第八篇　　焊　　接

第1章　　一般规定

第1节　　通　　则

1.1.1　适用范围

1.1.1.1　本篇适用于本规范规定的船体结构、锅炉、受压容器、重要机械构件和管系的焊接以及焊接材料的认可。

1.1.1.2　本篇的规定适用于手工电弧焊、埋弧焊、气体保护焊和电渣焊的焊接方法。若选用其他方法应经船舶检验机构承认的机构同意。

1.1.2　焊接材料、设备和操作环境

1.1.2.1　焊接材料（包括焊条、焊丝、焊剂和保护气体）应符合本篇第3章的有关规定，并应经船舶检验机构承认的机构认可。

1.1.2.2　焊接材料的贮存、运输、焊接前的处理（包括焊条和焊剂烘干、焊丝除锈、气体干燥）和使用应符合焊接材料制造厂使用说明书的要求。

1.1.2.3　焊接用的装置和设备应适合拟定的用途，并应始终保持良好的工作状态，同时应对其妥善地加以布置，以保证良好的焊接操作条件。

1.1.3　焊接工艺

1.1.3.1　焊接工艺规程应按本篇第2章的规定提交船舶检验机构审核，经同意后方可采用。

第2节　　试　　验

1.2.1　一般要求

1.2.1.1　除本节另有规定外，焊缝力学性能的试验方法应符合第七篇第2章的有关规定。

1.2.2　取样

1.2.2.1　试验用试件的尺寸和试样的截取位置应符合本篇各章的有关规定。

1.2.2.2　截取试样时应留有适当的加工余量，以便去除影响试验结果的该部分金属。

1.2.2.3　若试样存在与焊接无关的缺陷时，允许将该试样报废，另取试样进行试验。

1.2.3　试样的形状和尺寸

1.2.3.1　熔敷金属拉伸试样（焊缝纵向拉伸试样）的形状和尺寸应按图1.2.3.1所示。试验前可将试样加热至不超过250℃，加热时间不超过16h，以作脱氢处理。

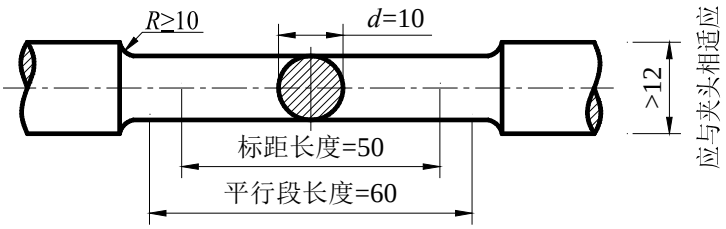
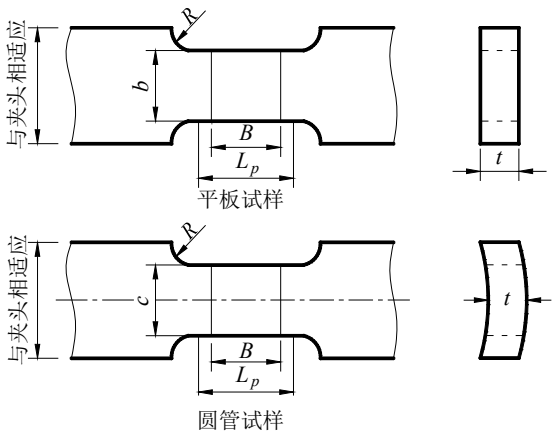


图1.2.3.1　熔敷金属拉伸试样

1.2.3.2　对接接头拉伸试样（焊缝横向拉伸试样）的形状和尺寸，按图1.2.3.2-1所示。焊缝上下表面应锉平、磨光或机加工至与母材表面齐平。

当试样的破断力超过加载设备的能力时，可按图1.2.3.2-2所示分成几个试样进行横向拉伸试验。每个试样的厚度不小于25mm。以各试样试验结果的算术平均值作为整个接头的试验结果。



B—焊缝宽度，mm；*t*—试样厚度，mm；*b*—板试样平行段宽度，取25mm；*c*—管试样平行段宽度，对直径等于或大于76mm的管子取20mm；对直径小于76mm的管子，则取12mm或取整管进行拉伸；L_p—试样平行段长度，取3*t*或*B*+60mm（取大者）；*R*—过渡圆弧半径，大于25mm。

图1.2.3.2-1　对接接头拉伸试样

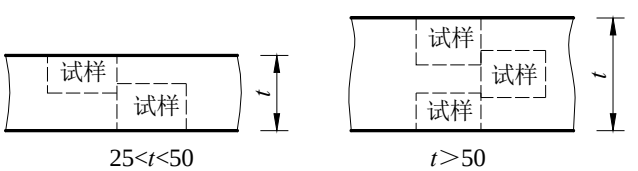
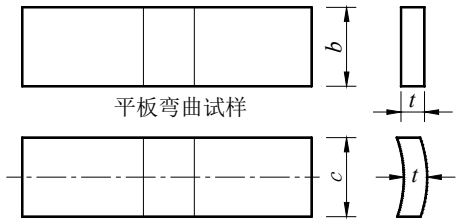


图1.2.3.2-2　横向拉伸试样(破断力超过加载设备的能力时)

1.2.3.3　对接焊缝正反弯曲试样的形状和尺寸应按图1.2.3.3所示。焊缝的上下表面应锉平、磨光或机加工至与母材表面齐平。试样的受拉表面允许两边缘倒角1mm～2mm。管试样可将受压表面机加工成为一个平面。



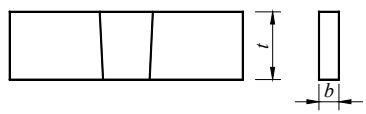
t —试板厚度，应为母材厚度，若厚度超过25mm，可将试样的受压面一侧减薄至25mm；对于铝合金应取母材的全厚度；

b—板试样宽度，取为30mm；

c—管试样宽度，取t+0.1d，但不小于10mm，也不大于30mm；其中d为管试件的外径，mm。

图1.2.3.3　对接焊缝正反弯曲试样

1.2.3.4　对接焊缝侧弯试样的形状和尺寸应按图1.2.3.4所示。试样焊缝的上下表面应机加工至与母材表面平齐。试样的受拉表面允许两边缘倒角1mm～2mm。



t—试板厚度，mm，当t大于40mm时，可分为数个20mm到40mm的试样分别进行试验；

b—试样厚度，取为10mm。

图1.2.3.4　对接焊缝侧弯试样

1.2.3.5　焊缝冲击试样的形状和尺寸应按本规范第七篇对夏比V型缺口冲击试样的规定进行加工，V型缺口的位置应符合本篇各章中的有关规定。除另有规定外，试样的缺口应位于垂直于试板表面，且垂直于焊缝轴线。

1.2.3.6　断面宏观检查试样是在焊缝接头处将试件垂直于焊缝截断，长度至少包含热影响区以外10mm的母材区域，再将接头处的断面磨平、抛光、经酸洗后进行检查。

1.2.3.7　硬度试验的试样按本篇1.2.3.6的方法截取，并将接头处断面磨平、抛光、进行硬度测定。

1.2.4　试验方法

1.2.4.1　拉伸试验和冲击试验应按本规范第七篇第2章第2节与第4节的有关规定进行。

1.2.4.2　弯曲试验是在常温条件下，把一个规定直径的压头对准焊缝中心线，将试样压弯。正、反或侧弯试验是将焊缝的正、反或侧面分别置于受拉位置进行试验。除另有规定外，焊缝弯曲试验压头的直径和试样弯曲角度规定如下：

.1　结构钢焊缝弯曲试验应符合表1.2.4.2的规定。

结构钢焊缝弯曲试验要求　　**表1.2.4.2**

试验类别	试验材料强度，MPa	压头直径d	弯曲角度α
焊接材料认可试验	R_{eH} ≤400	3t	120°
	400< R_{eH} ≤500	4t	
	500< R_{eH} ≤690	5t	
焊接工艺认可试验	R_{eH} ≤400	4t	180°
	400< R_{eH} ≤500	5t	
	500< R_{eH} ≤690	6t	

注：表中t为试样的厚度。
锅炉与受压容器的焊接工艺认可试验时，试验压头直径应符合本篇5.2.3.3的规定

.2　铝合金焊缝弯曲试验推荐使用卷缠弯曲试验方法，并应符合下列要求：

.2.1　焊接材料认可试验应符合本篇表3.9.3.7要求。

.2.2　焊接工艺认可试验弯曲角度为180°，压头直径应不大于按以下公式确定的值：

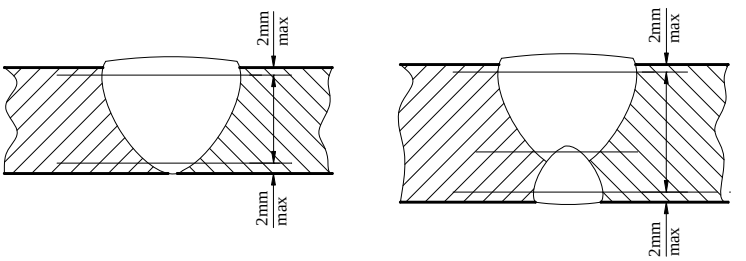
$$d = \frac{(100 \times t_s)}{A} - t_s \qquad (1.2.4.2)$$

式中：d —— 最大压头直径，mm；

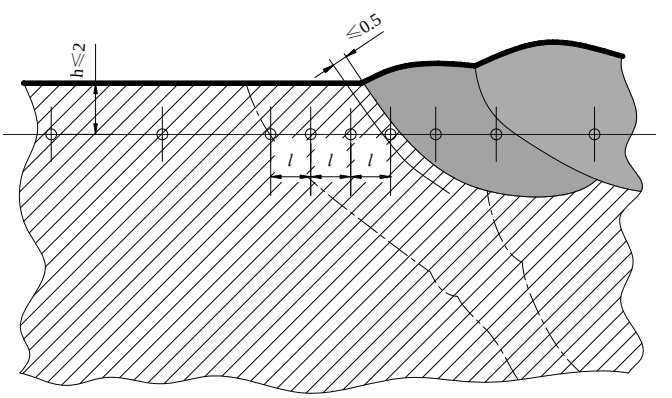
t_s —— 弯曲试样厚度（包括侧弯试样），mm；

A—— 试样材料的合金级别、交货状态、厚度所要求的规定最低伸长率（对不同合金组成的焊缝取较小值），%。

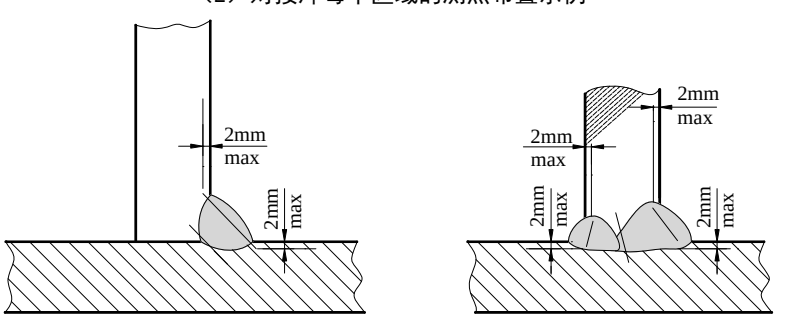
1.2.4.3　硬度测试用维氏硬度计，通常施加98N力，沿图1.2.4.3所示的测试线测量。在焊缝、熔合线、热影响区和母材中得每个区域至少测3个点，测点的间距应使两测点间互不干扰。



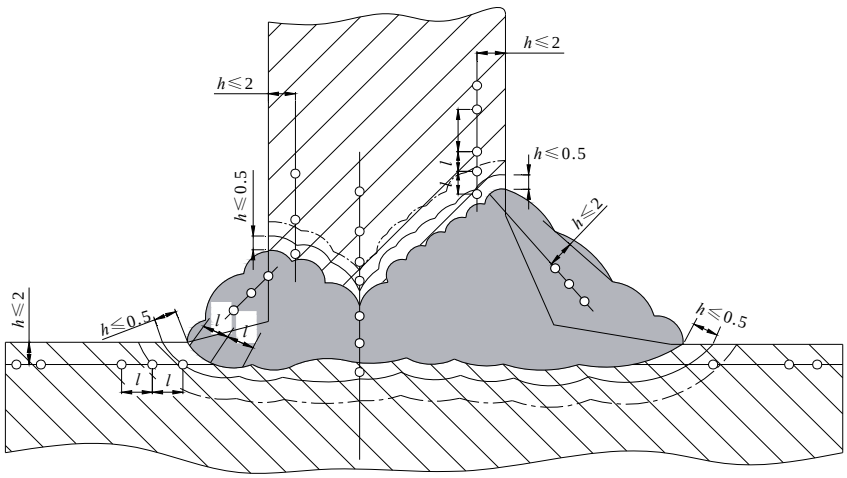
（1）对接焊缝的硬度测试线



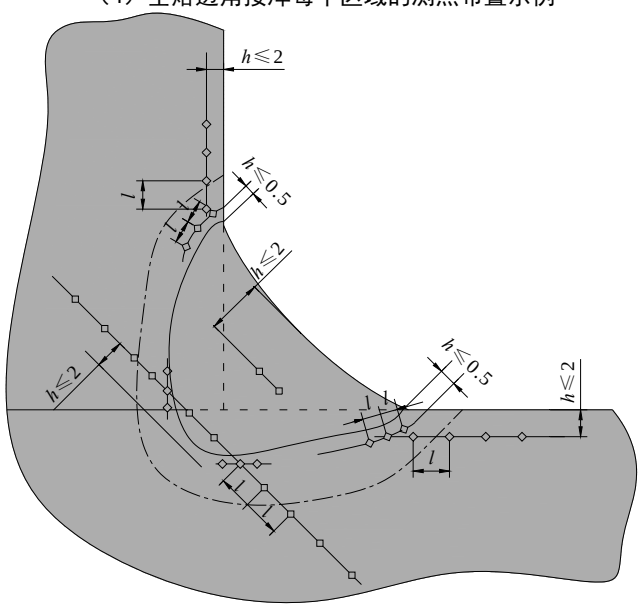
（2）对接焊每个区域的测点布置示例



（3）角焊缝硬度测试点



（4）全熔透角接焊每个区域的测点布置示例



（5）填角接焊每个区域的测点布置示例

图1.2.4.3　焊缝硬度测试

1.2.4.4　角焊缝破断试验按图1.2.4.4所示，在腹板上加力，使焊缝根部受力、开裂。当难以折断时，允许在焊缝表面开槽。开槽深度不大于焊喉厚度的20%。

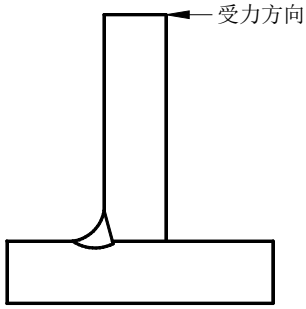


图1.2.4.4　角焊缝破断试验

1.2.5　验收与复试

1.2.5.1　各项试验结果均应符合本篇各章的有关规定。冲击试验是以1组3个试验值的算术平均值（允许试样中有一个试验值可以小于规定的平均值，但不得小于规定平均值的70%）进行验收。

1.2.5.2　除冲击试验外，当任一试样的试验结果不合格时，允许在原件上或取同一批试验材料以同样工艺重新焊制的试件上，对不合格项目取双倍试样进行复试，复试结果必须全部合格。

1.2.5.3　当1组3个冲击试样的试验结果不符合要求时，若低于规定平均值的试样不超过2个，且其中低于规定平均值70%的试样不超过1个，则允许再取1组3个冲击试样进行复试。前后共6个试样的算术平均值应符合规定平均值的要求，且低于规定平均值的试样不应超过2个，其中低于规定平均值70%的试样应不超过1个，则复试结果合格。

1.2.5.4　硬度试验中如有一个测点超过规定值，可将此试样表面完全加工掉或将该试样背面去除后再进行硬度试验。

1.2.5.5　若上述复试结果仍不合格，应重新焊制试件，再进行一次全部规定项目的试验。

1.2.5.6　所有试验结果应全部记录在试验报告内。

第2章　　焊接工艺认可试验

第1节　　通　　则

2.1.1　适用范围

2.1.1.1　本章适用于船厂和船用产品制造厂进行焊接生产前的焊接工艺认可。

2.1.2　认可

2.1.2.1　工厂在产品建造前，应结合本厂的技术条件和生产经验，制定船体建造焊接工艺计划表交船舶检验机构审查。表中应针对建造中焊缝出现在重要结构与结点的不同位置、形式和尺寸，列出拟使用的焊接工艺规程的名称和编号。未经批准的工艺，应制定详细的工艺规程提交船舶检验机构承认的机构认可。经工艺认可试验，合格后方可使用。

2.1.2.2　工厂应于焊接工艺认可试验前，提交包括下列资料在内的焊接工艺规程:

.1　母材的钢种、钢级、厚度和交货状态；

.2　焊接材料（焊条、焊丝、焊剂和保护气体）的型号、等级和规格；

.3　焊接设备的型号和主要性能参数；

.4　坡口设计和加工要求；

.5　焊道布置和焊接顺序；

.6　焊接位置（平、立、横、仰焊等）；

.7　焊接规范参数（焊接电流、电弧电压、焊接速度和保护气体流量）；

.8　焊前预热和道间温度、焊后热处理及焊后消除应力的措施等；

.9　其它有关的特殊要求。

2.1.2.3　若工厂的焊接工艺已经船舶检验机构认可，则以后按批准的工艺施工时，可免做焊接工艺认可试验。当工厂对已认可的焊接工艺规程作了重大修改时，应将改动的细节向船舶检验机构报告。船舶检验机构根据改动的具体内容，决定是否重做焊接工艺认可试验。

2.1.2.4　当采用新工艺、新材料时，应进行工艺认可试验，以证实该焊接工艺的适用性。

2.1.3　焊接工艺的认可范围

2.1.3.1　本节下列各项条件相互独立，任一项目的变化范围超过适用范围时，一般均应重新进行焊接工艺认可试验。

2.1.3.2　焊接方法的认可范围通常仅限于认可试验所用的方法。认可的多道焊工艺不能应用于单道焊，并且在铝合金焊接中认可的单道焊工艺也不能应用于多道焊。对于组合焊的工艺规程仅适用于相同顺序的组合焊工艺。

2.1.3.3　焊接工艺规程对钢材的适用范围规定如下：

.1　对每一强度级别的钢材，适用于与试验母材韧性等级相同或较低的钢材。

.2　对每一韧性等级的钢材，规定屈服强度小于或等于390MPa的钢，适用于与试验母材强度级别相同或低两个等级的钢材；对高强度淬火回火钢，适用于与试验母材强度级别相同或低一个级别的钢材。

.3　当采用热输入大于50kJ/cm的焊接方法时，焊接工艺仅可覆盖与试验母材韧性等级相同，强度低一个级别的钢材。

.4 对锻钢与铸钢(碳钢和碳锰钢)，适用的强度等级范围为等于或低于试验母材的强度。

.5 对交货状态与认可试验母材不同的钢材，船舶检验机构将根据情况提出试验要求。但对于淬火加回火状态和以形变-温度控制轧制(TMCP)状态的钢材互相不能覆盖。

2.1.3.4 焊接工艺规程对铝合金材料的适用范围应符合下列要求：

.1 铝合金焊接工艺认可按母材化学成分分组如下：

A组: Mg＜4%的铝-镁系铝合金（5754、5454）

B组: 4%≤Mg≤7.0% 的铝-镁系铝合金（5059、5083、5086、5383、5456、5A01）

C组: 铝-硅-镁系铝合金（6005A, 6061, 6082）

.2 认可用于某一铝合金的焊接工艺也可用于同组材料中强度相等或较低的铝合金。认可用于B组的铝合金焊接工艺可用于A组铝合金的焊接。

2.1.3.5 焊接工艺对厚度的适用范围应符合下列规定：

.1 钢材厚度适用范围分别应符合表2.1.3.5.1的规定。

钢材厚度的适用范围 **表2.1.3.5.1**

试件厚度[注1] t,mm	认可范围	
	单面单道焊或双面单道焊的对接接头和T型接头	多道焊的对接接头和T型接头以及填角接焊[注2]
t≤3	(0.7~1.1) t	(1~2) t
3＜t≤12	(0.7~1.1) t	3mm ~2t
12＜t≤100	(0.7~1.1) t[注3]	(0.5 ~2) t（最大150mm）

注1：对组合焊工艺，记录的每种方法所涉及厚度可作为确定各独立焊接方法厚度认可范围的基础。
注2：对填角焊缝，认可范围适用于两个母材金属的厚度。
注3：对热输入超过50kJ/cm的焊接方法，认可的厚度上限是1.0×t。

.2 铝合金厚度适用范围分别应符合表2.1.3.5.2的规定。

铝合金厚度的适用范围 **表2.1.3.5.2**

试件厚度[注1注2] t,mm	认可范围[注3]
t≤3	(0.5~2)t
3＜t≤20	3 mm~2t
t＞20	≥0.8t

注1：对组合焊工艺，记录的每种方法所涉及厚度可作为确定各独立焊接方法厚度认可范围的基础。
注2：对填角焊缝，t为较厚板的厚度。
注3：对自动单道焊工艺，认可的最大熔深为试验时所达到的最大熔深。

.3 除.1外，填角焊缝的焊喉厚度适用范围应符合如下规定：

钢材：单道焊时，为试验焊缝焊喉厚度的0.75倍~1.5倍；多道焊时，为试验焊缝焊喉厚度的0.5倍～2倍。

铝合金：一般为试验焊缝焊喉厚度的0.75倍~1.5倍，但当试验焊缝的焊喉厚度大于或等于10mm时，适用于焊喉厚度不小于7.5mm的焊缝。

.4 对于下行立焊，试板的厚度即为认可厚度的上限。

.5　对于不等厚板材对接焊，表2.1.3.5.1和表2.1.3.5.2中适用厚度范围按较薄板计算。

.6　若在认可试验中测得的热影响区内硬度值中有三个值在最大允许值以下25HV内时，该工艺适用的最大厚度仅限于试验板厚。

2.1.3.6　焊接工艺对管材外径的适用范围应符合表2.1.3.6的规定。

焊接工艺对管材外径的适用范围　　**表**2.1.3.6

试件管子外径 *D*,mm	适用范围 *d*（mm）
D＜168	0.5*D*≤*d*≤2*D*
D≥168	*d*≥0.5*D*（包括板）

2.1.3.7　焊接材料和辅助材料的适用范围如下：

.1　钢材：除热输入超过50 kJ/cm的工艺外，焊接材料的适用范围为与试验所用焊接材料相同等级（包括后缀）者。

.2　铝合金：焊接材料的适用范围为与试验所用焊接材料具有相同强度或较高强度者。

.3　保护气体成分或混合气体的混合比变化不超过本篇表3.5.1.3或表3.9.2.4分组范围。

2.1.3.8　焊接位置的适用范围一般仅限于认可试验的焊接位置。但当考核最高热输入焊接位置和最低热输入焊接位置合格后，允许该工艺适用于其他焊接位置。管子外径不小于168mm的管对接适用于相应焊接位置的板对接。

2.1.3.9　热输入量的适用范围为焊接工艺认可试验时使用的值的±25％，但上限最高不超过55kJ/cm。对热输入超过50 kJ/cm的焊接方法，其使用上限为不超过焊接工艺认可试验时使用值的10％。

2.1.3.10　若电流种类（直流、交流、脉冲）和极性（正极性、反极性）变化通常应重新进行焊接工艺认可。

2.1.3.11　生产焊接时，预热温度应不低于认可试验时所使用的预热温度；道间温度应不高于认可试验所使用的道间温度。

2.1.3.12　如认可试验时需要进行焊后热处理或时效处理，则生产中也应进行相应的焊后热处理或时效处理。对6000系列铝合金试验时可用人工时效来代替自然时效。

2.1.3.13　接头型式的认可范围应按表2.1.3.13的规定。通常对接焊合格的焊接工艺也适用于相应厚度的角接焊，但对铝合金及屈服强度大于或等于355MPa的钢材应按结构要求进行角接焊试验。

焊接接头型式的适用范围　　**表**2.1.3.13

试件焊接接头型式				适用范围	
焊接方法		名称	代号	钢材	铝合金
对接焊	双面焊	清根	*C*	*C*	*C*
		不清根	*D*	*D*，*C*	*D*，*C*，*A*
	双面焊	带衬垫	*A*	*A*，*C*，*D*	*A*，*C*
		不带衬垫	*B*	*B*，*A*，*C*，*D*	*B*，*A*，*C*，*D*

2.1.3.14　合格的带车间底漆的焊接工艺可以用于不带底漆的焊接，但反之则不允许。

2.1.3.15　有关其它变量的认可范围可按照船舶检验机构承认的机构的要求执行。

第2节　对接焊工艺认可试验

2.2.1　一般要求

2.2.1.1　本节适用于平板对接焊和圆管对接焊的焊接工艺认可试验。

2.2.1.2　对接焊工艺认可试验应按不同的焊接方法和不同的焊接位置分别进行试验。

2.2.2 **试件**

2.2.2.1 试件所选用的钢材和焊接材料应与实际施工所采用的钢材和焊接材料同等级别。

2.2.2.2 试板的取向应使焊缝平行于试板的轧制方向。平板对接焊试板的尺寸如下:

手工焊和半自动焊: $L \geqslant 500\text{mm}$，$b=150\text{mm}$；

自动焊: $L \geqslant 650\text{mm}$，$b=200\text{mm}$。

其中，L 为试板长度，b 为试板宽度。

圆管对接焊试管的长度 L 应不小于150mm。当圆管直径大于600mm时，可用平板代替圆管作相应位置的对接焊。

上述试板尺寸可根据实际采用的方法作适当调整。

2.2.2.3 焊缝坡口型式、装配与焊接及热处理工艺等均应与工艺规程的要求相同。试件的焊接位置应与实际施焊位置相同。

2.2.3 **试验项目**

2.2.3.1 试件焊毕后，应进行外观检查和无损检测。焊缝表面应成形均匀，平滑地向母材过渡，无咬边、裂纹、焊瘤等有害缺陷。焊缝内部应无不允许存在的缺陷。

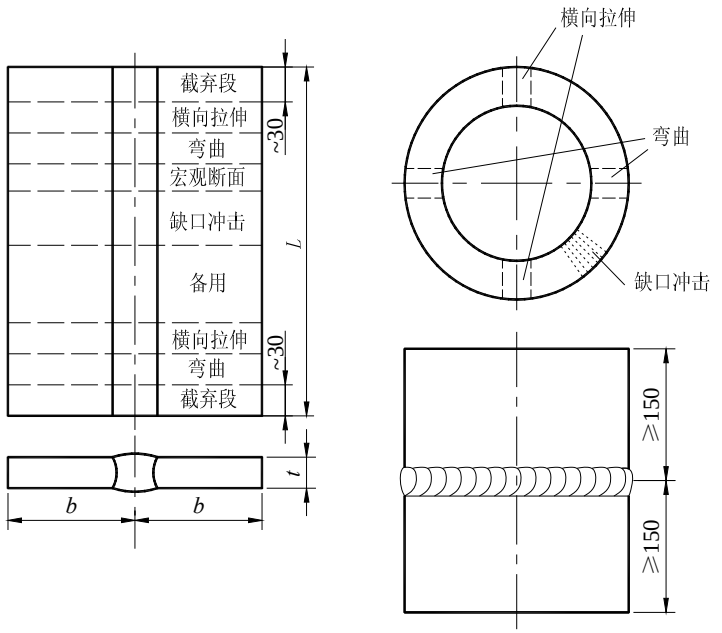
2.2.3.2 除另有规定外，一般应按图2.2.3.2（1）所示从试件上切取如下试样:

.1 焊缝横向拉伸试样2个；

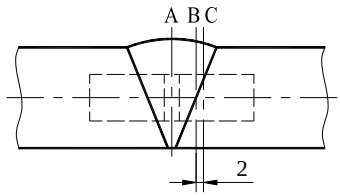
.2 焊缝弯曲试样2个。若试件厚度不小于20mm时，改取侧弯试样2个；

.3 当试件厚度大于6mm时，应制取冲击试样三组（每组3个）。一般试样应取自试件厚度中心，按图2.2.3.2（2）所示，试样的缺口位置分别位于焊缝中心、熔合线和距熔合线2mm的热影响区处。当采用单面焊双面成型工艺时，还应在尽可能靠近试件背面的表面处取2组冲击试样，其缺口位置分别位于焊缝中心和熔合线处；

.4 硬度测定试样与焊缝断面宏观检查试样各一个（可利用截弃段制备试样）。母材为一般强度钢时，对厚度不大于20mm的试件，可免做硬度试验。



（1）



（2）

图2.2.3.2　焊缝试样

2.2.3.3　如船舶检验机构认为有必要，可要求进行下列检验和试验:

.1　熔敷金属的化学成分；

.2　试件母材的化学成分；

.3　放大倍数为100倍和300倍的焊接接头金相照片；

.4　焊缝熔敷金属纵向拉伸试验。

2.2.4　试验结果要求

2.2.4.1　接头的抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度或设计时所考虑的最小值。

2.2.4.2　焊缝熔敷金属的屈服点应不低于母材规定的最小屈服点或设计时所考虑的最小屈服点。其抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度。其伸长率应不低于母材规定的最小伸长率的80%。两种不同等级的钢材焊接，取其较低的为准。

2.2.4.3　弯曲试验后，试样的受拉表面应不出现长度超过3mm的裂纹或其他缺陷。

2.2.4.4　夏比V型缺口冲击试验的试验温度应符合表2.2.4.4-1的规定，其试验结果应符合表2.2.4.4-2的规定。

冲击试验的温度要求　　表2.2.4.4-1

试验材料等级	A、A32 A36、A40	B、D、D32、 D36、D40	E、E32、E36、E40、D42、D46、 D50、D55、D62、D69	F、F32、F36、F40、E42、 E46、E50、E55、E62、E69	F42、F46、F50 F55、F62、F69
冲击试验温度，℃	20	0	-20	-40	-60

冲击试验的韧性要求[注1]　　表2.2.4.4-2

试验材料等级	A、B[注2]、D、E、F	A32、D32、E32、F32	A36、D36、E36、F36	A40、D40、E40、F40	D42、E42、F42	D46、E46、F46	D50、E50、F50	D55、E55、F55	D62、E62、F62	D69、E69、F69
平均冲击功，J	47[注3]			47[注4]	47	47	50	55	62	69

注1：板厚大于50mm的试验要求应由船舶检验机构同意。

注2：级和B级钢在熔合线和热影响区的平均吸收功最小值为27J。

注3：手工或半自动焊焊接接头立焊和埋弧焊时平均冲击功可为34J；手工或半自动焊焊接接头平焊、横焊和仰焊时平均冲击功为47J。

注4：手工或半自动焊焊接接头立焊和埋弧焊时平均冲击功可为39J；手工或半自动焊焊接接头平焊、横焊和仰焊时平均冲击功为47J。

注5：除表列船体结构用钢外，常用钢材焊接接头的冲击试验温度和冲击功均应符合母材规定。

2.2.4.5　焊缝断面宏观检查应显示焊缝完全焊透、无裂纹。若焊缝出现夹渣或气孔时，应将这类缺陷的数量、大小、位置及密集程度报船舶检验机构审核。

2.2.4.6　硬度测定结果，一般应不超过HV350。若超过HV350，应将结果报送船舶检验机构审核。

第3节　　角接焊工艺认可试验

2.3.1　一般要求

2.3.1.1　本节适用于平板、管子或管板角接焊缝的焊接工艺认可试验。

2.3.1.2　角接焊工艺认可试验应按不同的焊接方法和不同的焊接位置分别进行。

2.3.2　试件

2.3.2.1　试件所选用的钢材和焊接材料应与实际施工的钢材、焊接材料同等级别。

2.3.2.2　平板试件的翼板宽度为150mm，腹板高度为75mm。试件的长度，对手工焊不小于300mm；对半自动和自动焊不小于500mm，其厚度为15mm～20mm。

管板试件的平板边长至少应比试管外径大50mm。

管板试件的管段长度应大于150mm。

2.3.2.3　焊缝坡口型式、装配与焊接等要求均应与工艺规程的规定相同。

2.3.2.4　试件焊缝的焊脚尺寸应根据焊接工艺和下列要求确定:

.1　单道焊:以结构中选用的最大焊脚尺寸作为试验焊缝的单道熔敷焊的焊脚尺寸；

.2　多道焊:以结构中选用的最小焊脚尺寸作为每道熔敷焊道的焊脚尺寸，以完成多道焊的焊缝试验。

2.3.3　试验项目

2.3.3.1　试件焊毕后应进行外观检查。焊缝表面应成型均匀、无裂纹、无明显的焊瘤和咬边等缺陷。

2.3.3.2　平板角接焊应按图2.3.3.2所示截取试样。在试件的两端截弃长度约为30mm的截弃段，然后从试件长度中心截取一段长度约25mm的试样作为焊缝断面宏观检查和硬度测试试样，剩余两段为角焊缝破断试样。

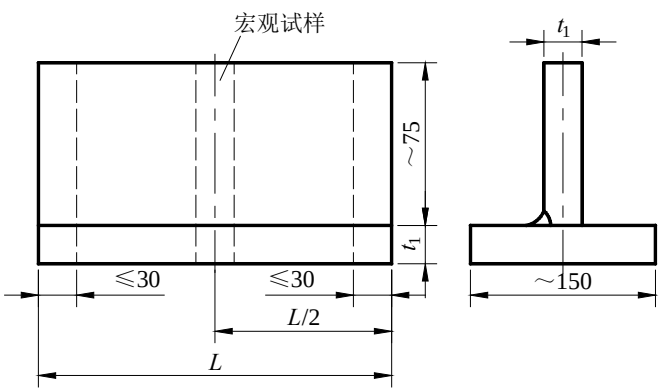
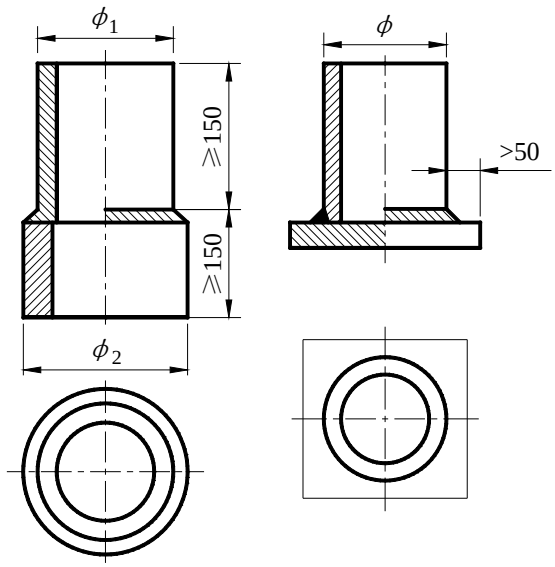


图2.3.3.2　平板角接焊试样

2.3.3.3　除另有规定外，管子角接和管板角接的试样一般应按图2.3.3.3（1）或（2）所示四等分截取，对每个焊缝断面作宏观检查。



(1)圆管角接试件　　(2)管板角接试件

图 2.3.3.3　管子角接和管板角接的试样

2.3.4　试验结果要求

2.3.4.1　试样焊缝断面宏观检查应显示出焊缝成型良好、完全熔合。同时，在此试样上测定腹板上的焊缝熔深，并记入报告中。

2.3.4.2　破断试样的断面应显示出焊缝无裂纹、无未熔合。若焊缝中出现夹渣或气孔，应将这类缺陷的数量、大小、位置和密集程度记入报告，送交船舶检验机构审核。

2.3.4.3　硬度测定的结果一般应不超过HV350。若超过HV350，应将结果报送船舶检验机构审核。

第3章　　焊接材料

第1节　　通　　则

3.1.1　适用范围

3.1.1.1　本章规定适用于本规范所规定的金属结构焊接所使用的焊条、焊丝、焊剂等焊接材料。

3.1.1.2　本章规定以外的焊接材料，应将有关的技术资料提交船舶检验机构审核，经同意后方可使用。

3.1.2　认可试验

3.1.2.1　各种焊接材料应按本章各节的有关规定进行认可试验。必要时，船舶检验机构可根据实际情况增加认可试验的项目。

3.1.2.2　对试验的试样、试验要求以及复试条件，除本章另有规定外，还应符合本篇第1章第2节的有关规定。

3.1.2.3　认可试验时，试样的制作和试验均应在验船师在场时进行。试件焊后建议进行无损检测，以确定焊缝中不存在影响试验准确性的缺陷。除熔敷金属的纵向拉伸试样外，试样焊接后不得进行任何热处理。

3.1.2.4　各级焊接材料认可试验用的试板可根据表3.1.2.4选取。允许选取韧性级别低于表中要求的材料。结构钢焊接材料熔敷金属试验的试板可选用任何级别的结构钢。当一般结构钢用于含镍低合金结构钢焊接材料熔敷金属试验时，建议在坡口区域用所试的焊接材料先堆焊一至二层，再装配试件。

3.1.2.5　结构钢试板的边缘可采用机加工或自动气割的方法加工。如采用自动气割，则应清除留在坡口处的氧化物。

3.1.2.6　试验时所用的焊接电流、电弧电压和焊接速度等应按焊接材料制造厂所推荐的参数进行。若一种焊接材料对交、直流电均适用时，则焊制试件时应采用交流电。

认可试验用钢材级别　　表3.1.2.4

焊接材料等级	试验用钢级别	焊接材料等级	试验用钢级别
1	A	5Y50	F50
2	B、D	3Y55	D55
3	E	4Y55	E55
4	F	5Y55	F55
1Y	A32、A36	3Y62	D62
2Y	D32、D36	4Y62	E62
3Y	E32、E36	5Y62	F62
4Y	F32、F36	3Y69	D69
2Y40	D40	4Y69	E69
3Y40	E40	5Y69	F69
4Y40	F40	0.5Ni	0.5Ni
3Y42	D42	1.5Ni	1.5Ni
4Y42	E42	3.5Ni	3.5Ni
5Y42	F42	5Ni	5Ni
3Y46	D46	9Ni	9Ni
4Y46	E46	AS1—A	00Cr18Ni10
5Y46	F46	AS1－B	00Cr17Ni14Mo3
3Y50	D50	AS2—A	0Cr18Ni9Ti
4Y50	E50	AS2—B	1Cr18Ni11Nb

第2节　　焊接材料的力学性能

3.2.1　一般要求

3.2.1.1　除本节规定外，焊接材料还应根据其不同用途分别按本章有关规定进行认可试验和年度检验。

3.2.2　船体结构钢焊接材料

3.2.2.1　结构钢焊接材料按其屈服点可分为九个等级；各等级按其缺口冲击韧性又可划分成若干个级别。其表达方式见表3.1.2.4所示；冲击韧性以数字1至5表示，高强度焊接材料以字母Y表示；若焊接材料的屈服点大于400MPa，则在字母Y后以数字40至69表示。含镍低合金钢焊接料则以钢中镍合金的含量分为0.5Ni、1.5Ni、3.5Ni、5Ni和9Ni共五个级别表示。

3.2.2.2　对每一等级的结构钢焊接材料，凡符合较高韧性级别要求的，可以认为该材料也符合较低级别的要求。

3.2.2.3　结构钢焊接材料的力学性能应符合表3.2.2.3的要求。

结构钢焊接材料的力学性能　　表3.2.2.3

焊接材料级别			1、2、3、4	Y、2Y、3Y、4Y 注1	2Y40、3Y40、4Y40 5Y40	3Y42 4Y42 5Y42	3Y46 4Y46 5Y46	3Y50 4Y50 5Y50	3Y55 4Y55 5Y55	3Y62 4Y62 5Y62	3Y69 4Y69 5Y69	0.5Ni	1.5Ni	3.5Ni	5Ni	9Ni
熔敷金属试验	屈服点注7 R_{eH}，MPa		≥305	≥375	≥400	≥420	≥460	≥500	≥550	≥620	≥690	≥375				
	抗拉强度注8 R_m，MPa		400～560	490～660	510～690	530～680	570～720	610～770	670～830	720～890	790～940	≥460		≥420	≥500	≥600
	伸长率 A_5，%		≥22			≥20		≥18				≥22		≥25		
	夏比V型缺口冲击试验	试验温度，℃	注2									—60	—80	—100	—120	—198
		平均冲击功注6,J	≥47注3			≥47		≥50	≥55	≥62	≥69	≥34				
对接焊试验	接头抗拉强度 R_m，MPa		≥400	≥490	≥510	≥530	≥570	≥610	≥670	≥720	≥770	≥490		≥450	≥540	≥640
	夏比V型缺口冲击试验	试验温度，℃	注2									—60	—80	—100	—120	—198
		平均冲击功注6，J	≥47注4			≥47		≥50	≥55	≥62	≥69	≥34				
	弯曲试验		试验后，试样表面上出现的裂纹或其他缺陷长度应不大于3mm。注5													

注1：手工焊条应符合2Y级以上要求。

注2：a　1Y级焊接材料的冲击试验温度为20℃；

b　2Y级焊接材料的冲击试验温度为0℃；

c　3Y、3Y40、3Y42、3Y46、3Y50、3Y55、3Y62、3Y69级焊接材料的冲击试验温度为-20℃；

d　4Y、4Y40、4Y42、4Y46、4Y50、4Y55、4Y62、4Y69级焊接材料的冲击试验温度为-40℃；

e　5Y40、5Y42、5Y46、5Y50，5Y55、5Y62、5Y69级焊接材料的冲击试验温度为-60℃。

注3：自动焊熔敷金属冲击试验的平均冲击功，对 R_{eH} ＜400MPa的焊接材料应不低于34J；对 R_{eH} ≥400MPa的焊接材料应不低于41J。

注4：立焊及自动焊对接接头冲击试验的平均冲击功，对 R_{eH} ＜400MPa的焊接材料应不低于34J；对 R_{eH} ≥400MPa 的焊接材料应不低于41J。

注5：除5Ni和9Ni钢试件用直径为四倍板厚的压头对试样进行弯曲试验外，压头直径应符合本篇1.2.4.2的规定。

注6：冲击试验的单个值应不低于规定值的70％。`

注7：当材料无明显屈眼点时，则应为规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 。

注8：当抗拉强度超过上限时，应经船舶检验机构特别考虑。

3.2.2.4　对屈服点不小于420MPa的焊接材料，若弯曲试验不能符合表3.2.2.3要求，而在弯曲试样标距长度 L_0 内的伸长率符合熔敷金属试验的伸长率要求时，可认为试验合格。弯曲试样的标距 L_0 见图3.2.2.4所示。

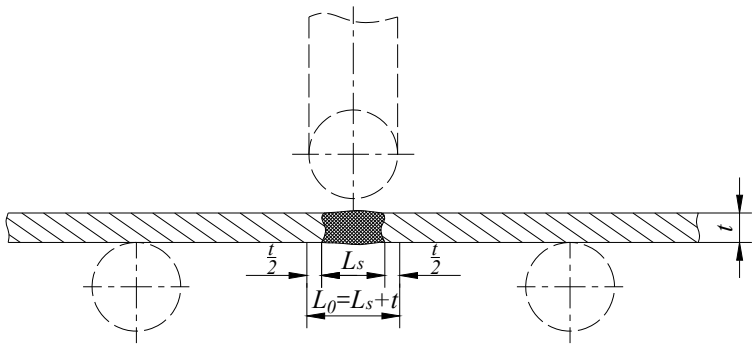


图 3.2.2.4　　弯曲试样的标距 L_0

第3节　　电弧焊焊条

3.3.1　一般要求

3.3.1.1　凡符合本章第2节力学性能要求，并符合本篇3.3.6.6测氢试验要求的焊条，在其级别符号后加缀“H15”、“H10”或“H5”，以表示其为符合测氢要求的低氢焊条。不同级别焊条的扩散氢含量至少应符合表3.3.1.1要求。

焊接材料的含氢量要求　　表3.3.1.1

焊接材料等级	扩散氢含量
1、2、3	不作强制要求
1Y、2Y、3Y	不作强制要求
4、4Y	H15
2Y40、3Y40	H15
4Y40、5Y40	H15
3Y42、4Y42、5Y42	H10
3Y46、4Y46、5Y46	H10
3Y50、4Y50、5Y50	H10
3Y55、4Y55、5Y55	H5
3Y62、4Y62、5Y62	H5
3Y69、4Y69、5Y69	H5

3.3.1.2　具有深熔特性的结构钢焊条，在其级别符号后加缀“DP”，以示区别。仅一级焊条可认可为深熔焊条。

3.3.1.3　对利用自动重力式工具或类似的焊接工具进行焊接的焊条，应根据制造厂推荐的工具和方法，参照普通手工焊条的要求进行各项试验。

3.3.2　试验项目

3.3.2.1　所有焊条均应进行熔敷金属试验。

3.3.2.2　所有焊条应按制造厂推荐的该类焊条的使用位置，如平焊、横焊、立焊（垂直上行焊或垂直下行焊）及仰焊等位置，进行各种位置的对接焊试验。

若焊条同时满足平焊和垂直上行焊要求，则可认为其已满足横焊要求。全位置焊条应进行平焊、立焊和仰焊三种位置的对接焊试验。

3.3.2.3　具有角焊性能的普通焊条除本篇3.3.2.1和3.3.2.2要求外，还应增加平角焊位置的角接焊试验。

对仅作角焊用的焊条除进行熔敷金属试验外，还应按焊条制造厂推荐的焊接位置（平焊、立焊和仰焊位置）进行角接焊试验。

3.3.2.4　对扩散氢有要求的焊条（如低氢或超低氢焊条等），除满足相应级别的力学性能要求外，还应进行测氢试验。

3.3.2.5　凡兼作深熔焊条的1级普通焊条，除符合1级焊条要求外，还应增加平焊位置的深熔对接焊和深熔角接焊试验。

对仅作平焊对接和横焊角接认可的深熔焊条，除按本篇3.3.3进行熔敷金属试验外，还应按3.3.7与3.3.8的规定进行深熔焊试验。

3.3.3　熔敷金属试验

3.3.3.1　熔敷金属试验一般应焊制2个试件，一个以直径4mm的焊条焊制，另一个以制造厂生产的同型号焊条中最大直径的焊条焊制。若制造厂生产的该型号焊条只有一种规格，则仅需以该规格焊条焊制1个试件。

3.3.3.2　每一试件应备制2块试板和1块垫板。尺寸按表3.3.3.2要求。

试板和垫板的尺寸　　表3.3.3.2

项目	厚度，mm	宽度，mm	长度，mm	斜角
试板	20	100	300	10°
垫板	10	30	300	

3.3.3.3　试件应按本篇图3.3.3.4组装。按常规工艺以单道焊或多道焊的方法在平焊位置焊接。采用多道焊时，每一焊道的焊接方向应在试件端部改变，每一焊道的厚度为2mm～4mm，每焊完一道后，清除焊渣，将试板置于静止的空气中，待焊缝冷却至250℃以下但不必低于100℃（温度在焊缝中心线的上表面处测量），然后再焊下一焊道。

3.3.3.4　按图3.3.3.4所示，从试件上截取1个纵向拉伸试样和1组3个V型缺口冲击试样，进行拉伸和冲击试验。其结果应符合本章第2节的有关规定。

纵向拉伸试样的轴线应尽可能位于试件焊缝的中心线上，并在试件厚度的中间处。V型缺口冲击试样的轴线应位于试件厚度的中间，且与焊缝中心线垂直，V型缺口应位于焊缝中心线上，并与试板表面相垂直。

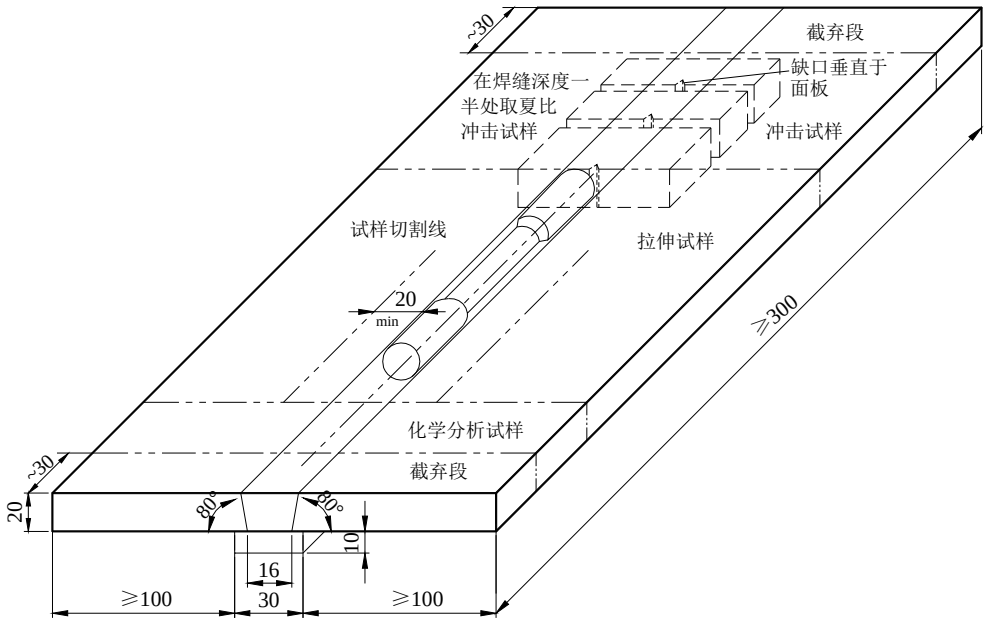


图3.3.3.4　试样截取示意图

3.3.3.5　除本篇3.3.3.4规定外，还应对每一试件进行熔敷金属化学成分分析。分析报告应提交船舶检验机构。报告中应包括所有重要的合金元素的含量。

3.3.4　对接焊试验

3.3.4.1　每一焊接位置均需焊制1个对接焊试件，各焊接位置所用的焊条规定如下:

.1　平焊:第一道用直径4mm的焊条，中间各道用直径5mm的焊条，最后两层应用制造厂生产的同型号焊条中最大直径的焊条;

.2　横焊:第一道用直径4mm或5mm的焊条，其余各道均用直径5mm的焊条;

.3　立向上焊和仰焊:第一道用直径3.2mm的焊条，其余各道用直径4mm（如制造厂推荐时，可用直径5mm）的焊条;

.4　立向下焊:采用制造厂推荐的焊条规格。

如同一型号焊条直径只有1种或2种规格，则以上各焊接位置中，第一道用较小直径的焊条，其余各道用较大直径的焊条。

3.3.4.2　若焊条仅用于平焊位置对接焊，除应满足本篇3.3.4.1.1规定焊制的1个焊件外，还应增加1个平焊位置的对接焊试件。试件第一道用直径4mm的焊条，第二道用直径5mm或6mm的焊条，其余各道以制造厂生产的同型号焊条中最大直径的焊条焊制。

3.3.4.3　每一对接焊试件应备制2块试板，试板的厚度为15mm～20mm，宽度不小于100mm，长度应足够提供截取规定数量和尺寸的试样。试板边缘开30°斜角。

3.3.4.4　试件应按图3.3.4.4装配、焊制。焊接的道间温度应不高于250℃，也不必低于100℃（温度在焊缝中心线的上表面处测量）。所有对接焊试件均应清根，再用直径4mm或该型号中直径较小的焊条，按原焊接位置进行封底焊。

为使焊后试件平直，试件可在焊前预置反变形。

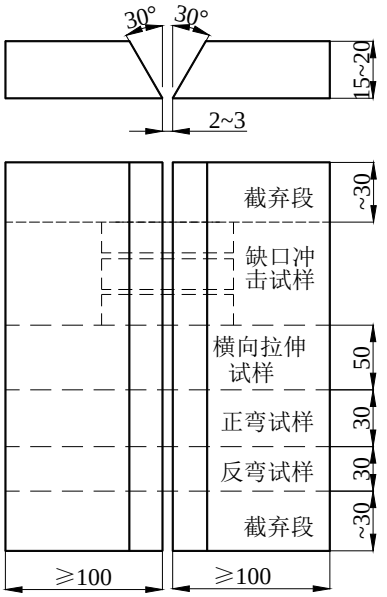


图3.3.4.4　试样截取示意图

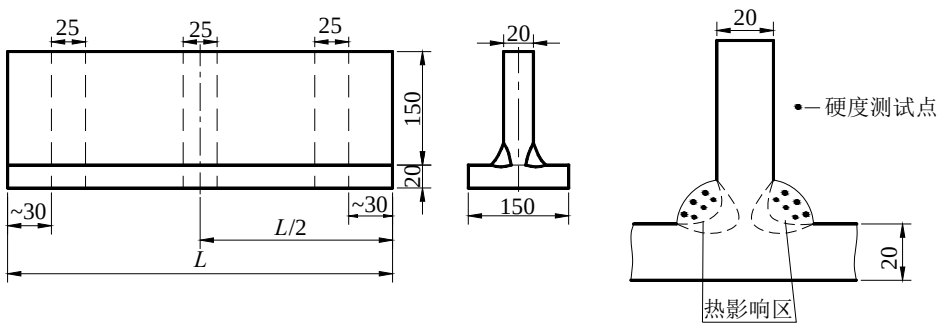
3.3.4.5　按图3.3.4.4所示截取一个横向拉伸试样，二个弯曲试样和一组三个冲击试样（仰焊位置的试样可免做冲击试验），进行拉伸、正反弯曲和冲击试验。其结果应符合本章第2节的有关要求。

3.3.5　角接焊试验

3.3.5.1　每一焊接位置应焊制1个角接焊试件。试件的第一侧焊缝应以该型号焊条中直径最大的焊条焊接，另一侧应以同一型号中直径最小的焊条焊制。焊脚尺寸通常根据试验时所用焊条的直径和焊接电流确定。

3.3.5.2　每一角接焊试件应备制2块试板，试板的厚度为20mm，宽度为150mm，长度应能保证充分焊完直径最大焊条的全部长度。

3.3.5.3　按图3.3.5.3（1）所示，截取3个长度为25mm的断面宏观检查试样，检查焊缝的熔合情况，是否存在裂纹、过多的气孔和夹渣等缺陷。并将此3个断面宏观检查试样的端面磨光，按图3.3.5.3（2）所示作硬度测试，以测定焊接接头的硬度。在余下的2个分段中，取1个分段将第一侧的角焊缝凿槽或刨尽，另一个分段将第二侧的角焊缝凿槽或刨尽，然后按本篇1.2.4.4进行角焊缝破断试验。其断面应显示出熔合良好、无裂纹和疏松等缺陷。



(1)　　(2)

图3.3.5.3　试样截取示意图

3.3.6 **测氢试验**

3.3.6.1 制备4块厚度为12mm，宽度为25mm，长度为125mm任何等级的结构钢钢板作测氢试验的试板。

3.3.6.2 在施焊前，试板应予以清洁并称量，重量精确至0.1g。

3.3.6.3 焊条应按制造厂提供的焙烘方法进行焙烘，并保持充分干燥。施焊的焊条直径为4mm，焊接电流约为150A，以短弧在试板宽度为25mm的表面上堆焊一道长约100mm的焊道（约用去150mm焊条长度）。

3.3.6.4 每一试样焊完后应在30s内脱渣完毕，然后将试样浸入温度为20℃的清水中冷却，过30s后将试样清洗干净、擦干并放入一个用甘油置换法收集氢气的装置内。4个试样应由一个操作人员在30min内焊毕并置入收集氢气的装置中。

3.3.6.5 试样应在温度为45℃的甘油中浸放48h，取出后，再分别在酒精和水中清洗干净，待干燥后称重（精确到0.1g），以确定熔敷金属的重量。应仔细测定被收集的氢气的体积，精度应达到0.05cm^3，再将测得的体积换算成标准状态（0℃，0.101325MPa）下的体积。氢含量的测定方法也可用ISO-3690规定的水银测定法代替。

3.3.6.6 4个试件测得的每100克熔敷金属的扩散氢平均含量应符合表3.3.6.6的规定:

扩散氢平均含量，cm^3 **表**3.3.6.6

含氢量等级	水银法	甘油法
H15	15	10
H10	10	5
H5	5	

3.3.7 **深熔对接焊试验**

3.3.7.1 深熔对接焊的试件应备制2块试板。

.1 试板的厚度为焊条直径的2倍另加2mm，板宽不小于100mm，长度根据试样尺寸与数量而定；

.2 试板对接接头边缘不开坡口，但应加工成直角边；

.3 试板装配应平齐，定位后间隙不大于0.25mm。试件应采用制造厂生产的最大直径的焊条，并按该厂推荐的电流与工艺方法在平焊位置进行双面单道对接焊（不清根）。

3.3.7.2 每一试件应按图3.3.7.2所示截取2个横向拉伸试样、2个弯曲试样和1组3个冲击试样（缺口位于焊缝中心）进行拉伸、弯曲和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。

3.3.7.3 在截取试样时应检查对接焊缝的焊透情况。试件两端的截弃段（约30mm）应按本篇1.2.3.6规定加工成断面宏观检查试样，试样的断面应显示出焊缝完全熔合且全部焊透。

3.3.8 **深熔角接焊试验**

3.3.8.1 深熔角接焊的试件应制备2块试板。

.1 试板厚度约为12.5mm，宽度约为100mm，长度约为180mm。立板的接头边缘应机加工成直角边；

.2 试件按“T”型装配，间隙应不大于0.25mm，如图3.3.8.1.2所示。试件的一侧用直径4mm的焊条，另一侧用制造厂生产的最大直径的焊条，按制造厂推荐的焊接电流，在试件的每一侧分别焊制一道长度不小于160mm的焊道。

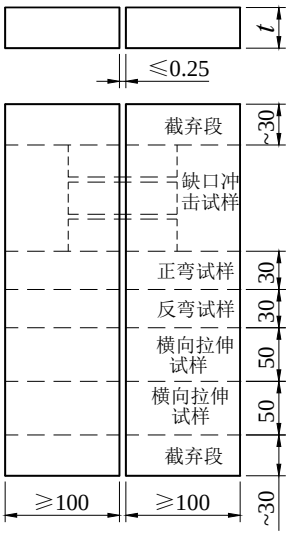


图3.3.7.2　试样截取示意图

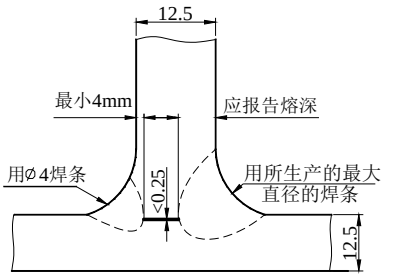


图3.3.8.1.2　深熔角接焊试样

3.3.8.2　从试件两端各截下长约35mm的一段作为宏观断面检查试样，用于检查焊缝熔合情况。对采用直径为4mm焊条焊接的一侧焊缝，其熔深应不小于4mm；对采用最大直径焊条焊接的另一侧焊缝，其熔深应记入报告。

3.3.9　年度检验

3.3.9.1　普通焊条应按本篇3.3.3的规定，焊制2个试件进行熔敷金属的各项试验。若制造厂仅生产1种规格的焊条，则焊制1个试件即可。

3.3.9.2　凡认可作深熔焊的焊条，应按本篇3.3.7的规定焊制一个试件，进行深熔对接焊的各项试验。

3.3.9.3　凡认可兼作深熔焊的普通焊条，应按本条.1和.2的规定焊制试件，进行各项性能试验。

3.3.9.4　凡认可作重力焊的焊条，应参照本篇3.3.3的规定，用制造厂推荐的工具焊制一个试件进行熔敷金属的各项试验。

第4节　　埋弧自动焊的焊丝—焊剂

3.4.1　一般要求

3.4.1.1　对用于双面单道焊工艺的焊丝 —— 焊剂，在其级别符号后面加缀字母“T”。

3.4.1.2　对用于多道焊工艺的焊丝—— 焊剂，在其级别符号后面加缀字母“M”。

3.4.1.3　对兼用于多道焊和双面单道焊工艺的焊丝——焊剂，在其级别符号后面加缀字母“TM”。

3.4.2　试验项目

3.4.2.1　对用于多道焊工艺的焊丝—— 焊剂应进行熔敷金属试验和对接焊试验。

3.4.2.2　对用于双面单道焊工艺的焊丝—— 焊剂应进行双面单道焊工艺对接焊试验。

3.4.2.3　对兼用于多道焊和双面单道焊工艺的焊丝—— 焊剂应对每一种工艺都进行试验。

3.4.2.4　对用于多丝埋弧焊的焊丝—— 焊剂，要单独进行认可试验。通常可按本节要求进行。

3.4.2.5　对用于屈服点不小于420MPa，淬火加回火高强度钢的焊接材料，应按船舶检验机构认可的方法进行测氢试验。其结果应符合表3.3.1.1的要求。

3.4.3 多道焊工艺熔敷金属试验

3.4.3.1 多道焊工艺熔敷金属试验的试件应制备2块试板和1块垫板。试板的厚度为20mm，宽度约200mm，长度应足够提供截取规定数量和尺寸的试样。试板接头边缘开10°的斜角。垫板的厚度为12mm，宽度为50mm，与试板等长。

3.4.3.2 试件应按本篇图3.4.3.3所示装配，并在平焊位置进行焊接。每一焊道的焊接方向应从试板的一端开始改变方向。每焊一道后，除去焊剂和熔渣，并将试板放置在静止空气中使焊缝冷却到250℃以下，但不必低于100℃（温度在焊缝中心处的表面上测量），再焊下道。每一焊道的厚度应不小于焊丝直径，且至少为4mm。

3.4.3.3 按图3.4.3.3所示，从试件上截取2个纵向拉伸试样和1组3个V型缺口冲击试样，进行拉伸和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。试样的截取位置与本篇3.3.3.4的规定相同。每一试件的焊缝熔敷金属的化学成分报告（包括所有重要合金元素的成分）应提交船舶检验机构审查。

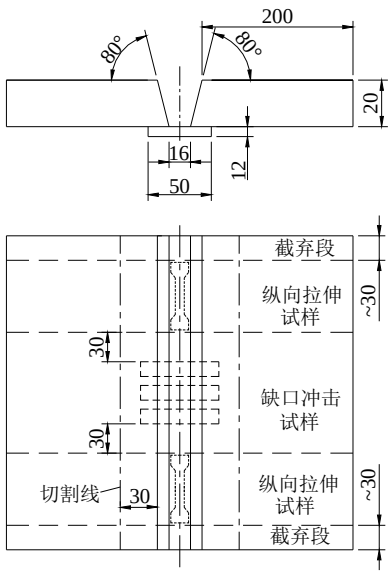


图3.4.3.3 试样截取示意图

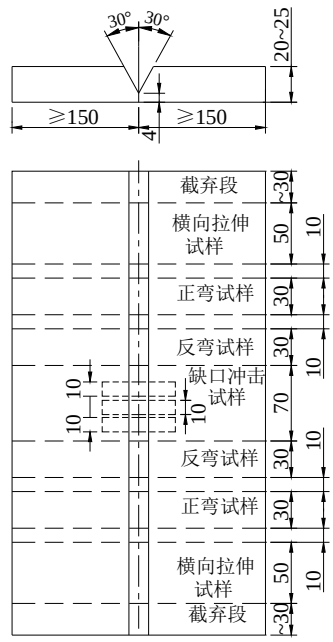


图3.4.4.3 试样截取示意图

3.4.4 多道焊工艺对接焊试验

3.4.4.1 多道焊工艺对接焊试验的试件应制备2块试板。试板厚度取20mm～25mm，宽度不小于150mm，长度不小于400mm，试板接头边缘开30°的斜角，钝边为4mm。

3.4.4.2 试件以多道焊工艺在平焊位置上进行焊接。焊接条件同本篇3.4.2.2。一面焊完后，应对焊缝清根，直至显露无缺陷金属后，再在平焊位置进行封底焊。

3.4.4.3 试样截取按图3.4.4.3所示，对2个横向拉伸试样、4个弯曲试样和1组3个V型缺口位于焊缝中心的冲击试样，分别进行拉伸、正反弯曲和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。

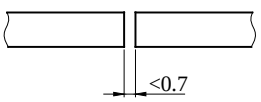
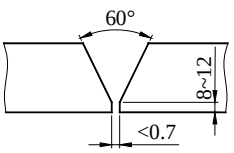
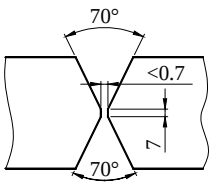
3.4.5 双面单道焊工艺对接焊试验

3.4.5.1 双面单道焊工艺对接焊试验应根据认可焊丝—— 焊剂的不同级别用相应强度的试板制备两副不同厚度的试件。一副为适用的最大厚度，另一副约为前一副厚度的2/3。每块试板的宽度应不小于150mm，长度应足够提供截取规定数量和尺寸的试样。

3.4.5.2 与最大焊丝直径配合的板厚和试件坡口型式应符合表3.4.5.2的规定。坡口尺寸允许存在较小的

偏差。

双面单道焊对接焊试板的厚度与坡口型式　　表3.4.5.2

板厚，mm	12～15	20～25	30～35
焊丝最大直径，mm	5	6	7
试板坡口 型式与尺寸，mm			

3.4.5.3　每个试件的两面各焊一条焊道。当试件一面焊完后，除去焊剂和熔渣，将试件置于静止空气中冷却，待焊缝冷却至100℃以下（温度在焊缝表面中心处测量）再焊另一面焊道。

3.4.5.4　按图3.4.5.4-1所示从每个试件上截取2个横向拉伸试样、2个弯曲试样和1组3个V型缺口冲击试样，冲击试样的截取位置见图3.4.5.4-2所示。对上述试样分别进行拉伸、弯曲和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。同时应将试件两截弃段的断面磨光、腐蚀后进行宏观检查。

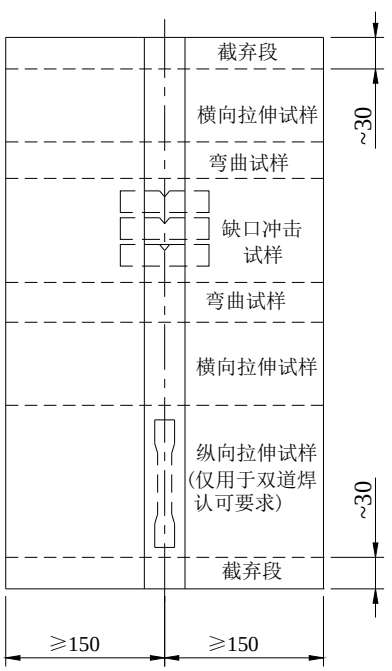


图3.4.5.4-1　试样截取示意图

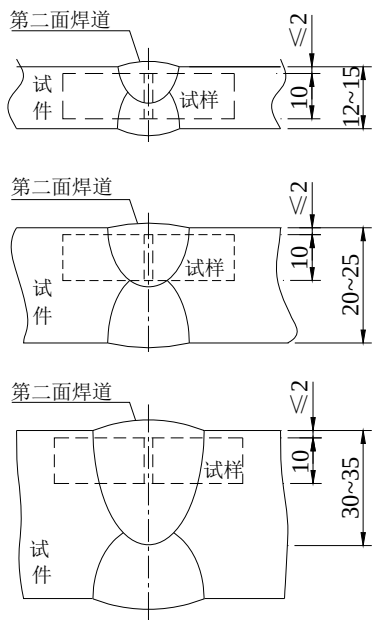


图3.4.5.4-2　冲击试样截取示意图

3.4.5.5　当焊接材料仅适用于双面单道焊工艺时，除本篇3.4.5.4所规定的试样外，还应在较厚的试件中截取一个纵向拉伸试样和熔敷金属化学成分分析试样，进行熔敷金属的拉伸试验和化学成分分析。纵向拉伸试样的轴线应与焊缝中心线相重合，并位于第二侧焊缝表面下方约7mm处。化学成分分析报告中应包括所有重要合金元素的含量。

3.4.6　年度检验

3.4.6.1　焊丝—— 焊剂的年度试验应包括下列内容:

.1　对多道焊的焊剂，应焊制熔敷金属试件1个；

.2　对双面单道焊的焊丝—— 焊剂，应焊制对接焊试件1个，试件板厚至少为20mm。

3.4.6.2　熔敷金属试件应按本篇3.4.3的规定制备和试验，但只需1个纵向拉伸试样和一组3个V型缺口冲击试样。

3.4.6.3　对接焊试验应按本篇3.4.5的规定焊制1个试件（厚度大于20mm），从试件上截取1个横向拉伸试样、2个弯曲试样和1组3个V型缺口冲击试样进行试验。如该焊丝—— 焊剂仅作双面单道焊认可时，则应增加一个纵向拉伸试样。

3.4.6.4　若焊丝—— 焊剂既适用于一般强度钢又适用于高强度钢时，则本篇3.4.6.1.2所述的对接焊试件应采用高强度钢焊制。

第5节　半自动、自动焊的焊丝与焊丝—气体

3.5.1　一般要求

3.5.1.1　各种焊丝与焊丝—— 气体配合可按工艺适用性作如下划分:

.1　对用于多道半自动焊的焊丝与焊丝—— 气体配合，应在其级别符号后面加缀字母“S”；

.2　对用于多道自动焊的焊丝与焊丝—— 气体配合，应在其级别符号后面加缀字母“M”；

.3　对用于双面单道自动焊的焊丝与焊丝—— 气体配合，应在其级别符号后面加缀字母“T”；

.4　对兼用于双面单道和多道焊的焊丝与焊丝——气体配合，应在其级别符号后面加缀字母“TM”；

.5　对兼用于半自动焊和自动焊的焊丝与焊丝——气体配合，应在其级别符号后面加缀字母“SM”。

3.5.1.2　实芯焊丝或药芯焊丝应按船舶检验机构认可的方法进行熔敷金属的测氢试验，其结果应符合本篇表3.3.6.6的要求。符合低氢要求的焊接材料可在其等级符号后面加缀相应的低氢等级符号。各级焊接材料的低氢要求可参见本篇表3.3.1.1。

3.5.1.3　认可试验所采用的保护气体的成分应在试验报告中列出。保护气体的成分按表3.5.1.3规定分组。不同组别的保护气体应各自分别进行认可试验。

保护气体的成分　　表3.5.1.3

组别	气体成分（气体含量%）			
	氩气（Ar）	二氧化碳（CO_2）	氧气（O_2）	氢气（H_2）
M11	余量[注1、2]	0～5	—	0～5
M12	余量[注1、2]	0～5	—	—
M13	余量[注1、2]	—	0～3	—
M14	余量[注1、2]	0～5	0～3	—
M21	余量[注1、2]	5～25	—	—
M22	余量[注1、2]	—	3～10	—
M23	余量[注1、2]	5～25	0～8	—
M31	余量[注1、2]	25～50	—	
M32	余量[注1、2]	—	10～15	—
M33	余量[注1、2]	5～50	8～15	—
C1	—	100	—	—
C2	—	余量	0～30	—

注1：其中氩气含量的95%可由氦气所代替。

注2：使用氦气时，其含量应不小于氩的含量。

3.5.1.4　对多丝自动焊所用的焊似与焊丝—— 气体配合可参照本节有关规定进行认可试验。

3.5.2　焊丝与焊丝——气体配合的试验项目

3.5.2.1　对用于多道半自动焊的焊丝与焊丝—— 气体配合应进行熔敷金属试验、多道半自动对接焊试验和角接焊试验。

3.5.2.2　对用于多道自动焊的焊丝与焊丝—— 气体配合应进行自动焊熔敷金属试验和多道自动对接焊试验。

3.5.2.3　对用于双面单道自动焊的焊丝与焊丝—— 气体配合应进行双面单道自动对接焊试验。

3.5.3　多道半自动焊熔敷金属试验

3.5.3.1　除按本篇3.5.3.2的要求焊制2个试件外，多道半自动焊熔敷金属试验应按本篇3.3.3的规定进行。

3.5.3.2　一个熔敷金属试件应采用制造厂生产的直径最小的焊丝焊制。另一个试件应采用制造厂生产的直径最大的焊丝焊制。若制造厂只生产1种直径的焊丝，则只需要用该直径焊丝焊制1个试件。焊接时每层焊道的厚度应在2mm～6mm之间。

3.5.4　多道半自动焊对接焊试验

3.5.4.1　认可为多道半自动焊的焊丝与焊丝—— 气体配合应根据制造厂推荐的各种位置（平、横、立、仰焊）各焊一个对接焊试件。除按本篇3.5.4.2的要求进行试件焊接外，多道半自动对接焊试验应按本篇3.3.4的规定进行。

3.5.4.2　平焊位置试件第一条焊道应采用制造厂所生产的最小直径的焊丝焊制；其余各条焊道应采用制造厂生产的最大直径的焊丝进行焊制。若仅认可用于平焊位置，则应采用不同于上述直径的焊丝增焊一个对接焊试件。

其他位置所用的焊丝的直径为:第一条焊道用制造厂所生产的最小直径的焊丝，其余各条焊道用该厂对该位置所推荐的直径最大的焊丝。

3.5.5　多道半自动角接焊试验

3.5.5.1 除焊缝两侧应分别以制造厂生产的最小和最大直径焊丝焊制试件以外，多道半自动角接焊试验应按本篇3.3.5的规定进行。

3.5.6　多道自动焊熔敷金属试验和对接焊试验

3.5.6.1 除试件的每层焊道厚度应不小于3mm外，多道自动焊熔敷金属试验应按本篇3.4.3的规定进行。多道自动焊对接焊试验应按本篇3.4.4的规定进行。

3.5.7　双面单道自动焊对接焊试验

3.5.7.1　双面单道自动焊对接焊试验除按本篇3.5.7.2～3.5.7.4的规定焊制2个试件外，应符合本篇3.4.5的规定。

3.5.7.2　一般试板厚度分别为12mm～15mm和20mm～25mm各1付（每付2块试板）。若焊接材料适用于厚度大于25mm的材料时，则试板厚度应是20mm和焊接材料所适用的最大厚度的试板各1付。

3.5.7.3　试件坡口应按图3.5.7.3的要求制备。若制造厂有要求，可允许有少量变动。如试件板厚大于25mm，应将坡口尺寸记入试验报告。

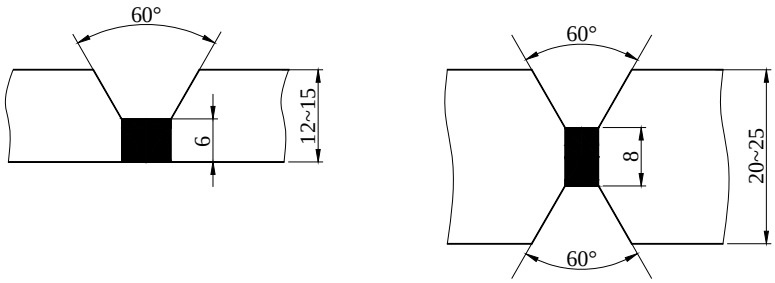


图3.5.7.3　试件坡口

3.5.7.4　焊丝直径可采用制造厂推荐的直径，并记入报告。

3.5.8　年度检查

3.5.8.1 对认可为多道半自动焊或作为多道半自动焊和多道自动焊兼用的焊丝与焊丝——气体配合，应按本篇3.5.3的规定焊制多道半自动焊熔敷金属试件1个，并进行熔敷金属的各项试验。

3.5.8.2　对仅认可为多道自动焊的焊丝与焊丝——气体配合，应按本篇3.5.6的规定焊制多道自动焊熔敷金属试件1个，并进行熔敷金属的各项试验。但纵向拉伸试样可仅取1个。

3.5.8.3　对认可为双面单道自动焊的焊丝与焊丝——气体配合，应按本篇3.5.7的要求焊制试板厚度为20mm～25mm的试件1个，进行对接焊的各项试验。但横向拉伸试样可仅取1个。

第6节　　电渣焊或气电立焊的焊接材料

3.6.1　一般要求

3.6.1.1　除本节另有规定外，本章第4节中对双面单道焊的要求也适用于带熔嘴或不带嘴的电渣焊或气电立焊用焊接材料。

3.6.1.2　1Y、2Y、3Y、4Y、2Y40、3Y40和4Y40级的电渣焊或气电立焊用焊接材料可以仅对特定的高强度钢作认可。考虑到所含细化晶粒元素的影响，若要求对焊接材料作一般性认可时，则应使用铌处理钢进行认可试验。

3.6.1.3　因为技术上的原因，本节这类特殊的高韧性焊接材料不一定能完全适用于低韧性钢材的焊接，若需要同时对普通强度和高强度钢作认可时，一般应用高强度钢制作2个试件进行试验。当船舶检验机构认为必要时，可要求用一般强度钢另外制作2个试件进行试验。

3.6.2　对接焊试验

3.6.2.1　对接焊试验应焊制2个试件，一个试件的试板厚度为20mm～25mm，另一个试件的试板厚度为35mm～40mm，每块试板的宽度应不小于150mm，长度应足够提供截取本篇3.6.2.3所规定数量和尺寸的试样。

3.6.2.2　试件应按制造厂推荐的焊接条件和坡口型式制备，并记入报告。

3.6.2.3　按图3.6.2.3（1）所示，从每个试件上截取2个纵向拉伸试样、2个横向拉伸试样、2个弯曲试样、一个宏观断面检查试样和2组（每组3个）V型缺口冲击试样，分别进行拉伸、弯曲、冲击等试验。试验结果应符合本章第2节的有关规定。二组V型缺口冲击试样的取样位置应按图3.6.2.3（2）所示。

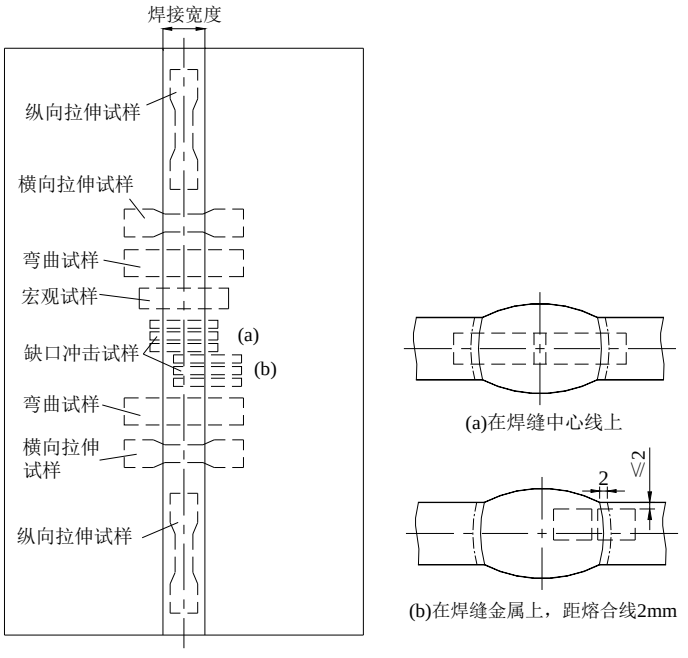


图3.6.2.3　试样截取示意图

3.6.3　年度检查

3.6.3.1　电渣焊或气电立焊焊接材料的年度试验，至少应按本篇3.6.2的规定焊制2个试板厚度为20mm～25mm的对接焊试件。在该试件上截取1个纵向拉伸试样、1个横向拉伸试样、2个弯曲试样和2组冲击试样（V型缺口分别位于焊缝中心和距熔合线2mm的熔敷金属上），分别进行拉伸、弯曲和冲击试验。

第7节　　单面焊接双面成型的焊接材料

3.7.1　一般要求

3.7.1.1　采用临时衬垫材料的单面焊接双面成型的自动焊焊丝——焊剂（或焊丝——气体）配合的认可，一般可按本章第4节和第5节的规定和本节的要求进行试验。

3.7.1.2　采用临时衬垫材料的单面焊接双面成型的手工焊条或半自动焊焊丝——焊剂的认可，将予以特殊考虑。

3.7.2　单面焊接双面成型焊接材料的对接焊试验

3.7.2.l　单面焊接双面成型焊接材料的对接焊试验应焊制2个试件:一个试件的试板厚度为25mm～30mm；另一个试件的试板厚度为35mm～40mm。试板宽度不小于150mm，长度应足够截取规定数量和尺寸的试样。

3.7.2.2　从每个试件中截取2个纵向拉伸试样、2个横向拉伸试样、2个弯曲试样、1个断面宏观检查试样和本篇3.7.2.3规定的V型缺口冲击试样，分别进行拉伸、弯曲和冲击等试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。

3.7.2.3　按图3.7.2.3所示，从试板厚度为25mm～30mm的试件中截取2组（每组3个）V型缺口冲击试样，从试板厚度35mm～40mm的试件中取出3组（每组3个）V型缺口冲击试样。

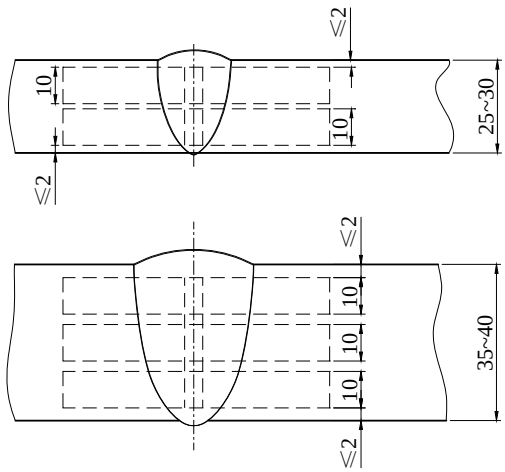


图3.7.2.3　试样截取示意图

3.7.3　年度检查

3.7.3.1　单面焊接双面成型焊接材料的年度试验，应按本篇3.7.2的规定焊制1个试板厚度为25mm～30mm的对接焊试件。在试件上截取1个纵向拉伸试样、1个横向拉伸试样、2个弯曲试样和1组3个取自焊缝根部的V型缺口冲击试样（如图3.7.2.3所示），分别进行拉伸、弯曲和冲击试验。

第8节　　不锈钢焊接材料

3.8.1　适用范围

3.8.1.1　本节规定适用于第七篇第3章第7节所规定的奥氏体不锈钢和奥氏体—铁素体双相不锈钢（以下除专门指明外，简称“不锈钢”）用焊接材料。

3.8.2　一般要求

3.8.2.1　不锈钢焊接材料根据其认可时采用的不锈钢母材进行分级。分级符号见表3.8.2.1。

不锈钢焊接材料的分级及其认可试验采用的材料　　表3.8.2.1

焊接材料级别	认可时采用的母材	焊接材料级别	认可时采用的母材
304L	022Cr19Ni10（S30403）	347	06Cr18Ni11Nb（S34778）
304LN	022Cr19Ni10N（S30453）	309L	06Cr23Ni13（S30908）
316L	022Cr17Ni12Mo2（S31603）	2205	022Cr23Ni5Mo3N（S22053）
316LN	022Cr17Ni12Mo2N（S31653）	2550	03Cr25Ni6Mo3Cu2N（S25554）
317L	022Cr19Ni13Mo3（S31703）	2750	022Cr25Ni7Mo4N（S25073）
317LN	022Cr19Ni13Mo4N（S31753）		

3.8.2.2　适应不同焊接工艺的不锈钢焊接材料应分别按本篇3.4.1或3.5.1在等级符号后加上表示其工艺适用性的后缀。

3.8.2.3　除本节另有规定外，不锈钢焊接材料的认可试验应根据焊接材料的类型，按本篇第3、4、5节适用要求进行。

3.8.3　熔敷金属试验

3.8.3.1　不锈钢熔敷金属试验试件用的试板可采用与焊接材料相适应的不锈钢；也可采用普通强度碳钢或碳锰钢，但应以低热输入的方法在坡口表面用待试验的焊接材料堆焊2层隔离层。隔离层的厚度在加工后应不少于3mm。

3.8.3.2　不锈钢熔敷金属均应进行化学成分分析、力学性能试验和金相检查。

3.8.3.3　熔敷金属的化学成分，包括所有重要元素，应予报告。分析结果应符合公认的标准或制造商的规定。

3.8.3.4　熔敷金属的力学性能应符合表3.8.3.4所列的相应要求。

3.8.3.5　应在熔敷金属中心取样，以金相法或磁性法测定熔敷金属的铁素体含量。对于奥氏体不锈钢焊接材料，铁素体含量应符合制造厂的规定；对奥氏体—铁素体双相不锈钢焊接材料，铁素体含量应在35%~65%范围内。

不锈钢焊接材料熔敷金属的力学性能　　表3.8.3.4

焊接材料级别		奥氏体不锈钢		奥氏体-铁素体双相不锈钢		
		304L 316L 317L 309L	304L 316L 317L 347	2205	2550	2750
规定非比例延伸强度,MPa	$R_{p0.2}$	≥270	≥290	≥450	≥550	≥550
	$R_{p1.0}$[注1]	≥310	≥330	≥490	≥590	≥590
抗拉强度R_m,MPa		≥500	≥550	≥620	≥690	≥790
伸长率A_5,%		≥25	≥22	≥25	≥15	≥15
夏比V型缺口冲击试验	试验温度,℃	-20/-196[注2]		-20		
	平均冲击功,J	≥29				

注1：表中规定非比例延伸强度$R_{P1.0}$值，除另有协议外，一般不作验收依据；

注2：奥氏体不锈钢应在-20℃条件下进行冲击试验；当奥氏体不锈钢用于深冷条件时，应在-196℃条件下进行冲击试验。当协议有要求时，也可按协议的规定进行冲击试验。

3.8.4　对接焊试验

3.8.4.1　不锈钢对接焊试验用的试板应为与焊接材料相适应的不锈钢。

3.8.4.2　对接接头应进行力学性能试验和晶间腐蚀试验。

3.8.4.3　对接接头的力学性能应符合本篇表3.8.4.3的相应规定。

3.8.4.4　不锈钢对接接头应参照本规范第七篇第2章第7节取样进行焊接接头的晶间腐蚀试验。

3.8.5　年度检查

3.8.5.1　不锈钢焊接材料的年度试验应按焊接材料的形式，根据本篇3.3.9、3.4.6或3.5.8的规定进行。

3.8.5.2　所有试验结果应符合表3.8.3.4和表3.8.4.3的相应要求。

不锈钢焊接材料对接接头的力学性能　　表3.8.4.3

焊接材料级别	奥氏体不锈钢		奥氏体—铁素体双相不锈钢		
	304L 316L	304LN 316LN	2205	2550	2750

		317L 309L	317LN 347			
接头抗拉强度R_m,MPa		≥480	≥550	≥620	≥690	≥790
夏比V型缺口冲击试验	试验温度,℃	-20/-196[注]		-20		
	平均冲击功,J	≥27				
弯曲试验	弯心直径	3t		6t		
	弯曲角度	120°				
	要求	试样弯曲后。表面上出现的裂纹或其他缺陷长度应不大于3mm				
注：奥氏体不锈钢应在-20℃条件下进行冲击试验；当奥氏体不锈钢用于深冷条件时，应在-196℃条件下进行冲击试验。当协议有要求时，也可按协议的规定进行冲击试验。						

第9节　　铝合金焊接材料

3.9.1　适用范围

3.9.1.1　本节规定适用于第七篇第8章所规定的船体建造用铝合金的焊接材料。

3.9.1.2　除本节另有规定外，铝合金焊接材料应根据焊接材料的类型按本章第1节和第5节的认可程序和试验方法进行认可和试验。

3.9.2　一般要求

3.9.2.1　铝合金焊接材料根据对应的母材种类和强度级别分别为A、B、C、D四个等级。

3.9.2.2　适用于MIG、TIG和/或等离子焊的焊丝及焊丝—气体，在其级别符号前面加缀字母“W”，如“WC”。

3.9.2.3　适用于TIG和/或等离子焊的填充焊丝在其级别符号前面加缀字母“R”，如“RB”。

3.9.2.4　铝合金焊丝或填充焊条应与按3.9.2.4规定的保护气体，如带“S”符号的“特定”纯的或混合的保护气体一并进行认可。保护气体的成份应予以报告。经同意，经认可的焊丝或填充焊丝与某一保护气体组合一般覆盖改焊丝或填充焊丝与表3.9.2.4中同组求他气体的组合。

3.9.2.5　焊接材料对较高强度铝镁合金母材的认可，也可覆盖较低强度等级的铝镁合金及其铝镁硅合金的组合。

保护气体的组别和成分　　表3.9.2.4

保护气体组别	气体成分（体积百分比）	
	氩	氦
I—1	100	—
I—2	—	100
I—3	余量	0＜He≤33
I—4	余量	33＜He≤66
I—5	余量	66＜He≤95
S	其他成分的气体（混合气体）作为特殊气体考虑，并应单独试验。	

3.9.3　试验要求

3.9.3.1　铝合金焊接材料认可一般应进行熔敷金属试验和接焊试验。

3.9.3.2　熔敷金属试件可按图3.9.3.2所示制备1个试件。所用的母材在化学成分上应与焊缝金属相适应。试件尺寸根据焊接材料的种类和焊接方法而定，并应保证能提供足够的纯焊缝熔敷金属化学分析。

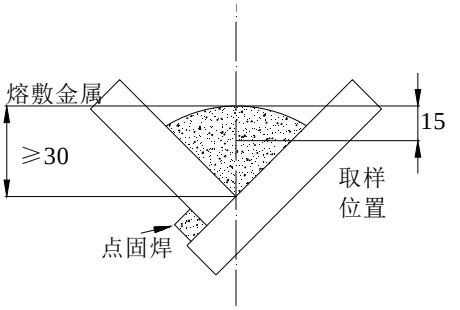
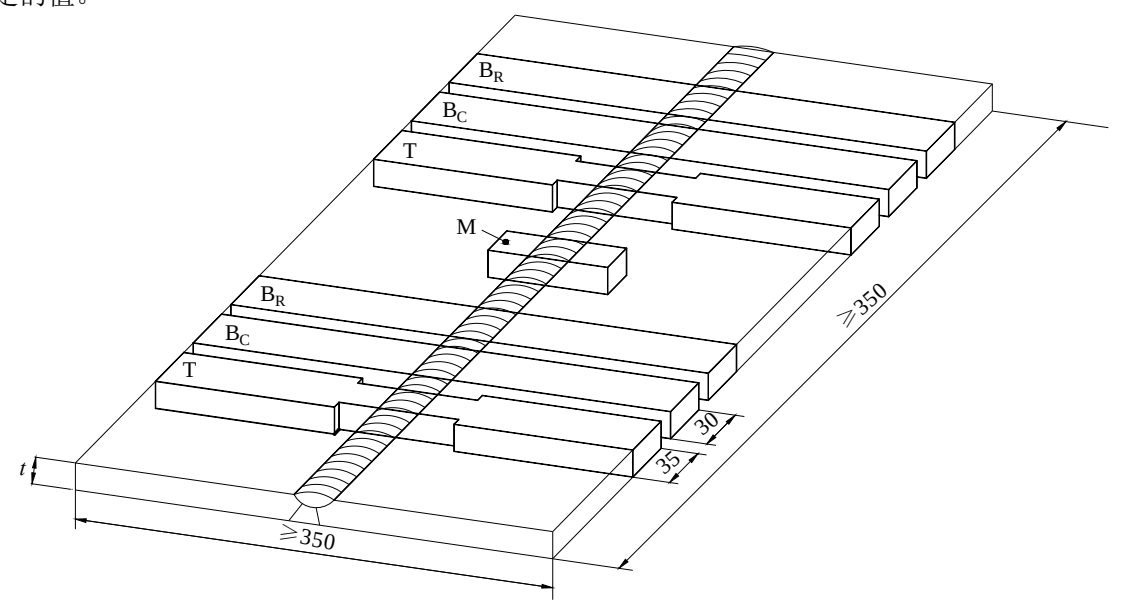


图3.9.3.2　熔敷金属试件制备

3.9.3.3　应提交熔敷金属化学成分分析报告，报告中应包括所有重要元素的含量。试验结果应不超过制造厂所规定的值。



T——横向拉伸试验　Bc——正弯试样　BR——反弯试样　M——宏观断面试样　t=10~12mm ，或20~25mm

注：　1.坡口应为70°的单V型或X型坡口；2.单V型试件允许背面封底焊；　3.X型坡口时，双面均应以相同位置进行焊接。

图3.9.3.4　　接焊试验的各种位置

3.9.3.4　对接焊试验应更具焊接材料制造厂推荐的各种位置（平、横、立向上和仰），按图3.9.3.4所示，每个位置制备1个板厚为10mm~12mm的试件。经同意，平焊和立向上焊试验满足要求可免除横焊试验。此外还应参照图3.9.3.4制备1个厚板为20mm~25mm的仅用于平面位置对接焊的试件。

3.9.3.5　试件焊接可按本篇3.5.4或3.5.6的要求进行。焊后自然冷却至恒温。试件或试样均不能进行任何热处理。D级焊接材料的试件允许焊后搁置不少于72h进行自然时效，而后取样进行试验。

3.9.3.6　按图3.9.3.4所示，每个试件应截取2个横向拉伸试样，4个弯曲试验（正、反弯各2个）和1个宏观断面试样分别进行试验。

3.9.3.7　拉伸试验和弯曲试验结果应符合表3.9.3.7的有关规定。拉伸试样的断裂位置应予以记录。宏观断面检查应不可见的裂纹、未焊透、气孔和夹杂等缺陷。

铝合金焊接材料的力学性能　　表3.9.3.7

焊接材料等级		A		B	C				D
试验用母材牌号		5754	5454	5086	5083	5383 5456	5A01	5059	6061 6005A 6082
拉力试验	抗拉强度，MPa	190	215	240	275	290	325	330	170
弯曲试验	弯心直径	3t	4t	6t					
	最小弯曲角度	180°							
	实验要求	试验后，试样表面上出现的裂纹或其他缺陷长度应补大于3mm。角部开裂可以在评定时不计，除非证明该裂纹是由未熔合等缺陷所导致的。							

3.9.4　年度检查

3.9.4.1　铝合金焊接材料的年度检查应根据焊接材料的形式焊制1个熔敷金属试件和1个平位置对接焊试件，进行熔敷金属的化学成分分析和对接接头的力学性能试验。

3.9.4.2　所有试验结果应符合3.9.3.3和表3.9.3.7的相应要求。

第4章　船体结构焊接

第1节　通　则

4.1.1　适用范围

4.1.1.1　本章适用于船体结构钢材的焊接和检验。船体结构的焊缝设计应符合第二篇第1章的有关规定。

4.1.2　工艺规程与检验标准

4.1.2.1 按本篇第2章规定，施工前应将工艺规程和检验标准提交船舶检验机构审核，必要时还应进行焊接工艺认可试验。生产施工和检验应按船舶检验机构批准的图纸、工艺规程和检验标准进行。

4.1.3　焊前准备

4.1.3.1　构件的装配次序、装配间隙、定位精度以及坡口加工等应符合认可的工艺规程的要求，并应避免强制装配以减少构件的内应力。若因焊缝坡口或装配间隙过大必需修正时，其修正方法应征得船舶检验机构的同意。

4.1.3.2　焊缝的坡口区域应保持清洁、干燥、无锈、无氧化物、无油污和杂物等。

涂有底漆的钢材，如在焊接之前未能将底漆除净，则必须提供该底漆对焊缝质量没有不良影响的证明，并需经船舶检验机构认可。

4.1.3.3　当焊接必须在潮湿、多风或寒冷的露天场地进行时，应对焊接作业区域提供适当的遮蔽和防护措施。

在下述情况下应考虑对焊件采取适当的预热和（或）缓冷措施，以防焊件内产生过大的应力和不良的组织。

.1　施工环境的温度低于0℃时；

.2　材料的碳当量C_{eq}大于0.41%时，

$$C_{eq}=\mathrm{C}+\frac{\mathrm{Mn}}{6}+\frac{\mathrm{Cr+Mo+V}}{5}+\frac{\mathrm{Ni+Cu}}{15};\qquad(4.1.3.3.2)$$

.3　结构刚性过大、构件板厚较厚或焊段较短时。

当碳当量C_{eq}大于0.45%时，应进行预热，并考虑焊后进行热处理。

4.1.4　焊接工艺

4.1.4.1　船体结构的焊缝应按已认可的焊接工艺规程施焊。对较长的焊缝应尽可能从焊缝中间向两端施焊，以减少结构的变形和内应力。

4.1.4.2　定位焊的数量应尽量减少，定位焊缝应具有足够的高度，其长度对一般强度钢应不小于30mm。定位焊的质量应与施焊的焊缝质量相同。有缺陷的定位焊应在施焊前清除干净。

4.1.4.3　焊缝末端收口处应填满弧坑，以防止产生弧坑裂纹。如采用自动焊，一般应使用引弧板和熄弧板。

进行多道焊时，在下道焊接之前，应将前道焊渣清除。

4.1.4.4　焊缝的设计应符合本规范第二篇1.4.1.3和1.4.1.4的要求。对有焊透要求的焊缝，除船舶检验机构特别同意外，在焊接第二面焊缝前必须进行清根，并应具有适当的坡口形状，以便进行封底焊。

4.1.4.5　在去除临时焊缝、定位焊缝、焊缝缺陷、焊疤和清根时，均不应损伤母材。

第2节　　船体构件的焊接

4.2.1　一般要求

4.2.1.1　除确能保证完全焊透者外，对接焊件边缘应开单面或双面坡口，坡口角度一般在50°~60°之间；若焊件边缘拟加工成其他坡口形式时，则应征得船舶检验机构同意。

4.2.1.2　若全焊透对接焊缝因结构原因无法进行封底焊时，经船舶检验机构同意，允许加固定垫板进行对接焊，此种接头的坡口型式和装配间隙应保证其在垫板上能完全熔合。

4.2.1.3　船体构件的角焊缝和板材的对接缝在交叉处，应符合下述规定:

.1　应将交叉处的对接焊缝的增强高铲平，或将跨过对接焊缝的构件腹板边缘挖孔（通焊孔）以使构件与板材能贴紧，保证焊接质量；

.2　连续角焊缝的构件腹板上如有对接焊缝时，应先焊好对接焊缝，并将角焊缝处的增强高铲平，然后进行焊接。

4.2.2　小夹角处的角焊缝

4.2.2.1　在船体的结构设计中，应考虑到不使角接缝造成较小的夹角，以避免施焊困难。在个别情况下，若构件的夹角小于50°时，应按下列形式进行焊接:

.1　内底边板与舷侧外板的角接焊缝，其坡口角度应不小于45°，如图4.2.2.1.1所示。若小于45°则可将内底边板的边缘开坡口，并在该坡口处进行多道单面连续角焊，其底层焊道应选用较小直径的焊条施焊；

.2　肘板的角接缝若遇到上述小夹角情况时，可在钝角位置的一面施焊，但在肘板的趾端应有足够长度的包角焊缝。

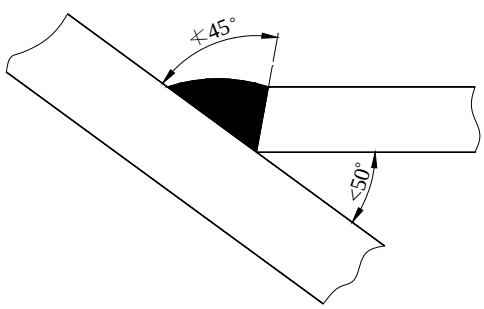


图4.2.2.1.1　内底边板与舷侧外板的角接焊缝

4.2.3　铸钢和锻钢船体结构件的焊接

4.2.3.1　当船体构件的材料为铸钢或锻钢时（如首柱、尾柱、舵杆和尾轴架等），其焊接应符合下列要求:

.1　如焊件的含碳量达到0.23%或刚性较大时，则在焊接前、后均应采取相应的预热和保温措施；

.2　采用手工焊方法进行焊接的首柱、尾柱、舵杆和尾轴架等，应在焊后进行回火处理。采用电渣焊方法进行焊接的首柱、尾柱、舵杆和尾轴架等在焊后应进行正火——回火处理。

若首柱、尾柱、舵杆和尾轴架等构件的尺度较大，整体热处理条件不足时，允许采用有效的局部热处理方法。

4.2.4 舷顶列板与强力甲板边板的焊接

4.2.4.1 舷顶列板与强力甲板角接时，在船舯的0.4L区域内，强力甲板的边缘应开坡口，并一般应完全焊透。坡口型式可按施工情况而定。

4.2.4.2 舷顶列板与强力甲板的连接，若采用圆弧形结构对接时，对接焊缝处应开坡口并保证完全焊透。当圆弧形舷顶列板在近船首、尾处改为直角形式与甲板连接时，应有足够长度的圆弧形过渡区，过渡区内舷顶列板与甲板的对接焊缝应完全焊透。

4.2.5 门形桅、起重桅（柱）的焊接

4.2.5.1 支持最大安全工作负荷不超过10t吊杆的门形桅、起重桅（柱），其焊缝应符合下列要求:

.1 由钢板弯制成的门形桅或起重桅（柱），其柱体的纵向接缝和横向接缝均应为单面坡口的对接缝，且应完全焊透；

.2 若桅（柱）根部不贯穿甲板，且直接焊于强力甲板上时，则根部边缘应开单面坡口，且第一层焊道应选用较小直径的焊条，确保完全焊透；

.3 若桅（柱）贯穿强力甲板时，则与桅（柱）连接处的强力甲板应开双面坡口，并采用双面连续角焊。桅的根部应开单面坡口，并应采用单面连续角焊。以上焊缝均应焊透。

4.2.6 柴油机主机基座的焊接

4.2.6.1 主机基座纵桁腹板厚度不小于14mm时，水平面板与纵桁腹板的角接处，应在该腹板的边缘开坡口，达到最大限度的焊透，且两侧角焊缝的外形尺寸应均匀对称。

4.2.6.2 与主机基座相连接的其他各构件（如船底板、肋板、肘板、隔板等）的角焊缝，其焊喉厚度应不小于0.44t_P（t_P见本规范第二篇）。

第3节 焊缝检验与修补

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 本节规定适用于钢质船体结构的焊缝检验与修补。

4.3.2 焊缝质量检查

4.3.2.1 船体结构施焊完工后，应对全部焊缝进行外观检查。在船体分段建造中所产生的焊缝缺陷应在合拢之前修补完毕。

4.3.2.2 焊缝表面应成型均匀、致密、平滑地向母材过渡、无裂纹和过大的增高以及不应有的咬边、气孔、夹渣、焊瘤、弧坑等缺陷存在。出现上述缺陷时，应在焊缝内部质量检查和密性试验之前修补完毕。

4.3.2.3 焊缝的内部质量可采用射线、超声波或其他适当的方法进行无损检测。无损检测的工艺和评定标准应经船舶检验机构同意。

4.3.2.4 船体焊缝无损检测的数量和位置应由船舶检验机构和船厂根据实际情况确定。

4.3.2.5 船舯0.4L范围内强力甲板和外板的射线拍片数量n，一般可按下式计算:

$$n = 0.25(i + 0.1W_T + 0.1W_L) \qquad (4.3.2.5)$$

式中:i——船舯0.4L范围内纵、横向对接焊缝交叉处的总数；

W_T——船舯0.4L范围内横向对接焊缝的总长，m；

W_L——船舯0.4L范围内分段合拢的纵向对接焊缝的总长，m。

射线检测的布片密度应按钢材的材料级别从高到低递减，钢材的材料级别见本规范第二篇第1章的

规定。纵、横向对接焊缝交叉处的布片方向应平行于横向对接焊缝。

当船长不小于60m时，上述范围应扩大到0.6L。

4.3.2.6　船底、舷侧和甲板纵骨的对接接头，在船舯0.4L范围内每八个检查一个，0.4L范围外每15个检查一个。

4.3.2.7　当无损检测发现焊缝内部有不允许存在的缺陷，并认为该缺陷有可能延伸时，则应在其延伸方向（一端或两端）增加检测的范围，直至达到邻近合格的焊缝为止。

4.3.2.8　无损检测的位置和结果应记入报告，提交船舶检验机构审核。

4.3.3　缺陷修补

4.3.3.1　若检查表明焊缝缺陷超过标准允许值时，应对缺陷处进行修补。缺陷的焊补方法应取得船舶检验机构的同意。

4.3.3.2　所有需要焊补的缺陷，在焊补前应彻底清除干净。必要时可用无损检测的方法进行检查，以证实缺陷确已清除。

4.3.3.3　焊缝经修补后应对该处进行外观检查和相应的无损检测。焊缝质量应符合验收标准的要求。

第4节　不锈钢及其复合钢板的焊接

4.4.1　一般要求

4.4.1.1　本节规定适用于奥氏体不锈钢、奥氏体/铁素体双相不锈钢（除另有明文指定外，以下统称为“不锈钢”）及其复合钢板的焊接。其他复层金属材料的复合钢板的焊接将由船舶检验机构另行考虑。

4.4.1.2　除本节另有规定外，不锈钢及其复合钢板的焊接应符合本章第1节的要求。

4.4.2　焊接材料

4.4.2.1　奥氏体不锈钢通常选用其熔敷金属的化学成分与母材基本相当的焊接材料。

4.4.2.2　奥氏体/铁素体双相不锈钢宜选用其熔敷金属的金相结构中奥氏体组织多于铁素体组织的焊接材料，或直接选用相适应的奥氏体不锈钢焊接材料。

4.4.2.3　不锈钢复合钢板的焊接材料应分别适用于相应的基材和复层材。

4.4.2.4　当焊接含氮不锈钢时，可考虑采用含有适量氮气的惰性保护气体。

4.4.3　焊前准备

4.4.3.1　奥氏体不锈钢及其复合钢板的接头设计和焊接工艺的编制，应尽量减少焊接应力的产生。面向腐蚀介质一侧的焊道通常在最后焊接。

4.4.3.2　焊前板材表面应彻底清除油、漆、污物和杂质。

4.4.3.3　邻近焊缝的不锈钢板或复合板复层材的表面应有适当的保护措施，以防焊接过程中飞溅或其他物体沾污或擦伤板材表面。

4.4.3.4　不锈钢及其复合板的坡口应采用机加工或磨削的方法制备。避免采用火焰切割。

复合钢板的坡口的形状应予以特别考虑。加工后应检查坡口表面（包括钝边部分），不应有裂纹和复层脱开现象。

4.4.3.5　复合钢板的对接应以复材为基准对齐，定位焊应焊在基层材料上。

4.4.4　焊接

4.4.4.1　不锈钢宜采用能量集中的焊接方法进行焊接（如熔化极惰性气体保护焊、非熔化极惰性气体保

护焊、等离子弧焊等）。

4.4.4.2　不锈钢焊接层间温度应尽可能低，建议不超过100℃,且最高不超过150℃；焊接工艺参数应遵循认可的焊接工艺，通常应以低热输入、短电弧的方法进行焊接。焊接时应使电弧稳定而快速地直线移动，避免两边摆动。

4.4.4.3　在复合钢板的基材焊缝与复材焊缝之间,建议采用合金元素含量高于复层材的奥氏体不锈钢焊接材料焊制1至2层过渡焊层。紧靠过渡焊层的基材焊道应采用低氢或超低氢的基材焊接材料焊接。

4.4.4.4　焊接复合钢板的过渡层及随其后1层的焊道应采用小直径的焊接材料和小电流施焊，以保持最小的焊缝稀释率。

4.4.4.5　不应在面向腐蚀介质的钢板表面引弧或随意焊接安装临时构件。

4.4.5　焊后处理

4.4.5.1　不锈钢板及复合板两侧的表面应避免使用铁锤矫正。

4.4.5.2　为使不锈钢板及其复合板的焊接区域具有良好的耐腐蚀性能，必要时可按照原材料制造厂的使用说明进行焊后处理（酸化或钝化）。

4.4.6　焊缝检验

4.4.6.1　所有焊缝应进行外观检查。焊缝表面应成型均匀，并平缓地向两侧过渡，焊缝表面不应有裂纹、气孔、未填满、焊瘤和咬边等缺陷。

4.4.6.2　焊缝的内部质量应经无损检测方法检查。无损检测的范围、数量及其所采用工艺和标准应符合船舶检验机构接受的标准和要求。

4.4.7　缺陷修补

4.4.7.1　建议采用机加工的方法清除焊缝中的缺陷。缺陷的焊补方法应取得船舶检验机构同意。

第5节　铝合金的焊接

4.5.1　一般要求

4.5.1.1　本节适用于符合第七篇第8章中可焊铝合金的焊接。

4.5.1.2　铝合金的焊接工艺规程应提交船检部门认可，焊接工艺规程中应包括防止焊接变形和变形矫正的措施。

4.5.1.3　铝合金焊接工艺试验应按本篇第3章有关规定进行。

4.5.1.4　从事铝合金焊接的焊工应经铝合金焊接的操作技能培训和考试，并应取得相应的合格证书。

4.5.2　焊前准备

4.5.2.1　铝合金焊接场地应有防潮、防尘、防寒和防风设施。施工时的风速应小于1.5 m/s。

4.5.2.2　铝合金材料可采用机械或等离子方法进行切割。坡口一般可采用刨或磨等机加工方法制备。若采用其他方法，应经船舶检验机构同意。

4.5.2.3　焊丝、焊缝坡口及其临近区域应彻底清洁（必要时可采用化学方法清洁），并保持干燥。清洁后应尽快进行焊接。通常清洁部位应在24h内施焊，否则应对该部位采取有效的保护措施或重新进行清洁。

4.5.2.4　凡符合下列情况之一者，可考虑对焊接区域进行预热：

.1 当铝合金材料的厚度大于8mm时；

.2 环境温度低于0℃时；

.3 环境湿度大于80%时。

铝合金的预热不宜采用氧—乙炔火焰加热的方法。

铝镁系合金的预热温度通常为50℃±10℃。

4.5.2.5 当采用惰性气体保护焊时，焊前应检查保护气体的成分是否符合工艺规程的要求。

4.5.3 焊接

4.5.3.1 建议采用钨极惰性气体保护焊（TIG）或熔化极惰性气体保护焊（MIG）方法焊接铝合金结构。重要焊缝的两端应装有引弧板和熄弧板。

4.5.3.2 主要对接焊缝应尽量采用倾角小于20°的位置进行平对接焊。

4.5.3.3 为使变形减至最小程度，焊接时应：

.1 单条长焊缝应采用分中对称焊或逐步退焊法；

.2 密集性的多条长焊缝应采用中间向四周对称焊的方法；

.3 在满足设计要求的基础上尽可能不加大焊缝的尺寸。

4.5.3.4 施焊时应保持焊接的连续性。若有中断，引弧前应清洁接缝处，接缝应有一定长度的重叠。多道焊时，应注意前后焊道之间的清洁和道间温度。

4.5.3.5 清理焊缝根部和清除焊缝缺陷应采用铲、刨等机加工方法。

4.5.3.6 对全焊透对接焊缝，在正面焊毕后应对反面清根，直至焊缝没有缺陷为止。

4.5.3.7 多道焊时，在后续焊道进行前应将前道焊缝表面清理干净，道间温度尽可能控制在60℃以下。

4.5.3.8 采用MIG焊时，如喷嘴附有明显的飞溅物，应更换喷嘴或予以清洁。采用TIG焊时，如发现钨极氧化或形状不良，应及时更换钨极或进行修磨。焊接进如钨极触及熔池或焊丝，应立即停止焊接，夹钨焊缝应彻底清除。沾污的焊丝和钨极也应清洁。

4.5.3.9 当焊接钢铝成形接头时，应严格控制焊接的线能量，防止对成形接头产生不良影响。

4.5.3.10 对主要结构的小角度相交部位，一般应在反面开坡口进行焊接，并保证角焊缝的焊脚高度符合设计规定。铝合金结构的变形不宜用铁锤直接锤击矫正。若采用加热矫正，应按铝合金制造厂的说明进行。

4.5.4 焊缝检查和修补

4.5.4.1 完工焊缝应进行外观检查和无损检测，检测的方法和验收标准应经船检部门同意。

4.5.4.2 主要船体结构的焊接无损检测范围由工厂与船舶检验机构商定。建议射线检测范围应不少于主船体对接焊缝的5%。重要结构的角焊缝应经超声波检测，缺陷的评定应符合船检部门接受的标准的要求。

4.5.4.3 焊缝表面不应有裂纹、夹钨、未填满、气孔、过烧和焊瘤等缺陷。板厚小于或等于3mm者，不应有咬边；板厚大于3mm者，咬边深度不应大于0.5mm，其累计长度应不超过单条焊缝长度的10%，且不大于100mm。

4.5.4.4 铝合金的焊补不应超过2次，超过2次的焊补应经船检部门同意。

4.5.4.5 补焊应采用与原焊缝相同的焊接材料和工艺进行。修补后的焊缝应重新进行检验。

第5章　　锅炉及受压容器的焊接

第1节　　通　　则

5.1.1　适用范围

5.1.1.1　本章适用于本规范第三篇第8章所规定结构型式的锅炉及受压容器的焊接。

5.1.1.2　本章规定仅适用于手工、自动或半自动电弧熔化焊的焊接连接。如采用其他方法，应经船舶检验机构同意。

5.1.2　材料

5.1.2.1　焊接结构的锅炉及受压容器所选用的焊接材料应与母材相匹配，并经船舶检验机构认可。

5.1.3　认可

5.1.3.1　锅炉及受压容器的制造厂在首次制造产品或使用新的焊接工艺时，应根据本篇第2章的规定，进行焊接工艺规程认可。其中弯曲试验的压头直径应符合本篇表5.2.3.3的规定。

5.1.3.2　对Ⅲ级受压容器的焊接工艺认可试验，仅需进行正、反弯曲试验、对接接头拉伸试验和断口组织均匀性检查。

5.1.3.3　断口组织均匀性检查的试样按图5.1.3.3所示，其断口应垂直于母材的表面并在焊缝中心线的两侧切割。试验时，将试样弯曲，使其在焊缝处折断，或用落锤法打断。然后目视检查断口，亦可用10倍以下放大镜检查。断口处组织应均匀，且不应有夹渣、气孔和粗晶等缺陷。

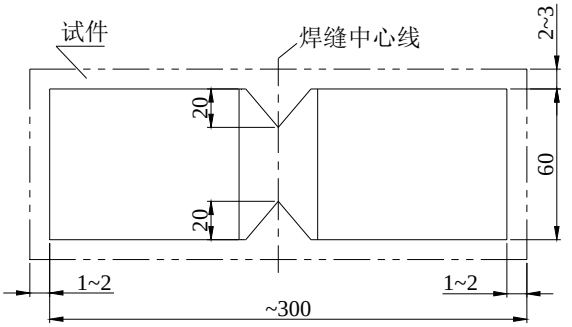


图 5.1.3.3　断口组织均匀性检查试样

第2节　　锅炉与受压容器的产品焊接试验

5.2.1　一般要求

5.2.1.1　除Ⅲ级受压容器外，各级锅炉和受压容器在制造过程中应根据本节规定进行产品焊接试验。锅炉和受压容器的分级见本规范第三篇第8章的有关规定。

5.2.2　试件

5.2.2.1　每个锅炉和受压容器应准备二个试件，试件的材料级别和厚度应与壳体材料相同。试件宽度应不小于150mm，长度应足以提供本篇表5.2.3.1所规定的一整套试样。

5.2.2.2　若焊制二个试件有困难时，经船舶检验机构同意，亦可焊制一个试件，其长度除能按本篇表

5.2.3.1的规定提供一整套试样外，还应有能截取复试试样的备用长度。试件应用定位焊和筒体相连，并使两试板间的焊缝成为筒体壳板纵向焊缝的延续和模拟。

5.2.2.3　环缝一般不需焊制试件。但如筒体上仅有环缝或环缝与纵缝所采用的工艺差别较大时，应焊制环缝模拟试件一个。其试件应能提供本篇表5.2.3.1所规定的一整套试样和所需的复试试样。制造同型锅炉及受压容器时，可按每30m环缝焊制一个试件。

5.2.2.4　试件应采取措施，以减小焊接引起的翘曲变形。对需要热处理的试件应在热处理之前校平。

5.2.2.5　焊接试件所用的方法，工艺和热处理等均应与筒体所采用的方法、工艺和热处理等相同。试件应与筒体一起热处理。在割下试件之前，应由船舶检验机构或其指定的代理人员打上船舶检验机构的钢印。

5.2.3　试样与试验

5.2.3.1　锅炉与受压容器所需制备的试样应按图5.2.3.1和表5.2.3.1的规定截取。

各级锅炉与受压容器的试样　　**表5.2.3.1**

序号	试样名称	锅炉与受压容器名称	
		I级	II级
1	熔敷金属拉伸	有要求	有要求
2	正向弯曲[注]	有要求	有要求
3	反向弯曲[注]	有要求	有要求
4	接头横向拉伸	有要求	有要求
5	断面宏观检查	有要求	有要求
6、7、8	冲击试验	有要求	
注：当试板厚度超过20mm时，改取侧弯试样做侧弯试验。			

5.2.3.2　当试板厚度超过70mm时，应按图5.2.3.2所示取二个熔敷金属拉伸试样。如试样直径无法取为10mm时，则应尽可能取大的实际直径，其标距长度为直径的5倍。

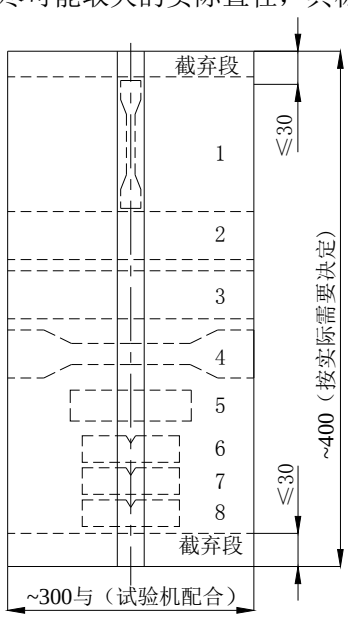


图5.2.3.1　试样截取示意图

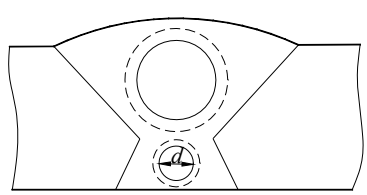


图5.2.3.2　拉伸试样

5.2.3.3　弯曲试验的压头直径和支辊边缘的内间距应符合表5.2.3.3的规定。

弯曲试验的压头直径与支辊间距，mm　　表5.2.3.3

试板规定的最小抗拉强度，MPa	压头直径	支辊边缘的内间距
R_m＜460	2t	4.2t
460≤ R_m＜510	3t	5.2t
注：表中t为弯曲试样的厚度，mm。		

5.2.3.4　除本篇5.2.3.2和5.2.3.3的规定外，试样的制备和试验均应符合本篇第1章第2节的规定。

5.2.4　验收与复试

5.2.4.1　各项试验的结果应符合表5.2.4.1的规定。

5.2.4.2　任一试样的试验结果不合格时，应查明其不合格的原因，并另行截取二个试样进行复试。

5.2.4.3　如原先已备有二个试件者，则应从第二个试件上截取复试试样。

5.2.4.4　若初次试验不合格的原因是由于局部或偶然缺陷所造成，且复试结果又合格时，则可同意复试的结果。

产品焊接试验的要求　　表5.2.4.1

试验项目	锅炉与受压容器	
	I级	II级
熔敷金属拉伸试验	（1）抗拉强度 R_m:不小于母材规定的最小抗拉强度，且不大于母材规定的最小抗拉强度加上145MPa； （2）伸长率 A_5: A_5 ≥（980－ R_m）/21.6，且不低于母材规定最小伸长率的80%。	
弯曲试验	按本篇表5.2.3.3的规定，选取压头直径和支辊边缘内间距。压头垂直于试样加压直至试样完全弯曲为止。试样弯曲后，试样受拉表面出现的裂纹或其他缺陷的长度应不大于3mm。	
接头横向拉伸试验	对接接头的抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度。	
断面宏观检查	不应有未焊透、未熔合、较大的夹渣或其他缺陷。	
冲击试验	常温冲击试验，其平均冲击功应不低于27J。	不要求冲击试验。

第3节　　锅炉与受压容器的制造

5.3.1　一般要求

5.3.1.1　除另有规定外，锅炉与受压容器壳体的主要焊缝均应采用对接焊。

5.3.2　坡口

5.3.2.1　锅炉与受压容器各构件的待焊接板边应有良好的坡口。加工坡口可采用气割、机加工、凿削或打磨等方法。当采用气割方法时，气割的坡口表面应用机加工或打磨的方法清除所有的熔渣和氧化物。

5.3.3　对接焊缝的拼接

5.3.3.1　锅炉与受压容器壳体对接焊缝的两板面之间，于任何一点上的错边应不大于板厚的10%，且对纵缝应不超过3mm，对环缝应不超过4mm。

5.3.3.2　当壳板系由不同厚度的板（管板及包板）制成时，则应使其各自板厚的中心线形成一个连续的圆，具体要求如下:

.1 对于纵向焊缝，较厚板的边缘应以机加工内外面等量削斜，在环向方向上斜边的宽度应不小于厚度差的2倍，使两板边沿在焊缝处具有相等的厚度。对于环缝，也应以类似的方法对厚板进行削斜，在纵向方向上斜边的宽度与上述要求相同；

.2 对于环缝，如整个周向板厚的厚度差是相等的，则较厚板的边缘应以机加工削斜，斜边的宽度不小于厚度差的四倍，使两板边沿在环缝处具有相等的厚度。

5.3.4 焊接

5.3.4.1 施焊前应清除焊件坡口和焊接边沿至少为25mm区域内的表面上的氧化物、潮湿、油污等影响焊接质量的污物。影响焊接质量的定位焊和边沿缺陷应在施焊前铲除。

5.3.4.2 除另行批准外，锅炉及受压容器的焊接应选用低氢或超低氢焊接材料。

5.3.4.3 锅炉与受压容器的壳体焊缝一般应采用双面焊。焊接封底焊道前应进行清根。如因结构特殊，确实无法进行封底焊时，经船舶检验机构同意，可允许安装垫板进行焊接，但垫板的材料成分应与筒体的材料成分相同。

5.3.4.4 采用单面焊时，应采用适当措施，保证焊缝根部能完全焊透，并使因焊缝金属所产生的收缩变形为最小。

5.3.4.5 焊接应尽可能安排在平焊的位置上进行。对于环缝应采取措施，以保证符合此项要求。

5.3.4.6 在进行多道焊时，前后焊道之间应注意清渣。由于某种原因中断焊接时，应在重焊前对中断焊接的焊缝处进行清洁和铲除熔渣，使后焊的熔敷金属能与板材和先前的熔敷金属完全熔合。

5.3.4.7 如由于接头的约束力，板材的厚度以及被焊材料的成分而有预热的要求时，应采用预热和保持焊道间最低温度的焊接工艺。

5.3.4.8 焊缝外表面可以和筒体壳板表面平齐，也可以做成使焊缝中心的总厚度稍大于板厚，但焊缝增强高的截面变化应逐渐过渡。

5.3.4.9 锅炉及受压容器筒体上的短管、法兰和座板，一般应采用双面连续的角接焊缝，且在热处理以前装焊完毕。

5.3.4.10 筒体壳板上所焊接的拉攀、支架、支管、人孔框架以及开孔周围的复板等附件，应与筒体壳板完全贴合，且应在筒体热处理前焊装完毕。如确因结构需要而必须在热处理以后焊装，应征得船舶检验机构的同意。

5.3.4.11 当上述附件连同其他用于支撑内、外部构件的附属装置焊接到筒体壳板上时，其焊接工艺应与筒体壳板所要求的相同，其材料成分亦应与筒体壳板相当。

第4节 热处理

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 锅炉和受压容器连同其试件应在焊制完毕后并在液压试验之前进行热处理。

5.4.1.2 下列锅炉与受压容器，可免作焊后热处理:

.1 Ⅰ级锅炉与受压容器，当采用碳钢或碳锰钢，其焊接构件的板厚小于20mm时；

.2 Ⅱ级锅炉与受压容器，当采用碳钢且其焊接构件的板厚小于30mm、工作温度不大于150℃时；或采用碳锰钢且其焊接构件的板厚小于20mm、工作温度不大于150℃时；

.3 所有Ⅲ级受压容器。

5.4.2 **热处理炉**

5.4.2.1 热处理炉应具备以下条件:

.1 具有适宜的控制温度的设备;

.2 装有测量和记录炉内温度变化的高温温度计。

5.4.3 **热处理**

5.4.3.1 锅炉与受压容器一般应整体进行热处理。若因条件限制无法进行整体热处理时，可允许分段热处理，但应保证焊缝的整个长度均受到热处理。

5.4.3.2 热处理应包括将锅炉与受压容器筒体缓慢且均匀地加热到适合于消除内应力的温度，并保温适当的时间，然后在炉内缓慢均匀地冷却至400℃以下，最后置于静止的空气中进行冷却。

5.4.3.3 热处理的温度、保温时间、加热和冷却速度的选择应使锅炉与受压容器的残余应力得以消除，性能得到改善，而不能使材料性能下降。

5.4.3.4 对用碳钢或碳锰钢制造的锅炉或受压容器，消除残余内应力热处理的温度和保温时间，建议按表5.4.3.4的规定进行。对合金钢，热处理应根据所选用的材料确定，并应经船舶检验机构承认的机构同意。

消除残余应力热处理的温度与保温时间 表5.4.3.4

钢级	温度，℃	时间，h
360、410、460、490	580～620	按每25mm厚度为1h计，但至少为1h

第5节 检验与修补

5.5.1 **一般要求**

5.5.1.1 锅炉与受压容器的检验应包括筒体不圆度测量、焊缝外观检查、焊缝内部质量检验以及筒体液压试验。

5.5.1.2 锅炉与受压容器的液压试验应按本规范第三篇第8章第7节的规定进行。

5.5.2 **筒体不圆度测量**

5.5.2.1 锅炉与受压容器在最终热处理前、后应检查其筒体不圆度和外形尺寸。筒体不圆度是指在同一截面上所测得的最大和最小的内径相差值。

5.5.2.2 在测量筒体不圆度时，允许将筒体平放或竖放。平放测量时，应将筒体绕其纵轴旋转，每60°测量直径一次，每一直径两次测得的值应加以平均，然后求得该筒体的不圆度数值。筒体不圆度应符合表5.5.2.2的规定。

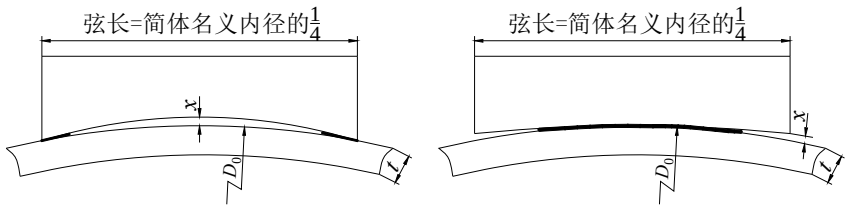
筒体不圆度偏差 表5.5.2.2

锅炉与受压容器的名义内径 D_i，mm	筒体不圆度允差值 $\Delta\phi$，mm	外形轮廓的最大偏差x，mm
$D_i \leqslant 300$	$\leqslant 0.01\,D_i$	1.2
$300 < D_i \leqslant 460$		1.6
$460 < D_i \leqslant 600$		2.4
$600 < D_i \leqslant 900$		3.2
		4.0

900＜ D_i ≤1220 1220＜ D_i ≤1520 1520＜ D_i ≤1900		4.8 5.6
1900＜ D_i ≤2300 2300＜ D_i ≤2670 2670＜ D_i ≤3950	≤19	6.4 7.2 8.0
3950＜≤4650	≤19	0.002 D_i
＞4650	≤0.004 D_i	0.002 D_i

5.5.2.3　筒体外形轮廓偏差是以具有理论轮廓的“设计型线量规”测得的筒体实际轮廓与理论轮廓的偏差。“设计型线量规”的弦长等于筒体名义内径的1/4。测量时，在量规的内侧（见图5.5.2.3（1））及外侧（见图5.5.2.3（2））测量与筒体实际轮廓的差值 x，此项差值应符合本篇表5.5.2.2的规定。

5.5.2.4　在筒体焊缝上不得有平坦或成锐角的外形。任何局部失圆应均匀过渡。



(1)　　(2)

D_0—简体名义外直径；t—简体壳板厚度；x—简体外轮廓的最大偏差

图5.5.2.3　设计型线量规图

5.5.2.5　筒体焊接后实际的外部周长和计算的理论周长（根据筒体名义内径和实际板厚确定）的偏差值，不得大于表5.5.2.5的规定。

筒体外周长偏差　　表5.5.2.5

外径（名义内径加上两倍板厚）, mm	筒体周长的偏差值，mm
300～600	≤±5
＞600	≤±0.25%筒体周长

5.5.3　外观检查

5.5.3.1　筒体焊缝的表面应均匀、致密，不应有裂纹、焊瘤、咬边、气孔、夹渣、弧坑以及未填满等缺陷存在。如有上述缺陷，应在无损检测之前清除。

5.5.3.2　筒体表面不得有伤痕，筒体上的焊疤痕迹等均应铲除或在距筒体表面3mm～5mm处割除，然后打磨平整，并应在热处理之前完成。

5.5.4　焊缝无损检测

5.5.4.1　I和II级锅炉与受压容器的焊缝应作无损检测，无损检测的要求应符合表5.5.4.1的规定。无损检测的工艺应经船舶检验机构同意。

锅炉与受压容器检测要求　　表5.5.4.1

检测类别	锅炉与受压容器	
	I级	II级
射线检测	所有筒体、鼓筒、联箱、接管的纵缝和环缝[注]，连同试件应作100%检查。	试件应作100%的检查； 对接缝应作大于10%的抽查。
	炉胆、燃室以及其他类似的受压部件应作局部抽查。	
超声波检测	板厚超过50mm，经船舶检验机构同意，可用超声波代替射线进行检测。必要时仍应选择局部焊缝进行射线检测。	
磁粉或渗透检测	管柱、腹板、短管和支管等焊缝未经射线检查者，应作10%磁粉或渗透检测的抽查。	
注：联箱、接管及其他筒形构件，当外径≤170mm时，其模压接头的环缝应作10%的抽查。		

5.5.4.2　若焊缝表面及其附近区域的光洁度会妨碍无损检测的准确性，应将这些部位打磨到规定的粗糙度。

5.5.4.3　射线检测的灵敏度应符合下列规定:

.1　采用孔型象质计时，在射线照片上能看到的最小孔径；对焊缝厚度不超过50mm者，应不大于焊缝厚度的3%；对焊缝厚度超过50mm者，应不大于焊缝厚度的2.5%；

.2　采用金属丝型象质计时，在射线照片上能看到的金属丝最小直径；对焊缝厚度为10mm～50mm者，应不大于焊缝厚度的1.5%；对焊缝厚度为50mm～200mm者，应不大于焊缝厚度的1.25%。

5.5.4.4　每一张射线透视底片的两端均应放置象质计，并应尽可能放在被检焊缝的射线源一侧。

5.5.4.5　超声波和磁粉检测的灵敏度应根据具体检测部位而定，并应经船舶检验机构同意。

5.5.4.6　无损检测的焊缝，其质量应按船舶检验机构同意的标准进行评定。

5.5.5　**缺陷修补**

5.5.5.1　焊缝经无损检测后发现有不允许存在的缺陷时，应确定缺陷的范围。超标缺陷应予以清除，并重新焊补。

5.5.5.2　在抽查的焊缝中发现有不允许存在的缺陷时，应在该被检焊缝所代表的焊缝长度上任选二处进行复查。如复查合格，则将原焊缝中的缺陷铲除，重新焊补。如复查仍不合格，则应:

.1　将该被检焊缝所代表焊缝的整个长度铲除干净，重新焊接。然后作为新的焊缝提交进行焊缝抽查，而与此焊缝有关的试件也应进行类似的处理；或

.2　对所代表的整个长度进行检查，凡有缺陷之处均应进行修补，并对所有修补处重新进行检查。

5.5.5.3　焊缝修补工艺应经船舶检验机构同意。焊缝缺陷的修整和焊补应在焊后热处理之前完成。焊补后重新检验的结果应使船舶检验机构满意。

第6章　　重要机件的焊接

第1节　　通　　则

6.1.1　适用范围

6.1.1.1 本章适用于柴油机、减速齿轮箱以及废气涡轮增压器等重要机件和基座的焊接。

6.1.2　材料

6.1.2.1　所选用的焊接材料应按本篇第3章的有关规定进行认可。

6.1.3　焊接工艺认可

6.1.3.1　重要的焊接构件在施工前，应将本篇2.1.2规定的资料提交船舶检验机构审查。

6.1.3.2　若需进行焊接工艺认可试验，制造厂应按本章第2节和第3节的有关规定模拟实际构件的工艺条件，焊制具有代表性的焊接接头，进行焊接工艺认可试验。

6.1.4　结构

6.1.4.1　承受交变和冲击负荷的主要构件通常应采取开坡口的接头型式，以保证全厚度焊透。

6.1.4.2　两种不同厚度的构件对接时，应符合第二篇1.4.3.1的规定。

6.1.4.3　形状复杂的部件，如采用焊、铸混合结构时，应避免焊缝成锐角相交或截面突变。

6.1.5　预热

6.1.5.1 在下列情况下应考虑采用适当的焊前预热处理:

.1　当焊接大型构件和复杂构件以及设计图纸上特别规定的重要机件时；

.2　当在环境温度低于0℃或湿度较大的环境下进行焊接时；

.3　当被焊构件或机件材料的含碳量大于0.23%或碳当量 C_{eq} 大于0.41%时，

$$C_{eq}=\mathrm{C}+\frac{\mathrm{Mn}}{6}+\frac{\mathrm{Cr+Mo+V}}{5}+\frac{\mathrm{Ni+Cu}}{15} \qquad (6.1.5.1.3)$$

第2节　　转子轴的焊接

6.2.1　一般要求

6.2.1.1　本节适用于废气涡轮增压器转子轴的焊接。

6.2.1.2　转子轴在焊接前应均匀地进行预热，在焊接过程中应严格注意保温。预热的温度可根据所选用的材料决定。

6.2.2　焊接工艺认可试验

6.2.2.1　施焊前应按船舶检验机构审查同意的焊接工艺规程焊制试件，进行熔敷金属拉伸试验、接头横向拉伸试验、正弯和反弯试验以及断面宏观组织检查。

6.2.3　焊后热处理

6.2.3.1　转子轴焊接后应进行适当的热处理。热处理的要求应根据所选用的材料和焊接方法确定，且应

经船舶检验机构认可。

6.2.3.2　焊缝的内、外部缺陷均应在热处理以前修补完毕。

6.2.4　无损检测

6.2.4.1　转子轴在精加工前应经磁粉检测或其他有效方法进行表面检查。如发现裂纹及其他缺陷，应予以清除和修补，并进行焊后热处理以消除应力。

第3节　　基座、机架、气缸与壳体等构件的焊接

6.3.1　一般规定

6.3.1.1　本节适用于柴油机的基座、机架、曲轴箱、气缸体以及废气涡轮增压器和减速齿轮箱的壳体等构件的焊接。

6.3.2　焊接工艺认可试验

6.3.2.1　对柴油机的基座、机架等构件，应制备模拟接头进行拉伸、弯曲、冲击和断面宏观检查试验，试验结果要求为:

拉伸试验——不低于母材规定的最小抗拉强度;

冲击试验——不低于母材的最小平均冲击功;

弯曲试验——按本篇表5.2.4.1规定;

宏观检查——不得有裂纹、未焊透、未熔合以及不应存在的咬边、夹渣等缺陷。

6.3.3　焊前准备

6.3.3.1　构件的坡口应采用气割或机加工方法加工至所需要的形状和粗糙度。

6.3.3.2　构件拼装应准确，其焊缝的坡口型式、间隙均应符合要求。

6.3.3.3　焊接前应清洁焊缝坡口边缘，不允许有氧化物、熔渣和影响焊接质量的油污等存在。

6.3.3.4　焊接应尽可能采用平焊位置，并应避免不良环境条件的影响。

6.3.4　焊后热处理

6.3.4.1　碳钢和碳锰钢制成的基座，应按本篇5.4.3.4规定的温度和保温时间进行焊后热处理。

6.3.4.2　合金钢的热处理方法应提交船舶检验机构审核。

6.3.5　无损检测

6.3.5.1　构件在热处理完成后，应按下列规定对焊缝进行无损检测:

.1　柴油机焊装组合的横梁构件的焊缝，应采用经船舶检验机构同意的无损检测方法进行检查;

.2　其他重要机件的焊缝，如船舶检验机构认为必要时，也可要求无损检测。

第7章　压力管系的焊接

第1节　通　则

7.1.1　适用范围

7.1.1.1　本章规定适用于采用手工、自动或半自动电弧焊以及经船舶检验机构认可的其他方法所焊接的管子对接接头、支管和法兰连接的接头。如使用氧——乙炔气体焊，则仅限于焊接直径不超过100mm或壁厚不超过9.5mm的管子对接接头。

7.1.2　焊接工艺认可

7.1.2.1　对于首次焊制或采用新的焊接工艺时，应按本篇2.1.2的规定将下述连接接头的焊接工艺规程提交船舶检验机构审核:

.1　法兰和管子的连接；

.2　阀箱和管子的连接；

.3　附件和管子的连接；

.4　管子和管子的对接；

.5　分支管接头的焊接等。

7.1.2.2　工厂应模拟实际构件的工艺条件，焊制具有代表性的焊接接头试件，进行焊接工艺认可试验。

7.1.2.3　试验焊缝应按本章第3节的规定进行质量检查，并在船舶检验机构指定的部位切成剖面。然后对每一剖面的表面进行加工、浸蚀并检查焊缝及热影响区的缺陷。

7.1.2.4　对合金钢的钢管接头及分支管接头还应作破坏性试验和按本篇第2章第2节和第3节的有关规定进行力学性能试验。对碳钢、碳锰钢的管接头及支管接头，船舶检验机构认为必要时，也可要求进行力学性能试验，以验证接头是否具有足够的强度。

第2节　管子接头的焊接

7.2.1　一般要求

7.2.1.1　焊缝应远离管子弯曲处和膨胀补偿部分，焊缝应布置在受弯矩与交变负荷作用最小的位置。

7.2.1.2　管系的焊接应尽可能在车间里进行。确定在船上进行的焊接，应考虑有足够的空间以进行预热、焊接、热处理和检查焊接接头。

7.2.1.3　施焊前应清除焊缝边缘上的氧化物、油污和水迹等。焊缝间隙和坡口应符合焊接工艺规程要求。

7.2.2　焊接

7.2.2.1　焊件装配时，应保证轴向对准，尽可能减少其表面错边。通常Ⅰ类和Ⅱ类管系的对准偏差应不大于下列要求:

.1　对带固定垫环的管子：0.5mm；

.2　对不带固定垫环的管子：

.2.1　内径小于150mm，厚度不大于6mm时，为1mm或$t/4$，取较小值；

.2.2　内径小于300mm，厚度不大于9.5mm时，为1.5mm或 t /4，取较小值；

.2.3　内径不小于300mm，厚度不大于9.5mm时，为2.0mm或 t /4，取较小值。

t 为管壁厚度。

7.2.2.2　管子接头的预热温度应根据其材料的化学成分和管壁厚度确定。预热温度一般应符合表7.2.2.2的要求。

管接头的预热温度　　表7.2.2.2

钢材种类	较厚部分的厚度，mm	最小预热温度，℃
碳钢及碳锰钢（C＋Mn/6≤0.4）	≥20[注2]	50
碳钢及碳锰钢（C＋Mn/6＞0.4）	≥20[注2]	100
0.3Mo	＞13[注2]	100
1Cr0.5Mo	＜13	100
	≥13	150
2.25CrMo及0.5Cr0.5Mo0.25V[注1]	＜13	150
	≥13	200
注1：对该类材料，如船舶检验机构对焊接工艺认可中的硬度试验结果认为可以接受，则可免除厚度为6mm及以下材料的预热。 注2：当环境温度低于0℃时，不论厚度如何，均应按最小预热温度进行预热。特别情况船舶检验机构将特殊考虑。 注3：表中数值为低氢的焊接方法。如采用非低氢的焊接方法，则应考虑采用较高的预热温度。		

7.2.2.3　对接接头的焊缝与母材过渡应平缓且均匀。

第3节　焊接质量检查

7.3.1　一般要求

7.3.1.1　管子焊接后应清除外部焊渣，进行外观检查、无损检测和液压试验。液压试验按第三篇第2章的规定进行。

7.3.2　外观检查

7.3.2.1　焊缝表面不应有裂纹、焊瘤、气孔、咬边以及未填满的弧坑和凹陷存在。如有上述缺陷，应进行修补。

7.3.3　无损检测

7.3.3.1　Ⅰ类受压管系的对接接头应按表7.3.3.1的规定进行射线检测；Ⅱ类受压管系的对接接头在船舶检验机构指定的位置进行射线检测。射线检测的灵敏度应符合本篇5.5.4.3的规定。

I类受压管系对接焊缝的射线检测范围　　表7.3.3.1

管子外径，mm	检测范围
≤76	由船舶检验机构指定位置抽查
＞76	焊缝100%进行检查

7.3.3.2　如用超声波检测或其他等效检查方法代替射线检测，应经船舶检验机构同意。

7.3.3.3　Ⅰ类受压管系的填角焊缝应按表7.3.3.3的规定进行磁粉检测。Ⅱ类受压管系的填角焊缝在船舶

检验机构指定的位置进行磁粉检测。

I类受压管系填角焊缝的磁粉检测范围　　表7.3.3.3

管子外径，mm	检测范围
≤76	由船舶检验机构指定位置抽查
＞76	焊缝100%进行检查

第4节　焊后热处理

7.4.1　一般要求

7.4.1.1　碳钢和碳锰钢钢管和组合分支管，在下列情况下应进行焊后消除应力的热处理:

.1　钢管和组合分支管的含碳量超过0.23%；

.2　钢管和组合分支管的含碳量不超过0.23%，但壁厚超过20mm的Ⅰ类受压管或壁厚超过30mm的Ⅱ类受压管。

7.4.1.2　所有合金钢钢管和组合分支管，在下列情况下，均应进行适当的热处理:

.1　用电弧焊连接的；

.2　经加热成形或弯管加工的；

.3　冷弯成形而弯心半径小于3倍管子外径的（弯心半径从弯管内侧边缘测量）。

7.4.1.3　采用氧—— 乙炔气体焊接的管子，焊后均应进行正火—— 火处理。当材料为碳钢或碳锰钢时，也可采用正火处理。

7.4.1.4　碳钢、碳锰钢的消除应力热处理温度为580℃～620℃；保温时间按每25mm的管壁厚度为1h选取。合金钢消除应力热处理的温度应根据材料成分确定，并经船舶检验机构同意。