

指导性文件  
GUIDANCE NOTES  
GD04-2017



中国船级社  
船舶焊接检验指南

2017

生效日期：2017年5月1日

北京

# 目录

<b>第 1 章 总则</b> .....	<b>4</b>
第 1 节 通则.....	4
<b>第 2 章 焊接材料</b> .....	<b>5</b>
第 1 节 一般规定.....	5
第 2 节 焊接材料试验.....	5
第 3 节 焊接材料选用原则.....	8
<b>第 3 章 焊工资格考试</b> .....	<b>12</b>
第 1 节 一般规定.....	12
第 2 节 铜合金焊工考试的特殊要求.....	13
第 4 节 钛合金焊工考试的特殊要求.....	15
<b>第 4 章 焊接工艺认可</b> .....	<b>18</b>
第 1 节 一般规定.....	18
第 2 节 不锈钢和不锈钢复合板焊接工艺认可.....	21
第 3 节 铜合金管焊接工艺认可.....	23
第 4 节 钛合金焊接工艺认可.....	25
第 5 节 特种形式焊接工艺认可.....	26
<b>第 5 章 船舶结构焊接工艺设计</b> .....	<b>40</b>
第 1 节 一般规定.....	40
第 2 节 船体建造.....	41
第 3 节 船体焊缝布置和典型结构节点.....	41
<b>第 6 章 船体结构的焊接</b> .....	<b>48</b>
第 1 节 一般规定.....	48
第 2 节 船体构件的焊接.....	52
第 3 节 不锈钢钢板的焊接.....	54
第 4 节 铝合金的焊接.....	57
第 5 节 铜合金螺旋桨的补焊.....	60
第 6 节 奥氏体不锈钢复合钢的焊接.....	61
第 7 节 钢-铝过渡接头的焊接 .....	62
第 8 节 不锈钢钢管的焊接.....	65

<b>第 7 章</b>	<b>焊接检验</b>	<b>75</b>
第 1 节	一般规定	75
第 2 节	船体结构无损检测	77
第 3 节	检测前准备和外观检查	77
第 4 节	射线检测	79
第 5 节	超声波检测	82
第 6 节	磁粉检测	84
第 7 节	渗透检测	87
附录 7A	船舶及其机械用锻钢件的无损检测	89
附录 7B	船舶及其机械用铸钢件的无损检测	100
附录 7C	无损检测报告示例	106

# 第 1 章 总则

## 第 1 节 通则

### 1.1.1 目的

1.1.1.1 焊接是现代船舶建造或修理过程中极为重要的一个环节。为了保证船舶焊接的整个过程中所涉及的相关技术因素均得到适当控制，特制订本指南。

1.1.1.2 本指南系CCS《材料与焊接规范》第3篇的补充，供涉及船舶焊接的相关各方在实际操作时可得到实用的建议。

1.1.1.3 除与CCS《材料与焊接规范》要求相同者外，本指南为建议性要求。当涉及的相关方根据自己的经验有更好的选择或有合同规定时，可根据其实际经验和合同进行相关的焊接设计、评定和检验。

### 1.1.2 适用范围

1.1.2.1 本指南适用于与船舶建造与修理相关的焊接材料制造、焊工考试、焊接工艺设计、焊接工艺认可、船体装配与焊接、焊缝无损检测等相关检验工作。

1.1.2.2 本指南主要适用于以满足CCS《材料与焊接规范》中规定的钢和铝为母材的船体结构的焊接，也包括了CCS《材料与焊接规范》中涉及的其他金属材料的船用机械或设备的焊接。

1.1.2.3 本指南适用于造船业常用的各种焊接方式，如焊条电弧焊、埋弧焊、熔化极和非熔化极气体保护焊、气电立焊等。

1.1.2.4 本指南适用于船体结构的对接焊缝、全熔透或非全熔透的T型、L型和十字型焊缝，以及填角焊缝。

### 1.1.3 焊工

1.1.3.1 从事船舶和海上设施焊接工作的焊工应经相关知识的专门培训，并通过考试获得焊工资格证书。

1.1.3.2 持有CCS颁发资格证书的焊工，应在其资格证书规定的范围内进行相应的焊接工作。

### 1.1.4 试验室与试验装置

1.1.4.1 与认可相关的焊接试验应在本社接受的试验室中进行。试验室应配备足够的设备和称职的人员，试验装置应保持良好的状态，满足使用要求。

1.1.4.2 进行化学成分分析、力学性能试验及其他需要计量试验的试验室应满足试验室计量认证要求。与此相关的试验装置至少每年一次由CCS接受的机构或组织进行校核，被检验的试验机应能溯源到国家计量基准。

### 1.1.5 检验员和试验人员

1.1.5.1 工厂从事焊接检验的人员应经专业基础知识培训，具有较丰富的焊接检验的经验。

1.1.5.2 从事试验的人员应具有相关的专业知识，并适于岗位工作的要求。

## 第 2 章 焊接材料

### 第 1 节 一般规定

#### 2.1.1 适用范围

2.1.1.1 本章适用于船舶、海上设施和船用产品用焊接材料的制造、检验和使用。

2.1.1.2 对上述产品焊接中使用的辅助材料(如保护气体等)应符合公认的标准。其中 CO<sub>2</sub> 纯度不低于 99.8%。

#### 2.1.2 对焊接材料制造厂的要求

2.1.2.1 焊接材料制造厂应建立有效的质量控制制度，并保证以下环节的质量得到控制：

- (1) 对原材料的控制；
- (2) 对制造过程的控制；
- (3) 对标识的控制；
- (4) 对最后检验、包装和贮存的控制；
- (5) 对焊接和性能试验的控制；
- (6) 对不合格材料和产品的控制。

2.1.2.2 焊接材料出厂前应按公认标准进行批次检验，并应向使用厂提供质量证明书。

#### 2.1.3 对焊接材料的包装、保管和使用要求

2.1.3.1 焊条、焊丝或焊剂应按规定的重量或根数(仅对焊条)分包包装。这种包装应做到密封防潮，并能保证其存放在干燥仓库中至少一年内不受潮、变质报废(药芯焊丝为半年)。

2.1.3.2 焊接材料的包装外面一般有下列标记：材料等级、型号、牌号、生产批号、生产日期及制造厂名等。焊条还应在靠近夹持端的药皮上印有焊条型号或牌号。

2.1.3.3 焊接材料的保管应符合下列条件：

- (1) 焊接材料应在干燥通风良好的室内仓库中存放。贮存库内不允许放置有害气体和腐蚀性介质；
- (2) 贮存库内应设置温、湿度计，推荐环境温度不低于 5℃，相对湿度不超过 60%；
- (3) 焊接材料不宜直接放在地面上，应放置在离地面和墙壁一定距离的架子或垫板上，以保持空气流通；
- (4) 焊接材料应按种类、牌号、批次、规格和入库时间分类堆放，并有明确标识；
- (5) 搬运过程要轻拿轻放，防止包装损坏。

2.1.3.4 焊条、焊剂等焊接材料在使用前应按制造厂推荐的焙烘温度和保温时间进行烘干，并置于 100℃~150℃保温箱中随用随取。

2.1.3.5 焊接材料使用时应注意以下几点：

- (1) 低氢焊条使用时应采用保温筒，且放置时间不宜超过 4 小时。
- (2) 焊条或焊剂在 100℃~150℃低温烘箱中恒温保存时间不得超过 7 天，否则应重新焙烘。对低氢焊条，回烘次数不宜超过 2 次。酸性焊条可按制造厂推荐的要求处理。
- (3) 有些真空包装的焊条可直接使用，不必烘干。但应随用随拆包，在空气中暴露时间过长后应按制造厂推荐的烘干条件进行再烘干。
- (4) 气保护焊焊丝开包后应在 2 天内用完。当焊丝需放在送丝机内过夜时，应采取适当措施减少与空气中的湿气接触。

### 第 2 节 焊接材料试验

#### 2.2.1 一般要求

2.2.1.1 对一般船用焊接材料应符合《材料和焊接规范》第 3 篇第 2 章的试验及验收要求。

2.2.1.2 对铜及铜合金焊接材料、单面焊临时衬垫及钎焊材料，除产品合同中规定外，试验及验收要求应符合本节规定。

2.2.1.3 对 2.2.1.1 和 2.2.1.2 规定以外的焊接材料，应将有关技术材料提交 CCS，经相关试验验证后方可使用。

## 2.2.2 铜及铜合金焊接材料试验

2.2.2.1 本节涉及的铜及铜合金焊接材料主要包括铜镍铁焊条和用于铜合金螺旋桨补焊的铜合金焊材。船用铜及铜合金焊条和焊丝均应进行熔敷金属和对接焊试验。

2.2.2.2 熔敷金属试验要求如下：

(1) 以制造厂申请认可的最大直径的焊条或焊丝焊制一熔敷金属试件；

(2) 所用母材在化学成分上应与焊缝金属相适应。试板厚度为 20mm，长度不小于 200 mm，具体坡口形式和尺寸见图 2.2.2.2(2)；

(3) 按制造厂推荐的焊接条件以多道焊方法在平焊位置焊接；

(4) 从每一试件上截取 1 个纵向拉伸试样及熔敷金属化学分析试样。

2.2.2.3 对接试验要求如下：

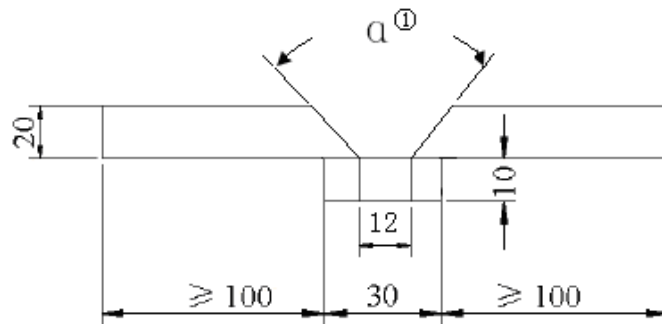
(1) 按焊接材料制造厂推荐的焊接位置各制备一个板厚为 10mm~12 mm 的试件。经 CCS 同意，平焊和立焊试验满足要求可免除横焊试验；

(2) 对接试件用母材按相似的化学成分和力学性能的原则选用，常用材料见表 2.2.2.4(2)；

(3) 各焊接位置所用焊条或焊丝直径要求分别见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 2 章的相关要求；

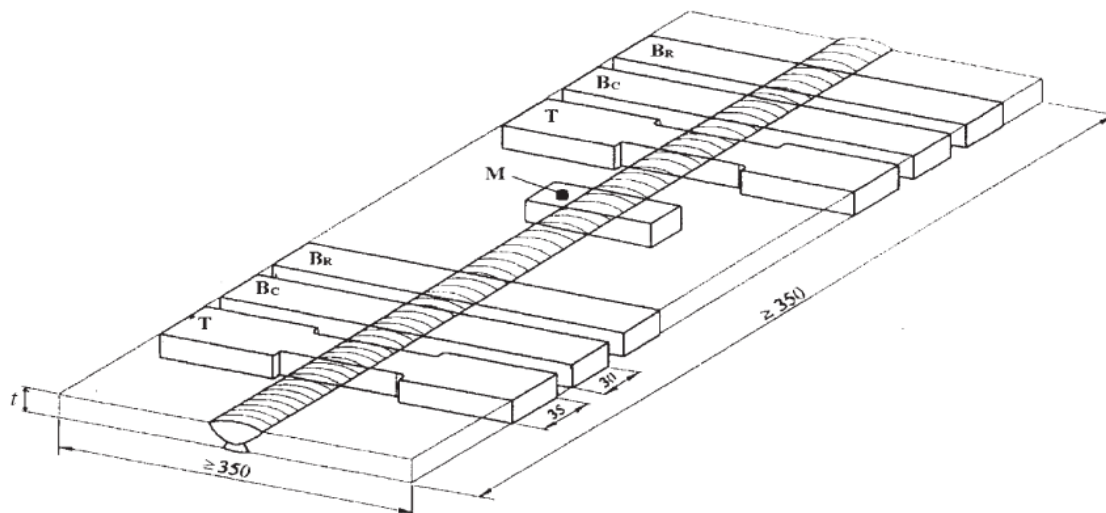
(4) 按制造厂推荐的焊接条件进行焊接，所有对接焊试件均应清根；

(5) 每个试件截取 2 个横向拉伸、4 个弯曲试样(正、反弯各 2 个)和 1 个宏观断面试样，截取位置可参照图 2.2.2.3(5)所示。



注：①铜镍铁合金为 $60^\circ$ ，其余铜合金为 $60^\circ \sim 90^\circ$

图 2.2.2.2 (2) 熔敷金属试件坡口形式和尺寸



T——横向拉力试样 Bc——正弯试样 Br——反弯试样 M——宏观断面观察试样  $t=10\text{mm} \sim 12\text{mm}$

注：1. 坡口应为 $70^\circ$ 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 2.2.2.3(5) 对接焊试件和试样位置

2.2.2.4 铜及铜合金焊接材料验收准则如下：

(1) 熔敷金属化学成分报告中应包括所有重要元素的含量。试验结果应不超出制造厂所规定的范围。

(2) 熔敷金属和焊接接头的力学性能应符合表 2.2.2.4(2)要求。对表中未列出的材料拉力试验应满足相应母材的要求。

铜及铜合金焊接材料熔敷金属和焊接接头的力学性能 表 2.2.2.4(2)

焊接材料级别 <sup>①</sup>		CuNi-A	CuNi-B	SCu1	SCu2	SCu3	SCu4
试验用母材牌号		铜镍铁合金 90/10	铜镍铁合金 70/30	Cu1	Cu2	Cu3	Cu4
拉力试验	抗拉强度 $R_m$ 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	270	360	370	410	500	550
	屈服强度 $R_{eH}$ 不小于 (N/mm <sup>2</sup> )	100	120	175	175	245	275
	伸长率 $A_5$ 不小于 %	30	30	20	20	16	18
弯曲试验	压头直径 $d$ 不小于 (mm)	4t <sup>②</sup>				③	③
	弯曲角度 $\alpha$	180°					
	试验要求	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：①CuNi-A、CuNi-B 分别表示含 Ni 量为 10%和 30%的焊接材料；SCu1~SCu4 分别表示适用于 Cu1~Cu4 补焊的焊接材料。

②t 为板厚。

③按公式  $d = \frac{(100 \times t)}{A_5} - t$  计算的值

### 2.2.3 单面焊临时衬垫试验

2.2.3.1 单面焊临时衬垫应进行衬垫材料性能试验、铝箔胶粘带性能试验和适用焊接方法的焊接工艺性能试验。

2.2.3.2 对陶质衬垫，不同成分的衬垫块应分别进行材料性能试验，包含吸潮率试验、体积密度试验、耐火度试验和抗折强度试验，试验方法应符合公认的标准，具体验收指标见表 2.2.3.2。

陶质焊接衬垫块的主要技术性能 表 2.2.3.2

吸潮率 %	体积密度 g/cm <sup>3</sup>	抗折强度 N/cm <sup>2</sup>	耐火度 ℃
<0.4	>1.75	>50	>1300

2.2.3.3 铝箔胶粘带性能试验包含剥离强度试验和持粘性试验，试验方法应符合公认的标准，具体验收指标如下：

- (1) 铝箔胶粘带剥离强度不低于 8N/25mm；
- (2) 铝箔胶粘带持粘性在常温下 1h/25mm×25mm·1kg 无位移。

2.2.3.4 焊接工艺性能试验一般要求如下：

- (1) 对适用于不同焊接方法的衬垫，应以相应焊接方法适应的最大线能量进行焊接试验；
- (2) 对用于不同接头型式的衬垫(不同衬垫形状)，可以对接焊衬垫为代表进行试板焊接；
- (3) 选用相应等级的焊条或焊丝(焊丝-气体、焊丝-焊剂)，直径不限；

(4) 根据使用的焊接材料级别选用相应的母材钢级，见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 2 章第 1 节(也可选取韧性级别低于表中要求的材料)；

(5) 按制造厂推荐的坡口形式和焊接条件焊制 1 个试板厚度为 20~25mm 的对接单面焊试件，试件长度应足够截取规定数量和尺寸的试样；

(6) 一般以平焊位置焊接，垂直气电焊除外；

(7) 焊接过程应保证电弧燃烧稳定，焊接飞溅无明显增加。

2.2.3.5 试板焊接完成后应进行以下试验：

(1) 焊缝外观目检；

(2) 焊缝射线探伤；

(3) 力学性能试验：纵向拉伸 1 个、横向拉伸 2 个、弯曲 2 个及焊缝中心 V 型缺口冲击 2 组。纵向拉伸试样的轴线尽可能位于试件焊缝中心线上，并在试件厚度的中间处。冲击试样取样位置见图 2.2.3.5(3)。

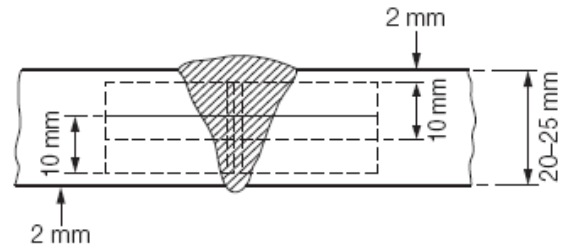


图 2.2.3.5 (3) 冲击试样取样位置

2.2.3.6 焊接工艺性能试验结果要求如下：

(1) 背面焊缝成型光滑，脱渣性能好，焊缝无裂纹、气孔、咬边等缺陷，外观成型尺寸符合要求；

(2) 射线探伤结果符合公认标准；

(3) 力学性能试验结果应符合试验焊接材料的相关要求，见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 2 章第 2 节。

## 2.2.4 钎焊材料试验

2.2.4.1 钎焊材料主要包括钎料和钎剂，一般要求如下：

(1) 钎料应该具有合适的熔点、良好的润湿性和填充能力，还应具有一定的力学性能和物理化学性能，以满足接头的使用性能要求；

(2) 钎剂应能清除钎料和母材表面的氧化物，保护焊件和液态钎料在钎焊过程中免于氧化，改善液态钎料对焊件的润湿性。

2.2.4.2 钎料一般应进行下列试验，并符合公认标准的规定：

(1) 所有钎料均应进行化学成分分析；

(2) 粉状钎料还应进行筛网试验，保证颗粒尺寸符合规定要求。

2.2.4.3 钎剂一般应进行下列试验，并符合公认标准的规定：

(1) 所有钎剂应进行含水量、粘附性、高温下流动性、作用寿命等试验；

(2) 与相应钎料组合进行助熔作用和填充金属流动性试验；

(3) 对液体和膏体的钎剂还应进行颗粒度试验。

## 第 3 节 焊接材料选用原则

### 2.3.1 一般要求

2.3.1.1 本节规定了船用结构钢、不锈钢、铝合金和铜合金等材料焊接时选用焊接材料的一般原则。

2.3.1.2 选用的焊接材料应是经 CCS 认可的产品。

2.3.1.3 典型异质材料的焊接材料选用举例见附录 2A。

### 2.3.2 船用结构钢

2.3.2.1 船用结构钢选用焊接材料应与母材的钢级相适应。

2.3.2.2 对船用一般强度钢和高强度钢，焊接材料选用应符合《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 4 节要求。

2.3.2.3 对高强度淬火回火钢，适用的焊接材料的等级见表 2.3.2.3。

高强度淬火回火钢适用的焊接材料的等级

表 2.3.2.3

焊材 级别	焊接结构高强度淬火回火钢																	
	A420 D420	E420	F420	A460 D460	E460	F460	A500 D500	E500	F500	A550 D550	E550	F550	A620 D620	E620	F620	A690 D690	E690	F690
3Y42	×																	
4Y42	×	×																
5Y42	×	×	×															
3Y46	○			×														
4Y46	○	○		×	×													
5Y46	○	○	○	×	×	×												
3Y50	○			○			×											
4Y50	○	○		○	○		×	×										
5Y50	○	○	○	○	○	○	×	×	×									
3Y55				○			○			×								
4Y55				○	○		○	○		×	×							
5Y55				○	○	○	○	○	○	×	×	×						
3Y62							○			○			×					
4Y62							○	○		○	○		×	×				
5Y62							○	○	○	○	○	○	×	×	×			
3Y69										○			○			×		
4Y69										○	○		○	○		×	×	
5Y69										○	○	○	○	○	○	×	×	×

注：“×”为适用的钢级

“○”为允许使用的钢级

空格为不适用的钢级

2.3.2.4 当不同级别的钢材焊接时，应遵循以下原则：

(1) 强度等级不同时，除在结构不连续处或应力集中区域内选用较高强度等级的焊接材料外，一般可选用与较低强度等级的母材相适应的焊接材料；

(2) 强度相同而韧性级别不同时，除结构受力情况复杂或施工条件恶劣者外，一般可选用与较低韧性级别的母材相适应的焊接材料。

2.3.2.5 焊接下列钢材或结构时应使用低氢焊接材料：

(1) 高强度钢或碳当量大于 0.41% 的钢材；

(2) 《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 4 节规定的构件和结构。

### 2.3.3 奥氏体不锈钢和双相不锈钢

2.3.3.1 奥氏体不锈钢和双相不锈钢焊接材料应根据母材的材质和工作条件(包括工作温度和接触介质)来选用，保证焊缝金属的耐蚀性能及力学性能与母材基本相当，且满足抗裂性要求。

2.3.3.2 奥氏体不锈钢焊接通常选用其合金成分与母材相同或相近的焊接材料，一般要求熔敷金属的含碳量不高于母材。

2.3.3.3 双相不锈钢通常选用与母材同一类型的焊接材料，Cr、Mo 含量与母材相当，考虑到氮在高温状态下的溶解度和焊缝焊接之后的快速冷却，但 Ni 含量通常比母材高 2%~4%。

2.3.3.4 不锈钢与船用结构钢异种材料焊接时应选用含 Cr、Ni 等合金元素高于不锈钢母材的焊接材料，并使焊接接头满足较低级别母材的力学性能。

2.3.3.5 除结构刚性大的情况以外，不锈钢焊接通常可选用酸性药皮焊条。

### **2.3.4 铝合金**

2.3.4.1 铝合金焊材的选用，主要根据母材的种类、接头的抗裂性、力学性能、抗腐蚀性等方面的要求综合考虑。

2.3.4.2 铝-镁系铝合金(5000 系列)通常选用与母材成分相近的焊材，其强度分别应符合 CCS 规定的 A、B、C 级(见《材料和焊接规范》第 3 篇第 2 章第 9 节)。

2.3.4.3 铝-硅-镁系铝合金(6000 系列)一般选用与母材非同质的焊材，焊接接头的抗拉强度应达到 CCS 规定的 D 级(见《材料和焊接规范》第 3 篇第 2 章第 9 节)。

### **2.3.5 铜合金**

2.3.5.1 铜合金焊接材料选用时应考虑具有良好的脱氧能力，保证焊接接头的致密性和力学性能，并获得良好的焊缝成形。一般采用与母材成分相近并加入含脱氧元素的焊材。

2.3.5.2 铜螺旋桨修补选用焊接材料可参照《材料和焊接规范》第 3 篇第 8 章第 4 节。

## 典型异种材料焊接材料选用举例

常用不锈钢异种材料选用举例

表 1A-1

焊接材料型号举例 <sup>①</sup>		母材 2 <sup>②</sup>										
		304L S30403	304LN S30453	316L S31603	316LN S31653	317L S31703	317LN S31753	347 S34778	<del>32205</del> S22053 S22253	32550 S25554	32750 S25073	低碳钢 或低合金钢
母材 1 <sup>②</sup>	304L S30403	308L	308L	308L	308L	308L	308L	308L	308L	308L	308L	309L
	304LN S30453		308L	308L	308L	308L	308L	308L	308L	308L	308L	309L
	316L S31603			316L	316L	316L	316L	316L	316L	316L	316L	309L
	316LN S31653				317L	317L	317L	316L	316L	316L	316L	309L
	317L S31703					317L	317L	316L	317L	317L	317L	309L
	317LN S31753						317L	316L	2209	317L	317L	309L
	347 S34778							347	308L	308L	308L	309L
	<del>32205</del> S22053 S22253								2209	2209	2209	309L 2209
	32550 S25554									2553	2553	309L
	32750 S25073										<del>2553</del> 2594	309L

注：① 表中所列的焊接材料不是唯一可选的，主要考虑在满足接头强度、耐腐蚀性和抗裂性的前提下推荐成本低和容易焊接的焊接材料。

② 表中所列母材相当于 AISI 标准型号，按国标统一数字代号表示，对应牌号参见《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章。

常用铝合金异种材料选用举例

表 2A-2

焊接材料型号举例		母材 2		
		5754、5454、5086	5083、5383、5456	6061、6005A、6082
母材 1	5754、5454、5086	5356、5556、5183	5356、5556、5183	5356、5556、5183
	5083、5383、5456		5183 <sup>①</sup>	5356、5556、5183
	6061、6005A、6082			5356、5556、5183

注：①如果许用应力被降低，其他填充材料如 5356、5556 也可选用。

## 第3章 焊工资格考试

### 第1节 一般规定

#### 3.1.1 适用范围

3.1.1.1 本章适用于船舶与海上设施结构的钢、铝合金、铜合金、钛合金材料手工电弧焊、半自动气保护焊和钨极氩弧焊焊工资格考试。

3.1.1.2 对埋弧自动焊焊工一般可按本章第3节规定进行资格考试。

#### 3.1.2 一般要求

3.1.2.1 无论是从事新船建造还是修船焊接工作的焊工,均应通过焊工资格考试并取得 CCS 颁发的证书。

3.1.2.2 焊工在参加技能考试前应先通过基本知识考试。基本知识考试内容应与技能考试的焊接方法相适应,主要包括常用母材、焊接材料、焊接设备、焊接工艺、常见焊接缺陷与防止及焊接安全等基础知识。

3.1.2.3 对已获认可的焊接工艺试验中从事试板焊接工作的焊工,可获得相应焊接条件(焊接方法、位置和材料等)下的焊工资格。但应事先得到 CCS 验船师同意。

#### 3.1.3 焊工考试与评定

3.1.3.1 焊工资格分类、考试项目、评定方法和复试、重新考试要求均应符合 CCS 《材料与焊接规范》第3篇第4章规定。

3.1.3.2 对考试试板的接头形式(双面焊、单面焊、有无衬垫)、坡口形式和尺寸(坡口角度、钝边、间隙)等不作强制规定,可根据产品实际情况确定。考试试板接头形式选用原则一般为:

(1) 当焊工从事的产品焊接工作为双面焊或带衬垫的单面焊时,试板的接头形式可为双面焊或带衬垫的单面焊;

(2) 当焊工从事的产品焊接中包含无衬垫单面焊双面成型焊缝,试板的接头形式应为无衬垫的单面焊。

3.1.3.3 对两种焊接方法组合焊的考试(例如:单面焊根部焊道用钨极氩弧焊,填充焊缝用手工电弧焊),可用以下两种方法中的任一种:

(1) 直接按组合焊的方法进行焊工考试;

(2) 按两种焊接方法(钨极氩弧焊单面焊和手工电弧焊双面焊)分别进行焊工考试。

3.1.3.4 焊工考试时应注意以下几点:

(1) 焊前在试件上打上钢印,并保持至试验的所有阶段;

(2) 试件的装配、焊接参数的调节、坡口的清理等均由应考者自行处理;

(3) 试件应至少在盖面层应有一个接头,弯曲试验的试样应取自该处。当进行无衬垫单面焊双面成形考试时,打底层焊道也需设置一个接头;

(4) 对有预热、后热或热输入控制要求的材料或工艺,考试条件应与产品要求相同;

(5) 焊完后焊缝表面不得打磨或修补,其他焊道在施焊过程中允许用打磨方法消除较小的焊接缺陷,但应得到验船师同意。

3.1.3.5 验船师应见证考试、试样测试和评定等过程。

#### 3.1.4 焊工资格适用范围

3.1.4.1 钢和铝合金材料的焊工资格适用范围应满足《材料与焊接规范》第3篇第4章第3节要求。铜合金、钛合金材料的焊工资格适用范围分别见本章第2节和第4节。

3.1.4.2 焊工资格适用范围中有关奥氏体或双相不锈钢还应注意以下几点:

(1)持有奥氏体或双相不锈钢认可资质的焊工可以相互覆盖;

(2)持有奥氏体或双相不锈钢认可资质的焊工不能获得焊接母材为碳钢、低合金结构钢等的资格；反之，也不具备资质。

(3)持有奥氏体或双相不锈钢认可资质的焊工，如采用奥氏体或双相不锈钢系列焊接材料进行焊接,则可具有下列项目的焊接资格：

奥氏体不锈钢/双相不锈钢和碳钢/低合金结构钢异种钢焊接；奥氏体不锈钢和双相不锈钢异种钢焊接。

### 3.1.5 焊工资格证书

3.1.5.1 经考试合格的焊工，由 CCS 颁发《焊工资格证书》。有关证书的有效期、更新和延期应符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章的规定。

3.1.5.2 各制造厂应对焊工证书的有效期和适用范围进行控制。

3.1.5.3 焊工资格证书至少应包含以下内容：

- (1) 焊工个人信息(姓名、出生年月及照片)；
- (2) 证书适用范围、试件类型和规格；
- (3) 有效期满日期；
- (4) 工厂 6 个月考察记录；
- (5) CCS 批准的延期记录。

3.1.5.4 下列情况应注意焊工资格证书的填写及适用性：

(1)陶质衬垫单面焊双面成形的焊工资格属“带衬垫”类型，与带钢衬垫单面焊资格相同，不能覆盖无衬垫单面焊双面成形焊工资格；

(2)对 3.1.3.3 所述组合焊考试合格后，证书上写明两种焊接方法及各自的厚度。该证书分别适用于打底层焊接方法的单面焊和盖面层焊接方法的双面焊，其厚度适用范围与试件中各自的焊缝厚度相适应。

## 第 2 节 铜合金焊工考试的特殊要求

### 3.2.1 适用范围

3.2.1.1 本节适用于铜合金手工电弧焊、熔化极惰性气体保护焊、钨极惰性气体保护焊、等离子焊及气焊的焊工资格考试。

### 3.2.2 考试项目及要求

3.2.2.1 铜合金焊工考试项目参照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章对钢材和铝合金焊工考试的项目，其中弯曲试验的压头直径应满足本指南第 4 章第 3 节 4.3.2.3(2)的要求。

### 3.2.3 材料覆盖范围

3.2.3.1 为了使技术上同类考试数量尽量减少，对于相似冶金和焊接特性的铜合金材料进行分组，具体见表 3.2.3.1。

铜合金的分组

表 3.2.3.1

材料组别	铜合金类型	CCS 规范中的典型例子
W31	纯铜	-
W32	铜锌合金	铝青铜
W33	铜锡合金	铜锡磷青铜 90/10、炮铜 88/10/2 等
W34	铜镍合金	铜镍铁合金 90/10、铜镍铁合金 70/30
W35	铜铝合金	Cu3、Cu4
W36	铜镍锌合金	Cu1、Cu2

3.2.3.2 焊工考试用的焊接材料应与母材化学成分相匹配。

3.2.3.3 在一个组别中任何一种材料可以覆盖相同组别中所有其他材料的焊工资格。

3.2.3.4 不同组别铜合金焊工资格的覆盖范围见表 3.2.3.4。

铜合金焊工资格适用范围

表 3.2.3.4

试件的 材料组别	适用范围					
	W31	W32	W33	W34	W35	W36
W31	*	—	×	×	×	—
W32	—	*	—	—	—	×
W33	—	—	*	—	—	—
W34	—	—	—	*	×	—
W35	—	—	—	×	*	—
W36	—	×	—	—	—	*

注：\* 表示进行考试的材料组

× 表示考试对其同样适用的材料组

— 表示考试对其不适用的材料组

3.2.3.5 不同材料组别间的铜合金焊接时应进行该组合的专门考试。

### 3.2.4 试件规格的适用范围

3.2.4.1 板对接或管对接焊工考试的试件厚度适用范围见表 3.2.4.1。

铜合金考试试件厚度适用范围

表 3.2.4.1

试件厚度(mm)	适用范围 <sup>①</sup>
T	(0.5~1.5)t

注：①对气焊，焊工考试时应对产品上的最大和最小板厚分别进行考试。

3.2.4.2 管对接焊工考试的管径适用范围见表 3.2.4.2。

铜合金考试试件管径适用范围

表 3.2.4.2

试件管径(mm)	适用范围
$D \leq 25$	$D \sim 2D$
$D > 25$	$\geq 0.5D$ (最小 25 mm)

### 3.2.5 其他

3.2.5.1 除 3.2.3 和 3.2.4 以外，铜合金焊工考试的覆盖范围(如焊接方法、接头形式、焊接位置等)均参照钢材和铝合金。

## 第3节 埋弧自动焊工考试的特殊要求

### 3.3.1 适用范围

3.3.1.1 本节适用于钢材(包括奥氏体或双相不锈钢)埋弧自动焊焊工的资格考试。

3.3.1.2 埋弧自动焊考试一般按 ISO 14732 标准要求执行。当采用以试件形式进行专项焊工操作考试时，建议按本节要求进行。

### 3.3.2 试件的形式与尺寸

- 3.3.2.1 试件的形式为钢衬垫对接焊，具体坡口角度和间隙可由工厂确定。
- 3.3.2.2 试件由 2 块试板和 1 块垫板组成。试板的板厚为 14mm~20mm，长度为 500mm，宽度不小于 150mm；垫板厚度为 10mm，宽度不小于 50mm。
- 3.3.2.3 试件两端应安装与试板相同厚度的引熄弧板。

### 3.3.3 检验项目

- 3.3.3.1 焊完后应进行焊缝表面目检，不应有明显的表面焊接缺陷。
- 3.3.3.2 焊缝射线探伤，其结果应符合公认的标准。

### 3.3.4 考试注意事项

- 3.3.4.1 试件的装配、焊接参数的调节、坡口的清理等均由应考者自行处理。
- 3.3.4.2 焊接参数的选用可根据焊接工艺规程确定，但预热、后热和道间温度等不作规定。
- 3.3.4.3 施焊过程及焊缝表面均不得打磨或修补。
- 3.3.4.4 每一焊道连续焊完，中间可不设置接头。

### 3.3.5 焊工资格覆盖范围

- 3.3.5.1 按 3.3.2.2 规定的板厚考试合格后适用的厚度范围不限。
- 3.3.5.2 任一钢级考试合格后可覆盖所有钢级的焊工资格。
- 3.3.5.3 钢衬垫对接焊考试合格可覆盖双面对接焊、角接焊和直径大于 600mm 的管对接。

## 第 4 节 钛合金焊工考试的特殊要求

### 3.4.1 适用范围

3.4.1.1 本节适用于钛合金钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊及等离子焊的焊工考试。其他焊接方法的焊工考试需另外考虑。

### 3.4.2 试件的形式与尺寸

3.4.2.1 板对接焊试件由 2 块试板组成，每块试件的长度不小于 250mm，宽度不小于 125mm；具体试板厚度、坡口角度和间隙可由工厂制定的焊接工艺规程确定。

3.4.2.2 板填角焊试件、管件对接焊试件及管件填角焊试件尺寸不应小于 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章第 2 节 4.2.2.1 的规定；具体试板厚度、坡口角度和间隙可由工厂制定的焊接工艺规程确定。

3.4.2.3 试板两端应安装与试板相同厚度的引熄弧板。

### 3.4.3 检验和试验项目

- 3.4.3.1 焊完后应进行焊缝表面目检。
- 3.4.3.2 对接焊缝应进行焊缝射线探伤。
- 3.4.3.3 不同接头形式焊缝的试验项目和数量如表 3.4.3.3。

试验项目和试样数量

表 3.4.3.3

试件形式	试验项目	试样数量
板对接焊	弯曲试验	正、反弯各 1 <sup>①</sup>
管对接焊	弯曲试验	1G、2G 时正、反弯各 1 <sup>①</sup> 5G、6G、6GR 时正、反弯各 2 <sup>①</sup>
板填角焊	破断试验或宏观检验	破断：被检焊缝全长 <sup>②</sup> 宏观：2 个 <sup>③</sup>
管板角接头	宏观检验	宏观：2 个 <sup>③</sup>

注 ① 当试件厚度大于或等于 12mm 时可用侧弯代替。

- ② 被检焊缝全长指试件两端各去除 25mm 后的长度。
- ③ 其中一个应取自熄弧/引弧处。

3.4.3.4 弯曲试验的弯曲角度为 180°，压头直径应不大于表 3.4.3.4 规定的值。

弯曲试验的压头直径 表 3.4.3.4

材料牌号	TA9、TA9-1	TA2、TA3、TA10、TA18	TA7、TA31	TC4、TC4ELI
压头直径 mm	8t	10t	14t	16t

注：t 为试样厚度

### 3.4.4 试件的评定

3.4.4.1 焊缝表面目检应满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章第 2 节 4.2.5.1 对钢质焊缝的要求，并且焊缝和近焊缝区颜色应为银白色或黄色。

3.4.4.2 焊缝射线探伤结果应符合公认的标准。

3.4.4.3 弯曲试验、破断试验或宏观检验的结果应满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章 4.2.5 的相关要求。

### 3.4.5 焊工资格覆盖范围

3.4.5.1 当采用相同焊接规程时，任一钛及钛合金考试合格后可覆盖同一组别钛和钛合金的焊工资格。具体材料分组如下：

组别	钛和钛合金类型	CCSCCS《材料与焊接规范》中的典型例子
51	纯钛	TA9、TA9-1
52	α 相钛合金	TA2、TA3、TA10、TA18
53	α - β 相钛合金	TA7、TA31、TC4、TC4ELI
54	β 相钛合金	-

3.4.5.2 除 3.4.5.1 外，钛合金焊工考试覆盖范围（如母材厚度、管径、焊接方法、接头形式、焊接位置等）均满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 4 章第 3 节的对钢材焊工考试的相关要求。

附录 3A: 不同标准下焊接位置表示方法对比

焊接位置	ISO6947	ASME/AWS	CCS 规范/指南	
板对接	平	PA	F	
	横	PC	H	
	立向下	PG	3G downhill	
	立向上	PF	3G uphill	
	仰	<del>PQPD</del>	4G	0
管对接	管子水平滚动	PA	1G	1G
	管子垂直固定	PC	2G	2G
	管子水平固定	PJ (向下) PH (向上)	5G downhill 5G uphill	— 5G
	管子倾斜 45° 固定	J-L045 (向下) H-L045 (向上)	6G downhill 6G uphill	— 6G
	带有限制环的管子 倾斜 45° 固定	—	6GR uphill	6GR
板角接	平	PA	1F	FF
	横	PB	2F	FH
	立向下	PG	3F downhill	FVd
	立向上	PF	3F uphill	FVu
	仰	<del>PQPD</del>	4F	F0
管板角接	管子转动平焊	PA	1FR	—
	管子垂直固定平焊	PB	2F、2FR	2FG
	管子垂直固定仰焊	<del>PQPD</del>	4F	4FG
	管子水平固定	PJ (向下) PH (向上)	5F downhill 5F uphill	— 5FG
	管子倾斜 45° 固定	J-L045 (向下) H-L045 (向上)	6F downhill 6F uphill	— 6FG

## 第4章 焊接工艺认可

### 第1节 一般规定

#### 4.1.1 适用范围

4.1.1.1 本章是对 CCS《材料与焊接规范》第3篇第3章的补充。本章还适用于一些特殊材料和特殊焊接方法的焊接工艺认可。

4.1.1.2 本章涉及的特殊材料焊接主要有不锈钢、不锈钢复合钢板、铜合金、钛合金、钢-铝过渡接头的焊接，及铸钢件、铜螺旋桨补焊。

4.1.1.3 本章涉及的特殊焊接方法主要有管钎焊、激光焊、搅拌摩擦焊等。

#### 4.1.2 定义

4.1.2.1 奥氏体不锈钢复合钢板：指由碳钢或碳锰钢为基体材料，在其单面或双面上整体结合奥氏体不锈钢薄层(覆层金属)所组成的板材。

4.1.2.2 钢-铝过渡接头：用于钢结构和铝合金结构间连接的过渡接头，由三层金属组成，覆层是铝合金，中间过渡层是钛或铝，基层是船用结构钢板。

4.1.2.3 管钎焊：指以套筒形式连接管子的火焰钎焊方法。

4.1.2.4 搅拌摩擦焊：一种在机械力和摩擦热作用下的固相连接方法。利用轴肩和搅拌头与焊件间的摩擦热使结合面处的金属塑态化并在搅拌头和轴肩的共同牵引、搅动作用下向后流动、填充、形成固相焊缝。

#### 4.1.3 焊接工艺文件

4.1.3.1 应提交的焊接工艺文件有：焊接工艺计划书(pWPS)、焊接工艺认可试验报告(WPQR)和焊接工艺规程(WPS)。具体见 CCS《材料与焊接规范》第3篇第3章第1节。

4.1.3.2 焊接工艺计划书(pWPS)、焊接工艺认可试验报告(WPQR)和焊接工艺规程(WPS)格式示例参见附录 4A、附录 4B 和附录 4C。

4.1.3.3 对特殊焊接方法在焊接工艺文件中应增加相应的专门要求。

4.1.3.4 激光焊的焊接工艺文件中应增加下列内容：

(1) 激光发生器：

- ① 类型(例如 CO<sub>2</sub> 或 YAG)
- ② 名义功率
- ③ 连续波或脉冲
- ④ 激光束的模数、发散性、波长和偏振及其方向等参数

(2) 激光束传输及聚焦系统：

- ① 传导方法(光纤或反射镜)
- ② 激光发生器到聚焦系统的距离
- ③ 聚焦系统进口的光束直径
- ④ 光束传导和聚焦系统
- ⑤ 透镜焦长
- ⑥ 名义焦点直径和测量方法
- ⑦ 光束通道保护系统

(3) 工作气体和保护气体系统

(4) 送丝系统(如应用)

(5) 工件固定方法

(6) 背面保护：

- ① 衬板类型和尺寸(如应用)
- ② 背面保护气体类型、级别和流量

(7) 焊接参数:

① 激光束参数:

- 工件上的激光束功率密度;
- 名义焦距/光束直径(对 CO<sub>2</sub> 激光);
- 脉冲参数(包括峰值功率、脉冲能量、脉冲重复速率、脉冲持续时间和脉冲形状);
- 功率变化细节(焊接起始和终止点的激光功率渐升、渐降);
- 定位焊细节;
- 摆动模式(摆幅、频率和停留时间);
- 激光束相对于接头和焊接方向的方向、偏振和位置

② 机械参数:

- 焊接速度;
- 焊接起始和终止点焊接速度的变化;
- 送丝速度、方向、位置和角度

③ 气体参数:

- 气体类型、级别
- 气体流量

④ 其他参数:

- 焦点相对于工件位置(离焦量)
- 保护气体喷嘴相对于工件的位置和方向

4.1.3.5 搅拌摩擦焊的焊接工艺文件中应增加下列内容:

(1) 焊接设备:

- ① 搅拌头的材料、尺寸和形状
- ② 焊接夹具的压紧力

(2) 焊接参数:

- ① 搅拌头的倾斜角度
- ② 搅拌头转速
- ③ 焊接速度
- ④ 搅拌头对工件的顶锻力

#### 4.1.4 人员资格

4.1.4.1 焊接工艺认可试验项目中的无损探伤人员应持有 CCS 颁发的相应等级的《无损检测人员资格证书》。

#### 4.1.5 焊接工艺认可覆盖范围

4.1.5.1 焊接工艺认可覆盖范围除应符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 1 节规定外, 特殊情况下还应符合本章要求。

4.1.5.2 除船用结构钢、铸钢件和锻钢件外, 钢的分组见表 4.1.5.2, 母材的覆盖范围原则如下:

- (1) 低碳钢和低合金钢, 相同类别中, 韧性等级相同时强度高的覆盖强度低的材料, 或强度级别相同时韧性高的覆盖韧性低的材料;
- (2) 对铬钼钢、镍钢和双相不锈钢, 相同类别中覆盖同组别或合金含量较低组别的材料;
- (3) 对铁素体、马氏体和奥氏体不锈钢, 仅覆盖相同组别的材料;
- (4) 不同类别间不能相互覆盖。

类别	组别	合金类型	CCS《材料与焊接规范》中的典型例子
低碳钢	1	屈服强度 $<265\text{N/mm}^2$ 的非船体结构用低碳钢	360A~410B 锅炉与受压力容器用钢、强度级为 $320\sim 410\text{N/mm}^2$ 的钢管
低合金钢	1	屈服强度 $265\sim 390\text{N/mm}^2$ 的非船体结构用低合金高强度钢	460A~490B 锅炉与受压力容器用钢、强度级为 $460\sim 490\text{N/mm}^2$ 的钢管
Cr-Mo 钢	1	$0.75\%\leq\text{Cr}\leq 1.5\%$ , $\text{Mo}\leq 0.7\%$	1Cr0.5Mo
	2	$1.5\%<\text{Cr}\leq 3.5\%$ , $0.7\%<\text{Mo}\leq 1.2\%$	2.25Cr1Mo
	3	$3.5\%<\text{Cr}\leq 7.0\%$ , $0.4\%<\text{Mo}\leq 0.7\%$	- <sup>①</sup>
	4	$7.0\%<\text{Cr}\leq 10\%$ , $0.7\%<\text{Mo}\leq 1.2\%$	- <sup>①</sup>
镍钢	1	$\text{Ni}\leq 3.0\%$	0.5Ni、1.5Ni
	2	$3.0\%<\text{Ni}\leq 8.0\%$	3.5Ni、5Ni
	3	$8.0\%<\text{Ni}\leq 10.0\%$	9Ni
双相不锈钢	1	$\text{Cr}\leq 24\%$	022Cr22Ni5Mo3N(S22253)、022Cr23Ni5Mo3N(S22053)
	2	$\text{Cr}> 24\%$	03Cr25Ni6Mo3Cu2N(S25554)、022Cr25Ni7Mo4N(S25073)
铁素体、马氏体不锈钢	1	铁素体不锈钢	0Cr16Ni5Mo <sup>②</sup>
	2	马氏体不锈钢	1Cr12NiMo <sup>②</sup> 、0Cr13Ni4Mo <sup>②</sup>
奥氏体不锈钢	1	$\text{Cr}\leq 19\%$ , $\text{Ni}\leq 31\%$ , 不加其它合金元素	022Cr19Ni10(S30403)
	2	$\text{Cr}\leq 19\%$ , $\text{Ni}\leq 31\%$ , 加 Mo	022Cr17Ni12Mo2(S31603)、022Cr19Ni13Mo3(S31703)
	3	$\text{Cr}\leq 19\%$ , $\text{Ni}\leq 31\%$ , 加 Nb	06Cr18Ni11Nb(S34778)

注：① 船舶中较少使用，故 CCS 规范中未涉及。

② 目前 GB 暂无对应牌号，因此沿用 IACS 相应牌号。

4.1.5.3 铝合金的分组及覆盖范围应满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章 3.1.4.4 要求。

4.1.5.4 其他材料的分组及覆盖范围分别见本章第 3、4、5 节的相关规定。

4.1.5.5 接头形式的覆盖范围为：

(1) 相同焊接条件下，对接焊覆盖相应的焊接条件焊缝金属厚度相适应的平的全熔透和部分熔透角接焊；

(2) 当钢材规定屈服强度最小值小于  $355\text{N/mm}^2$  时，对接焊覆盖相应焊接条件下的填角焊。非焊透的角接焊（包括填角焊盒部分熔透角焊）；

~~（3）填角焊可覆盖相应焊接条件下的部分熔透角焊。~~

4.1.5.6 不同接头形式焊接位置的覆盖范围见表 4.1.5.6。

新增表 4.1.5.6，如下：

焊接位置的覆盖范围

表 4.1.5.6

试件		适用的焊接位置 <sup>①②</sup>			
接头形式	焊接位置 <sup>①</sup>	板对接	管对接	板角接 <sup>③</sup>	管板角接 <sup>③</sup>

板对接	<u>F</u> <u>H</u> <u>V</u> <u>O</u> <u>H+V</u>	<u>F</u> <u>H</u> <u>V</u> <u>O</u> <u>F、H、V、O</u>		<u>FF</u> <u>FF、FH</u> <u>FVu</u> <u>FO</u> <u>FF、FH、FVu、FO</u>	
管对接 <sup>④</sup>	<u>1G</u> <u>2G</u> <u>5G</u> <u>2G+5G</u> <u>6G</u>	<u>F</u> <u>H</u> <u>F、V、O</u> <u>F、H、V、O</u> <u>F、H、V、O</u>	<u>1G</u> <u>2G</u> <u>1G、5G</u> <u>1G、2G、5G、6G</u> <u>1G、2G、5G、6G</u>	<u>FF</u> <u>FF、FH</u> <u>FF、FVu、FO</u> <u>FF、FH、FVu、FO</u> <u>FF、FH、FVu、FO</u>	<u>2FG</u> <u>4FG、5FG</u> <u>2FG、4FG、5FG、6FG</u> <u>2FG、4FG、5FG、6FG</u>
板角接	<u>FF</u> <u>FH</u> <u>FVd</u> <u>FVu</u> <u>FO</u> <u>FH+FVu</u>			<u>FF</u> <u>FF、FH</u> <u>FVd</u> <u>FVu</u> <u>FO</u> <u>FF、FH、FVu、FO</u>	
管板角接	<u>2FG</u> <u>4FG</u> <u>5FG</u> <u>2FG+5FG</u> <u>6FG</u>			<u>FF、FH</u> <u>FO</u> <u>FF、FVu、FO</u> <u>FF、FH、FVu、FO</u> <u>FF、FH、FVu、FO</u>	<u>2FG</u> <u>4FG</u> <u>5FG</u> <u>2FG、4FG、5FG、6FG</u> <u>2FG、4FG、5FG、6FG</u>

注：① 焊接位置符号表示方法见本指南附录 3。

② 不同焊接位置在生产应用中允许的角度偏差见 ISO6947 相关规定。

③ 对接覆盖角接仅限于本节 4.1.5.5 规定的范围内。

④ 管对接覆盖相应焊接位置的板对接仅限于管子外径大于 25mm 的情况。

⑤ 立向下焊应单独进行工艺认可试验。

4.1.5. 67 激光焊的覆盖范围与其他焊接方法的主要不同点如下：

- (1) 材料厚度适用范围为  $0.8t \sim t$ ；
- (2) 不同的接头形式(对接、角接、搭接等)均不能相互覆盖；
- (3) 不同焊接位置均不能相互覆盖；
- (4) 焊接层数应与认可试验相同；
- (5) 焊接参数中，激光功率与板厚和焊接速度乘积之比的值应控制在认可试验的 90%~120%；
- (6) 表面状态(如有无车间底漆)变化不能相互覆盖。”

## 第 2 节 不锈钢和不锈钢复合板焊接工艺认可

### 4.2.1 适用范围

4.2.1.1 本节适用于奥氏体不锈钢和双相不锈钢板或管子、不锈钢复合板的焊接工艺认可。

4.2.1.2 使用的焊接方法通常为焊条电弧焊、熔化极惰性气体保护焊、钨极惰性气体保护焊、药芯焊丝 CO<sub>2</sub> 焊及埋弧自动焊等。

4.2.2 奥氏体不锈钢和双相不锈钢对接焊工艺认可试验方法

4.2.2.1 试件尺寸及制作应符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 2 节 3.2.2 要求。试板的取向为使焊缝平行于板材的轧制方向。

4.2.2.2 取样前应进行外观目视检查、X 射线和表面渗透探伤。

4.2.2.3 奥氏体不锈钢对接焊试验项目如下：

- (1) 焊缝横向拉伸试样 2 个；
- (2) 焊缝横向正反弯试样各 2 个。若试件厚度大于或等于 12mm 时可改取侧弯试样 4 个。压头直径和弯曲角度见表 4.2.2.3(2)；
- (3) 当试件厚度大于 ~~6mm~~ 时能取出 5mm 及以上的冲击试样时，焊缝中心冲击 1 组(若用于深冷条件时增加熔合线和距熔合线 2mm 的热影响区各 1 组)；该要求不适用于散装液化天然气船。
- (4) 焊缝断面宏观检查试样 1 个。
- (5) 焊缝晶间腐蚀试验 1 组。(使用于非腐蚀性介质条件下的奥氏体不锈钢可以免除)。

弯曲试验压头直径和弯曲角度要求 表 4.2.2.3(2)

试验材料		压头直径	弯曲角度
奥氏体不锈钢		4t	180°
双相不锈钢	<del>31803S22253</del>	4t	180°
	<del>32205S22053</del>		
	<del>32550S22254</del>	6t	180°
	<del>32750S25073</del>		

注：t 为试样厚度

4.2.2.4 对双相不锈钢除 4.2.2.3(1)~(4)项目外还应增加以下试验项目：

- (1) 当试件厚度大于 ~~6mm~~ 时能取出 5mm 及以上的冲击试样时，熔合线和距熔合线 2mm 的热影响区冲击各 1 组；
- (2) 焊缝点蚀试验(与其它不锈钢或碳钢之间的焊缝除外)；
- (3) 微观检验并对最后焊道和根部焊道的焊缝和热影响区分别测铁素体含量。
- (4) 硬度试验 1 个；
- (5) 焊缝及热影响区微观检验。

4.2.2.5 试验结果要求如下：

- (1) 外观目视检查、X 射线和表面渗透探伤结果应符合公认的标准；
- (2) 接头的抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度。当两种不同级别的母材组成对接接头，其抗拉强度应符合较低强度母材的最小抗拉强度要求；
- (3) 弯曲试验后，试样的受拉表面任何方向应不出现长度超过 3mm 的裂纹或其他缺陷；
- (4) 冲击试验的冲击温度一般为-20℃(当奥氏体不锈钢用于深冷条件时冲击温度为-196℃)，冲击能量应不小于 27J；
- (5) 焊缝断面宏观检验应显示焊缝完全熔合、无裂纹，且不应有超过公认标准允许的夹渣或气孔；
- (6) 奥氏体不锈钢焊缝晶间腐蚀试验应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章第 7 节要求；
- (7) 双相不锈钢焊缝点蚀试验应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章第 9 节要求；
- (8) 双相不锈钢焊缝铁素体含量应在 ~~35~65%~~30-70%范围内；
- (9) 双相不锈钢硬度试验结果应不超过 HV420；
- (10) 双相不锈钢微观检验应无晶间碳化物和金属间化合物的析出物。

### 4.2.3 奥氏体不锈钢和双相不锈钢角接焊工艺认可试验方法

4.2.3.1 试件制作应满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 3 节 3.3.2 要求。

4.2.3.2 取样前应进行外观目视检查和表面渗透检测。

4.2.3.3 角接焊试验项目如下：

- (1) 宏观试样 2 个（一个位于试件长度中间处，另一个位于含有熄弧/引弧点处）；
- (2) 破断试样 1 个。
- (3) 对双相不锈钢增加硬度试验 1 个，测试试样位于含有熄弧/引弧点处。

4.2.3.4 试验结果要求如下:

- (1) 外观目视检查和表面渗透探伤结果应符合公认的标准;
- (2) 宏观检验应显示焊缝成形良好, 完全熔合;
- (3) 破断试样的破断面应显示焊缝无裂纹和未熔合, 对夹渣和气孔应符合公认的标准;
- (4) 双相不锈钢硬度试验结果应不超过 HV420。

#### 4.2.4 奥氏体不锈钢复合钢板的对接焊工艺认可试验方法

4.2.4.1 试样尺寸和取向、制作、焊后焊缝目检和无损探伤检验分别按本节 4.2.2.1 和 4.2.2.2。

4.2.4.2 奥氏体不锈钢复合钢板对接焊试验项目如下:

- (1) 全厚度(包括覆层和基体)焊缝横向拉伸试样 2 个;
- (2) 焊缝横向侧弯试样 4 个, 压头直径和弯曲角度同基体材料的要求(见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 1 章第 2 节);
- (3) 基体焊接接头冲击, 焊缝中心、熔合线和距熔合线 2mm 的热影响区各 1 组;
- (4) 焊缝断面宏观检查试样 1 个;
- (5) 覆层焊缝晶间腐蚀试验。

4.2.4.3 试验结果要求如下:

- (1) 外观目视检查、X 射线和表面渗透探伤检验结果应符合公认的标准;
- (2) 每个拉伸试样的抗拉强度  $R_m$  应满足:

$$R_m \geq \frac{t_1 R_1 + t_2 R_2}{t_1 + t_2} \quad N/mm^2$$

式中:  $t_1$ ---基体材料的公称厚度, mm;

$t_2$ ---覆层材料的公称厚度, mm;

$R_1$ ---基体材料的规定最小抗拉强度,  $N/mm^2$ ;

$R_2$ ---覆层材料的规定最小抗拉强度,  $N/mm^2$ ;

(3) 弯曲试验后, 试样的受拉表面任何方向应不出现长度超过 3mm 的裂纹或其他缺陷。对轧制或爆炸法生产的不锈钢复合钢板侧弯试样复合界面未结合缺陷引起的分层或裂纹允许重新取样试验;

- (4) 冲击试验的冲击温度和冲击能量应符合基体材料要求;
- (5) 宏观检查应显示焊缝完全熔合、无裂纹, 且不应有超过公认标准允许的夹渣或气孔。
- (6) 焊缝晶间腐蚀试验应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 2 章第 7 节要求。

#### 4.2.5 焊接工艺认可的覆盖范围

4.2.5.1 母材的覆盖范围按本章第 1 节 4.1.5.2 规定。

4.2.5.2 厚度覆盖范围如下:

- (1) 奥氏体不锈钢和双相不锈钢均参照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 1 节 3.1.4.5 中对钢材规定的厚度适用范围;
- (2) 不锈钢复合钢板厚度适用范围应按试件的覆层和基体厚度分别确定。

4.2.5.3 除 4.2.5.1 和 4.2.5.2 外, 焊接工艺认可的覆盖范围(如接头形式和工艺条件等)均可参照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 1 节中的相应规定。

### 第 3 节 铜合金管焊接工艺认可

#### 4.3.1 适用范围

4.3.1.1 本节适用于船舶中常用铜合金管的对接、管子角接和管板角接的焊接工艺认可。铜镍铁管与碳钢管间焊接可参照使用。

4.3.1.2 使用的焊接方法通常为熔化极惰性气体保护焊、钨极惰性气体保护焊、等离子焊及气焊。

### 4.3.2 铜合金管对接焊工艺认可试验方法

4.3.2.1 试件尺寸应符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 2 节 3.2.2 要求。

4.3.2.2 取样前应进行外观目视检查、X 射线和表面渗透探伤。

4.3.2.3 铜合金对接焊试验项目如下：

(1) 焊缝横向拉伸试样 2 个；

(2) 焊缝横向正反弯试样各 2 个。弯曲试验的弯曲角度为  $180^\circ$ ，压头直径应不大于按以下公式确定的值：

$$d = \frac{(100 \times t)}{A_5} - t$$

式中： $d$ ---最大压头直径，mm；

$t$ ---为弯曲试样厚度(包括侧弯试样)，mm；

$A_5$ ---母材所要求的规定最低伸长率(对不同材料组成的焊缝取较小值)，%。

当母材为异种材料时，建议使用卷缠弯曲试验方法。

(3) 焊缝断面宏观检查试样 1 个。

4.3.2.4 试验结果要求如下：

(1) 外观目视检查 and 无损探伤检验结果应符合公认的标准；

(2) 接头的抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度。当两种不同材料组成对接接头，其抗拉强度应不低于较低强度母材的最小抗拉强度要求；

(3) 弯曲试验后，试样的受拉表面任何方向应不出现长度超过 3mm 的裂纹或其他缺陷；

(4) 焊缝断面宏观检验应显示焊缝完全熔合、无裂纹，且不应有超过公认标准允许的夹渣或气孔。

### 4.3.3 铜合金管角接焊工艺认可试验方法

4.3.3.1 铜合金管角接焊试件形式可根据实际情况选用管子角接或管板角接，具体尺寸见图 4.3.3.1(1)和(2)。

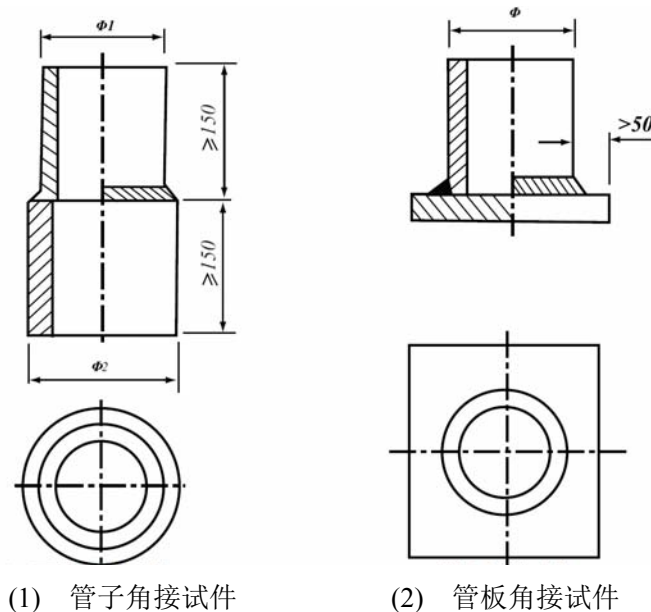


图 4.3.3.1

4.3.3.2 试件准备和焊接等要求均应符合焊接工艺计划书规定。

4.3.3.3 取样前应进行外观目视检查和表面渗透探伤。

4.3.3.4 除另有规定外，管子角接或管板角接试件一般应按图 4.3.3.1(1)或(2)所示四等分截取。对每个焊缝断面做宏观检验（至少其中一个断面应位于含有熄弧/引弧点处）。

4.3.3.5 试验结果要求如下：

- (1) 外观目视检查和表面渗透探伤结果应符合公认的标准；
- (2) 宏观检验应显示焊缝成形良好，完全熔合。

#### 4.3.4 焊接工艺认可的覆盖范围

4.3.4.1 铜合金管母材覆盖范围规定见表 4.3.5.1。

铜合金管焊接工艺认可母材覆盖范围 表 4.3.4.1

认可试验用同合金材料	覆盖材料范围
铝黄铜	铝黄铜
铜镍铁合金 90/10	铜镍铁合金 90/10
铜镍铁合金 70/30	铜镍铁合金 90/10、铜镍铁合金 70/30
紫铜	紫铜

4.3.4.2 厚度覆盖范围如表 4.3.5.2。

铜合金管壁厚的覆盖范围 表 4.3.4.2

试件厚度 $t$ (mm)	覆盖范围 <sup>①</sup>
$t \leq 3$	$(0.5 \sim 2)t$
$3 < t \leq 20$	$3 \text{ mm} \sim 2t$
$t > 20$	$\geq 0.8 t$

注：①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。

4.3.4.3 接头形式及工艺条件的覆盖范围均参照 CCS《材料与焊接规范》中的相应规定。

## 第 4 节 钛合金焊接工艺认可

### 4.4.1 适用范围

4.4.1.1 本节适用于钛和钛合金的焊接工艺认可。

4.4.1.2 使用的焊接方法通常为熔化极惰性气体保护焊、钨极惰性气体保护焊、等离子焊等。

### 4.4.2 钛及钛合金对接焊接工艺认可试验方法

4.4.2.1 板对接和管对接的试件尺寸及制作应符合我社 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 2 节 3.2.2 的规定；具体试板厚度（管壁厚度）、管件外径、坡口角度和间隙可由工厂制定的焊接工艺计划书确定。

4.4.2.2 对接焊试件试件取样前应进行外观目视检查、X 射线和表面渗透探伤。

4.4.2.3 任何焊后热处理应在无损检查前完成。

4.4.2.4 对接焊试验项目如下：

- (1) 焊缝横向拉伸试样 2 个；
- (2) 焊缝横向正、反弯试样各 2 个。若试件厚度大于或等于 12mm 时可改取侧弯试样 4 个。弯曲试验的弯曲角度为  $180^\circ$ 。压头直径应不大于本指南第 3 章表 3.4.4.3 规定的值；
- (3) 当试件厚度大于 6mm 时，取冲击试样 3 组（焊缝中心、熔合线、距熔合线 2mm 的热影响区各 1 组）；

- (4) 焊缝断面宏观检查试样 1 个。
- (5) 焊缝金属纵向拉伸试样 1 个。

4.4.2.5 试验结果要求如下：

- (1) 外观目视检查和无损探伤检验结果应符合公认的标准；
- (2) 除非试验前有特殊要求，接头的抗拉强度应不低于母材的最低值；
- (3) 弯曲试验后，试件不应存在任何方向的 3mm 以上的裂纹；
- (4) 常温冲击试验的冲击功应不低于母材规定或设计时所考虑的最小值；
- (5) 宏观检查结果应符合公认的标准。
- (6) 焊缝金属抗拉试验结果应不低于母材规定或设计时所考虑的最小值。

**4.4.3 钛及钛合金角接焊接工艺认可试验方法**

4.4.3.1 板角接、管子角接和管板角接的试件尺寸及制作应符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 3 节 3.3.2 的要求；具体试板厚度及填角间隙可由工厂制定的焊接工艺计划书确定。

4.4.3.2 角接焊试件取样前应进行外观目视检查和表面渗透探伤。

4.4.3.3 任何焊后热处理应在无损检查前完成。

4.4.3.4 焊缝断面宏观检查试样 2 个，分别在焊件两端截除 25mm 后取样，试样应清楚的显示熔合线、热影响区及焊缝成形。另取破断试样 1 个。

4.4.3.5 试验结果要求如下：

- (1) 外观目视检查和表面渗透探伤结果应符合公认的标准，且焊缝和近焊缝区颜色应为银白色或黄色。
- (2) 宏观检验应显示焊缝成形良好，完全熔合并应符合公认的标准。
- (3) 破断试样的破断面应显示出焊缝无裂纹和未熔合，夹渣和气孔应符合公认的标准。

**4.4.4 焊接工艺认可的覆盖范围**

4.4.4.1 钛及钛合金母材覆盖范围规定见表 4.4.4.1。

钛及钛合金焊接工艺认可母材覆盖范围 表 4.4.4.1

认可试验用钛合金材料	覆盖材料范围
纯钛-纯钛	纯钛-纯钛
α 钛-α 钛	α 钛-α 钛
α β 钛-α β 钛	α β 钛-α β 钛
β 钛-β 钛	β 钛-β 钛
纯钛-α 钛	纯钛-α 钛，纯钛-纯钛
纯钛-α β 钛	纯钛-α β 钛，纯钛-纯钛
纯钛-β 钛	纯钛-β 钛，纯钛-纯钛
α 钛-α β 钛	α 钛-α β 钛，α 钛-α 钛
α 钛-β 钛	α 钛-β 钛，α 钛-α 钛
α β 钛-β 钛	α β 钛-β 钛，α β 钛-α β 钛

4.4.4.2 除 4.4.4.1 外，钛合金焊接工艺认可覆盖范围（如母材厚度、管径、焊接方法、接头形式、焊接位置、焊接工艺条件等）均满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章 3.1.4 的相关要求。

**第 5 节 特种形式焊接工艺认可**

**4.5.1 适用范围**

4.5.1.1 本节适用于船体结构及机械结构用碳钢或碳锰钢铸钢件补焊、铜合金螺旋桨补焊、铜合金管钎焊、钢-铝过渡接头与结构件的角接焊等特殊形式的焊接工艺认可。

#### 4.5.2 铸钢件补焊焊接工艺认可

4.5.2.1 试件应采用钢衬垫单面焊或在铸钢件中间扣槽的形式在平位置焊接，板厚  $t$ (或扣槽深度  $t_1$ )应不小于 15mm，具体形式分别见图-4.5.2.1(a)和(b)。试件尺寸同 4.2.2.1。

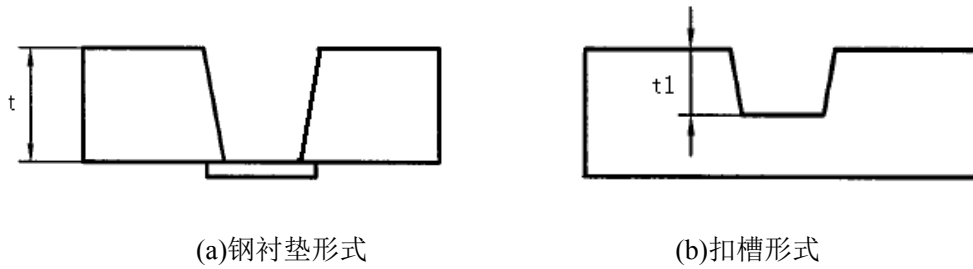


图 4.5.2.1 铸钢件试件坡口形式

4.5.2.2 应根据产品补焊时的具体焊接条件确定试验用焊接方法、焊接材料、预热、道间温度和焊后热处理措施。

4.5.2.3 焊后应进行 100%外观目视检查、表面磁粉探伤和超声波探伤检验。如果要求进行焊后热处理，则无损检测应在热处理后进行。

4.5.2.4 试验项目规定如下：

(1) 焊缝横向拉伸试样 2 个。对扣槽试样，应将厚度中的母材部分去除；

(2) 当母材有冲击要求时，冲击 3 组(距表面不大于 2 mm)：分别为焊缝中心、熔合线、距熔合线 2 mm 的热影响区；

(3) 焊缝横向侧弯试样 2 个。弯曲试验的弯曲角度为  $180^\circ$ ，当  $A_5 \geq 20\%$  时压头直径为  $4t$ ，否则压头直径按 4.2.3.3(2)中的公式确定；

(4) 焊缝断面宏观检验 1 个。当屈服强度大于或等于  $355\text{N/mm}^2$  时增加硬度测试试样 1 个。硬度测试线为近表面和根部各 1 条，分别在焊缝、熔合线、热影响区和母材中的每个区域至少测 3 个点，具体要求见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 1 章第 2 节；

4.5.2.5 试验结果应符合下列要求：

(1) 外观目视检查 and 无损探伤检验结果应符合公认的标准；

(2) 接头的抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度。如果试样断在熔合线以外的母材上，其抗拉强度允许不低于母材规定的最小抗拉强度的 95%；

(3) 夏比 V 缺口冲击试验的冲击温度和冲击能量应符合母材要求；

(4) 弯曲试验和宏观检验结果应分别符合 4.2.1.5(3)和 4.2.1.5(5)的要求；

(5) 硬度测试结果要求为：当母材的规定最小屈服强度不大于  $420\text{N/mm}^2$  时，硬度值一般应不超过 HV350；当母材的规定最小屈服强度大于  $420\text{N/mm}^2$  时，硬度值应不超过 HV420。

4.5.2.6 焊接工艺认可覆盖范围如下：

(1) 母材厚度覆盖范围如表 4.5.4.5(1)。

铸钢件补焊试件板厚的适用范围

表 4.5.4.5(1)

t (mm)	适用范围
$15 \leq t \leq 30$	3mm ~2t
$t > 30$	$\geq 0.5t$

(2) 母材材质、焊接材料、焊接工艺条件等覆盖范围参照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 1 节相关规定。

### 4.5.3 铜合金螺旋桨补焊

4.5.3.1 试件应采用对接双面焊形式在平位置焊接，板厚应不小于 30mm，试件尺寸为：长度不小于 250mm，宽度不小于 280mm。

4.5.3.2 应根据产品补焊时的具体焊接条件确定试验用焊接方法、焊接材料、预热、道间温度和焊后热处理措施。

4.5.3.3 焊后应进行 100%外观目视检查、表面渗透探伤和射线探伤检验。若要求进行焊后热处理，则无损检测应在热处理后进行。

4.5.3.4 试验项目规定如下：

- (1) 焊缝横向拉伸试样 2 个；
- (2) 焊缝断面宏观检查试样 3 个。

4.5.3.5 试验结果要求如下：

- (1) 外观目视检查应符合公认标准；
- (2) 表面渗透探伤结果不允许存在裂纹；
- (3) 射线探伤应符合公认的标准；
- (4) 宏观检查要求为不允许存在裂纹和大于 3mm 的气孔；
- (5) 抗拉强度要求见表-4.5.3.5(5)。

合金类型	最小抗拉强度(N/mm <sup>2</sup> )
Cu1	370
Cu2	410
Cu3	500
Cu4	550

4.5.3.6 焊接工艺认可覆盖范围如下：

- (1) 铜螺旋桨补焊按本节规定的板厚进行工艺认可试验，适用于所有厚度铜螺旋桨补焊；
- (2) 不同材质铜合金应分别进行工艺认可试验；
- (3) 焊接工艺条件覆盖范围可参照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 1 节相关规定。

### 4.5.4 铜合金管钎焊

4.5.4.1 试件规格、接头形式和焊接位置(钎料流向)按实际产品要求选用，试件尺寸参照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 2 节管对接要求。

4.5.4.2 管钎焊接头试验项目规定如下：

- (1) 接头拉伸试验 2 个；
- (2) 宏观断面试验 2 个。

4.5.4.3 当产品有要求时可增加液压试验。

4.5.4.4 试验结果应符合下列要求：

- (1) 抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度；
- (2) 宏观断面应能清楚显示搭接长度内结合情况，钎料渗透的累积长度不低于搭接长度的 80 %。

4.5.4.5 焊接工艺认可覆盖范围如下：

- (1) 母材覆盖范围参照表 4.3.4.1；
- (2) 壁厚覆盖范围参照表 4.3.4.2；
- (3) 实际生产中的接头形式和工艺条件应与工艺认可时相同。

### 4.5.5 钢-铝过渡接头与结构件的角接焊

4.5.5.1 试件尺寸及接头形式见图 4.5.5.1。图中 A、B 为结合界面（过渡层为钛时为铝合金-钛界面，过渡层为铝时为钢-铝界面）测温孔，位于钢和铝焊缝的正下方。

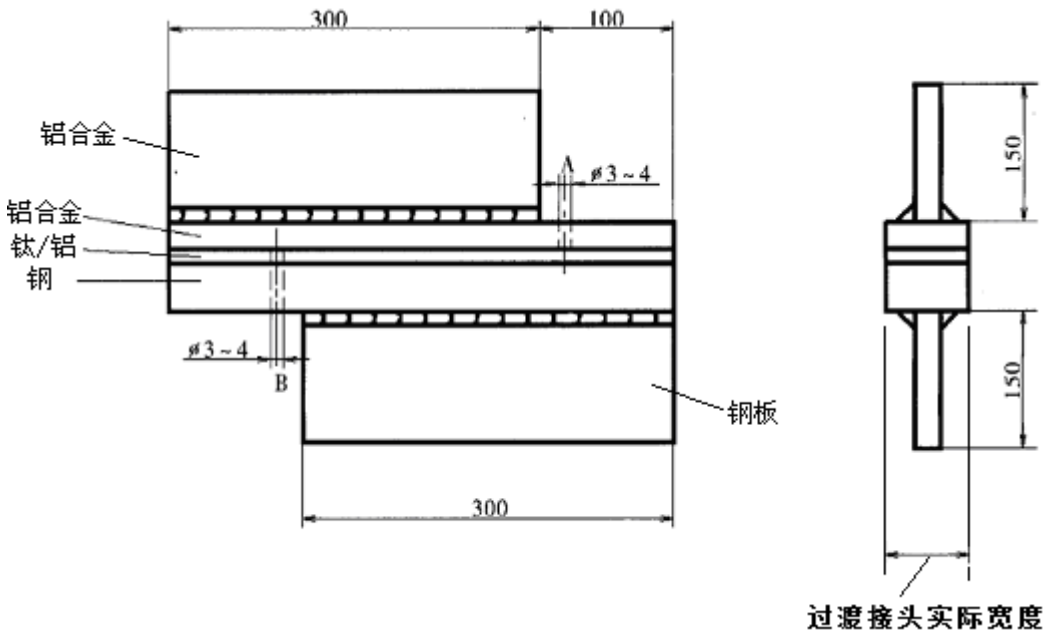


图 4.5.5.1 试件尺寸及接头形式

4.5.5.2 焊接过程应满足下列要求：

- (1) 一般先焊铝侧后焊钢侧。四条焊缝均应是连续角焊缝，焊脚尺寸符合设计要求；
- (2) 焊接过程中测量过渡层界面温度，保证其不超过临界温度(铝-钛-钢接头为 350℃，铝-铝-钢接头为 300℃)。

4.5.5.3 试件焊接完成后应进行 100%外观目视检查和表面渗透探伤。

4.5.5.4 试验项目规定如下：

- (1) 十字接头拉伸试样 2 个，试样尺寸见图 4.5.5.4(1)；

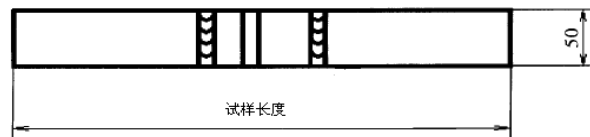


图 4.5.5.4(1) 十字接头拉伸试样

- (2) 宏观断面试样 1 个。

4.5.5.5 试验结果要求如下：

- (1) 外观目视检查和表面渗透探伤结果应符合公认的标准；
- (2) 拉伸试验的抗拉强度应不低于船体结构件(铝板)规定最小抗拉强度值；
- (3) 焊缝断面宏观检查应显示出焊缝成形良好、完全熔合，且过渡接头的复合界面无剥离等缺陷。

4.5.5.6 焊接工艺认可覆盖范围如下：

- (1) 不同材质和厚度的钢-铝过渡接头应分别进行工艺认可试验；
- (2) 焊接热输入量应不超过工艺认可试验时使用的值；
- (3) 焊接材料、焊缝尺寸等覆盖范围可参照 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 1 节相关规定。

焊接工艺计划书 (pWPS)  
**Preliminary Welding Procedure Specification**

工作控制号:  
**No.** \_\_\_\_\_

基本参数

**Essential parametres**

焊接工艺名称及编号 Name and serial number							
制造厂名称及地址 Manufacture's Name and address							
焊接方法: Welding process		单道焊 Single pass	<input type="checkbox"/>	单面焊 One side	<input type="checkbox"/>		
接头型式: Joint type		多道焊 Multi pass	<input type="checkbox"/>	双面焊 Double side	<input type="checkbox"/>		
焊接位置: Welding position		组合焊 Multi process	<input type="checkbox"/>	背面清根 Back gouging	<input type="checkbox"/>		
母材级别/交货状态: Parent metal grade /delivery condition		焊接设备的型号: Weling equipment					
母材厚度 Thickness	车间底漆: Shop primer	管子外径尺寸: Pipe outside Dia.		气体种类: Gas type			
坡口设计(草图) Test joint details (sketch with dimensions)		焊道布置和焊接顺序(草图) Bead sequence details(sketch)					

焊接参数

**Welding parameters**

焊道 Run	焊接方法 Process	焊材直径 Size of filler material (mm)	电流种类和极性 Type of current/ Polarity	焊接电流 Current (A)	电弧电压 Voltage (V)	焊接速度* Travel speed* (cm/min)	热输入* Heat input* [kJ/cm]	气体流量 Gas flow rate (l / min)

\*如有必要时

\*If required

## 焊接工艺计划书(pWPS)(续)

## Preliminary Welding Procedure Specification(continued)

焊接材料(型号/规格/等级): Filler material (type /size / grade)					
衬垫材料: Backing			施焊环境: Welding site conditions		
焊前预热温度 Preheat temperature		道间温度 Interpass temperature		焊后热处理: Postweld heat treatment	
最低值 Min.	℃	最低值 Min.	℃	最高值 Max.	℃
预热方法: Preheat method					
其它有关特殊要求*: Other information*					

\*如焊条/焊丝最大摆动宽度、焊道清洁方式、脉冲电流特性等

\*e.g. Weaving(max. Width of run), Method of interpass cleaning, characteristic of pulse current etc.

## 试验项目

## Test items

1、非破坏性检查 <b>Non-destructive examination</b>									
目检 Visual	<input type="checkbox"/>	射线探伤 Radiography	<input type="checkbox"/>	超声波探伤 Ultrasonic	<input type="checkbox"/>	磁粉探伤 Magnetic particle	<input type="checkbox"/>	渗透探伤 Liquid penetrate	<input type="checkbox"/>
2、破坏性试验 <b>Destructive examination</b>									
1)拉伸试验 <b>Tensile tests</b>		横向拉伸 Transverse		<input type="checkbox"/>	纵向拉伸 Longitudinal		<input type="checkbox"/>		
2)弯曲试验 <b>Bend tests</b>		正弯 Face		<input type="checkbox"/>	反弯 Root		<input type="checkbox"/>	侧弯 Side <input type="checkbox"/>	
3)冲击试验 <b>Impact tests</b>						试验温度: Test temperature		℃	
焊缝根部 Root of weld	焊缝中心 center of weld	<input type="checkbox"/>	熔合线 fusion line	<input type="checkbox"/>	距熔合线 2mm 2mm from FL	<input type="checkbox"/>			
焊缝表面 Face of weld	焊缝中心 center of weld	<input type="checkbox"/>	熔合线 fusion line	<input type="checkbox"/>	距熔合线 2mm 2mm from FL	<input type="checkbox"/>	距熔合线 5mm 5mm from FL	<input type="checkbox"/>	距熔合线 mm mm from FL <input type="checkbox"/>
4)宏观检查 Macro examination		<input type="checkbox"/>	5)硬度试验 Hardness test		<input type="checkbox"/>	6)角接焊破断试验 Fillet weld fracture		<input type="checkbox"/>	
3、其他检查和试验 <b>Additional test(s)</b>		焊缝金属的化学成分 Chemical analysis of weld				<input type="checkbox"/>	试件母材的化学成分 Chemical analysis of parent plate		<input type="checkbox"/>
		接头金相照片(× 倍) metallograph of the joint (× )				<input type="checkbox"/>			
		点蚀试验 Pitting test				<input type="checkbox"/>	晶间腐蚀试验 Intercrystalline corrosion test		<input type="checkbox"/>

签 名:

Signature

制造厂代表

Manufacturer \_\_\_\_\_

日期

Date \_\_\_\_\_

焊接工艺计划书(pWPS)(续)  
Preliminary Welding Procedure Specification(continued)

以下由验船师填写:

The following is to be filled in by the Surveyor:

上述焊接工艺计划书经审核, 同意按本焊接工艺计划书进行焊接工艺试验 .....

The above-mentioned pWPS has been reviewed and implementation of WPT in accordance with this pWPS is approved.

上述焊接工艺计划书经审核, 审核意见如下: (请及时回复并与担当验船师联系).....

The above-mentioned PWPS has been reviewed with comments as follows: (Please reply and contact the attending Surveyor as soon as possible)

签名:  
Signature

CCS 验船师  
CCS Surveyor

日期  
Date

填写说明:

Remarks :

———— 适用 Applicable

———— 不适用 Inapplicable

下列缩写可用于表格填写:

The following abbreviation may be used in this form.

焊接方法: Welding process:

手工电弧焊: SMAW,

埋弧焊: SAW,

金属极气体保护焊: GMAW,

钨极气体保护焊: GTAW,

药芯焊丝气体保护焊: FCAW,

气电立焊: EGW

焊接位置: Welding position

平焊: F; 立焊(上行) V(up); 立焊(下行) V(down); 横焊 H; 仰焊 O

电流种类和极性: Type of current & Polarity:

交流 AC; 直流正接 DCEN; 直流反接 DCEP; 脉冲电流 Plused

焊接工艺认可试验报告(WPQR)  
Welding Procedure Qualification Record

工作控制号:

No. \_\_\_\_\_

焊接工艺名称及编号 <b>Name and serial number</b>							
制造厂名称及地址 <b>Manufacture's Name and address</b>							
材料及焊接工艺 <b>Material and Welding process</b>				焊接工艺试验日期: <b>Date of welding procedure test</b>			
焊接方法: <b>Welding process</b>	单道焊 <input type="checkbox"/>	单面焊 <input type="checkbox"/>	坡口设计(草图) Test joint details (sketch with dimensions) of weld preparation				
接头型式: <b>Joint type</b>	多道焊 <input type="checkbox"/>	双面焊 <input type="checkbox"/>					
焊接位置: <b>Welding position</b>	组合焊 <input type="checkbox"/>	背面清根 <input type="checkbox"/>					
	Multi pass	Double side					
母材(等级/厚度/交货状态): <b>Parent metal(grade/thickness/delivery condition)</b>							
焊接材料(型号/规格/等级): <b>Filler material (type/size / grade)</b>							
衬垫材料: <b>Backing</b>	保护气体(种类/纯度) <b>Shielding gas(type/purity)</b>			焊道布置和焊接顺序(草图) Bead sequence details(sketch)			
管子外径尺寸: <b>Pipe outside diameter</b>	焊剂: <b>Flux</b>						
<b>预热及热处理</b> <b>Preheat and Postweld heat treatment</b>							
焊前预热温度 <b>Preheat temperature</b>		道间温度 <b>Interpass temperature</b>					
最低值 <b>Min.</b>	℃	最低值 <b>Min.</b>	℃	最高值 <b>Max.</b>	℃		
焊后热处理 <b>Postweld heat treatment</b>							
其它说明 <sup>1</sup> : <b>Other information*</b>							

施焊细节

Welding details

焊道 Run	焊接方法 Process	焊材直径 Size of filler material (mm)	电流种类和极性 Type of Current Polarity	焊接电流 Current [A]	电弧电压 Voltage [V]	焊接速度 <sup>2</sup> Travel speed <sup>2</sup> [cm/min]	热输入 <sup>2</sup> Heat input <sup>2</sup> [kJ/cm]	气体流量 Gas flow rate (l/min)	
焊工姓名		环境温度			℃	相对湿度			%

Welder's name		Temperature	Humidity
---------------	--	-------------	----------

## 焊接工艺认可试验报告(续)

## Welding Procedure Qualification Record(continued)

## 试验项目及结果 Test items and results

1. 非破坏性试验 Non-destructive examination									
目检 Visual	<input type="checkbox"/>	射线探伤 Radiography	<input type="checkbox"/>	超声波探伤 Ultrasonic	<input type="checkbox"/>	磁粉探伤 Magnetic particle	<input type="checkbox"/>	渗透探伤 Liquid penetrate	<input type="checkbox"/>
2. 破坏性试验 Destructive examination									
拉伸试验 Tensile tests									
试样 Test piece	抗拉强度 Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	屈服强度 Yield point (N/mm <sup>2</sup> )	伸长率 elongation %	断面收缩率 Reduction of area %	断裂位置 Location of rupture	试验温度 Test temperature °C			
横向拉伸 1 Transverse 1									
横向拉伸 2 Transverse 2									
纵向拉伸 Longitudinal									
弯曲试验 Bend tests					角接焊破断试验 Fillet weld fracture				
试样 Test piece	压头直径/弯曲角度 Former / angle	结果 Result	1.						
正弯/反弯/侧弯 Face / root /side			2.						
正弯/反弯/侧弯 Face / root /side			3.						
正弯/反弯/侧弯 Face / root /side			焊缝断面宏观检验(照片和结果) Macro examination						
正弯/反弯/侧弯 Face / root /side									
纵向弯曲 Longitudinal									
冲击试验 Impact tests							试验温度 Temp. °C		
要求: Requirement	缺口位置 Notch location	试验值 Values (J) 1 2 3	平均值 Average (J)	备注 Remarks	缺口位置 Notch location	试验值 Values (J) 1 2 3	平均值 Average (J)	备注 Remarks	
尺寸: Size									
类型: Type									
复试 Retest									
硬度测试 Hardness test									
测试形式和载荷: Type and load					测试位置示意图 Location of hardness measurements(sketch)				
区域 Area	硬度范围 Hardness range								
母材 Parent material									
热影响区 H.A.Z									
焊缝 Weld									



## 附件

### Appendix

为了保证焊接工艺认可试验的质量，并使其具有可追溯性，应提交下列文件的复印件(必要时也可进行增减)。

**In order to insure the quality of welding procedure test and make it traceable, copies of the documents listed below are to be submitted .(Items in the list may be added or deleted as necessary).**

#### 文件清单 List of Documents

序号 No.	文件名称 Document name		备注Remarks
1	母材质量证明书 <b>Certification of base material</b>	<input type="checkbox"/>	
2	焊接材料质量证明书 <b>Certification of filler material</b>	<input type="checkbox"/>	
3	无损检测报告 <b>NDT reports</b>	<input type="checkbox"/>	
4	试验报告(包括拉伸、弯曲、冲击、硬度等) <b>Test reports</b> <b>(Tensile tests, Bend tests, impact tests, Hardness test, etc.)</b>	<input type="checkbox"/>	
5	焊缝断面宏观检验报告(照片和结果) <b>Macro examination reports (Photo and result)</b>	<input type="checkbox"/>	
6	外观检查照片 <b>Photos of weld surface</b>	<input type="checkbox"/>	
7	力学性能试样照片 <b>Photos of test pieces</b>	<input type="checkbox"/>	
8	施焊焊工CCS资格证书(如有时) <b>Welder' Certificate issued by CCS( if any)</b>	<input type="checkbox"/>	
9			
10			

焊接工艺规程 (WPS)  
Welding Procedure Specification

工作控制号:

No. \_\_\_\_\_

焊接工艺名称及编号 <b>Name and serial number</b>								
制造厂名称及地址 <b>Manufacturer's Name and address</b>								
适用板材(钢管)规格/材质: <b>Base material range</b>								
焊接方法: <b>Welding process</b>		单道焊 <input type="checkbox"/>	单面焊 <input type="checkbox"/>					
接头型式: <b>Joint type</b>		多道焊 <input type="checkbox"/>	双面焊 <input type="checkbox"/>					
焊接位置: <b>Welding position</b>		组合焊 <input type="checkbox"/>	背面清根 <input type="checkbox"/>					
母材级别/交货状态: <b>Parent metal grade /delivery condition)</b>		焊接设备的型号和主要性能参数: <b>Weling equipment</b>						
母材板厚: <b>Thickness</b>	车间底漆: <b>Shop primer</b>	管子外径尺寸: <b>Pipe outside Dia.</b>	气体种类: <b>Gas type</b>					
坡口设计(草图) <b>Test joint details (sketch with dimensions)</b>		焊道布置和焊接顺序(草图) <b>Bead sequence details(sketch)</b>						
焊接参数 <b>Welding parameters</b>								
焊道 Run	焊接方法 Process	焊材直径 Size of filler material (mm)	电流种类和极性 Type of current Polarity	焊接电流 Current (A)	电弧电压 Voltage (V)	焊接速度* Travel speed* (cm/min)	热输入* Heat input* [kJ/cm]	气体流量 Gas flow rate (1 / min)

\* 如有必要时

\* If required

## 焊接工艺规程(WPS)(续)

### Welding Procedure Specification(continued)

焊接材料(型号/规格/等级): Filler material (type /size / grade)					
衬垫材料: Backing			施焊环境: Welding site conditions		
焊前预热温度(°C) Preheat temperature		道间温度(°C) Interpass temperature			焊后热处理: Postweld heat treatment
最低值 Min.		最低值 Min.		最高值 Max.	
预热方法 Preheat method					
其它有关特殊要求*: Other information*					

\*如焊条/焊丝最大摆动宽度、焊道清洁方式、脉冲电流特性等

\*e.g. Weaving(max. Width of run), Method of interpass cleaning, characteristic of pulse current, etc.

**注:**

**Remarks :**

下列缩写可用于表格填写:

The following abbreviation may be used in this form.

焊接方法:

**Welding process:**

手工电弧焊 SMAW,                      埋弧焊:SAW,                      金属极气体保护焊 GMAW,  
 钨极气体保护焊 GTAW,              药芯焊丝气体保护焊 FCAW,              气电立焊 EGW  
 平焊: F;    立焊(上行) V(up);    立焊(下行) V(down);    横焊 H;    仰焊 O

电流种类和极性: Type of current & Polarity:

交流 AC;    直流正接 DCEN;    直流反接 DCEP;              脉冲电流 Plused

----- 适用 Applicable

----- 不适用 Inapplicable

**签名:**

**Signature**

制造厂代表

Manufacturer

\_\_\_\_\_

日期

Date

\_\_\_\_\_

CCS 验船师

CCS Surveyor

\_\_\_\_\_

日期

Date

\_\_\_\_\_

# 第 5 章 船舶结构焊接工艺设计

## 第 1 节 一般规定

### 5.1.1 适用范围

5.1.1.1 本章适用于申请 CCS 进行建造检验的船舶和海上设施的焊接。

### 5.1.2 工艺规程与设计要求

5.1.2.1 开工建造前，建造方应提供下列技术文件和资料给 CCS 进行批准和确认。

- (1) 图纸和支持性文件；
- (2) 检查和试验计划；
- (3) 无损检测图；
- (4) 焊接材料明细；
- (5) 焊接工艺说明书；
- (6) 焊接图纸或明细；
- (7) 焊工资格证书；
- (8) 无损检测人员资格证书。

5.1.2.2 船舶建造顺序应确保在组立、分段和总段等所有制造阶段均能以持续检查和控制得以实施的方式组装结构。

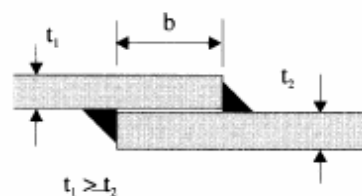
5.1.2.3 焊接顺序应以降低残余应力、减少焊接变形和防止产生焊接裂纹为目的。

5.1.2.4 在结构设计中，应保证构件最大限度的柔性(软趾)和最小的焊缝收缩应变。

### 5.1.3 对接焊缝、搭接与塞焊焊缝

5.1.3.1 当不同厚度的板进行对接焊时，应避免剖面的突变。如两板厚度差大于或等于4mm，应将厚板的边缘削斜或开斜边坡口以形成相应比例的焊接接头。削斜的宽度不小于厚度差的4倍。如两板厚度差小于4mm，可在焊缝宽度内使焊缝均匀地过渡。

5.1.3.2 承受高拉伸应力或压缩载荷部位的板一般不采用于搭接焊连接。当采用搭接焊缝时，搭接焊缝的宽度( $b$ ) 应不小于两块连接板中较薄板厚的 3 倍，但不大于 4 倍，见图 5.1.3.2。接头应布置在便于焊接的位置，以利于得到良好的焊缝。搭接表面应紧密贴合，搭接焊缝的两个边缘应施以连续角焊。



5.1.3.2 搭接焊缝的尺寸

5.1.3.3 板材与内部垂直或水平腹板无法直接采用角焊缝进行连接时，可在腹板和板材之间衬一扁钢，扁钢与板材可采用塞焊焊接。一般而言，塞焊孔的最小长度不小于 75mm，最小宽度一般不小于板材厚度的 2 倍，塞焊孔的端部应为圆形，两孔端间距不大于 150mm，焊接系数为 0.44，且符合 CCS《钢质海船入级规范》第 2 分册第 2 篇 1.4.4 的焊脚尺寸要求。

### 5.1.4 角接焊缝

5.1.4.1 船体角焊缝应为双面填角焊，其型式和使用部位见《钢质海船入级规范》第2分册第2篇表1.4.4.1。若该接头承受高应力，则可采用深熔焊或全熔透角焊。若要求全熔透角焊，则可要求在连接板上开坡口。

5.1.4.2 角焊缝的焊接系数按《钢质海船入级规范》第 2 分册第 2 篇表 1.4.4.2 规定。

CSR 船舶的填角焊缝应满足 CCS《钢质海船入级规范》共同结构规范篇章的相关要求。

5.1.4.3 当采用一种经焊接工艺认可的深熔焊程序时，深熔焊缝所需的角接焊缝焊脚高度根据 5.1.4.2 计算所得的填角焊焊脚长度可以减少 15%。

5.1.4.4 船体结构中，应采用双面连续角接焊缝的部位见《钢质海船入级规范》第 2 分册第 2 篇表 1.4.1.8 规定。

5.1.4.5 主要结构的焊接及主要构件和次要构件的焊接见 CCS《钢质海船入级规范》第 2 分册第 2 篇表 1.4.4.8~1.4.4.12 的规定。

## 第 2 节 船体建造

### 5.2.1 船体装配过程

5.2.1.1 船舶建造厂在船舶建造过程中，船体装配大致有以下四个步骤：

- (1) 将各个构件装配焊接成船体部件或组件。
- (2) 由构件、部件和组件装配焊接成各种船体分段。
- (3) 由平面分段、曲面分段和零部件及组件组装成大型分段或总段。
- (4) 在船坞内(船台)将分段、大型分段(或总段)及少量零部件组装成整艘船体。

### 5.2.2 船体建造精度及控制

5.2.2.1 船体建造精度是指船体无余量装配的工艺方法。主要内容有：

- (1) 放样、下料及划线的尺寸允许偏差。
- (2) 气割切口表面光洁度的允许偏差。
- (3) 构件尺寸：构件切割尺寸的板边不直度、坡口角度与钝边、构件形状与尺寸的允许偏差。
- (4) 板材折边、成型板(圆柱体)、型钢和构件、弯曲板、板材刨边与剪切机加工的尺寸允许偏差。
- (5) 部件装配尺寸的允许偏差。
- (6) 平面分段装配尺寸的允许偏差。
- (7) 分段、总段装配、焊后尺寸允许偏差。
- (8) 船坞(船台)装配尺寸的允许偏差。
- (9) 焊缝形状：焊缝尺寸、咬口深度、焊脚高度的允许偏差。

5.2.2.2 应重视焊前原材料下料、切割、加工与装配过程中全部工序的精度保证措施，逐级减少船体零部件的尺寸误差，保证船体零部件尺寸和形状的正确性，提高分段、总段和船坞装配的精度。

5.2.2.3 在施工过程中，应通过技术和管理相结合的手段，加强船体建造精度的监控力度。

### 5.2.3 造船质量标准

5.2.3.1 船舶建造的质量通常应符合 IACS Rec47 或 CCS 认可的国家或国际标准。

## 第 3 节 船体焊缝布置和典型结构节点

### 5.3.1 一般要求

5.3.1.1 布置船体焊缝的位置时，尽可能考虑采用平焊位置施焊，避免采用仰焊。

5.3.1.2 船体对接缝的位置应尽量布置在船体结构上应力较小的部位。

5.3.1.3 应尽量避免焊缝在局部区域集中在一起，焊缝应避免成锐角交叉，以减少焊接应力集中。

5.3.1.4 布置焊缝位置时，在一平面上要求纵缝和横缝都应对准成直线。

### 5.3.2 主要部位焊缝布置

5.3.2.1 甲板板的端接缝不宜设于大开口的四角，板缝与舱口横端至少应相距 760mm 或一个肋距，取大者。

5.3.2.2 避免使甲板板缝与甲板上下构件的焊缝相重合或太接近，一般要求两者的间距大于 50mm。

5.3.2.3 舷顶列板与甲板边板直角连接时，舷顶列板的上缘应平整，在船中部 0.5L 范围内应避免焊接其他装置。

5.3.2.4 舷顶列板为圆弧过渡时，在船中部 0.5L 区域内的圆弧舷板上应避免焊接甲板装置。0.5L 区域外如需要焊接构件，应采用搭接接头型式连接。且搭接接头不允许焊在圆弧过渡区域，应与圆弧和甲板对接缝至少相隔 10mm。如半潜驳船中浮箱与甲板的连接。

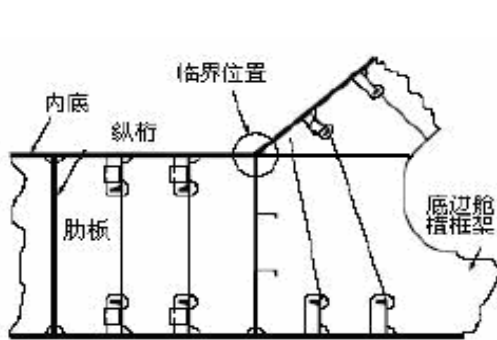
5.3.2.5 布置外板端接缝时，应考虑建造工艺在船体分段的布置和钢板长度的充分利用，外部各列板的端接缝尽量排在同一横剖面上；船中部分的端焊缝可布置的长些，首尾部分可布置的短些。

5.3.2.6 布置外板边接缝时，应考虑甲板、纵桁、纵骨和内底边板等纵向构件的布置，外板边接缝与纵向构件的角焊缝应避免重合或形成过小的交角。

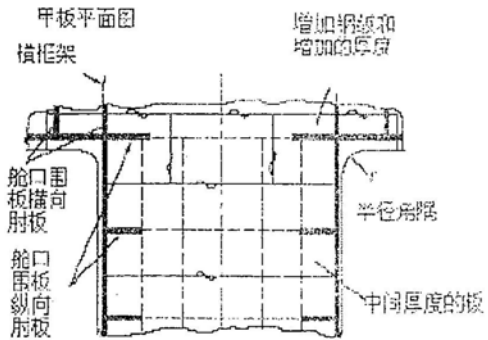
### 5.3.3 典型结构节点

5.3.3.1 船舶结构中的处于高应力区域或关键位置的节点在设计时应注意构件中力的传递有效性，避免产生过大的应力集中。建造时应保证构件良好的对中及装配和焊接质量。

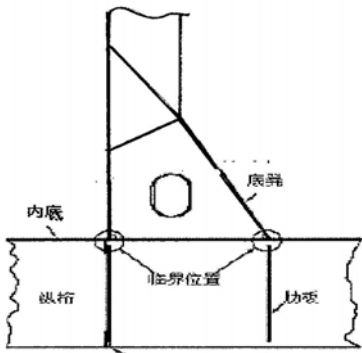
船舶结构典型的节点如图 5.3.3.1 所示（图 5.3.3.1 仅为示意，非强制性要求）。



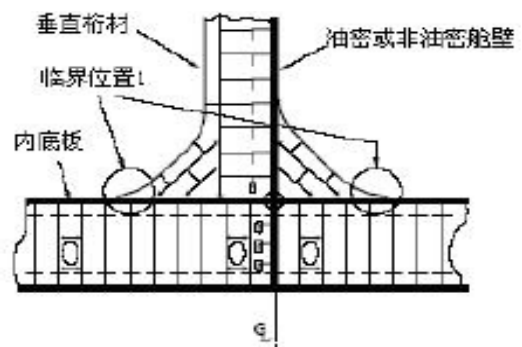
(1)斜底板/内底板/底边舱纵桁的连接



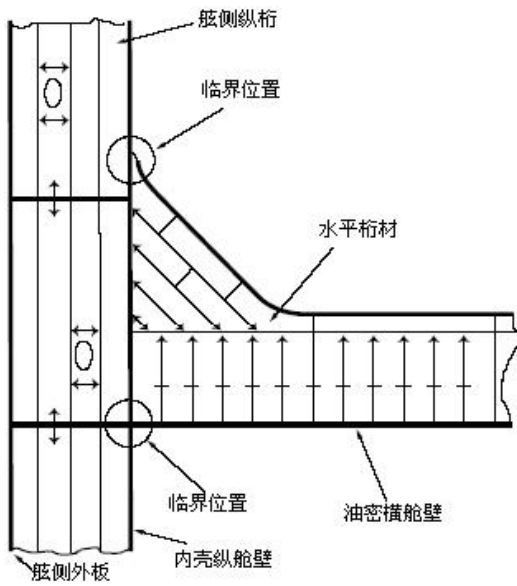
(2)舱口角隅部分及两侧不同板厚的过渡区域



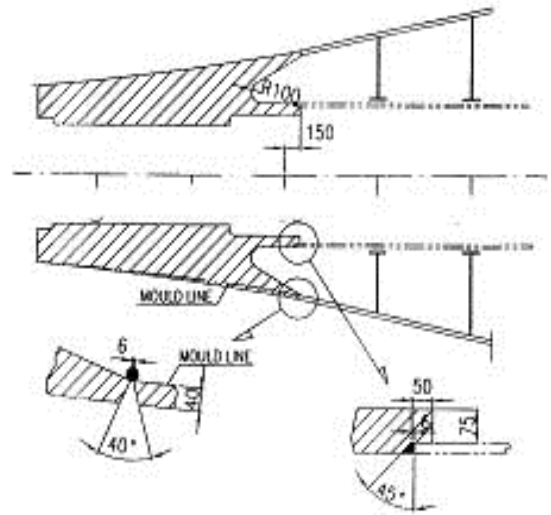
(3)槽型舱壁底墩与双层底的连接



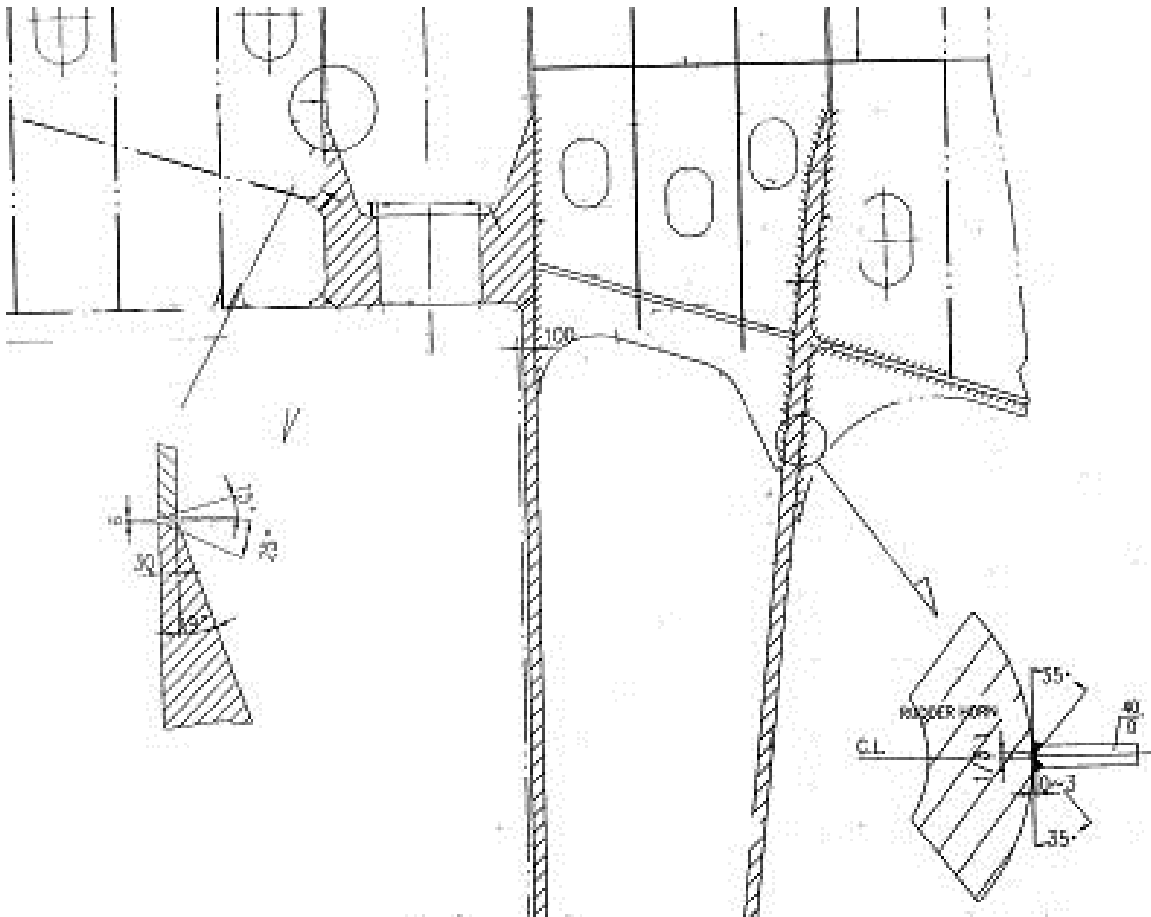
(4)中纵舱壁的垂直桁材端肘板趾端与双层底肋板的连接



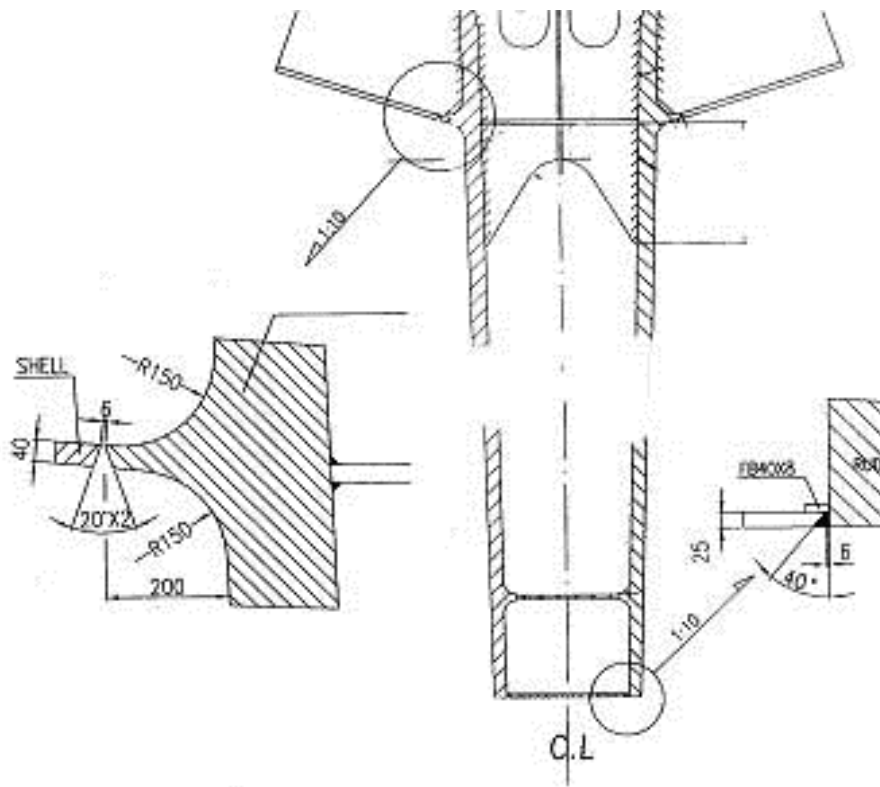
(5) 水平桁端肘板趾端与舷侧纵桁的连接



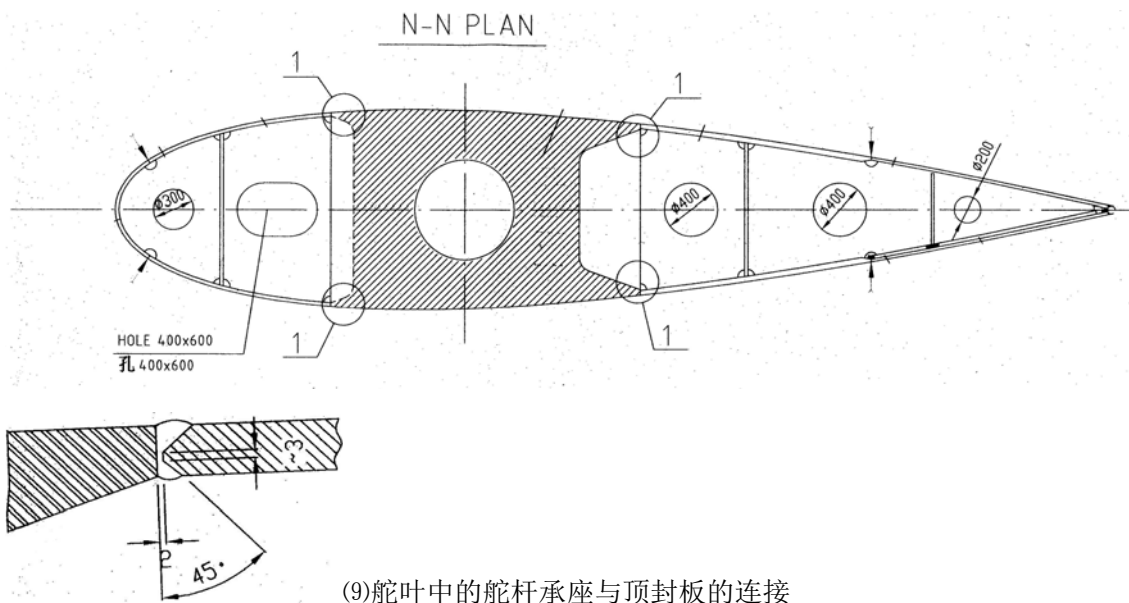
(6) 尾轴管后轴毂（铸件）与外板的连接



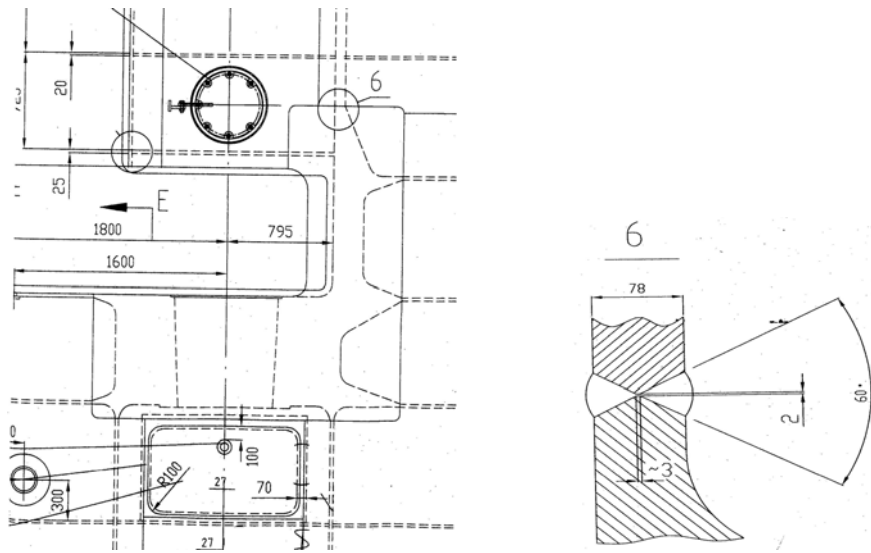
(7) 挂舵壁铸钢件与加强肘板及内部构件的连接



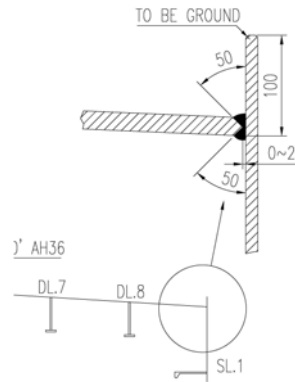
(8)挂舵壁铸钢件与船体外板及下封板的连接



(9)舵叶中的舵杆承座与顶封板的连接



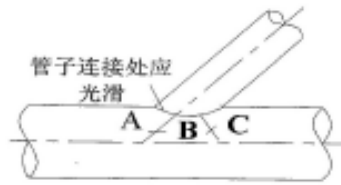
(10) 舵叶中的销承座与垂直隔板的连接



(11) 舷顶列板与主甲板板的连接

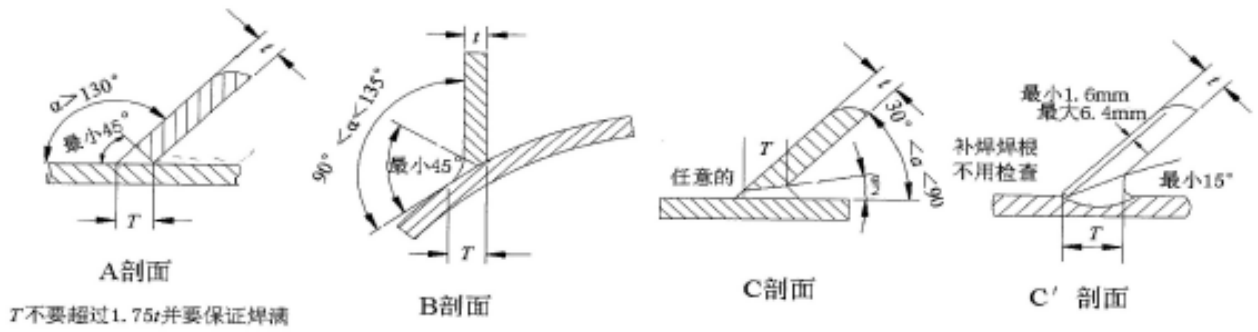


(12) 舷侧肋骨与船体外板和顶边舱(底边舱)斜板的连接



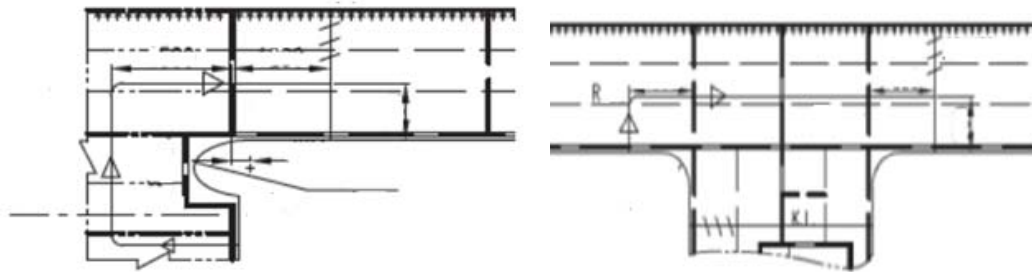
典型的连接

其中角度  $\alpha$  是撑杆和弦杆在连接处的外表面交线上任一点所形成的角度

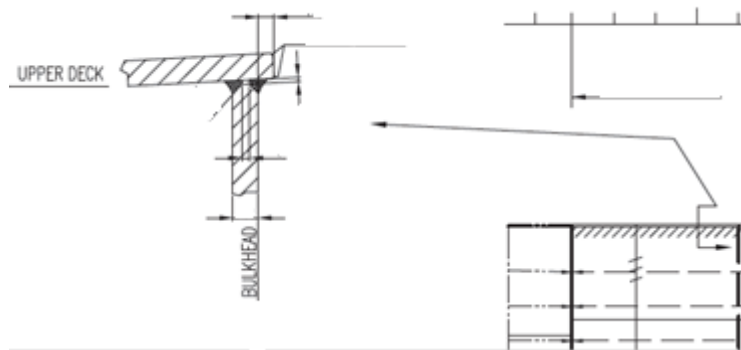


图中尺寸“T”不包括为了使焊缝表面平顺过渡到基本金属所形成的凹形

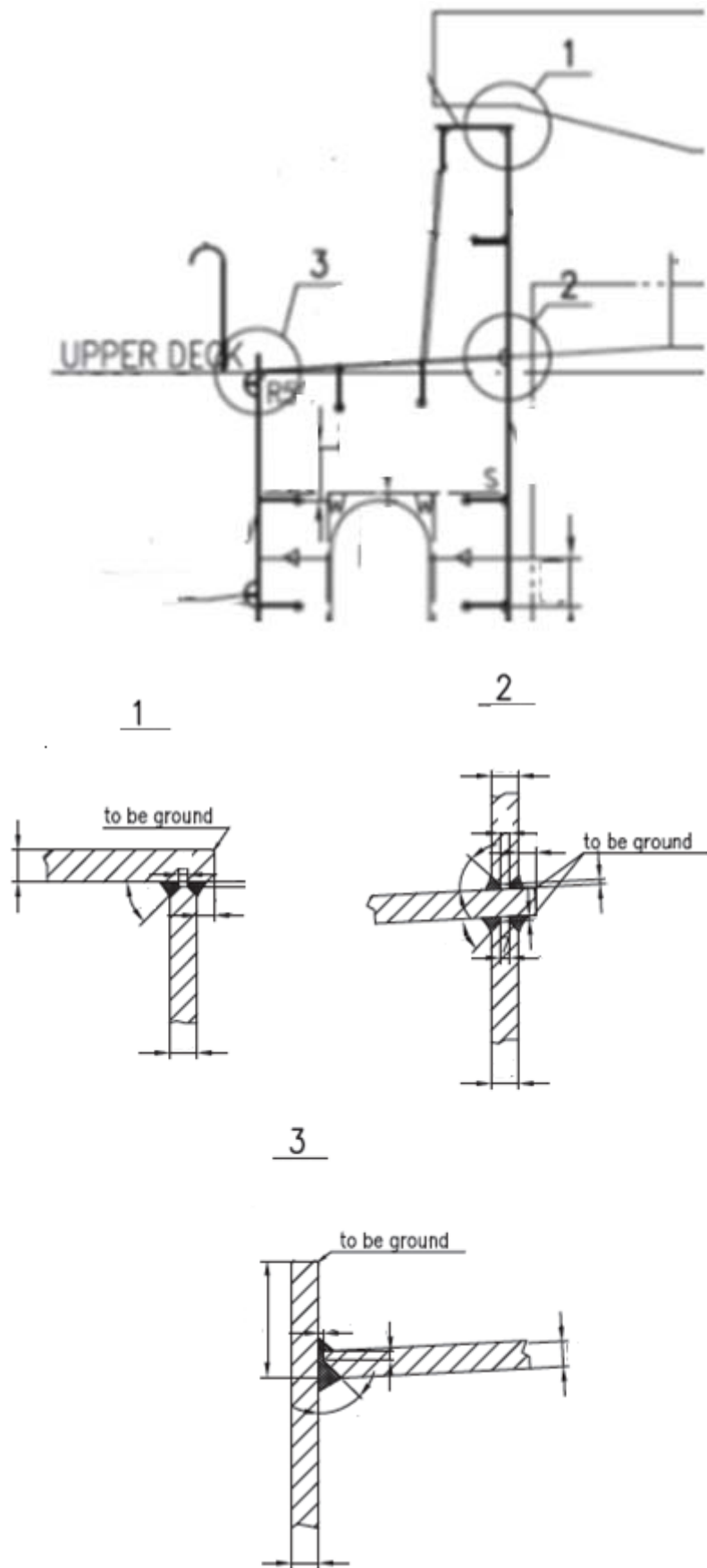
(3) 固定式海上设施结构管件的连接



(14) 上甲板 舱口



(15) 主甲板与纵舱壁



(16)中横剖面

图 5.3.3.1 船舶结构典型节点

# 第 6 章 船体结构的焊接

## 第 1 节 一般规定

### 6.1.1 适用范围

6.1.1.1 本章规定适用于船体钢材、不锈钢、铝合金材料、铜合金螺旋桨和不锈钢复合材料的焊接。

### 6.1.2 工艺规程

6.1.2.1 焊接施工前，制造单位应将拟使用的焊接规程提交 CCS，经 CCS 认可批准后方可使用。具体要求见 CCS《材料焊接与规范》第 3 篇第 3 章。

### 6.1.3 人员

6.1.3.1 从事船舶建造的焊接操作人员应持有 CCS 颁发或承认的《焊工资格证书》，并从事与证书相适应的焊接工作。

6.1.3.2 从事船舶建造的装配和外观检验人员应是制造单位经验丰富人员并接受过单位内部的专业培训。

### 6.1.4 焊前准备

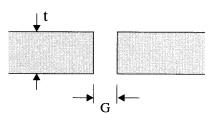
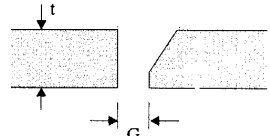
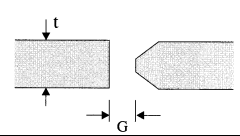
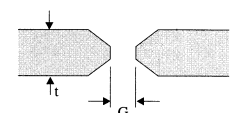
6.1.4.1 焊接材料、焊接坡口尺寸及装配精度应符合认可的焊接工艺及相关标准要求。

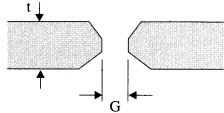
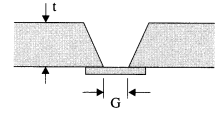

焊接接头细节可参照表 6.1.4.1(1)~6.1.4.1(5)的规定。该焊接接头不适用特殊船型（如：气体运输船）和结构采用不锈钢或其他特殊类型或等级的钢质船舶。

焊接材料的选择和使用按 CCS《材料与焊接规范》要求。

典型对接焊坡口(手工焊接和半自动焊)

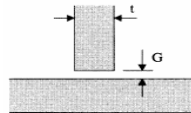
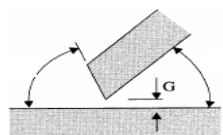
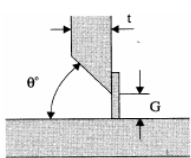
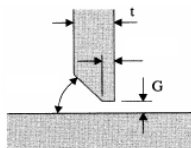
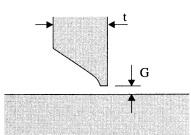
表 6.1.4.1(1)

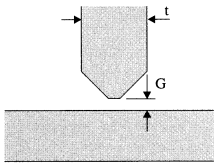
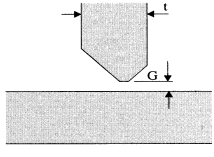
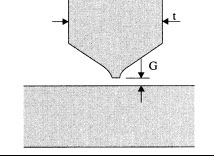
详图	标准	极限	备注
平面对接 $t \leq 5 \text{ mm}$ 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
单面单边V型坡口对接 $t > 5 \text{ mm}$ 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
K型坡口对接 $t > 19 \text{ mm}$ 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
双 V 坡口对接 对称坡口 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1

双 V 坡口对接 非对称坡口 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
背面带衬垫(临时或永久)的单面 V 坡口对接 	$G = 3 - 9 \text{ mm}$	$G = 16 \text{ mm}$	见注 1
单面 V 坡口对接 	$G \leq 3 \text{ mm}$	$G = 5 \text{ mm}$	见注 1
注 1: CCS 可按《材料与焊接规范》或其他公认标准接受或认可不同的坡口型式。 对不同于手工焊和半自动焊的焊接工艺, 参见 CCS 接受的国家或国际标准。			

典型角接焊坡口(手工焊接和半自动焊)

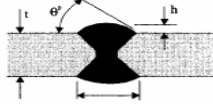
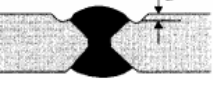
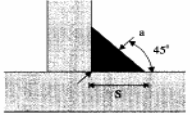
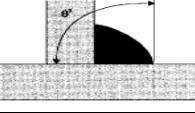

表 6.1.4.1(2)

详图	标准	极限	备注
T 角接 	$G \leq 2 \text{ mm}$	$G = 3 \text{ mm}$	见注 1
小角度角接 	$G \leq 2 \text{ mm}$	$G = 3 \text{ mm}$	见注 1
带永久衬垫的单斜面坡口 	$G \leq 4 - 6 \text{ mm}$ $\theta^\circ = 30^\circ - 45^\circ$	$G = 16 \text{ mm}$	强力构件不常用此坡口 见注 1
单斜面坡口 	$G \leq 3 \text{ mm}$		见注 1
单 J 坡口 	$G = 2.5 - 4 \text{ mm}$		见注 1

<p>K型对称坡口T型角接 <math>t &gt; 19 \text{ mm}</math></p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$		见注 1
<p>K型不对称坡口T型角接 <math>t &gt; 19 \text{ mm}</math></p> 	$G \leq 3 \text{ mm}$		见注 1
<p>双面对称 J 型坡口 T 型角接</p> 	$G = 2.5 - 4 \text{ mm}$		见注 1
<p>注 1: CCS 可按《材料与焊接规范》或其他公认标准接受或认可不同的坡口型式。 对不同于手工焊和半自动焊的焊接工艺, 参见 CCS 接受的国家或国际标准。</p>			

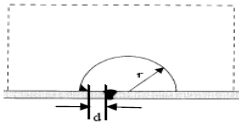
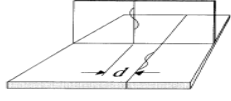
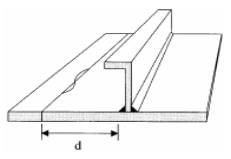
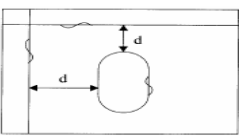
对接和角接焊缝外形(手工焊和半自动焊)

表 6.1.4.1(3)

详图	标准	极限	备注
<p>对接焊缝焊趾角度</p> 	$\theta \leq 60^\circ$ $h \leq 6 \text{ mm}$	$\theta \leq 90^\circ$	
<p>对接焊缝咬边</p> 		$D \leq 0.5 \text{ mm}$ , 对强力构件 $D \leq 0.8 \text{ mm}$ , 对其他构件	
<p>角接焊缝焊脚长度</p>  <p><math>s = \text{焊脚长度}</math>, <math>a = \text{焊喉厚度}</math></p>		$s \geq 0.9s_d$ $a \geq 0.9a_d$ 超过短焊缝长	$s_d = \text{设计焊脚长度}$ $a_d = \text{设计焊喉厚度}$
<p>角接焊趾角度</p> 		$\theta \leq 90^\circ$	在应力集中和疲劳区域, CCS 可要求一个较小的角度。
<p>角接焊缝咬边</p> 		$D \leq 0.8 \text{ mm}$	

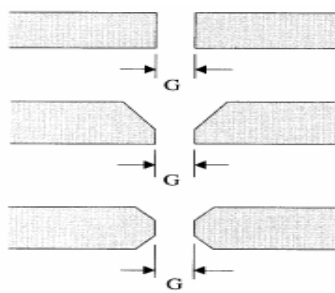
两焊缝间距

表 6.1.4.1(4)

详图	标准	极限	备注
孔与焊缝的间距 		对强力构件 $d \geq 5 \text{ mm}$ 对次要构件 $d \geq 0 \text{ mm}$	$d$ 为从角焊缝焊趾到对接焊缝焊趾间的距离。
两对接缝间距 		$d \geq 0 \text{ mm}$	其中 $d$ 为相交平面对接焊缝间距。
对接缝和角接缝间距 		对重要构件 $d \geq 10 \text{ mm}$ 对次要构件 $d \geq 0 \text{ mm}$	$d$ 为从角焊缝焊趾到对接焊缝焊趾间的距离。
两对接缝间距 	对于开口 $d \geq 30 \text{ mm}$		
	对于内底边板 $d \geq 300 \text{ mm}$	150 mm	

典型的对接焊缝坡口（埋弧自动焊）

表 6.1.4.1(5)

详图	标准	极限	备注
	$0 \leq G \leq 0.8 \text{ mm}$	$G = 2 \text{ mm}$	见注 1:
注 1: CCS 可按《材料与焊接规范》或其他公认标准接受或认可不同的坡口型式。 对不同于自动焊的焊接工艺, 参见 CCS 接受的国家或国际标准。			

6.1.4.2 焊接区域的铁锈、氧化皮、油污和其它污物应清除干净。

6.1.4.3 涂有防锈底漆的船用钢板、型钢和成型件, 其采用的防锈底漆应经 CCS 认可合格, 否则在焊前应先除去该防锈底漆。

6.1.4.4 从事定位焊的焊工应由具有焊工资格证书的焊工担任, 定位焊应按批准的焊接工艺规程要求进行, 且满足最后焊缝质量要求。

6.1.4.5 预热温度和层间温度应根据使用结构的钢材等级、碳当量、焊件厚度、施焊环境、焊接方法和拘束度等因素综合考虑, 并通过焊接工艺认可试验确定。但应满足下列要求:

(1) 当根据材料的化学成分和构件厚度决定待焊构件的预热温度时, 预热温度一般可按表 6.1.4.5(1) 选取。

建议的最小预热温度

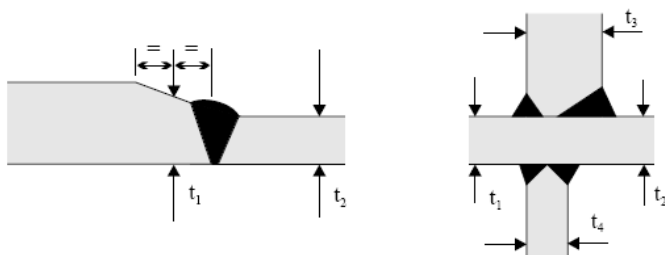
表 6.1.4.5(1)

碳当量 <sup>①</sup>	$T \leq 50 \text{ mm}$ <sup>②</sup>	$50 \text{ mm} < T \leq 70 \text{ mm}$ <sup>②</sup>	$T > 70 \text{ mm}$ <sup>②</sup>
------------------	-------------------------------------	---	----------------------------------

$C_{eq} \leq 0.39$	----	----	50℃
$C_{eq} \leq 0.41$	----	----	75℃
$C_{eq} \leq 0.43$	----	50℃	100℃
$C_{eq} \leq 0.45$	50℃	100℃	125℃
$C_{eq} \leq 0.47$	100℃	125℃	150℃
$C_{eq} \leq 0.50$	125℃	150℃	175℃

注：①  $C_{eq} = C + Mn/6 + (Ni + Cu)/15 + (Cr + Mo + V)/5$  %

②  $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$  如下图所示



(2) 当认可的焊接工艺规程中无预热要求，而施焊环境又较低时，待焊钢板预热温度通常应满足表 6.1.4.5(2) 的规定。

低温下船体钢焊接的预热

表 6.1.4.5(2)

项目	标准范围		极限值	备注
	母材金属需要预热的温度	最小的预热温度		
一般强度钢(A,B,D,E)	<-5℃	20℃ <sup>①</sup>		
TMCP 高强度钢 (AH32~EH32,AH36~EH36)	<0℃			
常规高强度钢 (AH32~EH32,AH36~EH36)	<0℃			

注：①应使用此预热温度，除非认可的焊接工艺规定了更高的温度。

(3) 层间温度一般要求不低于钢板的预热温度且最高不超过 250℃。

## 6.1.5 焊接修整

6.1.5.1 在船舶建造过程中由于装配、精度控制和焊接等因素影响，焊件的坡口与设计值存在差异，因此应在焊接前或焊接后进行修整，以符合设计要求。具体要求见附录 6A。

## 第 2 节 船体构件的焊接

### 6.2.1 一般要求

6.2.1.1 采用新材料、新工艺时，应进行焊接工艺认可试验；并将焊接工艺试验报告和焊接工艺规程提交 CCS 认可。

6.2.1.2 焊接程序要与 CCS 认可的程序或公认的标准相符合，若符合公认标准则应提交相关的资料和报告供 CCS 审核。

6.2.1.3 生产施工和检验应按 CCS 认可的设计图纸和工艺文件进行。

## 6.2.2 焊接设备

6.2.2.1 焊接设备和装置应适合于拟定的用途，并保持在有效的工作状态下。在焊接工作场所附近，应设置存放生产所用焊接材料的合格设施。必要时，CCS 将检查这些设备和设施。

## 6.2.3 确定焊接顺序的原则

6.2.3.1 应正确选择焊接顺序，以减少焊接残余变形和焊接残余应力。

(1) 保证钢板和焊接接缝一端有自由收缩的可能性。

(2) 先焊接对其他焊缝不起刚性固定作用的焊缝。

(3) 在构架和板接缝相交时，既有对接缝也有角接缝的情况下，应先焊对接焊缝，后焊角焊缝。

(4) 当分段、总段焊接时，尽可能由双数焊工从分段中部逐渐向左右，前后对称地施焊，以保证结构件均匀地收缩。

(5) 处在大接头同一断面的各种构件，应先焊大接头的对接焊缝，再焊其他构件的对接缝，后焊其他构件的角焊缝，以减少大接头的残余应力。

(6) 靠近大接头的肋骨和隔舱壁的角焊缝，一般应在大接头施焊后进行施焊。

## 6.2.4 船体焊接

6.2.4.1 按照焊接工艺规程所要求的焊接方法和焊接状态进行焊接，并应在焊接前做好反变形措施。

6.2.4.2 制定承受高应力部位的焊接工艺。且包括板边缘的预加工、根部间隙和焊接顺序。

6.2.4.3 合理地安排焊接顺序，减少焊接应力，防止焊接变形。焊接接头的布置，应使之尽可能便于采用俯焊。

(1) 一般应先焊接收缩量大的焊缝，后焊收缩量小的焊缝。且应在尽可能小的拘束下焊接。

(2) 双层底分段内部构件焊缝，一般应先焊对接焊缝，后焊立角焊缝，最后焊接平角焊缝。同时，焊接应在接缝的中心处开始，并向外继续施焊，或在组件的中心开始朝外向周边施焊，使每一部件均可向一个或几个方向自由移动。

(3) 对船体大合拢焊缝的焊接应由双数焊工在船的左右两侧同时对称进行，焊工操作人数的多少根据船舶吨位大小而定。

(4) 加强构件包括横材、肋骨、桁材等应采用自动焊工序与被焊板材的焊接按一种减少加强材角变形的方法进行。

6.2.4.4 应考虑由于装配间隙和板件、组件等所采用的焊接规程而引起的总的收缩，以确保船舶建造精度。

6.2.4.5 在施焊过程中应避免在构件上随意引弧和施焊短焊道。装焊临时构件的部位，在去除临时构件后，应将表面打磨平顺，必要时可要求进行表面无损检测。

6.2.4.6 当扶强材跨越已完成的对接缝或边接缝以连续角焊连接时，其跨越处的焊缝均应予以磨平。同样，在填角焊施焊前扶强材腹板上的对接焊缝应全部磨平。磨平部分的端部应光滑、无缺口或截面的突变。若这些条件不能满足，则应在扶强材腹板上开扇形孔。扇形孔的尺寸和位置应满足焊接要求。

6.2.4.7 所有的甲板分段、舷侧分段、双层底分段以及大中合拢总段等部件的构架前后两端的角接接头应留出 300mm 长暂不焊，待相邻两分段对接装配完毕后，再进行施焊。

6.2.4.8 对挂舵壁、尾柱和舵叶中的铸钢和船体钢板的焊接，焊接前铸件的表面应打磨干净、光滑并清除铸件气孔、裂缝、缩孔、毛刺、结疤、包砂等。焊接应采用低氢焊材，且焊接前要进行 100℃~120℃ 的预热，预热范围在坡口两侧 200mm 范围内，焊后应进行低温回火处理，回火温度为 200℃~250℃，保温时间按板厚确定但不少于 2 小时。焊接完毕 48 小时后应进行无损检测。

6.2.4.9 操作焊工应持有相应项目的合格证书；并配备足够数量熟练的检验人员，以保证在装配及焊接操作过程中，对装配质量和焊接质量有效地监控。

6.2.4.10 施焊过程中，对较长的焊缝应采用逐步退焊法（一般每段长度不超过 2m）或双数焊工分中逐步退焊法。焊接工艺参数均应按认可的规定而不应有大的变动。

6.2.4.11 在进行多道焊处，每道熔敷金属的表面应在下一道施焊之前予以彻底清洁，并清除熔渣。

6.2.4.12 对接和全焊透角焊缝为双面连续焊时，在焊接第二面焊缝前应进行清根，清根后的坡口形状应符合焊接工艺要求。当使用碳弧气刨清根时，应避免在焊缝和母材上产生渗碳或过热现象，否则应予打磨。

### 第 3 节 不锈钢钢板的焊接

#### 6.3.1 一般要求

6.3.1.1 本节适用于满足 CCS《材料与焊接规范》要求的不锈钢的焊接。

6.3.1.2 不锈钢的焊接工艺规程应提交 CCS 认可。

6.3.1.3 从事不锈钢焊接的焊工（包括定位焊焊工）应符合本章 6.1.3.1 规定。必须经过 CCS 技术考核，合格者方可施焊。

6.3.1.4 奥氏体不锈钢具有良好的焊接性，不锈钢焊接接头应具有与母材相当的耐蚀性，避免其产生均匀腐蚀、晶间腐蚀、点腐蚀、缝隙腐蚀和应力腐蚀。

6.3.1.5 应合理选择焊接材料并制定切实可行的焊接工艺，以避免奥氏体不锈钢焊接时产生热裂纹。

焊接材料的选择亦可参考舍夫勒的不锈钢组织图 6.3.1.5。

6.3.1.6 双相不锈钢具有较高的强度、良好的焊接性、抗热裂性能，不锈钢焊接接头应具有与母材相当的强度性能及耐蚀性，避免其产生均匀腐蚀、间隙腐蚀、点腐蚀和应力腐蚀。

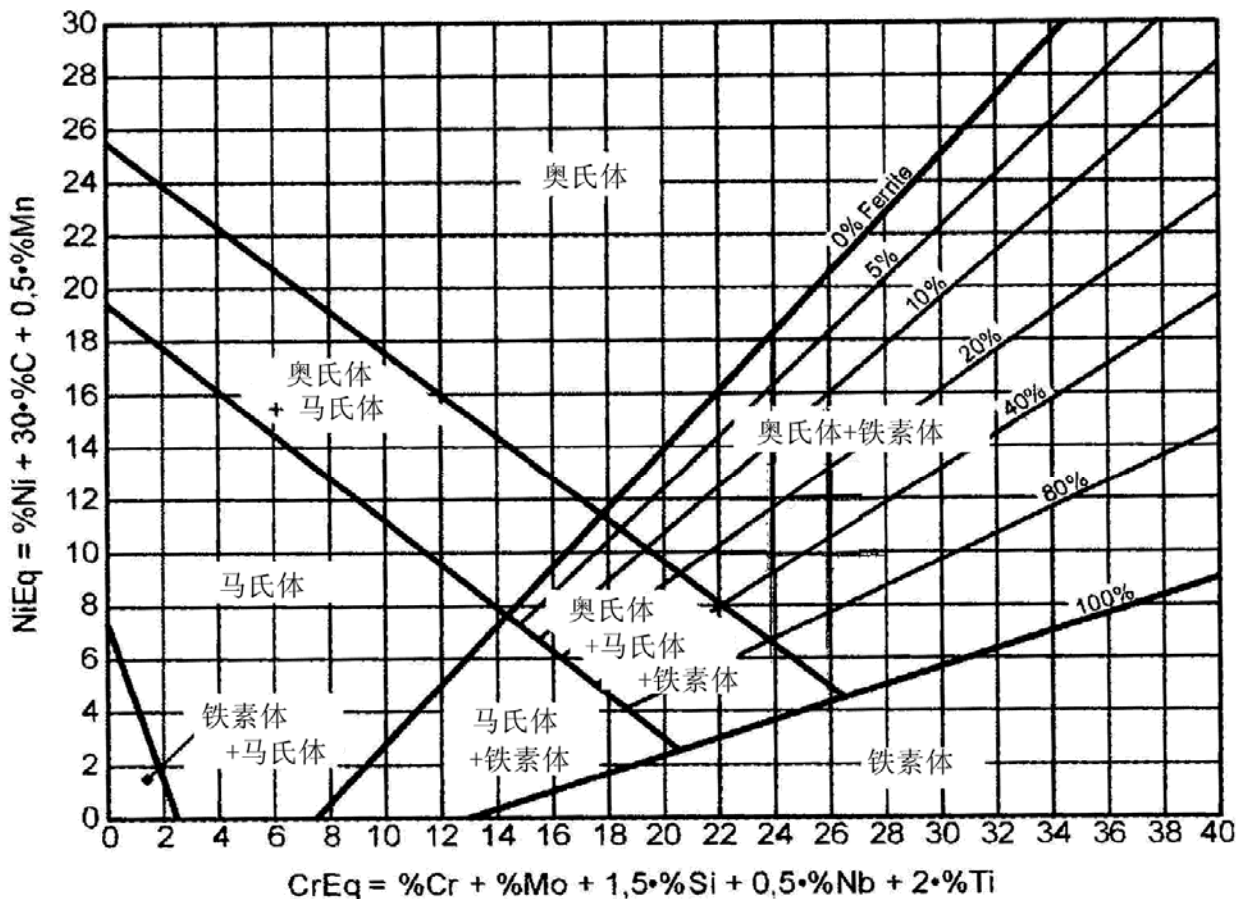


图 6.3.1.5 不锈钢组织图

#### 6.3.2 焊前准备

6.3.2.1 一般采用等离子切割下料，宜采用氮气或氩氢气等离子切割，不应使用燃气切割方式。切割边缘应用机械加工去除热切割影响区；如采用机械剪切方法下料，剪切边缘亦应用机械加工去除冷作硬化带。

6.3.2.2 采用专用工具进行不锈钢的切割和装配。已用于碳钢切割的砂轮、锯条、锉刀或其他碳钢工夹具不能再用于不锈钢的切割和装配。

6.3.2.3 不锈钢焊接坡口和边缘应采用机械加工法制备。对不锈钢表面（包括非加工面）应采用保护措施，以避免施工过程中划伤表面。

6.3.2.4 焊缝坡口形式按板厚可分别采用直边对接、I形、V形和U形坡口。坡口尺寸可根据焊接方法分别参照相应的国家标准。

6.3.2.5 焊前坡口两侧 20mm~30mm 内用丙酮清洗，并涂上石灰粉防止飞溅损伤钢板表面。确保待焊件表面没有毛刺、磨损、夹层和裂纹等影响焊接结构强度质量的缺陷。

6.3.2.6 切割设备应进行校准并使切割光滑。板材厚度小于 16mm 时，切割表面的凹槽或刨槽不超过 2mm 或为厚度 16mm 或以上材料厚度的 10% 时不需要返修，除非验船师有特殊要求或合同指定。切割表面的凹槽或刨槽上述极限要求将按 6.3.2.7~6.3.2.10 要求返修。

6.3.2.7 深度不超过 3mm 或材料厚度 20% 的凹槽、刨槽或其它材料的不连续可通过磨削或机械方法返修，并应与周围金属平滑过渡。

6.3.2.8 凹槽或刨槽超过 6.3.2.7 的缺陷深度，应按经验船师认可的返修工艺进行挖掘或焊接返修；返修结束后，应清洁返修表面至光滑金属。

6.3.2.9 由于切割操作导致的非凹槽或刨槽缺陷，当需要时应进行探测检查并进行返修。缺陷区域的挖掘在没有事先得到验船师认可时仅限于板材厚度的 1/3。

6.3.2.10 超过板材厚度 1/3 的缺陷挖掘或返修仅在事先得到验船师的认可和指导条件下进行。验船师应规定检验超过板材厚度 1/3 的缺陷的检测或返修的方法，以确定缺陷的范围。

6.3.2.11 当板厚不大于 6mm，其定位焊焊缝长度应大于 20mm；当板厚超过 6mm，应大于 25mm。采用双面焊接时，定位焊焊缝的起始和终止端应完全打磨掉；采用单面无衬垫焊接时，在焊前应将定位焊焊缝完全去除掉。采用单面有衬垫焊接时，不宜采用定位焊缝。

6.3.2. ~~12~~ 不锈钢焊接时焊接材料选择要求见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇中第 2 章和第 5 章相关要求。

6.3.2.13 不锈钢船体结构常见接头形式见本章附录 6B。

### 6.3.3 装配间隙

6.3.3.1 进行角接焊连接的构件，焊接前应对采用角接焊的构件进行校正，其装配间隙一般为 2mm，最大不超过 5mm。

6.3.3.2 搭接，塞焊和槽焊和背面搭接的对接缝的两个连接表面间隙不超过 2mm。且搭接接头的搭接部分应尽量贴紧。

6.3.3.3 待焊件的焊接坡口、根部间隙和钝边尺寸应遵循认可的焊接工艺规程。

6.3.3.4 根部间隙大于已认可的焊接工艺规程，但小于两连接件中较薄板厚度的两倍时，可通过焊接达到事先可接受的尺寸。

### 6.3.4 不锈钢的焊接

6.3.4.1 目前常用于船舶制造的不锈钢焊接方法是钨极氩弧焊、手工电弧焊和熔化极氩弧焊。为提高焊接效率，也可采用埋弧焊和药芯焊丝 CO<sub>2</sub> 气体保护焊。

6.3.4.2 不锈钢的焊接要求按 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 5 章第 4 节。

6.3.4.3 奥氏体型不锈钢在焊接时应缩短 450-850℃ 温度范围内停留时间，以避免在晶界上析出碳化铬，使晶界处的晶粒表面出现贫铬现象而导致产生晶间腐蚀。

6.3.4.4 双相不锈钢焊接构件厚度大于等于 25mm 和/或高拘束度接头时，可采用加热片均匀预热。

6.3.4.5 双相不锈钢焊接时，应通过接头设计、焊接方法、预热、焊接热输入和层间温度控制等方法合理控制冷却速度。以避免产生焊接缺陷。

6.3.4.3-6 钨极氩弧焊的特点及应用范围：

- (1) 电弧的热功率低、焊接速度慢、接头冷却在危险区域停留时间较长，耐腐蚀性能较差。

(2) 适宜于板厚不超过 8mm 的板结构或管径在 60mm 下的管子以及厚件的打底焊。  
其接头坡口形式见表 6.3.4.36。

不锈钢钨极氩弧焊对接接头坡口形式 表 6.3.4.36

焊件厚度 mm	坡口形式	坡口尺寸		备注
		间隙 a(mm)	钝边 p(mm)	
2.4	I 形	0~1		单面焊
3.2	I 形	0~2		双面焊 (管子: 单面焊)
4	I 形	0~2		双面焊
6	V 形	0~2	0~2	背面清根
	V 形	0~2	0~2	垫板
	V 形	3~5		垫板
12	V 形	0~2	0~2	背面清根
	V 形	0~2	0~2	垫板
	V 形	3~5		垫板
22	双面 V 形	0~1		背面清根
38	双面 V 形	0~2	2~3	背面清根

6.3.4.47 手工电弧焊的特点及应用范围:

- (1) 电流小、焊速快, 易于保证焊接质量。
- (2) 多层焊时要进行层间清渣, 且层间温度应低于 ~~60~~100℃。
- (3) 与腐蚀介质接触的焊缝应最后焊接。
- (4) 焊后可采取强冷, 加快接头冷却。
- (5) 适用于各种焊接位置及不同板厚工艺要求。

其接头坡口形式见表 6.3.4.47。

不锈钢手工电弧焊对接接头坡口形式 表 6.3.4.47

焊件厚度 mm	坡口形式	坡口尺寸		备注
		间隙 a(mm)	钝边 p(mm)	
2	I 形	0~1		反面砂轮修理
3	I 形	2		
5	V 形 75°	2	2	
6	V 形 75°	2	2	
9	V 形 75°	2	2	
12	V 形 75°	2	2	
16	V 形 75°	2	2	
22	V 形 60°	2	2	

6.3.4.58 埋弧焊的特点及应用范围:

- (1) 焊接电流密度大、热量集中, 形成的弧坑较大, 局部间隙较大处易烧穿。
- (2) 实际应用中常在焊件背面加衬垫, 以防烧漏, 同时用手工电弧焊封底。

双面埋弧焊对接接头坡口形式见表 6.3.4.85。

不锈钢双面埋弧焊对接接头坡口形式

表 6.3.4.85

焊件厚度 mm	坡口形式	坡口尺寸		备注
		间隙 a(mm)	钝边 p(mm)	
6	I 形	<0.5	--	
8	I 形	<0.5	--	
10	双面 V 形 60°	<0.8	4	
13	双面 90°V 形	<0.8	6	
15	双面 90°V 形	<0.8	7	
20	双面 90°V 形	<1.0	10	
25	双面 90°V 形	<1.0	10	

6.3.4.9 药芯焊丝气体保护焊的特点及应用范围：

- (1) 焊接电流密度大，熔敷效率高。
- (2) 平焊时采用焊枪前倾的拖丝方式，不建议采用摆动的运丝方式。
- (3) 选用纯 CO<sub>2</sub> 气体保护时，要严格控制出现增碳现象。
- (4) 适合于各种位置的焊接和各种厚度的焊接。

其接头坡口形式见表 6.3.4.9

药芯焊丝气体保护焊对接接头坡口形式

表 6.3.4.9

焊件厚度 mm	坡口形式	坡口尺寸		备注
		间隙 a(mm)	钝边 p(mm)	
3-6	I 形	0-3	=	
5-16	单面 V 形 60°-70°	0-3	1-2	双面焊，背面打磨
5-16	单面 V 形 60°-70°	3-5	1-2	单面焊，背面陶瓷衬垫
>16	双面 60°-70°V 形	0-3	1-3	
>25	双面 10°-15°U 形	0-3	1-3	

6.3.5 不锈钢焊缝的清洁和焊后处理

6.3.5.1 应用不锈钢材质的刷子或其它合适的方法对焊缝和相邻区域的母材金属进行清洁。

6.3.5.2 用不锈钢打磨工具或其它合适的方式去除引弧斑痕。由引弧斑痕造成的裂纹或损伤及其他焊后表面缺陷应打磨成光滑的轮廓，并进行外观检测（必要时进行渗透检测）确保裂纹完全除去。验船师也可指定其他的无损检测方法或在合同文件中明确。

6.3.5.3 不锈钢板焊件焊后应进行抛光和钝化处理，以增加其表面的抗腐蚀性能。经钝化处理后的不锈钢，外表全部呈银白色，具有较高的耐腐蚀性。

6.3.5.4 对结构形状复杂或焊接接头存在应力腐蚀开裂趋势倾向的焊接件，可进行消除应力处理或固溶处理。

## 第 4 节 铝合金的焊接

### 6.4.1 一般规定

6.4.1.1 本节适用于满足 CCS《材料与焊接规范》要求的船用铝合金的焊接。

6.4.1.2 船用铝合金的焊接工艺规程应提交 CCS 认可。

6.4.1.3 从事船用铝合金焊接的焊工必须经过 CCS 技术考核，合格者方可施焊。

### 6.4.2 铝及铝合金的特点

6.4.2.1 由于铝及铝合金具有强氧化性、较大的热导率和比热容、热裂纹倾向大、容易形成气孔、接头不等强度、易焊穿焊件和合金元素的蒸发和烧损特点，所以铝合金的焊接比低碳钢的焊接困难。

### 6.4.3. 铝及铝合金的焊前准备

6.4.3.1 铝及铝合金的切割和构件坡口加工应采用机械方法，也可采用等离子弧切割。

6.4.3.2 应采用丙酮或四氯化碳等有机溶剂清除油污；采用化学或机械方法去除氧化膜。机械清理后的焊件应在 4 小时内施焊，否则应重新清理。

6.4.3.3 为了保证焊透并使焊件不致焊穿或塌陷，可采用石墨、不锈钢或碳钢作为衬垫。

6.4.3.4 为了使接缝附近达到所需要的温度，以减少变形、减少气孔等缺陷，焊件厚度大于 8mm 时应进行预热，预热温度应避开使合金腐蚀敏感的温度区域。多层焊时，维持层间温度不低于预热温度。铝镁合金应避免在 65℃~200℃这一温度范围内过长停留。

### 6.4.4 铝及铝合金的焊接

6.4.4.1 船体及上层建筑的拼板焊缝可采用钨极惰性气体保护焊(TIG)和熔化极惰性气体保护焊(MIG)，船体板材与构架的角焊缝采用熔化极惰性气体保护焊(MIG)方法焊接铝合金结构。

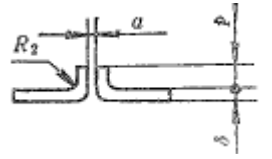
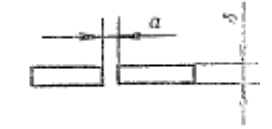
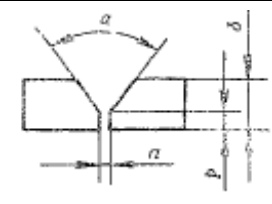
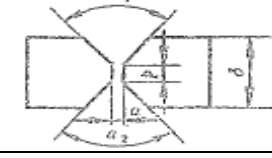
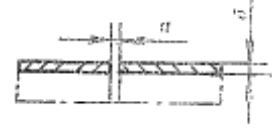
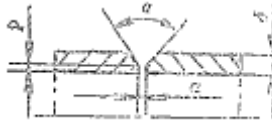
6.4.4.2 铝合金的焊接和焊补要求按 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 5 章第 5 节。

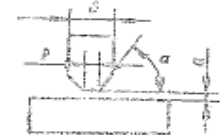
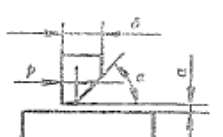
6.4.4.3 钨极氩弧焊的特点及应用范围：电弧热量集中，电弧燃烧稳定，焊缝成形美观，接头质量较好，但生产效率较低。广泛用于厚度 1.5~25mm 的船用铝合金焊接结构。船体外板拼板焊缝，应取“T”字形，尽量避免“十”字形，避免焊缝小角度相交。焊接采用交流电源。

6.4.4.4 钨极氩弧焊的接头型式和坡口尺寸主要应根据产品结构、焊件厚度和焊接工艺确定。表 6.4.4.4 为铝及铝合金钨极氩弧焊典型坡口型式。

铝及铝合金钨极氩弧焊典型坡口型式

表 6.4.4.4

焊件厚度	坡口形式	坡口尺寸			备注
		间隙(a)mm	钝边(p)mm	角度( $\theta$ )°	
1~2		<1	2~3		不加填充焊丝
1~3 3~5		0~0.5 1~2			双面焊，反面清根
3~5 6~10 12~20		0~1 1~3 1.5~3	1~1.5 1~2.5 2~3	70±5 70±5 70±5	双面焊，反面清根
14~25		1.5~3	2~3	80±5 70±5	双面焊，反面清根，每面焊 2 层以上
管子壁厚 ≤3.5		1.5~2.5			用于管子可旋转的平焊
3~10(管子外径 30~300)		<4	<2	75±5	管子内壁可用固定垫板

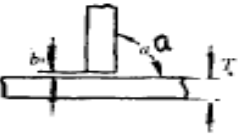
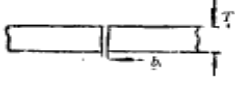
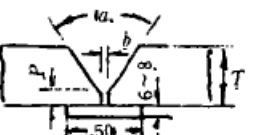
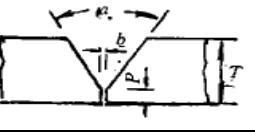
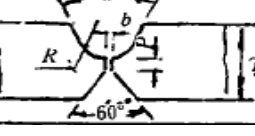
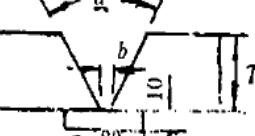
4~12		1~2	1~2	50±5	共焊 1~3 层
8~25		1~2	1~2	50±5	每面焊 2 层以上

6.4.4.5 熔化极氩弧焊的特点及应用范围：电弧功率大，热量集中，焊件变形及热影响区小，生产效率高。常用于厚度 $\geq 3\text{mm}$ 中厚板材的焊接，焊接电源采用直流反接。

铝及铝合金熔化极氩弧焊坡口形式见 6.4.4.5。

铝及铝合金熔化极氩弧焊坡口形式

表 6.4.4.5

焊件厚度	坡口形式	坡口尺寸			备注
		间隙(b) mm	钝边(p) mm	角度( $\theta$ ) °	
1.5~3		0		90	半自动焊
3~8		0~1			
4~8		0~1			半自动焊
8~15		3~6	2~3	40	半自动焊 带衬垫
6.4~16		0~0.5	3~8	60	自动焊
16~25		1~2	6~10	70	
18~25		1~2	7	70	自动焊 R=14
15~25		6~10		40	自动焊 带衬垫

## 6.4.5 铝及铝合金的焊后清理

6.4.5.1 焊件焊后留在焊缝及邻近的残存溶剂和焊渣，需要及时清理干净。

## 第 5 节 铜合金螺旋桨的补焊

### 6.5.1 一般规定

6.5.1.1 本节适用于满足 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 8 章第 4 节要求的铜合金螺旋桨的桨叶和桨毂的修理和焊补。

6.5.1.2 本节亦适用于民用船舶铜合金铸造整体和组合式螺旋桨在制造过程中所发现的铸造缺陷或尺寸不足以及运营过程中螺旋桨损坏后的补焊。

6.5.1.3 用于制造螺旋桨的铜合金的化学成分和力学性能应符合 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 9 章第 1 节的规定。

### 6.5.2 补焊区域的划分及允许补焊的缺陷范围

6.5.2.1 在对螺旋桨进行补焊时，根据缺陷所处的部位、尺寸大小及对螺旋桨使用的危害程度，将其划分为三个不同的区域。该区域划分按 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 8 章第 4 节规定。

6.5.2.2 缺陷检测及各区域缺陷修补原则按 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 8 章第 4 节的要求。对下表所述缺陷并需要用焊补方法修补的螺旋桨，制造厂应事先提交一份详细的焊补范围及焊接工艺规程供 CCS 认可。螺旋桨焊补区域和面积的规定按表 6.5.2.2。

螺旋桨焊补区域和面积的规定

表 6.5.2.2

缺陷位置	可否补焊	允许补焊的单个缺陷的最大尺寸 面积 $s \times$ 深度 $h$ ( $\text{mm}^2 \times \text{mm}$ )					允许补焊的缺陷总面积	
		$D \leq 1.0\text{m}$	$1.0\text{m} < D \leq 1.5\text{m}$	$1.5\text{m} < D \leq 2.5\text{m}$	$2.5\text{m} < D \leq 4.0\text{m}$	$D > 4.0\text{m}$		
A 区	一般不允许修补	焊接修补只有在履行一定的程序、经 CCS 谨慎同意后才能进行。如同意，则焊后应进行有效的消除应力热处理和检验。CCS 可以谨慎同意修补的情形是单个缺陷的面积和深度均不大于压力面上 B 区所允许的单个缺陷的最大尺寸的 70%，且缺陷总面积不大于 A 区表面积的 3%，并有关各方的协商能够达成一致。						
压力面上的 B 区(B1+B2)	允许补焊	500×6	1400×7	2500×10	5000×15	7500×15	每个面上每个分区内的补焊总面积应不大于该分区表面积的 5%，但在桨叶的一个面上补焊总面积不大于该面积的 5%的情况下，压力面上的 C 区或吸力面上 B4 分区和 C 区的补焊总面积可达该区域面积的 7%	
吸力面上从叶根至 0.4R 之间的 B 区 (B3 分区)		700×8	1500×8	2500×10	5000×15	7500×20		
C 区，吸力面上 0.4R 至 0.7R 的 B 区 (B4 分区)		700×8	1500×8	4000×10	7500×15	20000×25		
轴毂内外表面		700×8	1000×8	2000×10	4000×15	10000×25		对轴毂内外表面，补焊总面积不大于该面积的 5% 对轴毂大小端面，补焊总面积不大于该端面的 10%。
轴毂大小端面								

注：(1)压力面上处于 0.4R 以内的 B 区称 B1 区，压力面上除 B1 分区之外的 B 区称 B2 分区；

(2)表中所提及的螺旋桨尺寸，均为螺旋桨图纸的净尺寸，D 为螺旋桨直径；

(3)缺陷尺寸，指的是该缺陷铲除后的尺寸；

(4)允许补焊的单个缺陷的最大长度不得大于单个缺陷面积的平方根的 2 倍。

### 6.5.3 焊补修复的程序

6.5.3.1 焊补时环境条件应无风雨，若气候条件恶劣应在有遮蔽场所内进行。

6.5.3.2 焊补用的焊接材料应是经 CCS 认可证明合格的焊接材料。

6.5.3.3 通常采用药皮焊条电弧焊或气体保护电弧焊进行螺旋桨的补焊。气体保护钨极氩弧焊应慎用。

6.5.3.4 焊补最好在平焊位置施焊，不能平焊时，应进行气体保护熔化极电弧焊焊接。必要时施焊前要有适当预热，且应一直保持到焊补结束。

6.5.3.5 补焊时，应在下一焊道熔敷前将上一焊道的所有焊渣、咬边和其它缺陷清除干净。

6.5.3.6 焊补完毕，焊缝应打磨平滑以便外观检查和着色渗透检验。若螺旋桨或桨叶需作消除应力热处理时，则在热处理之前就应进行外观检查，而且在消除应力热处理之后还要进行外观检查和着色渗透检查。射线探伤应符合本指南螺旋桨探伤检验要求公认的标准。对 CCS 规定的 A 区，不论在何部位作过焊补修理均应进行评估。

### 6.5.4 热处理

6.5.4.1 凡经矫正或焊补过的螺旋桨，一般都进行焊后消除应力处理。对于 A、B 区域的补焊或其他区域的大面积补焊，推荐采用炉内退火，除此之外，可采用局部消除应力的方法(如局部退火和锤击法)。

6.5.4.2 应力消除热处理在炉内进行时，应有适当的温控设备。局部消除应力时，应有足够数量热电偶监测最厚叶片各部位。验船师要对提供的局部消除应力热处理技术措施和技术监控数据确认有效。

6.5.4.3 除上述要求外，其余焊补、矫正及热处理要求应按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 9 章第 1 节和第 3 篇第 8 章第 4 节的相关技术规定。

### 6.5.5 焊工

6.5.5.1 进行螺旋桨补焊的焊工，必须经过 CCS 技术考核，合格者方可施焊。但中断补焊作业一年以上时间者，需经重新考核合格后，方可施焊。

## 第 6 节 奥氏体不锈钢复合钢的焊接

### 6.6.1 一般要求

6.6.1.1 本节规定适用于奥氏体不锈钢复合钢的焊接。

6.6.1.2 从事奥氏体复合不锈钢焊接的焊工，应经奥氏体复合不锈钢焊接的操作培训和考试取证。

6.6.1.3 焊接接头应具有与复合金属相同的耐腐蚀性，并且耐腐蚀熔敷金属至少具有与原复合板中的复合层相同的厚度。

### 6.6.2 焊接材料

6.6.2.1 基材和复层材的焊接材料选用应分别适用基材金属和复层材金属单独焊接时相同的焊接材料，并采用相应的焊接工艺进行焊接。

6.6.2.2 过渡层的焊接属于异种钢的焊接，则其焊接材料选择应按异种钢要求执行。为减少基材金属对

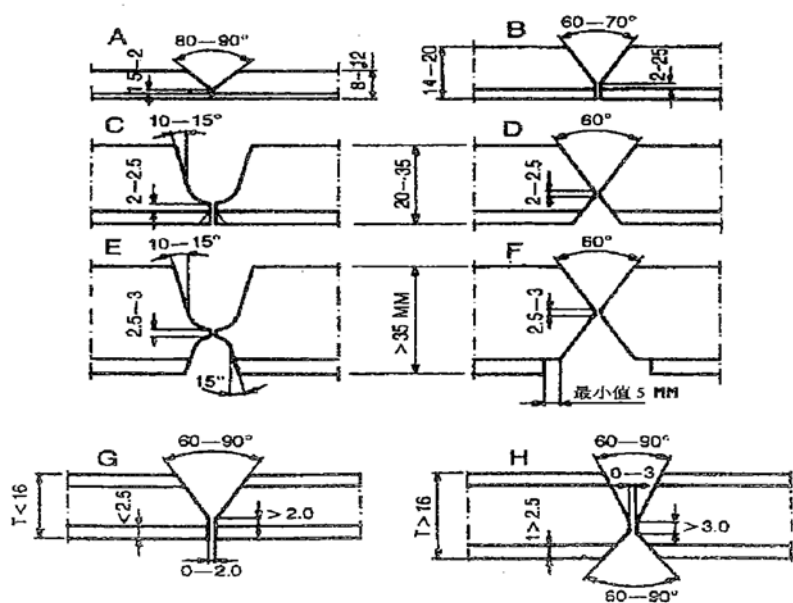


图 6.6.3.1 常用焊接坡口

复层材焊缝金属的稀释作用，并补足焊接过程中合金元素的烧损，焊接材料中的 Cr、Ni 元素的含量应高于复层材不锈钢中的含量。

### 6.6.3 焊前准备

6.6.3.1 采用与正确的焊接顺序相适应的坡口形状，常用的坡口型式见图 6.6.3.1。

重要受力构件部位应采用过渡坡口形式。

6.6.3.2 切割和坡口加工宜采用冷加工方法。

6.6.3.3 采用剪床剪切奥氏体不锈钢复合钢时，复层材面应朝上。

6.6.3.4 用热加工法切割和加工坡口时，尽量采用等离子切割方法，对影响焊接质量的切割表面层应用冷加工方法去除。

6.6.3.5 用等离子切割和加工坡口时，复层材朝上，从复材开始切割；采用气割时，复层材朝下，从基材侧开始切割。

6.6.3.6 用热加工法切割和加工坡口时，应避免将切割熔渣溅落在复材表面上。

6.6.3.7 基材清理应采用碳钢钢丝刷，复材清理应采用不锈钢钢丝刷。

6.6.3.8 预热与定位焊

- (1) 当基材或复材需要预热时，应以复合钢的总厚度作为确定预热温度的厚度参数。
- (2) 当基材或复材需要预热时，施焊过渡焊缝也必须预热。
- (3) 定位焊缝应焊在基材上。

### 6.6.4 焊接工艺

6.6.4.1 复合钢板的焊接时一般应采用先焊基材焊缝，然后焊过渡焊缝，最后焊复层焊缝的焊接顺序。

6.6.4.2 不得用碳钢焊材、低合金钢焊材在复材母材、过渡焊缝和复材焊缝上施焊。

6.6.4.3 过渡焊缝应同时熔合基材焊缝、基材母材和复材母材，且应盖满基材焊缝和基材母材。

6.6.4.4 在焊接复合材料时，母材金属和焊缝熔敷金属的混合以及两种高合金焊缝熔敷金属的混合要控制到最小，应采用低的焊接电流和小尺寸的焊接材料，其稀释率最好保持低于 30%。稀释率按下式计算：

$$\text{稀释率} = \frac{B}{B+W} \times 100\%$$

式中：B---焊缝金属中母材金属所占的体积百分比 (%)

W---焊缝金属中熔敷金属所占的体积百分比 (%)

6.6.4.5 复合不锈钢焊接时，首先焊接基材碳钢，至少应熔敷两层合金焊缝金属，再在复层材不锈钢板一侧铲削成圆弧直至基层材焊缝，并打磨干净，以防形成未焊透。然后焊接过渡层，其焊缝应熔化一层复层材不锈钢板，以起隔离作用，最后在过渡层上焊接复层材。

6.6.4.6 当只能从外面焊接管子时，应采用和复合钢相当的合金焊接整个横截面。在连接前，坡口两边最好用超合金焊接材料(预堆边焊)加以覆盖。

### 6.6.5 焊后处理及焊缝检验

6.6.5.1 焊后处理及焊缝检验见 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 5 章第 4 节的相关要求。

## 第 7 节 钢-铝过渡接头的焊接

### 6.7.1 一般规定

6.7.1.1 本节适用于满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 8 章第 5 节要求的钢-铝过渡接头（以下简称过渡接头）间的焊接，以及过渡接头与船体结构件之间的焊接。

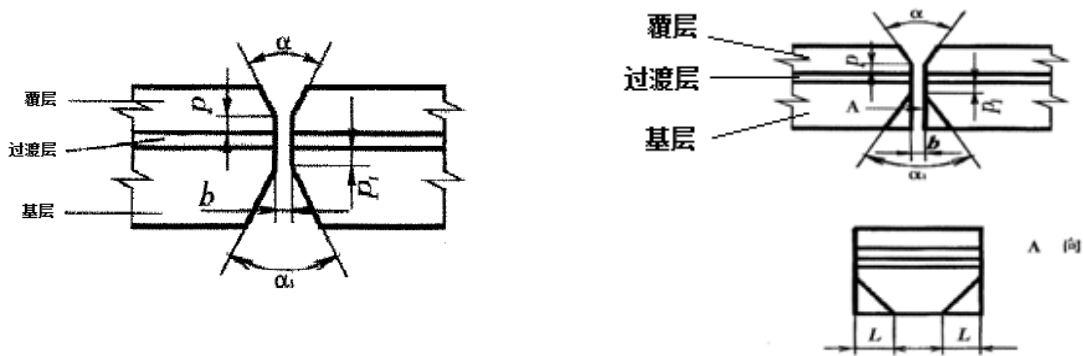
6.7.1.2 过渡接头焊接工艺规程应提交 CCS 认可。

6.7.1.3 从事过渡接头焊接的焊工应经操作培训，分别取得钢和铝合金焊接资格证书。

## 6.7.2 过渡接头焊接接头型式

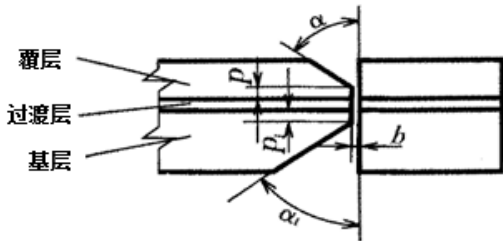
6.7.2.1 过渡接头间的焊接接头型式有对接和角接，具体坡口型式一般有以下几种：

- (1) 可翻转的自由式对接接头，见图 6.7.2.1(1)；
- (2) 不能翻转的拘束式对接接头，见图 6.7.2.1(2)；
- (3) 过渡接头表面在同一平面的 T 型角接，见图 6.7.2.1(3)；
- (4) 过渡接头表面相互垂直的 L 型角接，见图 6.7.2.1(4)。

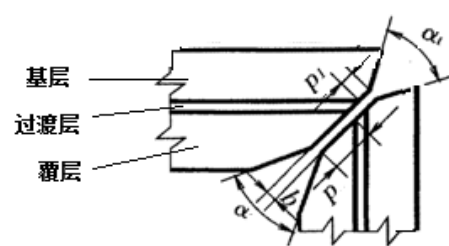


(1) 可翻转的自由式对接接头

(2) 不能翻转的拘束式对接接头



(3) 过渡接头表面在同一平面的 T 型角接



(4) 过渡接头表面相互垂直的 L 型角接

图 6.7.2.1 过渡接头间的焊接坡口形式

6.7.2.2 对过渡层为铝且过渡层厚度较大的特殊过渡接头间的焊接，坡口可开至过渡层，典型对接坡口形式见图 6.7.2.2。

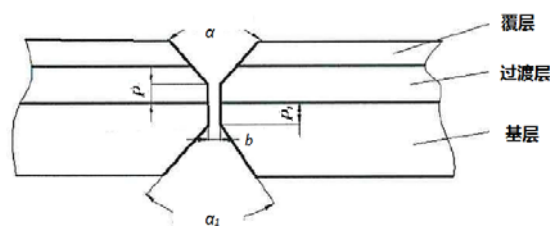


图 6.7.2.2 特殊过渡接头间的焊接坡口形式

6.7.2.3 过渡接头与船体结构件之间的焊接主要是角接接头，根据过渡接头基层与船体结构件的连接方式的不同，分为以下两种：

- (1) 过渡接头直接与船体结构件焊接，见图 6.7.2.3(1)；
- (2) 过渡接头与钢围栏焊接后与船体结构件焊接，见图 6.7.2.3(2)。

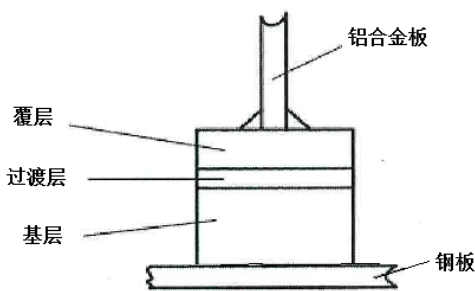


图 6.7.2.3(1) 直接与船体结构焊接

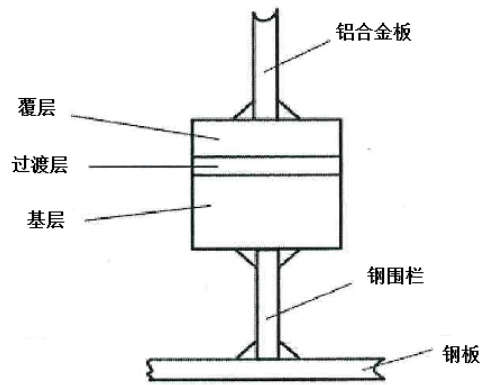


图 6.7.2.3(2) 使用钢围栏的焊接

### 6.7.3 焊接工艺认可要求

6.7.3.1 对过渡接头间的焊接，应使用与基层钢材和覆层铝合金对应的材料分别进行焊接工艺认可试验，其覆盖范围符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇第 3 章第 1 节的相关规定。

6.7.3.2 对过渡接头与船体结构件之间的焊接，应按本指南第 4 章第 5 节 4.5.5 要求进行焊接工艺认可试验。

### 6.7.4 焊前准备

6.7.4.1 过渡接头的下料及坡口加工，应采用机械方法或不影响复合界面结合性能的其他方法。

6.7.4.2 过渡接头间焊接的坡口形式如图 6.7.2.1 或图 6.7.2.2，具体尺寸见表 6.7.4.2。应严格控制钝边尺寸下限和间隙尺寸的上限。

过渡接头间焊接的坡口尺寸

表 6.7.4.2

$\alpha$	$\alpha_1$	$p$ (mm)	$p_1$ (mm)	$b$ (mm)	$L$ (mm)
$60^\circ \sim 70^\circ$	$50^\circ \sim 60^\circ$	3~4	3~4	$\leq 1.5$	8~10

6.7.4.3 焊件坡口及坡口边缘 30mm 范围内应去除锈、水、油等污物，铝表面的氧化膜应用机械方法或其他有效方法清除。

6.7.4.4 过渡接头应避免强行装配，装配时可采用必要的工装夹具，并注意保护铝合金表面。过渡接头间装配时，以过渡层为基准，错边量应小于 0.5mm。

6.7.4.5 过渡接头间在基层和覆层均应有定位焊点。过渡接头与船体结构间定位焊可设在构件的一侧或两侧。

### 6.7.5 焊接

6.7.5.1 过渡接头焊接一般要求如下：

- (1) 遵循基层与基层、覆层与覆层分别焊接的原则。
- (2) 焊接过程中过渡层界面温度应不超过临界温度（铝-钛-钢接头为 350℃，铝-铝-钢接头为 300℃）。
- (3) 应使用热输入量较小的焊接方法和焊接参数。
- (4) 使用的焊接材料应分别与基层和覆层材料相适应。
- (5) 多道焊时道间温度不大于 60℃。
- (6) 一般先焊铝侧后焊钢侧。若不能按此顺序焊接时，也可先焊钢侧，但应采取有效措施保持铝侧焊接区域的清洁。

6.7.5.2 对过渡接头间焊接，除 6.7.5.1 外还应满足下列要求：

- (1) 焊接时应使用引、熄弧板，并采取防止变形的措施。
- (2) 基层可使用手工电弧焊或 CO<sub>2</sub> 半自动焊，覆层可使用惰性气体保护焊（TIG 焊或 MIG 焊）。

(3) 焊接时应注意防止熔及过渡层(6.7.2.1(3)规定的坡口形式除外)。使用的焊接参数应尽可能接近按6.7.3.1进行焊接工艺认可确定的热输入量的下限。

(4) 完工后的焊接接头应采用机械方法去除正反两面的余高,并修整接头的两个侧面。

(5) 有密封要求时,在接头两侧过渡层缝隙处钻孔或扣槽后用粘结剂密封。

6.7.5.3 对过渡接头与船体结构间焊接,除6.7.5.1外还应满足下列要求:

(1) 焊接施工时应尽可能采用平角焊位置焊接。

(2) 钢侧建议用CO<sub>2</sub>半自动或自动焊;铝合金侧建议用MIG半自动或自动焊。

(3) 为减小焊接变形,宜采用逐步退焊法或分中对称焊接法,连续焊缝长度一般不超过500mm。

## 6.7.6 焊后处理

6.7.6.1 焊后应清理焊件表面的焊渣、焊瘤及飞溅等污物,必要时对焊缝进行局部修整。

6.7.6.2 过渡接头界面焊后不应有剥离、熔化等缺陷,一旦出现应将此段过渡接头更换并重新焊接,更换的最小长度为500mm。

# 第8节 不锈钢钢管的焊接

## 6.8.1 一般要求

6.8.1.1 本节适用于满足《材料与焊接规范》要求的奥氏体和奥氏体-铁素体双相不锈钢压力管的焊接。

6.8.1.2 不锈钢钢管的焊接工艺规程应提交CCS认可。

6.8.1.3 从事不锈钢钢管焊接的焊工应符合6.1.3.1规定。

6.8.1.4 除满足本章第3节和《材料与焊接规范》中不锈钢的相关要求外,不锈钢钢管焊接还应满足本节要求。

## 6.8.2 焊前准备

6.8.2.1 一般采用机械加工方法进行管段截取,管段切割后切口应修整光滑、无毛刺。

6.8.2.2 管子切割后,管端面和管子的外表面的垂直度应符合相应的标准。

6.8.2.3 焊缝坡口的型式按照管壁厚度一般可分为I形、V形坡口。待焊管的焊接坡口、根部间隙等应遵守认可的焊接工艺规程(WPS)及公认的标准。

6.8.2.4 焊前管段坡口及距坡口至少50mm范围内无锈蚀、油污等杂质。如存在锈蚀、油污和氧化物等杂质可使用专用不锈钢刷清除工作表面的氧化物等,且用丙酮清洗表面。

## 6.8.3 定位焊

6.8.3.1 定位焊可采用手工电弧焊或手工TIG焊。一般情况下,用手工电弧焊进行定位焊时,管内不必充保护气体,但应清除定位焊背面的渣壳;TIG定位焊必须在焊前预充保护气体后进行。

6.8.3.2 定位焊焊点的间距根据被焊材料的牌号、厚度、接头型式而定。

## 6.8.4 不锈钢钢管的焊接

6.8.4.1 目前船舶制造中常用的不锈钢钢管焊接方法是钨极氩弧焊、手工电弧焊、熔化极氩弧焊、药芯焊丝CO<sub>2</sub>气体保护焊和钨极氩弧焊打底手工电弧焊盖面方法。

6.8.4.2 不锈钢钢管的焊接通常以低热输入、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运动,避免两边摆动。

6.8.4.3 双相不锈钢钢管焊接时应采用低熔敷率、多层多道焊,以保证焊接接头的组织和性能。

6.8.4.4 双相不锈钢管焊接层间温度应尽可能低,一般规定双相不锈钢的最高层间温度为150℃,超级双相不锈钢的最高层间温度为100℃。焊接工艺参数应按工艺认可要求,以避免475℃脆性和 $\delta$ 相形成。

6.8.4.5 壁厚不同的不锈钢管焊接前,其接头的坡口应满足设计要求,以避免焊接时出现未焊透,焊瘤或无法焊接等。

6.8.4.6 支管焊接前，应保证其下料尺寸、坡口角度、装配间隙及与其连接管的开孔孔径等均应符合设计要求。

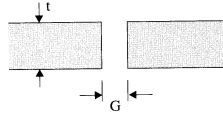
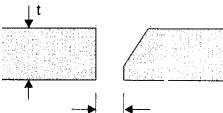
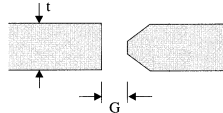
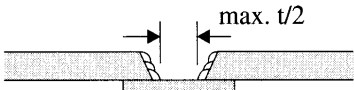
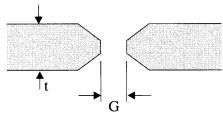
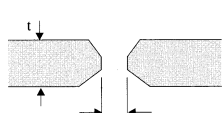
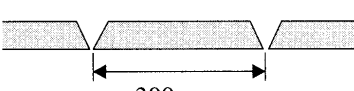
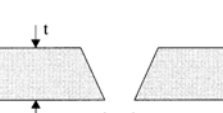
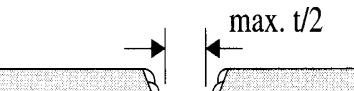
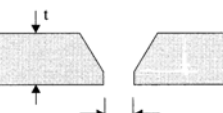
#### **6.8.5 不锈钢钢管焊缝的清洁和焊后处理**

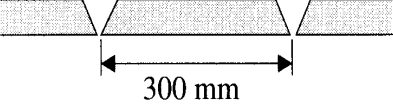
6.8.5.1 应用不锈钢材质的刷子或其它合适的方法对焊缝和相邻区域的母材金属进行清洁。

6.8.5.2 应用打磨或其它合适的方式去除不锈钢管焊接后焊缝及焊缝周围氧化皮及焊斑，以保证焊缝及邻近区域清洁。

6.8.5.3 不锈钢管焊接后应进行酸洗钝化处理，以增加其表面的抗腐蚀性能。

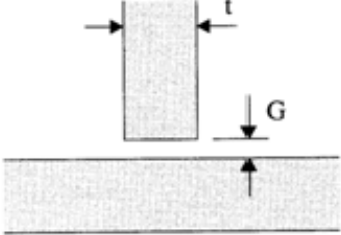
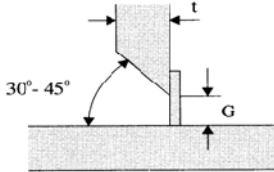
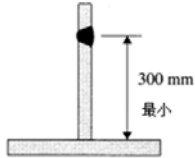
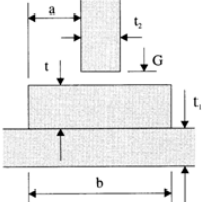
典型的对接焊缝边缘准备的修整 (手工焊和半自动焊) 表 6A-1

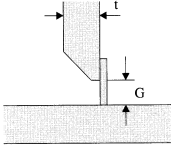
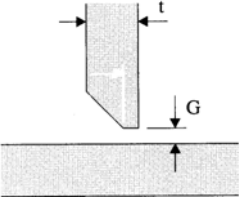
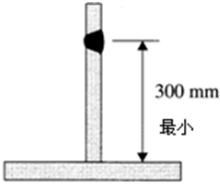
详图	修整标准	备注
<p>平面对接</p> 	<p>当 <math>G \leq 10\text{mm}</math> 时, 倒角 <math>45^\circ</math> 并堆焊                      当 <math>G &gt; 10\text{mm}</math> 时, 背面加垫板堆焊, 去除垫板, 反面刨槽并封底焊; 或采用嵌入最小宽度为 <math>300\text{mm}</math> 板。</p>	
<p>单面单边 V 型坡口对接</p> 	<p>当 <math>5\text{mm} &lt; G \leq 1.5t</math> (最大 <math>25\text{mm}</math>) 时在间隙和一侧或两侧堆焊至间隙最大为 <math>0.5t</math>, 如需要可使用垫板。  如使用垫板, 则应去除垫板, 清根后进行封底焊。</p>	
<p>K 型坡口对接</p> 		
<p>双 V 型坡口对接 对称坡口</p> 	<p>当采用 CCS 认可的衬垫材料, 并采用适当的焊接工艺参数时, 也可以接受其他不同的焊接布置型式</p>	
<p>双 V 型坡口对接 非对称坡口</p> 	<p>当 <math>G &gt; 25\text{mm}</math> 或 <math>1.5t</math> (取小者) 时, 采用最小宽度为 <math>300\text{mm}</math> 的嵌入板进行修整。</p> 	
<p>单 V 型坡口对接, 单面焊</p> 	<p>当 <math>5\text{mm} &lt; G \leq 1.5t</math> (最大 <math>25\text{mm}</math>) 时, 在坡口一侧或两侧堆焊, 填补间隙至表 6.1.4.1(1) 的极限尺寸, 该尺寸比标准尺寸更为可取。  如使用垫板, 则应去除垫板, 清根后进行封底焊。  当基于适当的焊接工艺规程, 并采用 CCS 认可的衬垫材料时, 也可以接受其他不同的焊接布置型式</p> 	
<p>单 V 型坡口对接</p> 	<p>当 <math>G &gt; 25\text{mm}</math> 或 <math>1.5t</math> (取小者) 时, 采用最小宽度为 <math>300\text{mm}</math> 的嵌入板进行修整。</p>	

	 <p>Min. 300 mm</p>	
--	---	--

典型角接焊缝坡口的修整（手工焊和半自动焊）

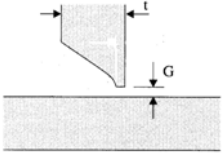
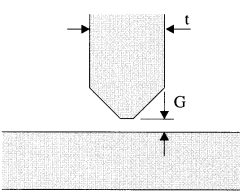
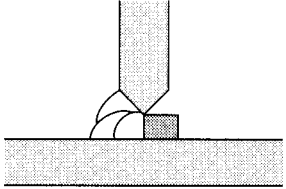
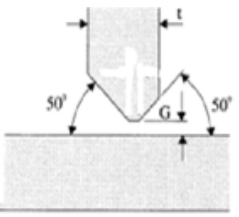
表 6A-2

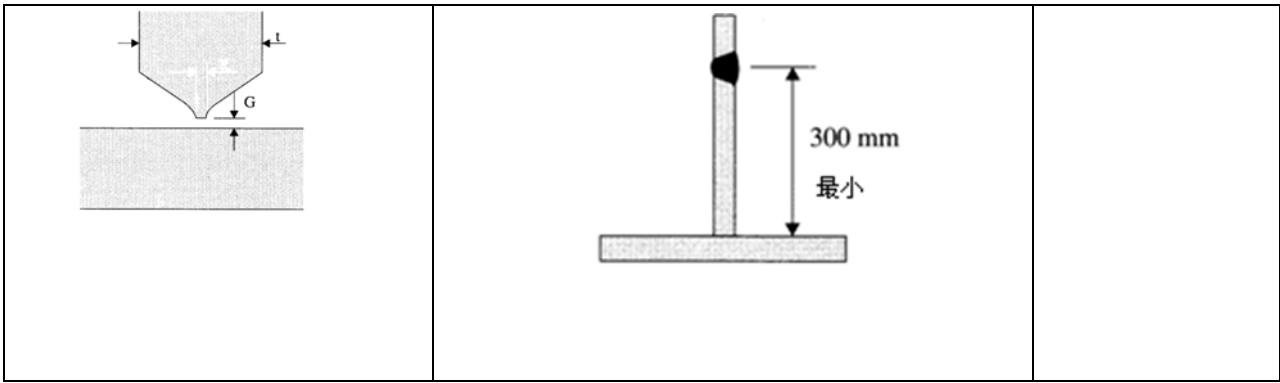
详图	修整标准	备注
<p>T 型角接</p> 	<p>3mm ≤ G ≤ 5mm 时，焊脚加大至规范要求焊脚+ (G-2)</p> <p>5mm ≤ G ≤ 16mm 或 1.5t (取小者) 时，削斜 30°~45°，单面堆焊（必要时可带垫板），然后打磨并焊接。</p>  <p>G &gt; 16mm 或 G &gt; 1.5t 时，采用嵌入板方式修整，嵌入板最小宽度 300mm。</p> 	
	<p><math>t_2 \leq t \leq t_1</math>  <math>G \leq 2\text{mm}</math>  <math>A = 5\text{mm} + \text{焊脚高度}</math></p>	<p>不得用于装货区域或垫板厚度方向承受拉应力的区域</p>
	<p>3mm &lt; G ≤ 5mm, 堆焊</p>	

	<p><math>5\text{mm} &lt; G \leq 16\text{mm}</math>, 堆焊, 必要时可使用垫板。如使用垫板, 焊后应铲除。堆焊后反面刨槽并封底。</p> 	
	<p><math>G &gt; 16\text{mm}</math> 时, 采用嵌入板方式修整, 嵌入板最小宽度 300mm。</p> 	

典型角接焊缝坡口的修整 (手工焊和半自动焊)

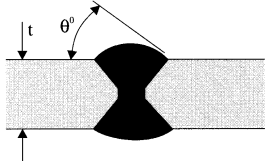
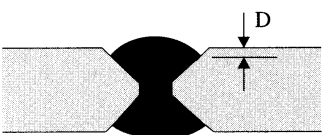
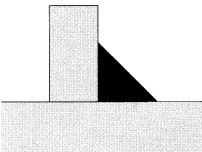
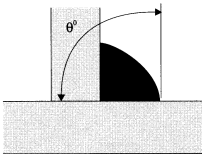
表 6A-3

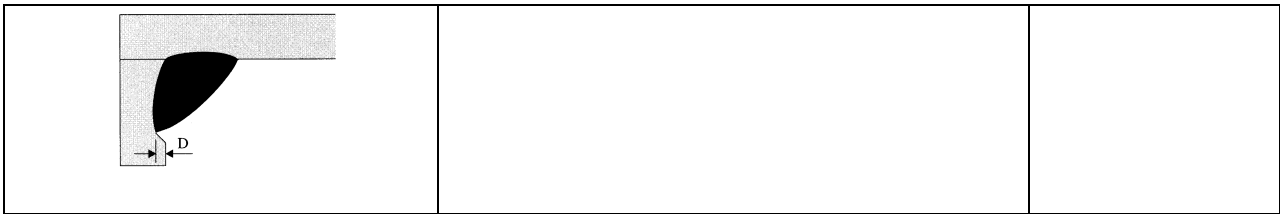
详图	修整标准	备注
<p>单面 J 型坡口 T 型角接</p> 	<p>与单面坡口 T 型角接相同</p>	
<p>双面对称坡口 T 型角接</p> 	<p>当 <math>5\text{mm} &lt; G \leq 16\text{mm}</math> 时, 使用陶瓷或其他认可材料的垫板进行堆焊, 焊后铲除垫板, 反面刨槽并封底焊。</p> 	
<p>双面非对称坡口 T 型角接</p> 	<p>当 <math>G &gt; 16\text{mm}</math> 时, 采用嵌入板方式修整, 嵌入板最小宽度 300mm。</p>	
<p>双面对称 J 型坡口 T 型角接</p>		



典型角接和对接焊缝成形的修整（手工焊和半自动焊）

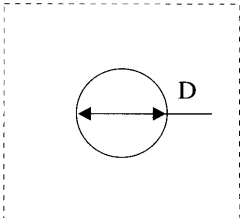
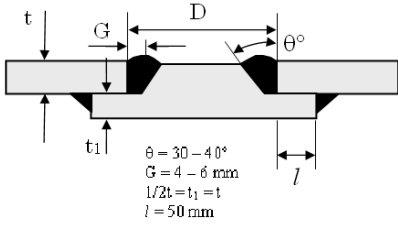
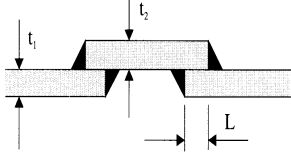
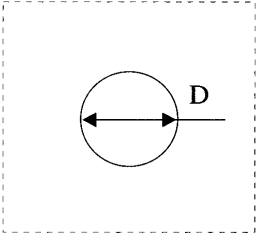
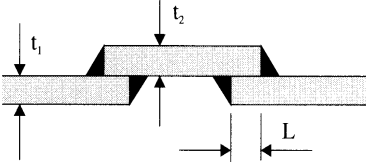
表 6A-4

详图	修整标准	备注
<p>对接焊缝焊趾角度</p> 	<p>当<math>\theta &gt; 90^\circ</math>时，打磨，必要时补焊，以使<math>\theta \leq 90^\circ</math></p>	<p>最小补焊长度参 见表 6A-8</p>
<p>对接焊缝咬边</p> 	<p>对强力构件，当 <math>0.5 &lt; D \leq 1 \text{ mm}</math> 时， 对其他构件，当 <math>0.8 &lt; D \leq 1 \text{ mm}</math> 时，咬边部位应 打磨光滑（仅局部打磨），或用焊接方法填充。 当 <math>D &gt; 1 \text{ mm}</math> 时，咬边应以焊接修复。</p>	
<p>角焊缝焊脚长度</p> 	<p>用补焊方法增加焊脚或焊喉</p>	
<p>角焊缝焊趾角度</p> 	<p>当<math>\theta &gt; 90^\circ</math>时，打磨，必要时补焊，以使<math>\theta \leq 90^\circ</math></p>	
<p>角焊缝咬边</p>	<p>当 <math>0.8 &lt; D \leq 1 \text{ mm}</math> 时，咬边部位应打磨光滑（仅 局部打磨），或用焊接方法填充。 当 <math>D &gt; 1 \text{ mm}</math> 时，咬边应以补焊修复。</p>	



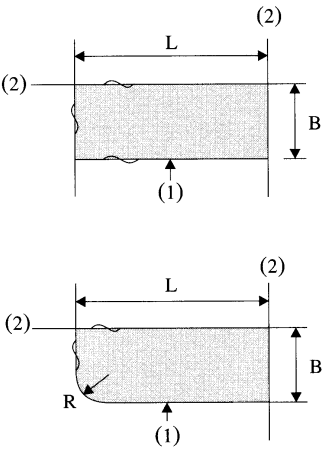
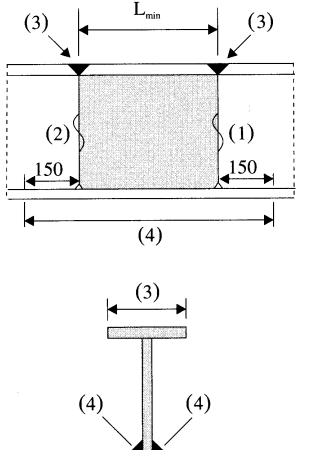
误开孔的修整

表 6A-5

详图	修整标准	备注
<p><math>D &lt; 200 \text{ mm}</math> 的误开孔</p> 	<p>对强力构件： 孔扩大至最小直径 75mm，安装塞板并焊接</p>  <p>或，将孔扩大到 300mm，并加嵌入板。</p> <p>其他构件 扩孔到 300mm 以上并装嵌入板。或安装覆板</p>  <p><math>t_1 = t_2</math>    <math>L = 50 \text{ mm}</math>, 最小</p>	
<p><math>D \geq 200 \text{ mm}</math> 的误开孔</p> 	<p>强力构件 扩孔并装嵌入板。</p> <p>其他构件 扩孔至 300mm 以上，并装嵌入板，或装覆板</p>  <p><math>t_1 = t_2</math>    <math>L = 50 \text{ mm}</math>, 最小</p>	

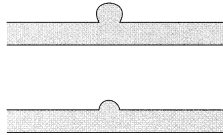
以嵌入板方式修整

表 6A-6

详图	修整标准	备注
<p>以嵌入板方式修整</p> 	<p><math>L = 300 \text{ mm}</math> 最小  <math>B = 300 \text{ mm}</math> 最小  <math>R = 5t \text{ mm}</math> 100mm 最小</p> <p>(1)与嵌入板相接的纵缝应先焊接;  (2)原有焊缝应切开并重新焊接至少 100mm 长。</p>	
<p>以嵌入板对组合型材进行修整</p> 	<p><math>L</math> 最小<math>\geq 300\text{mm}</math></p> <p>焊接顺序  (1) → (2) → (3) → (4)</p> <p>腹板对接焊缝过焊孔应在焊接最后一道焊序 (4) 时填满</p>	

焊缝表面的修整

表 6A-7

详图	修整标准	备注
<p>焊接飞溅</p> 	<p>在喷砂前用刮刀或铲、锤等去除见到的飞溅</p> <p>喷砂后发现的飞溅:</p> <p>a) 铲锤或刮刀等去除;  b) 对用铲锤或刮刀等工作不易去除的飞溅,则将飞溅的尖角打磨成钝角</p>	<p>原则上焊缝表面不需打磨</p>
<p>引弧斑痕</p>	<p>以打磨方式或采用其他方式,如焊道覆盖等,去</p>	<p>最小的短焊道参</p>

(高强度钢、铸钢、E级普通强度钢、TMCP型高强度钢、低温钢)	除硬化区。	见表 6.1.5.1 (8)
---------------------------------	-------	----------------

以短焊道焊接方式修整

表 6A-8

详图	修整标准	备注
以短焊道焊接方式修整疤状损伤(刮伤)	1) 高强度钢, 铸钢, TMCP 型高强度钢( $C_{eq} > 0.36\%$ ), 低温钢( $C_{eq} > 0.36\%$ ): 短焊道的长度 $\geq 50$ mm; 2) 普通强度 E 级钢: 短焊道的长度 $\geq 30$ mm; 3) TMCP 型高强度钢( $C_{eq} \leq 0.36\%$ )和低温钢( $C_{eq} \leq 0.36\%$ ) 短焊道的长度 $\geq 10$ mm;	需要预热至 $100 \pm 25^\circ\text{C}$
修整焊道	1) 高强度钢, 铸钢, TMCP 型高强度钢( $C_{eq} > 0.36\%$ ), 低温钢( $C_{eq} > 0.36\%$ ): 短焊道的长度 $\geq 50$ mm; 2) 普通强度 E 级钢: 短焊道的长度 $\geq 30$ mm; 3) TMCP 型高强度钢( $C_{eq} \leq 0.36\%$ )和低温钢( $C_{eq} \leq 0.36\%$ ) 短焊道的长度 $\geq 30$ mm	
注 1. 当误用短焊道时, 以打磨的方式去除。 2. $C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} (\%)$		

不锈钢船体结构常见接头形式

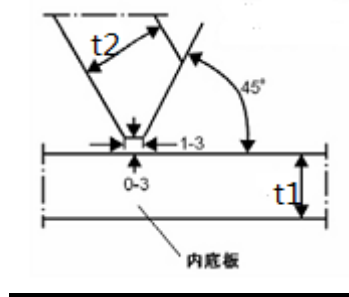


图1. 下斜坡板、壁墩斜板与内底板间的接头设计

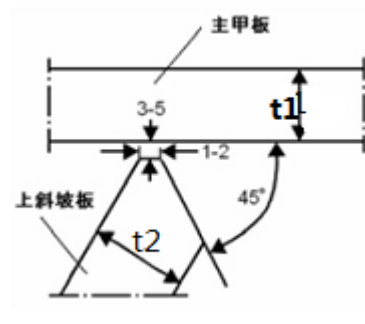


图2. 主甲板与上斜板间的接头设计

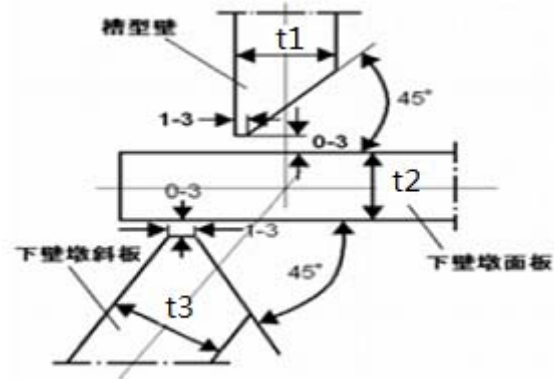


图3. 槽型壁下壁墩面板处的接头设计

## 第7章 焊接检验

### 第1节 一般规定

#### 7.1.1 适用范围

7.1.1.1 本章适用于船舶结构建造和修理过程中的焊接结构的无损检测(NDT)。

7.1.1.2 本指南所涉及的无损检测技术也可适用于船体结构以外的其他金属结构缺陷的无损检测。

7.1.1.3 本章中所涉及的无损检测方法为目视检查(VT)、液体渗透检测(PT)、磁粉检测(MT)、涡流检测(ET)、超声波检测(UT)和射线检测(RT)方法。

7.1.1.4 焊缝的结构密性试验应符合CCS《钢质海船建造规范》第1篇第4章第3节的相关规定。

7.1.1.5 本指南给出了在新船建造和船舶修理过程中船体结构钢常规无损检测方法和质量水平的最低要求。对于特殊情况下无损检测技术的具体应用和验收质量要求应根据实际需要由设计者与船东商定。

#### 7.1.2 责任

7.1.2.1 船舶焊缝的外观检查和无损检测应由船厂或其分包方按由其制订的检查规程或本指南的相关要求进行。船级社验船师对于重要部位应进行外观检查，也可要求见证某些部位或部件的无损检测。

7.1.2.2 船厂或其分包方有责任在建造和修理过程中保证检测的规定和程序得到遵循，并根据无损检测的结果，按CCS接受的格式，编制无损检测报告。

7.1.2.3 无损检测结果的评定是工厂检验部门的责任。

#### 7.1.3 检测机构和人员

7.1.3.1 从事船舶无损检测的机构应按CCS《无损检测机构资格认可规定》取得所提供服务的资格认可。

7.1.3.2 对各种检测方法的操作人员应按CCS《无损检测人员资格鉴定与认证规范》或执行与ISO 9712等国际通用标准相当的中心认证程序考试合格，获得CCS颁发或承认的合格证书，并经生产单位代表授权后才能进行与合格类别和等级相应的无损检测工作。

7.1.3.3 缺陷评定与检测报告的审核和签发应由具有与检测方法相应的II级及以上资格的人员进行。

7.1.3.4 无损检测工艺规程的制定和批准一般应是具有III级资格的人员承担。在特殊情况下也可由资深的II级资格的人员承担。

7.1.3.5 考试合格的人员应有书面的合格证书和聘用单位的授权。从事现场探伤的无损检测人员应携带资格证书的副本，以备验船师核查。

#### 7.1.4 无损检测方法的选择

7.1.4.1 船体结构无损检测所采用的方法除规范有规定者外，应根据被检材料、接头形状、结构形式和检测目的进行选择。

7.1.4.2 不同材料表面或近表面检测适用的方法如表7.1.4.2所示。对于一般钢质船体结构，建议优先采用磁粉检测方法，而少用液体渗透方法。

不同材料表面或近表面检测适用的检测方法 表7.1.4.2

材料	表面	近表面
铁磁性材料(铁素体钢)	VT、MT、PT	MT、ET
非铁磁性材料(奥氏体钢、铝、铜等)	VT、PT、ET	ET

注：表中ET为涡流检测方法。

7.1.4.3 各类材料全熔透焊接接头内部检测适用方法如表7.1.4.3所示。

不同材料全熔透焊接接头内部适用检测方法

表7.1.4.3

材料	接头型式	检测部位材料的厚度(mm)		
		$t \leq 8$	$8 < t \leq 40$	$t > 40$
铁素体钢	对接接头	RT或(UT)	RT或UT	(RT)或UT
	T型接头	(UT)或(RT)	UT或(RT)	UT或(RT)
奥氏体钢	对接接头	RT(或UT)	RT或(UT)	RT或(UT)
	T型接头	(UT)或(RT)	(UT)或(RT)	(UT)或(RT)
铝合金	对接接头	RT	RT或UT	RT或UT
	T型接头	(UT)或(RT)	(UT)或(RT)	UT或(RT)
铜合金	对接接头	RT	(UT)或RT	(UT)或RT
	T型接头	(UT)或(RT)	(UT)或(RT)	(UT)或(RT)

注：表中带括号的检测方法虽然可以使用，但如不采用特殊的技术，检测结果可能会受影响

### 7.1.5 无损检测设备与使用的条件

7.1.5.1 无损检测设备和检测的条件均应满足公认的国家或国际标准或CCS接受的其他技术文件。

7.1.5.2 无损检测通常应在常温下进行。当需要在常温以外进行检测时，应考虑温度对检测结果的影响并采取相应措施。

7.1.5.3 对采用仪器设备的无损检测，应尽量避免在强电磁场、灰尘大、高温或腐蚀的环境下进行。

### 7.1.6 无损检测文件

7.1.6.1 实施无损检测的单位应根据本身条件，就每项无损检测技术制定与本单位条件相适应的无损检测操作工艺规程，并交CCS备查。不同的检测方法所包含的基本要素在本章后续各节中规定。

7.1.6.2 工厂的检验部门应根据不同的船型、结构重要性和所用的焊接方法进行计划，以确定不同部位实施的检测方法和验收标准，并制订无损检测计划送交CCS审批。制订无损检测计划图时应应对高应力区域予以特别注意。无损检测计划至少包括下列内容：

- (1) 全船结构无损检测数量计算和具体检测部位图或表；
- (2) 各检测部位所采用的检测方法和相应的验收标准；
- (3) 相关方达成的无损检测协议(如有时)。

7.1.6.3 对于同系列姐妹船，在每艘船舶建造前，船厂应制订的有所变更的无损检测计划提交CCS审批，并对生产部门保密。在实施时，现场验船师可以根据实际情况少量增删检测数量或调整检测位置。

7.1.6.4 船厂应建立一套无损检测的标识系统，并在无损检测的文件系统中采用，以便于确定被检测焊缝的准确位置和长度。

7.1.6.5 工厂检测部门应将无损检测结果明确地表述在检测报告中。无损检测报告也应对检测部位所发现的可疑显示作出解释，对判定为缺陷的显示应给出缺陷的位置和大小。必要时可增加草图、照片或其他方便的介质来表示。

7.1.6.6 无损检测报告应与检测显示的证据一并送交验船师查验，经确认后由工厂保存，相应的检测报告副本应作为交船文件的附件分别送交CCS和船东(有要求时)备查。

### 7.1.7 验收标准

7.1.7.1 船体结构的无损检测验收标准应根据船体结构材料、结构的重要性的和采用的检测方法而确定。

7.1.7.2 船体结构采用不同的无损检测方法时，其检测工艺可参考本章相应节中的要求。在保证其检测灵敏度的基础上，验收标准可采用表 7.1.7.2 所列公认标准的等级或更高等级。若采用其他标准，申请者应明确不低于本章所列标准最低等级的要求。

可接受的船体结构(包括管系)无损检测标准及验收等级

表 7.1.7.2

射线检测 RT		超声波检测 UT		磁粉检测 MT		渗透检测 PT	
标准号	等级	标准号	等级	标准号	等级	标准号	等级

ISO 10675-1	1*/2	ISO 11666	2*/3	ISO 23278	2X	ISO 23277	2X
EN 12517-1	1*/2	EN ISO 11666	2*/3	EN ISO 23278	2X	EN ISO 23277	2X
CB/T 3558	II*/III	CB/T 3559	II*/III	CB/T 3958	II*/III	CB/T 3958	II*/III
JIS Z3104	II*/III	JIS Z3060	II*/III	----	----	----	----

注：\*用于重要区域，重要区域包括：

1) 150米及以上船舶，在船舫0.4L区域内的强力甲板、舷顶列板、舳列板、船底板、龙骨板、内壳顶列板和纵舱壁顶列板以及支撑这些板的主要构件的焊缝，可计入船体梁剖面模数的连续凸形甲板和连续纵向舱口围板以及支撑这些板的主要构件的焊缝；

2) 外板和强力甲板上紧邻强力贯穿件位置的焊缝，例如挂舵臂、舵踵、桅柱等强力贯穿件，包括将其连接于主要构件的焊缝；

3) 主要承受动态载荷的构件的焊缝，例如尾轴支架、舵踵、舵杆连接法兰（与舵叶本体之间）、以及主机座桁材上的焊缝；

4) 对于拟在低温区域航行船舶（例如破冰船和极地科考船）的主船体全焊透焊缝；

5) 船舶I级管系的焊缝。

6) 对于LNG和LPG船舶的整体液货舱或独立液货舱的全焊透焊缝（不包括薄膜舱），当采用表中所列CB或JIS标准时，其验收等级均应为I级；当采用表中所列ISO标准时，验收等级应按重要区域要求。

## 第2节 船体结构无损检测

### 7.2.1 一般规定

7.2.1.1 除特别指明外，本节适用于常规船型钢质船体结构的无损检测。

7.2.1.2 船体结构的所有焊缝，均应进行外观目视检查。检查合格后再进行构件内部的无损检测。

7.2.1.3 船体结构中的全熔透对接焊缝宜用射线方法或超声波方法进行检验，全熔透的角焊缝和T形焊缝宜用超声波方法进行检验。

7.2.1.4 船体结构中位于承受高应力循环载荷部位的焊缝，根据必要性增加适当数量的磁粉或渗透检测。

7.2.1.5 当检测方拟用超声波检测方法替代射线方法进行船体结构对接焊缝检测时，应提供经CCS核实的可靠性证明，替代的比例和适用的部位应经CCS批准。原则上在船中0.6L区域内替代的数量应不超过检测总数的15%，且重要接头或应力复杂的部位不能用超声波替代射线进行检测。

如果采用具有可成像并记录检测结果的先进超声波检测方法(如：相控阵和衍射声时技术(TOFD))时，则可替代的数量应经CCS同意。

### 7.2.2 无损检测的数量

7.2.2.1 船体各部位无损检测的数量应符合CCS《材料与焊接规范》第3篇第5章第3节5.3.2相关规定。

### 7.2.3 检测位置

7.2.3.1 无损检测位置的选择一般应遵循如下原则：

- (1) 检测点的密度应按结构钢材的材料级别从高到低递减；
- (2) 较多地选择在焊接应力较大或易于产生应力集中的结构截面突变部位进行检测；
- (3) 选择船长中间部位应多于船头尾部位；
- (4) 为增大检测的随机性，同一型船舶的不同艘次，应对检测部位进行适当的调整。

7.2.3.2 选择的检测部位一般应在船舶纵横焊缝的交叉处，而且交叉处的检测长度方向通常平行于横向对接焊缝(与船长方向垂直)。

7.2.3.3 对位于分段组装和大合拢焊缝应适当选择部分位置进行抽查。

## 第3节 检测前准备和外观检查

### 7.3.1 一般规定

7.3.1.1 本节适用于船体结构检测前清洁、焊缝的外观检查和对无损检测的一般性技术要求。

7.3.1.2 船体结构焊缝完工后均应予以清洁，并进行焊缝尺寸和外观检查。

7.3.1.3 对于强度高于或等于420 N/mm<sup>2</sup>的淬火加回火高强度钢应在焊后或热加工结束48h后进行检测，其余钢铁材料视施工期间的温度、构件厚度和结构拘束程度适当考虑延时检查的时间。一般强度钢焊缝厚度小于100mm时，可不考虑延时检测。

### 7.3.2 检查前清洁

7.3.2.1 结构和工件被检测的部位应在检测前进行适当的表面清洁。通常可采用人工或机械的方式清除作业表面的可能影响检测结果的因素：

- (1) 对于板材和锻件应清除表面氧化皮、皱折、锈斑等；
- (2) 对于铸件应清除表面氧化皮、粘砂等；
- (3) 对于焊接件应在焊接工作结束后，以人工或机械的方式去除所有的焊渣、飞溅等；
- (4) 对于机加工件应注意去除油、脂、污物等。

7.3.2.2 对于后续将进行渗透检测的部位，应避免采用喷砂、锤击等可能造成表面张开性缺陷闭合的方式。

7.3.2.3 对于需要打磨整形的焊缝，应防止由打磨引起的焊缝表面金属过热和形状缺陷。

7.3.2.4 对于焊缝检测，清理范围通常依据所采用的检测方法而定，且至少包括整个焊缝表面及其热影响再增加10mm。

7.3.2.5 当被检焊缝(工件)需要热处理时，通常应在热处理后进行检验。

### 7.3.3 外观检查

7.3.3.1 外观目视检查时，应能保证检查部位的可达性。

7.3.3.2 进行外观检查的部位一般应满足被检表面的光照度不低于350Lx的要求。必要时应采用辅助光源(如手电筒等)对被检部位加以照明。

7.3.3.3 焊缝外形检查可采用适用的通用或专用工具进行测量。必要时可采用放大倍数不大于5倍的放大镜、照相机等辅助工具做间接检查。

### 7.3.4 结果评定

7.3.4.1 焊缝表面应成形均匀，与母材过渡平顺，无过大的增强高。

7.3.4.2 除合同有规定或结构有特殊要求者外，外观检测发现的缺陷应不超过表7.3.4.2的要求。

外观检查的验收标准

表 7.3.4.2

缺陷	ISO 6520-1 分类号	验收标准 <sup>1)</sup>	
裂纹	100	不允许	
未熔合	401	不允许	
单面焊对接接头根部未熔透	4021	不允许	
表面气孔	2017	单个气孔直径 $d \leq 0.25t$ (对接缝)或 $d \leq 0.25a$ (角接缝)，且最大直径不大于 3mm。 <sup>1)</sup> 相邻孔间距不小于 2.5d。	
咬边	501	对接缝	深度 $\leq 0.5\text{mm}$ ，不论长度 深度 $\leq 0.8\text{mm}$ ，最大连续长度小于 90mm。 <sup>2)</sup>
		角接缝	深度 $\leq 0.8\text{mm}$ ，不论长度。

注：1) 表中 t 为较薄板的厚度；a 为角焊缝的焊喉厚度。

2) 相邻咬边的间距小于较小咬边长度，则就作为一个咬边缺陷计。

## 第4节 射线检测

### 7.4.1 一般规定

7.4.1.1 本节规定射线检测技术在船舶结构检验中应用的一般技术要求。

7.4.1.2 本节主要适用于常规X射线和γ射线照相检测方法的无损检测。

7.4.1.3 射线检测的工艺应当详细。工艺文件中至少包括：射线源、检测材料与厚度、胶片系统和增感屏(如有时)、底片搭接、像质计形式和摆放位置、图象质量、曝光条件、散射线控制、底片处理、黑度、观片条件等内容。

7.4.1.4 射线检测应采用一套检测位置标识系统，以显示检测位置的唯一性。可在送交备查的船体结构无损检测图上进行标识或在检测时在船体上进行标识。相应位置的唯一标识应在射线检测底片上清晰显示。

7.4.1.5 射线检测的现场/所处应按有关国家标准建立射线防护体系。

### 7.4.2 射线检测的器材

7.4.2.1 射线检测所采用射线源类型由检测方根据检测需要和使用经验自行决定。建议尽可能采用X射线。

7.4.2.2 射线检测用胶片通常可根据被检测工件的特性、检测及处理过程上所采用的技术进行选择。常用的胶片系统的主要特性指标见表7.4.2.2所示。除检测位置所限或有特殊要求者外，每张照片的长度应不小于300mm。

常用胶片系统的主要特性

表7.4.2.2

胶片系统类别	感光速度	特征曲线 平均梯度	感光乳剂 颗粒度	梯度最小值 $G_{\min}$		颗粒度最大值 $\sigma_{\max}$	梯度/颗粒度的最小值 $(G/\sigma)_{\min}$
				D=2.0	D=4.0	D=2.0	D=2.0
				T1	低	高	微粒
T2	较低	较高	细粒	4.1	6.8	0.028	150
T3	中	中	中粒	3.8	6.4	0.032	120
T4	高	低	粗粒	3.5	5.0	0.039	100

注：表中黑度D均为 $D_0$ 以上，即不包括灰雾度的净黑度。

7.4.2.3 射线检测通常根据检测对象的材质和厚度，选择相应材质和线径号的线型像质计。像质计应满足公认的国家或国际标准标准。

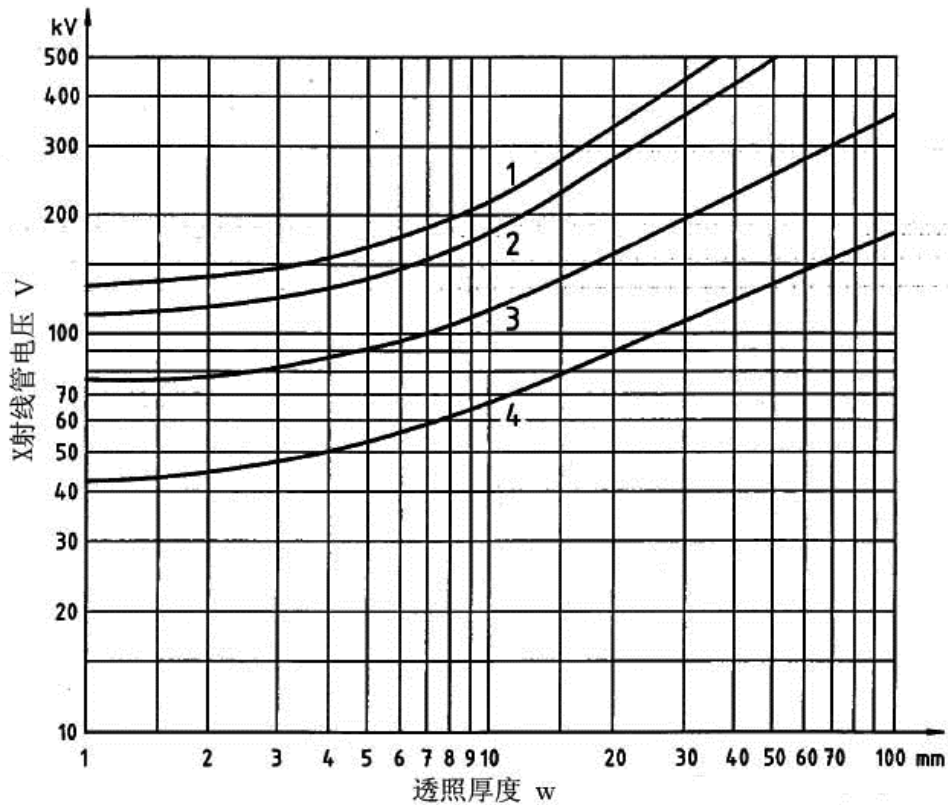
7.4.2.4 增感屏应无划伤等可能导致照片上产生伪缺陷影像的损伤。

7.4.2.5 观片灯的光亮度应连续可调。在底片黑度为小于或等于2.5时，其亮度应不低于 $30\text{cd/m}^2$ ；在底片黑度大于2.5时，其亮度应不低于 $10\text{cd/m}^2$ 。

### 7.4.3 检测准备

7.4.3.1 为保证检测效果，工件在射线检测前应进行表面清理，消除可能引起缺陷显示或造成误判的表面缺欠。

7.4.3.2 当采用X射线源时，为了更好地发现缺陷，应尽可能选择较低的管电压。不同材质和厚度所对应



1----铜、镍及其合金    2----钢    3----钛及其合金    4----铝及其合金  
图 7.4.3.2 X射线管电压选择

的允许最高管电压应不超过图7.4.3.2的限制。

当采用放射性同位素源时，根据工件的透照厚度可参考表7.4.3.2选择适用的射线源。

射线源	Se75	Ir192	Co60
透照厚度 t (mm)	10~40	20~90	40~150

### 7.4.4 射线检测工艺

7.4.4.1 射线检测通常宜采用单壁透照法。射线源距离工件的距离应至少大于工件透照厚度(对焊缝应包括焊缝增强高和垫板的总厚度)的7倍。

7.4.4.2 当有关方要求检测报告附有底片证明时，可采用双胶片法或等效方法。

7.4.4.3 表述被检工件、检测位置和检测日期的铅制数字和/或符号的放置应不影响对焊缝缺陷的评定，通常应距离焊缝边缘不少于10mm。

7.4.4.4 检测时，像质计的选用和布置应根据被检测处的厚度、材质和被检工件型式确定。线型像质计的选择和布置一般应符合下述要求：

射线照相灵敏度要求(像质计在射线源侧) 表 7.4.4.4(1)

检测工件的名义厚度	照片上可见的线号(名义直径)
3.5 < t ≤ 5mm	W15 (0.125 mm)
5mm < t ≤ 7mm	W14 (0.16mm)
7mm < t ≤ 10mm	W13 (0.20mm)
10mm < t ≤ 15mm	W12 (0.25mm)
15mm < t ≤ 25mm	W11 (0.32mm)
25mm < t ≤ 32mm	W10 (0.40mm)
32mm < t ≤ 40mm	W9 (0.50mm)
40mm < t ≤ 55mm	W8 (0.63mm)
55mm < t ≤ 85mm	W7 (0.80mm)
85mm < t ≤ 150mm	W6 (1.00mm)
150mm < t ≤ 250mm	W5 (1.25mm)

注：当采用 Ir 192 等 γ 射线源时，表中像质计可见线径：

-对于厚度在 10mm < t ≤ 24mm，可降低 2 档；

-对于厚度在 24mm < t ≤ 30mm，可降低 1 档。

(1) 线型像质计的选择是根据表7.4.4.4(1)所规定的照相灵敏度确定，并使底片上应可见的线径尽可能处于像质计的中间区段。

(2) 每张底片通常至少应放置一个像质计。像质计通常应放在距端部不大于1/4检测区域处的射线源侧，细线径朝外。

(3) 若检测焊缝时，则像质计应横跨焊缝(见图7.4.4.4所示)。

(4) 当对环形试件进行环向透照时，至少应在整个圆周内均匀布置三个像质计。

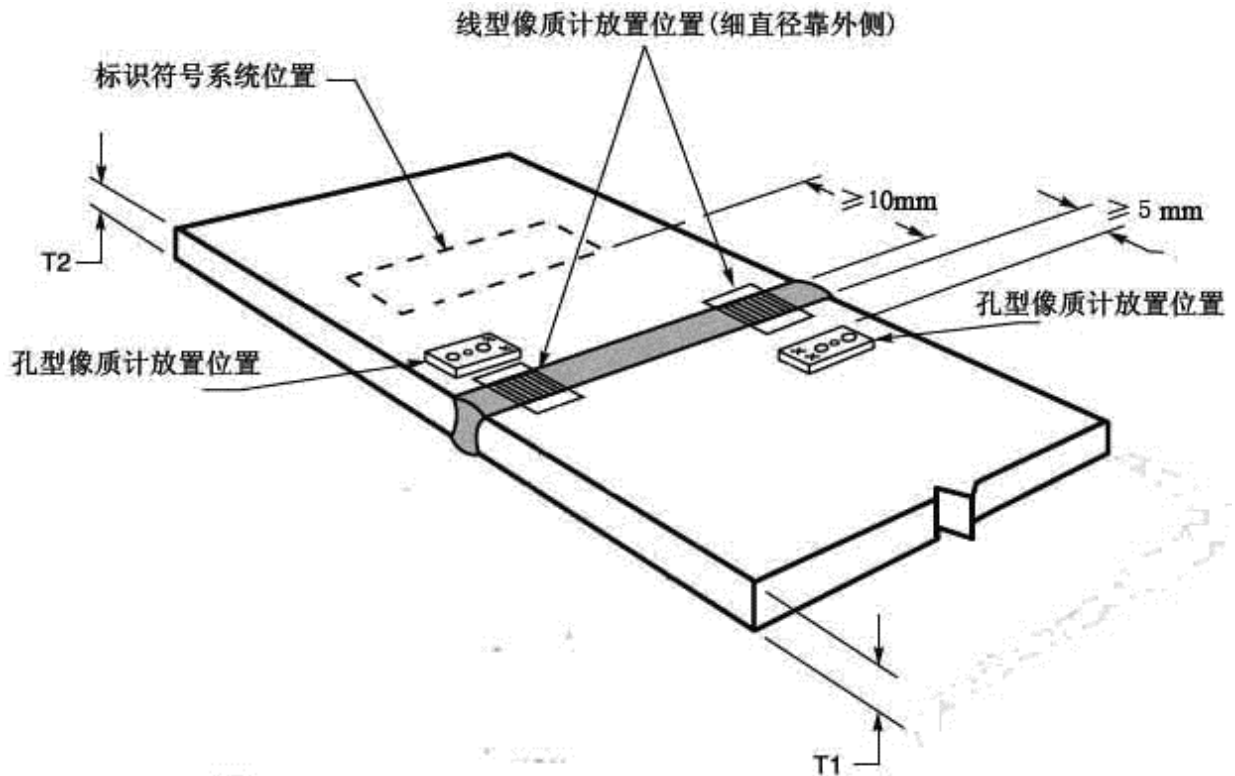


图7.4.4.4 标识系统和像质计放置位置(建议)

(5) 如果因故像质计无法放置在射线源侧的工件表面上时，则可将其置于工件和胶片之间。此时灵敏度应符合表7.4.4.4(5)的要求，并在底片上有专用的符号加以标识。

(6) 选用的像质计材料应与工件材料相当。

7.4.4.5 当射线照相需要采用增感屏时，为避免因使用不当造成伪缺陷，应当注意下列要求：

(1) 增感屏应均匀、平整、无污染和损坏；

(2) 增感屏表面应朝向胶片，增感屏与胶片之间应无其他物品，保持紧密接触；

(3) 增感屏应与胶片同时装入胶片套。尽量避免增感屏与胶片之间的摩擦。

7.4.4.6 应根据检测材料、透照厚度、胶片系统特性、灵敏度要求等选择正确的曝光参数。

7.4.4.7 曝光的胶片应按胶片生产厂和化学药剂生产厂的说明进行处理。应注意温度、显影

射线照相灵敏度(像质计在胶片侧) 表 7.4.4.4(5)

检测工件的名义厚度	照片上可见的线号(名义直径)
$3.5 < t \leq 5\text{mm}$	W15 (0.125 mm)
$5\text{mm} < t \leq 10\text{mm}$	W14 (0.16mm)
$10\text{mm} < t \leq 15\text{mm}$	W13 (0.20mm)
$15\text{mm} < t \leq 22\text{mm}$	W12 (0.25mm)
$22\text{mm} < t \leq 38\text{mm}$	W11 (0.32mm)
$38\text{mm} < t \leq 48\text{mm}$	W10 (0.40mm)
$48\text{mm} < t \leq 60\text{mm}$	W9 (0.50mm)
$60\text{mm} < t \leq 85\text{mm}$	W8 (0.63mm)
$85\text{mm} < t \leq 125\text{mm}$	W7 (0.80mm)
$125\text{mm} < t \leq 225\text{mm}$	W6 (1.00mm)

注：当采用 Ir 192 等  $\gamma$  射线源时，表中像质计可见线径：

-对于厚度在  $10\text{mm} < t \leq 22\text{mm}$ ，可降低 2 档；

-对于厚度在  $22\text{mm} < t \leq 38\text{mm}$ ，可降低 1 档。

和冲洗的时间，以免胶片在处理过程中的失误，影响对缺陷的评判。

#### 7.4.5 评片

7.4.5.1 底片评片应在光线暗淡的室内进行。观片灯的亮度应使光线透过底片的亮度满足7.4.2.5的规定。评片的检测人员评片前应有适当的暗适应时间，以使眼睛适应观片室的环境后再进行评片。

7.4.5.2 除有专门规定外，底片的黑度通常应在2.0~4.0之间。当透照小管径焊缝或变截面工件时，其黑度允许最小值为1.5。

7.4.5.3 当使用线型像质计时，在底片黑度均匀的区段上所显示的像质计影像中符合7.4.4.4所规定可见线径的金属丝长度应至少有10mm连续长度清晰可辨。

7.4.5.4 每张底片中应清晰显示用数字和/或符号表述的检测工件、位置和检测日期的唯一标识。

7.4.5.5 射线检测的验收应满足本章7.1.7.2的要求。

#### 7.4.6 检测报告

7.4.6.1 检测结束后应根据检测结果填写检测报告，必要时可附以示意图和/或检测照片。

7.4.6.2 射线检测报告应至少包括下列内容：

- (1) 产品名称、类型、材质、厚度和状态
- (2) 检测区域、位置及编号(通常附有检测位置布置示意图或检测位置说明)
- (3) 焊接方法和焊接接头形式(对焊缝)；
- (4) 射线源种类或型号和焦点尺寸；
- (5) 胶片系统(胶片和增感屏的类型)
- (6) 管电压和管电流或放射源活度；
- (7) 曝光方法、曝光时间和源片距离
- (8) 像质计型号、像质计放置位置和灵敏度
- (9) 验收标准和检测结果(包括黑度、几何不清晰度、缺陷性质和大小)
- (10) 在检测过程中可能影响检测结果的受限条件或因素(若有时)；
- (11) 检测人员的姓名、资格及签名
- (12) 检测日期

## 第 5 节 超声波检测

#### 7.5.1 一般规定

7.5.1.1 本节规定超声波检测技术在钢质船舶结构检验中应用的一般技术要求。

7.5.1.2 本节主要适用于常规脉冲超声波检测。

7.5.1.3 超声波检测的工艺文件中至少包括有：设备、探头型号(频率、角度)、耦合剂、参考试块型号、检测范围和灵敏度设定的方法、转换校正方法、扫查方法、缺陷尺寸确定技术、检测时标定的时间间隔。

7.5.1.4 除明确规定检测长度或受结构尺寸限制外，每个超声波检测位置的检测长度一般为500mm。

7.5.1.5 若采用先进超声波技术(如TOFD或相控阵等)进行无损检测，应符合相关标准的规定。

#### 7.5.2 超声波检测设备

7.5.2.1 船舶超声波检测通常采用模拟或数字式A型脉冲式超声波检测仪，且满足如下技术指标：

- (1) 超声波检测仪可在频率为0.5MHz~10MHz的范围内正常工作；
- (2) 超声波检测仪的垂直线性误差应不大于5%，水平线性误差应不超过1%；
- (3) 检测仪的增益(衰减)控制器在80dB整个范围内每档可调，且任意相邻12dB范围内精度在±1dB

以内，最大累计误差不超过1dB。

7.5.2.2 检测用超声波探头通常应满足下列要求：

- (1) 换能器应有足够的面积；
- (2) 斜探头的实际折射角与标称值的误差应不大于 $\pm 2^\circ$ ，否则应进行修正；
- (3) 斜探头上应标明标称折射角和入射点。

7.5.2.3 应采用透声性好，对工件无腐蚀性的物质作超声波检测用的耦合剂。

7.5.2.4 超声波设备(包括仪器和探头)至少每年进行一次校准。

### 7.5.3 超声波检测准备

7.5.3.1 工件被检测区域的表面应清洁，无干扰探头耦合的锈、漆等外来杂物。并有合适的表面形状和粗糙度。

7.5.3.2 检测用的超声波探头可根据检测的目的、工件材质进行选择。通常选择原则为：

- (1) 对母材缺陷宜采用直探头进行纵波检测，除非在工件制造阶段已了解缺陷存在；
- (2) 对焊缝缺陷宜采用斜探头进行横波检测，通常斜探头声波折射角的角度根据工件厚度和焊缝坡口的倾角选择；
- (3) 对于晶粒粗大的铸件组织，为避免过大的衰减，宜采用频率较低的探头；对于组织晶粒细小的材料(锻件或轧制品)宜采用频率稍高的探头，以提高检测的精度。
- (4) 用于结构钢检测的探头工作频率通常可在2~5MHz范围内选择。对于奥氏体不锈钢或双相不锈钢可选择该范围内频率偏低的探头；
- (5) 若采用超声波检测方法检测近表面缺陷时宜采用双晶探头。

7.5.3.3 进行检测前应对仪器进行系统综合调试。系统调试应在以与被测材料超声波特性相当材料制成的标准试块或对比试块上进行。通过参考试块上直径3mm的系列横通孔制作距离—波幅(DAC)曲线或采用参考试块上的不同平底孔制作相应的距离—增益—缺陷尺寸(DGS)曲线。相关的曲线应能满足检测灵敏度的要求。

### 7.5.4 超声波检测工艺

7.5.4.1 为避免扫查中对缺陷的漏检，扫查方式应符合下列要求：

(1) 检测应扫查到整个规定的区域，扫查路径之间应有适当的重叠，以避免漏检。

(2) 对于扫查范围应覆盖到整个焊缝断面加上其两侧至少10mm或热影响区宽度的区域(取大者)；

(3) 对于全熔透角焊缝，为保证能够对接头全面检测，通常可采用在腹板两侧或翼板处进行扫查(见图7.5.4.1(3))或更换不同角度的探头等方法。

(4) 扫查时避免探头摆动时产生探头接触不良。7.5.4.2 对于呈曲面形状的表面，在扫查和定位时应考虑表面曲率修正。

7.5.4.3 当在扫查过程中发现有缺陷信号时，应在工件表面作出明显的标记，并予以记录。

7.5.4.4 检测过程中应在适当的时间间隔(一般在4~8小时)和必要时对系统重新进行校核。

### 7.5.5 结果评定

7.5.5.1 当采用距离-波幅曲线技术进行扫查时，通常对回波高度低于DAC曲线33%的显示可不予计入。对显示回波高度大于上述值的回波应予以记录和评估(测量超标波高的范围、最大反射波高及定位，最后确定缺陷的当量)。

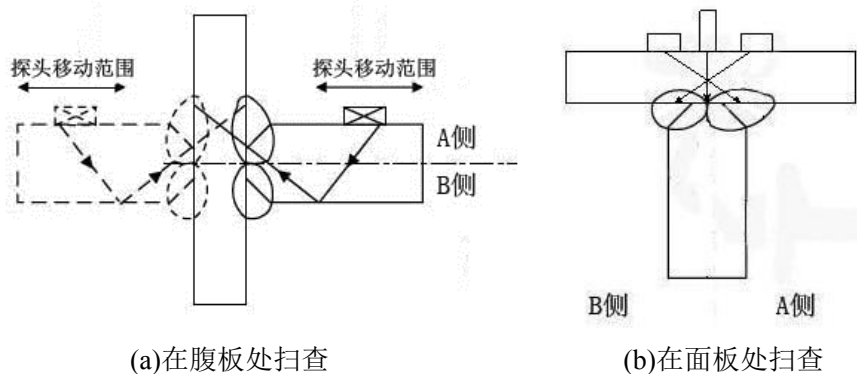


图7.5.4.1(3) 全熔透角焊缝的扫查

7.5.5.2 当有必要时可采取更换探头、增加检测面、观察动态波形并结合结构工艺特征帮助对缺陷显示的定性。

7.5.5.3 超声波检测的验收应满足本章7.1.7.2的要求。

### 7.5.6 检测报告

7.5.6.1 检测结束后应根据检测结果填写检测报告，必要时可附以示意图。

7.5.6.2 超声波检测报告应至少包括下列内容：

- (1) 产品名称、类型、材质、厚度和状态；
- (2) 检测区域和位置及编号(通常需附检测位置分布示意图或检测位置说明)；
- (3) 焊接方法焊接接头形式(对焊缝)；
- (4) 超声波检测仪和探头的型号和编号，及耦合剂种类；
- (5) 各探头的标称频率、实测的折射角(对斜探头)和校准灵敏度；
- (6) 所用参考试块的型号；
- (7) 灵敏度、传输修正、缺陷检测所采用的回波响应(如回波高度或缺陷当量)；
- (8) 检测部位的温度；
- (9) 验收标准和检测结果；
- (10) 在检测过程中可能影响检测结果的受限条件或因素(若有时)；
- (11) 检测人员的姓名、资格及签名；
- (12) 检测日期。

## 第6节 磁粉检测

### 7.6.1 一般规定

7.6.1.1 本节规定适用于具有铁磁性材料的船体结构表面或近表面的缺陷检测。

7.6.1.2 详细的工艺应至少包括表面处理，磁化设备、标定方法、检测介质、磁粉/磁悬液施加、观察条件和退磁等。

7.6.1.3 在规范或合同未作规定的情况下，每个检测点磁粉检测的长度通常为500mm。

7.6.1.4 对焊接结构进行磁粉检测时，建议尽量使用交流连续湿法进行检测。

7.6.1.5 当被检工件(铸锻件)要求有较高灵敏度时，建议采用荧光磁粉检测方法。

### 7.6.2 检测设备

7.6.2.1 磁粉检测装置通常有交流或直流磁轭、永久磁铁、直接通电磁化和线圈磁化等装置。

7.6.2.2 磁粉检测装置应具有产生检测所需的磁场方向和强度。通常交流电磁轭应具有产生至少45N的提升力，直接电磁轭或交叉磁轭至少应在177N提升力(磁极靴与试件表面间隙为0.5mm)。

7.6.2.3 采用剩磁法检测时，交流检测设备应配备断电相位控制器。

7.6.2.4 用于直接通电磁化的电极通常不应为铜电极，宜为铅、钢或铝铜电极。

7.6.2.5 检测用的磁粉应满足下列要求：

- (1) 具有高磁导率、低矫顽力和低剩磁的特性；
- (2) 与被检工件表面颜色有较高的对比度，荧光磁粉的荧光系数应大于1.5cd/W；
- (3) 磁粉的粒度应适于使用条件规定；

7.6.2.6 湿法磁粉检测所用的磁悬液应采用检测工件不产生腐蚀作用的水或低粘度的油类产品作为载体。通常普通磁粉配制的磁悬液中磁粉所占的体积比在1.2%~3.5%，对荧光磁粉磁悬液，磁粉所占的体积比约为0.1%~0.3%。

7.6.2.7 检测用紫外线灯应在带滤光片的条件下，满足在距光源400mm外测得的紫外线辐照度不小于1000 $\mu$ W/cm<sup>2</sup>，但可见光辐照度应不大于20Lx。

### 7.6.3 检测准备

7.6.3.1 检测表面应清洁，在焊缝表面及至少两侧热影响区的范围内应无锈、油、脂、漆、尘等污物。

7.6.3.2 磁粉检测常用的切向磁场强度为2kA/m~6kA/m。

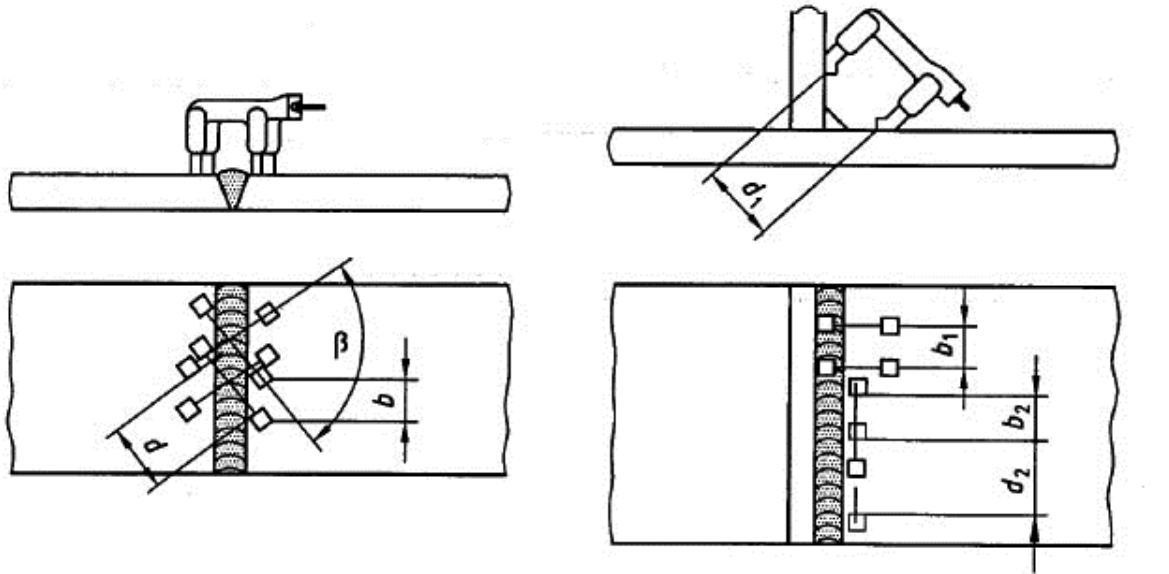
7.6.3.3 检测前应对系统进行综合性能测定，以保证系统达到规定的检测灵敏度。

7.6.3.4 磁悬液在使用前应充分均匀化。

#### 7.6.4 磁粉检测工艺

7.6.4.1 当采用直接通电法进行磁化时，应尽量防止流经触头的电流对材料表面的局部损伤。

7.6.4.2 为保证缺陷的检出，通常在检测时应使磁场方向有所变化。对于焊缝通常应以互成直角的两个方向磁化，其中一个磁场方向与焊缝轴线的夹角一般不超过30°(如图7.6.4.2所示)。



图中： $d \geq 75$

$b \leq d/2$

$\beta \approx 90^\circ$

a. 对接焊缝的磁粉检测

$d_1 \geq 75$

$b_1 \leq d_1/2$

$d_2 \geq 75$

$b_2 \leq b_2 - 50$

b. 角接焊缝磁粉检测

图7.6.4.2 焊缝磁粉检测磁化方向

7.6.4.3 在扫查过程中，扫查的检测区域应有所搭接。检测的有效区域如图 7.6.4.3 所示。

图中d为磁轭或触头间的距离  
数字的单位为mm。

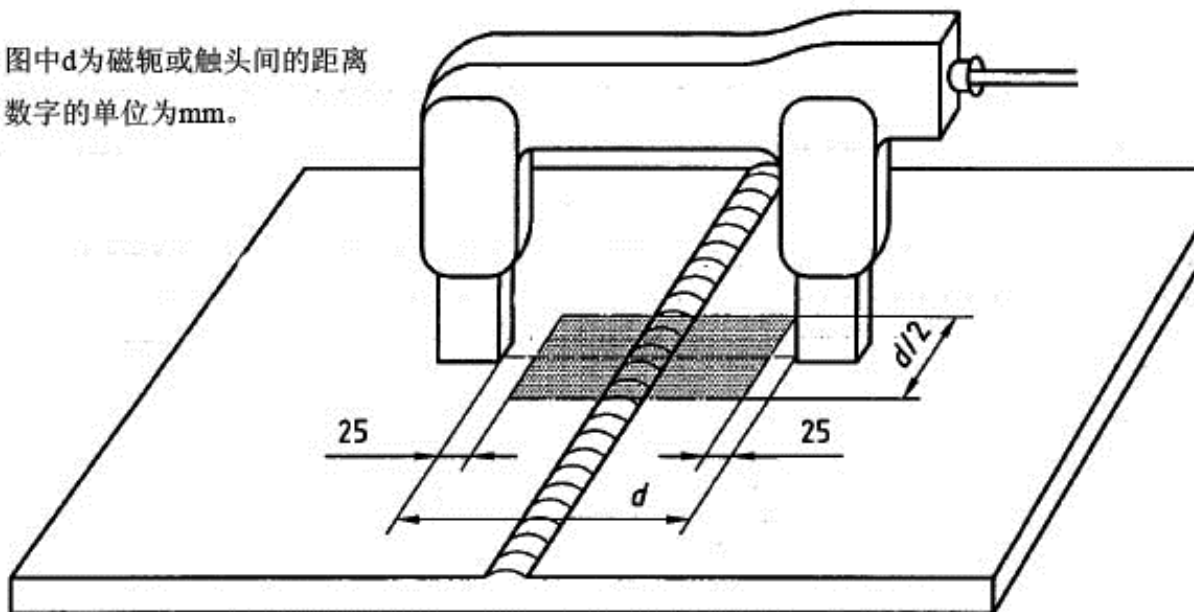


图7.6.4.3 使用磁轭或触头磁化的有效检测区域

7.6.4.4 磁痕显示通常宜采用连续湿磁粉法。

7.6.4.5 磁粉或磁悬液应在被检工件磁场建立并稳定后，均匀地洒在被检测工件的表面，并在磁痕稳定后才进行观察。

7.6.4.6 磁痕观察应在合适的照度下进行。通常对采用色显磁粉，观察处的光照度应不少于500Lx。

对于采用荧光磁粉，则观察处的环境照度应不高于20Lx，黑光灯的辐照度应不小于1000  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>，其波长应在320nm~400nm范围内。

7.6.4.7 对于剩磁现象较大的顺磁性材料，除不影响后继加工和使用外，一般应在检测后对工件进行退磁。

## 7.6.5 结果评定

7.6.5.1 缺陷的显示可以采用草图、照相、录像等方法进行记录。当辨认细小缺陷时可采用3~8[5~10]倍的放大镜进行缺陷观察。

7.6.5.2 线状缺陷是长度大于宽度3倍的缺陷显示。非线状缺陷是长度小于等于3倍宽度的缺陷。

7.6.5.3 磁粉检测的验收应满足本章7.1.7.2的要求。

## 7.6.6 检测报告

7.6.6.1 检测结束后应根据检测结果填写检测报告，必要时可附以示意图和/或检测照片。

7.6.6.2 磁粉检测报告应至少包括下列内容：

- (1) 产品名称、类型、材质、厚度和交货状态；
- (2) 检测区域、位置及编号(通常需附检测位置分布示意图或检测位置说明)；
- (3) 焊接方法和焊接接头形式(仅对焊缝)；
- (4) 磁化方法和磁场强度；
- (5) 检测部位的温度；
- (6) 检测介质；
- (7) 观察条件(表面粗糙度和照度)；
- (8) 退磁情况(如需要时)；
- (9) 验收标准和检测结果；
- (10) 在检测过程中可能影响检测结果的受限条件或因素(若有时)；

- (11) 检测人员的姓名、资格及签名；
- (12) 检测日期。

## 第7节 渗透检测

### 7.7.1 一般规定

7.7.1.1 本节规定适用于船舶结构和船用机械设备零部件表面开口型缺陷的渗透检测。

7.7.1.2 详细的工艺应至少包括：对比试块、表面处理要求、检测前清洁与干燥、温度和湿度范围、采用渗透剂、清洁剂和显像剂的类型及牌号，渗透剂的渗透和去除，渗透时间、显像剂的应用和显像时间，检测时的照明条件等。

7.7.1.3 进行渗透检测的工件场所应有充分的通风条件，并且远离热源、明火和燃烧物。

7.7.1.4 对于焊接结构件的渗透检测，不建议采用水洗型和后乳化形渗透检测方法。

7.7.1.5 当工件(铸锻件)要求较高灵敏度要求时，应考虑采用荧光渗透检测方法。

7.7.1.6 若采用荧光渗透检测时，应注意避免紫外辐射直接照人体组织。

7.7.1.7 采用着色渗透检测时被检表面的光照度应不低于500Lx，必要时可采用经标定的测光表测定被检表面的光照度。

### 7.7.2 检测器材

7.7.2.1 着色渗透剂应与配套的显像剂有较大的对比色差。

7.7.2.2 检测用紫外线灯应在带滤光片的条件下，满足在距光源400mm外测得的紫外线辐照度不小于1000  $\mu$ W/cm<sup>2</sup>，但可见光照度不大于20 Lx的要求。

### 7.7.3 检测准备

7.7.3.1 渗透方法选用应根据需要的检测灵敏度，工件表面粗糙度以及检测现场水源等因素选定。船体结构的焊缝建议采用溶剂去除型着色法检测。

7.7.3.2 正式检测前应采用适当的试块对渗透检测剂进行灵敏度检测。以确定渗透检测能够满足检测的灵敏度要求。

7.7.3.3 检测部位表面的粗糙度应满足检测灵敏度的要求，必要时可将被检测表面打磨至要求的粗糙度。

7.7.3.4 表面的工作温度通常应在5°C至50°C范围。在该温度范围以外，应当使用特殊的高/低温渗透剂和参考比较试块。

### 7.7.4 渗透检测工艺

7.7.4.1 对焊缝进行渗透检查时，应包括整个焊缝宽度和两侧至少各10mm宽度的母材。

7.7.4.2 渗透时间应符合渗透剂制造厂的技术条件，一般不低于10min。

7.7.4.3 去除多余渗透剂时，去除剂不宜直接喷在被检测的表面。建议采用将去除剂喷在干净的搓布上，抹去多余的渗透剂。

7.7.4.4 施加显像剂时，通常应均匀地将显像剂薄薄地施加在被检部位的表面。若采用喷罐喷涂时，一般应使喷嘴距离被检部位约300mm，均匀喷敷。

7.7.4.5 显像时间应符合显像剂制造厂的技术条件，通常应在10min~30min之间。

7.7.4.6 观察显示时，被检部位的白光照度通常不宜低于1000Lx。

7.7.4.7 工件检测完毕后应进行后清洗，以去除对以后使用或工件材料有害的残留物。

### 7.7.5 结果评定

7.7.5.1 缺陷的显示可以采用草图、照相、录像等方法进行记录。当辨认细小缺陷时，如有必要时可采用5倍左右的放大镜进行观察。

7.7.5.2 长度大于宽度3倍的缺陷显示应作为线状缺陷处理，非线状缺陷是显示长度小于等于其3倍宽度的缺陷。

7.7.5.3 渗透检测的验收应满足本章7.1.7.2的要求。

### 7.7.6 检测报告

7.7.6.1 检测结束后应根据检测结果填写检测报告，必要时可附以示意图或照片。

7.7.6.2 渗透检测报告应至少包括下列内容：

- (1) 产品名称、类型、材质和状态；
- (2) 检测区域、位置及编号(通常需附检测位置分布示意图或检测位置说明)；
- (3) 焊接方法和焊接接头形式(对焊缝)；
- (4) 渗透剂、清洁剂和着色剂的类型牌号和名称；
- (5) 检测部位温度、渗透时间和显像时间；
- (6) 所用参考试块型号；
- (7) 验收标准和检测结果；
- (8) 在检测过程中可能影响检测结果的受限条件或因素(若有时)；
- (9) 检测人员姓名、资格及签名；
- (10)检测日期。

## 附录 7A 船舶及其机械用锻钢件的无损检测

### 7A.1 适用范围

7A.1.1 本附录适用于CCS《材料与焊接规范》所涉及的船体结构用锻钢件的无损检测。

7A.1.2 对本附录规定以外的锻钢件(如机械用),在除适用其中某些要求外,还应考虑这些构件的材料、种类、形状、使用条件等。

7A.1.3 本附录主要涉及船用锻钢件的检查要求,具体检测中所采用的无损检测技术,除本附录另有规定外,应符合本指南第7章的相关规定。

### 7A.2 一般规定

7A.2.1 锻钢件的无损检测通常应在最终交付时进行。

7A.2.2 如果锻钢件在生产过程中,曾经过中间无损检测,则生产商应根据验船师要求提供一份中间检测报告。

7A.2.3 如所装配钢锻件还处在半成品状态,生产商应考虑机械部件成品的质量水平,选择检测方法和检测位置要求。

7A.2.4 对于成批生产小型锻件,允许可按CCS《材料与焊接规范》第1篇5.1.5.2的规定进行抽样检查。

### 7A.3 检查准备与外观检查

7A.3.1 锻钢件应进行100%的外观目视检查。

7A.3.2 锻件检查前应进行清理,清除所有影响检查的氧化皮、油、锈、脂等杂质和污物。

7A.3.3 对于中心有孔的锻件应对孔的内表面进行检查,以便发现加工过程中未被发现的缺陷。必要时可采用辅助工具进行检查。

7A.3.4 表面检查可按本指南第5章第3节的相关要求实施。

7A.3.5 所有锻件应无裂纹或疑似裂纹的痕迹,也不应有搭接、褶皱或其他影响使用的缺陷的痕迹。

### 7A.4 表面无损检测

7A.4.1 钢锻件的表面无损检测通常采用磁粉检测或渗透检测方法进行。除奥氏体不锈钢或其他特殊要求情况时外,通常建议采用磁粉方法进行检测。

7A.4.2 下列钢锻件通常应进行磁粉和/或渗透检测:

- (1) 曲轴销直径不小于100mm的曲轴;
- (2) 直径不小于100mm的尾轴、中间轴、推力轴以及舵杆等;
- (3) 最小直径不小于75mm或具有等量横截面的连杆、活塞杆和十字头;
- (4) 最小直径不小于50mm,受到动应力的螺栓,如气缸盖螺栓、连接杆、曲轴销螺栓、主轴承螺栓、螺旋桨叶片坚固螺栓等。

7A.4.3 典型重要船用锻件应按图7A.4.3(1)至图7A.4.3(4)所示对相关区域按要求进行表面检测。图中相关区域的按表7A.4.3

7A.4.4 以焊接方法连接的大型锻件的焊缝除必要的内部质量检测外,还应当用MT或PT进行全长度焊缝检测。

7A.4.5 除另有规定者外,磁粉检测通常应在最终机加工和热处理完成后进行;或者在最终机加工未完成,剩余加工余量对交流磁场在0.3mm以内,对直流磁场在0.8mm以内时进行。

7A.4.6 除经同意外,锻件的表面无损检测应验船师在场下进行。对需要装配的组合部件,相关的检测应在部件装配前进行。

7A.4.7 表面无损检测可按本《指南》第5章第6节或第7节的要求进行。

7A.4.8 船体结构和机械结构的锻钢件的表面缺陷评定和验收应按如下要求进行:

(1) 为了评定缺陷显示的可接受性,应将表面分别划分为225 cm<sup>2</sup>评价区域,对显示最不利的区域进行评定。

(2) 锻件表面不应有裂纹,在225 cm<sup>2</sup>评定区域内存在的显示数量和尺寸应不超过表7A.4.8(2)的规定。

标准评定区域中允许出现显示的数量和尺寸

表7A.4.8

工件类别	检查区域	允许最多显示数量	显示的类型 <sup>①</sup>	每种显示的最多数量	显示的最大尺寸
曲轴	I	0	线型	0	-
			非线性型	0	-
			排列型	0	-
	II	3	线型	0	-
			非线性型	3	3.0
			排列型	0	-
III	3	线型	0	-	
		非线性型	3	5.0	
		排列型	0	-	
非曲轴	I	3	线型	0 <sup>②</sup>	-
			非线性型	3	3.0
			排列型	0 <sup>②</sup>	-
	II	10	线型	3 <sup>②</sup>	3.0
			非线性型	7	5.0
			排列型	3 <sup>②</sup>	3.0

注：①线性显示系指长度不小于宽度3倍的显示；非线性显示系指长度小于宽度3倍的圆形或椭圆形显示；排列型显示系指三个或以上的显示排成一线，且显示边缘之间的间距不大于2mm。

②承受交变载荷的螺栓(如主机承座螺栓、连杆螺栓、十字头承座螺栓等)不应有线型或排列型显示。

## 7A.5 内部无损检测

7A.5.1 钢锻件的内部无损检测通常采用直探头接触超声波检测方法进行。

7A.5.2 下列钢锻件通常应进行超声波检测：

- (1) 曲轴销直径不小于150mm的曲轴；
- (2) 直径不小于200mm的螺旋桨轴、中间轴、推力轴和舵杆等；
- (3) 直径不小于200mm或相当横截面积的连杆、活塞杆和十字头等。

7A.5.3 典型重要船用锻件应按图7A.5.3(1)至图7A.5.3(4)所示对相关区域进行内部缺陷检测。当现场验船师认为必要时，可要求扩大检测面积或改变检测区域的验收等级。

7A.5.4 锻件内部缺陷的超声波检测可按本《指南》第7章第5节的要求进行。

7A.5.5 锻件内部缺陷评定和验收的标准应符合表7A.5.5的要求。

锻件内部缺陷超声波检测验收标准

表7A.5.5

锻件类别	检查区域	根据距离-波幅曲线确定的允许盘状缺陷	允许显示的长度	两个显示之间允许间距 <sup>②</sup>
曲轴	I	$d \leq 0.5\text{mm}$	-	-
	II	$d \leq 2.0\text{mm}$	$\leq 10\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$
	III	$d \leq 4.0\text{mm}$	$\leq 15\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$
螺旋桨轴 中间轴	II	轴外部 <sup>①</sup> $d \leq 2.0\text{mm}$	$\leq 10\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$
		轴芯部 $d \leq 4.0\text{mm}$	$\leq 15\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$
推力轴 舵杆	III	轴外部 $d \leq 3.0\text{mm}$	$\leq 10\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$
		轴芯部 $d \leq 6.0\text{mm}$	$\leq 15\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$
连杆 活塞杆 十字头	II	$d \leq 2.0\text{mm}$	$\leq 10\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$
	III	$d \leq 4.0\text{mm}$	$\leq 10\text{mm}$	$\geq 20\text{mm}$

注：① 轴表面到距中心三分之一半径处的部分；余下部分为芯部。

② 若记录有累计两个及以上的独立显示，则相邻两显示之间的间距(不论是长度方向还是深度方向)均应不小于较大显示的长度，否则应确定为一个独立的显示。

## 7A.6 锻钢件表面缺陷的修整

7A.6.1 如果缺陷显示为不可接受，对表面缺陷允许按表7A.6.1的规定对锻件进行修整。内部缺陷超标应不予验收。

锻件表面缺陷的修理要求

表7A.6.1

工件类	区域类别	允许修理要求
曲轴锻件	I	无缺陷显示，也不允许进行补焊
	II	缺陷显示应予打磨消除，但打磨的深度不能大于1.5mm； 当在轴颈处发现缺陷显示，可以进行打磨，但打磨的深度不能大于3.0mm，且打磨的面积不能大于轴承表面面积的1%。 非张开型显示，被评估为偏析的显示除外，应予以修磨，而不必去除。
	III	缺陷显示应予打磨消除，但打磨的深度不能大于工件直径的5%或10mm，取者较小者；且总打磨面积就不超过锻件表面的2%。
其他锻件	I	缺陷显示应予打磨消除，但打磨的深度不能大于1.5mm；但在机加工完成后的轴肩处不允许打磨。
	II	缺陷显示应予打磨消除，但打磨的深度不能大于工件直径的2%或4mm，取者较小者。
	III	缺陷显示应予打磨消除，但打磨的深度不能大于工件直径的5%或10mm，取者较小者；且总打磨面积应不超过锻件表面的2%。

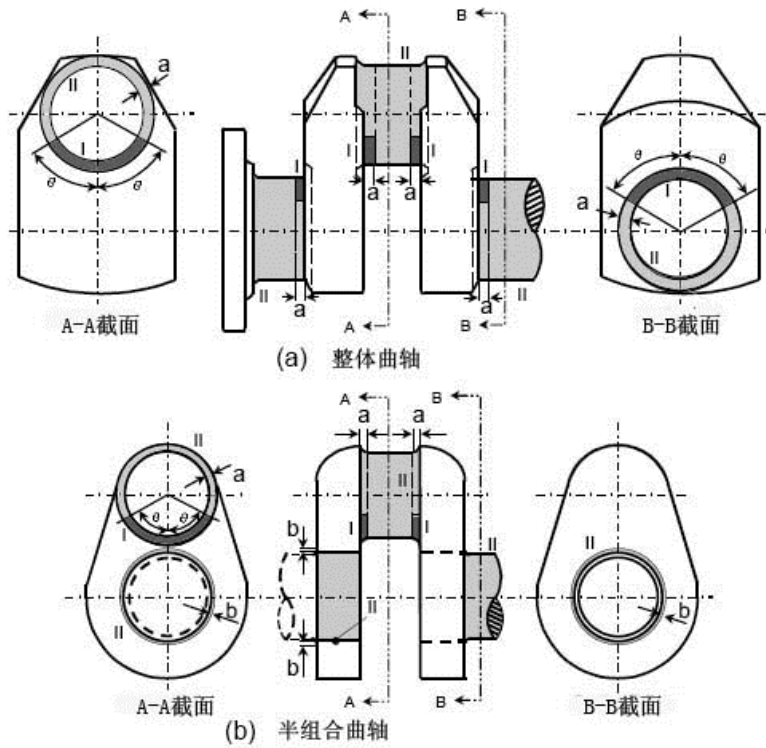
7A.6.2 打磨缺陷时，可采用直接打磨或铲凿加打磨的方法进行。应使打磨区域底部最小半径不小于深度的三倍，并且打磨区域与邻近区域的表面应平顺过渡。

7A.6.3 修磨是对非开口型显示的边缘用细砂轮进行磨平，修磨的深度应在距表面0.08mm~0.25mm的范围内，且与锻件表面平顺过渡。

7A.6.4 判定为偏析的显示可不必进行修整；

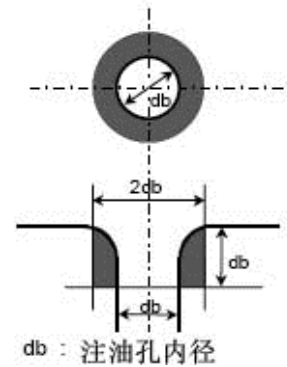
7A.6.5 缺陷显示去除后，如必要，可采用磁粉或渗透的方法加以核实。

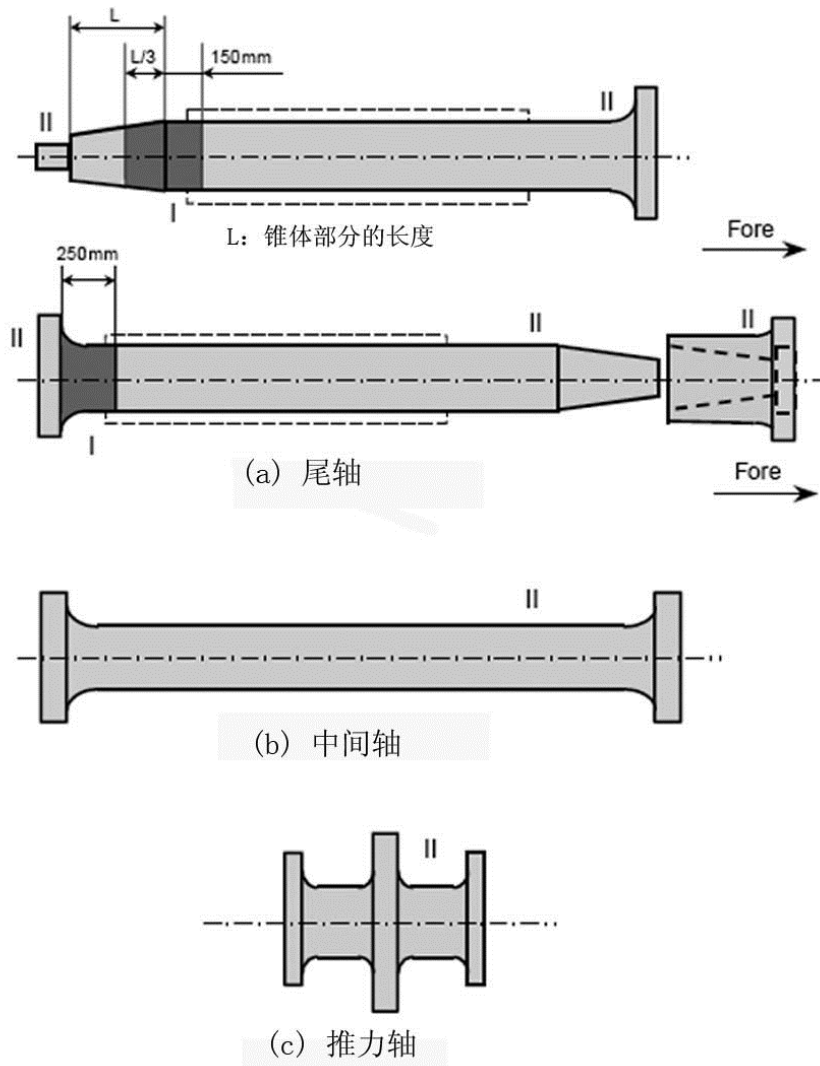
7A.6.6 曲轴打磨后不允许进行焊补，其他锻件在CCS验船师同意后允许焊补。



- 注：1、如曲轴销或主轴有注油孔，注油孔近表面区域应作为 I 类区域；  
 2、图中  $\theta = 60^\circ$ ， $a = 1.5r$ ，  
 $b = 0.05d$  (对收缩装配的情况)。  
 其中  $r$  为过渡圆半径； $d$  为轴颈直径。  
 3、图中较深填色区域为 I 类区域  
 较浅填色区域为 II 类区域。

图 7A.4.3(1) 曲轴锻件磁粉/渗透检测的区域





注：在尾轴、中间轴和推力轴中，所有具有应力集中作用的部位，如径向凿孔、缺口和键槽等部位均应作为 I 类区域

图 7A.4.3(2) 轴类锻件磁粉/渗透检测的区域

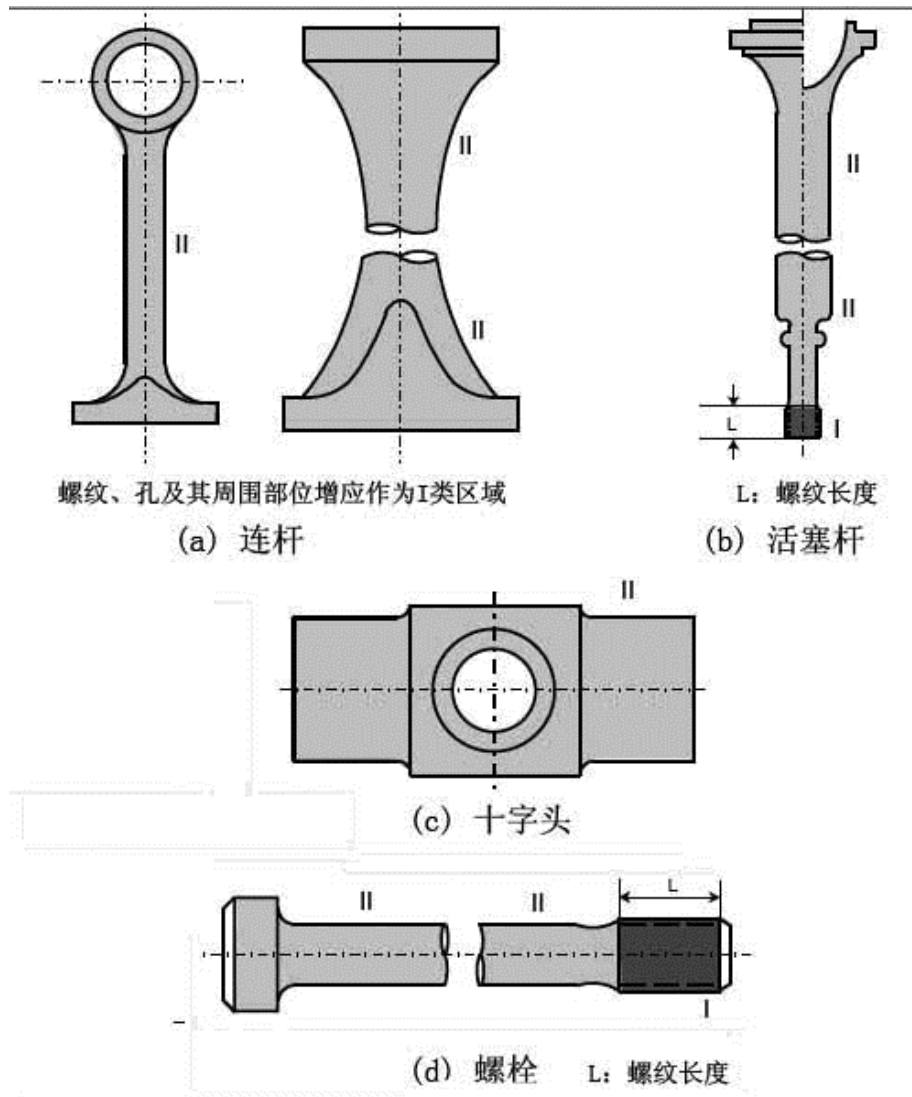


图 7A.4.3 (3) 机械零部件锻件磁粉/渗透检测的区域

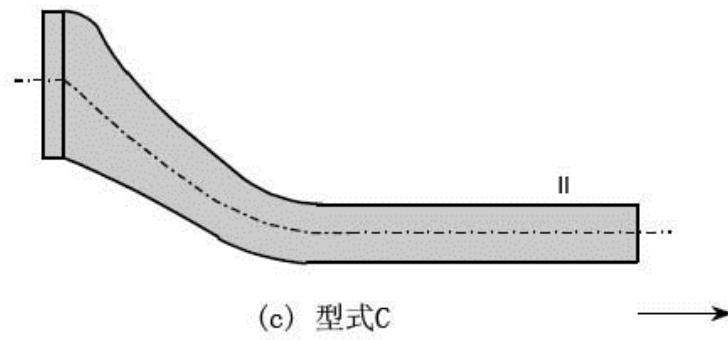
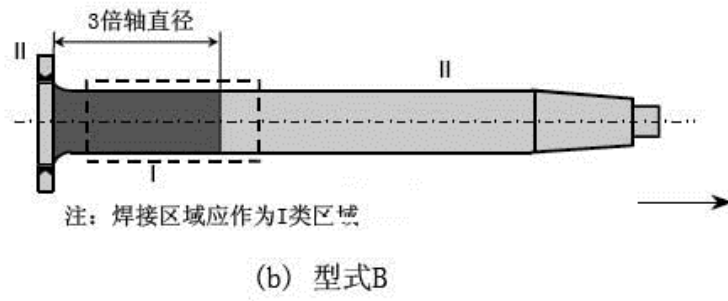
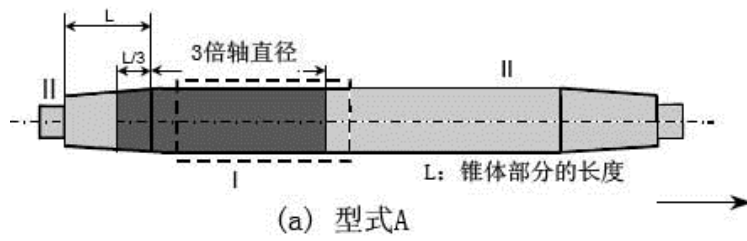
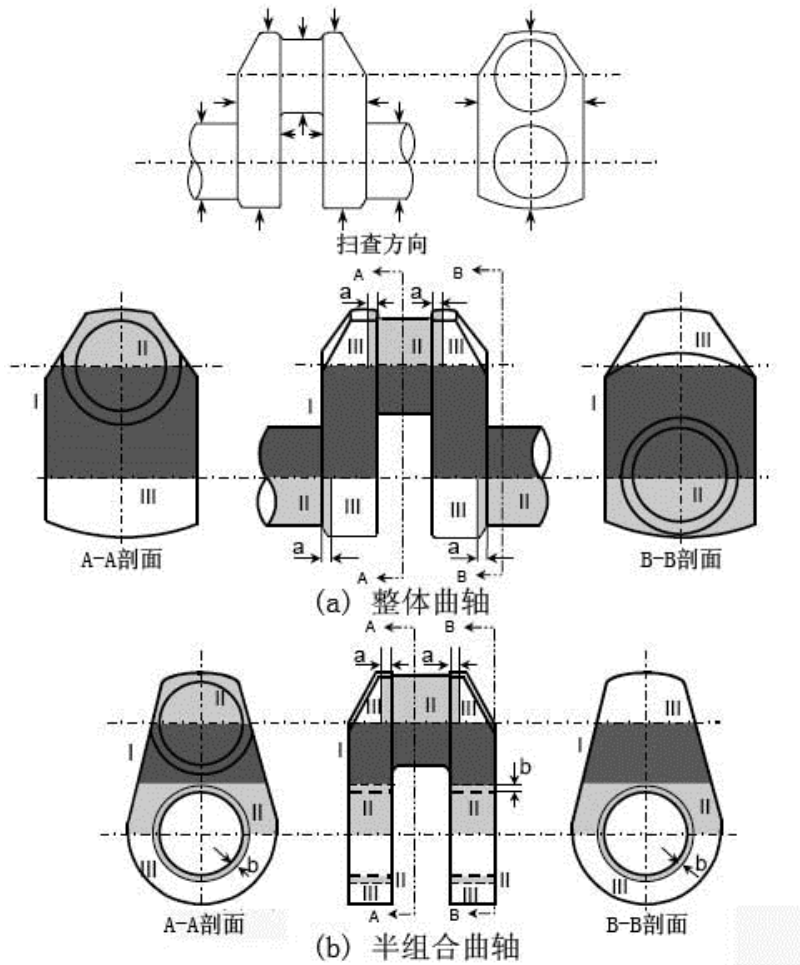


图 7A.4.3 (4) 舵杆类锻件磁粉/渗透检测的区域



注：1、图中  $a=0.1d$  或  $25\text{mm}$ ，取较大者；

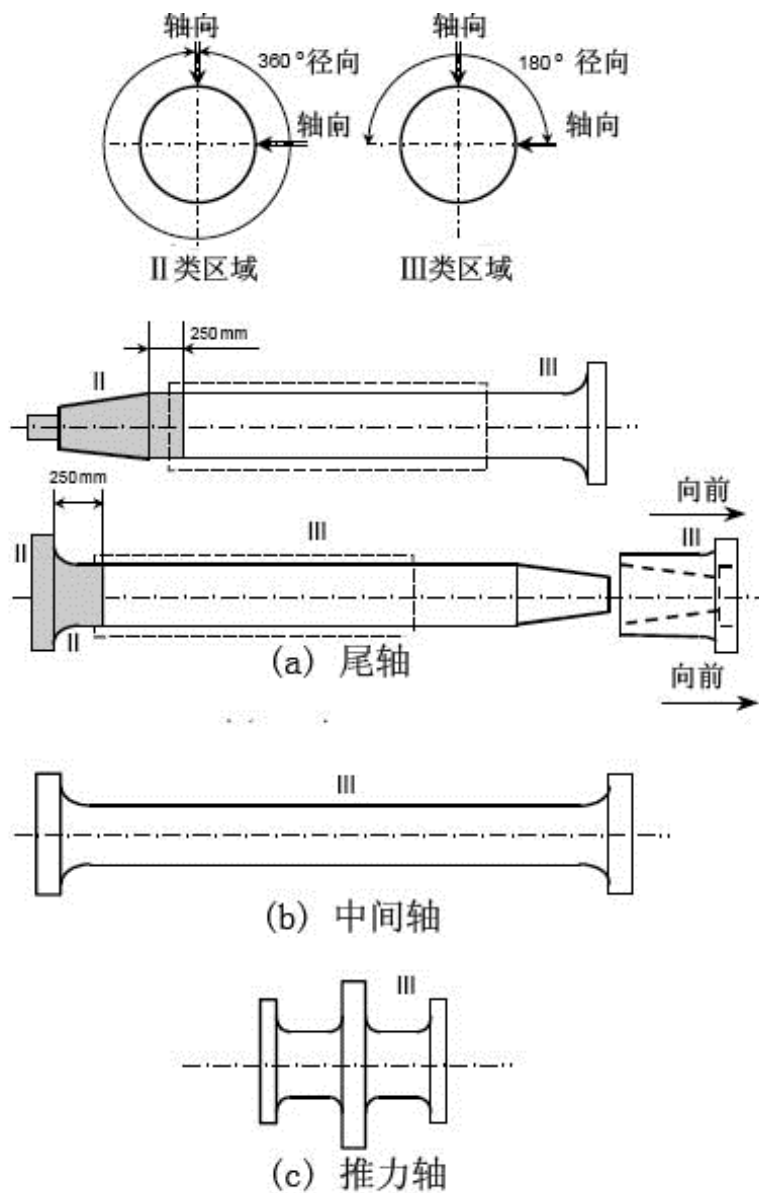
$b=0.05d$  或  $25$ ，取较大者(收缩装配的情况)

其中  $d$  为轴销或轴颈的直径

2、曲轴销和/或轴颈芯部半径  $0.25d$  区域通常可作为 II 类区域。

3、图中最深色区域为 I 类区域、较浅色区域为 II 类区域、无色区域为 III 类区域。

图 7A.5.3 (1) 曲轴锻件的超声波检测区域



注：1、对中空轴，应对III类区域进行360°径向扫查；  
2、法兰上的螺栓孔应作为II类区域。

图 7A.5.3(2) 轴类锻件的超声波检测区域

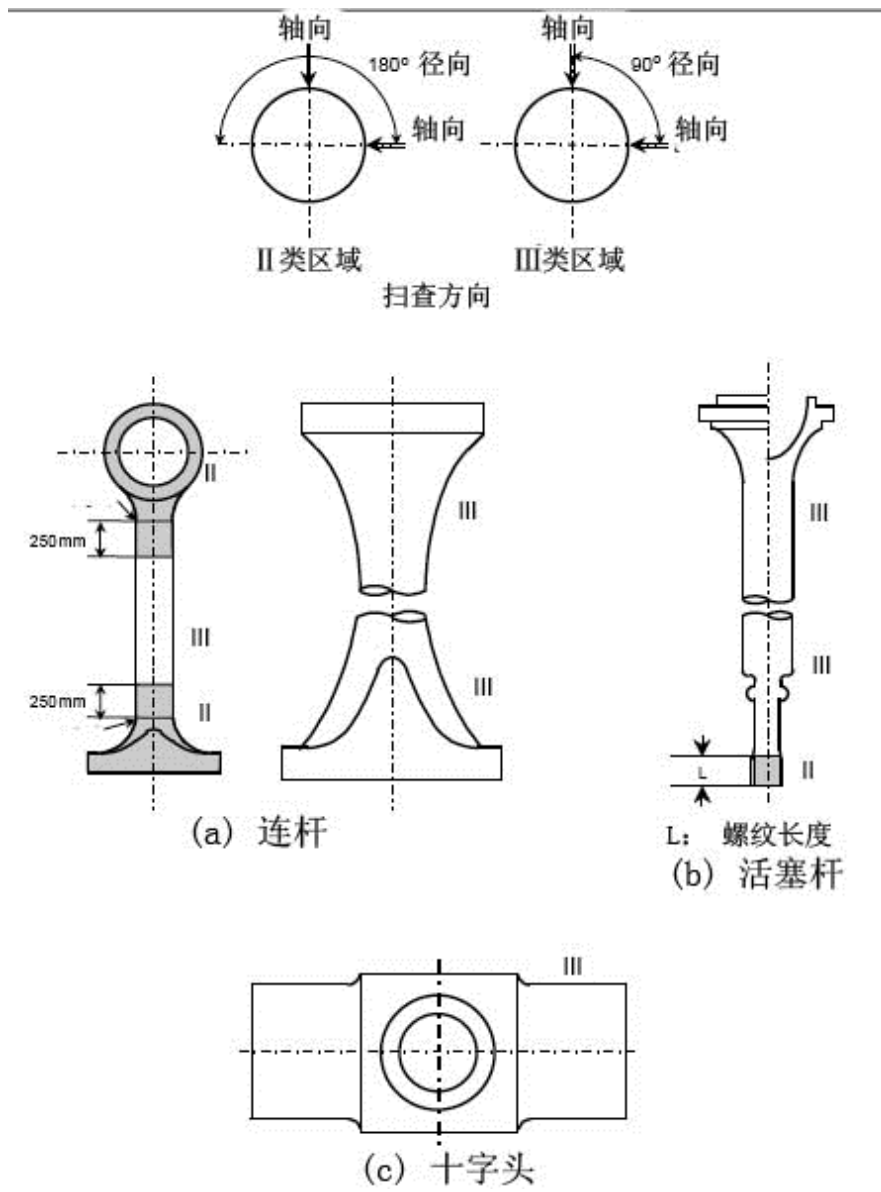
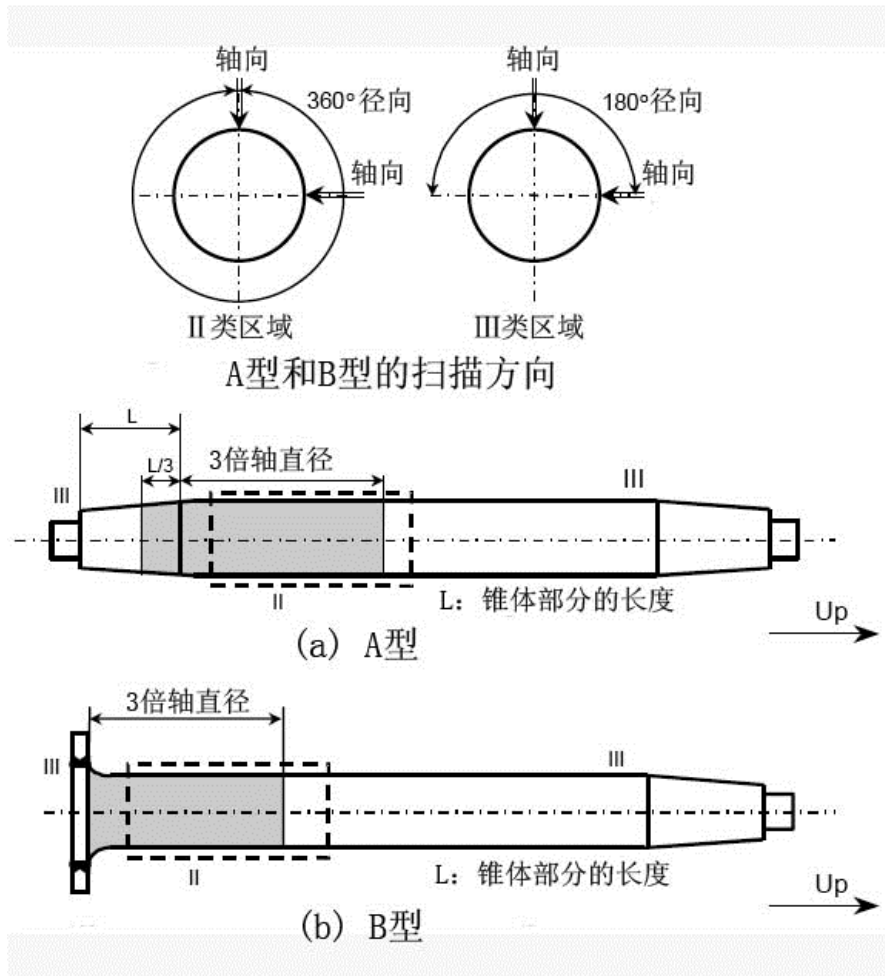


图 7A.5.3(3) 机械零部件锻件的超声波检测区域



注：焊接部位应特殊考虑

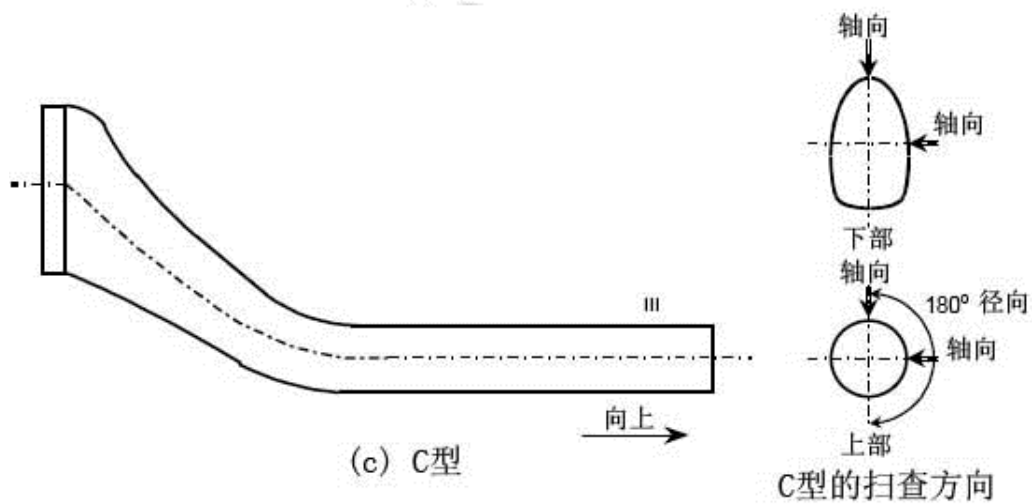


图 7A.5.3(4)舵杆类锻件的超声波检测区域

## 附录 7B 船舶及其机械用铸钢件的无损检测

### 7B.1 适用范围

7B.1.1 本附录适用于CCS《材料与焊接规范》所涉及的船体结构用铸钢件的无损检测。

7B.1.2 对本附录规定以外的钢铸件，在适用其中某些要求外，还应考虑这些构件的材料、种类、形状、使用条件等。

7B.1.3 本附录主要涉及船用铸钢件的检查要求，具体检测中所采用的无损检测技术，除本附录另有规定外，应符合本章的相关规定。

### 7B.2 一般规定

7B.2.1 铸钢件的无损检测通常应在最终交付时进行。如果铸钢件在生产过程中，曾经过中间无损检测，则生产商应根据验船师要求提供一份中间检测报告。

7B.2.2 对于成批生产小型铸件，可按CCS《材料与焊接规范》第1篇第6章第1节的相关规定进行抽样检查。

7B.2.3 当在某处发现缺陷显示，为对不规则的缺陷显示更详细的评估，验船师可以要求进行扩大检查范围或增加无损检测方法。

7B.2.4 铸件的外观和表面无损检测通常应在验船师在场的情况下进行。

### 7B.3 检查准备与外观检查

7B.3.1 铸钢件应进行100%的外观目视检查。

7B.3.2 铸件检查前应进行清理，清除所有影响检查的粘砂、氧化皮、油、锈、脂等杂质和污物。

7B.3.3 外观目视检查可按本指南第5章第3节的相关要求进行。

7B.3.4 所有铸件应无裂纹或疑似裂纹的痕迹，也不应有热撕裂、冷隔或其他影响使用的缺陷的痕迹。浇冒口的残留段应在铸件尺寸允许范围内。

### 7B.4 表面无损检测

7B.4.1 钢铸件的表面无损检测通常可采用磁粉检测或渗透检测方法进行。除奥氏体不锈钢或其他特殊要求情况时外，通常建议采用磁粉方法进行检测。

7B.4.2 典型重要船用铸件应按图7B.4.2(1)至图7B.4.2(6)所示对相关区域按要求进行表面无损检测。本条未列出的其他铸件可根据协商而定。

7B.4.3 除7B.4.2规定的检测区域外，通常还应对下列进行表面无损检测：

- (1) 在所有可接触到的拐角处和截面改变处；
- (2) 在组装焊接坡口处的宽度30mm的范围内；
- (3) 在型芯撑处；
- (4) 焊补处；
- (5) 火焰切割、清理或电弧气刨去除多余金属的部位。

7B.4.4 需进行机加工的铸件，机加工表面的无损检测通常应在机加工完成后进行。对磁粉检测则可以在如下剩余加工余量的条件下进行检测：

对交流磁场	0.3 mm
对直流磁场	0.8 mm

7B.4.5 表面无损检测可按本指南第5章第6节或第7节的要求进行。

7B.4.6 船用铸件的表面缺陷评定和验收应按如下要求进行：

- (1) 铸件表面检测通常按  $225\text{cm}^2$  评价区域进行划分，对显示最不利的区域进行评定；
- (2) 对于焊接连接的铸件，其焊缝部分的表面检测以 150mm 长度为单位，对最不利的长度进行评定；
- (3) 铸件表面应无裂纹和热撕裂出现，在评定区域或长度内的显示的数量和尺寸应不超过表 7B.4.6 的规定。

铸件表面检测的验收标准

表 7B.4.6

区域	最大显示数量	显示类型	每类最大数量	单个显示的最大尺寸 2
组装焊缝和 焊接修补处	4	线型	4	3
		非线型	4	5
		排列型	4	3
除焊缝以外的 其他铸件部位	20	线型	6	5
		非线型	10	7
		排列型	6	5

注：线性显示系指长度不小于宽度3倍的显示；非线型显示系指长度小于宽度3倍的圆形或椭圆形显示；排列型显示系指三个或以上的显示排成一线，且显示边缘之间的间距不大于2mm。

## 7B.5 铸件内部缺陷检测

7B.5.1 船体结构铸钢件内部缺陷的无损检测通常采用直探头或斜探头接触法进行超声波检测。若在事先经 CCS 同意后，也可采射线方法进行检测。

7B.5.2 除合同/图纸另有规定者外，典型重要船用铸钢件的内部检测部位应按图 7B.4.2(1)~7B.4.2(6)如示的如下部位进行超声波检测：

- (1) 所有接触到的拐角处和截面明显变化处；
- (2) 在组装焊接坡口处的宽度两侧 50mm 范围区域内；
- (3) 焊补过的原由超声波检测出的缺陷焊补处所；
- (4) 浇、冒口部位；
- (5) 后继将进行机加工的部位，如螺栓孔部位。
- (6) 对某些铸件，如挂舵臂，在采取了上述检查后仍可能有大量表面区域未经检测，则应仅从一侧表面，沿着间隔约为 225mm 的连续垂直网线，对未经检测的区域进行超声波扫查。

7B.5.3 铸钢件超声波扫查应采用 1MHz ~4MHz(通常采用 2MHz)的直探头。扫查尽可能从铸件两面和互成垂直的表面进行。

7B.5.4 在平行截面上获得的底面反射波被用于测定探头耦合和材料的声速衰减情况。在无缺陷干扰情况下底面反射波幅的降低就予以修正。衰减超过 30dB/m 可能表示退火热处理不合格或有组织疏松等缺陷，应在报告中予以注明。

7B.5.5 铸钢件的扫查通常应符合如下要求：

- (1) 机加工表面，特别是邻近冒口处和尾柱的轴毂处应以双晶直探头作 25mm 深度范围的近表面扫查；
- (2) 在一些特别重要的机加工表面(如底脚螺栓孔，邻近可能产生收缩的区域)也需要进行扫查；
- (3) 此外为了检测径向平面缺欠，如热裂缝等，建议对铸件的机加工孔采用折射角为 70° 左右的斜探头进行交差扫查；
- (4) 有圆角的区域应采用能够得到最大反射波的适当角度的斜探头进行扫查。

7B.5.6 铸钢件检测通常采用与工件材质相似材料制成的参考试块，以不同深度下的直径为 6mm 的平底孔为基准制作距离-增益-尺寸(DGS)曲线，并以此与底面反射波的声压差确定检测灵敏度。

7B.5.7 在灵敏度按参考试块与铸件之间表面条件和衰减率之间的差进行必要的校正后，在扫查过程中出现反射波高超过 DGS 曲线规定值后，应作出标记，并采用斜探头对该区域进行增加的扫查，以确定该缺陷的范围与位置。

## 7B.6 超声波检测的缺陷评定

7B.6.1 铸钢件的超声波检测内部缺陷的验收标准按部位的重要性分为如下两级：

UT1 级适用于：铸件组焊焊缝 50mm 范围内；

最终机加工表面(含螺栓孔)以下深 50mm 范围内；

拐角半径及以上深度及周边 50mm 范围内；  
 受循环弯曲应力的铸件，如挂舵臂、舵铸件、和舵杆等的图示内部缺陷检查区域的外侧 1/3 厚度范围内；  
 解释为裂纹或热撕裂的检测区域中的缺欠。

UT2 级适用于：图 7B.6.(1)~(5)中其他超声波检测部位或检测计划中要求的部位；  
 去除浇、冒口后，该处除 UT1 以外的部位；  
 受循环弯曲应力的铸件，在受检部位芯部 1/3 厚度范围内；  
 被认为是裂纹或热撕裂的缺欠部位。

7B.6.2 不同部位超声波检测的验收标准应符合表 7B.6.2 的规定。

铸钢件超声波检测验收标准

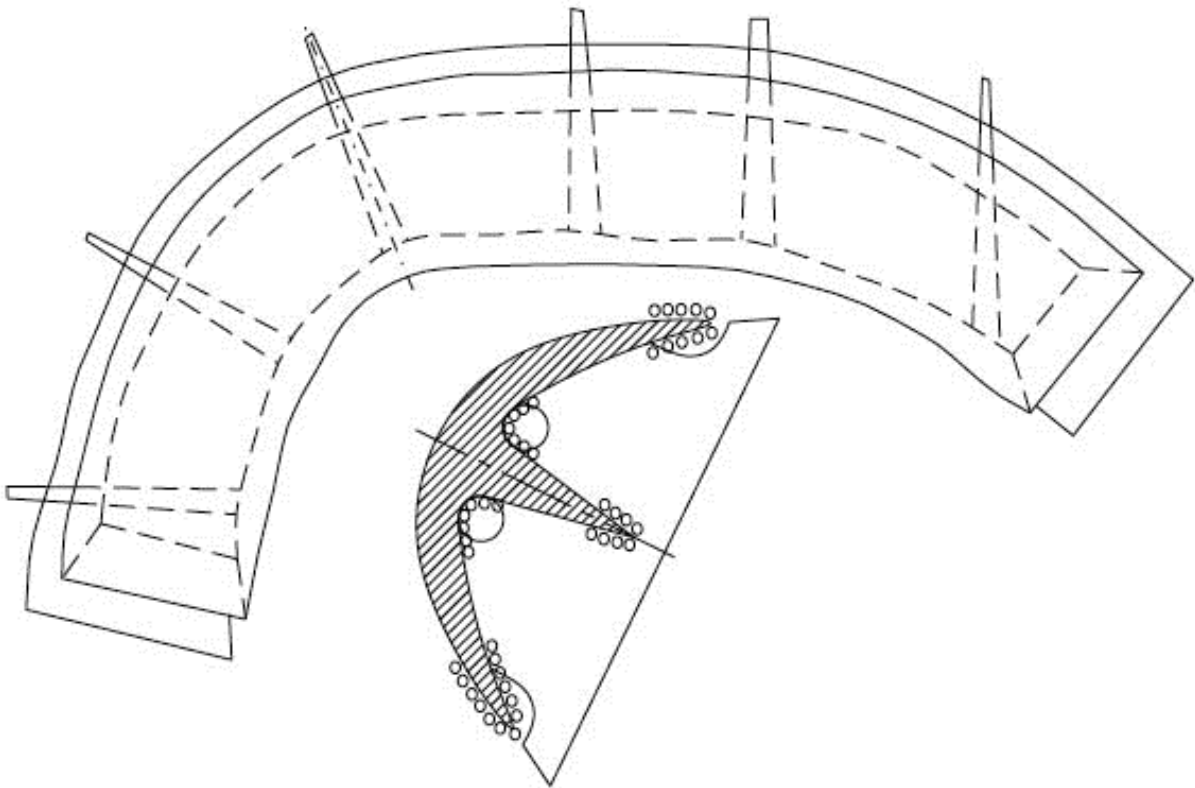
表 7B.6.2

检测区域	根据DGS曲线确定的允许盘状缺陷	在评定范围内最大显示数量 <sup>①</sup>	线型两个显示之间允许间距 <sup>②</sup>
UT1	>6	0	0
UT2	12~15	5	50
	>15	0	0

注：① 以300mm×300mm为评定单位面积

② 在扫查表面进行测量

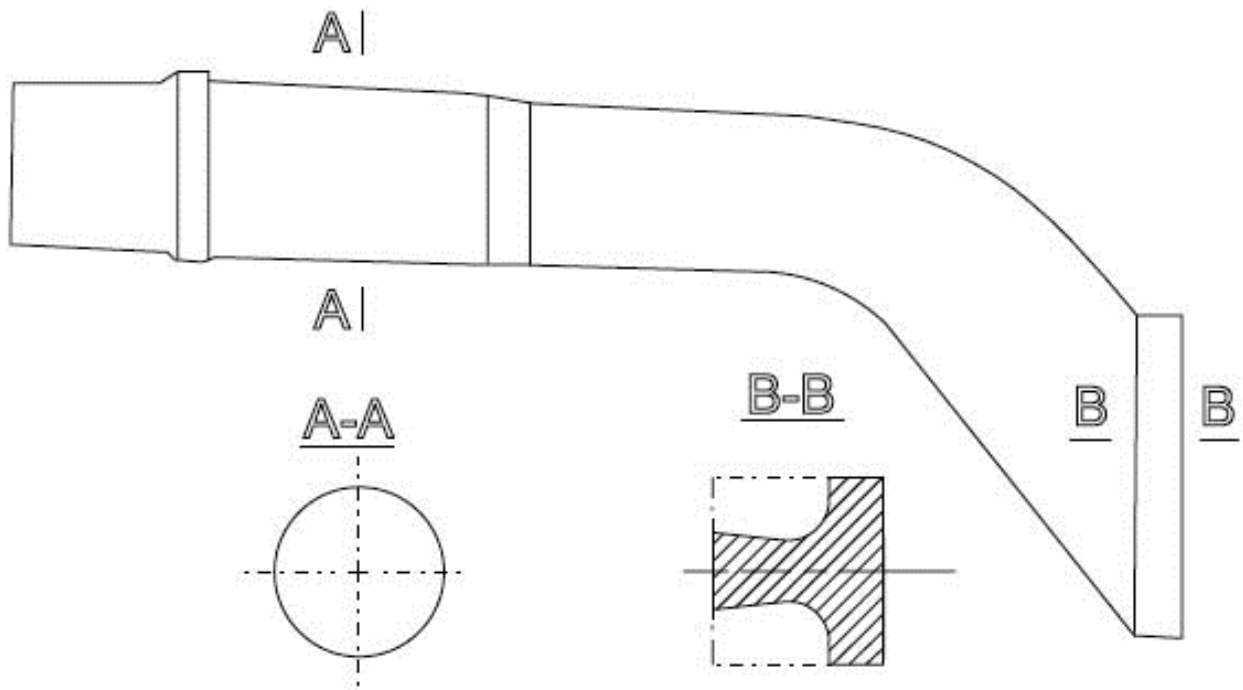
7B.6.3 本附录附图中未指定的钢铸件其他部位的超声波验收标准应根据预期应力水平和缺欠的型式、尺寸和位置进行特别考虑。



注：1、所有表面进行外观检查

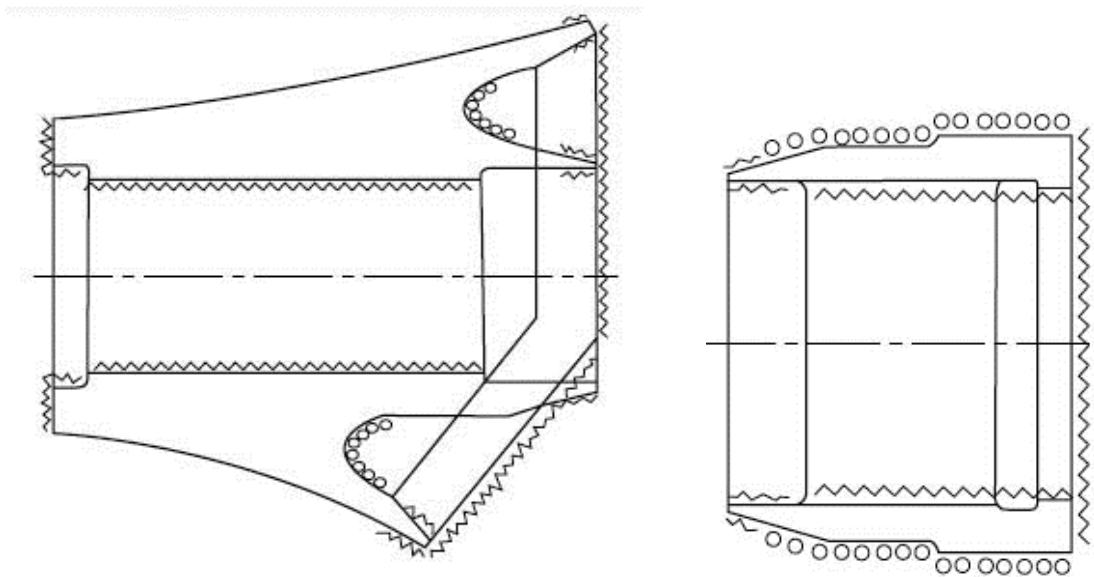
2、标有“○”的部位进行磁粉检测和超声波检测

图 7B.4.2(1)舵柱的检测区域



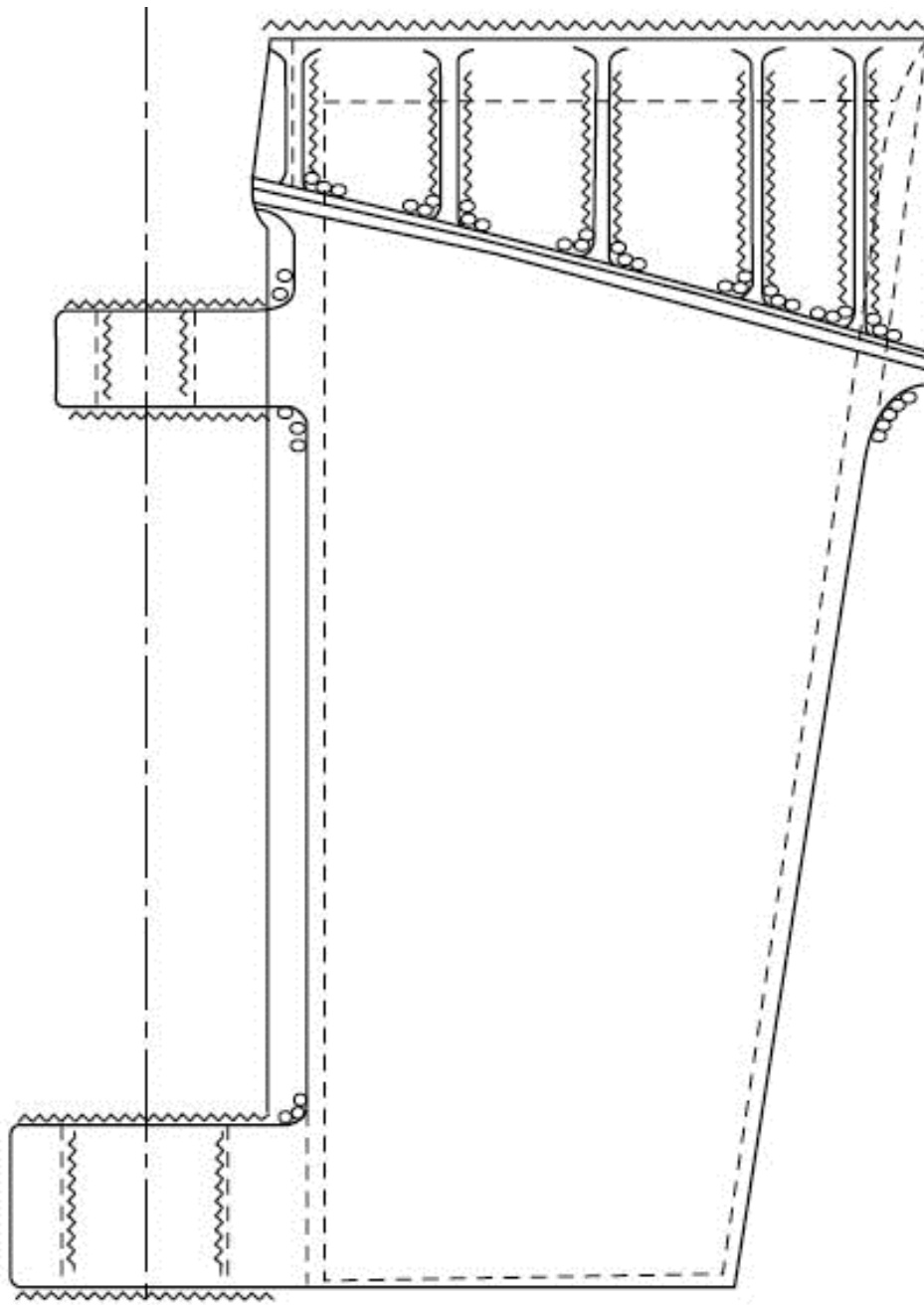
所有支承表面进行外观检查、磁粉加超声波检测

图 7B.4.2(2) 舵杆的检测区域



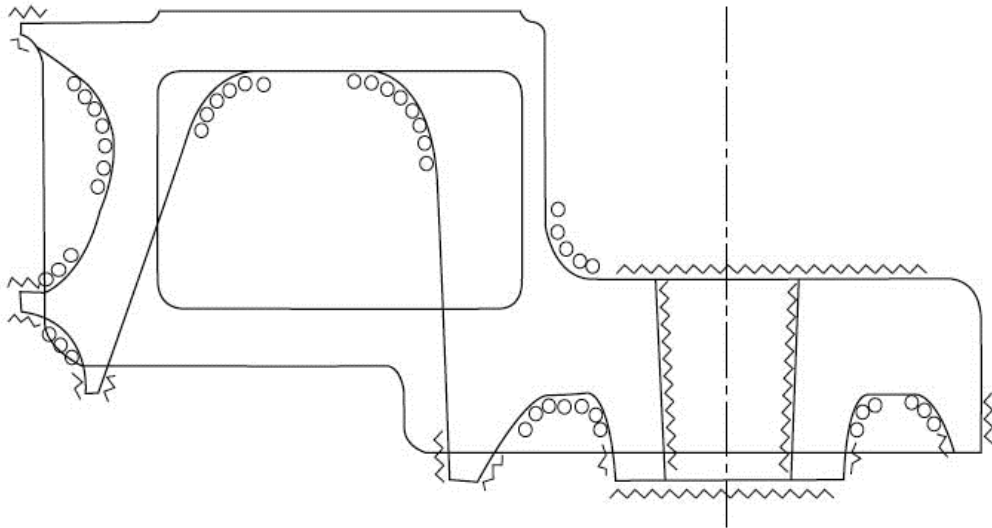
- 注：1、所有表面进行外观检查  
 2、标有“○”的部位进行磁粉检测加超声波检测  
 3、标有“^^”的部位进行超声波检测

图 7B.4.2(3) 尾轴承的检测区域



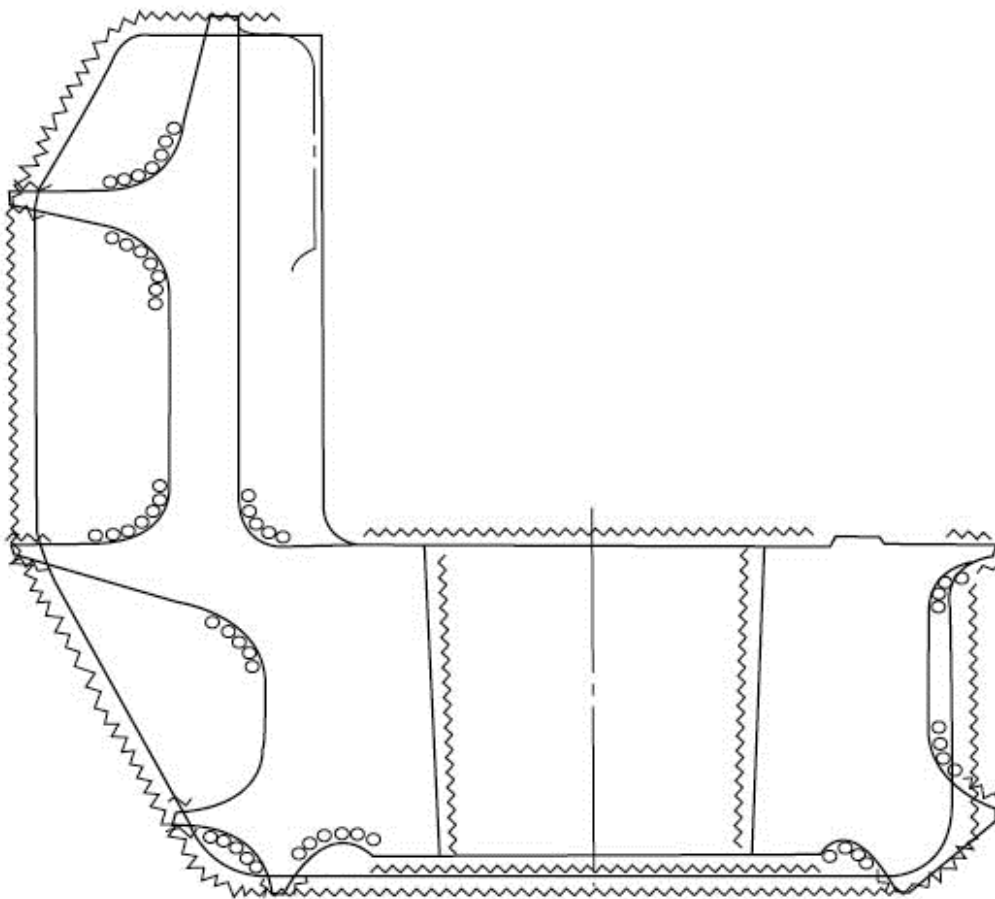
- 注：1、所有表面进行外观检查  
 2、标有“OO”的部位进行磁粉检测加超声波检测  
 3、标有“^^”的部位进行超声波检测  
 4、检测区域是后续将进行焊接连接部位宽约 50mm 的区域。以及装配后两构件有相对运动的表面区域。

图 7B.4.2(4) 舵承的检测区域



- 注：1、所有表面进行外观检查  
 2、标有“○”的部位进行磁粉检测加超声波检测  
 3、标有“^^”的部位进行超声波检测

图 7B.4.2(5) 舵承(上部)的检测区域



- 注：1、所有表面进行外观检查  
 2、标有“○”的部位进行磁粉检测加超声波检测  
 3、标有“^^”的部位进行超声波检测

图 7B.4.2(6) 舵承(下部)的检测区域





# 超声波检测报告

## Ultrasonic Test Report

委托单位 Client		工程名称/编号 Project Name/No.					
构件名称 Component Name		检测部位 Test Location					
钢材等级/材质 steel grade /Material		产品类型 Type of Production		<input type="checkbox"/> 铸件 <input type="checkbox"/> 锻件 <input type="checkbox"/> 焊接件 <input type="checkbox"/> 母材 Castings forging welding base metal			
焊接方法/接头形式 Welding Method/joints		母材厚度/规格 Thickness /Specification					
检测时机 Test Occasion		表面状况 Surface Status		检测部位温度 Test Location Temp.      °C			
仪器型号和编号 Unit type / Reg. No.		耦合剂 Coupling		检测灵敏度 Sensitivity			
检测技术等级 Level of test technique		标准/对比试块 Sta. /Cal. Block		传输修正 Transfer Correction      dB			
检测标准 Test standard		验收标准和级别 Acceptance levels		检测比例/数量 Spot-test Rate/ Total quantity      /			
探头 Probes	探头规格 Probetype	探头编号 Reg. No.	频率 Frequency	晶片尺寸 Crystal Size	实测折射角度 Actual angle of refraction	基准灵敏度 sensitivity levels calibrated	
			MHz				
			MHz				
			MHz				
其他报告事项 Other items							
超声检测布置图 Sketch: (图示说明: 1-探头 Probes, 2-构件 Component) <input type="checkbox"/> 平对接 Butt joint <input type="checkbox"/> T型角接 T joint <input type="checkbox"/> C型角接 C joint <input type="checkbox"/> 其它 others							
检测结论: Statement of test results							
审核人员(级别) Auditing(level)		( )		检验人员(级别) Inspector(level)		( )	
				检测日期 Test date			

注: 1、其他报告事项, 指检测限制条件、观察条件、返修次数等事项(如有时),

2、检测位置示意图另附

Note: 1. Other items refer to any test limitations, viewing conditions, and repair etc. (if any)

2. The sketch of test positions is attached.



# 磁粉检测报告

## Magnetic Particle Test Report

报告编号 Report No.:

委托单位 Client			工程名称/编号 Project Name/No.		
构件名称 Component Name			检测部位 Test Location		
钢材等级/材质 steel grade /Material			产品类型 Type of Production	<input type="checkbox"/> 铸件 Castings <input type="checkbox"/> 锻件 forging <input type="checkbox"/> 焊接件 welding <input type="checkbox"/> 母材 base metal	
焊接方法/接头形式 Welding Method/joints			母材厚度/规格 Thickness /Specification		
检测时机 Test Occasion			表面状况 Surface Status	检测部位温度 Test Location Temp.	
仪器型号和编号 Unit type / Reg. No.			磁悬液类型 Type of Magnetic Particle	磁悬液浓度 Magnetic density	
检测方法 Test technique	<input type="checkbox"/> 连续 Continuous <input type="checkbox"/> 剩磁 Residual		<input type="checkbox"/> 荧光 Fluorescent <input type="checkbox"/> 非荧光 Un-fluorescent		<input type="checkbox"/> 干法 Dry <input type="checkbox"/> 湿法 Wet
反差增强剂 White Contrast			磁化电流/提升力 Current / Power	灵敏度试片 Sensitivity Indicator	
磁化时间 magnetization time			退磁 Demagnetization	观察条件 Vision Condition	
检测标准 Test standard			验收标准和级别 Acceptance levels	检测比例/数量 Spot-test Rate/ Total quantity	
其他报告事项 Other items					
磁粉检测布置图 Sketch: <input type="checkbox"/> 磁轭法 Yoke <input type="checkbox"/> 线圈法 coil <input type="checkbox"/> 中心导体法 central conductor <input type="checkbox"/> 轴向通电法 axial current flow <input type="checkbox"/> 其它 other					
检测结论: Statement of test results					
审核人员(级别) Auditing(level)	( )		检验人员(级别) Inspector(level)	( )	
				检测日期 Test date	

注: 1、其他报告事项,指检测限制条件、观察条件、温度、返修次数等事项(如有时)  
2、检测位置示意图另附

Note: 1. Other items refer to any test limitations, viewing conditions and temperature (if any)  
2. The sketch of test positions is attached.



# 渗透检测报告

## Penetration Test Report

报告编号 Report No.:

委托单位 Client			工程名称/编号 Project Name/No.		
构件名称 Component Name			检测部位 Test Location		
钢材等级/材质 steel grade /Material			产品类型	<input type="checkbox"/> 铸件 <input type="checkbox"/> 锻件 <input type="checkbox"/> 焊接件 <input type="checkbox"/> 母材 Castings forging welding base metal	
焊接方法/接头形式 Welding Method/joints			母材厚度/规格 Thickness /Specification		
检测时机 Test time after Welding		表面状况 Surface Status		检测部位温度 Test Location Temp.	
检测方法 Test Technique	<input type="checkbox"/> 着色 colour-contrast <input type="checkbox"/> 荧光 fluorescent <input type="checkbox"/> 水洗型 Water washable <input type="checkbox"/> 溶剂去除型 Solvent removable <input type="checkbox"/> 后乳化 Post emulsifiable				
清洗剂 Cleaning Agent		渗透剂 Penetrant		显像剂 Developer	
对比试块 Calibration Block		灵敏度 sensitivity		渗透时间 penetrate time	min
乳化时间 Emulsification time	min	显像时间 Developer Time	min	观察条件 viewing Condition	lx
检测标准 Test standard		验收标准和级别 Acceptance levels		检测比例/数量 Spot-test Rate/ Total quantity	
其他报告事项 Other items					
检测位置示意图(可另附) The sketch of test positions (may be attached)					
检测结论: Statement of test results					
审核人员(级别) Auditing(level)	( )	检验人员(级别) Inspector(level)	( )	检测日期 Test date	

注：1、其他报告事项，指检测限制条件、返修次数等事项（如有时）。

Note: 1. Other items refer to any test limitations and repair etc. (if any)

