



中国船级社

材料与焊接规范

2021 年修改通报

(初稿)

中国船级社上海规范研究所

2021 年 8 月

简要编写说明

第 1 篇 金属材料

| 章节号 | 标题/主题 | 概要说明/注释 |
|--------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 第 2 章第 9 节 第 3 章第 8 节 | 双相不锈钢 S32101 加入 | 加入节镍型双相不锈钢相关试验要求 节镍双相不锈钢相关定义 |
| 第 3 章第 1 节 | 轧制钢材生产工艺 | 调整二次控轧的图示，满足正常生产流程 |
| 第 3 章第 2 节 | 比例试样 | 明确非比例试样最小伸长率要求 |
| 第 3 章第 3 节 | 265 级别新材料加入 | 265 级别钢材等级要求、化学成分要求、碳当量要求 以及力学性能要求 |
| 第 3 章第 7 节 | 低温韧性钢 | 指向《散化运输气体船舶构造与设备规范》更新 |
| 第 3 章第 8 节 | 不锈钢高温环境使用 要求 | 重新要求奥氏体、双相不锈钢在高温下使用要求 |
| 第 4 章第 1 节 | 钢管液压实验 | 新增双相不锈钢要求 |
| 第 5 章第 1 节 | 轧制圆钢 | 新增轧制圆钢需 CCS 认可的工厂制造 |
| 第 5 章第 5 节 | 齿轮锻钢件 | 新增当成品齿轮重量超过 6 吨时需要取双样 |
| 第 5 章第 6 节 | 内插法 | 修订屈服强度为 ReH 或 Rp0.2 |
| 第 5 章第 7 节 | 硬度 | 修订硬度值从 80 至 180 |
| 第 5 章第 9 节 | 不锈钢锻钢件 | 新增低温下奥氏体不锈钢锻钢件的横向试样冲击要 求 |
| 第 8 章第 2 节 | 铝合金型材 | 新增小于 3mm 的铝合金型材的验收要求 |
| 第 10 章第 2 节 | 锚链指向性修改 | 修订章节中指向性错误 |

第 2 篇 非金属材料

| | | |
|------------|--------|-----------------------------------|
| 第 2 章第 2 节 | 原材料 | 明确环氧树脂试样制备方法标准 修订基座垫片环氧浇注料认可规定 |
| 第 3 章第 3 节 | 铺敷成型工艺 | 修订单层板及夹层板厚度变化的过渡要求 |

第 3 篇 焊接

| | | |
|--------------------------|-------------|--|
| 第 2 章第 1 节 第 3 章第 2 节 | 265 级别新材料加入 | 265 级别材料加入焊接材料认可试验用钢 265 级别材料加入冲击要求 |
|--------------------------|-------------|--|

| | | |
|---|--------------|--|
| 第 5 章第 1 节 | | 265 级别钢表面加热要求及焊材选用 |
| 第 2 章第 2 节 | 冲击功 | 编辑性修改 |
| 第 2 章第 3 节 第 4 章第 2 节 第 6 章第 3 节 第 11 章第 2 节 | 焊接术语 | 明确并统一焊脚尺寸 |
| 第 2 章第 8 节 第 3 章第 2 节 | 节镍型双相不锈钢 | 加入节镍型双相不锈钢相关试验要求 |
| 第 2 章第 9 节 | 铝合金焊接材料 | 修订并明确铝合金焊材 |
| 第 5 章第 2 节 第 11 章第 3 节 | 焊接术语 | 统一焊接热输入 |
| 第 5 章第 3 节 | 焊缝检验 | 修订对板厚大于 30mm 的无损探伤比例 |
| 第 7 章第 2 节 | 冲击试样 | 修订冲击试样取样规定 |
| 附录 2 | 材料和焊缝的先进无损检测 | URW34 纳入，详细说明新建造船舶的材料与焊缝的 PAUT/TOFD/RT-D 等先进无损检测 |

初稿

目录

| | |
|-------------------------|----|
| 第1篇 金属材料..... | 1 |
| 第2章 材料的性能试验..... | 1 |
| 第9节 双相不锈钢点蚀试验..... | 1 |
| 第3章 钢板、扁钢与型钢..... | 1 |
| 第1节 一般规定..... | 1 |
| 第2节 一般强度船体结构用钢..... | 2 |
| 第3节 高强度船体结构用钢..... | 2 |
| 第7节 低温韧性钢..... | 5 |
| 第8节 奥氏体不锈钢和双相不锈钢..... | 7 |
| 第9节 复合钢板..... | 8 |
| 第4章 钢管..... | 8 |
| 第1节 一般规定..... | 8 |
| 第5章 锻钢件..... | 8 |
| 第1节 一般规定..... | 8 |
| 第5节 齿轮锻钢件..... | 8 |
| 第6节 涡轮机锻钢件..... | 9 |
| 第7节 锅炉、压力容器与管系用锻钢件..... | 9 |
| 第9节 奥氏体与双相不锈钢锻钢件..... | 10 |
| 第8章 铝合金..... | 10 |
| 第2节 铝合金板材与型材..... | 10 |
| 第10章 设备..... | 11 |
| 第1节 锚..... | 11 |
| 第2节 船用锚链及其附件..... | 12 |
| 第2篇 非金属材料..... | 13 |
| 第2章 塑料材料..... | 13 |
| 第2节 原材料..... | 13 |
| 第3章 纤维增强塑料船体材料..... | 14 |
| 第3节 铺敷成型工艺..... | 14 |
| 第3篇 焊接..... | 16 |
| 第2章 焊接材料..... | 16 |
| 第1节 一般规定..... | 16 |
| 第2节 焊接材料的力学性能..... | 16 |
| 第3节 电弧焊焊条..... | 17 |
| 第8节 不锈钢焊接材料..... | 18 |
| 第9节 铝合金焊接材料..... | 18 |
| 第3章 焊接工艺认可..... | 18 |
| 第2节 对接焊工艺认可试验..... | 18 |
| 第4章 焊工资格考试..... | 19 |
| 第2节 焊工考试与评定..... | 19 |
| 第5章 船体结构的焊接..... | 20 |
| 第1节 一般规定..... | 20 |
| 第2节 船体构件的焊接..... | 21 |
| 第3节 焊缝检验与修补..... | 21 |

| | |
|-----------------------|----|
| 第6章 海上设施结构的焊接..... | 23 |
| 第3节 焊接检验..... | 23 |
| 第7章 受压壳体的焊接..... | 23 |
| 第2节 受压壳体的产品焊接试验..... | 23 |
| 第11章 有色金属的焊接和铆接..... | 24 |
| 第2节 铝合金的焊接..... | 24 |
| 第3节 钛及钛合金的焊接..... | 24 |
| 附录2 材料和焊缝的先进无损检测..... | 24 |

初稿

第1篇 金属材料

第2章 材料的性能试验

第9节 双相不锈钢点蚀试验

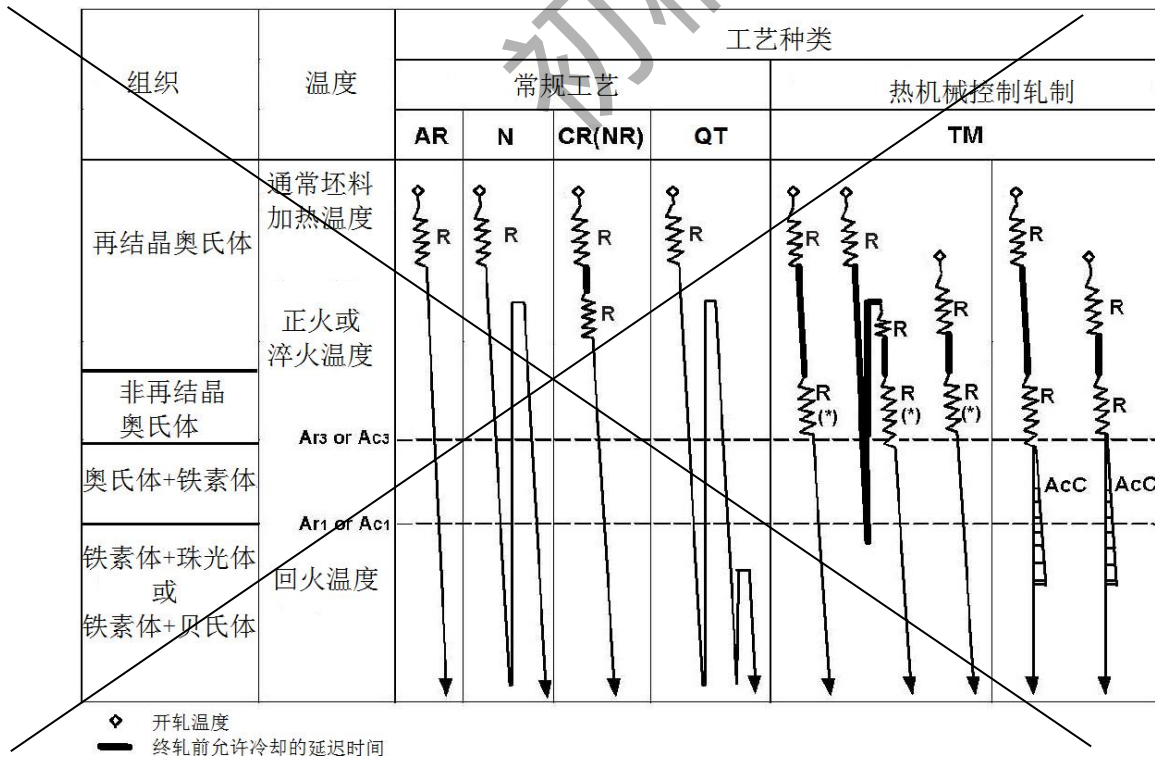
2.9.1 一般要求

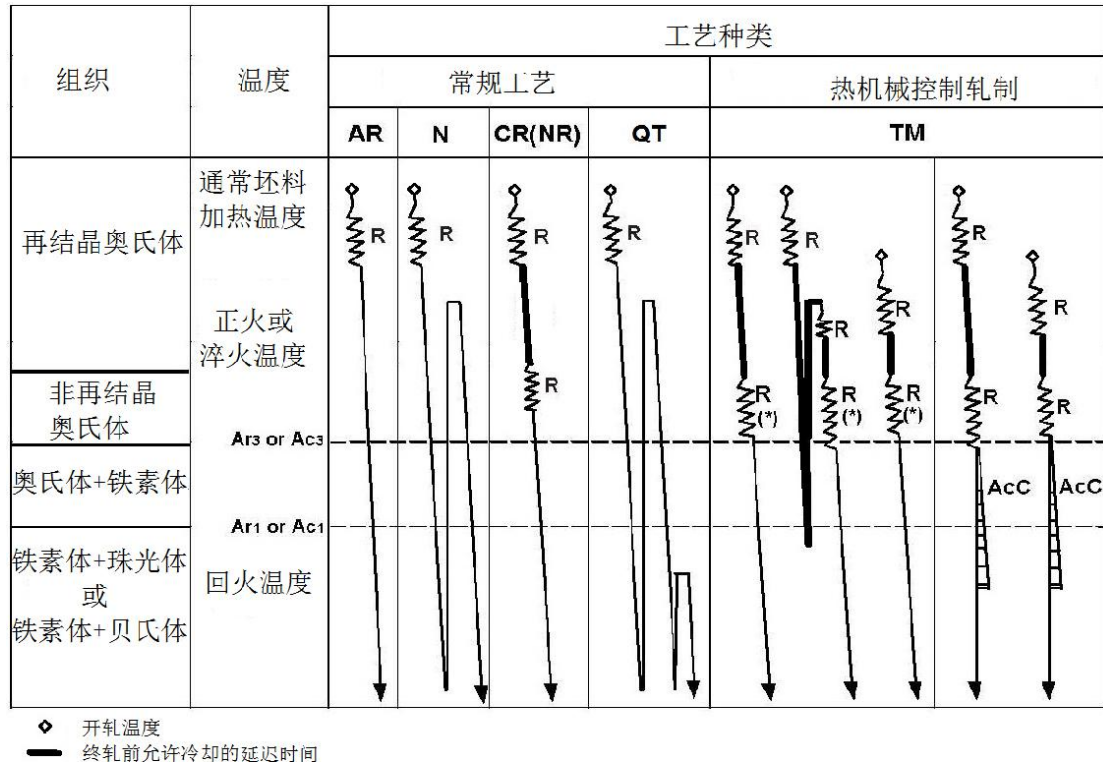
2.9.1.1 双相不锈钢点蚀试验主要用于评价奥氏体/铁素体双相不锈钢成品和焊接接头的耐点腐蚀性能。

2.9.1.2 本节内容适用于传统双相不锈钢(Ni含量通常高于4.5%wt,以下简称双相不锈钢)成品和焊接接头,如拟进行节镍双相不锈钢(Ni含量通常低于2.5%wt,以下简称节镍双相不锈钢)成品及焊接接头的耐点蚀试验,应在CCS验船师的监督下,参照ASTM A1084-15a的标准进行。

第3章 钢板、扁钢与型钢

第1节 一般规定





注：AR—热轧；N—正火；CR(NR)—控轧(正火轧制)；QT—淬火加回火；TM—热机械控制轧制；R—轧制；(*)有时在奥氏体和铁素体两相区轧制；AcC—加速冷却。

图 3.1.2.4 轧制钢材生产工艺示意图

第 2 节 一般强度船体结构用钢

3.2.4.4 对于宽度25mm、标距长度200mm的全厚度板状非比例试样，其最小伸长率应符合表3.2.4.4的规定。

全厚度板状非比例试样的最小伸长率

表3.2.4.4

| 厚度 t (mm) | $t \leq 5$ | $5 < t \leq 10$ | $10 < t \leq 15$ | $15 < t \leq 20$ | $20 < t \leq 25$ | $25 < t \leq 30$ | $30 < t \leq 40$ | $40 < t \leq 50$ |
|----------------|------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 伸长率 A (%) | 14 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |

第 3 节 高强度船体结构用钢

3.3.1 钢材等级

3.3.1.1 高强度船体结构用钢按其最小屈服强度划分强度级别，每一强度级别又按其冲击韧性的不同分为A、D、E、F4级。本节规定适用于厚度不超过150mm的AH27、DH27、EH27、FH27、AH32、

DH32、EH32、FH32、AH36、DH36、EH36、FH36、AH40、DH40、EH40和FH40等级的钢板和宽扁钢；本节规定还适用于上述等级厚度不大于50mm的型钢和棒材。

高强度船体结构用钢的化学成分 **表3.3.2.1**

| 等级 | AH27、DH27、EH27、AH32, AH36, AH40, DH32, DH36, DH40, EH32, EH36, EH40 | | FH27, FH32, FH36, FH40 |
|-----------------|---|------------------------|------------------------|
| | 化学成分(%) ^{⑤⑥} | C | ≤0.18 |
| Mn | | 0.90~1.60 ^① | 0.90~1.60 |
| Si | | ≤0.50 | ≤0.50 |
| S | | ≤0.035 | ≤0.025 |
| P | | ≤0.035 | ≤0.025 |
| Al(酸溶) | | ≥0.015 ^{②③} | ≥0.015 ^{②③} |
| Nb ^④ | | 0.02~0.05 ^③ | 0.02~0.05 ^③ |
| V ^④ | | 0.05~0.10 ^③ | 0.05~0.10 ^③ |
| Ti ^④ | | ≤0.02 | ≤0.02 |
| Cu | | ≤0.35 | ≤0.35 |
| Cr | | ≤0.20 | ≤0.20 |
| Ni | | ≤0.40 | ≤0.80 |
| Mo | | ≤0.08 | ≤0.08 |
| N | | — | ≤0.009(如含铝时, ≤0.012) |

注：① 对厚度不大于12.5mm的钢材以及AH27、DH27、EH27和FH27钢，其锰含量最低可为0.70%。

② 可以采用总铝含量来代替酸溶铝含量的要求，此时，总铝含量应不小于0.02%。

③ 钢厂可以将细化晶粒元素(Al、Nb、V等)单独或以任一组合形式加入钢中。当单独加入时，其含量应不低于表列值；若混合加入两种以上细化晶粒元素时，则表中对单一元素含量下限的规定不适用，但应满足认可的技术条件。

④ 铌、钒、钛的含量还应符合： $Nb\%+V\%+Ti\% \leq 0.12\%$ 。

⑤ 若采用TMCP状态交货，化学成分应满足本节3.3.2.3的规定。

⑥ 在钢材的冶炼过程中添加的任何其他元素，应在材料证书上注明。

厚度小于等于150mm的热机械轧制高强度钢的碳当量 C_{eq} **表3.3.2.3(1)**

| 钢材等级 | 碳当量 ^① $C_{eq}(\%)$ | | |
|------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------------|
| | 厚度 t (mm) | | |
| | $t \leq 50$ | $50 < t \leq 100$ | $100 < t \leq 150$ |
| AH27, DH27, EH27, FH27 | ≤0.36 | ≤0.38 | ≤0.40 |
| AH32, DH32, EH32, FH32 | ≤0.36 | ≤0.38 | ≤0.40 |
| AH36, DH36, EH36, FH36 | ≤0.38 | ≤0.40 | ≤0.42 |
| AH40, DH40, EH40, FH40 | ≤0.40 | ≤0.42 | ≤0.45 |

注：① 钢厂和船厂可以根据具体情况协商制定更严格的碳当量要求。

3.3.3.1 钢材的交货状态应符合表3.3.3.1要求。

高强度船体结构用钢的交货状态 **表3.3.3.1**

| 钢材 | 细化晶 | 产品型式 | 交货状态(冲击试验取样批量) ^{②②} |
|----|-----|------|------------------------------|
|----|-----|------|------------------------------|

| | | | 厚度 t (mm) | | | | |
|------|----------|----|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------|---------------------------|
| | | | $t \leq 12.5$ | $12.5 < t \leq 20$ | $20 < t \leq 25$ | $25 < t \leq 35$ | $35 < t \leq 50$ |
| AH27 | Nb和/或V | 板材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50) | | | N(50), CR(25), TM(50) |
| | | 型材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50), AR*(25) | | | 不适用 |
| AH32 | Al或Al和Ti | 板材 | A(50) | | AR*(25) | | 不适用 |
| AH36 | | | | | N(50), CR(50), TM(50) | | N(50), CR(25), TM(50) |
| AH40 | 任意 | 板材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50) | | | N(50), TM(50), QT(每热处理长度) |
| | | 型材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50) | | | 不适用 |
| DH27 | Nb和/或V | 板材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50) | | | N(50), CR(25), TM(50) |
| | | 型材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50), AR*(25) | | | 不适用 |
| DH32 | Al或Al和Ti | 板材 | A(50) | | AR*(25) | | 不适用 |
| DH36 | | | | | N(50), CR(50), TM(50) | | N(50), CR(25), TM(50) |
| DH40 | 任意 | 板材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50), AR*(25) | | | 不适用 |
| | | 型材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50) | | | 不适用 |
| EH27 | 任意 | 板材 | N(每件), TM(每件) | | | | |
| | | 型材 | N(25), TM(25), AR*(15), CR*(15) | | | | 不适用 |
| EH40 | 任意 | 板材 | N(每件), TM(每件), QT(每热处理长度) | | | | |
| | | 型材 | N(25), TM(25), QT(25) | | | | 不适用 |
| FH27 | 任意 | 板材 | N(每件), TM(每件), QT(每热处理长度) | | | | |
| | | 型材 | N(25), TM(25), QT(25), CR*(15) | | | | 不适用 |
| FH40 | 任意 | 板材 | N(每件), TM(每件), QT(每一热处理长度) | | | | |
| | | 型材 | N(25), TM(25), QT(25) | | | | 不适用 |

注：① 交货状态：A：任意；N：正火；CR：控制轧制；TM(TMCP)：热机械控制轧制；QT：淬火加回火；AR*：经CCS特别认可后，可采用热轧状态交货；CR*：经CCS特别认可后，可采用控制轧制状态交货。

② 括号中的数值表示冲击试样的取样批量(单位为 t)。每一批量应取1组3个夏比V型冲击试样。

3.3.4.3 高强度船体结构用钢的力学性能应符合表3.3.4.3的规定。

高强度船体结构用钢的力学性能

表3.3.4.3

| 钢材等级 | 屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 R_m (N/mm ²) | 伸长率 A_5 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 ^① | | | | | | |
|------|---|---------------------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|------------------|----|-------------------|----|
| | | | | 试验温度 (°C) | 平均冲击功不小于(J) | | | | | |
| | | | | | 厚度 t (mm) | | | | | |
| | | | | | $t \leq 50$ | | $50 < t \leq 70$ | | $70 < t \leq 150$ | |
| | | | | 纵向 | 横向 | 纵向 | 横向 | 纵向 | 横向 | |
| AH27 | | | | 0 | | | | | | |
| DH27 | 265 | 410~530 | 22 | -20 | 27 ^② | 20 ^② | 34 | 24 | 42 | 27 |
| EH27 | | | | -40 | | | | | | |

| 钢号 | 交货状态 | 规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 R_m (N/mm ²) | 伸长率 A_5 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 | | | | 最低设计温度 (°C) |
|--------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|----|----------------|
| | | | | | 材料厚度 t (mm) | 试验温度 T (°C) | 试样冲击功的平均值不小于(J) | | |
| | | | | | | | 纵向 | 横向 | |
| 2.25Ni | 正火 或 正火加回火或 淬火加回火或 TMCP① | 295 | 420~570 | 19 | $t \leq 25$ | -70 | | | -65 |
| | | | | | $25 < t \leq 30$ | -75 | | | |
| | | | | | $30 < t \leq 35$ | -80 | | | |
| | | | | | $35 < t \leq 40$ | -85 | | | |
| 3.5 Ni | TMCP① | 345 | 440~690 | 21 | $t \leq 25$ | -95 | | | -90 |
| | | | | | $25 < t \leq 30$ | -100 | | | |
| | | | | | $30 < t \leq 35$ | -105 | | | |
| | | | | | $35 < t \leq 40$ | -110 | | | |
| 5Ni | 正火 或 正火加回火或 淬火加回火① ② | 390 | 520~710 | 21 | $t \leq 25$ | -110 | | | -105 |
| | | | | | $25 < t \leq 30$ | -115 | | | |
| | | | | | $30 < t \leq 35$ | -120 | | | |
| | | | | | $35 < t \leq 40$ | -125 | | | |
| 9Ni | 两次正火加回 火 或淬火加回火 | 490 | 640~830 | 19 | $t \leq 40$ | -196 | | | -165 |

①TMCP交货的镍钢应经CCS同意。

②经特殊热处理的5%镍钢，例如经三级热处理（两次淬火+回火）的5%镍钢，可被用于最低温度为-165°C的场合，但在-196°C下对其进行冲击试验。

③本要求适用于厚度不超过40mm的材料。对厚度超过40mm的材料夏比V型缺口冲击能量值应经CCS同意。

④冲击试验纵向值适用板材、纵向值适用型材。

| 钢号 | 交货状态 | 规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 R_m (N/mm ²) | 伸长率 A_5 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 | | | | 最低设计温度 (°C) |
|--------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|-----------------|----|----------------|
| | | | | | 材料厚度 t (mm) | 试验温度 T (°C) | 试样冲击功的平均值不小于(J) | | |
| | | | | | | | 纵向 | 横向 | |
| 1.5Ni | 正火或正火加 回火或淬火加 回火或TMCP ① | 275 | 470~640 | 22 | $t \leq 25$ | -65 | | | -60 |
| | | | | | $25 < t \leq 30$ | -70 | | | |
| | | | | | $30 < t \leq 35$ | -75 | | | |
| | | | | | $35 < t \leq 40$ | -80 | | | |
| 2.25Ni | 正火 或 正火加回火或 淬火加回火或 TMCP① | 295 | 420~570 | 19 | $t \leq 25$ | -70 | 41 | 27 | -65 |
| | | | | | $25 < t \leq 30$ | -75 | | | |
| | | | | | $30 < t \leq 35$ | -80 | | | |
| | | | | | $35 < t \leq 40$ | -85 | | | |
| 3.5 Ni | TMCP① | 345 | 440~690 | 21 | $t \leq 25$ | -95 | | | -90 |
| | | | | | $25 < t \leq 30$ | -100 | | | |
| | | | | | $30 < t \leq 35$ | -105 | | | |
| | | | | | $35 < t \leq 40$ | -110 | | | |

| 钢号 | 交货状态 | 规定非比例 延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 R_m (N/mm ²) | 伸长率 A_5 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 | | | | 最低设计温度 (°C) |
|-----|----------------------------------|--|---------------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----|----------------|
| | | | | | 材料厚度 t (mm) | 试验温度 T (°C) | 试样冲击功的平 均值不小于(J) | | |
| | | | | | | | 纵向 | 横向 | |
| 5Ni | 正火 或 正火加回火或 淬火加回火① ② | 390 | 520~710 | 21 | $t \leq 25$ | -110 | | | -105 |
| | | | | | $25 < t \leq 30$ | -115 | | | |
| | | | | | $30 < t \leq 35$ | -120 | | | |
| | | | | | $35 < t \leq 40$ | -125 | | | |
| 9Ni | 两次正火加回 火 或淬火加回火 | 490 | 640~830 | 19 | $t \leq 40$ | -196 | | | -165 |

①TMCP交货的镍钢应经CCS同意。
②经特殊热处理的5%镍钢，例如经三级热处理（两次淬火+回火）的5%镍钢，可被用于最低温度为-165℃的场合，但应在-196℃下对其进行冲击试验。
③本要求适用于厚度不超过40mm的材料。对厚度超过40mm的材料的夏比V型缺口冲击能量值应经CCS同意。
④冲击试验横向值适用板材、纵向值适用型材。

3.7.3.3 力学性能试验试样的截取：

- (1) 钢板：应从每一轧制件的一端截取1个拉伸试样和1组3个冲击试样；
- (2) 型钢等其他钢材：应以同一炉罐号、同一规格、同一轧制方法和同一热处理制度为一批(每批最大重量为10t)，从每批钢材中任取一件截取1个拉伸试样和1组3个冲击试样；
- (3) 拉伸与冲击试样的截取方向、试样形状和尺寸应符合本篇第2章与本章第1节有关规定，对于拟用于本节3.7.1.1所述用途的钢板，其冲击试样应取横向试样，取样位置及试验值应按CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》[第6章6.3.1、6.3.2和6.4.1](#)~~第6章6.1.4.1、6.1.4.2和6.1.5~~的相关要求。

第 8 节 奥氏体不锈钢和双相不锈钢

3.8.1.1 本节规定适用于散装化学品船和液化气体船的液货舱和油、气、水处理用压力容器或其他构件的奥氏体不锈钢和、传统奥氏体/铁素体双相不锈钢（以下简称双相不锈钢）和节镍奥氏体/铁素体双相不锈钢（以下简称节镍双相不锈钢）。

3.8.1.2 节镍双相不锈钢的 Ni 含量与耐点蚀性能远低于传统双相不锈钢，因此节镍双相不锈钢在散装化学品船和液化气体船的设计、建造、装载货品以及营运中都应区分传统双相不锈钢。

3.8.2 一般要求

3.8.2.1 本节规定的奥氏体不锈钢也适用于制造设计温度一般不低于-165℃的压力容器，如在高温条件下使用应考虑其在该环境中的腐蚀情况并经 CCS 同意。

3.8.2.2 本节规定的双相不锈钢一般适用于制造设计使用温度在不低于 0℃ 至 300℃ 之间的结构构件，设计用于盐雾环境下的双相不锈钢的设计使用温度应不超过 100℃，设计用于温度超过 40℃ 的双相不锈钢应向 CCS 提交腐蚀报告。

3.8.2.3 奥氏体不锈钢也可供高温条件下使用，但应向 CCS 提交化学成分、常温和工作温度下的力学性能、以及热处理工艺等详细资料。

[3.8.2.3 如拟采用节镍双相不锈钢,应将其化学成分、力学性能、热处理规程以及点蚀性能提交 CCS 认可。](#)

[3.8.7 点蚀试验](#)

[3.8.7.1 双相不锈钢应按本章 3.5.4.1 的组批要求,与拉伸试验同时制取点蚀试验的试样,进行试验。](#)

[3.8.7.2 双相不锈钢点蚀试验的试样制备和试验应按本篇第 2 章第 9 节的要求进行。](#)

[3.8.7.3 节镍双相不锈钢点蚀试验的组批要求应经 CCS 验船师同意,其试样制备和试验应在 CCS 验船师的监督下,参照 ASTM A1084-15a 的标准进行。](#)

第 9 节 复合钢板

3.9.6.5 剪切试验应从每张钢板上制备1个横向试样,按CCS接受的方法进行试验,粘合面的抗剪强度应不低于下列规定:

- (1) 对抗拉强度 $R_m < 280\text{N/mm}^2$ 者,抗剪强度为抗拉强度的50%;
- (2) 对抗拉强度 $R_m \geq 280\text{N/mm}^2$ 者,抗剪强度为 140N/mm^2 。

第 4 章 钢管

第 1 节 一般规定

4.1.8.2 应按下列规定进行液压试验:

(1) 试验压力应为钢管工作压力的2倍,且不低于7.0MPa。如订货方要求,亦可按合同要求的试验压力进行试验,但应将有关资料提交CCS备查;

(2) 本条(1)中所述的试验压力 P 不必超过按下式确定的值:

$$P = 2t\sigma_t / D \quad \text{MPa}$$

式中: D —— 钢管的公称外径, mm;

t —— 钢管的公称壁厚, mm;

σ_t —— 许用应力值, MPa; 对于碳钢钢管,为屈服强度(R_{eH} 或 $R_{p0.2}$)的80%,对于奥氏体及双相不锈钢钢管,为规定非比例延伸强度($R_{p0.2}$)的80%。

(3) 在试验压力下应保持足够的时间,以便进行检查。

第 5 章 锻钢件

第 1 节 一般规定

5.1.1.4 锻钢件、[代替锻钢件的轧制圆钢](#)以及用于锻钢件制造的坯料应由 CCS 认可的工厂制造。

第 5 节 齿轮锻钢件

5.5.5.1 每个取样的齿轮锻钢件至少应提供一套试验材料,包括1个拉伸试样,1组3个冲击试样。试

样的切取方法应符合下列规定：

(1) 成品齿轮直径超过 200mm 的小齿轮(齿轮轴)锻钢件，应靠近齿部截取切向试样，如图 5.5.5.1(1) 中部位 B 所示；若受尺寸限制，无法在部位 B 取样时，则应按图中部位 C 所示，在轴颈末端截取切向试样；当该轴颈直径不超过 200mm 时，应在图中部位 A 截取纵向试样；当成品齿轮有齿部分的长度超过 1.25m，或成品齿轮重量超过 6 吨时，应从锻钢件的两端截取试样；

5.5.6.3 小齿轮锻钢件可按本章5.1.5.23规定进行批量试验，但每一锻钢件应进行硬度试验。

第 6 节 涡轮机锻钢件

5.6.5.2 合金钢的涡轮机锻钢件，经正火加回火或淬火加回火热处理后的力学性能应符合表5.6.5.2 的规定。

合金钢的涡轮机锻钢件的力学性能

表5.6.5.2

| 抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm ²) | 屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 不小于(N/mm ²) | | 伸长率 A_5 不小于 (%) | | | 断面收缩率 Z 不小于 (%) | | |
|---|--|-------|-------------------------|----|----|-------------------------|----|----|
| | 正火加回火 | 淬火加回火 | 纵向 | 切向 | 径向 | 纵向 | 切向 | 径向 |
| 500 | 275 | — | 22 | 20 | 18 | 50 | 40 | 35 |
| 550 | 300 | — | 20 | 18 | 16 | 50 | 40 | 35 |
| 600 | 330 | 410 | 18 | 16 | 14 | 50 | 40 | 35 |
| 650 | 355 | 450 | 17 | 15 | 13 | 50 | 40 | 35 |
| 700 | 385 | 490 | 16 | 14 | 12 | 45 | 35 | 30 |
| 750 | — | 530 | 15 | 13 | 11 | 45 | 35 | 30 |
| 800 | — | 590 | 14 | 12 | 10 | 45 | 35 | 30 |
| 850 | — | 640 | 13 | 11 | 9 | 40 | 30 | 25 |
| 900 | — | 690 | 13 | 11 | 9 | 40 | 30 | 25 |
| 950 | — | 750 | 12 | 10 | 8 | 40 | 30 | 25 |
| 1000 | — | 810 | 12 | 10 | 8 | 40 | 30 | 25 |

注：① 取样方向应按本节图5.6.4.1(1)和(3)所规定的方向。

② 对于抗拉强度的中间值，其所对应 R_m 、 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 、 A_5 和 Z 的最小值均可用内插法求得。

③ 表中各强度级锻钢的抗拉强度范围均为150N/mm²。

④ 对整体转子锻钢件，抗拉强度应不超过800N/mm²。

第 7 节 锅炉、受压容器与管系用锻钢件

锅炉、受压容器与管系用锻钢件的力学性能

表5.7.5.1

| 钢种 | 直径或等效厚度 t (mm) | 抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm ²) | 屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 A_5 不小于 (%) | 硬度 (HB) |
|-------|------------------------|--|---|-------------------------|------------|
| 钢和碳锰钢 | $t \leq 63$ | 410 | 215 | 20 | 110 ~ 155 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 205 | | |

| 钢种 | 直径或等效厚度 t (mm) | 抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm ²) | 屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 A_5 不小于 (%) | 硬度 (HB) |
|---------------|------------------------|--|---|-------------------------|------------|
| | $t \leq 63$ | 460 | 245 | 18 | 130 ~ 170 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 235 | | |
| | $t \leq 63$ | 490 | 265 | 16 | 140 ~ 180 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 255 | | |
| 细晶粒 碳钢和碳锰钢 | $t \leq 63$ | 410 | 235 | 20 | 110 ~ 155 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 220 | | |
| | $t \leq 63$ | 460 | 275 | 18 | 130 ~ 170 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 255 | | |
| | $t \leq 63$ | 490 | 305 | 16 | 140 ~ 180 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 280 | | |
| 1Cr0.5Mo | $t \leq 100$ | 410 | 255 | 18 | 110 ~ 160 |
| 2.25Cr1Mo | $t \leq 100$ | 490 | 275 | 18 | 140 ~ 185 |

注：① 对抗拉强度的中间值，其所对应的 R_{eH} 和 A_5 的最小值，可用内插法求得。

② 表中各级强度级的碳钢和碳锰钢的抗拉强度的范围均为120N/mm²，合金钢的抗拉强度的范围均为150N/mm²。

③ 取自锻钢件两端的拉伸样，其抗拉强度的差值应不超过70N/mm²。

④ 仅对按批试验的小型锻钢件，要求每件进行硬度试验。

第9节 奥氏体与双相不锈钢锻钢件

5.9.4.3 除另有协议外，奥氏体**不锈钢**锻钢件一般不要求作冲击试验。当奥氏体**不锈钢**锻钢件用于-100℃及以下温度环境时，可要求进行-196℃温度下的夏比V型缺口冲击试验。试验结果的平均值应不低于41J(纵向取样)或34J(横向试样)。

第8章 铝合金

第2节 铝合金板材与型材

8.2.7.2 挤压成形铝合金在各种状态下的力学性能应分别符合表 8.2.7.2 的规定。

挤压成形铝合金的力学性能

表 8.2.7.2

| 牌号 | 状态 | 厚度 t (mm) | 规定非比例伸长强度 $R_{p0.2}$ (N/mm ²) | 抗拉强度 R_m (N/mm ²) | 最低断后伸长率 $A^{①②}$ (%) | |
|------|------|--------------------|---|---------------------------------------|-------------------------|----|
| | | | | | 50mm | 5d |
| 5A01 | H112 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 170 | ≥ 330 | 10 | |
| 5454 | H112 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 100 | ≥ 230 | 10 | |
| 5083 | O | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 110 | 270~350 | 14 | 12 |
| | H111 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 165 | ≥ 275 | 12 | 10 |
| | H112 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 110 | ≥ 270 | 12 | 10 |
| 5383 | O | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 145 | ≥ 290 | 17 | 17 |
| | H111 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 145 | ≥ 290 | 17 | 17 |

| 牌号 | 状态 | 厚度 t (mm) | 规定非比例伸长强度 $R_{p0.2}$ (N/mm ²) | 抗拉强度 R_m (N/mm ²) | 最低断后伸长率 $A^{①②}$ (%) | |
|-------|------|--------------------|---|---------------------------------------|-------------------------|----|
| | | | | | 50mm | 5d |
| | H112 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 190 | ≥ 310 | | 13 |
| 5059 | H112 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 200 | ≥ 330 | | 10 |
| 5086 | O | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 95 | 240~315 | 14 | 12 |
| | H111 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 145 | ≥ 250 | 12 | 10 |
| | H112 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 95 | ≥ 240 | 12 | 10 |
| 5456 | H112 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 130 | ≥ 300 | 10 | |
| 5754 | H112 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 80 | ≥ 180 | 10 | |
| 6005A | T5 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 215 | ≥ 260 | 9 | 8 |
| | T6 | $3 \leq t \leq 10$ | ≥ 215 | ≥ 260 | 8 | 6 |
| | | $10 < t \leq 50$ | ≥ 200 | ≥ 250 | 8 | 6 |
| 6061 | T6 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 240 | ≥ 260 | 10 | 8 |
| 6082 | T5 | $3 \leq t \leq 50$ | ≥ 230 | ≥ 270 | 8 | 6 |
| | T6 | $3 \leq t \leq 5$ | ≥ 250 | ≥ 290 | 6 | |
| | | $5 < t \leq 50$ | ≥ 260 | ≥ 310 | 10 | 8 |

注：① 试验时对厚度 12.5mm 及以下的材料，应采用标距长度为 50mm 的伸长率，当材料厚度大于 12.5mm 时，应采用 5d 伸长率。

② 表中数据纵向或横向试样均适用。

③ 对于厚度 t 小于 3mm 的铝合金的力学性能要求应经 CCS 同意。

第 10 章 设备

第 1 节 锚

拉力试验后锚的外观检查 and 无损检测 表 10.1.5.4(1)

| 种类 | | 普通锚 | 大抓力锚 | 超大抓力锚 |
|-----------|-------|--------------------------------------|--|---|
| 检查方法 | | | | |
| 外观检查 | | 应检查锚所有受力部位，不应存在裂缝和其他明显的缺陷。 | 应检查锚所有受力部位，不应存在裂缝和其他明显的缺陷。 | 应检查锚所有受力部位，不应存在裂缝和其他明显的缺陷。 |
| 无损检测 * | 磁粉或渗透 | 铸钢件的浇口和冒口部位； 焊接锚的焊缝； 所有锚的焊接修补处 | 铸钢件的浇口和冒口部位； 焊接锚的焊缝； 所有锚的焊接修补处； 锚的高应力区域(验船师认为有必要时)。 | 铸钢件的所有表面； 焊接锚的焊缝； 锚的高应力区域(验船师认为有必要时)。 |

| | | | | |
|--|-----|-----|----------------------|--|
| | 超声波 | 不要求 | 钢板焊接锚的焊缝(验船师认为有必要时)。 | 钢板焊接锚的焊缝； 铸钢件的浇口和冒口部位； 锚上所有焊接修补处； 锚的高应力区或可疑部位(验船师认为有必要时)。 |
|--|-----|-----|----------------------|--|

注：铸钢件的无损检测应符合本篇第 [65](#) 章第 1 节和第 2 节的有关规定；锻钢件的无损检测应符合本篇第 [56](#) 章第 1 节和第 2 节的有关规定。组合锚焊缝应符合相关的质量要求。

第 2 节 船用锚链及其附件

10.2.7.7 链环力学性能试验不合格者，可按本篇第 [12](#) 章 1.2. [63](#) 的相关要求，取样进行复试。

初稿

第 2 篇 非金属材料

第 2 章 塑料材料

第 2 节 原材料

2.2.2.5 对浇铸体试件进行下列项目的测定,结果应满足表 2.2.2.5 的要求,对表中未提及的项目其结果应满足标准或制造厂制定的极限值。

- (1) 密度或相对密度;
- (2) 固化后体积收缩率;
- (3) 巴柯尔硬度;
- (4) 拉伸强度;
- (5) 断裂伸长率;
- (6) 吸水量(如长期接触水使用或用于建造纤维增强塑料船);
- (7) 热变形温度。

铺敷用树脂浇铸体性能

表 2.2.2.5

| 项目 | 试验标准 | 不饱和聚酯/乙烯基树脂 | | 环氧树脂 |
|-----------------------------|------------|-------------|-------|-------|
| | | 1 级 | 2 级 | |
| 拉伸强度 (N/mm ²) | ISO527-2 | ≥55 | ≥45 | ≥55 |
| 拉伸断裂伸长率(%) | ISO527-2 | ≥2.5 | ≥1.5 | ≥2.5 |
| 弯曲弹性模量 (N/mm ²) | ISO178 | ≥2700 | ≥2700 | ≥2700 |
| 弯曲强度 (N/mm ²) | ISO178 | ≥100 | ≥80 | ≥100 |
| 热变形温度 (°C) | ISO75-2 | ≥70 | ≥60 | ≥75 |
| 巴柯尔硬度 | ASTM D2583 | ≥35 | ≥35 | ≥35 |
| 吸水量(mg) | ISO62 | ≤80 | ≤100 | ≤70 |

注 1: 对不饱和聚酯树脂及乙烯基树脂试验所用试样应经 50°C 后固化 24h 制备,对环氧树脂应按 ISO 3673-2 的要求固化以制备试样。

注 2: 吸水性测试试样尺寸为 50mm×50mm×4mm,试验条件为在 23±2°C 下浸泡 672h。

注 3: 以不饱和聚酯树脂或乙烯基树脂制造的胶衣树脂和单面树脂应满足 1 级要求。

2.2.7 环氧基座等垫片浇注料

2.2.7.1 用于填塞机器、设备底座与其基座间的空隙,以保持准确定位的双组分热固性环氧浇注料在使用前应取得 CCS 认可。

2.2.7.2 浇注料生产厂应提供完整的施工技术文件,包括建议的设计原则,施工操作方法和要求以及安装程序等供备查。

2.2.7.3 用于认可的浇注料应按其在实际施工中的最小放热量条件浇注样品并进行以下的各项认可试验。

2.2.7.4 浇注料生产厂应确定在拟使用条件下浇注料固化反应所能达到的最高温度。

2.2.7.5 固化后的浇注型环氧机座垫片应测定下列性能:

- (1) 巴柯尔硬度;
- (2) 压缩强度和弹性模量;
- (3) 缺口悬臂梁(Izod)冲击强度;

- (4) 固化线性收缩;
- (5) 热变形温度;
- (6) 吸水率(在人造海水、蒸馏水中浸泡 7 天);
- (7) 吸油率(在柴油、润滑油中浸泡 7 天);
- (8) 可燃性。

2.2.7.6 浇注料生产厂应有合适的试验方法和数据,证明在足够长的承压时间内不同温度下环氧垫片产生的压缩蠕变量不足以影响使用。

2.2.7.76 拟认可的环氧机座垫片的使用条件为:在使用过程中由设备本身自重产生的静载荷通常应不大于 0.7N/mm^2 (对额定转速低于 300 转/分钟的柴油机应不大于 0.9N/mm^2),环氧垫片承受的最大静载荷(设备自重加螺栓紧固力)通常应不大于 4.5N/mm^2 ,使用温度不超过 80°C 。浇注体的性能要求见表 2.2.7.7。对表中未提及的项目其结果应满足标准或制造厂制定的极限值。

环氧机座垫片浇注体性能要求

表 2.2.7.7

| 压缩强度 (N/mm^2) | 压缩模量 (N/mm^2) | 巴柯尔硬度 | 热变形温度 ($^\circ\text{C}$) | 可燃性 | 吸水率 ^① (%) | 吸油率 ^① (%) |
|-----------------------------|-----------------------------|------------|-------------------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|
| ASTM D695 | ASTM D695 | ASTM D2583 | ISO 75-2 | ASTM D635 | ISO 62 | ISO 62 |
| ≥ 120 | ≥ 5000 | ≥ 35 | ≥ 80 | 自熄 | ≤ 0.9 | ≤ 0.9 |

注: ① 吸水率及吸油率测试的样品尺寸为 $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 4\text{mm}$ 。

2.2.7.87 如浇注料拟使用于尾轴管和尾轴衬套安装,除 2.2.7.7 规定外,还应提供其拉伸强度和拉伸弹性模量的测定数据。其中拉伸强度应不小于 34MPa (ASTM D638)。

2.2.7.8 应按如下要求对浇注体的蠕变性能进行测试,并满足要求:

(1) 制备样品为高 25 mm、直径 20 mm 的平行圆柱体,在环境温度下以拟认可的最大静载荷进行预加载并保持 16 小时,测量其高度作为初始高度 H_0 。

(2) 以每小时 $8 \pm 1^\circ\text{C}$ 的速度升高温度,直到达到 80°C 。

(3) 达到 80°C 后保持该温度(不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$)和加载载荷,每 24h 测定试样高度并计算蠕变量,绘制以蠕变量(%)为纵轴,相对于时间(以分钟为单位取对数)为横轴的曲线图(如为负值意味着样品发生了膨胀)。应向 CCS 提交包括以上曲线图以及测试细节的报告。

(4) 1000 小时后,测定高度 H_{1000} ,最大蠕变量 $((H_0 - H_{1000})/H_0 \times 100\%)$ 应不大于 0.2%,且此时蠕变曲线应基本平稳不再剧烈变化。

第 3 章 纤维增强塑料船体材料

第 3 节 铺敷成型工艺

3.3.8 单层板铺敷成型

3.3.8.1 单层板铺敷成型时应注意下列原则:

- (1) 增强材料布置应尽可能连续,层板厚度不应有突变,以保持铺层强度的连续性;
- (2) 推荐使用以短切原丝毡和无捻粗纱正交布交替铺敷成型;
- (3) 相邻的同一层增强材料层片间一般都应顺着其边缘和端部搭接。搭接宽度不小于 50mm。如采用对接,5层以内不应有接缝重叠,且应有试验证明强度等效。
- (4) 层板中的接缝位置(无论同一层或相邻层)都应至少错开 150mm。
- (5) 层板厚度变化应缓慢,过渡区的宽度至少为厚度差的 3020 倍。渐变过渡区内的增强材料排列方向应保持介于双向和单向层板之间。

3.3.9 夹层板铺敷成型

3.3.9.12 如夹层板中要求有预埋件，预埋件应为有抗挤压能力的材料，并应跟芯材和面板良好粘结。

3.3.9.13 应避免切割芯材。如确实需要，仅能单面切割，并且切割面应朝上使用在板材的所有外露表面上以利后续加工。

3.3.9.14 每道施工工序都应随时清除多余的固化粘结材料。并在最后夹层面板铺敷前清洁板材及涂上底漆密封。

3.3.9.15 如从夹层板向单层板过渡，则过渡区域的宽度应至少为芯材厚度的3倍。

初稿

第3篇 焊 接

第2章 焊 接 材 料

第1节 一 般 规 定

2.1.3.5 各级钢焊接材料认可试验用的试板可根据表2.1.3.5选取，也可选取韧性级别低于表中要求的材料。对熔敷金属试验用试板，焊接材料等级在Y40及以下的可以选用任何级别钢种；Y42及以上的可选用与焊缝金属相匹配的钢材，或在母材坡口表面堆焊待认可的焊接材料；而含镍低合金钢和不锈钢一般在母材坡口表面堆焊待认可的焊接材料。当使用堆焊方法时，建议用相应的焊接材料先堆焊一至二层，再装配试件。

认可试验用钢材级别

表2.1.3.5

| 焊接材料等级 | 试验用钢级别 | 焊接材料等级 | 试验用钢级别 | 焊接材料等级 | 试验用钢级别 |
|--------|----------------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | A | 5Y42 | FH420 | 3Y69 | DH690 |
| 2 | B、D | 3Y46 | DH460 | 4Y69 | EH690 |
| 3 | E | 4Y46 | EH460 | 5Y69 | FH690 |
| 1Y | AH27、AH32、AH36 | 5Y46 | FH460 | 3Y89 | DH890 |
| 2Y | DH27、DH32、DH36 | 3Y50 | DH500 | 4Y89 | EH890 |
| 3Y | EH27、EH32、EH36 | 4Y50 | EH500 | 5Y89 | ① |
| 4Y | FH27、FH32、FH36 | 5Y50 | FH500 | 3Y96 | DH960 |
| 2Y40 | DH40 | 3Y55 | DH550 | 4Y96 | EH960 |
| 3Y40 | EH40 | 4Y55 | EH550 | 5Y96 | ① |
| 4Y40 | FH40 | 5Y55 | FH550 | 1.5Ni | 1.5Ni |
| 5Y40 | FH40 | 3Y62 | DH620 | 3.5Ni | 3.5Ni |
| 3Y42 | DH420 | 4Y62 | EH620 | 5Ni | 5Ni |
| 4Y42 | EH420 | 5Y62 | FH620 | 9Ni | 9Ni |

第2节 焊 接 材 料 的 力 学 性 能

结构钢焊接材料的力学性能

表2.2.2.3

| 焊接材料级别 | 1、2、3 | 1Y、2Y 3Y、4Y ① | 2Y40 3Y40 4Y40 5Y40 | 3Y42 | 3Y46 | 3Y50 | 3Y55 | 3Y62 | 3Y69 | 3Y89 | 3Y96 | 1.5Ni | 3.5Ni | 5Ni | 9Ni | |
|--------|---------------------------------------|---------------------|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 熔敷金属试 | 屈服强度 ^① $R_{eH}(N/mm^2)$ | ≥ 305 | ≥ 375 | ≥ 400 | ≥ 420 | ≥ 460 | ≥ 500 | ≥ 550 | ≥ 620 | ≥ 690 | ≥ 890 | ≥ 960 | ≥ 375 | | | |
| | 抗拉强度 ^② $R_m(N/mm^2)$ | 400-560 | 490-660 | 510-690 | 520-680 | 540-720 | 590-770 | 640-820 | 700-890 | 770-940 | 940-1100 | 980-1150 | ≥ 460 | ≥ 420 | ≥ 500 | ≥ 600 |
| | 伸长率A(%) | ≥ 22 | | ≥ 20 | | ≥ 18 | | | ≥ 17 | ≥ 14 | ≥ 13 | ≥ 22 | ≥ 25 | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|-------------------|--|--|--|
| 夏比 V型 缺口 冲击 试验 | 试验温 度(°C) | ② | | | | | | | | | | | -80 | -100 | -120 | -196 | | | |
| | 平均冲 击功 ^⑥ (J) | ≥47 ^③ | | ≥47 | | ≥50 | | ≥55 | | ≥62 | | ≥69 | | ≥69 | | ≥69 ³⁴ | | | |
| 对接 焊接 试验 | 接头抗拉强 度(N/mm ²) | ≥400 | ≥490 | ≥510 | ≥520 | ≥540 | ≥590 | ≥640 | ≥700 | ≥770 | 940 | 980 | ≥490 | ≥450 | ≥540 | ≥640 | | | |
| | 夏比 V型 缺口 冲击 试验 | ② | | | | | | | | | | | -80 | -100 | -120 | -196 | | | |
| | 平均冲 击功 ^⑥ (J) | ≥47 ^④ | | ≥47 | | ≥50 | | ≥55 | | ≥62 | | ≥69 | | ≥69 | | ≥69 ³⁴ | | | |
| | 弯曲试验 | 试验后, 试样表面上任何方向应不出现长度超过3mm的开口缺陷。 ^⑤ | | | | | | | | | | | | | | | | | |

注: ① 手工焊条应符合2Y级及以上要求。

② 1、1Y级焊接材料的冲击试验温度为20°C;

2、2Y、2Y40级焊接材料的冲击试验温度为0°C;

3、3Y、3Y40、3Y42、3Y46、3Y50、3Y55、3Y62、3Y69、3Y89、3Y96级焊接材料的冲击试验温度为-20°C;

4Y、4Y40、4Y42、4Y46、4Y50、4Y55、4Y62、4Y69、4Y89、4Y96级焊接材料的冲击试验温度为-40°C;

5Y40、5Y42、5Y46、5Y50、5Y55、5Y62、5Y69、5Y89、5Y96级焊接材料的冲击试验温度为-60°C。

4、5Y89、5Y96级焊接材料的冲击试验接收值由CCS另行考虑。

③ 自动焊熔敷金属冲击试验的平均冲击功, 对 $R_{eH} < 400\text{N/mm}^2$ 的焊接材料应不低于34J; 对 $R_{eH} \geq 400\text{N/mm}^2$ 的焊接材料应不低于39J。

④ 立焊及自动焊对接接头冲击试验的平均冲击功, 对 $R_{eH} < 400\text{N/mm}^2$ 的焊接材料应不低于34J; 对 $R_{eH} \geq 400\text{N/mm}^2$ 的焊接材料应不低于39J。

⑤ 除5Ni和9Ni钢试件用直径为4倍板厚的压头对试样进行弯曲试验外, 压头直径应符合本篇1.2.4.2的规定。

⑥ 冲击试验的单个值应不低于规定值的70%。

⑦ 当材料无明显屈服点时, 则应为规定非比例伸长应力 $R_{P0.2}$ 。

⑧ 当抗拉强度超过上限时, 由CCS另行考虑。

第3节 电弧焊焊条

2.3.5 角接焊试验

2.3.5.1 每一焊接位置应焊制1个角接焊试件。试件的第1侧焊缝应以该型号焊条中直径最大的焊条焊接, 另一侧应以同一型号中直径最小的焊条焊制。焊脚尺寸(如图2.3.5.1所示)通常根据试验时所用焊条的直径和焊接电流确定。

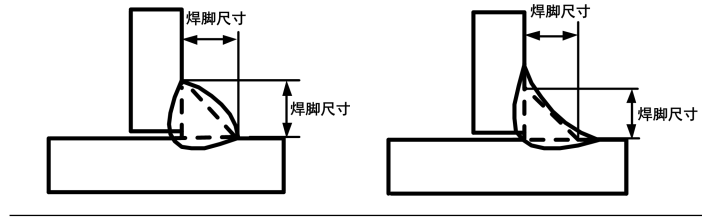


图2.3.5.1

第8节 不锈钢焊接材料

2.8.2.4 第1篇第2章第9节中节镍双相不锈钢焊接材料的熔敷金属试验、对接焊试验以及焊接接头点蚀试验应经CCS特殊考虑。

第9节 铝合金焊接材料

2.9.2.3 适用于TIG和/或等离子焊的填充焊丝条-气体组合（此处焊条指棒状金属焊条）在其级别符号前面加缀字母“R”，如“RB”。

第3章 焊接工艺认可

第2节 对接焊工艺认可试验

3.2.5.4 夏比V型缺口冲击试验的试验温度应符合表3.2.5.4(a)的规定，其试验结果应符合表3.2.5.4(b)的规定。

冲击试验的温度要求

表3.2.5.4(a)

| | | | | | |
|------------|---|---|---|--|---|
| 试验材料等级 | A、 AH27 、 AH32、 AH36、AH40 | B、D、 DH27 、DH32、 DH36、DH40、AH420、 AH460、AH500、AH550、 AH620、AH690、AH890、 AH960 | E、 EH27 、EH32、EH36、 EH40、DH420、DH460、 DH500、DH550、 DH620、DH690、 DH890、DH960 | FH27 、FH32、FH36、 FH40、EH420、EH460、 EH500、EH550、EH620、 EH690、EH890、EH960 | FH420、FH460、 FH500、FH550、 FH620、FH690 |
| 冲击试验温度(°C) | 20 | 0 | -20 | -40 | -60 |

冲击试验的韧性要求^①

表3.2.5.4(b)

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|--|-----------------|---------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 试验材料等级 | A、B ^② D、E | AH27 、 DH27 EH27 、 FH27 | AH32、 DH32 | AH36、 DH36 | AH40、 DH40、 EH40、 FH40 | AH420、 DH420、 EH420、 FH420 | AH460、 DH460、 EH460、 FH460 | AH500、 DH500、 EH500、 FH500 | AH550、 DH550、 EH550、 FH550 | AH620、 DH620、 EH620、 FH620 | AH690、 DH690、 EH690、 FH690 | AH890、 DH890、 EH890 | AH960、 DH960、 EH960 |
| 平均冲击功 不小于 (J) | 47 ^③ | | 47 ^④ | | 28 | 31 | 33 | 37 | 41 | 46 | | | |

注：① 板厚大于50mm的试验要求应由CCS同意。

- ② A级和B级钢在熔合线和热影响区的平均吸收功最小值为27J。
- ③ 手工或半自动焊焊接接头立焊和自动焊时平均冲击功可为34J；手工或半自动焊焊接接头平焊、横焊和仰焊时平均冲击功为47J。
- ④ 手工或半自动焊焊接接头立焊和自动焊时平均冲击功可为39J；手工或半自动焊焊接接头平焊、横焊和仰焊时平均冲击功为47J。
- ⑤ 除表列船体结构用钢外，常用钢材焊接接头的冲击试验温度和冲击功均应符合母材规定。

3.2.7 不锈钢焊接工艺认可试验的附加要求

3.2.7.2 对传统以及节镍双相不锈钢，除上述 3.2.4.1、3.2.5 相关要求外，还应满足下列规定：

- (1) 冲击试验取焊缝中心、熔合线和距熔合线 2mm 的热影响区各 1 组（试验温度为-20℃），冲击能量应不小于 27J；
- (2) 硬度试验结果应不超过 HV420；
- (3) 焊缝点蚀试验(与其它不锈钢或碳钢之间的焊缝除外)，按本规范第 1 篇第 2 章第 9 节要求进行；
- (4) 焊缝及热影响区微观检验，应无晶间碳化物和金属间化合物的析出物；
- (5) 对最后焊道和根部焊道的焊缝和热影响区分别测定铁素体含量。其铁素体含量应在 30~70%范围内。

第 4 章 焊工资格考试

第 2 节 焊工考试与评定

4.2.4.2 试件切割成弯曲试样或破断试样前应进行目视检验。目视检验应满足下列要求：

焊缝外观目检的合格标准

表 4.2.4.2

| 缺陷名称 | 合格标准 | |
|----------|------------------------------------|--|
| | 钢 | 铝合金 |
| 裂纹 | 不允许 | 不允许 |
| 未熔合 | 不允许 | 不允许 |
| 根部未熔透 | 不允许 | 不允许 |
| 表面焊瘤 | 不允许 | 不允许 |
| 表面气孔 | 不允许 | 密集气孔和链状气孔不允许； 不均匀气孔率≤0.5%，且单个气孔直径≤ 0.2t ^① ，最大 1mm |
| 局部根部内凹 | 深度≤0.05t ^① ，最大 0.5 mm | 深度≤0.05t ^① ，最大 0.5 mm |
| 咬边 | 深度≤0.05t ^① ，最大 0.5 mm | 深度≤0.1t ^① ，最大 0.5 mm（不允许连续咬边） |
| 焊缝超高（对接） | 高度≤1+0.15b ^② ，最大 7.0 mm | 高度≤1.5+0.15b ^② ，最大 8.0 mm |
| 凸度过大（角接） | 高度≤1+0.15b ^② ，最大 4.0 mm | 高度≤1.5+0.15b ^② ，最大 4.0 mm |
| 根部下塌 | 高度≤1+0.6b ^③ ，最大 4.0 mm | 高度≤4.0 mm |

| 缺陷名称 | 合格标准 | |
|---------|--|------------------------------------|
| | 钢 | 铝合金 |
| 焊喉厚度过大 | 高度 $\leq 1+0.2a^{\text{①}}$ ，最大 4.0 mm | -- |
| 焊喉厚度不足 | 不允许 | 高度 $\leq 0.1a^{\text{①}}$ |
| 角接焊脚不对称 | 焊脚长度尺寸差 $\leq 1.5+0.15a^{\text{②}}$ | 焊脚长度尺寸差 $\leq 1.5+0.2a^{\text{②}}$ |

注：① t ——对接焊时为板厚，角接焊时为焊喉厚度，mm

② b ——对应焊缝的宽度（根部下塌时为根部焊缝宽度），mm

③ a ——焊喉厚度，mm

第 5 章 船体结构的焊接

第 1 节 一般规定

5.1.3.4 当使用线加热或点加热方式进行曲面成形或光顺处理时，表面加热温度应满足表 5.1.4.4 5.1.3.4 的规定：

钢板表面线加热或点加热时最高加热温度

表5.1.3.4

| 项目 | 标准 | |
|--|------------|----------------------|
| 传统工艺AH27-EH27、AH32-EH32、 AH36-EH36 TMCP型AH36-EH36 ($C_{eq}>0.38\%$) | 加热后水冷 | 低于650℃ |
| | 加热后空冷 | 低于900℃ |
| | 加热后空冷并随后水冷 | 低于900℃(水冷起始温度低于500℃) |
| TMCP型AH27-DH27、AH32-DH32、 AH36-DH36 ($C_{eq}\leq 0.38\%$) | 加热后仅水冷或空冷 | 低于1000℃ |
| TMCP型EH27、EH32、EH36 ($C_{eq}\leq 0.38\%$) | 加热后仅水冷或空冷 | 低于900℃ |

5.1.4 焊接材料选用

5.1.4.1 船体结构所用的焊接材料应符合本篇第2章的规定。所选用焊接材料的级别应与船体结构用的钢级相适应，并符合表5.1.4.1的规定。

焊接材料选用表

表5.1.4.1

| 船体结构 钢级 焊接材 料级别 | A | B | D | E | AH27 AH32 AH36 | DH27 DH32 DH36 | EH27 EH32 EH36 | FH27 FH32 FH36 | AH40 | DH40 | EH40 | FH40 |
|--------------------------|---|---|---|---|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 1 | × | | | | | | | | | | |
| 2 | × | × | × | | | | | | | | | |
| 3 | × | × | × | × | | | | | | | | |
| 1Y | × | | | | × ^② | | | | | | | |
| 2Y | × | × | × | | × | × | | | | | | |
| 3Y | × | × | × | × | × | × | × | | | | | |
| 4Y | × | × | × | × | × | × | × | × | | | | |
| 2Y40 | ① | ① | ① | | × | × | | | × | × | | |
| 3Y40 | ① | ① | ① | ① | × | × | × | | × | × | × | |
| 4Y40 | ① | ① | ① | ① | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 5 Y40 | ① | ① | ① | ① | × | × | × | × | × | × | × | × |

注：“×”为适用的钢级；

① 在普通强度结构钢焊接中不宜采用过高强度级别的焊接材料。

② 当采用1Y级焊接材料焊接时，母材的厚度不大于25mm。

第 2 节 船体构件的焊接

5.2.3 高强度钢焊接

5.2.3.1 焊接高强度钢材时，应采用与母材相适应的并经 CCS 认可的低氢型高强度焊接材料。焊接时，应考虑预热并注意控制线能量热输入和道间温度。

5.2.3.2 在船体结构中采用高强度钢时，其焊缝的外形应光滑，不应有过高的焊缝余高。

5.2.3.3 若船体构件(如首柱、尾柱、舵叶等)是由高强度钢板组焊而成的，则施焊后应考虑对其进行退火处理，以消除焊接时的残余应力。退火温度应达临界温度之上，然后缓慢冷却。

第 3 节 焊缝检验与修补

5.3.2.6 重要部位的焊缝应按下列要求采用射线或超声波(除另有规定者外)进行无损检测：

- (1) 液舱水密舱壁、内底板、底边舱斜板上的对接焊缝交叉点，每4个检测1个。
- (2) 位于船底、舷侧以及甲板上的纵骨和纵桁对接接头，在船中0.4L范围内每10个检测1个，0.4L范围外每20个检测1个。
- (3) 强力甲板舱口角隅嵌补板周界对接焊缝，每一角隅转角处至少进行2处无损检测，如图5.3.2.6(3)。

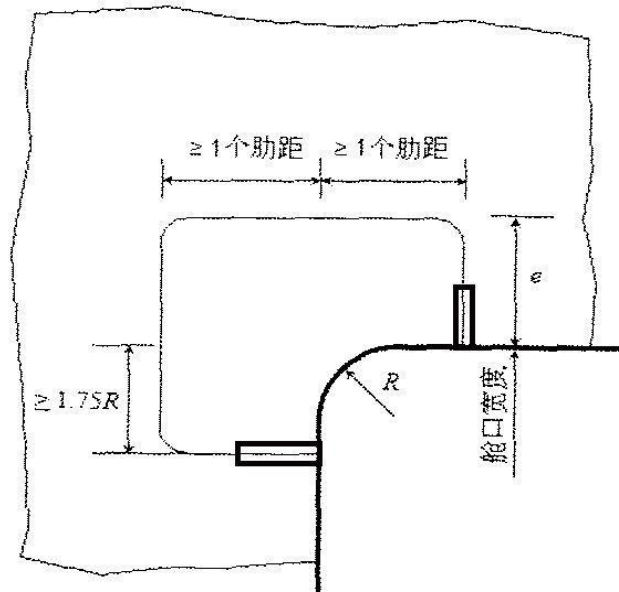


图5.3.2.6(3)

(4) 厚度50mm及以上对接接头(例如尾柱、尾轴架、减摇鳍舱、桅柱等), 100%无损检测。

(5) 以下部位当使用全焊透角焊缝时, 应按下列要求进行无损检测:

- a. 主机座面板与腹板连接: 100%;
- b. 挂舵臂和尾轴架对船体结构外板: 100%;
- c. 舵封板对舵铸件的连接区域: 100%;
- d. 当开口尺寸超过300 mm时, 船中0.6L以内的强力甲板、舷顶列板和船底板上的开口边缘补强部位或管道贯穿处: 100%;
- e. 纵向舱口围板端部肘板与甲板板的趾端连接: 在船中0.6L内, 100%检测; 船中0.6L外, 每2处检测1处;
- f. 内底与横舱壁、底墩或横向肋板间连接, 或底墩与横舱壁间连接: 35%;
- g. 底边舱斜板与内底或内壳间连接: 25%;
- h. 横向槽形舱壁与顶边舱连接: 35%;
- i. 甲板边板和舷顶列板连接: 10%, 另在船中0.6L 内每一合拢焊缝处增加检测1m。

(6) 对大截面的焊缝, 特别是铸钢件和锻钢件的焊缝、艏柱、焊接的桅和舱壁墩座上的焊缝, 以及坡口厚度30mm及以上的角焊缝和位于高应力区域的单面坡口或双面坡口焊缝, 或应力及低温下焊接的焊缝, 应进行100%表面裂纹检测; 其他坡口厚度30mm及以上的对接焊缝进行20%表面裂纹检测。以及在应力下或低温下焊接的焊缝, 应进行100%表面裂纹检测; 其他大截面单面坡口或双面坡口焊缝(板厚约为30mm或以上者)和厚的角接焊缝, 例如艏柱、焊接的桅和舱壁墩座上的焊缝, 应进行100%表面裂纹检测。

第6章 海上设施结构的焊接

第3节 焊接检验

6.3.2 固定式海上设施结构焊接检验的补充要求

6.3.2.1 外观检查:

(1) 焊缝外形尺寸应符合设计图纸和下列要求:

- ① 对接焊缝余高应符合有关标准, 且应不超过3mm;
- ② 角焊缝的两焊脚高度尺寸差应不大于2mm, 凸起的部分应不超过按下式计算之值:

$$R = 0.1K + 0.76 \quad \text{mm}$$

式中: K ——焊脚高度尺寸。

- ③ 管结点的焊缝尺寸如图6.3.2.1(1) ①、②及表6.3.2.1(1) 所示, 打磨后焊缝的外形尺寸应符合设计和制造的有关规定;
- ④ 密封焊缝的所有搭接表面均应为连续的角焊缝, 其焊脚高度尺寸除另有规定外, 一般应不超过5mm。

第7章 受压壳体的焊接

第2节 受压壳体的产品焊接试验

7.2.3.1 各个级别的受压壳体所需制备的试样应按图7.2.3.1和表7.2.3.1的规定截取。

各级受压壳体的试样

表7.2.3.1

| 序号 | 试样名称 | 受压壳体 | |
|-----|-----------------------|------|-----|
| | | I级 | II级 |
| 1 | 熔敷金属拉伸 | 要求 | 要求 |
| 2 | 正弯 ^① | 要求 | 要求 |
| 3 | 反弯 ^① | 要求 | 要求 |
| 4 | 接头横向拉伸 | 要求 | 要求 |
| 5 | 断面宏观检查 | 要求 | 要求 |
| 6~8 | 焊缝中心冲击试验 ^② | 要求 | |

注: ① 当试板厚度超过20mm时, 可改取侧弯试样, 进行侧弯试验。

② 下列情况应增加1组3个缺口位于熔合线上的冲击试样:

- a. 潜水系统和潜水器受压壳体;
- b. 所有设计温度在0℃及以下的受压壳体;
- c. 使用合金钢制造的受压壳体 (奥氏体不锈钢除外)。

第 11 章 有色金属的焊接和铆接

第 2 节 铝合金的焊接

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

第 3 节 钛及钛合金的焊接

11.3.5 焊接

11.3.5.1 钛合金构件的常用焊接方法有钨极氩弧焊、熔化极氩弧焊及等离子焊等。

11.3.5.2 钛和钢等许多金属不能熔焊，钛在熔焊中严禁混入钢铁和其他金属。

11.3.5.3 选择焊接工艺参数应保证足够的熔透深度，保证良好的保护，避免产生缺陷，并尽量采用线能量热输入小的焊接规范。

新增：

附录 2 材料和焊缝的先进无损检测¹

1 一般要求

1.1 本附录适用于新造船舶的材料和焊缝的先进无损检测（ANDT）方法与质量等级的最低要求。本附录范围内可使用的先进检测方法见第 2 节。

1.2 船厂、生产商或其分包商应根据本附录要求执行先进无损检测技术。船级社的验船师可以要求对检测过程进行见证。

1.3 船厂或生产商应确保在建造过程中遵守相关检测规范和工艺，并向船级社提供有效的先进无损检测报告。

1.4 检测范围、方法以及检查点的数量通常由船厂和船级社共同商定。

1.5 术语和定义

本附录所用的术语和定义如下：

ANDT 先进无损检测

RT-D 数字射线

RT-S 带有数字图像采集器（动态范围 $\geq 12\text{bit}$ ）的射线检测

RT-CR 带有可存储的荧光成像板的计算机射线检测

PAUT 相控阵超声检测

¹ 本附录适用于建造合同日期在 2021 年 7 月 1 日及之后的船舶，“建造合同”日期是指船东与造船厂之间签订建造船舶合同的日期。

TOFD 衍射时差技术

AUT 自动超声检测。一种超声检测技术，通过使用机械化装配、自主引导、远程控制以及电机控制（驱动）的装置和搜索单元进行检测，无需技术人员调节。用于进行检测的设备能够通过整合的编码装置记录包含扫描位置等信息的超声响应数据，以便能够对所采集的数据进行成像。

SAUT 半自动超声检测。一种超声波检测技术，通过使用机械化装配、自主引导、人工辅助（驱动）的设备和搜索单元进行检测，并可由技术人员手动调节。用于进行检测的设备能够通过整合的编码装置记录包含扫描位置等信息的超声响应数据，以便能够对所采集的数据进行成像。

2 适用范围

2.1 材料

2.1.1 本附录适用于以下材料及工业产品

- (1) 符合 CCS 《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》的气体运输船母材及焊缝
- (2) 符合 CCS 《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章的普通和高强度船体结构钢
- (3) 符合 CCS 《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章的焊接结构用高强度钢
- (4) 符合 CCS 《材料与焊接规范》第 1 篇第 5 章的船体锻钢件
- (5) 符合 CCS 《材料与焊接规范》第 1 篇第 6 章的船体和机械设备的铸钢件
- (6) 符合 CCS 《船用高强度钢厚板检验指南》的集装箱船用超厚钢板
- (7) 符合 CCS 《材料与焊接规范》第 1 篇第 9 章的集装箱船用超厚钢板
- (8) 符合 CCS 《材料与焊接规范》第 1 篇第 8 章的船体结构用铝合金
- (9) 符合 CCS 《材料与焊接规范》第 1 篇第 6 章的螺旋桨铸钢件
- (10) 符合 CCS 《船用高强度钢厚板检验指南》的 EH47 级钢和止裂钢
- (11) 符合 CCS 《船舶焊接检验指南》附录 7A 的船舶及其机械用锻钢件
- (12) 符合 CCS 《船舶焊接检验指南》附录 7B 的船舶及其机械用铸钢件

2.2 焊接工艺

2.2.1 本附录所述的先进无损检测技术可适用于表 2.2.1 中规定的焊接工艺。未包含在表中的焊接工艺，其先进无损检测应符合船级社的要求。

适用的焊接工艺

表 2.2.1

| 焊接工艺 | | ISO 4063:2009 |
|--------|---|------------------------|
| 手工焊接 | 手工电弧焊(SMAW) | 111 |
| 电阻焊接 | 闪光焊(FW) | 24 |
| 半自动焊接 | (1) 熔化极惰性气体保护焊(MIG) (2) 熔化极活性气体保护焊(MAG) (3) 药芯焊丝气体保护焊(FCAW) | 131 135, 138 136 |
| TIG 焊接 | 钨极气体保护焊(GTAW) | 141 |
| 自动焊接 | (1) 埋弧焊(SAW) (2) 气电立焊(EGW) (3) 电渣焊(ESW) | 12 73 72 |

2.3 焊缝

2.3.1 本附录适用于全熔透对接焊缝。不同种类的焊缝，例如 T 字形、角形和十字形焊缝（无论是否全熔透）均可使用 PAUT 进行检测。有关焊缝对检测的限制，应在检测前进行确认、记录并经船级社同意。

2.4 先进无损检测的时机

2.4.1 先进无损检测（ANDT）应在焊缝冷却至环境温度，并在适当情况下经热处理后进行。

2.4.2 对于最小屈服强度在 420 N/mm² 至 690 N/mm² 范围内的船体钢结构焊缝，先进无损检测的使用应符合 CCS《材料与焊接规范》第 3 篇附件 1《船体钢质焊缝的无损检测》中的 2.4.2。

2.5 检测方法

2.5.1 本附录中提及的先进检测方法包括 PAUT（仅自动/半自动 PAUT）、TOFD、RT-D。

2.5.2 不同类型的材料和焊缝所适用的检测方法如表 2.5.2 所示。

材料与焊缝所适用的检测方法 表 2.5.2

| 材料与焊缝 | 母材厚度 | 适用方法 |
|----------------------------------|-------------------|-------------------|
| 全熔透铁素体对接焊缝 | 厚度 < 6mm | RT-D |
| | 6 mm ≤ 厚度 < 40 mm | PAUT, TOFD, RT-D |
| | 厚度 > 40 mm | PAUT, TOFD, RT-D* |
| 全熔透铁素体 T 形和角焊缝 | 厚度 ≥ 6mm | PAUT, RT-D* |
| 全熔透铁素体十字焊缝 | 厚度 ≥ 6mm | PAUT* |
| 全熔透奥氏体不锈钢对接焊缝 | 厚度 < 6mm | RT-D |
| | 6 mm ≤ 厚度 < 40 mm | RT-D, PAUT* |
| | 厚度 > 40 mm | PAUT*, RT-D* |
| 全熔透奥氏体不锈钢 T 形焊缝和角焊缝 ^① | 厚度 ≥ 6mm | PAUT*, RT-D* |
| 全熔透铝制 T 形焊缝和角焊缝 | 厚度 ≥ 6mm | PAUT*, RT-D* |
| 全熔透铝制十字焊缝 | 厚度 ≥ 6mm | PAUT* |
| 全熔透铝制对接焊缝 | 厚度 < 6mm | RT-D |
| | 6 mm ≤ 厚度 < 40 mm | RT-D, TOFD, PAUT |
| | 厚度 > 40 mm | TOFD, PAUT, RT-D* |
| 铸铜合金 | 全部 | PAUT, RT-D* |
| 锻钢件 | 全部 | PAUT, RT-D* |
| 铸钢件 | 全部 | PAUT, RT-D* |
| 基材/轧制钢、铝合金锻件 | 厚度 < 6mm | RT-D |
| | 6 mm ≤ 厚度 < 40 mm | PAUT, TOFD, RT-D |
| | 厚度 > 40 mm | PAUT, TOFD, RT-D* |

*此检测方法有限制要求，使用时需由船级社对工艺进行特定认可

注：①采用先进检测方法对各向异性材料进行超声检测时需要特定的工艺和技术。此外，也可以使用一些补充技术和设备，如：使用斜入射纵波和/或爬波探头检测近表面缺陷。

3 先进无损检测的人员资质

3.1 造船厂或其分包商应确保其技术主管和检测人员根据 ISO9712:2012 认证体系取得人员资质，且优先推荐通过第三方认证。

如果造船厂或其分包商的书面认证计划经过本社的审查并认为可以接受以雇主为基础的资格认证计划的人员资格，例如 SNT-TC-1A，2016 或 ANSI / ASNT CP-189,2016,除认证机构和/或授权机构的公正性要求外，供方的人员资格至少应符合 ISO 9712：2012。

技术主管和检测人员的证书和能力应包括造船厂或其分包商所使用的工业门类和技术。

III 级人员资质应由 CCS 所认可的认证机构颁布。

3.2 船厂或其分包商应有一名或多名技术主管，负责无损检测的正确执行及检测人员和设备符合相关标准及管理要求。造船厂或其分包商应按照第 3.1 项的要求，雇用至少一名具有 III 级资格证书的全职技术主管。船厂和分包商不允许直接任命 III 级人员，III 级人员需认证机构认可。若造船厂或其分包商不具备规定无损检测方法的 III 级人员，允许雇用外部经独立认证的非全职 III 级人员。

无损检测技术主管应直接参与无损检测工艺、无损检测报告、无损检测设备和工具校准的审查和验收。每年应代表造船厂、生厂商或其分包商对检测人员的资格进行重新评估。

3.3 进行无损检测操作及数据分析的人员，至少应具有该无损检测方法 II 级人员资格，其资格认证应符合 3.1 条的规定。

若所使用无损检测方法只进行数据收集，并未进行数据判读或分析的检测人员，仅需具有该无损检测方法 I 级人员资质。

检测人员应具备足够的材料、焊接、结构或构件、无损检测设备和专业的知识，以达到正确应用相关无损检测方法的能力。

4 技术和工艺认可

4.1 一般要求

造船厂或生产商必须向船级社提交下列文件以供审查：

- (1) 先进无损检测 (ANDT) 的技术文档
- (2) 符合本附录第 7 节要求的无损检测方法和工艺流程
- (3) 软件仿真的结果 (如适用)

4.2 软件仿真

当使用 PAUT 或 TOFD 技术时，船级社可要求进行软件仿真。仿真包括初始检测设置、扫查计划、体积覆盖、人工缺陷结果图像等。在某些情况下，项目可能需要或要求人工缺陷建模/仿真。

4.3 工艺认可试验

先进无损检测 (ANDT) 系统的工艺认可应包含以下步骤：

- (1) 检测系统有效性能数据的审查 (检出能力和缺陷尺寸精度)；
- (2) 重要参数及其波动性的鉴定和评估；
- (3) 重复性和可靠性测试程序^①的规划和执行，包括现场演示；
- (4) 重复性和可靠性测试程序结果的文档。

注：①重复性和可靠性试验程序的数据将根据验证试块检测报告和现场演示进行分析。验证试块应符合 ASME V 第 14 条强制性附录 II 超声检测 (UT) 性能示范标准或经船级社同意，且最低应使用中级评定试块。当进行测量误差分布和检出率 (POD) 分析时，应使用更高等级的验证试块，且现场演示过程应由船级社验船师见证。

4.4 工艺批准

检测工艺应根据工艺认可结果进行评估，如符合要求，可考虑批准该工艺。

4.5 现场审查

4.5.1 用于试验的焊缝，应按照商定的比例对其进行补充无损检测，并与其他无损检测方法进行交叉验证。此外，可使用其他可记录的参考技术与先进无损检测（ANDT）的结果进行比对。

4.5.2 根据上述工作进行数据分析。在适用情况下，需确定检出率（POD）和尺寸精度。当对检测工作的审查结果不符合批准的工艺时，应立即中止检测。当遇到不一致的情况时，应进行额外的工艺认可和现场演示。当发现严重不符合时，船级社有权拒绝接受检测结果。

5 表面状况

5.1 待检测区域应无刻痕、疏松锈层、焊接飞溅物、油、油脂、污垢或油漆等可能影响检测灵敏度的物质。

5.2 如需通过油漆层进行 PAUT 或 TOFD 检测的部位，应按照工艺规定的传输修正方法确认检测的适用性和灵敏度。在任何情况下，如传输损耗超过 12dB，应考虑原因，并在适用的情况下对扫查表面进行处理。如通过油漆层进行检测，则工艺认可也应在带有油漆层的试块进行。

5.3 检测表面光洁度是确保缺陷检测准确可靠的因素。对于焊缝检测，如检测表面不规则或具有其他可能干扰检测结果评定的特征，则应对焊缝进行打磨或机加工。

6 检测的总体方案：无损检测方法的选择

6.1 检测范围应由造船厂或生产商根据船舶设计、船舶或设备类型和所用的焊接工艺进行规划，需特别注意高应力区域。检测范围应与相应的材料焊接检验规范或指南一致。

7 检测要求

7.1 一般要求

7.1.1 造船厂或制造商应确保执行无损检测或评定无损检测结果的人员符合第 3 节所述的资质要求。

7.1.2 检测工艺

(1) 所有无损检测应按照典型的被检项目工艺进行。

(2) 检测工艺应明确被检工件、无损检测方法、使用设备以及检测范围，包括所有检测限制条件。

(3) 检测工艺应包括对部件进行明确标识的要求，以及为确保检验的可重复性而采用的基准系统或标记系统的要求。

(4) 检测工艺应包括设备校准和功能检查方法和要求，以及被检测部件所对应的技术表单/扫查计划。

(5) 检测工艺须由相关方法三级资质人员根据船级社接受的标准进行批准。

(6) 检测工艺应由船级社的验船师审查。

7.1.3 本附录所应用的检测方法见 2.5.1 的规定。

7.1.4 PAUT 技术应至少符合本附录 7.2 的要求。根据被测工件的复杂性和其表面可达性，如需额外的扫查和/或辅助性的无损检测技术，以确保实现待检测工件的全覆盖。

7.1.4.1 PAUT 在进行焊缝检测时，应包含针对熔合面的线性扫查以及特定检测技术中规定的其他扫查方式。详情请参照 7.2.2.4 中的线性扫查要求。

7.1.5 TOFD 技术应至少符合本附录 7.3 的要求。根据被测物体的复杂性以及与表面可达性，如需额外的扫查和/或辅助性的无损检测技术，以确保实现待检测工件的全覆盖。

7.1.6 RT-D 技术应至少符合本附录 7.4 的要求。在本附录中，RT-D 主要由以下两种 RT 方法组成：RT-S 和 RT-CR。其他的方法（如射线透视系统），在适用情况下，须符合本附录的相关要求，任何具体的要求应证明与上述要求等效。

7.1.6.1 在所有 RT-D 方法中，除具体要求外，还应在工艺中描述探测器输出质量的控制方法。

7.1.6.2 检测工艺应规定最终评定和报告所需的放大率、后处理工具、图像/数据安全和存储的等级。

7.2 相控阵超声检测 (PAUT)

PAUT 应根据检测工艺执行，检测工艺基于 ISO 13588:2019、ISO 18563-1:2015、ISO 18563-2:2017、ISO 18563-3:2015 和 ISO 19285:2017 或公认标准以及船级社的具体要求制定。

7.2.1 检测前所需信息

检测工艺至少包含以下信息，见表 7.2.1。当表中的基本参数超出特定值或规定范围时，其工艺应重新进行认可。当非基本参数超出特定值或规定范围时，其工艺则不需要重新进行认可。如有上述情况须对检测工艺进行书面修订或增补。

PAUT 工艺要求

表 7.2.1

| 要求 | 基本参数 | 非基本参数 |
|---|------|-------|
| 待检测材料类型或焊接结构，包括厚度尺寸和材料形态（铸件、锻件、管道、板材等） | X | ... |
| 待测物表面 | X | ... |
| 技术（直入射、斜入射、接触和/或沉浸） | X | ... |
| 波在材料中传播的角度和模式 | X | ... |
| 探头类型、频率、晶片大小和数量、中心距、间距以及形状 | X | ... |
| 焦距（区分平面聚焦、深度聚焦或声程聚焦） | X | ... |
| 虚拟孔径的大小（即元件数量、有效高度 ^① 和元件宽度） | X | ... |
| E 扫描和 S 扫描的聚焦法则（即使用的元件数量范围、使用的角度范围、元件或角度步进变化） | X | ... |
| 特殊探头、楔块、探头靴或鞍座（使用时） | X | ... |
| 超声波仪器 | X | ... |
| 校准(校准试块和技术) | X | ... |
| 扫查方向和范围 | X | ... |
| 扫查方式（手动与自动） | X | ... |
| 指示测量以及几何构造和缺陷的区分方法 | X | ... |
| 计算机增强数据的采集（使用时） | X | ... |
| 扫查重叠（仅减少时） | X | ... |
| 必要时的人员绩效要求 | X | ... |
| 检测等级、验收等级和/或记录等级 | X | ... |
| 人员资质要求 | ... | X |
| 表面状况（检测面，校准试块） | ... | X |
| 耦合剂（品牌或类型） | ... | X |
| 检测后的清洁技术 | ... | X |
| 自动警报和/或记录设备（在适用情况下） | ... | X |
| 记录，包括要记录的最小校准数据（例如：仪器的设置） | ... | X |
| 环境和安全问题 | ... | X |

注：①有效高度是聚焦法则中所用的第一个晶片到最后一个晶片的外边缘之间的距离。

7.2.2 检测

7.2.2.1 检测等级

检测工艺中规定的检测等级应符合船级社认可的标准。ISO 13588:2019 中规定四个检测等级，每个等级对应不同的缺陷检出概率。

7.2.2.2 焊缝检测

焊缝检测应符合 ISO 13588:2019 和本附录附加的特殊要求。

7.2.2.3 材料检测

材料检测应至少符合本附录 2.1 所述的要求。

7.2.2.4 检测体积

编制检测工艺应先确定检测目的。在此基础上，确定待检物体积。

制定扫查计划。扫查计划需注明波束覆盖率、焊缝厚度和焊缝几何形状等信息。如仅基于波幅进行评定，则要求使用 E 扫描（或线性扫描）来扫查焊缝的熔合面，以便波束能够尽可能垂直于熔合面（ $\pm 5^\circ$ 的误差）。如通过演示验证能证明使用 S（或扇形）扫描工艺能够检出和测量熔合面上的不连续性，则可以省略该要求（注：所用的参考试块的熔合区域内应包含反射体）。

7.2.2.5 参考试块

根据检测等级选用参考试块以确定检测的充分性（例如：覆盖率、灵敏度设置）。参考试块的设计和制造应符合 ISO 13588:2019 或公认的等效标准和船级社的具体要求。

7.2.2.6 指示评估

在执行检测工艺时，检测到的指示应根据“长度结合自身高度”或“长度结合最大波幅”进行评估。指示评估应符合 ISO 19285:2017 或公认标准和船级社的具体要求。尺寸测量的技术包括参考线、时间增益修正（TCG）、距离增益大小（DGS）和 6dB 下降法。6dB 下降法只能用于测量大于波束宽度的指示。

7.3 衍射时差技术（TOFD）

TOFD 应按照 ISO 10863:2011 和 ISO 15626:2018 的工艺规程或公认的标准以及船级社具体要求实施。

7.3.1 检测前所需信息

编写工艺至少应包含以下信息，见表 7.3.1。当表中的基本参数超出特定值或规定范围时，其工艺应重新进行认可。当非基本参数超出特定值或规定范围时，其工艺则不需要重新认可。如有上述情况须对工艺进行书面修订或增补。

TOFD 工艺要求

表 7.3.1

| 要求 | 基本参数 | 非基本参数 |
|------------------------------------|------|-------|
| 待检测的焊接结构，包括厚度尺寸和材料形态（铸件、锻件、管道、板材等） | X | ... |
| 待检测物件的表面状况 | X | ... |
| 波在材料中的传播角度 | X | ... |
| 探头类型、频率和晶片的大小/形状 | X | ... |
| 特殊探头、楔块、探头靴或鞍座（使用时） | X | ... |
| 超声仪器和软件 | X | ... |
| 校准（校准试块和技术） | X | ... |
| 扫查方向和范围 | X | ... |
| 扫查方式（手动与自动） | X | ... |
| 数据采样间隔（仅增加） | X | ... |
| 尺寸指示以及几何构造和缺陷的区分显示 | X | ... |
| 计算机增强数据的采集（使用时） | X | ... |
| 扫查重叠（仅减少时） | X | ... |
| 必要时的人员绩效要求 | X | ... |
| 检测等级、验收等级和/或记录等级 | X | ... |
| 人员资质要求 | ... | X |
| 表面状况（检测面，校准试块） | ... | X |
| 耦合剂（品牌或类型） | ... | X |
| 检测后的清洁技术 | ... | X |
| 自动警报和/或记录设备（在适用情况下） | ... | X |
| 记录，包括要记录的最小校准数据（例如：仪器的设置） | ... | X |
| 环境和安全问题 | ... | X |

7.3.2 检测

7.3.2.1 检测等级

检测工艺中规定的检测等级应符合船级社认可的标准。ISO 10863:2011 中规定四个检测等级，每个等级对应于不同的缺陷检出率。

7.3.2.2 检测体积

编制检测工艺应先确定检测目的。在此基础上，确定待检物体积。

制定扫查计划。扫查计划包含探头位置、波束覆盖率、焊缝厚度和焊缝几何形状等信息。

7.3.2.3 由于 TOFD 方法特性，扫查计划可能存在 TOFD 无法完全覆盖的焊接体积区域（通常称为盲区，存在于直通波、底面或两者）。如扫查计划显示的盲区未能得到充分的检测，则应进一步采用其他 TOFD 扫查方式和/或补充的无损检测方法，以达到全部检测范围。

7.4 数字射线(RT-D)

RT-D 应按照检测工艺执行，检测工艺需按照 ISO 17636-2:2013 及其引用的标准，或依据公认的标准和船级社的其他具体要求制定。

在应用标准的过程中发生的任何变动（如像质计位置）都应经船级社同意。

编写检测工艺应包括以下信息，见表 7.4。

数字射线工艺要求

表 7.4

| 要求 |
|--|
| 待检测物的材料类型和焊接结构，包括厚度尺寸和材料形态（铸件、锻件、管道、板材等） |
| 数字化系统说明： |
| 数字化系统生产厂家及型号 |
| 图像监控器有效区域的实际尺寸 |
| 扫查装置的胶片规格 |
| 胶片扫查系统的激光束焦点尺寸 |
| 由监控器的垂直/水平分辨率限制所定义的图像显示像素大小 |
| 视频显示器的亮度 |
| 数据存储介质 |
| 数字化技术： |
| 使用数字化仪焦点尺寸（微米） |
| 无损耗数据压缩技术（如使用） |
| 图像采集验证方法 |
| 图像处理操作 |
| 系统校验时间间隔 |
| 使用空间分辨率： |
| 对比灵敏度（获得的密度范围） |
| 使用动态范围 |
| 系统空间分辨率 |
| 材料类型和厚度范围 |
| 使用源类型或最大 X 射线管电压 |
| 探测器类型 |
| 探测器校准 |
| 源与目标之间的最小距离 |
| 检测对象与探测器之间的距离 |
| 源的尺寸 |
| 检测对象的扫查方案（如适用） |
| 图像质量的测量工具 |
| 像质指示器（IQI） |
| 单线像质指示器 |
| 双线像质指示器 |

| |
|------------------|
| 图像识别指示器 |
| 检测等级、验收等级和/或记录等级 |
| 人员资质要求 |
| 表面状况 |
| 记录，至少包括要记录的校准数据 |
| 环境和安全问题 |

7.4.1 检测等级

关于 ISO 17636-2:2013 中检测等级的选择，请参考本附录 8.4。

8 验收标准

8.1 一般要求

8.1.1 本附录详细说明评估无损检测结果所遵循的验收等级。方法包括但不限于：相控阵超声检测 (PAUT)、衍射时差技术 (TOFD)、数字射线 (RT-D)。

8.1.2 必要时可结合多种检测方法，以便根据验收标准来评估指示。

8.1.3 每种材料和焊缝的验收标准应符合 2.1.1 中所包含的相关规范和指南。

8.2 相控阵超声检测

8.2.1 焊缝检测

验收等级、检测等级和质量等级的关系见表 8.2.1。

焊缝相控阵超声检测的质量等级和验收等级应符合 ISO 19285:2017 或船级社认可的标准。

PAUT 验收等级 表 8.2.1

| <u>基于 ISO 5817:2014 的质量等级</u> | <u>基于 ISO 13588:2019 的检测等级</u> | <u>基于 ISO 19285:2017 的验收等级</u> |
|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <u>C, D</u> | <u>A</u> | <u>3</u> |
| <u>B</u> | <u>B</u> | <u>2</u> |
| <u>双方协商</u> | <u>C</u> | <u>1</u> |
| <u>特殊应用</u> | <u>D</u> | <u>双方协商</u> |

8.2.2 材料检测

PAUT 进行材料检测的质量等级和验收等级应符合船级社认可的标准。

材料检测的验收等级应至少符合国际船级社协会相关的统一要求和建议。

8.3 衍射时差技术

验收等级、检测等级和质量等级的关系见表 8.3。

焊缝 TOFD 的质量等级和验收等级应符合 ISO 15626:2018 或船级社认可的标准。

TOFD 验收等级 **表 8.3**

| <u>基于 ISO 5817:2014 的 验收等级</u> | <u>基于 ISO 10863:2011 的检测等级</u> | <u>基于 ISO 15626:2018 的验收等级</u> |
|------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <u>B (严格)</u> | <u>C</u> | <u>1</u> |
| <u>C (中等)</u> | <u>至少 B</u> | <u>2</u> |
| <u>D (适度)</u> | <u>至少 A</u> | <u>3</u> |

8.4 数字射线

验收等级、检测等级和质量等级的关系见表 8.4。

焊缝数字射线检测的质量等级和验收应符合 ISO 10675 或船级社认可的标准。

数字射线验收等级 **表 8.4**

| <u>基于 ISO 5817:2014 或 ISO 10042:2018 的 质量等级</u> | <u>基于 ISO 17636-2:2013 的检测技术/ 等级 (级)</u> | <u>基于 ISO 10675-1:2016 和 ISO 10675-2:2017 的验收等级</u> |
|---|--|---|
| <u>B (严格)</u> | <u>B (级)</u> | <u>1</u> |
| <u>C (中等)</u> | <u>B* (级)</u> | <u>2</u> |
| <u>D (适度)</u> | <u>A (级)</u> | <u>3</u> |

*对于环焊缝检测，最小曝光次数应符合 ISO 17636-2:2013 A 级的要求

9 报告

9.1 检测报告至少应包含以下信息：

- (1) 参考标准；
- (2) 与待测工件有关的信息：
 - ① 待测工件的标识；
 - ② 尺寸信息，包括壁厚；
 - ③ 材料类型和产品形态；
 - ④ 几何结构；
 - ⑤ 检测焊缝位置；
 - ⑥ 参考焊接工艺和热处理；
 - ⑦ 表面状况和温度；
 - ⑧ 制造阶段；
- (3) 设备有关的信息：

设备信息 **表 9.1 (3)**

| <u>方法</u> | <u>信息</u> |
|--------------------------------|--|
| <u>全部</u> | <u>仪器的制造商和类型，包括编号（如需要）</u> |
| <u>相控阵 超声检测 (PAUT)</u> | <u>①相控阵探头制造商、型号和频率，晶片的数量和尺寸，楔块的材料和角度，以上设备编号（如需要）；</u> <u>②提供带有识别号的参考试块的详细信息；</u> <u>③使用的耦合剂类型。</u> |

| | |
|---------------|---|
| 衍射时差技术 (TOFD) | ①制造商、类型、频率、元件尺寸和带有识别号的探头的波束角度 (如需要); ②提供带有识别号 (如需要) 的参考试块的详细信息; ③使用耦合剂类型。 |
| 数字射线 (RT-D) | ①使用的标记系统; ②辐射源、焦点类型和尺寸以及所用设备的标识; ③探测器、屏幕和滤波板及探测器基本空间分辨率; |

(4) 检测技术相关信息:

检测技术相关信息 表 9.1 (4)

| 方法 | 信息 |
|----------------|--|
| 全部 | ①检测等级和参考标准; ②检测目的和范围; ③基准和坐标系的详细信息; ④用于量程和灵敏度设置的方法和数值; ⑤信号处理和扫查步进设置的详细信息; ⑥接触面限制以及与标准的偏差 (如有时)。 |
| 相控阵超声检测 (PAUT) | ①步进 (E 扫) 或角度步进 (S 扫); ②晶片中心距和相邻晶片间距; ③聚焦深度 (校准应与扫查相同); ④虚拟孔径大小, 即晶片数量和晶片的宽度; ⑤用于聚焦法则的晶片编号; ⑥制造商提供的有关允许楔块角度范围的文件; ⑦记录的校准、TCG 和角度增益补偿; ⑧扫查计划。 |
| 衍射时差技术 (TOFD) | ①TOFD 设置的详细信息; ②偏置扫查的详细信息 (如需要)。 |
| 数字射线 (RT-D) | ①探测器位置; ②使用时的管电压和电流或源类型及其放射源能量; ③曝光时间和源到探测器的距离; ④像质计的类型和位置; ⑤对于 RT-S 达到和要求的信噪比或对于 RT-CR 达到和要求的灰度值和/或信噪比; ⑥对于 RT-S: 类型和参数, 如灰度值、帧像周期、帧数、像素大小、校准工艺; ⑦对于 RT-CR: 扫查仪器的类型和参数, 如像素大小、扫查速度、灰度值、激光强度、激光焦点大小; ⑧图像处理过程中使用的参数, 如数字滤波器。 |

(5) 检测结果相关信息:

检测结果相关信息 表 9.1 (5)

| 方法 | 信息 |
|----|---|
| 全部 | ①采用的验收标准; ②记录相关指示信号的分类、位置和大小以及评估结果的表格数据; ③检测结果, 包括所用软件的数据; ④检测日期; ⑤涉及到的原始数据文件; ⑥扫查或曝光和检测报告的日期; ⑦人员姓名、签字和资质证书。 |

| | |
|-----------------------|--|
| 相控阵 超声检测 (PAUT) | ①检测到的相关指示所在位置的图像至少应以硬拷贝的形式进行存储；所有的图像或数据应以软件形式存储； ②参考点和坐标系的详细信息。 |
| 衍射时差 技术 (TOFD) | 检测到相关指示所在位置的图像 |

9.2 无损检测结果应由造船厂或生产商持续记录和评估，记录需提供给验船师。

9.3 造船厂或生产商负责无损检测结果的审查、解释、评价和接受,并在报告中说明是否符合检测工艺中规定的标准。

9.4 除上述一般报告的要求外，所用无损检测方法的特殊要求和细节，需在报告中列出。具体要求参见所用（检测）方法的相关标准。

9.5 造船厂或生产商应在船级社认可的要求期限内保存检测记录。

10 不可接受的指示和维修

超过所用验收标准的指示（不连续）都应归为缺陷，应根据国际船级社协会相关统一要求和建议要求进行消除和修复。

初稿