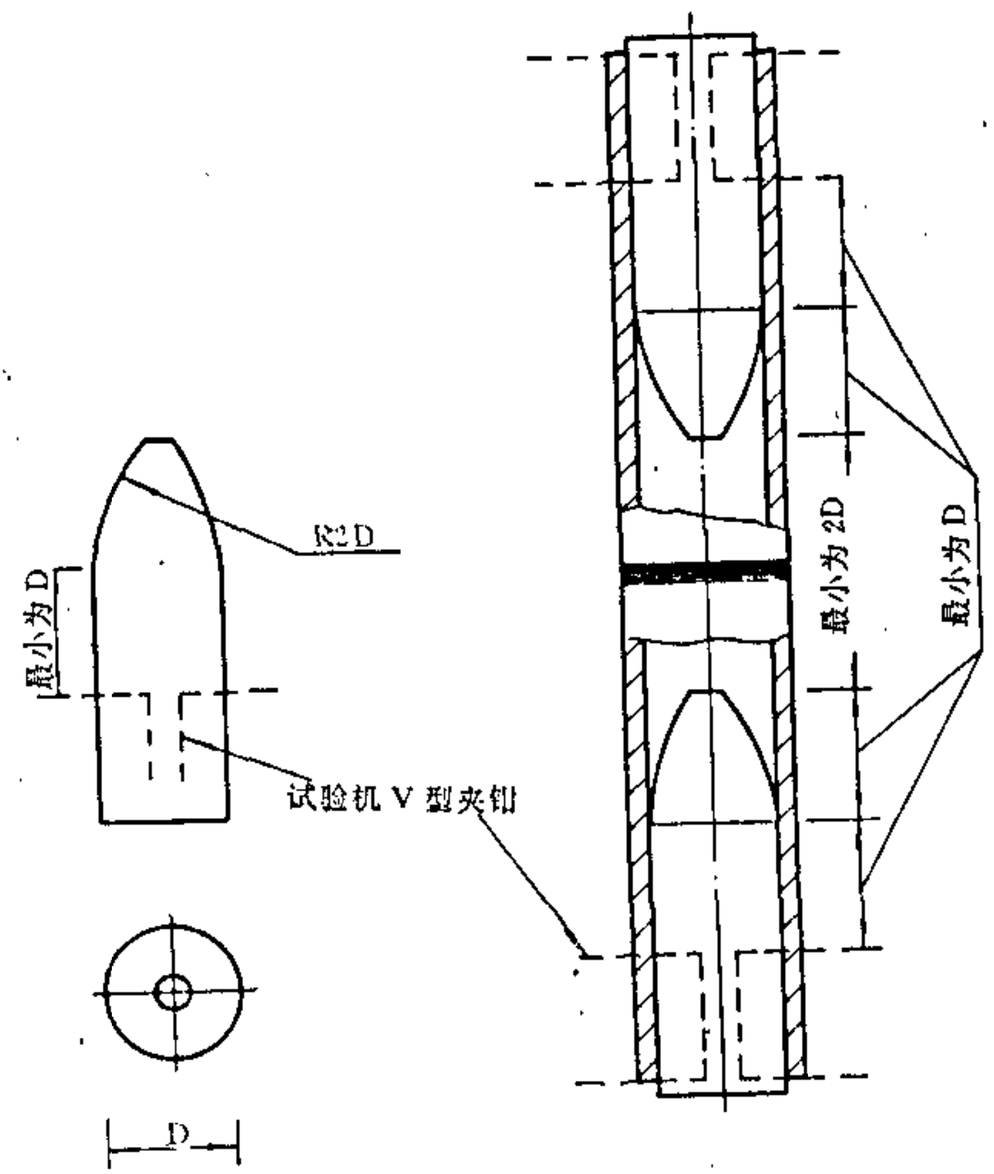
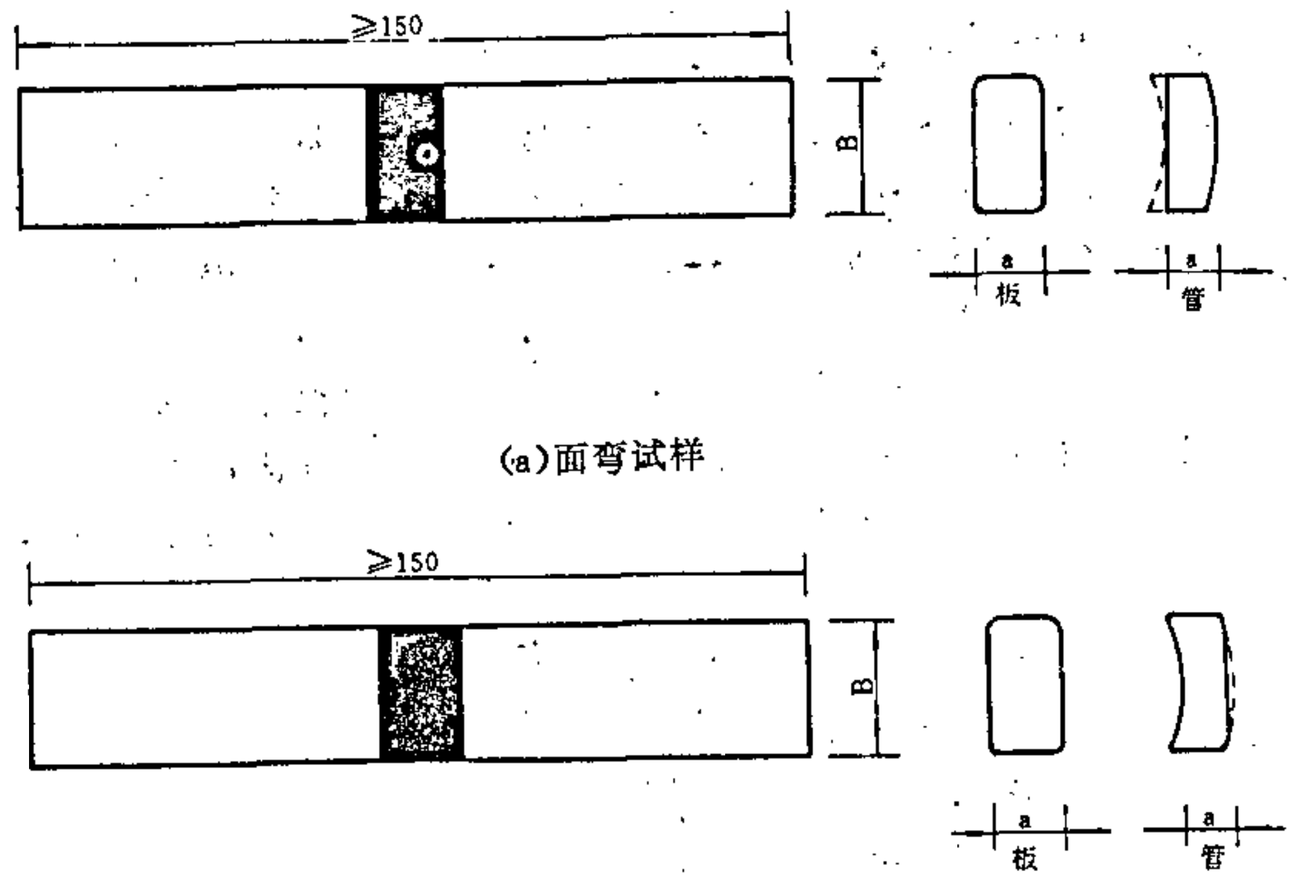


图 5.3.2.3-3　小直径管全截面拉伸试样

弯曲试样的加工尺寸：面弯和背弯试样应符合图 5.3.2.3-4 的规定，当试件厚度 T＞10mm 时，应从试样的受压面加工至试样厚度 a＝10mm，当试件厚度 T≤10mm 时，试样厚度 a＝T；侧弯试样应符合图 5.3.2.3-5 的规定。



(a)面弯试样

(b)背弯试样

图 5.3.2.3-4　面弯和背弯试样尺寸(mm)

注：① 板材试样宽度 B＝30；管材试样宽度 B＝a＋Φ/20(式中 Φ——管子外径)且 10≤B≤38。

② 试样拉伸面棱角半径应不大于 3mm。

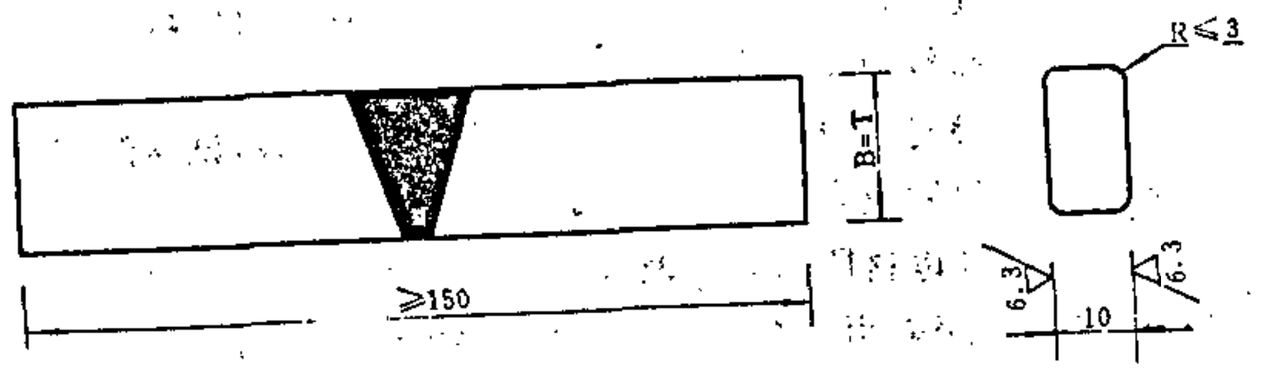


图 5.3.2.3-5　侧弯试样尺寸(mm)

5.3.2.4　试验方法：拉伸试验应符合现行的国家标准《金属

拉伸试验方法》(GB 228)的规定；弯曲试验应符合现行的国家标准《金属弯曲试验方法》(GB 232)的规定。

5.3.3 各项检验的合格标准应符合下列规定：

5.3.3.1 外观检查：除应符合 7.2.2 的规定外，无垫板单面焊焊缝根部未焊透长度，应按 7.3.4 规定计算，不得超过表 7.3.5.3 中的 2 级要求。

5.3.3.2 渗透探伤：渗透探伤方法、技术操作、质量评定应符合现行的国家标准《钢制压力容器》(GB 150)中附录 H 的规定。

5.3.3.3 射线探伤：应按 7.3.2～7.3.5 的规定评定，2 级合格。

5.3.3.4 拉伸试验结果应符合以下规定：

(1) 试样的抗拉强度应不小于母材规定值的下限(异种母材接头，以抗拉强度较低的母材为准)；

(2) 若试样断在焊缝或熔合线以外的母材上，试样的抗拉强度只要不小于母材规定值下限的 95%，应评定为试验合格；

(3) 若标准或设计文件中对母材的最低抗拉强度值无规定时，则试验结果仅作为参考。

5.3.3.5 弯曲试验：试样绕弯轴弯曲 180°后，在伸长面沿任何方向测量，在焊缝和热影响区内均不得有超过 3mm 长的裂纹。试样棱角上出现的裂纹不计，但由于夹渣或其它内部缺陷所造成的棱角上的裂纹应予考虑。

弯曲试验时，试样的焊缝中心应对准弯轴轴线，试样的焊缝和热影响区试验后应全部在试样受弯范围内。

不同类别母材所用的弯轴直径应符合表 5.3.3.5 的规定。异种母材接头，应采用两种母材所用的弯轴中直径较大者。

表 5.3.3.5　　弯 轴 直 径 (mm)

类别	母材种类	弯轴直径	支座间距离
Ⅰ	工业纯铝、铝锰合金	4a	6a+3
Ⅱ	铝镁合金(Mg<4%)	4a	6a+3
Ⅲ	铝镁合金(Mg≥4%)	$6\frac{2}{3}$a	$8\frac{2}{3}$a+3

注：a——试样厚度。

5.3.4 拉伸、面弯、背弯或侧弯试验有一个试样不合格时，可在同一试件上制取两个相应试样复验，两个试样均试验合格，则该项试验应评为合格，否则应查明原因，审核或修正工艺，重新焊制接头进行评定。

6 焊工考试

6.1 一般规定

6.1.1 焊工考试包括基本知识和操作技能两部分，由企业焊工考试委员会负责组织和实施。

基本知识的考试内容、操作技能的考试项目由考试委员会根据本规程规定和焊工将担任的工作确定。

焊工必须经基本知识考试合格后，方可参加操作技能考试。

6.1.2 焊工操作技能考试应按焊接工艺评定合格后所编制的焊接工艺规程进行。

参加工艺评定试件焊接的焊工，评定合格即认为该焊工相应项目操作技能考试合格。

6.1.3 考试用的母材、焊接材料、焊机等应符合本规程有关规定。测量仪表应经检定合格。

6.1.4 焊工经基本知识和操作技能均考试合格后，由企业焊工考试委员会发给合格证。合格证自签发之日起三年内有效。

6.1.5 在合格证有效期内，如焊工连续中断铝材焊接工作六个月以上时，重新焊接前应进行操作技能复验考试，复验考试可免做弯曲试验。

6.1.6 如持证焊工的实际操作技能不能满足工程产品焊接要求，或者违反工艺纪律以致经常地或连续地出现焊接质量问题时，经企业质量检验部门提出，考试委员会核准后，可吊销该焊工的合格证。

6.1.7 考试试卷、试件焊接记录、各项检验报告及射线探伤底片等，均应存入焊工档案。

6.1.8 如从事《压力容器安全技术监察规程》所辖范围内的铝制容器的焊接工作，应将考试办法及结果报地、省辖市或省级劳动部门锅炉压力容器安全监察机构备案。

6.1.9 基本知识考试应包括下列内容：

6.1.9.1 焊接安全技术；

6.1.9.2 母材及焊接材料的基础知识；

6.1.9.3 焊前准备及焊接工艺要求；

6.1.9.4 焊接材料的选择及使用要求；

6.1.9.5 铝制焊缝常见缺陷的种类、产生原因、危害及预防措施；

6.1.9.6 焊机及测量仪表的名称、种类、使用和维护；

6.1.9.7 焊接应力和变形的产生原因和防止方法；

6.1.9.8 接头型式、焊缝代号、图样识别。

6.2 操作技能考试

6.2.1 手工钨极氩弧焊、熔化极半自动氩弧焊、熔化极自动氩弧焊和其间的组合焊，均应单独进行考试。

6.2.2 母材分类应符合 5.2.2 的规定。表 5.2.2 中同一类别母材，一种牌号考试合格后，可免去该类其它牌号的考试；不同类别母材，类别较高的考试合格后，可免去类别较低的考试。

6.2.3 试件分板状试件和管状试件，均采用对接接头。

单面焊考试合格，可替代相应位置的双面焊，但不能相反；对接接头考试合格，可替代相应位置的其它接头形式。

6.2.4 焊接位置：板状试件为平焊、横焊、立焊和仰焊；管状试件为水平转动、垂直固定、水平固定和 45°固定。

当立焊位置的焊接方向，由上向焊改变为下向焊或相反，应重新进行考试。

管状试件考试合格，可替代相应位置的板状试件，但不能相反。替代的位置应符合表 6.2.4 的规定。

表 6.2.4　　焊接位置替代表

管状试件位置	可替代的板状试件位置
水平转动	平　焊
垂直固定	横　焊
水平固定	平焊、立焊、仰焊
45°固定	全位置

对平、横、立、仰四个基本位置的认可包括所有的中间位置。

在有障碍明显影响操作的条件下从事焊接作业的焊工，还应按实际情况模拟障碍进行考试。

6.2.5　试件可带或不带垫板，不带垫板试件考试合格，可替代相应位置的带垫板试件，但不能相反。

6.2.6　试件数量每种焊接位置为一件。对小直径管，若在一个接头上取不出足够的弯曲试验所需的试样时，试件数量应相应增加。

当管状试件外径大于 150mm 时，可在同一试件上进行垂直固定和水平固定位置的焊接，其位置划分应符合图 6.2.6 的规定。

6.2.7　试件尺寸、厚度及管径的限制应符合下列规定：

6.2.7.1　试件尺寸应符合图 6.2.7.1 的规定；

6.2.7.2　试件厚度适用于焊件母材最大厚度的有效范围应符合表 6.2.7.2 的规定，适用的最小厚度不限；

6.2.7.3　管状试件外径适用于焊件母材外径的有效范围应符合表 6.2.7.3 的规定。

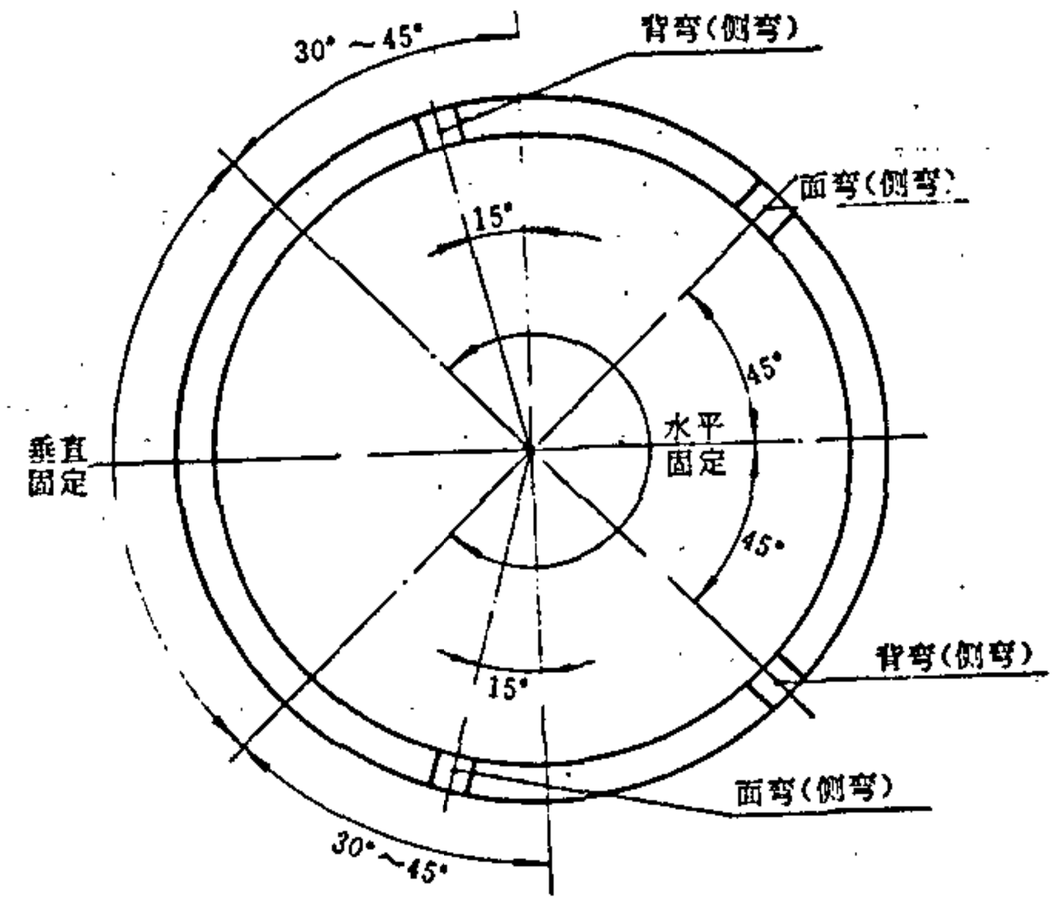


图 6.2.6　试件位置划分及取样部位

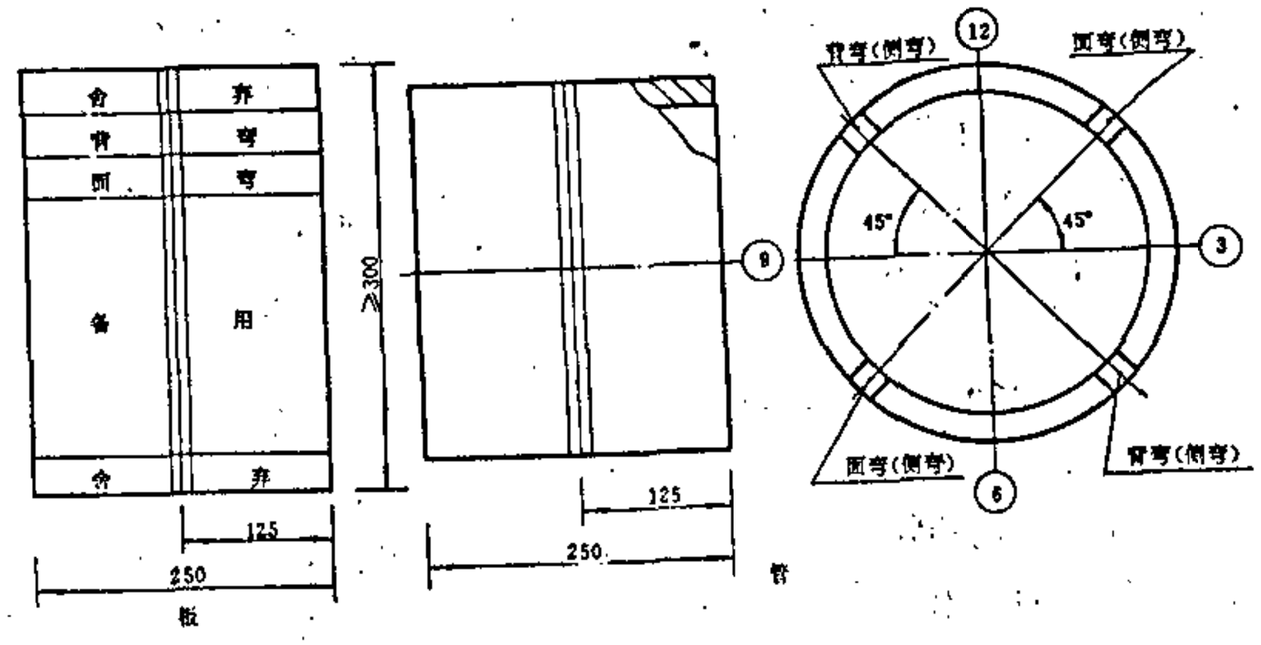


图 6.2.7.1　试件尺寸及取样部位(mm)

表 6.2.7.2　　试件厚度适用范围表(mm)

试件厚度　T	适用焊件母材最大厚度
T<20	2T
T≥20	焊接的最大厚度

注：任一厚度试件考试合格，适用于所有厚度和直径的所有角焊缝尺寸。

表 6.2.7.3　　试件外径适用范围表(mm)

试件外径	适用焊件母材外径
<25	≥试件外径
≥25～<76	≥25
≥76	≥76

6.2.8　为考核焊工断弧接头的操作技能，底层焊缝中应至少中断焊接一次。

6.2.9　在焊接过程中和焊接完毕，试件可用水冷却。试件焊接完毕，焊缝内外表面不得进行修整或补焊，但应将焊缝表面及其附近的飞溅物清除。

6.2.10　试件的检验项目及合格标准应符合下列规定：

6.2.10.1　试件接头应依次进行外观检查、射线探伤和弯曲试验。

6.2.10.2　弯曲试验试样的数量、取样部位、加工及试验方法应符合下列规定：

(1)板状试件、管状水平转动和垂直固定位置试件，每种焊接位置应取面弯和背弯试样各一个；管状水平固定和 45°固定位置试件，每种焊接位置应取面弯和背弯试样各两个。但当试件厚度大于或等于 20mm 时，面弯和背弯试样均应改作侧弯试样。

(2)板状试件、管状水平固定和 45°固定位置试件的取样部位

应符合图 6.2.7.1 的规定。

管状垂直固定和水平固定位置在同一试件上时的取样部位应符合图 6.2.6 的规定。

管状水平转动、垂直固定位置试件的取样部位不做规定。

(3)试样样坯的截取、加工要求及尺寸等应符合 5.3.2 的有关规定。

(4)弯曲试验方法应符合现行的国家标准《金属弯曲试验方法》(GB 232)的规定。

6.2.10.3　合格标准应符合下列规定：

外观检查、射线探伤和弯曲试验应符合 5.3.3.1、5.3.3.3 和 5.3.3.5 的规定。

面弯、背弯或侧弯试验有一个试样不合格时，允许从原试件上另取一个试样复验，复验合格弯曲试验应评为合格；当有两个试样不合格或复验试样仍不合格时，则弯曲试验应评为不合格。

7 焊接检验

7.1 一般规定

7.1.1 焊接检查人员和检验人员应具有相应的资格证书。

7.1.2 焊接检查人员应熟悉并遵照设计文件、有关技术标准及焊接工艺规程要求，对现场焊接工作进行全面的监督和检查。

7.1.3 焊接检验工作应与工程施工同步进行，发现质量问题应及时纠正和处理。

7.2 外观检查

7.2.1 焊缝必须百分之百进行外观检查，检查前应将焊缝及其附近表面的飞溅物清除，并标上焊工代号。

7.2.2 焊缝外观质量应符合下列要求：

7.2.2.1 焊缝应与母材表面圆滑过渡，其表面不得有裂纹、未熔合、气孔、氧化物夹渣及过烧等缺陷。

7.2.2.2 焊缝余高：当母材厚度 S≤10mm 时，不得超过 3mm；当母材厚度 S>10mm 时，不得超过 1/3S 且不大于 5mm。

7.2.2.3 焊缝咬边深度：当母材厚度 S≤10mm 时，不得超过 0.5mm；当母材厚度 S>10mm 时，不得超过 0.8mm。

焊缝两侧咬边总长度：板材不得超过焊缝总长度的 10%；管材不得超过焊缝总长度的 20%；

7.2.2.4 表面凹陷：除仰焊位置单面焊焊缝内表面允许有深度不超过 0.2S 且不大于 2mm 的凹陷外，其它所有位置的焊缝表面应不低于基本金属。

7.2.2.5 错边量：不得超过 4.2.5、4.2.6 和 4.2.7 的规定。

7.2.2.6 角焊缝的焊角高度应等于或大于两焊件中较薄焊件母材厚度的 70%，且不应小于 3mm。

7.3 射线探伤

7.3.1 射线照相底片的质量应符合下列规定：

7.3.1.1 应选用工业纯铝或防锈铝合金材料的线型象质计，象质计的型号和规格，应符合现行的国家标准《线型象质计》(GB 5618)的规定。

7.3.1.2 底片上能识别的象质计的最小线径，应不超过表 7.3.1.2 的规定。

表 7.3.1.2 透照厚度和应识别的最小线径(mm)

透照厚度 T	识别的最小线径	透照厚度 T	识别的最小线径
T<6.0	0.100	16.0≤T<25.0	0.32
6.0≤T<8.0	0.125	25.0≤T<30.0	0.40
8.0≤T<10.0	0.16	30.0≤T<50.0	0.50
10.0≤T<12.5	0.20	50.0≤T<63.0	0.63
12.5≤T<16.0	0.25	63.0≤T<100.0	0.80

7.3.1.3 检验区非缺陷部分的底片黑度应在表 7.3.1.3 规定范围内。

表 7.3.1.3 底片黑度范围

透照厚度 T(mm)	底片黑度
T<40.0	1.0～3.5
40.0≤T<80.0	1.5～3.5
T≥80.0	2.0～3.5

7.3.2 底片评定的顺序应符合下列规定：

7.3.2.1 底片应在暗处用足够亮度的观片灯进行观察，并应使用适合观察范围的固定遮光板。

7.3.2.2 确认底片质量应符合 7.3.1 的规定。

7.3.2.3 对气孔、夹钨及点状氧化物夹渣，应按 7.3.3 的规定求出缺陷点数，并按 7.3.5.2 的规定评定等级。

7.3.2.4 对条状氧化物夹渣、未焊透，应按 7.3.4 的规定测定长度，并按 7.3.5.3 的规定评定等级。

7.3.2.5 裂纹、夹铜、未熔合，应直接按 7.3.5.5 的规定评定等级。

7.3.2.6 咬边等表面缺陷不在评级范围内。

7.3.3 缺陷点数的计算应符合下列规定：

7.3.3.1 在检验区内应以缺陷点数最多的部位作为评定视野。评定视野的大小应按母材厚度取表 7.3.3.1 所示数值。

若缺陷处于评定视野的交界线上时，视野以外部分也应一起测定。评定视野内一种缺陷多处存在，或同时存在多种缺陷，则缺陷点数应为各缺陷点数之和。

表 7.3.3.1 评定视野尺寸(mm)

母材厚度 S	S<20.0	20.0≤S<80.0	S≥80.0
评定视野	10×10	10×20	10×30

7.3.3.2 气孔、夹钨和尺寸不大于 2mm 的氧化物夹渣，应根据其尺寸按表 7.3.3.2 规定换算成缺陷点数。

气孔、氧化物夹渣的缺陷点数应直接由表 7.3.3.2 查得；

焊缝夹钨的缺陷点数应按表 7.3.3.2 查得值的 1/2 计算。

表 7.3.3.2 缺陷尺寸和点数换算

缺陷尺寸 (mm)	≤1.0	>1.0,≤2.0	>2.0,≤4.0	>4.0,≤8.0	>8.0,≤10.0
点 数	1	2	4	8	16

7.3.3.3 若缺陷尺寸小于表 7.3.3.3 规定数值时，可不计缺陷点数。

表 7.3.3.3 不计点数的缺陷尺寸(mm)

母材厚度 S	S<20.0	20.0≤S<40.0	S≥40.0
缺陷尺寸	0.4	0.6	1.5%S

7.3.3.4 尺寸小于表 7.3.3.3 规定数值的密集缺陷，其范围应作为一个大的缺陷按表 7.3.3.2 查得缺陷点数，但其位置明显位于焊缝余高部分时，可不计缺陷点数。

7.3.4 缺陷长度的计算应符合以下规定：

2mm 以上的氧化物夹渣，应以其最长的尺寸作为其长度；未焊透应以其最长的尺寸的 2 倍作为其长度。

当缺陷排列于一线上且不少于两个，若相邻的缺陷间距超过较大缺陷的长度时，应作为分散缺陷分别评定。若间距小于较大缺陷的长度时，应作为同一缺陷，缺陷长度包括间距。

7.3.5 焊缝质量的等级评定应符合下列规定：

7.3.5.1 根据缺陷的性质和数量，将焊缝质量分为四级。

1、2、3 级焊缝内应无裂纹、夹铜、未熔合以及双面焊和加垫板的单面焊中的未焊透等缺陷。

7.3.5.2 气孔、夹钨和 2mm 以下的氧化物夹渣，应根据缺陷点数按表 7.3.5.2 进行等级分类，表中数字表示缺陷点数和容许界限，但若缺陷尺寸超过母材厚度的 1/3，不应评为 1 级；超过母材厚度的 2/3 或 10.0mm 中较小者，应评为 4 级。

表 7.3.5.2　　根据缺陷点数的等级分类

评定视野(mm)	10×10				10×20		10×30
母材厚度S(mm) / 等级	S<3.0	3.0≤S<5.0	5.0≤S<10.0	10.0≤S<20.0	20.0≤S<40.0	40.0≤S<80.0	S≥80.0
1	1	2	3	4	6	7	8
2	3	7	10	14	21	24	28
3	6	14	21	28	42	49	56
4	缺陷点数值大于3级						

注：不同厚度的母材焊缝接头，按薄件厚度评定。

7.3.5.3　尺寸超过 2mm 的氧化物夹渣和单面焊不带垫板焊缝的未焊透，应根据缺陷长度按表 7.3.5.3 规定进行等级分类。

若这些缺陷与上款中的缺陷并存时，应先分别进行等级分类，然后将最低级定为评定的等级，若级别相同时应降一级。

表 7.3.5.3　　条状缺陷的等级分类(mm)

母材厚度S / 等级	S≤12	12<S<48	S≥48
1	≤3	≤1/4S	≤12
2	≤4	≤1/3S	≤16
3	≤6	≤1/2S	≤24
4	缺陷长度大于3级		

7.3.5.4　当 3 级的缺陷点数连续存在且超过评定视野的 3 倍时，应评为 4 级。

7.3.5.5　焊缝存在裂纹、夹铜或未熔合时，均应评为 4 级。

7.3.6　若设计文件无规定时，对接接头焊缝射线探伤检查比例和应达到的质量等级应符合表 7.3.6 的规定。

表 7.3.6　　焊缝射线探伤检查比例

应达到的质量等级	2		3
设计压力 P(MPa)	P≥1.6	0.6≤P<1.6	0.1≤P<0.6
探伤比例	100%	≥25%	≥10%

注：① 确定具体局部探伤比例时，应充分考虑介质、载荷条件及其它使用条件。

② 对要求局部射线探伤检查 3 级合格的管道焊缝，当其公称直径小于 50mm 时，可不进行。

7.3.7　对要求局部探伤的焊缝，如被查焊工在一台设备、容器或一条管线上所焊焊缝按规定比例抽查探伤后，探伤底片有 80%以上合格(按底片张数计)且不合格片中没有裂纹缺陷存在时，只需将不合格部位焊缝返修合格；若合格率低于 80%或出现裂纹缺陷时，除应将不合格部位焊缝返修合格外，还应将该焊工所焊焊缝的剩余部分按原规定比例抽查探伤。

7.3.8　凡经射线探伤的焊缝应在竣工资料中标明焊缝位置、编号和焊工代号。

7.4　焊缝返修

7.4.1　焊缝返修一般应在压力试验之前进行。返修前应了解缺陷种类，分析缺陷产生原因。

7.4.2　焊缝返修应由合格的焊工担任。返修工艺措施应经焊接技术负责人批准。同一部位的返修次数不应超过两次。对经过两次返修仍不合格的焊缝，如再进行返修，应经施工单位技术负责人批准。

附录A　焊接工艺规程格式

单位名称：　　审批：　　编制：

焊接工艺规程编号：　　日期：

所依据的焊接工艺评定编号：

焊接方法：　　电源种类、极性：

接头型式：　　焊接位置：

衬垫：　有/无　　衬垫材料、规格：

母材(板/管)：　　(牌号)与　　(牌号)相焊或　　类与　　类相焊

厚度范围：对接焊　　角焊

管子外径范围：对接焊　　角焊

表面清理方法：坡口　　焊丝

预热温度：　　层间温度：　　测温方法：

焊丝选用表(对应于所适用的每一牌号母材或异种母材接头分别填表)

焊接工艺参数表(对应于不同的母材厚度范围，分别列出所选用的焊丝直径、钨极直径、喷嘴直径、氩气流量、焊接电流、电弧电压、焊接速度、送丝速度及焊接层数等)

焊道及焊层间的清理方法：

坡口尺寸、组对间隙、焊道分布和顺序示意图：

其它：

附录B　本规程用词说明

B1　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”；

B2　表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

B3　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”或“可”，反面词采用“不宜”。

附加说明　本规程主编单位和主要起草人

主 编 单 位：中国化学工程第十三建设公司
主要起草人：宋胜英　钱景龙
审　定　人：张同兴　魏大信　梁永利

铝及铝合金焊接技术规程

HGJ 222-92

条　文　说　明

1 总　则

1.0.2 规定了本规程的适用范围。在化工、炼油装置中所使用的铝制设备、容器及其它焊接构件，基本上是由塑性、导热性、耐蚀性及焊接性良好的工业纯铝和非热处理强化的铝锰、铝镁防锈铝合金制成。可热处理强化的硬铝、超硬铝合金因其焊接性较差、焊接裂纹倾向性较大，用普通的熔焊方法焊接不易保证接头质量，一般不用作焊接结构材料，或者在工程建设施工中因很少使用而无成熟的焊接经验，故这类材料不包括在本规程范围之内。

手工钨极氩弧焊和熔化极氩弧焊，在施工中已普遍采用，适合于铝材焊接。氧乙炔焊由于其热源温度低、热量分散、加热困难且对熔池的保护效果差，所焊接头的强度、耐蚀性及生产效率等均远不如氩弧焊，很难达到对接头的质量要求，故本规程的焊接方法仅适用于氩弧焊而不包括氧乙炔焊。

1.0.4 在制订各章节的条文时，已注意到与国家有关压力容器规定相协调的问题。本条系指本规程所没有包括的专用于铝制压力容器的其它规定，如压力容器受压元件材料使用条件的限制、对接焊缝100%进行射线探伤的条件及产品试板的焊接与检验等。

1.0.5 作为工程建设施工的共性要求，提出了焊接施工所应具备的基本条件，以便于实施本规程的条文规定，避免盲目施工。

2 术语、符号

2.1.5、2.1.6 参照《美国锅炉及压力容器规范 第Ⅸ卷 焊接评定》(以下简称 ASMEⅨ)QW401.1、401.2 和 401.4，引入了重要因素和非重要因素术语。因为焊接条件的变化因素很多，将其按规定分为重要因素和非重要因素，可在保证焊接质量从而满足焊件使用要求的基础上，减少焊接工艺评定和焊工考试的工作量，避免重复劳动。

3 材 料

3.2.1、3.3.1 在表 3.2.1 中列出了部分工业纯铝及防锈铝合金加工产品的主要化学成份和热轧状态下的力学性能，在表 3.3.1 中列出了所选用焊丝的化学成份，是为了方便在施工中使用。如根据 3.3.2 规定正确选用焊丝，确定在焊接工艺评定中接头的抗拉强度试验的标准等。在使用表 3.2.1 时，应注意母材所依据的标准及热处理状态。

表中未包括的部分若在施工中碰到，则应查阅相应的标准。

3.3.2 对焊丝选用的原则要求作出了明确规定。各种牌号母材，按此原则要求选用焊丝应该没有问题，故若再设表格详细列出各种牌号母材及异种母材之间焊接时选用焊丝的牌号，则显得没有必要，也无法列全。表 3.3.2 仅列出了施工中常用母材的焊丝选用表，以供使用时参考。表中 SAlMg4.5Mn、ER5183 焊丝是施工中最常用的国外焊丝，其合金元素镁、锰的含量基本与国产 SAlMg-3 焊丝相同。

含有约 5%Si 的 SAlSi-1 焊丝，其焊缝金属具有较高的抗热裂纹性能，主要用来焊补易产生热裂纹的 Al-Mg-Si 系可热处理强化合金、铸造合金和对接头强度要求不高而可焊性较差的合金。应特别注意的是，铝硅焊丝不能用来焊接铝镁合金，因焊缝中易析出 Mg_2Si 化合物而使接头的韧性降低和变脆。

在 JIS Z3604标准中，规定铝锰合金选用 Al≥99.0%的纯铝焊丝，因国内还缺少这样规定的依据及实践，故未予以规定。

在其它现行标准中，均规定可选用同材质板材切条作手工焊时的填加金属，但从焊接性、焊接裂纹敏感性、焊接接头强度、表面氧化膜清除质量及焊工操作使用等方面考虑，不易保证接头质量，故本规程不予采用。

3.3.3 氩弧焊所使用的氩气纯度对焊缝中气孔的产生有明显影响，故在焊接标准中对其质量均有要求，如：炼化建603-74标准规定氩气纯度应不低于99.9%，GBJ236-82标准规定不应低于99.96%。在 GB4842-84标准中所规定的氩气纯度为大于或等于99.99%，完全可以满足对各种材料的焊接要求。实际上，质量合格的氩气对焊缝中气孔的产生几乎没有直接影响，主要问题是在使用过程中要防止氩气输送管路或焊枪中发生漏气或堵塞现象。

3.3.4 铈钨极和钍钨极比纯钨极的工作温度低，因而与同直径的纯钨极相比，其容许使用的电流要大。为避免因使用的电流过大而造成钨极的烧损、焊缝夹钨及恶化焊缝成形，根据施工经验在表3.3.4中列出了钨极最大许用电流。

4 焊接施工

4.1.1 焊接施工管理是保证焊接质量的重要内容，但因本规程是焊接技术标准，故仅提出施工单位必须具备健全的焊接施工全面质量管理体系和制度这一原则规定。

孔。这样做既可根据焊道金属的外观和阴极雾化区的宽度，调节工艺参数和检查气体保护效果，又有利于除去焊枪或气体管路中的冷凝水。

4.3.2.4 在保证焊缝熔透和熔合良好的条件下，在焊接工艺规程允许范围内尽量采用大电流快焊速施焊，是铝及铝合金焊接的重要特点，是防止和减少焊缝产生气孔的措施之一。采用较大电流可迅速供给铝材局部熔化所需的大量热能，同时又能充分搅拌熔池以使气体或夹渣逸出；采用快速焊气孔减少的原因可能是因为结晶速度增大时，熔池中所熔解的氢来不及析出而形成气孔，或者即使形成了气孔，也由于其尺寸过小而被挤碎。

4.3.2.5 几种标准对预热和层间温度的规定：

(1) GBJ236-82：当环境温度低于5℃且板厚大于8mm，采用钨极氩弧焊时，焊前应进行100～200℃预热。

层间温度应尽可能低，以不高于150℃为宜。

(2) 炼化建603-74：手工钨极氩弧焊焊接壁厚大于或等于10mm 焊件时，预热应用微碳化焰加热至200℃左右。

(3) JIS Z3604-85：没有特殊要求时不进行预热。必须使层间温度尽量低。

(4) ANSI/AWS C3.7-83：温度变化可造成凝结，因此在清晨焊接前铝构件都要预热并烘干，预热最高温度推荐为66℃。

通常遵守的规则是层间温度不宜超过66℃，且可简单地用手触摸。如层间温度超过66℃，尤其在焊接位置不合适时，更容易出现坏的质量。

从以上规定可以看出，铝材焊接均要求较低的层间温度，即焊前应尽量避免进行预热。层间温度低不仅有利于焊道表面成形，也有利于防止产生气孔。为了既保证焊缝接头质量，又能提高生产效率，本条将层间温度要求控制在100℃之内。

所谓应进行焊前预热的特殊要求，一般是指：①当焊件较厚通

过适当加大焊接电流仍不能使焊接正常进行，即焊接过程中热量从接头处传导的速度快于焊接所能提供的热量时；②焊件表面存在冷凝水。

4.3.2.6 在铝板材焊接施工中，对立焊和横焊位置底层焊缝的焊接，已广泛采用手工钨极双面同步氩弧焊工艺。与单人焊接相比较，其优点是：①可较充分地利用电弧热量从而降低能耗；②熔池两面始终处于氩气保护下，周围空气不易侵入且两侧的电弧对熔池都存在着搅拌作用，有利于夹杂物、气体从熔池中分离出去，焊缝质量高；③焊后不用清根，生产效率高且焊件变形量小。因此推荐采用双面同步氩弧焊工艺，并在表 4.3.2.10-2 中给出了焊接工艺参数，以供选用时参考。

4.3.2.10 关于焊接工艺参数，一般焊接标准及有关资料中都有规定，但数值差距往往比较大，很难统一。实际上工艺参数可在比较宽的范围内选用，在此范围内不应出现什么特殊问题，但选用时也应根据焊工的施焊经验、焊接电流与焊速的配合灵活掌握，必要时还应通过适当的焊接试验，将工艺参数限制在较小的更适合施工条件的范围之内。

5 焊接工艺评定

焊接工艺评定是编制焊接工艺规程从而指导焊接施工的依据，是保证焊接接头质量和使用性能的重要措施。美国《ASME Ⅸ》标准内容齐全，科学合理，在国际上已得到公认，故本章内容主要参照此规范制订。

5.1.1、5.1.4 焊接技术人员应根据实际施工条件、铝材焊接的实践经验及本章规定的评定要求和检验项目等，在评定前拟订焊接工艺评定指导书。规定指导书内容的目的，是为了在拟订指导书时，尽量考虑到铝材的焊接工艺特点，对各种有关的焊接条件不

致遗漏。

本节没有给出指导书和评定报告的格式，是因钢制压力容器工艺评定指导书和评定报告的内容格式能满足铝材的评定要求，没有必要再重新设计一套表格。

5.2.2 本规程根据 ASME Ⅸ 中 QW-422 的 P 值分类，P21 为工业纯铝及铝锰合金、P22 为含镁量小于 4%的铝镁合金、P25 为含镁量大于或等于 4%的铝镁合金。日本 JIS Z3041-80、英国 BS4870(2)-82 标准中的母材分类也与此相同。

将铝锰合金与工业纯铝归于同一类是因为其强度仅比工业纯铝略高，焊接性、抗蚀性和加工性能等均与纯铝相似。

5.2.3 工艺评定的目的，主要是为了考核在拟定的焊接工艺条件下材料接头的力学性能，而不是考核焊工的操作技能，故焊接位置可以互相替代的规定是科学合理的。

对角焊缝力学性能的考核目前各种标准的规定均没有比较合理的办法，一般都是以对接接头试样的力学性能来代替。在本规程适用范围内，铝材焊接结构仅有角接接头而没有对接接头的情况几乎不存在，既然对接接头的工艺适用于角焊缝，所以我们认为再规定角焊缝的工艺评定要求没有必要。

5.2.4 根据 ASME Ⅸ QW-451.1、403.9、451.4 规定了试件厚度的适用范围。

表 5.2.4 中还规定了熔敷焊缝金属评定厚度 t 的范围，其作用是：

(1)用于不同焊接方法的组合焊缝(见 5.2.1)；

(2)用于非全焊透焊及返修焊和补焊。

5.2.6 根据 ASME Ⅸ QW-255、256 及铝材焊接工艺的特点，将需重新评定焊接工艺的重要因素的改变归纳为 5 项。

除重要因素之外，ASME Ⅸ QW-401.3 还规定了“补加重要因素”，其定义为：工艺评定中的补加重要因素是指影响焊缝缺口

韧性的焊接条件的某一变化。当补加重要因素的改变超过规定范围时，仍需重新进行评定。如改变焊丝型号、从任一焊接位置改变为立向上焊位置、立向上焊时从多道焊改变为单道焊、预热及层间温度比评定时提高 38℃以上、电流种类或极性的改变以及焊接线能量的增加等。

铝及铝合金的焊接，由于焊接线能量的增加或减小对焊接接头缺口韧性的影响很小，而且在低温下，母材和焊接接头的抗拉强度、屈服强度和延伸率均随温度的降低而有所提高，低温韧性也极优良，故在本规程中未考虑补加重要因素，相应地在本条中也没有将其作为需重新进行评定的条件。

在 ASME Ⅸ 及 JIS Z3041 中，均将焊丝分为纯铝、铝铜合金、铝镁合金和铝硅合金四类：显然同类焊丝之间互相代替(如将纯度较低的纯铝焊丝用作纯度较高的纯铝母材的填充材料，或含镁量较低的焊丝用作含镁量较高的母材的填充材料等)是不合理的，所以本章未将焊丝进行分类，在 3.3.2 中规定了选用焊丝的原则要求。本条 5.2.6.3 系指凡符合 3.3.2 焊丝选用原则时，焊丝牌号的改变不需重新评定，反之不符合此原则要求改变焊丝牌号时，则需对焊接工艺重新评定。

5.3.3.3 规定射线探伤的合格级别，其目的是为了验证在正常条件下，采用此种焊接工艺施焊，能否保证焊缝进行射线探伤检查所应达到的较高质量要求。

5.3.3.4、5.3.3.5 根据 ASME Ⅸ QW-153，规定了抗拉强度的验收标准。因我国某些材料标准中未规定母材抗拉强度的下限值，故作出 5.3.3.4(3)的规定。

弯曲试验时，根据母材类别的不同选用不同规格的弯轴直径，将试样均弯曲至 180°后对伸长面进行检查，我们认为比较方便、合理。以下几种标准均规定弯曲 180°，采用的弯轴直径见下表(试样厚度为 a)：

类别	母 材 种 类	ASME Ⅸ	JIS Z3041	BS4870(2)
Ⅰ	工业纯铝、铝锰合金	4a	4a	3a
Ⅱ	铝镁合金(Mg<4%)	4a	4a	4a
Ⅲ	铝镁合金(Mg≥4%)	$6\frac{2}{3}$a	$6\frac{2}{3}$a	6a

弯曲试验的验收标准引用 ASME Ⅸ QW-163、JIS Z3041-80 中的 3.3.2 条。

6 焊工考试

焊工考试主要是考核焊工是否具备铝材焊接的基本理论知识和满足工程焊接质量要求的操作技能。根据不同焊接条件下的操作难度，衡量焊工操作技能水平高低的因素，我们认为主要有以下几点：

① 焊接方法；
② 母材类别、厚度及管径；
③ 管材或板材；
④ 焊接位置及立焊位置时的上向焊或下向焊；
⑤ 单面焊或双面焊；
⑥ 带或不带垫板；
⑦ 对接接头或角接接头。

6.1 基本参照《锅炉压力容器焊工考试规则》的有关条款。

6.1.1 对已取得锅炉、压力容器制造或现场组焊资格的企业，其焊工考试委员会均已经当地劳动部门锅炉压力容器安全监察机构批准，考虑到专门从事管道安装或非受压容器焊接的企业，其考委会需具备什么样的条件和由哪个部门批准还没有明确规定，也不属本规程范围，故只好笼统提出焊工考试应由企业焊工考

试委员会负责组织和实施。

6.2 基本参照 ASME Ⅸ中第Ⅲ章中的有关内容编写。

6.2.2 考虑到类别较高的母材焊缝中所产生缺陷的机率比类别较低的母材要大，参考《锅炉压力容器焊工考试规则》第十三条，作出母材类别的替代规定，以减少不必要的重复考试。

7 焊接检验

7.1 从全面质量管理要求考虑，为保证焊接质量，规定了焊接检查和检验人员应具有一定的资格，并应加强焊前、焊接过程中的检查。

7.2.2 焊缝外观检查应达到的质量要求，一般是从使用要求和在正常条件下可以达到的程度考虑提出的。

据有关资料介绍，焊缝存在或去除余高，对铝材接头的疲劳强度几乎没有影响，所以对余高进行严格限制的必要性不大。焊缝余高规定主要参照 JIS Z3604-85 中 5.8 条，其具体规定见下表：

母材厚度 S (mm)	焊缝余高 (mm)
S≤6	≤2
6<S≤15	≤1/3S
15<S≤25	≤5
S>25	≤7

焊缝咬边深度引用 JB1580-75 中 25 条。

7.3 铝及铝合金与钢材相比较，其焊接性能与缺陷产生的机率以及使用条件差异较大，因而直接借用钢制对接接头的射线探伤标准来评定铝材接头的质量是不合理的。因本规程不是专门的铝材射线探伤标准，故仅对底片质量、焊缝质量等级评定及验收条

件做了规定，而射线照相方法等其它要求，则应参照有关标准的规定进行。

对底片的质量要求、缺陷点数的计算、焊缝质量等级分类及评定等规定基本引用 JIS Z3105-84 标准的有关内容，经实际使用证明，此标准规定比较合理，反映良好。

7.3.5 氧化物夹渣、未熔合和未焊透等条状缺陷，应力集中较大，对强度的影响也较大。因未熔合的危害性相对比夹渣和未焊透更大，国内均将其与裂纹缺陷同等对待。参照 JB1580-75、炼化建 603-74 和 GBJ236-82 标准规定，将 JIS Z3105-84 标准中的允许未熔合改为不允许，从实际上应该达到的质量要求考虑，也不允许双面焊和加垫板的单面焊中存在未焊透缺陷。

气体保护焊由于烧损等原因而产生的夹铜，会使该部分焊缝金属脆化，通常易产生裂纹，因而不允许在焊缝中出现。

7.3.6 本条主要参照 JB 1580-75 标准 26 条，根据设计压力大小规定了对接焊缝射线探伤检查比例和应达到的质量等级。焊件的使用条件除设计压力之外，主要还应考虑介质对人体或环境的危害程度、是以静态还是循环载荷为主、焊缝是否能够检修及一旦损坏对生产的影响程度等。

7.3.7 铝材焊接时尽管对工艺要求比较严格，但焊缝中出现气孔的机率比钢材焊接时要大得多，绝大多数返修都是由气孔缺陷超标而造成的，若按钢焊缝返修后的扩探规定，则很容易使需局部探伤的焊缝均变为 100%。

射线探伤的合格比例与计算方法出入很大，实际上一张不合格底片中需返修的缺陷长度一般都很短，仅是个别之处，若按缺陷长度之和与焊缝总长度之比计算，本条规定的实际合格率一般可达 95%以上才不需扩探。

7.4.2 直接引用《压力容器安全技术监察规程》第 69 条 1 款。

附：主要参考资料：

1. GBJ236-82《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》

2. 炼化建 603-74《铝及铝合金焊接施工及验收技术规程》(试行)

3. JB1580-75《铝制焊接容器技术条件》

4.《美国锅炉及压力容器规范》第Ⅸ卷　焊接评定(89 年版)

5. JIS Z3604-85《铝及铝合金惰性气体保护焊作业标准》

6. JIS Z3041-80《铝及铝合金焊接工艺试验方法及评定标准》

7. JIS Z3105-84《铝焊缝射线探伤方法及底片等级分类方法》

8. BS4870(2)-82《焊接工艺规程认可检验标准》(铝及其合金的 TIG 或 MIG 焊)

9.《压力容器安全技术监察规程》

10.《锅炉压力容器焊工考试规则》

11. 杭州制氧机厂厂标：HTA5411-90《铝制空分设备管道安装焊接技术条件》

12. JB/Z167-81《铝制空分设备氩弧焊工艺规程》