



中国船级社

材料与焊接规范

1998

1999年1月1日生效

地址Add: 北京市东黄城根南街40号
40 Dong Huang Cheng Gen Nan Jie,
Beijing 100006, China.
电话Tel: (010)65136633
传真Fax: (010)65130188
电传Tlx: 210407CCSBJ CN
邮码Postcode: 100006

目 录

| | |
|--------------------------------|------|
| 第1篇 金属材料 | (1) |
| 第1章 通则 | (3) |
| 第1节 一般规定..... | (3) |
| 第2节 试验与检验..... | (4) |
| 第2章 力学性能试验与工艺性能试验 | (6) |
| 第1节 一般规定..... | (6) |
| 第2节 拉伸试验..... | (6) |
| 第3节 冲击试验..... | (9) |
| 第4节 弯曲试验..... | (10) |
| 第5节 z向拉伸试验..... | (11) |
| 第6节 管材延性试验..... | (13) |
| 第3章 钢板、扁钢与型钢 | (15) |
| 第1节 一般规定..... | (15) |
| 第2节 一般强度船体结构用钢..... | (18) |
| 第3节 高强度船体结构用钢..... | (21) |
| 第4节 焊接结构高强度淬火回火钢..... | (24) |
| 第5节 锅炉与压力容器用钢..... | (26) |
| 第6节 机械结构用钢..... | (29) |
| 第7节 低温韧性钢..... | (29) |
| 第8节 奥氏体不锈钢..... | (30) |
| 第9节 复合钢板..... | (32) |
| 第10节 z向钢..... | (33) |
| 第4章 钢管 | (35) |
| 第1节 一般规定..... | (35) |
| 第2节 无缝压力管..... | (37) |
| 第3节 焊接压力管..... | (39) |
| 第4节 锅炉管与过热器管..... | (39) |
| 第5节 低温铁素体钢压力管..... | (40) |
| 第6节 奥氏体不锈钢压力管..... | (42) |
| 第5章 锻钢件 | (44) |
| 第1节 一般规定..... | (44) |
| 第2节 船用结构用锻钢件..... | (46) |
| 第3节 轴系与机械结构用锻钢件..... | (48) |
| 第4节 曲轴锻钢件..... | (50) |
| 第5节 齿轮锻钢件..... | (53) |
| 第6节 涡轮机锻钢件..... | (56) |

| | | |
|-------------|----------------------|--------------|
| 第7节 | 锅炉、压力容器与管系用锻钢件····· | (59) |
| 第8节 | 低温韧性锻钢件····· | (61) |
| 第9节 | 奥氏体不锈钢锻钢件····· | (62) |
| 第6章 | 铸钢件····· | (63) |
| 第1节 | 一般规定····· | (63) |
| 第2节 | 船体结构用铸钢件····· | (65) |
| 第3节 | 机械结构用铸钢件····· | (66) |
| 第4节 | 曲轴铸钢件····· | (68) |
| 第5节 | 螺旋桨铸钢件····· | (70) |
| 第6节 | 锅炉、压力容器与管系用铸钢件····· | (71) |
| 第7节 | 低温铁素体铸钢件····· | (73) |
| 第8节 | 奥氏体不锈钢铸钢件····· | (74) |
| 第7章 | 铸铁件····· | (75) |
| 第1节 | 一般规定····· | (75) |
| 第2节 | 灰铸铁件····· | (76) |
| 第3节 | 球墨铸铁件····· | (77) |
| 第4节 | 曲轴铸铁件····· | (79) |
| 第8章 | 铝合金····· | (81) |
| 第1节 | 一般规定····· | (81) |
| 第2节 | 铝合金板材与型材····· | (82) |
| 第3节 | 铝合金铆钉····· | (84) |
| 第4节 | 铝合金活塞····· | (85) |
| 第9章 | 其他有色金属····· | (87) |
| 第1节 | 铜质螺旋桨····· | (87) |
| 第2节 | 铸铜合金····· | (90) |
| 第3节 | 铜管····· | (92) |
| 第4节 | 轴承合金····· | (94) |
| 第10章 | 设备····· | (95) |
| 第1节 | 船用锚····· | (95) |
| 第2节 | 锚链及其附件····· | (97) |
| 第3节 | 海上设施系泊定位用锚链及其附件····· | (105) |
| 第4节 | 钢丝绳····· | (114) |
| 第2篇 | 非金属材料····· | (117) |
| 第1章 | 通则····· | (119) |
| 第1节 | 一般规定····· | (119) |
| 第2节 | 试验与检验····· | (119) |
| 第2章 | 纤维增强塑料····· | (121) |

| | | |
|------------|----------------------|--------------|
| 第1节 | 一般规定 | (121) |
| 第2节 | 原材料 | (122) |
| 第3节 | 成型工艺 | (123) |
| 附录 | 纤维增强塑料结构节点与施工缺陷分析 | (126) |
| 第3章 | 围裙材料及其连接件 | (140) |
| 第1节 | 一般规定 | (140) |
| 第2节 | 裙布材料与连接件 | (140) |
| 第3节 | 裙布的试验与力学性能 | (140) |
| 第4章 | 混凝土 | (142) |
| 第1节 | 一般规定 | (142) |
| 第2节 | 原材料 | (142) |
| 第3节 | 钢筋混凝土 | (143) |
| 第4节 | 海底管道混凝土加重层 | (145) |
| 第5章 | 纤维绳 | (147) |
| 第1节 | 一般规定 | (147) |
| 第2节 | 制造材料 | (147) |
| 第3节 | 试验 | (147) |
| 第3篇 | 焊接 | (149) |
| 第1章 | 通则 | (151) |
| 第1节 | 一般规定 | (151) |
| 第2节 | 试验 | (151) |
| 第2章 | 焊接材料 | (156) |
| 第1节 | 一般规定 | (156) |
| 第2节 | 焊接材料的力学性能 | (157) |
| 第3节 | 电弧焊焊条 | (159) |
| 第4节 | 埋弧自动焊的焊丝—焊剂 | (164) |
| 第5节 | 半自动、自动焊的焊丝与焊丝—气体 | (166) |
| 第6节 | 电渣焊或气电立焊的焊接材料 | (168) |
| 第7节 | 单面焊接双面成型的焊接材料 | (169) |
| 第3章 | 焊接工艺认可 | (171) |
| 第1节 | 一般规定 | (171) |
| 第2节 | 对接焊工艺认可试验 | (172) |
| 第3节 | 角接焊工艺认可试验 | (176) |
| 第4节 | T形、K形与Y形板构件全焊透工艺认可试验 | (178) |
| 第5节 | 倾斜或T形管节点全焊透工艺认可试验 | (178) |
| 第4章 | 焊工资格考试 | (180) |
| 第1节 | 一般规定 | (180) |

| | | |
|-------------|------------------------|--------------|
| 第2节 | 焊工考试与评定····· | (182) |
| 第3节 | 水下焊工考试与评定····· | (189) |
| 第5章 | 船体结构的焊接与铆接····· | (193) |
| 第1节 | 一般规定····· | (193) |
| 第2节 | 船体构件的焊接····· | (194) |
| 第3节 | 焊缝检验与修补····· | (196) |
| 第4节 | 奥氏体不锈钢及其复合钢板的焊接····· | (197) |
| 第5节 | 铝合金的焊接····· | (198) |
| 第6节 | 铆接····· | (199) |
| 第6章 | 海上设施结构的焊接····· | (202) |
| 第1节 | 一般规定····· | (202) |
| 第2节 | 结构焊接····· | (202) |
| 第3节 | 焊接检验····· | (204) |
| 第7章 | 受压壳体的焊接····· | (208) |
| 第1节 | 一般规定····· | (208) |
| 第2节 | 受压壳体的产品焊接试验····· | (208) |
| 第3节 | 受压壳体的制造····· | (211) |
| 第4节 | 热处理····· | (212) |
| 第5节 | 检验与修补····· | (213) |
| 第8章 | 重要机件的焊接····· | (217) |
| 第1节 | 一般规定····· | (217) |
| 第2节 | 转子轴的焊接····· | (217) |
| 第3节 | 机座、机架、汽缸与壳体等构件的焊接····· | (218) |
| 第9章 | 压力管系的焊接····· | (219) |
| 第1节 | 一般规定····· | (219) |
| 第2节 | 管子接头的焊接····· | (219) |
| 第3节 | 焊接质量检查····· | (220) |
| 第4节 | 焊后热处理····· | (221) |
| 第10章 | 海底管系的焊接····· | (222) |
| 第1节 | 一般规定····· | (222) |
| 第2节 | 管系的组装焊接····· | (222) |

总 则

1 性质与宗旨

1.1 中国船级社(以下简称本社)是根据中华人民共和国政府有关法令注册登记的、为社会利益服务的专业技术团体。

1.2 本社的服务宗旨是:

通过对船舶、海上设施、船用产品和集装箱提供合理和安全可靠的入级规范和 / 或技术标准, 并通过本社的检验工作和技术咨询, 为航运、海上开发及相关的制造业和保险业服务, 为促进海上人命和财产的安全与保护海洋环境服务. 不以营利为目的。

2 主要业务

2.1 本社的主要业务如下:

- (1) 制订各种船舶、海上设施、船用产品和集装箱的入级规范和 / 或技术标准, 并及时进行更新;
- (2) 对各种船舶、海上设施、船用产品和集装箱进行检验, 并签发相应的证书和必要的文件;
- (3) 参与有关标准的实施;
- (4) 接受中国政府和其他国家政府的授权, 代行法定检验和发证工作以及认证工作;
- (5) 接受其他方授权或委托进行检验和认证工作;
- (6) 进行有关安全技术和入级标准的研究和试验;
- (7) 承办公证检验业务;
- (8) 依据IMO国际安全管理规则 (ISM CODE) 要求对船舶及其公司执行安全管理体系 (SMS) 认证;
- (9) 按ISO9000系列国际标准要求进行质量体系认证
- (10) 提供有关安全技术与质量体系的技术咨询、技术服务和有关审核员培训;
- (11) 出版船舶录和船用产品录。

3 申请与费用

3.1 申请本社服务者, 均需由申请人向本社或本社指定单位或本社的当地分支机构提交本社统一的申请表, 并提供从事上述服务所需的图纸和技术文件。

3.2 申请人应按本社检验费规或服务协议支付费用和交通费以及其他必要的费用。

4 责任

4.1 本社的责任是聘用具有专门学识和检验技能的适任人员担任验船师或聘用有资格的人员担任本社非专职验船师, 按规定完成服务项目。

4.2 本社承担的船级业务是在所涉及的设计、建造、业主等其他方履行各自职责的基础上进行的。船级业务不能替代上述其他方的职责。

4.3 按本规范规定由本社签发的任何报告、文件和证书中所包含的内容, 均不意味着减轻或解除其他方的包括任何违约责任在内的任何责任。

4.4 符合本规范要求并取得证书的产品和 / 或取得船级证书的船舶, 是否可以接受或可以使用, 这是买方或业主的责任。

4.5 本社签发的与所执行检验有关的任何文件, 只反映检验当时的状况。

4.6 船舶营运后, 船东的责任是对船舶进行合适的维护和管理, 特别是船舶应在核定的航区、用途及转速下使用; 船舶的吃水应不超过核定的干舷或入级所批准的最大值; 船舶应适当装载, 并考虑其稳性和施加其结构上的应力, 且货物应适当存放和系固。

4.7 为顺利和及时进行各种检验, 申请人应提供适当的检验条件, 包括抵离检验地点的交通工具和执行检验而进入车间、工厂和船上等的其他方便。

5 申诉

5.1 验船师在执行其任务中与有关方产生分歧而又影响工作进度时，有关方应及时向验船师所在服务单位的领导提出或书面申诉；如对其处理意见仍不满意时，则可以书面连同详细背景材料向总部申诉；必要时可向负责的社长申诉。总部将根据情况作出最终的裁决。

5.2 如要求总部进行审查时，附加审查所产生的费用应由申诉人支付，但证明申诉是正确的除外。

6 赔偿与仲裁

6.1 提供检验 / 发证或咨询服务时，不论是本社、本社雇员还是本社代理人均不保证所做的任何决定或提供的信息或建议的精确性。

6.2 本社按照协议提供服务，在任何情况下本社均不对与本社无直接合同关系方的任何损失承担责任。

6.3 由于本社或本社雇员、代理人或本社其他代表方的疏忽行为造成损失或损害时，如该疏忽行为违反了合理的公认标准，本社将对之承担责任；但如该损失或损害系由如下行为所造成，本社将不承担任何责任：

(1) 本社雇员超越其受雇权限的行为；

(2) 本社的代理人或其他代表方超越本社对其书面授权范围的行为。

6.4 本社仅仅对由于自身疏忽行为而直接造成的损失或损害承担责任，在任何情况下本社均不对间接或随后引发的损失或损害承担责任。

6.5 本社的责任限于本社对有关服务项目已收取费用的两倍。在任何情况下该责任额将不能超过80万元人民币。

6.6 针对上述损失或损害的索赔必须以书面形式在损害最初被发现或损失形成的64个月内提出，否则将被视为彻底放弃索赔权。

6.7 除与本社另有约定外，所有由本社提供的服务、决定、信息、建议而引发的，或与之有关的争议将在北京提交中国海事仲裁委员会依据中国有关法律及该委员会现行仲裁规则进行仲裁，其为最终裁决并约束有关各方。

7 船级和法定资料的透明度

7.1 资料类型

实际资料类型如下：

常用文件；

船舶有关资料；

新建船舶；

营运船舶船级服务；

营运船舶法定服务；

其他资料。

7.2 资料接受者

资料接受者是：

船东；

船旗国；

港口国；

保险公司。

7.3 资料公开

表7.3表明有关资料公开的情况。表注说明公开的条件。

检验记录 / 制度的透明度

表 7.3

| 所述资料 | 资料可用单位 | | | | |
|---------------------|--------|-----|-----|-------|----|
| | 船东 | 船旗国 | 港口国 | 保险公司* | 船厂 |
| 1本社常用文件 | | | | | |
| • 规范和指导性文件<船级和法定要求) | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| • 验船师须知 | | 1 | | | |
| • 质量手册 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| • 船舶录及船用产品录 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2船舶有关资料 | | | | | |
| 2.1新建船舶 | | | | | |
| • 批准的图纸 | 6 | 1 | | | 7 |
| • 正式批准信函 | 1 | | | | 7 |
| • 重要设备证书 | 2 | | | | 7 |
| 2.2营运船舶 | | | | | |
| • 船级服务 | | | | | |
| 所有船级检验日期(年和月) | 7 | 1 | 1 | 1 | |
| 船级证书到期日期 | 7 | 7** | 1 | 1 | |
| 证书 / 报告 | 7 | 1 | 6 | 5 | |
| 过期检验 | 7 | 7** | 1 | 1 | |
| 船级条件 / 建议的内容 | 7 | 1 | 1 | 1 | |
| 过期船级条件 / 建议的内容 | 7 | 1 | 1 | 1 | |
| 完工的船体概要 | 7 | 3 | 3 | 3 | |
| • 法定服务 | | | | | |
| 法定检验的规定日期 | 7 | 7** | 1 | 1 | |
| 法定证书到期日期 | 7 | 7** | 1 | 1 | |
| 登记国法定建议 | 7 | 7** | 1 | 1*** | |
| 过期的法定建议 | 7 | 7** | 1 | 1*** | |
| 3. 其他资料 | | | | | |
| • 与船厂和 / 或船东的相应文件 | 6 | 6 | | 5+6 | |
| • 本社质量保证体系的审核 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| • 转级报告 | 7 | 7 | 7 | 7 | |
| • 取消船级资料 | 7 | 7 | 7 | 7 | |

* 保险公司系指保赔协会和船体保险商。

** 如在协议中陈述时。

*** 船旗国协议中制止的除外。

注：1 根据要求可提供。

2 由船厂提供。

3 登船查看时可提供。

4 根据要求，审核结果可提供。

5 当船东接受或在保险合同中通过的特别条款时。

6 如适用，当船东(船主)或船厂接受时。

7 可自动提供。

7.4 执行

7.4 执行本条应于 1996 年 1 月 1 日起适用。

第 1 篇 金属材料

第 I 章 通 则

第 I 节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 用于船体、机械、锅炉和压力容器及海上设施等的材料或产品的制造、试验和检验，应符合本篇有关规定，并应具备完整的合格证件。

1.1.1.2 用于船体、机械、锅炉和压力容器及海上设施等的材料或产品凡未列入本篇者，其化学成分、力学性能和热处理规程，可按本社接受的其他标准验收。

新产品、新材料应经本社认可后方可装船使用。

1.1.2 标志

1.1.2.1 所有经本社认可或检验合格的材料或产品均应标上本社的标志。凡不具有本社标志的材料或产品，经本社同意后，才能装船使用。

1.1.3 制造

1.1.3.1 制造厂应向本社认可的工厂订购材料或产品。

1.1.3.2 生产材料或产品的工厂应具备必需的生产和试验设备，并设有完善的质量检验机构，执行严格的检验制度，以保持有良好的产品质量。

1.1.4 认可与检验

1.1.4.1 对制造船舶或海上设施用的材料、零部件、产品、设备等的工厂，应根据本社建立的适用的程序，进行型式认可或工厂认可。

1.1.4.2 图纸资料审查：拟在本社人级的船舶或海上设施上使用的材料、零部件和设备等产品，在制造前，产品制造厂一般应按规范要求将需批准的图纸资料一式 3 份提交给本社指定的审图单位进行审查。批准后的图纸资料，1 份留存审图单位，1 份交给执行检验单位，1 份退给产品制造厂。如审图与检验为同一单位时，则仅需提交 2 份图纸资料。特殊情况下，经本社同意，产品制造厂可直接将图纸资料提交给执行检验单位审查。在图纸中已包含零部件图纸且已获得批准时，则可以不必再提交。

1.1.4.3 船舶或海上设施用材料或产品应经本社检验。验船师应：

(1) 按批准的图纸进行检验。

(2) 参加规定项目的试验。

(3) 经检验和试验并确认符合规范和批准的图纸的要求后，根据制造厂提供的技术资料编写“船用产品证书”。

(4) 船用产品证书除列出产品名称、制造厂等内容外，如有其他限制条件或/和装船后需补作的试验要求等也应注明。

(5) 对不在本社检验下制造的产品，应提交 1 份图纸资料相关试验报告供审查，必要时应进行确认试验或/和拆检。

第2节 试验与检验

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 工厂应为验船师开展工作提供方便，并向验船师提供必要的资料，使其能按规范要求核实工厂是否按经认可的工艺规程进行生产，以及产品质量是否合格和稳定。

1.2.1.2 任何材料在后续的热加工或制造过程中如发现并证实其不符合要求，则即使该材料事先持有合格证书，也应予以报废。

1.2.2 化学分析

1.2.2.1 材料和产品制造厂的试验室应配备足够的设备和称职的人员，以便正确测定试样的化学成分。

1.2.2.2 工厂的化学分析报告可以得到本社的承认，但验船师可以不定期取样抽查。如果对材料的化学成分有疑问时，验船师亦可要求在材料或产品上取样作化学成分的复查。成品分析与炉罐取样分析之间偏差，应符合本社认可的其他标准。

1.2.3 热处理

1.2.3.1 材料的交货状态应符合本篇有关章节的规定。重要的锻、铸件应经热处理。热处理规程由制造厂制订，并提交本社认可。

1.2.3.2 热处理应在结构合理、运行良好、并有适当方法控制和记录炉温的炉子中进行，炉膛的大小应能使整个工件均匀地加热到必要的温度。对于大部件需要热处理时，可采用经本社同意的适当替代方法。

1.2.4 力学性能试验

1.2.4.1 力学性能试验试样的数量、尺寸及截取方向等应符合本篇第2章及以后各章的要求。

1.2.4.2 当规定进行夏比冲击试验时，应制备1组3个冲击试样，其平均冲击功应符合本篇有关章节的规定，其中1个单值可低于规定平均值，但应不低于该平均值的70%。

1.2.5 复试

1.2.5.1 除冲击试验外，当材料的任一项力学性能试验结果不符合要求时，对不合格的项目，可再取2倍数量的试样进行复试。复试结果均合格者，则该批材料可以验收。

1.2.5.2 当1组3个冲击试样所得结果不符合规定时，只要低于规定平均值的单值不超过2个，且最多只有1个单值低于该平均值的70%，则可再取1组3个冲击试样进行附加试验。附加试验所得结果应与原来的结果合在一起平均，新的平均值不低于规定值时方可验收。并且，在这6个参与平均的单值中，低于规定平均值的单值应不超过2个，且最多只允许1个单值低于该平均值的70%，否则仍不能验收。

1.2.5.3 本节1.2.5.1和1.2.5.2中允许进行复试和附加试验的试样，应从接近原先取样部位的材料上制取。

对于铸件，如原来的试样没有多余的材料时，复试和附加试验的试样，可在其他能代表该铸件的部位上制取。

1.2.5.4 如按本节1.2.5.1和1.2.5.2的规定进行的复试或附加试验结果仍不合格，则已做试验的单件不能验收。假如另外任选2个单件做全套试验，并得到满意结果，则该批材料的剩余部分可以验收。如果试验中仍有一个结果不合格，则该批材料不能验收。

1.2.5.5 当一批材料被拒收时，该批材料中未做试验的单件仍可逐件重新提交试验，试验结果合格者，仍可逐件验收。

制造厂可将该批不能验收材料按本节1.2.3.2的要求进行热处理后再重新提交全部项目的试验，试验合格者仍可验收。试验不合格者仍可按本节1.2.5.1和1.2.5.2的规定进行复试。复试不合格者，该批材料不再提交验收。

1.2.6 缺陷的修整

1.2.6.1 材料的表面和内部应无会影响其使用的缺陷。缺陷的判定按本社接受的其他标准执行。

1.2.6.2 轻微的表面缺陷可以用机械方法去除，在适当的条件下，也可采用焊接方法修补缺陷，但应符合本篇各章节的有关要求。同时，缺陷修整的范围和方法，应征得验船师同意。

1.2.7 材料的标记

1.2.7.1 合格的材料和产品均应打上本社的标志。如某些材料无法打上硬印时，可采用型板喷涂、油漆或电蚀等方法。用油漆标记合金钢时，油漆中应不含铅、铜、锌或锡等有害成分。对于用箱、桶或类似容器包装的相同类型和尺寸的小型产品以及捆扎在一起的棒材和型材，经验船师同意，可只在每捆或每一包装表面上标以明显印记，或者牢固地系上一只耐久的标签。

1.2.7.2 凡经检验合格的材料或产品，除打上本社的标志外，还应备有本社颁发的产品证书或由验船师(或验船师代理人)签署的制造厂的产品合格证书，以证实材料或产品符合规范、制造工艺规程和检验程序的要求。

1.2.7.3 制造厂应检查所用的原材料、零部件有否本社的标志。当需要时，制造厂应向验船师提供原材料或零部件的合格证书和标记。

第2章 力学性能试验与工艺性能试验

第1节 一般规定

2.1.1 适用范围

2.1.1.1 本章规定适用于船用金属材料的常规力学性能试验(包括拉伸、冲击、硬度和蠕变等试验)和工艺性能试验(包括弯曲及管材的压扁、扩口、卷边和弯曲等试验)。本章规定以外的试验,可按本篇其他章节中的规定或本社接受的有关标准执行。

2.1.2 试验材料

2.1.2.1 试验材料是材料中用于制备试样的部分材料。除另有规定外,所有试验材料应由验船师(或验船师代理人)选定。

选择试验材料时,应尽可能使它们对材料的质量具有代表性。

2.1.2.2 如果某种处理(如热处理)会影响材料性能时,试验材料应与原材料经受完全相同的处理。

2.1.3 试样的制备

2.1.3.1 试样制备的方式应尽可能不影响原材料的性能。当制备轧材的试样时,应尽可能保留原轧制面。或尽量接近原轧制面。

2.1.3.2 截取试样时,若采用剪切或火焰切割方法,则应留有足够的加工余量以消除受影响的区域。

2.1.3.3 试样在矫直或机械加工时,不可经受过分的加热或冷变形。

2.1.4 试验机

2.1.4.1 所有试验应在认可型式的试验机上由合格的人员操作。试验机应保持良好而准确的状态,并按规定时间间隔进行校验,校验应由本社承认的机构或标准组织进行。所有的校验记录应完整地保存在试验室内,以备验船师随时核查。

2.1.5 试样的作废

2.1.5.1 如果因试样制备不合要求或试验机操作不当而造成试验不合格时,可将该试样作废,并由与原试样相邻部位的原材料上制备的新试样来代替。

2.1.5.2 拉伸试验时,如断裂处与最近的标距标记之间的距离小于标距长度的1/3,且达不到规定的最小伸长率时,该试样可予作废,并重新取样进行试验。

2.1.6 试验温度

2.1.6.1 除冲击试验外,如以后各章节中无特殊规定,力学性能试验与工艺性能试验应在室温(18~25℃)下进行。

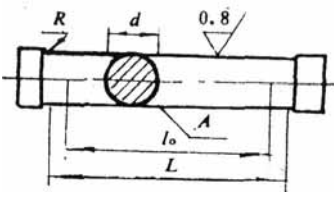
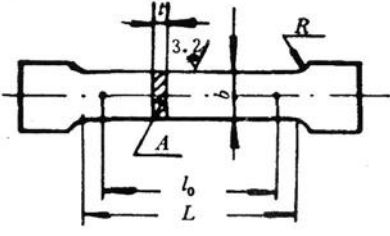
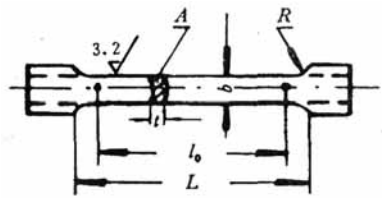
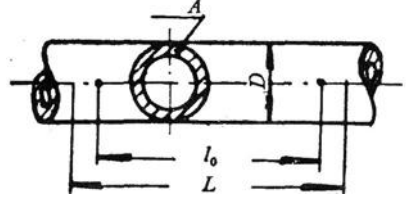
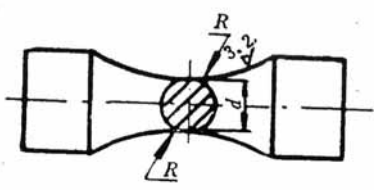
第2节 拉伸试验

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 船用金属材料的抗拉强度 σ_b 、屈服点 σ_s 、伸长率 δ_5 以及断面收缩率 ψ 等力学性能应由拉伸试验测定。

拉伸试样的形状和尺寸

表2.2.2.1

| 序号 | 形状样式 | 试样尺寸 (mm) | 适用材料 |
|----|---|---|------------------------------------|
| 1 |  | (A) $l_0 = 5d, d \geq 10, L = l_0 + 0.1l_0, R \geq 10$ | 轧制件、锻件。铸件(灰铸铁除外)和壁厚大于16mm的管子 |
| | | (B) $l_0 = 70, d = 14, L \approx 85, R \geq 10$ 对球墨铸铁和规定伸长率小于10%的材料： 材料： $R \geq 20$ | |
| | | (C) $l_0 = 5d, d = \text{直径}, L = l_0 + d, R \geq 10$ 对球墨铸铁和规定伸长率小于10%的材料： $R \geq 1.5d$ | |
| 2 |  | (A) $l_0 = 5.65\sqrt{A}, t = \text{板材厚度}$ $b = 25, L \approx l_0 + 2\sqrt{A}, R \geq 25$ | 轧制件厚度 $\geq 3\text{mm}$ 本篇第3章和第8章) |
| | | (B) $l_0 = 200, t = \text{板材厚度},$ $b = 25, L \approx 225, R \geq 25$ | |
| | | (C) 板材厚度 $b = 12.5L \approx 70, R \geq 25$ | 轧制件厚度 $\geq 3\text{mm}$ (本篇第3) |
| 3 |  | $l_0 = 5.65\sqrt{A}, t = \text{公称管壁厚度}$ $b = 12, L = 2b, R \geq 25$ 试样沿管轴向截取，试验长度部分不应压平，而两端夹头部分则应压平 | 钢管 |
| 4 |  | $l_0 = 5.65\sqrt{A}$ 或 $50, L \approx l_0 + D$ 管子两端应堵住，上式中L是两端夹头间的距离 | 钢管 |
| 5 |  | $d = 20, R \geq 25$ 试样应从被试验的部件中制备，直径为30mm的试样可以单独铸造灰口铸铁 | 灰口铸铁 |

表中： l_0 ——标距长度mm；

L ——试样平行段的平行长度，mm；

A_0 ——试样平行长度部分的原始横截面积， mm^2 。

注：① 对板材、扁钢和型材的试样应加工成表中序号2所示的尺寸。对于全厚度试样，若试验机能力不足，可对一个轧制面进行加工，将厚度减薄至25mm。

② 除表中所规定的试样外，亦可采用经本社同意的其他试样。

2.2.2 试样

2.2.2.1 和尺寸应符合表2.2.2.1的规定。试样端部可加工成适宜于试验机夹头夹持的形状。

2.2.2.2 拉伸试样经机械加工后，其尺寸公差应符合本社接受的有关标准。

2.2.3 试验

2.2.3.1 在室温下进行拉伸试验时：

(1) 在测定钢材的上屈服点或规定非比例伸长应力时，弹性应力变化率应不超过每秒30N/mm²对有色金属应不超过每秒10N/mm²。在达到屈服载荷后，测定抗拉强度时，应变速率最大应不超过每分钟40%原标距长度；在测定球墨铸铁的抗拉强度时，应力变化率应不超过每秒10N/mm²；

(2) 本篇所涉及的钢材并不都明显地呈现屈服现象，对不同种类的钢材的屈服点作如下规定：

① 碳钢、碳锰钢和合金钢产品及其焊接材料，应测定上屈服点，或载荷下的规定非比例伸长为0.5%时所对应的应力($\sigma_{P0.5}$)；

② 奥氏体不锈钢产品及其焊接材料，应测定0.2%和/或1.0%的规定非比例伸长应力($\sigma_{P0.2}$ 和/或 $\sigma_{P1.0}$)；

(3) 钢材上屈服点的测算应根据：

① 试验机标杆明显下落前的瞬时载荷；

② 指针退回之前的瞬时载荷或指针停滞时的载荷；

③ 载荷—拉伸图上屈服阶段塑性变形开始处的载荷或屈服阶段的第一个峰值载荷，不论该峰值载荷是否等于或小于随后出现的其他峰值载荷；

(4) 当钢材的屈服现象不明显时，载荷下的0.5%或1.0%规定非比例伸长应力应由相应于总伸长为原标距长度0.5%或1.0%时的载荷来计算。此时，伸长应采用适当的伸长计或分规测定；

(5) 0.2%或1.0%规定非比例伸长应力应通过在精确的载荷—拉伸图上画一条与弹性变形的直线部分相距0.2%或1.0%标距(用伸长计测量)的平行直线来确定。此直线与载荷—拉伸图的塑性变形部分的交点表示屈服载荷，可根据此屈服载荷计算0.2%或1.0%规定非比例伸长应力。

2.2.3.2 在高温($\geq 150^{\circ}\text{C}$)下进行拉伸试验时：

(1) 测定高温下的下屈服点或0.2%规定非比例伸长应力所用的试样，其标距长度 l_0 应不小于

50mm，而横剖面面积 A 应不小于65mm²。如果由于产品的尺寸或试验机能力的限制，试样亦应取实际可能达到的最大尺寸；

(2) 加热设备应保证在试验时，试样温度与规定温度之间的偏差不大于 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ；

(3) 在接近下屈服点或规定非比例伸长应力时，应变速率应控制在每分钟0.1%~0.3%原标距长度范围内；

(4) 计算应变速率时，测量应变的时间间隔应不超过6s。

2.2.4 等效伸长率

2.2.4.1 当实际试样的标距长度不是 $5.65\sqrt{A}$ 时，为判定材料的伸长率是否符合本篇各章节所规定的 $l_0=5.65\sqrt{A}$ 时的最小伸长率，对应标距长度为 $5.65\sqrt{A}$ 试样的等效伸长率值 δ_E (%)应按下列式计算：

$$\delta_E = 2[\delta] \left(\frac{\sqrt{A}}{l} \right)^{0.4}$$

式中：[δ]——本篇各章节所规定的 $l_0 = 5.65\sqrt{A}$ 时的最小伸长率，%；

A ——试样平行段的原始横截面面积， mm^2 ；

l ——试样的标距长度， mm 。

试验时实际测得的伸长率应不小于最小等效伸长率。

2.2.4.2 上述换算关系仅适用于热轧、退火、正火或正火加回火状态且抗拉强度不超过 $700\text{N}/\text{mm}^2$ 的碳钢、碳锰钢和低合金钢。其他交货状态 and 抗拉强度超过 $700\text{N}/\text{mm}^2$ 的碳钢、碳锰钢和低合金钢，以及其他材料的最小等效伸长率，应按本社接受的方法另行计算。

第3节 冲击试验

2.3.1 试样

2.3.1.1 冲击试样应为夏比V型缺口或夏比U型缺口试样，如图2.3.1.1所示。其尺寸和公差应符合表2.3.1.1的规定。

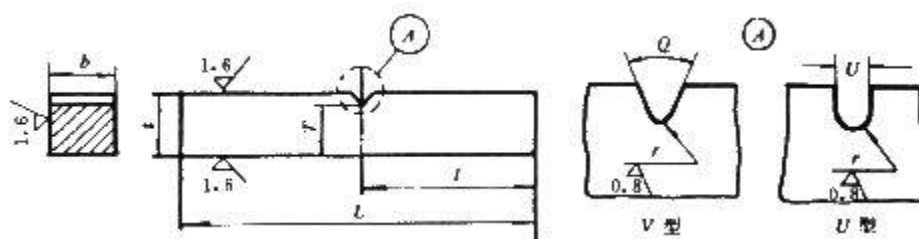


图2.3.1.1

冲击试样的尺寸

表2.3.1.1

| 名称 | 符号 | 夏比V型缺口试样 | | 夏比U型缺口试样 | | |
|------------------------------|--------|----------|-------------|------------|------------|------------|
| | | 公称尺寸 | 偏差 | 公称尺寸 | 偏差 | |
| 长度(mm) | L | 55 | ± 0.60 | 55 | ± 0.60 | |
| 宽度(mm) | 标准试样 | b | 10 | ± 0.11 | 10 | ± 0.11 |
| | 标准辅助试样 | b | 7.5 | ± 0.11 | - | - |
| | | b | 5 | ± 0.06 | | |
| 厚度(mm) | t | 10 | ± 0.06 | 10 | ± 0.11 | |
| 缺口角度($^\circ$) | Q | 45 | ± 2 | - | - | |
| 缺口宽度(mm) | U | - | - | 2 | ± 0.14 | |
| 缺口以下的厚度(mm) | T | 8 | ± 0.06 | 5 | ± 0.09 | |
| 缺口根部半径(mm) | r | 0.25 | ± 0.025 | 1 | ± 0.07 | |
| 试样端部至缺口中心距离(mm) | l | 27.5 | ± 0.42 | 27.5 | ± 0.42 | |
| 缺口对称面与试样纵向轴线间的角度($^\circ$) | - | 90 | ± 2 | 90 | ± 2 | |

2.3.1.2 冲击试样的截取部位和方向应符合本篇各章节的有关规定。试样通常为近表面试样，其缺口应垂直于原轧制面，开槽位置距离火焰切割或剪切边应不小于25mm。

2.3.1.3 对于厚度小于10mm的材料，应制成尽可能大的标准辅助试样，缺口方向应垂直于轧制面。标准辅助试样的宽度及其与标准试样冲击功的换算关系如表2.3.1.3所示。对于公称厚度在6mm

以下的材料，一般不要求进行冲击试验。

换算关系

表2.3.1.3

| 标准辅助冲击试样的宽度(mm) | 与标准试样冲击能量的换算系数 |
|-----------------|----------------|
| 7.5 | 5/6 |
| 5 | 2/3 |

2.3.2 试验

2.3.2.1 所有冲击试验应在经本社认可的摆锤式冲击试验机上进行，冲击试验机的规格应符合表2.3.2.1 的规定。

冲击试验机的规格

表 2.3.2.1

| | |
|---------------|----------------------------------|
| 试验机的最大冲击能量(J) | 150 |
| 支架间的距离(mm) | 40 ^{+0.5} ₋₀ |
| 支架的曲率半径(mm) | 1.0 ~ 1.5 |
| 支架的锥度 | 1:5 |
| 摆锤顶端角度(°) | 30 ± 1 |
| 摆锤顶端曲率半径(mm) | 1.0 ~ 2.5 |
| 摆锤瞬间冲击速度(m/s) | 4.5 ~ 7.0 |

2.3.2.2 冲击试验应在规定的温度下进行。试验温度不是室温时，应对试样温度进行严格控制。试样应在规定温度的环境下保持至少5min，并在取出后5s之内进行冲击，以保证断裂的瞬间，试样的温度在规定温度±2℃的范围之内。

第4节 弯曲试验

2.4.1 一般要求

2.4.1.1 弯曲试验一般用于检验金属材料的弯曲性能和冶金缺陷。

2.4.1.2 试验时，将试样放在试验机上，以符合有关章节要求的压头直径D和弯曲角度α在室温下缓慢地加载弯曲。试验后，用肉眼或用5倍放大镜检查试样弯曲部分外侧有无裂纹或起层等缺陷。

2.4.2 试样

2.4.2.1 根据材料的种类，弯曲试样的尺寸应符合表2.4.2.1的规定。

2.4.2.2 试样应尽量保留材料原轧制面，当受试验机能力限制时，对于板材，可将试样受压面机加工减薄至25mm，而试样受拉面应为材料原轧制面；对于圆棒材，可将试样加工成直径为35mm的圆棒形试样。

弯曲试样的尺寸

表2.4.2.1

| 序号 | 试样尺寸(mm) | 适用材料 |
|----|--|-------|
| 1 | 试样厚度 $t = t_m$ ，试样宽度 $b = 2t \pm 2$ ， 试样长度 $L = 5t + 150$ ，试样边角半径 $r = 1 \sim 2$ ， t_m —试件厚度 | 轧制材料 |
| 2 | 试样厚度 $t = t_m$ ，试样宽度 $b = 5t \pm 2$ ， 试样长度 $L = 5t + 150$ ，试样边角半径 $r = 1 \sim 2$ ， t_m —试件厚度 | |
| 3 | 试样直径 $d = d_m$ ，试样长度 $L = 5d + 150$ ， d_m 试件直径 | |
| 4 | 试样厚度 $t = 20$ ，试样宽度 $b = 25$ ， 试样长度 $L \geq 9t + D$ ，试样边角半径 $r = 1 \sim 2$ ， D —压头直径 | 铸锻钢材料 |

第5节 Z向拉伸试验

2.5.1 一般要求

2.5.1.1 Z向拉伸试验是通过板厚方向的拉伸试验所测定的断面收缩率 ψ_z ，以检验与评定钢板的抗层状撕裂性能和冶金缺陷。

2.5.2 试样的截取和制备

2.5.2.1 Z向钢板沿板厚方向的拉伸试样的截取位置和数量规定如下：

(1) 应从板宽 B 的1/2处截取200mm×300mm试板一块，制备6个试样，3个做常规试验，3个备用(做可能进行的附加试验)，如图2.5.2.1(1)所示；

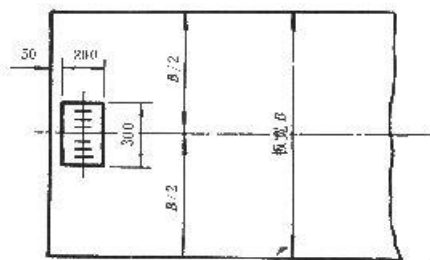


图2.5.2.1(1)

(2) 如果板重超过20t，则应从其另一端再制备6个试样，进行同样的试验。

2.5.2.2 板厚方向拉伸试样的制备：

(1) 当板厚 t 在40mm以下时，为使试样具有足够的标距长度，应在试板的两面焊上凸块，以供加工试样的夹持部分；凸块应采用厚度适当、抗拉强度不低于试板的板材制成；凸块和试板的焊接应采用手工焊或接触焊焊接，以减小焊接对试板的影响，如图2.5.2.2(1)所示；当采用手工焊接时，应选用小直径的低氢碱性焊条，焊接电流应尽量小，并应对称焊接；每焊完一道后，焊缝应冷却到250℃以下再焊下一道；

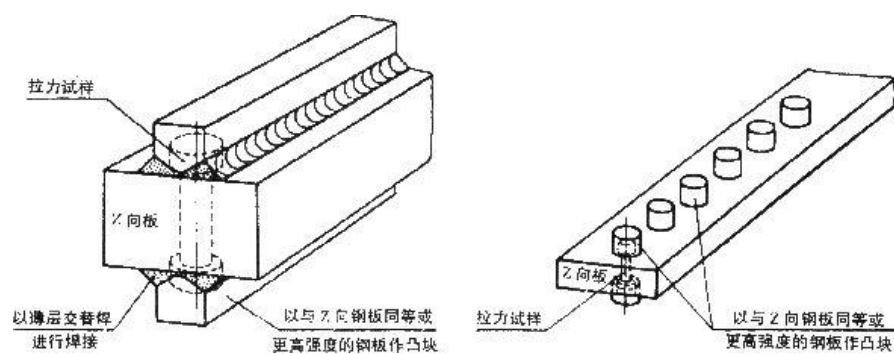


图2.5.2.2(1)

- (2) 当板厚 t 等于或大于40mm时，板厚方向试样可按板厚加工，不必另外焊接凸块；
- (3) 板厚方向试样的形式、尺寸和加工要求应符合图2.5.2.2(3)的规定。

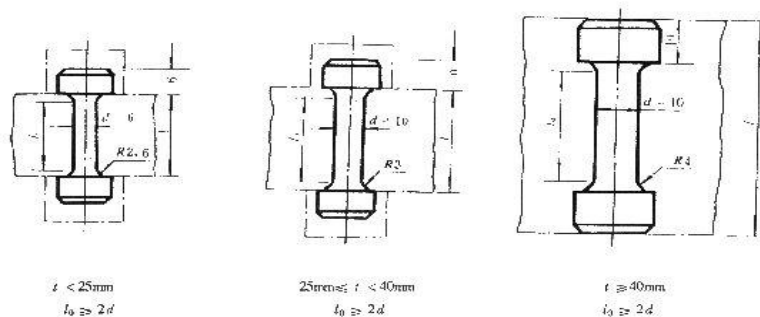


图2.5.2.2. (3)

2.5.3 试验

2.5.3.1 板厚方向拉伸试验按一般拉伸试验方法进行。其断面收缩率 ψ_z 是指拉伸试验后，试样断面面积的变化量与 A_0 比值的百分数：

$$\psi_z = [(A_0 - A) / A_0] \times 100\%$$

式中： A_0 ——试样的原始横截面面积；

A ——拉断后试样的断面面积，通常呈椭圆形，应沿断面相互垂直的方向测量断面直径 D_1 和 D_2 ，并按下式计算：

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right)^2$$

第6节 管材延性试验

2.6.1 压扁试验

2.6.1.1 试样的截取应使其端面垂直于管材的轴线，其长度应等于管材外径的1.5倍，但不小于10mm，也不大于100mm。

2.6.1.2 试验应在室温下沿垂直于管材轴线的方向施压。试验时，在两个平坦而有刚性的平行平板间对试样加压，平板的尺寸应超过压扁后试样的长度和宽度。

压扁试验应连续进行到平板间的距离 H (压载时测量) 不大于下式规定之值为止：

$$H = \frac{t(1+C)}{C + \frac{t}{D}} \quad \text{mm}$$

式中： t —— 管壁厚度， mm；

D —— 管材外径， mm；

C —— 系数，按钢种或特别要求决定，详见本篇第4章规定。

试验后，试样不应有破裂或裂纹，但试样端部的细小裂纹可以不计。

2.6.1.3 对于焊接管，焊缝应置于与压扁施力方向成90° 的位置。

2.6.2 扩口试验

2.6.2.1 试样的截取应使其端面垂直于管材的轴线，其长度应等于管材外径的1.5倍，且不小于50mm。试验端的边缘应锉成圆角。

2.6.2.2 试验应在室温下用45° 或60° 的坚硬圆锥形钢锥头对准管材中心线(如图 2.6.2.2 所示)压入管材，迫使管材端部扩大至本篇有关章节所规定的外径。试验时，锥头应加润滑剂，但锥头与管材在试验过程中不可相对转动。试验后，管材扩口部分不应有破裂或裂纹。

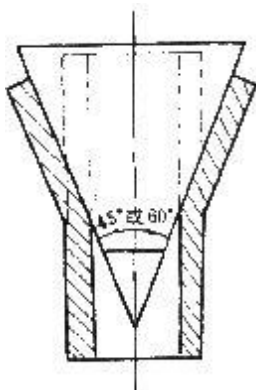


图 2.6.2.2

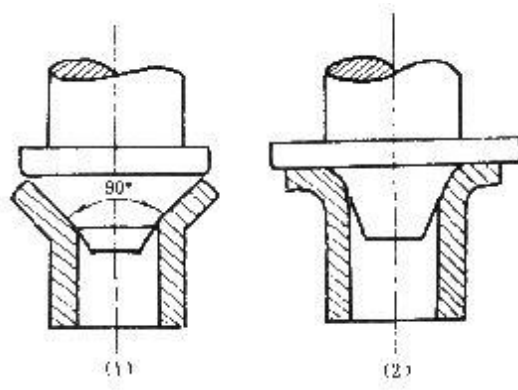


图2.6.3.2

2.6.3 卷边试验

2.6.3.1 试样的截取应使其端面垂直于管材的轴线，试样长度至少应等于管材外径，试验端的边缘应锉成圆角。

2.6.3.2 试验应在室温下用坚硬的圆锥形钢锥头(如图2.6.3.2中两种形式)，将管端卷边，直到试样端部增大至本篇有关章节规定的直径。试验后，管材的筒体和卷边部分不应有破裂或裂纹。

2.6.4 弯曲试验

2.6.4.1 应截取宽度不小于40mm的全厚度圆周板条作为试样；对于管壁较厚的试样，可机加工减薄至20mm。试样的边缘可加工成半径为1.6mm的圆角。

2.6.4.2 试验应在室温下进行。试验时，按照本篇第4章的有关规定，选取所需压头的直径。试样应在原来弯曲方向进行弯曲，弯曲角度为180° 弯曲后，试样应无裂纹或分层。

第3章 钢板、扁钢与型钢

第1节 一般规定

3.1.1 适用范围

3.1.1.1 本章规定适用于船体、机械、锅炉和受压力容器及海洋工程等所用的钢板、扁钢和型钢。

3.1.1.2 当使用不同于本章规定的钢材时，应将其化学成分、脱氧方法、交货状态和力学性能等资料提交本社认可。

3.1.2 制造

3.1.2.1 所有钢材，均应由经本社认可的钢厂按认可的工艺、钢种和等级进行生产。进行工厂认可时，本社可要求进行冷、热加工性能和焊接性能试验。

3.1.2.2 所有钢材应采用平炉、电炉或碱性吹氧转炉冶炼。钢材的脱氧方法应符合本章各节的规定。如采用其他冶炼方法，应经本社认可。

3.1.2.3 钢可浇铸在锭模中或采用经本社认可的连铸方法铸造并应符合下列规定：

- (1) 钢锭或连铸方坯(或扁坯)的尺寸与钢材成品最厚部分的尺寸间的比例，应达到足够的压缩比以保证成品具有良好的性能；
- (2) 若采用锭模浇铸，每个钢锭应切去足够的锭头锭尾，以保证成品无有害缺陷。钢厂应定期进行硫印或其他类似试验，以确保钢材具有良好的材质；必要时，验船师可要求进行此类试验；
- (3) 若采用连铸方法，应在验船师在场的情况下进行规定的试验，且试验结果应经本社认可。

3.1.2.4 钢材若采用温度-形变控制轧制(TMCP)及相关的工艺生产，则应在验船师在场的情况下进行规定的试验，并将试验结果以及有关工艺性和可焊性等技术资料提交本社认可。

3.1.3 厚度公差

3.1.3.1 对于本章第2、3和4节所规定的各类船体结构用钢板和宽扁钢，其厚度负偏差应不超过0.3mm。5mm以下的钢板和宽扁钢及型钢的公差范围应符合本社接受的其他标准。

3.1.3.2 对于本章第6节所规定的机械结构用钢板和宽扁钢，其厚度负偏差应符合表3.1.3.2的规定。

机械结构用钢板和宽扁钢的厚度负偏差

表 3.1.3.2

| 公称厚度 t (mm) | 负偏差 (mm) |
|------------------|----------|
| $5 \leq t < 8$ | < 0.4 |
| $8 \leq t < 15$ | < 0.5 |
| $15 \leq t < 25$ | < 0.6 |
| $25 \leq t < 40$ | < 0.8 |
| $t \geq 40$ | < 1.0 |

3.1.3.3 对于本章第5、7、8和9节所规定的钢材，如在订货合同中没有规定将公称厚度作为最小厚度时，则对板厚不超过10mm者，负偏差应不超过0.3mm；对板厚超过10mm者，负偏差应不超过0.5mm。

3.1.3.4 钢板和宽扁钢的厚度应在距边缘至少10mm处测量。

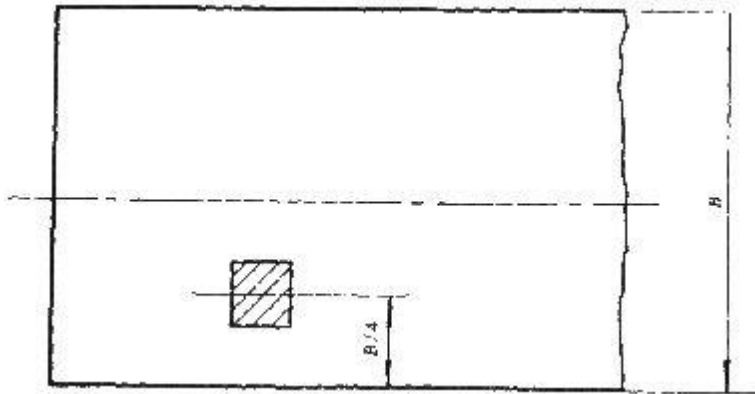
3.1.3.5 工厂应采取措施，确保在厚度公差检验合格后直至发货前，不致因锈蚀等原因导致不符合厚度公差的要求的情况；船厂亦有责任保证钢材在使用前不会因人为因素而不符合厚度公差的要求。

3.1.4 试样

3.1.4.1 应根据钢材的种类，按本章各节的有关规定，以单件取样试验或按批取样试验进行验收。当允许按批试验验收时，供试验的材料应从同一产品形式(钢板、扁钢或型钢)、同一炉罐号、同一轧制工艺和同一供货状态的一批材料中选取。

3.1.4.2 试验材料的大小应根据试样的尺寸、数量和截取方向确定。试验材料应从下列部位切取(对于尺寸较小的钢材，试验材料的切取位置应尽可能接近所规定的部位)：

(1) 对钢板和宽度 $\geq 600\text{mm}$ 的扁钢，应在端部距板边约 $1/4$ 板宽处切取，如图3.1.4.2(1)所示；



3.1.4.2(1)

(2) 对球扁钢、角钢等型钢，以及宽度 $< 600\text{mm}$ 的扁钢，应在端部距边缘约 $1/3$ 宽度处切取，如图3.1.4.2(2)所示。对于槽钢、工字钢等，也可在腹板上距边缘 $1/4$ 宽度处切取，如图3.1.4.2(2)(c)所示；

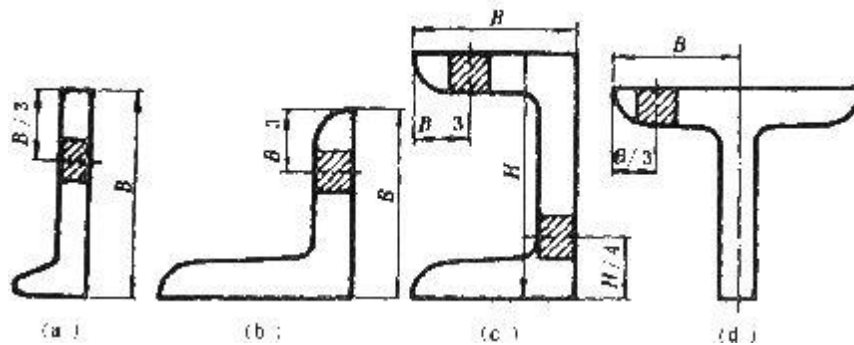


图3.1.4.2(2)

(3) 对于本章第2、3、4和6节中所述的圆钢或棒材，应在距外表面约 $1/3$ 半径或 $1/6$ 对角线长度处切取，如图3.1.4.2(3)所示；

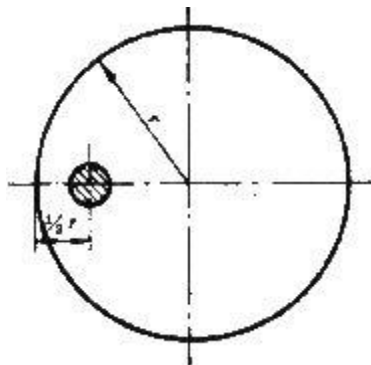


图3.1.4.2(3)

(4) 对于本章第5、7和8节中所述的圆钢或棒材，应在距外表面约12.5mm处切取。若钢材尺寸较小，试样可加工成与圆钢或棒材同轴；

(5) 对于厚度超过40mm的钢板或扁钢，可以切取全厚度试验材料；但若采用圆试样，应使试样的轴线位于板厚的1/4处。

3.1.4.3 从试验材料中截取并加工试样时，应注意试样的主轴线与最终轧制方向的关系：

(1) 拉伸试样：钢板和宽度 ≥ 600 mm的扁钢：试样轴线与最终轧制方向垂直；

其他轧制产品：试样轴线与最终轧制方向平行；

(2) 冲击试样：纵向试验：试样轴线与最终轧制方向平行；

横向试验：试样轴线与最终轧制方向垂直。

3.1.5 目检和无损检测

3.1.5.1 发货之前，钢厂有责任对所钢材进行外观检查及外形尺寸校核，如船厂在加工中发现钢材有制造缺陷时，仍应由钢厂负责。

3.1.5.2 船用钢材的材质必应均匀，无分层、裂纹等缺陷；钢材中的偏析和非金属夹杂，应尽可能减少或消除。

除本章各节另有规定外，钢材的无损检测一般不作为验收项目，但钢厂应采取适当措施保证钢材的内部质量。必要时，验船师可要求作无损检测的抽查。

3.1.6 缺陷的修整

3.1.6.1 对本章第2、3、4和6节所述的结构用钢，其表面缺陷可采用局部打磨方法予以消除，但修整后任何部位的厚度应不小于公称厚度的93%，且减薄量应不大于3mm，修整后表面应光洁平顺。除另有协议外，此类修整的范围，应事先与验船师协商确定，并应在验船师在场时进行修整。验船师可要求对已修整区域进行适当的无损检测，以证明缺陷已全部消除。

3.1.6.2 不能按本节3.1.6.1规定处理的表面缺陷，在征得验船师同意并在其在场的情况下，可用铲削或打磨后进行焊补的方法予以修整，但应符合下列要求：

- (1) 在缺陷消除后和焊补之前, 单件钢材任何部位的厚度减薄应不大于钢材公称厚度的20%;
- (2) 对已修整区域应进行适当的无损检测, 以证明缺陷已被消除;
- (3) 应由具有适当资格的焊工用认可的焊条按认可的焊接工艺进行焊补。焊补后, 被修补部位应打磨光滑, 并进行无损检测, 以证明焊补质量是合格的;
- (4) 当验船师提出要求时, 钢材应在焊补和打磨后进行正火或其他适当的热处理。

3.1.6.3 对本章第5、7和8节所述的材料, 其表面缺陷亦可按本节3.1.6.1和3.1.6.2的规定进行修整, 但其厚度减薄量应予特殊考虑。同时焊补后应进行适当的焊后热处理并对修补区域进行无损检测。

3.1.7 标志与证书

3.1.7.1 钢厂对每一件钢材(小型钢材可包扎成捆), 应至少在一个位置清晰地标出本社的标志和下列标记:

- (1) 钢厂名称及商标;
- (2) 钢材等级标记;
- (3) 炉罐号及其他能够追溯钢材全部生产过程的编号或缩写;
- (4) 如订货方要求, 可标上订货合同号或其他识别标记。

上述标记和钢印应用油漆框出, 以求明显易认。

3.1.7.2 凡标有本社标志的钢材, 在随后的力学性能试验中, 如发现不符合规定要求, 则应将本社的标志彻底去除。

3.1.7.3 材料的合格证书应包括下列内容:

- (1) 订货方的名称和合同号以及使用该材料的船名或机号(可能时);
- (2) 材料运往的目的地;
- (3) 材料的说明书和尺寸;
- (4) 材料的技术规格或等级;
- (5) 炉罐号和桶样化学成分;
- (6) 力学性能试验结果;
- (7) 除轧制状态以外的供货状态。

3.1.7.4 当钢锭或连铸钢坯并非由轧钢厂生产时, 应由炼钢厂提供1份合格证书, 说明钢的冶炼工艺、炉罐号和桶样化学成分, 且该炼钢厂应经本社认可。

第2节 一般强度船体结构用钢

3.2.1 适用范围

3.2.1.1 本节规定了A、B、D、E 4个等级的一般强度船体结构用钢。这些规定适用于厚度不超过100mm的钢板和宽扁钢以及厚度不超过50mm的型钢和棒材。

3.2.2 脱氧方法与化学成分

3.2.2.1 一般强度船体结构用钢的脱氧方法和桶样化学成分应符合表3.2.2.1的规定。

一般强度船体结构用钢的脱氧方法和化学成分

表3.2.2.1

| 钢材等级 | | A | B | D | E |
|----------------------------|-----------------|--|--|---|---------------------------|
| 脱氧方法 厚度t (mm) | | $t \leq 50$, 除沸腾钢外任何方法 ^① ; $t > 50$, 镇静处理 | $t \leq 50$, 除沸腾钢外任何方法; $t > 50$, 镇静处理 | $t \leq 25$, 镇静处理; $t > 25$, 镇静和细晶处理 | 镇静和细晶处理 |
| 化学成分 (%) ^{⑦⑧⑨} | C ^② | ≤ 0.21 ^③ | ≤ 0.21 | ≤ 0.21 | ≤ 0.18 |
| | Mn ^② | ≥ 0.50 | ≥ 0.80 ^④ | ≥ 0.60 | ≥ 0.70 |
| | Si | ≤ 0.50 | ≤ 0.35 | ≤ 0.35 | ≤ 0.35 |
| | S | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 |
| | P | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 | ≤ 0.035 |
| | Al (酸溶) | — | — | ≥ 0.015 ^{⑤⑥} | ≥ 0.015 ^⑥ |

注: ① 凡经本社和订货方同意, 对 $t \leq 12.5$ mm 的 A 级型钢, 可采用沸腾钢, 但应在材料证书上注明。

② 所有等级的钢均应符合: $C\% + 1/6Mn\% \leq 0.40\%$ 。

③ 对于型钢, 最大含碳量可为 0.23%。

④ 当 B 级钢作冲击试验时, 其最低含锰量可降低至 0.6%。

⑤ 对 $t > 25$ mm 的 D 级钢适用。

⑥ 对 $t > 25$ mm 的 D 级钢和 E 级钢, 可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%; 经本社同意后, 也可使用其他细化晶粒元素。

⑦ 若采用温度一形变控制轧制 (TMCP) 状态交货, 经本社同意后, 化学成分可以不同于表中规定。

⑧ 钢中残余铜含量应不大于 0.35%; 铬、镍的残余含量各应不大于 0.30%。

⑨ 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。

3.2.3 热处理

3.2.3.1 钢材的交货状态应符合表 3.2.3.1 的要求。

一般强度船体结构用钢的交货状态

表3.2.3.1

| 钢材等级 | 脱氧方法 | 产品型式 | 交货状态 ^{①②} | | | | |
|------|--|--------|---------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|-------------------|
| | | | 厚度t (mm) | | | | |
| | | | $t \leq 12.5$ | $12.5 < t \leq 25$ | $25 < t \leq 35$ | $35 < t \leq 50$ | $50 < t \leq 100$ |
| A | 沸腾钢 | 型材 | A(-) | 不适用 | | | |
| | $t \leq 50$ mm, 除沸腾钢外任何方法; $t > 50$ mm, 镇静处理 | 板材 | A(-) | | N(-), TM(-) ^③ , CR(50), AR*(50) | | |
| | | 型材 | A(-) | | 不适用 | | |
| B | $t \leq 50$ mm, 除沸腾钢外任何方法; $t > 50$ mm, 镇静处理 | 板材 | A(-) | A(50) | | N(50), TM(50), CR(25), AR*(25) | |
| | | 型材 | A(-) | A(50) | | 不适用 | |
| D | 镇静处理 | 板材, 型材 | A(50) | | 不适用 | | |
| | 镇静和细晶处理 | 板材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50) | | N(50), TM(50), CR(25) | |
| | | 型材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50), AR*(25) | | 不适用 | |
| E | 镇静和细晶处理 | 板材 | N(每件), TM(每件) | | | | |
| | | 型材 | N(25), TM(ZS), AR*(15), CR*(15) | | | 不适用 | |

注: ① 交货状态: A: 任意; N: 正火;
CR: 控制轧制; TU(TMCP): 温度一形变控制轧制;
AR*: 经本社特别认可后, 可采用热轧状态交货
CR*: 经本社特别认可后, 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), (-)表示不作冲击试验。每一批量应取1组3个夏比v型冲击试样。

③ 如采用TMCP状态交货, 应经本社同意。

3.2.4 力学性能

3.2.4.1 钢板、扁钢和型钢的拉伸试验和冲击试验，应符合本篇第2章的要求，同时还应符合下列规定：

- (1) 拉伸试样应采用本篇第2章表2.2.2.1中序号2的板状试样；对厚度超过40mm者也可采用序号1(A)项的圆棒形试样，此时试样的轴线应位于钢材1/4厚度处；
- (2) 产品厚度不大于40mm时，冲击试样应为近表面试样，即试样边缘距轧制面小于2mm；当产品厚度超过40mm时，试样的轴线应位于1/4厚度处。冲击试样的缺E1方向应垂直于轧制面。

3.2.4.2 试样的取样数量规定如下：

- (1) 对于所交付的每批钢材，如果重量不大于50t，应从其中最厚的一件钢材上制备1个拉伸试样；当一批钢材的重量大于50t时，则应从每50t或不足50t的余额中的不同单件钢材上各制备1个拉伸试样；对于同一炉的钢材，其厚度或直径每改变10mm，均应作为另一批而重新制备1个拉伸试样；对于型钢，厚度是指切取试验材料部位的厚度；单件钢材是指由单个钢锭(或方坯、扁坯)轧制成的轧件；
- (2) 冲击试验的取样数量应符合本节表3.2.3.1中所规定的要求。

3.2.4.3 一般强度船体结构用钢的力学性能应符合表3.2.4.3的规定。

一般强度船体结构用钢的力学性能

表3.2.4.3

| 钢材等级 | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 伸长率 σ_5 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验钢材 | | | | | | |
|------|--|--|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|----|-------------------|----|
| | | | | 试验温度 (°C) | 平均冲击功不小于(J) | | | | | |
| | | | | | 厚度 t (mm) | | | | | |
| | | | | | $t \leq 50$ | | $50 < t \leq 70$ | | $70 < t \leq 100$ | |
| | | | | 纵向 ^② | 横向 ^② | 纵向 | 横向 | 纵向 | 横向 | |
| A | 235 | 400-520 ^① | 22 | 20 | --- | --- | 34 | 24 | 41 | 27 |
| B | | | | 0 | 27 ^③ | 20 ^③ | | | | |
| D | | | | -20 | | | | | | |
| E | | | | -40 | | | | | | |

注：① 经本社同意后，A级型钢的抗拉强度的上限可以超出表中所规定的值。

② 除订货方或本社要求外， $t \leq 50$ mm时冲击试验一般只做纵向试验，但钢厂应采取措施保证钢材的横向冲击性能。

③ 对厚度不大于25mm的B级钢，经本社同意可不做冲击试验。

④ 厚度大于50mm的A级钢，如经过细化晶粒处理并以正火状态交货，可以不做冲击试验；经本社同意，以温度-形变控制轧制状态交货的A级钢亦可不做冲击试验。

⑤ 型钢一般不进行横向冲击试验。

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

全厚度板状试样的最小伸长率

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 δ (%) | 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 高度船体结构用钢按其最小屈服点应力划分强度级别,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100mm的A32、D32、A36、D36和E36等级的钢板和宽扁钢以及厚度不超过50mm的A40、D40、E40、F32、F36和F40等级的钢板和宽扁钢;本节规定还适用于上述等级的厚度大于50mm的型钢和棒材。

3.3.2 脱氧方法与化学成分

3.3.2.1 高强度船体结构用钢均应为经过细化晶粒处理的镇静钢,其桶样化学成分应符合表3.3.2.1的要求。

高强度船体结构用钢的化学成分

表3.3.2.1

| 等级 | A32, A36, A40, D32, D36, D40, E32, E36, E40 | F32, F36, F40 | |
|-----------------------|---|------------------------|------------------------|
| 化学成分(%) ^{⑥⑦} | C | ≤0.18 | ≤0.16 |
| | Mn | 0.90~1.60 ^① | 0.90~1.60 |
| | Si | ≤0.50 | ≤0.50 |
| | S | ≤0.035 | ≤0.035 |
| | P | ≤0.035 | ≤0.035 |
| | Al(酸溶) | t>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,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,其含量应不低于表中所示的下限;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。

④ Nb、V、Ti的含量还应符合: Nb%+V%+Ti%≤0.12%。

⑤ 若采用TMCP状态交货,经本社同意后,化学成分可以不同于表中规定。

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。

3.3.2.2 可对碳当量提出要求。碳当量 C_{eq} 可根据桶样化学成分按下列公式计算:

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

碳当量最大值不得超过协议允许值。

3.3.2.3 对于以温度-形变控制轧制状态交货的钢材,还应符合下列要求:

(1) 应根据钢材的桶样化学成分按本节3.3.2.2所列之公式计算碳当量 C_{eq} , 碳当量应符合表

3.3.2.3(1)的要求。

(2) 根据需要,可采用按下列公式计算出的冷裂纹敏感系数 P_{cM} 代替碳当量,来衡量钢材的可焊性:

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\%)$$

按上述公式计算出的 P_{CM} 值应符合本社接受的有关标准。

碳当量 C_{eq}

表3.3.2.3(1)

| 钢材等级 | 碳当量 ^② C_{eq} (%) | |
|--------------------|-------------------------------|------------------------|
| | 厚度 t (mm) | |
| | $t \leq 50$ | $50 < t \leq 100$ |
| A32, D32, E32, F32 | ≤ 0.36 | $\leq 0.36^{\text{②}}$ |
| A36, D36, E36, F36 | ≤ 0.38 | $\leq 0.40^{\text{②}}$ |
| A40, D40, E40, F40 | ≤ 0.40 | - |

注：① 钢厂和船东可以根据具体情况协商制定更严格的碳当量要求。

② 表中要求不适用于厚度超过50mm的F32和F36级钢材。

3.3.3 热处理

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

| 钢材等级 | 细化晶粒元素 | 产品型式 | 交货状态(冲击试验取样批量) ^{①②} | | | | |
|------|----------|--------|---------------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|
| | | | 厚度 t (mm) | | | | |
| | | | ≤ 12.5 | $12.5 < t \leq 20$ | $20 < t \leq 25$ | $25 < t \leq 35$ | $35 < t \leq 50$ |
| A32 | 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), A11*(25) | | | 不适用 |
| A36 | Al或Al和Ti | 板材 | A(50) | | AR*(25) | 不适用 | |
| | | 型材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50), AR*(25) | | | N(50), CR(25), TM(50) |
| A40 | 任意 | 板材, 型材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50) | | | 不适用 |
| D32 | 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 |
| D36 | Al或Al和Ti | 板材 | A(50) | | AR*(z5) | 不适用 | |
| | | 型材 | A(50) | N(50), CR(50), TM(50), AR*(25) | | | N(50), CR(25), TM(50) |
| D40 | 任意 | 板材, 型材 | N(50), CR(50), TM(50) | | | 不适用 | |
| E32 | 任意 | 板材 | N(每件), TM(每件) | | | | |
| | | 型材 | N(25), TM(25), AR*(15), CR*(15) | | | 不适用 | |
| E40 | 任意 | 板材 | N(每件), TM(每件), QT(每一热处理长度) | | | 不适用 | |
| | | 型材 | N(25), TM(25), QT(25) | | | 不适用 | |
| F32 | 任意 | 板材 | N(每件), TM(每件), QT(每一热处理长度) | | | 不适用 | |
| | | 型材 | N(25), TM(25), QT(25), CR*(15) | | | 不适用 | |
| F40 | 任意 | 板材 | N(每件), TM(每件), QT(每一热处理长度) | | | 不适用 | |
| | | 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)：温度-形变控制轧制； QT：淬火加回火；

AR*：经本社特别认可后，可采用热轧状态交货； CR*：经本社特别认可后，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 力学性能

3.3.4.1 高强度船体结构用的钢板、扁钢和型钢的拉伸试验和冲击试验应符合本篇第2章的要求，同时还应符合下列要求：

- (1) 拉伸试样应采用本篇第2章表2.2.2.1中序号2的板状试样，对厚度超过40mm者也可采用序号1(A)项的圆棒形试样，此时试样的轴线应位于产品1/4厚度处；
- (2) 产品厚度不大于40mm时，冲击试样应为近表面试样，即试样边缘距轧制面小于2mm；当产品厚度超过40mm时，试样的轴线应位于1/4厚度处。冲击试样的缺口方向应垂直于轧制面。

3.3.4.2 试验的取样数量应符合下列规定：

- (1) 拉伸试样的数量应符合本章3.2.4.2(1)的规定；
- (2) 冲击试验的取样数量应符合本章表3.2.3.1的规定。

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 | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 抗强拉度 σ_b (N/mm ²) | 伸长率 σ_s 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 | | | | | | |
|-----------------|--|--|---------------------------------|--------------|-----------------|-----------------|------------------|----|-------------------|----|
| | | | | 试验温度 (°C) | 平均冲击功不小于(J) | | | | | |
| | | | | | 厚度 t (mm) | | | | | |
| | | | | | $t \leq 50$ | | $50 < t \leq 70$ | | $70 < t \leq 100$ | |
| 纵向 ^① | 横向 ^① | 纵向 | 横向 | 纵向 | 横向 | | | | | |
| A32 | 315 | 400~590 | 22 | 0 | 31 ^① | 22 ^① | 38 | 26 | 46 | 31 |
| D32 | | | | -20 | | | | | | |
| E32 | | | | -40 | | | | | | |
| F32 | | | | -60 | | | | | | |
| A36 | 355 | 490~620 | 21 | 0 | 34 ^① | 24 ^① | 41 | 27 | 50 | 34 |
| D36 | | | | -20 | | | | | | |
| E36 | | | | -40 | | | | | | |
| F36 | | | | -60 | | | | | | |
| A40 | 390 | 51~650 | 20 | 0 | 41 | 27 | 不适用 | | | |
| D40 | | | | -20 | | | | | | |
| E40 | | | | -40 | | | | | | |
| F40 | | | | -60 | | | | | | |

注：① 除订货方或本社要求外，冲击试验一般仅做纵向试验，但钢厂应采取措施保证钢材的横向冲击性能。

② 如钢厂能保证冲击试验抽查合格，经本社同意，A32和A36级钢验收时可不做冲击试验。

③ 型钢一般仅做纵向冲击试验。

3.3.4.4 对于宽度25mm、标距长度200mm的全厚度板状试样，其最小伸长率应符合表3.3.4.4的规定。

全厚度板状试样的最小伸长率

表3.3.4.4

| 厚度 t (mm) | 等级 | $t \leq 5$ | $5 < t \leq 10$ | $10 < t \leq 15$ | $15 < t \leq 20$ | $20 < t \leq 25$ | $25 < t \leq 30$ | $30 < t \leq 40$ | $40 < t \leq 50$ |
|----------------|---------------------|------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 伸长率 | A32, D32, E32, F32 | 14 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| δ | A36, D36, E36, F36 | 13 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| (%) | A40, I)40, E40, F40 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

第4节 焊接结构用高强度淬火回火钢

3.4.1 适用范围

3.4.1.1 本节规定适用于厚度不超过70mm的焊接结构用高强度淬火回火钢板和宽扁钢。如钢材厚度超过70mm，应经本社认可。

经本社同意，本节规定亦可适用于型钢或钢管等其他型式的产品。

3.4.1.2 焊接结构用高强度淬火回火钢，按其最小屈服点应力划分为420、460、500、550、620和690N/mm² 6个强度等级。每一强度等级中，又根据韧性的不同而分为A、D、E和F 4个钢级。

3.4.1.3 强度等级、力学性能和化学成分等不同本节规定的钢材应经本社认可。

3.4.2 脱氧方法和化学成分

3.4.2.1 焊接结构用高强度淬火回火钢，均应为经过细化晶粒处理的镇静钢，其桶样化学成分应符合表3.4.2.1的规定。

焊接结构用高强度淬火回火钢的化学成分

表3.4.2.1

| 强度等级 (N/mm ²) | 韧性等级 | 化学成分 (%) | | | | | |
|------------------------------|------|----------|-------|-------|--------|--------|--------|
| | | C | Si | Mn | P | S | N |
| 420 ~ 690 | A | ≤0.21 | ≤0.55 | ≤1.70 | ≤0.035 | ≤0.035 | ≤0.020 |
| | D, E | ≤0.20 | ≤0.55 | ≤1.70 | ≤0.030 | ≤0.030 | ≤0.020 |
| | F | ≤0.18 | ≤0.55 | ≤1.60 | ≤0.025 | ≤0.025 | ≤0.020 |

注：用于合金化和细化晶粒的元素应符合本社接受的有关标准。

3.4.2.2 应采用下列公式计算冷裂纹敏感系数‰，以衡量钢材的可焊性：

$$P_{CM} = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (\%)$$

按上述公式计算出的 P_{CM} 值应符合本社接受的有关标准。

3.4.3 热处理

3.4.3.1 钢材应以淬火加回火状态交货。经本社认可，厚度不大于50mm的钢材也可采用温度—形变控制轧制状态交货。

3.4.4 力学性能

3.4.4.1 对于每一经过热处理的工件，至少应取1拉伸试样和1组3个夏比V型缺口冲击试样进行试验。对于连续热处理的钢板，所要求的试样个数和取样部位应由本社专门考虑。

3.4.4.2 拉伸试样的轴线应垂直于最终轧制方向，但对型钢和完工宽度不超过600mm的轧制扁钢可取纵向试样。对其他形式的产品，经本社同意，既可沿纵向也可沿横向截取拉伸试样。拉伸试样应采用本篇第2章表2.2.2.1中序号2的板状试样，且至少在一个侧面上保留有轧制氧化皮。公称厚度超过40mm者，可采用序号1的圆棒试样，试样轴线应位于距轧材表面1/4厚度处或尽可能靠近这一位置。

3.4.4.3 若本社无另外要求，钢板和宽度超过600mm宽扁钢的夏比V型缺口冲击试样的轴线，应垂直于最终轧制方向。对于其他类型的产品，应沿纵向截取。冲击试样应为近表面试样，即试样边缘距轧制面小于2mm；当产品厚度超过40mm时，试样的轴线应位于钢材1/4厚度处。冲击试样的缺口方向应垂直于轧制面。

3.4.4.4 焊接结构用高强度淬火回火钢的力学性能应符合表3.4.4.4的规定。

焊接结构用高强度淬火回火钢的力学性能 表3.4.4.4

| 钢材等级 | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 伸长率 ^① δ_5 (横向) 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 ^② | | |
|------|---|--|--|-------------------------|-------------|----|
| | | | | 试验温度(°C) | 平均冲击功不小于(J) | |
| | | | | | 纵向 | 横向 |
| A420 | 420 | 530~680 | 18 | 0 | 42 | 28 |
| D420 | | | | -20 | | |
| E420 | | | | -40 | | |
| F420 | | | | -60 | | |
| A460 | 460 | 570~720 | 17 | 0 | 46 | 31 |
| D460 | | | | -20 | | |
| E460 | | | | -40 | | |
| F460 | | | | -60 | | |
| A500 | 500 | 610~770 | 16 | 0 | 50 | 33 |
| D500 | | | | -20 | | |
| E500 | | | | -40 | | |
| F500 | | | | -60 | | |
| A550 | 550 | 670~830 | 16 | 0 | 55 | 37 |
| D550 | | | | -20 | | |
| E550 | | | | -40 | | |
| F550 | | | | -60 | | |
| A620 | 620 | 720~890 | 15 | 0 | 62 | 41 |
| D620 | | | | -20 | | |
| E620 | | | | -40 | | |
| F620 | | | | -60 | | |
| A690 | 690 | 770~940 | 14 | 0 | 69 | 46 |
| D690 | | | | -20 | | |
| E690 | | | | -40 | | |
| F690 | | | | -60 | | |

注：① 对于纵向试样，其伸长率(纵向)应较表中伸长率(横向)高2%。

② 如钢厂能保证冲击试验抽查合格，经本社同意，A级钢在验收时可免做冲击试验。

③ 型钢一般仅做纵向冲击试验。

3.4.4.5 对于宽度25mm、标距长度200mm的全厚度板状试样，其最小伸长率应符合表3.4.4.5的规定。

全厚度板状试样的最小伸长率 表3.4.4.5

| 厚度 t (mm) | 强度等级 | $t \leq 10$ | $10 < t \leq 15$ | $15 < t \leq 20$ | $20 < t \leq 25$ | $25 < t \leq 40$ | $40 < t \leq 50$ | $50 < t \leq 70$ |
|------------------------|------|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 伸长率 δ (%) | 420 | 11 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| | 460 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| | 500 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | 550 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| | 620 | 9 | 11 | 12 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| | 690 | 9 | 10 | 11 | 11 | 12 | 13 | 14 |

第5节 锅炉与压力容器用钢

3.5.1 适用范围

3.5.1.1 本节规定适用于制造锅炉和受压容器的钢板、扁钢和型钢等的碳钢、碳锰钢和合金钢。

3.5.1.2 当采用本节规定以外的碳钢、碳锰钢和合金钢时，应提交详细技术资料并经本社认可，对抗拉强度大于 490N/mm^2 ，但不大于 520N/mm^2 的碳钢和碳锰钢以及抗拉强度不大于 600N/mm^2 的合金钢，可予以验收。

3.5.2 脱氧方法与化学成分

3.5.2.1 锅炉与压力容器用钢的脱氧方法和桶样化学成分应符合表3.5.2.1的规定。

锅炉与压力容器用钢的脱氧方法和化学成分

表 3.5.2.1

| 钢材等级 | 脱氧方法 | 化学成分(%) | | | | | | | |
|-----------|---------|------------------------|-----------|------------|-------------|--------------|----------|-----------|--|
| | | C | Si | Mn | P, S | Al | Cr | Mo | 其他元素 |
| 360A | 镇静 | ≤ 0.17 | 0.10~0.35 | 0.40~1.20 | ≤ 0.04 | ② | - | - | Cr ≤ 0.25 Cu ≤ 0.30 Ni ≤ 0.30 Mo ≤ 0.10 总量 ≤ 0.70 |
| 360B | 镇静并细化晶粒 | ≤ 0.17 | 0.15~0.35 | 0.40~1.20 | ≤ 0.04 | 0.015~0.065 | - | - | |
| 410A | 镇静 | ≤ 0.20 | 0.10~0.35 | 0.50~1.30 | ≤ 0.04 | ② | - | - | |
| 410B | 镇静并细化晶粒 | ≤ 0.20 | 0.15~0.35 | 0.50~1.30 | ≤ 0.04 | 0.015~0.065 | - | - | |
| 460A | 镇静 | $\leq 0.20^{\text{①}}$ | 0.10~0.40 | 0.80~1.40 | ≤ 0.04 | ② | - | - | |
| 460B | 镇静并细化晶粒 | $\leq 0.20^{\text{①}}$ | 0.15~0.40 | 0.80~1.40 | ≤ 0.04 | 0.010~0.065 | - | - | |
| 490A | 镇静 | $\leq 0.20^{\text{①}}$ | 0.15~0.50 | 0.90~1.60 | ≤ 0.04 | ② | - | - | |
| 490B | 镇静并细化晶粒 | $\leq 0.20^{\text{①}}$ | 0.15~0.50 | 0.90~1.60 | ≤ 0.04 | 0.015~0.065 | - | - | |
| 1Cr0.5Mo | 镇静 | 0.10~0.18 | 0.15~0.35 | 0.40~1.130 | ≤ 0.04 | ≤ 0.065 | 0.70~L30 | 0.40~0.60 | Cu ≤ 0.30 Ni ≤ 0.30 |
| 2.25Cr1Mo | 镇静 | 0.08~0.18 | 0.15~0.50 | 0.40~0.80 | ≤ 0.04 | ≤ 0.065 | 2.0~2.50 | 0.90~1.10 | Cu ≤ 0.30 Ni ≤ 0.30 |

注：① 当厚度大于30mm时，钢材的含碳量可以 $\leq 0.22\%$ 。

② 钢材可以采用铝脱氧。

3.5.3 热处理

3.5.3.1 锅炉与压力容器用钢，除拟作热成型的钢材经协商可采用轧制状态供货外，对于抗拉强度为 $360\sim 490\text{N/mm}^2$ 的碳钢和碳锰钢，应以正火或控制轧制状态供货，对于1Cr0.5Mo和2.25Cr1Mo合金钢，则应以正火加回火状态交货。

3.5.4 力学性能

3.5.4.1 试样的取样数量规定如下：

- (1) 对于钢板，当每个轧制件重量不超过5t且长度不超过15m时，应从每个轧制件的一端切取1个拉伸试样和1组3个冲击试样；当重量大于5t或者长度超过15mm时，应从每个轧制件的两端各切取1个拉伸试样和1组3个冲击试样。一个轧制件是指由单个钢锭(或方坯、扁坯)轧制成的轧件；
- (2) 对于带钢，应从每卷钢材的两端各取1个拉伸试样和1组3个冲击试样；
- (3) 对于型钢和棒材，可按批取样提交检验。每批应不超过50根，且重量不超过10t，每批钢材应具有同一截面尺寸、同一炉罐号和同一交货状态。每批钢材应从具有代表性的单件上切取1个拉伸试样和1组3个冲击试样。如果一批的重量超过10t时，应从每10t或不足10t的余额中的不同单件钢材上各切取1个拉伸试样和1组3个冲击试样。

3.5.4.2 试样的取样部位应符合本章3.2.4.2规定,对于矩形空心型材,可在任一边的中心部位取样(如图3.5.4.2所示);对于环型空心型材,可在圆周任一部位上取样。

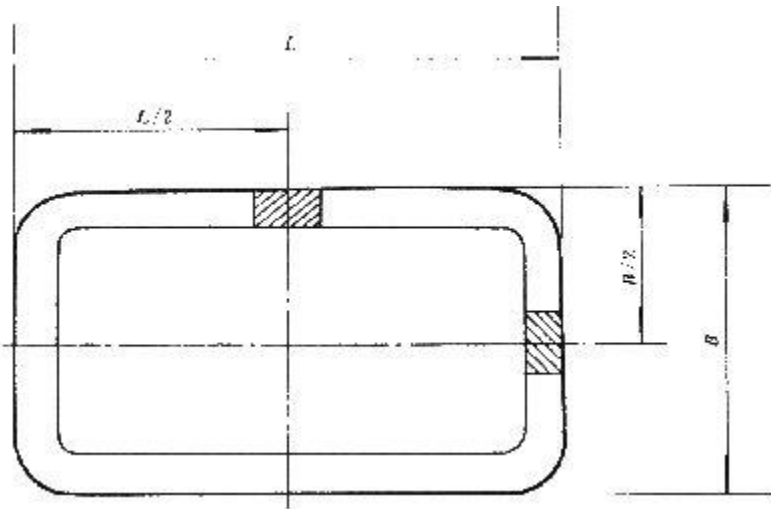


图3.5.4.2

3.5.4.3 锅炉与受压容器用钢的力学性能应符合表3.5.4.3的规定。

锅炉与受压容器用钢的力学性能

表3.5.4.3

| 钢材等级 | 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于(N/mm ²) | | | 伸长率 δ_5 不小于(%) | | 夏比V型缺口冲击试验 | | |
|-----------|--|--|------------------|------------------|-----------------------|------------------|------------|----------|-----|
| | | 厚度范围(mm) | | | 厚度范围(mm) | | 试验温度(°C) | 平均冲击功(J) | |
| | | $t \leq 16$ | $16 < t \leq 40$ | $40 < t \leq 60$ | $t \leq 40$ | $40 < t \leq 60$ | | | |
| 360 | A | 360~480 | 205 | 195 | 183 | 26 | 25 | 20 | ≥27 |
| | B | | 235 | 215 | 195 | 26 | 25 | 0 | |
| 410 | A | 410~530 | 235 | 225 | 215 | 24 | 23 | 20 | |
| | B | | 265 | 245 | 235 | 24 | 23 | 0 | |
| 460 | A | 460~580 | 285 | 255 | 245 | 22 | 21 | 20 | |
| | B | | 295 | 285 | 275 | 22 | 21 | 0 | |
| 490 | A | 490~610 | 305 | 275 | 265 | 21 | 20 | 20 | |
| | B | | 315 | 315 | 305 | 21 | 20 | 0 | |
| 1Cr0.5Mo | 440~590 | 305 | 305 | 305 | 20 | 19 | 20 | | |
| 2.25Cr1Mo | 480~630 | 275 | 265 | 265 | 18 | 17 | 20 | | |

3.5.5 高温力学性能

3.5.5.1 凡规定用于工作温度不小于50℃的钢材,应采用高温拉伸试验来测定其高温屈服点 σ_s^T , 高温屈服点 σ_s^T 值见表3.5.5.1。这些数值在锅炉钢板纳入有关标准时或新钢种初始认可时验证,以供设计用,不作为日常验收试验。如果没有这方面资料或使用温度高于表中所列温度,则对每炉钢至少应取1个试样(当同一炉钢轧制的钢板厚度不同时,应从最厚的钢板中切取),在设计温度或其他商定的温度下进行试验。

3.5.5.2 高温下承受载荷的结构件所用的钢材,除应测定高温强度外,还应测定高温蠕变断裂强度,即材料在设计温度下100,000h产生破断的平均应力 σ_D^T , 以供设计用, σ_D^T 的值见表3.5.5.2。

高温屈服点 σ_s^T

表3.5.5.1

| 钢材等级 | | 厚度 t (mm) | 设计温度(°C) | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------|-------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
| | | | 屈服点 σ_s^T , 不小于(N/mm ²) | | | | | | | | | | | |
| 360 | A | $t \leq 16$ | 183 | 175 | 172 | 168 | 150 | 124 | 117 | 115 | 113 | | | |
| | | $16 < t \leq 40$ | 173 | 171 | 169 | 162 | 144 | 124 | 117 | 115 | 113 | | | |
| | | $40 < t \leq 60$ | 166 | 162 | 158 | 152 | 141 | 124 | 117 | 115 | 113 | | | |
| | B | $t \leq 16$ | 214 | 204 | 185 | 165 | 145 | 127 | 116 | 110 | 106 | | | |
| | | $16 < t \leq 40$ | 200 | 196 | 183 | 164 | 145 | 127 | 116 | 110 | 106 | | | |
| | | $40 < t \leq 60$ | 183 | 179 | 172 | 159 | 145 | 127 | 116 | 110 | 106 | | | |
| 410 | A | $t \leq 16$ | 220 | 211 | 208 | 201 | 180 | 150 | 142 | 138 | 136 | | | |
| | | $16 < t \leq 40$ | 204 | 201 | 198 | 191 | 171 | 150 | 142 | 138 | 136 | | | |
| | | $40 < t \leq 60$ | 196 | 192 | 188 | 181 | 168 | 150 | 142 | 138 | 136 | | | |
| | B | $t \leq 16$ | 248 | 235 | 216 | 194 | 171 | 152 | 141 | 134 | 130 | | | |
| | | $16 < t \leq 40$ | 235 | 228 | 213 | 192 | 171 | 152 | 141 | 134 | 130 | | | |
| | | $40 < t \leq 60$ | 222 | 215 | 204 | 188 | 171 | 152 | 141 | 134 | 130 | | | |
| 460 | A | $t \leq 16$ | 260 | 248 | 243 | 235 | 210 | 176 | 168 | 162 | 158 | | | |
| | | $16 < t \leq 40$ | 235 | 230 | 227 | 220 | 198 | 176 | 168 | 162 | 158 | | | |
| | | $40 < t \leq 60$ | 227 | 222 | 218 | 210 | 194 | 176 | 168 | 162 | 158 | | | |
| | B | $t \leq 16$ | 276 | 262 | 247 | 223 | 198 | 177 | 167 | 158 | 153 | | | |
| | | $16 < t \leq 40$ | 271 | 260 | 242 | 220 | 198 | 177 | 167 | 158 | 153 | | | |
| | | $40 < t \leq 60$ | 262 | 251 | 236 | 217 | 198 | 177 | 167 | 158 | 153 | | | |
| 490 | A | $t \leq 16$ | 280 | 270 | 264 | 255 | 228 | 192 | 183 | 177 | z72 | | | |
| | | $16 < t \leq 40$ | 255 | 248 | 245 | 237 | 214 | 192 | 183 | 177 | 172 | | | |
| | | $40 < t \leq 60$ | 245 | 240 | 236 | 227 | 210 | 192 | 183 | 177 | 172 | | | |
| | B | $t \leq 16$ | 297 | 284 | 265 | 240 | 213 | 192 | 182 | 173 | 168 | | | |
| | | $16 < t \leq 40$ | 29B | 279 | 260 | 237 | 213 | 192 | 182 | 173 | 168 | | | |
| | | $40 < t \leq 60$ | 283 | 272 | 256 | 234 | 213 | 192 | 182 | 173 | 168 | | | |
| 1Cr0.5Mo | $t \leq 60$ | 284 | 270 | 265 | 248 | 236 | 216 | 205 | 199 | 194 | 188 | 181 | 174 | |
| 2.25Cr1Mo | $t \leq 60$ | 255 | 249 | 241 | 233 | 226 | 219 | 212 | 207 | 194 | 180 | 160 | 137 | |

高温破断平均应力

表3.5.5.2

| 温度 (°C) | 钢级 | | 温度 (°C) | 钢级 | |
|------------|-----------------------------------|------|------------|-----------------------------------|-----------|
| | 360A | 460A | | 1Cr0.5Mo | 2.25Cr1Mo |
| | 360B | 460 | | | |
| | 410A | 490A | | | |
| | 410B | 490B | | | |
| | σ_D^T (N/mm ²) | | | σ_D^T (N/mm ²) | |
| 380 | 171 | 227 | 480 | 210 | 170 |
| 390 | 155 | 203 | 490 | 177 | 153 |
| 400 | 141 | 179 | 500 | 146 | 137 |
| 410 | 127 | 157 | 510 | 121 | 122 |
| 420 | 114 | 136 | 520 | 99 | 107 |
| 430 | 102 | 117 | 530 | 81 | 93 |
| 440 | 90 | 100 | 540 | 67 | 79 |
| 450 | 78 | 85 | 550 | 54 | 69 |
| 460 | 67 | 73 | 560 | 43 | 59 |
| 470 | 57 | 63 | 570 | 35 | 51 |
| | | | 580 | | 44 |

第6节 机械结构用钢

3.6.1 一般要求

3.6.1.1 焊接结构的机架、机座、涡轮机汽缸及减速齿轮箱等重要部件所用的轧制钢材，应采用

用镇静钢，其含碳量应不大于0.23%。

3.6.1.2 选用任何等级的一般强度船体结构用钢和高强度船体结构用钢时，应符合本章第2节和第3节的有关规定。

3.6.1.3 本章第5节所述的制造锅炉及受压力容器用的碳钢和碳锰钢亦可作为机械结构用钢。作此项用途时，可按批进行检验，其批量的大小和拉伸试样的数量应符合本3.2.4.2的规定。

对于工作温度高于50℃的重要机械构件，应将设计温度下的力学性能资料提交本社备查。

第7节 低温韧性钢

3.7.1 适用范围

3.7.1.1 本节规定适用于建造液化气体运输船的液货舱、靠近液货舱的船体结构用的厚度不超过50mm的碳锰钢和镍合金钢。

3.7.1.2 对厚度超过50mm的碳锰钢和镍合金钢的要求需另行考虑。

3.7.1.3 本节规定的碳锰钢和镍合金钢，除适用于本节3.7.1.1规定的用途外，也可适用于工作温度低于0℃的其他用途。

3.7.2 脱氧方法和化学成分

3.7.2.1 钢材应为采用铝处理细化晶粒方法的全镇静钢。

3.7.2.2 钢材的桶样化学成分应符合表3.7.2.2的规定。

低温韧性钢的化学成分

表3.7.2.2

| 钢号 | 化学成分(%) | | | | | | 其他元素 |
|--------|---------|----------|----------|--------|-------|----------|--|
| | C | Mn | Si | P | S | Ni | |
| 0.5NiA | ≤0.14 | 0.7~1.60 | 0.1~0.50 | ≤0.025 | ≤0.02 | 0.3~0.80 | Cr≤0.25 Mo≤0.08 Cu≤0.35 Cr+Mo+Cu≤0.60 Al(酸溶)≥0.015 |
| 0.5NiB | ≤0.16 | 0.7~1.60 | 0.1~0.50 | ≤0.025 | ≤0.02 | 0.5~0.80 | |
| 1.5Ni | ≤0.14 | 0.3~1.50 | 0.1~0.35 | ≤0.025 | ≤0.02 | 1.3~1.70 | |
| 3.5Ni | ≤0.12 | 0.3~0.80 | 0.1~0.35 | ≤0.025 | ≤0.02 | 3.2~3.80 | |
| 5Ni | ≤0.12 | 0.3~0.90 | 0.1~0.35 | ≤0.025 | ≤0.02 | 4.7~5.30 | |
| 9Ni | ≤0.10 | 0.3~0.90 | 0.1~0.35 | ≤0.025 | ≤0.02 | 8.5~10.0 | |

注：①含氮量应不超过0.009% (如含有铝时，应不超过0.012%)。

②碳当量 C_{eq} 应根据炉罐分析结果按本章3.3.2.2中的公式计算。

3.7.3 热处理与力学性能

3.7.3.1 各级钢材的交货状态应符合表3.7.3.2的要求。

3.7.3.2 低温韧性钢的力学性能应符合表3.7.3.2的规定。

低温韧性钢的交货状态和力学性能

表3.7.3.2

| 钢号 | 交货状态 | 规定非比例伸长应力 $\sigma_{pl.0.2}$ 不小于 | 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 | | | | |
|--------|----------|------------------------------------|---|---------------------------|------------------|-----------------------|----|-----------------------|----|
| | | | | | 试验温度 T (°C) | 3个试样冲击功的平均值 不小于(J) | | 单个试样冲击功的最小值 不小于(J) | |
| 0.5NiA | 正火或淬火加回火 | 285 | 400, 530 | 24 | -60 | 纵向 | 横向 | 纵向 | 横向 |
| 0.5NiB | | 355 | 490~610 | 22 | -60 | | | | |
| 1.5Ni | 正火或 | 275 | 470~640 | 22 | -65 | | | | |

| | | | | | | | | |
|-------|-------------------|-----|---------|----|------|--|--|--|
| 3.5Ni | | 345 | 440~690 | 21 | -95 | | | |
| 5Ni | | 390 | 520~710 | 21 | -110 | | | |
| 9Ni | 两次正火加回火 或淬火加回火 | 490 | 640~830 | 19 | -196 | | | |

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状态为一批(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。

3.7.3.4 落锤试验

- (1) 设计工作温度符合下列情况且厚度在12mm以上的钢板与型钢，应进行落锤试验：
 - ① 碳锰钢拟用于设计工作温度低于-40℃时；
 - ② 0.5Ni与1.5Ni钢拟用于设计工作温度低于-60℃时；
 - ③ 3.5Ni钢拟用于设计工作温度低于-80℃时；
 - ④ 5Ni钢拟用于设计工作温度低于-90℃时；
- (2) 落锤试验应从每炉罐钢中最厚的钢板或型钢上取1组2个试样进行无破裂的试验；
- (3) 落锤试验应在比设计的工作温度低5℃的试验温度下进行；
- (4) 落锤试验的结果应经本社认可。

第8节 奥氏体不锈钢

3.8.1 适用范围

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。

3.8.1.2 本节规定的奥氏体不锈钢也适用于制造设计温度不低于-165℃的压力容器。

3.8.1.3 奥氏体不锈钢也可供高温条件下使用，但应向本社提交化学成分、力学性能和热处理工艺等详细资料。

3.8.2 化学成分

3.8.2.1 奥氏体不锈钢的桶样化学成分应符合表3.8.2.1的规定。

奥氏体不锈钢的化学成分

表3.8.2.1

| 钢号 | 化学成分(%) | | | | | | | | |
|---------------|---------|------|------|--------|-------|-----------|----------|-----------|------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | 其他元素 |
| 00Q18Ni10 | ≤0.03 | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤0.045 | ≤0.03 | 17.0~19.0 | - | 9.0~12.0 | - |
| 00Cr17Ni14Mo3 | ≤0.03 | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤0.045 | ≤0.03 | 16.0~18.5 | 2.50~3.0 | 11.5~14.5 | - |
| 0Cr18Ni9 | ≤0.08 | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤0.045 | ≤0.03 | 17.0~19.0 | - | 9.0~12.0 | 5C≤Ti≤0.08 |
| 1Cr18Ni11Nb | ≤0.08 | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤0.045 | ≤0.03 | 17.0~19.0 | - | 9.0~12.0 | 10C≤Nb≤1.0 |

3.8.3 热处理

3.8.3.1 所有奥氏体不锈钢均应以固溶处理状态交货。

3.8.4 力学性能

3.8.4.1 试样应按本章3.5.4.1的规定切取。

3.8.4.2 除另有协议外，对本节所列的奥氏体不锈钢不要求进行冲击试验。

3.8.4.3 奥氏体不锈钢的力学性能应符合表3.8.4.3的规定。

奥氏体不锈钢的力学性能

表3.8.4.3

| 钢号 | 厚度 不大于 (mm) | 规定非比例伸长应力 $\sigma_{pl.0.2}$ 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 伸长率 δ_s 不小于(%) |
|-------------|-------------------|--|--|--------------------------|
| 00Cr18Ni10 | 50 | 205 | 440~640 | 45 |
| 0017Ni14Mo3 | 65 | 215 | | 40 |
| 0Cr18Ni9Ti | | 235 | 490~690 | 35 |
| 1Cr18Ni11Nb | | 245 | | |

3.8.5 晶间腐蚀试验

3.8.5.1 对于某些特殊用途的材料，可要求做专门的弯曲试验。

3.8.5.2 如要求做晶间腐蚀试验，则应在每次拉伸试验的同时进行。试验材料应在与拉伸试验材料相邻的部位截取，并应制成圆形或长方形弯曲试样。试样直径或厚度不大于12mm，总表面积应在12~35cm²之间。

3.8.5.3 晶间腐蚀试验应按下列规定进行，亦可按本社接受的其他标准进行：

(1) 将试样加热到700±10℃，保温30min，随后迅速放入水中冷却，然后将试样放置在铜屑垫上（1 l 试验溶液用50g铜屑），置于含有下列成分的沸腾溶液中浸泡15~24h：

- ① 硫酸铜(CuSO₄·5H₂O) 100g；
- ② 密度为1.84g/ml的硫酸184g(100ml)；
- ③ 用蒸馏水配制成1 l溶液；

试验过程中，应防止溶液因蒸发而浓缩。

(2) 试样浸泡后，应在常温下将每个试样弯曲90°，弯芯直径应为试样直径或厚度的2倍，弯曲后在试样的外侧表面上应无裂纹。

第9节 复合钢板

3.9.1 适用范围

3.9.1.1 本节规定适用于化学制品运输船的容器和液货舱。

3.9.1.2 复合钢板系指由基体材料和在其单面或双面上整体结合的薄层(覆层金属)所组成的板材。

3.9.2 基体材料

3.9.2.1 凡适合采用轧制或爆炸复合方法结合的碳钢或碳锰钢均可作为基体材料。若板材拟用作船体结构的一部分(如液货舱)，则基体材料应符合本章第2节及第3节的规定。若板材拟用于受压容器，则基体材料应符合本章第5节的规定。

3.9.2.2 制造厂应提供基体材料的化学成分、力学性能等资料。

3.9.3 覆层金属

3.9.3.1 凡适合于预定用途的材料，均可作为覆层金属，如奥氏体不锈钢、铬钢、铝合金或铜镍合金等。

3.9.3.2 制造厂应提供材料合格证书，并保证覆层金属的化学成分符合有关规定，如验船师有疑问时，可要求进行化学成分的复查。

3.9.3.3 无论何种复合钢板，其覆层金属的厚度均应经本社认可。

3.9.4 热处理

3.9.4.1 板材应以最适合于复合板两种材料的热处理状态交货，热处理工艺应经本社认可。

3.9.5 粘合

3.9.5.1 基体材料和覆层金属相互间应充分粘合。除另有协议外，粘合面积比例至少应达到95%。如复合钢板在以后的焊接过程中发现焊接接头部位有未粘合的情况，应采取经本社同意的方法进行粘合。

3.9.5.2 覆层金属与基体材料的粘合质量应采用超声波检测来检查，板厚不小于10mm者要逐张检查，板厚小于10mm者由验船师确定。对所有距四周边缘宽度不小于50mm的区域应进行100%检测检查，中间区域应沿间隔200mm四方环线进行连续的检测检查。允许存在的单个未粘合区域面积应不超过50mm²，且各单个未粘合区域之间的距离应不小于500mm。

3.9.5.3 覆层金属与基体材料的粘合强度可用剪切试验来确定。

3.9.6 力学性能试验

3.9.6.1 拉伸试样与弯曲试样一般应为全厚度板状试样，但若板材厚度超过50mm或由于试验机能力的限制，则允许将试样机加工减薄。对于单面复合板，试样的两面均应机加工，使覆层金属和基体材料之间厚度比例与原来一样，但覆层金属的厚度不应减薄到3mm以下；对双面复合板的试样，可采用剖开办法减薄，此时两个半块均应进行试验。

3.9.6.2 拉伸试验时，应从每张钢板上制备2个试样，若复合钢板拟用于船体结构(如液货舱)，在征得验船师同意后，可从每5张钢板中任选1张制备2个试样。

3.9.6.3 拉伸试验应按下述步骤进行：先对一个完整的复合钢板(包括两面机加工减薄者)试样进行试验，测得的抗拉强度 σ_b 应不小于按下式计算所得之值：

$$\sigma_b = (t_1 \sigma_{b1} + t_2 \sigma_{b2}) / t \quad \text{N/mm}^2$$

式中： t_1 ——基体材料的公称厚度，mm；

t_2 ——覆层金属的公称厚度，mm；

σ_{b1} ——基体材料抗拉强度，N/mm²；

σ_{b2} ——覆层金属抗拉强度，N/mm²；

$t = t_1 + t_2$ ，复合钢板的公称厚度(即 $t_1 + t_2$)，mm。

如果 σ_b 小于按上式计算所得之值，则应对另1个试样(去除覆层金属后的基体材料试样)进行试验，试验结果应符合基体材料的规定。

3.9.6.4 弯曲试验应从每张钢板上制备2个弯曲试样。对于单面复合钢板，应使1个试样的覆层金属受拉，另1个试样的覆层金属受压。对于双面复合钢板，则应使两面覆层金属均受拉、受压。弯曲角度为180°，弯芯直径D按基体材料的规定。试验后试样受拉表面应无裂纹，覆层金属与基体材料应无分离现象。

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

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

3.9.6.6 如果对基体材料有冲击功的要求，则应按基体材料的有关规定，进行冲击试验。

第10节 Z向钢

3.10.1 一般要求

3.10.1.1 Z向钢是在某一等级结构钢(称为母级钢)的基础上，经过特殊冶炼、镇静处理和适当热处理的钢材。因此，由于厚度方向承受拉伸载荷而对厚度方向有性能要求的厚度不小于12mm的Z向钢除符合本节规定外，还应符合其母级钢的所有要求。

3.10.2 标记

3.10.2.1 Z向钢的标记是在母级钢的标记后面加上Z向钢等级。Z向钢分：Z15、Z25和Z35个等级，Z后面的数字为断面收缩率 ψ_Z 的指标。如标记E—Z35表示母级钢为船体结构钢E级的Z向钢，其板厚方向的断面收缩率 ψ_Z 不小于35%。

3.10.3 Z向性能

3.10.3.1 Z向钢的化学成分除应符合母级钢的规定外，其含硫量还应不大于0.010%，必要时，验船师可要求逐张进行含硫量检验。

3.10.3.2 按本篇第2章第5节规定进行厚度方向拉伸试验，其厚度方向的断面收缩率应符合表3.10.3.2规定。

Z向钢的厚度方向断面收缩率

表3.10.3.2

| 等级 | | Z15 | Z25 | Z35 |
|-------------------------------|---------|-----|-----|-----|
| 厚度方向断面收缩率 ψ_Z 不小于 (%) | 3个试样平均值 | 15 | 25 | 35 |
| | 单个试样值 | 10 | 20 | 30 |

3.10.3.3 对Z35级钢，应对每一轧制件取样进行厚度方向的拉伸试验；对Z15和Z25级钢，可在每一批中任选两张钢板(如每批不是同一规格，则应在最厚和最薄的规格中各取一张钢板)截取试样进行厚度方向的拉伸试验。

每一批钢材应为同一炉罐号、同一轧制工艺和同一热处理规程的材料，且每一批钢材中公称厚度相差应不大于5mm，总重量不超过50t。

3.10.3.4 3个试样中只允许有1个试样的断面收缩率低于规定平均值，但应不低于规定的单个试样值。若3个试样的平均值低于规定值或有1个试样的结果低于规定的单个试样值，则应对3个备用试样进行试验。新的试验结果应与原来的结果一起取平均值，其值应大于规定的平均值，且新制备的3个试样的试验结果均应大于规定的平均值。

3.10.4 无损检测

3.10.4.1 Z向钢板应逐张进行超声波检测，并采用经本社接受的检测与验收标准，检测范围如下：

- (1) 在钢板四周边缘宽度为一倍半板厚，但不小于100mm的区域内进行100%的检测；

(2) 沿与钢板四周边平行、间隔为100mm的方格线进行连续检测。

第4章 钢 管

第1节 一般规定

4.1.1 适用范围

4.1.1.1 本章规定适用于锅炉管和过热器管以及建造锅炉、受压容器和压力管系所用的钢管。

4.1.1.2 在高温下工作的钢管，应将其高温力学性能资料提交本社认可。

4.1.1.3 所有钢管(除Ⅲ级管外)的制造和试验，除符合本篇第1章和第2章的规定外，还应符合本章各节的规定。

4.1.1.4 Ⅲ级管系用的钢管，可按本社接受的有关标准进行制造、试验和验收。

4.1.1.5 海底管系用的钢管，可按本社接受的有关标准进行制造、试验和验收。

4.1.2 制造

4.1.2.1 钢管应由本社认可的工厂制造。除另有协议外，所用钢材应采用碱性吹氧转炉、电炉或平炉冶炼的镇静钢，并应采用模铸或经本社认可的连铸工艺。

4.1.2.2 钢管可采用下列方法制造：

- (1) 热轧无缝钢管工艺；
- (2) 冷拔无缝钢管工艺；
- (3) 电阻焊或高频电流焊的焊接管工艺；
- (4) 电弧焊的焊接管工艺。

4.1.2.3 制造过程中，与任何有色金属或其化合物相接触的钢管的表面应无污染，以免对其后的加工和使用产生不良影响。

4.1.3 质量

4.1.3.1 无缝钢管的内、外表面应无裂缝、折叠、分层、结疤、轧折、发纹等缺陷存在。如有上述缺陷则应清除，且被清除部位的壁厚应不小于最小壁厚。

4.1.3.2 焊接钢管的内、外表面不允许存在裂缝、结疤、错位、毛刺、烧伤、压痕和深的划道等缺陷。

但允许存在深度不超过壁厚允许偏差范围的小压痕、轻微的错位、辊印线、薄的氧化铁皮以及打磨与清除外毛刺的痕迹等缺陷。

4.1.3.3 钢管的外观应平直。钢管末端的切口应无毛刺，并应与该管轴线垂直。

4.1.3.4 钢管的品种规格和尺寸公差应符合本社接受的有关标准。

4.1.4 化学成分

4.1.4.1 钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合本章各节的有关规定。

4.1.5 热处理

4.1.5.1 所有钢管应进行热处理，并按本章各节的有关规定以相应的热处理状态交货。

4.1.6 试验与试样

4.1.6.1 钢管可按批检查和试验。每一批钢管应由同一钢种、同一规格、同一炉罐号和同一热处理规程的钢管组成。

4.1.6.2 对于I级压力管系用的钢管、锅炉管和过热器管，应从每批钢管中任选至少2%根数的钢管制备所需的试样。

4.1.6.3 对于II级压力管系用的钢管，取样批量应不超过表4.1.6.3的规定。试样的数量，应从每批或不足一批的钢管中，任选至少1根管子制备所需的试样。

II级钢管取样批量

表4.1.6.3

| 钢管外径 D (mm) | 每批数量(根) |
|---------------|---------|
| $D \leq 325$ | 200 |
| $D > 325$ | 100 |

4.1.6.4 应按本篇第2章以及本章各节的有关规定，截取和加工所需的试样，并进行试验和验收。

4.1.6.5 试样应沿钢管纵向截取，但对直径不小于200mm的钢管，也可垂直于钢管轴线截取横向试样。

4.1.7 目检和无损检测

4.1.7.1 所有的I级和II级压力管系用钢管、锅炉管和过热器管均应提交本社验船师进行内外表面目检和尺寸校核。

4.1.7.2 所有焊接钢管应采用无损检测方法对所有焊缝区域进行检测，其结果应符合本社接受的有关标准。

4.1.8 液压试验

4.1.8.1 每根钢管均应在制造厂进行液压试验。经本社同意，也可用超声波检测或涡流检测代替液压试验，但制造厂应提供证明该方法可靠性的技术文件。

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本社认可；

(2) 本条(1)中所述的试验压力 P 不必超过按下式确定的值：

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

式中： D ——钢管的公称外径，mm；

t ——钢管的公称壁厚，mm；

σ ——应力值，MPa；对于碳钢钢管，为屈服点(σ_s 或 $\sigma_{P0.2}$)的80%，对于奥氏体不锈钢钢管，

为规定非比例伸长应力($\sigma_{P1.0}$)的70%。

(3) 在试验压力下应保持足够的时间，以便进行检查。

4.1.9 钢管缺陷的修补

4.1.9.1 钢管表面的缺陷，如修整后管壁厚度不小于所规定的最小厚度时，允许用机械方法进行打磨，然后光滑过渡至钢管表面。

4.1.9.2 当拟用焊补修复钢管表面的小缺陷时，应将焊补工艺规程，包括预热和焊后热处理等资料提交本社认可。修补区域均应进行磁粉检测。奥氏体钢管在完成焊补、热处理和打磨之后，应进行着色检测。

4.1.10 标记

4.1.10.1 制造厂应在已验收钢管的端部清晰地标上本社的标志及下列标记：

- (1) 制造厂名称及商标；
- (2) 钢管的规格和钢级标记；

- (3) 炉罐号或供查阅钢管全部生产过程的识别标志；
- (4) 负责最终检验的验船师的印章。

钢印应用油漆框出，以求明显易认。

4.1.11 合格证书

4.1.11.1 制造厂应出具包括下列内容的钢管产品合格证书：

- (1) 订货方的名称和合同号；
- (2) 钢管发货、收货地址；
- (3) 钢管规格及钢级；
- (4) 钢管技术条件；
- (5) 炉罐号和化学成分；
- (6) 力学性能试验结果和晶间腐蚀试验结果(如进行该项试验)；
- (7) 交货状态。

如制造厂使用由炼钢厂提供的钢材时，则炼钢厂应出具证明，说明炼钢方法、炉罐号和化学成分，且该炼钢厂应经本社认可。

第2节 无缝压力管

4.2.1 适用范围

4.2.1.1 本节规定适用于碳钢、碳锰钢和低合金钢制成的铁素体钢无缝压力管。

4.2.2 制造和化学成分

4.2.2.1 无缝压力管应采用热轧或冷拔工艺进行制造。

4.2.2.2 钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合表4.2.2.2的规定。

无缝压力管钢材的脱氧方法和化学成分

表4.2.2.2

| 钢种 | 强度级 (N/mm ²) | 脱氧 方法 | 化学成分(%) | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|----------|-----------|----------|---------|-------|-------|------------|---------|-----------|-------|-------|-----------|-------|--|--|
| | | | C | Si | Mn | S | P | Ni | Cr | No | Cu | Sn | V | Al | | |
| 碳钢 和 碳锰钢 | 320 | 半镇静 | ≤0.16 | - | 0.4~0.7 | ≤0.04 | ≤0.04 | Ni≤0.30 | | | | | | | | |
| | 360 | 或镇静 | ≤0.17 | ≤0.35 | 0.4~0.8 | ≤0.04 | ≤0.04 | Cr≤0.25 | | | | | | | | |
| | 410 | 镇静 | ≤0.21 | ≤0.35 | 0.4~1.2 | ≤0.04 | ≤0.04 | Mo≤0.10 | | | | | | | | |
| | 46D | | ≤0.22 | ≤0.35 | 0.8~1.4 | ≤0.04 | ≤0.04 | Cu≤0.30 | | | | | | | | |
| | 490 | | ≤0.23 | ≤0.35 | 0.8~1.5 | ≤0.04 | ≤0.04 | 残余元素总量0.70 | | | | | | | | |
| 1Cr0.5Mo | 440 | 镇静 | 0.1~0.18 | 0.1~0.35 | 0.4~0.7 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.3 | 0.7~1.1 | 0.45~0.65 | ≤0.25 | ≤0.03 | - | ≤0.02 | | |
| 2.25Cr1Mo | 410 | | 0.08~0.15 | 0.1~0.35 | 0.4~0.7 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.3 | 2.0~2.5 | 0.9~1.2 | ≤0.25 | ≤0.03 | - | ≤0.02 | | |
| 490 | 0.08~0.15 | | 0.1~0.35 | 0.4~0.7 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.3 | 2.0~2.5 | 0.9~1.2 | ≤0.25 | ≤0.03 | - | ≤0.02 | | | |
| 0.5Cr0.5Mo0.25V | 460 | | 0.1~0.18 | 0.1~0.35 | 0.4~0.7 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.3 | 0.3~0.6 | 0.5~0.7 | ≤0.25 | ≤0.03 | 0.22~0.32 | ≤0.02 | | |

4.2.3 热处理

4.2.3.1 钢管应进行热处理并应符合下列规定：

(1) 对碳钢、碳锰钢无缝钢管应作正火或正火加回火处理，但如热轧的终轧温度足以使钢管软化时，则可以采用热轧状态交货；

(2) 对合金钢无缝压力管应按表4.2.3.1(2)进行热处理。

合金钢无缝压力管

表4.2.3.1(2)

| 合金钢 | | 热处理工艺 |
|-------------------|------------------|--|
| 10.5Mo | | 正火加回火 |
| 2.25Cr1Mo | 410强度级 490强度级 | 完全退火 正火加回火(回火温度650℃—780℃或650℃—750℃) |
| 0.5Cr 0.5Mo 0.25V | | 正火加回火 |

4.2.4 力学性能和工艺性能

4.2.4.1 钢管可按批验收, 取样数量应符合本章4.1.6的规定。进行试验的每根压力管应进行拉伸和压扁或弯曲试验, 试验结果应符合表4.2.4.1的规定。

无缝压力管的力学性能和工艺性能

表4.2.4.1

| 钢种 | 强度级 (N/mm ²) | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不 小 于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于(%) | 压扁试验系数 C | 弯曲试验弯心直 径 (mm) |
|-----------------|-----------------------------|--|---|--------------------------|-------------|-------------------|
| 碳钢和碳锰钢 | 320 | 320 | 195 | 25 | 0.10 | 4t (t为厚度) |
| | 360 | 360 | 215 | 24 | 0.10 | |
| | 410 | 410 | 235 | 22 | 0.08 | |
| | 460 | 460 | 265 | 21 | 0.07 | |
| | 490 | 490 | 285 | 21 | 0.07 | |
| 1Cr0.5Mo | 440 | 440 | 275 | 22 | 0.07 | 4t |
| 2.25Cr1Mo | 410 | 410 | 135 | 20 | 0.07 | 4t |
| | 490 | 490 | 275 | 16 | | |
| 0.5Cr0.5Mo0.25V | 460 | 460 | 275 | 15 | 0.07 | 4t |

注: ①对碳钢和碳锰钢, 表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为120N/mm²。

②对合金钢, 表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为150N/mm²。

4.2.4.2 供设计用的无缝压力管的高温力学性能分别见表4.2.4.2(1)和表4.2.4.2(2)。

无缝压力管的高温屈服点

表4.2.4.2(1)

| 钢种 | 强度级 (N/mm ²) | 高温屈服点 σ_s^T 不小于(N/mm ²) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 温度(℃) | | | | | | | | | | | |
| | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
| 碳钢和碳锰钢 | 320 | 172 | 168 | 158 | 147 | 125 | 100 | 91 | 88 | 87 | - | - | - |
| | 360 | 192 | 187 | 176 | 165 | 145 | 122 | 111 | 109 | 107 | - | - | - |
| | 410 | 217 | 210 | 199 | 188 | 170 | 149 | 137 | 134 | 132 | - | - | - |
| | 460 | 241 | 234 | 223 | 212 | 195 | 177 | 162 | 159 | 156 | - | - | - |
| | 490 | 256 | 249 | 237 | 226 | 210 | 193 | 177 | 174 | 171 | - | - | - |
| 1Cr0.5Mo | 440 | 254 | 240 | 230 | 220 | 210 | 183 | 169 | 164 | 161 | 156 | 151 | |
| 2.25Cr1Mo | 410 | 121 | 108 | 99 | 92 | 85 | 80 | 76 | 72 | 69 | 66 | 64 | 62 |
| | 490 | 268 | 261 | 253 | 245 | 236 | 230 | 224 | 218 | 205 | 189 | 167 | 145 |
| 0.5Cr0.5Mo0.25V | 460 | 266 | 259 | 248 | 235 | 218 | 192 | 184 | 177 | 168 | 155 | 148 | - |

注: ① 退火状态。

② 正火加回火状态。

无缝压力管的高温破断平均应力

表4.2.4.2(2)

| 钢种 | 强度级(N/mm ²) | 100000h下破断强度 σ_b^T | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 参考值(N/mm ²) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 温度(°C) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 380 | 390 | 400 | 410 | 420 | 430 | 440 | 450 | 460 | 470 | 480 | 490 | 500 | 510 | 520 | 530 | 540 | 550 | 560 | 570 | 580 |
| 碳钢和碳锰钢 | 320 | 171 | 155 | 141 | 127 | 114 | 102 | 90 | 78 | 67 | 57 | 47 | 36 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 360 | 171 | 155 | 141 | 127 | 114 | 102 | 90 | 78 | 67 | 57 | 47 | 36 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 410 | 171 | 155 | 141 | 127 | 114 | 102 | 90 | 78 | 67 | 57 | 47 | 36 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 460 | 227 | 203 | 179 | 157 | 136 | 117 | 100 | 85 | 73 | 63 | 55 | 47 | 41 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 490 | 227 | 203 | 179 | 157 | 136 | 117 | 100 | 85 | 73 | 63 | 55 | 47 | 41 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 1Cr0.5Mo | 440 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 210 | 177 | 146 | 121 | 99 | 81 | 67 | 54 | 43 | 35 | - |
| 2.25Cr1Mo | 410(退火) | - | - | - | - | - | - | - | 196 | 182 | 168 | 154 | 141 | 127 | 115 | 102 | 90 | 78 | 69 | 59 | 51 | 44 |
| | 490 ^① (正火加回火) | - | - | - | - | - | - | - | 221 | 204 | 186 | 170 | 153 | 137 | 122 | 107 | 93 | 79 | 69 | 59 | 51 | 44 |
| 0.5Cr0.5Mo0.25V | 460 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 218 | 191 | 170 | 150 | 131 | 116 | 100 | 85 | 72 | 59 | 46 |

注：① 若回火温度>750°C时。应参考410强度级的数值。

第3节 焊接压力管

4.3.1 适用范围

- 4.3.1.1 本节规定适用于碳钢、碳锰钢和合金钢制造的铁素体钢焊接压力管。
- 4.3.1.2 如采用纵向埋弧焊制钢管时，应将其详细资料提交本社认可。

4.3.2 制造和化学成分

- 4.3.2.1 焊接管应采用电阻焊或高频焊工艺制造。
- 4.3.2.2 钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合本章表4.2.2.2的规定，但其中490N/mm²强度级的碳钢和碳锰钢、2.25Cr1Mo和0.5Cr0.5Mo0.25V合金钢除外。

4.3.3 热处理

- 4.3.3.1 钢管的热处理应符合下述列规定：
 - (1) 对碳钢和碳锰钢钢管，应作正火处理，制造厂也可自行决定进行正火加回火处理；
 - (2) 对合金钢钢管，应作正火加回火处理。

4.3.4 力学性能和工艺性能

- 4.3.4.1 钢管应按本章4.1.6的规定按批验收。应从钢管上交替地截取试样中心带焊缝和不带焊缝的两种试样，凡位于试样标距范围内的加强焊缝应予以去除。
- 4.3.4.2 进行试验的每根耐压管应进行拉伸和压扁或弯曲试验，试验结果应符合本章表4.2.4.1的规定，但其中490N/mm²强度级的碳钢和碳锰钢、2.25Cr1Mo和0.5Cr0.5Mo0.25V合金钢钢管除外。
- 4.3.4.3 320~460 N/mm²强度级的碳钢和碳锰钢以及1Cr0.5Mo合金钢的高温力学性能见本章表4.2.4.2(1)和(2)。

第4节 锅炉管与过热器管

4.4.1 适用范围

4.4.1.1 本节规定适用于碳钢、碳锰钢和低合金钢制造的锅炉管与过热器管。

4.4.2 制造及化学成分

4.4.2.1 锅炉管与过热器管应为无缝钢管或焊接管，并应符合本章第2节和第3节的有关规定。所用钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合本章表4.2.2.2的规定，但其中490N/mm²强度级的碳钢和碳锰钢和0.5Cr0.5Mo0.25V合金钢除外。

4.4.3 热处理

4.4.3.1 锅炉管与过热器管均应进行热处理，并应符合表4.4.3.1的规定。

锅炉管与过热器管的交货状态 表4.4.3.1

| 钢种 | | 交货状态 |
|-----------|--------|---------------------------|
| 碳钢和碳锰钢 | | 正火或正火加回火 ^① |
| 1Cr0.5Mo | | 正火加回火 ^② |
| 2.25Cr1Mo | 410强度级 | 完全退火 |
| | 490强度级 | 正火并在650℃~780℃或650℃~750℃回火 |

注：① 对热轧无缝钢管工艺制造的锅炉管和过热器管，当终轧温度足以使钢管软化时，可采用热轧状态交货。

② 含碳量>0.15%的1Cr0.5Mo合金钢管可采用正火状态交货。

4.4.4 力学性能和工艺性能

4.4.4.1 钢管可按批验收，并应符合本章4.1.6的规定。进行试验的每根锅炉管与过热器管至少应进行拉伸、压扁或弯曲、扩口或卷边试验，试验结果应符合表4.4.4.1的规定。

锅炉管与过热器管的力学性能与工艺性能 表4.4.4.1

| 钢种 | 强度级 (N/mm ²) | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) ^① | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) ^① | 伸长率 σ_5 不小于 (%) | 压扁试验 系数 C | 弯曲试验 弯心直径 (mm) | 扩口或卷边试验外径扩大值(%) | | |
|------------|-----------------------------|--|---|---------------------------------|-----------------|----------------------|-----------------|--------------|------|
| | | | | | | | 内径/外径 | | |
| | | | | | | | ≤0.6 | >0.6 ≤0.8 | >0.8 |
| 碳钢和碳锰 钢 | 320 | 320 | 195 | 25 | 0.10 | 4t (t为厚度) | 12 | 15 | 19 |
| | 360 | 360 | 215 | 24 | 0.10 | | 12 | 15 | 19 |
| | 410 | 410 | 235 | 22 | 0.08 | | 10 | 12 | 17 |
| | 460 | 460 | 265 | 21 | 0.07 | | 8 | 10 | 15 |
| 1Cr0.5Mo | 440 | 440 | 275 | 22 | 0.07 | 4t | 8 | 10 | 15 |
| 2.25Cr1Mo | 410 | 410 | 135 | 20 | 0.07 | 4t | 8 | 10 | 15 |
| | 490 | 490 | 275 | 16 | | | | | |

注：① 对碳钢和碳锰钢，表中各强度级的抗拉强度范围均为120 N/mm²。

② 对合金钢，表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为150 N/mm²。

4.4.4.2 320~460 N/mm²强度级的碳钢和碳锰钢以及1Cr0.5Mo和2.25Cr1Mo合金钢的高温力学性能见本章表4.2.4.2(1)和(2)。

第5节 低温铁素体钢压力管

4.5.1 适用范围

4.5.1.1 本节规定适用于设计温度低于0℃的液化气体运输船的液货舱和加工处理设备用的，由碳钢、碳锰钢或镍合金钢制造的钢管。

4.5.2 制造和化学成分

4.5.2.1 钢管的制造方法应符合表4.5.2.1的规定。

低温铁素体钢压力管的制造方法

表4.5.2.1

| 钢种 | 制造方法 |
|--------|---------------------|
| 碳钢和碳锰钢 | 热轧或冷拔无缝工艺或电阻焊或高频焊工艺 |
| 镍合金钢 | 热轧或冷拔无缝工艺 |

4.5.2.2 钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合表4.5.2.2的规定。

低温铁素体钢压力管钢材的脱氧方法和化学成分

表4.5.2.2

| 钢种 | 强度级 (N/mm ²) | 脱氧方法 | 化学成分(%) | | | | | | | |
|-------|-----------------------------|---------------|---------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|---|-------------------|
| | | | C | Si | Mn | P | S | Ni | 残余元素 | 其他元素 ^② |
| 碳钢 | 360 | 全镇静细 化晶粒处理 | ≤0.17 | 0.10~0.35 | 0.40~1.00 | ≤0.045 | ≤0.045 | | Cr≤0.25; Cu≤0.30 Mo≤0.10; Ni≤0.30 总量≤0.70 | A1≥0.015 (纯金属) |
| 碳锰钢 | 410 460 | | ≤0.20 | 0.10~0.35 | 0.60~1.40 | ≤0.045 | ≤0.045 | | | A1≥0.015 (纯金属) |
| 3.5Ni | 440 | 全镇静 | ≤0.15 | 0.10~0.35 | 0.30~0.90 | ≤0.040 | ≤0.040 | 3.25~3.75 | Cr≤0.25 Cu≤0.30 Mo≤0.10 总量≤0.60 | - |
| 9Ni | 690 | | ≤0.13 | 0.10~0.35 | 0.30~0.90 | ≤0.040 | ≤0.040 | 8.50~9.50 | | - |

注：① 可用其他细晶元素部分或全部代替铝。

② 当规定最低含铝量为0.015%时，测出的总含铝量应不低于0.018%。

4.5.3 热处理

4.5.3.1 钢管的热处理应符合表4.5.3.1的规定。

低温铁素体钢压力管的热处理

表 4.5.3.1

| 钢种 | 热处理规程 |
|--------|---------------|
| 碳钢或碳锰钢 | 热轧状态、正火或正火加回火 |
| 3.5Ni | 正火或正火加回火 |
| 9Ni | 两次正火加回火或淬火加回火 |

4.5.4 力学性能和工艺性能

4.5.4.1 钢管应按本章4.1.6.1和4.1.6.2所规定的试样数量进行拉伸和压扁或弯曲试验。

若钢管的壁厚不小于6mm时，还应按本节表4.5.4.2所规定的温度进行冲击试验。冲击试验应取1组3个的夏比V型缺口冲击试样，试样应沿钢管纵向截取，且缺口应垂直于钢管表面。试样尺寸和试验方法应符合本篇第2章的有关规定。

4.5.4.2 试验结果应符合表4.5.4.2的规定。

低温铁素体钢压力管的的力学性能和工艺性能

表4.5.4.2

| 钢种 | 强度级 (N/mm ²) | 抗拉强度 ^① σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 ^① σ_s 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) | 压扁试验系数 C | 弯曲试验 弯心直径 (mm) | 夏比V型缺口冲击试验 | |
|-------|-----------------------------|---|---|---------------------------------|-----------------|----------------------|--------------|-------------------------------|
| | | | | | | | 试验温度 (°C) | 平均冲击能量 ^② 不小于(J) |
| 碳钢 | 360 | 360 | 210 | 24 | 0.10 | 4t(t为厚度) | ③ | 27 |
| 碳锰钢 | 410 | 410 | 235 | 22 | 0.08 | 4t | | 27 |
| | 460 | 460 | 260 | 21 | 0.07 | | | |
| 3.5Ni | 440 | 440 | 245 | 16 | 0.08 | 4t | -100 | 34 |
| 9Ni | 490 | 490 | 310 | 15 | 0.08 | 4t | -196 | 41 |

注：① 对碳钢和碳锰钢，表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为120N/mm²；对镍合金钢，表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为150 N/mm²。

② 冲击试样的冲击功，一个单值可以低于上表所规定的平均值，但应不低于该值的70%。

③ 试验温度应低于设计温度5°C或为-20°C，取其较低者。

第6节 奥氏体不锈钢压力管

4.6.1 适用范围

4.6.1.1 本节规定适用于设计温度不低于一165°C的液化气运输船和散装化学品船的货舱和加工处理设备用的奥氏体不锈钢压力管。

4.6.1.2 奥氏体不锈钢压力管也适用于高温场合，但应将其化学成分、力学性能和热处理规程等详细资料提交本社认可。

4.6.2 制造和化学成分

4.6.2.1 钢管应采用无缝或连续自动电弧焊工艺制造。施焊时应沿纵向焊接。

4.6.2.2 钢材的桶样化学成分应符合表4.6.2.2的规定。

奥氏体不锈钢压力管钢材的化学成分

表4.6.2.2

| 钢种 | 化学成分(%) | | | | | | | | 其他元素 |
|---------------|---------|------|------|--------|-------|-----------|---------|----------|--------------|
| | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Ni | |
| 00Cr18Ni10 | ≤0.03 | ≤1.0 | ≤2.0 | ≤0.045 | ≤0.03 | 17.0~19.0 | | 9.0~13.0 | - |
| 00Cr17Ni14Mo3 | | | | | | 16.0~18.5 | 2.0~3.0 | U.0~14.5 | - |
| 0Cr18Ni9Ti | ≤0.08 | | | | | 17.0~19.0 | | 9.0~13.0 | 5×C%≤Ti≤0.08 |
| 1Cr18ni11Nb | | | | | | 17.0~19.0 | | 9.0~13.0 | 10×C%≤Nb≤1.0 |

4.6.3 热处理

4.6.3.1 所有的钢管均应进行固溶处理。

4.6.4 力学性能和工艺性能

4.6.4.1 对I级和II级奥氏体不锈钢压力管应按本章4.1.6规定的试样数量按批试验。进行试验的每根钢管应进行拉伸试验和压扁或弯曲试验，试验结果应符合表4.6.4.1的规定。

奥氏体不锈钢压力管的力学性能和工艺性能

表4.6.4.1

| 钢种 | 抗拉强度 不小于 (N/mm ²) | 规定非比例伸长应力 $\sigma_{P0.2}$ 不小于 (N/mm ²) | 规定非比例伸长应力 $\sigma_{P1.0}$ 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) | 压扁试验系数 C | 弯曲试验弯心直径 (mm) |
|---------------|-------------------------------------|--|--|---------------------------------|-------------|------------------|
| 00Cr18Ni10 | 490 | 175 | 205 | 30 | 0.09 | 3t (t为厚度) |
| 00Cr17Ni14Mo3 | | 185 | 215 | 30 | | |
| 0Cr18Ni9Ti | 510 | 195 | 235 | 30 | 0.09 | 3t |
| 1Cr18Ni11Nb | | 205 | 245 | 30 | | |

注：① 表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为200 N/mm²。

② $\sigma_{P0.2}$ 仅作参考。除另有协议外，一般不要求测定该项数据。

4.6.5 晶间腐蚀试验

4.6.5.1 凡用于散装化学品船的钢管，应按本篇3.8.5的规定进行晶间腐蚀试验，试样制备应符合下列规定：

(1) 按本章4.1.6所规定的批量，从每批钢管中选取1%根数(至少1根)的钢管制备试样；

(2) 试样总面积应不小于1500 mm²，但不大于3500 mm²；对外径不大于40mm的钢管，应采用全截面试样；而对较大的钢管，应沿圆周方向截取全厚度的、宽度不小于12.5mm的条状试样。

第5章 锻 钢 件

第1节 一般规定

5.1.1 适用范围

5.1.1.1 本章规定适用于船体、机械、受压容器及管系用的锻钢件，其制造方法应符合本篇第3章3.1.2.2和3.1.2.3的要求。采用本章规定以外的碳钢、碳锰钢或合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交本社认可，经同意后，可按本社接受的有关标准验收。

5.1.1.2 本章要求也适用于代替锻钢件的轧制扁坯和方坯，以及用于机加工制造轴类、螺栓、螺柱及形状类似的其他部件的轧制圆钢。

5.1.1.3 锻钢件应由本社认可的工厂制造，并盖有本社的标志。

5.1.2 化学成分

5.1.2.1 锻钢件的桶样化学成分应符合本章各节的规定。具体化学成分的选择应适合于钢材的种类、锻钢件的尺寸和规定的力学性能。

5.1.2.2 除另有规定外，制造厂可自行决定添加适当的细化晶粒元素，如Al、Nb、V等，但应在化学成分报告中注明。

5.1.3 锻制要求

5.1.3.1 所有锻钢件应采用镇静钢锻制。

5.1.3.2 如锻钢件由铸锭直接锻制或由铸锭锻成的方坯锻制时，铸锭应在金属铸型中铸成，其上端应具有较大的横截面和有效的冒口。

5.1.3.3 锻钢件应缓慢、均匀地加热，并应尽可能将锻钢件制成接近成品的尺寸和形状且有合理的加工余量。

5.1.3.4 钢锭的顶部和底部应切去足够的弃料，以保证成品锻钢件中不致有缩孔或偏析等有害缺陷。

5.1.3.5 所有锻钢件的心部区域应能达到足够的塑性变形量。对主要呈纵向纤维的锻钢件，其锻造比应不小于表5.1.3.5的规定。

盘形锻钢件(如齿轮)应采用镦粗法锻制，如钢坯经锻造比不低于1.5:1的初锻，则该盘形锻钢件的任何部位的厚度应不大于该钢坯长度的1/2。如所用的坯料系直接切自钢锭或者钢坯经过锻造比低于1.5:1的初锻，则该盘形锻钢件任何部分的厚度应不大于原坯料长度的1/3。

锻钢件的锻造比

表5.1.3.5

| 锻制方法 | 总锻造比 ^{①②} |
|----------------------|--------------------------------------|
| 直接由钢锭锻制或由钢锭锻成的钢坯锻制 | $L > D$ 时, 3:1 $L \leq D$, 1.5:1 |
| 由轧制产品锻制 ^③ | $L > D$, 4:1 $L \leq D$, 2:1 |

注:① 锻造比系指钢锭平均横截面积与锻钢件截面积(毛坯)之比,如果钢锭经受过初锻,则可取初锻后的平均横截面面积作为计算锻造比的基准。

② L 和 D 系指成品锻钢件的长度和直径。

③ 作为代替锻钢件的轧制钢棒，其总锻造比应不小于6:1。

5.1.3.6 环形锻钢件和其他类型的空心锻钢件，应由切自钢锭或钢坯的坯料锻制，而这些坯料在心轴扩拔之前，应经适当的冲孔、钻孔或套孔，或者采用取自空心钢锭上的坯料。锻钢件的壁厚应不大于该空心坯料壁厚的1/2。如难以符合上述要求，锻造工艺应能保证坯料在冲孔、钻孔或套孔等工序前，经过适当的加工处理，例如锻造比不低于2:1的纵向加工或锻粗加工。

5.1.3.7 对使用时要求具有一定的纤维方向的锻钢件，例如曲轴，其制造工艺应提交本社认可。

5.1.4 热处理

5.1.4.1 锻钢件经热锻后，在适当的加工阶段，应进行最终热处理，以便细化晶粒组织并获得所要求的力学性能。

5.1.4.2 如果由于某种原因，锻钢件应重新加热以进一步作成型热加工时，则应再作一次热处理。

5.1.4.3 凡采用气割或碳弧气刨将轧制扁坯切割成锻钢件形状时，应按认可的操作方法进行，且该项工序应在最终热处理之前完成，并应根据坯件的成分和厚度进行适当的预热。

5.1.4.4 如果锻钢件在最终热处理后，需经受局部加热、进行热矫直或冷矫直，则应对该锻钢件作消除残余应力处理。

5.1.4.5 对需要作表面硬化处理的锻钢件，应将其工艺规程提交本社认可，且制造厂应通过试验证实该锻钢件表面硬化层的硬度和深度，确能达到要求的质量而又不致损害锻钢件本体的性能。

5.1.5 试验材料和试验

5.1.5.1 锻钢件试件的截面尺寸应与所代表的锻钢件的那一部分截面相同，试件应与锻钢件构成整体且与锻钢件经受相同的热处理，并在相当于钢锭的冒口端取样。当一个锻钢件在锻造后分成若干个单件，且所有单件都装入同一炉进行热处理时，则在试验时，可把这些单件看作一个锻钢件，所规定的试验次数应与原始锻钢件的总长度和重量有关。

试件的大小应符合所需试验和可能进行的复试的需要。

5.1.5.2 具有同一炉罐号、同一热处理规程和尺寸相近的小型锻钢件，可进行批量试验。批量试验时，可取其中一个锻钢件作为试件或采用在同样锻造和热处理规程下单独锻制的锻钢件作为试件，并标上批号的标记。

5.1.5.3 试样的制备应符合本篇第2章和本章各节的有关规定。拉伸和冲击试样的取向应与锻钢件的纤维方向成一定关系，其规定如下：

纵向：试样的轴线平行于非弯曲纤维的延伸方向；

切向：试样的轴线与弯曲纤维的方向相切；

横向：试样的轴线与非弯曲纤维或弯曲纤维的方向垂直。

5.1.5.4 一般情况下，试样应在距表面1/3半径处或1/2厚度处截取，对于某些特殊锻钢件，取样部位可在图纸上加以规定。

5.1.5.5 拉伸试样横截面的面积应不小于150mm²，若确因锻钢件尺寸所限，也应尽可能取最大的实际横截面，并应征得本社的同意。除另有规定外，制造厂可自行决定选用夏比V型缺口或夏比U型缺口的冲击试样。

5.1.5.6 拉伸试验和冲击试验应符合本篇第2章的要求。凡本章各节中有要求时，应进行硬度试验。

5.1.6 目检和无损检测

5.1.6.1 在验收时，所有锻钢件应提交验船师作内、外表面的目检。制造厂应负责校核锻钢件的尺寸精度。

5.1.6.2 钢坯或锻钢件应按本章各节的有关要求作低倍组织检查，并应符合本社接受的有关标准。

5.1.6.3 锻钢件的表面应保持清洁。除锻钢件以粗加工状态交货外，可在必要时采用局部磨削、喷丸、喷砂或钢丝刷清理以及酸洗或其他化学方法清理表面。

5.1.6.4 锻钢件在完成机加工后，应按本章各节的有关要求进行检测或着色检测，并符合本社接受的检测方法与判定标准。

5.1.6.5 锻钢件在机加工到适当阶段和最终热处理后，应在其表面作径向和/或轴向的超声波检测，并符合本社接受的检测方法与判定标准。

5.1.6.6 除本社验船师同意外，上述无损检测应有验船师在场时进行。

5.1.7 缺陷的修整

5.1.7.1 锻钢件表面的轻微缺陷可用批凿或修磨的方法去除，并用磁粉检测或着色检测以证实该缺陷已被完全清除。

5.1.7.2 锻钢件表面一般不允许用焊补方法修整缺陷。对低应力区域的细小的缺陷，经本社同意，可以焊补，但应将焊补的详细资料及检查程序提交本社认可。

5.1.8 锻钢件标记与证明文件

5.1.8.1 锻钢件制造厂对经本社验收的每一锻钢件，应至少在一个位置清晰地标出本社的标志及下列标记：

- (1) 炉罐号及供查阅此锻钢件锻制过程的标记；
- (2) 本社负责检验的单位及其钢印；
- (3) 负责检验的验船师的印章；
- (4) 试验压力(如有时)；
- (5) 最后检验日期。

钢印应用油漆框出，以求明显易认。

5.1.8.2 制造厂应对每一锻钢件或成批锻钢件提供包括下列内容的合格证书：

- (1) 订货方的名称和合同号；
- (2) 锻钢件的规格和用途；
- (3) 锻钢件钢材的炉罐号和牌号；
- (4) 热处理状态；
- (5) 化学成分和力学性能试验结果；
- (6) 低倍组织检查结果(如有时)；
- (7) 锻造比；
- (8) 试验压力(如有时)；
- (9) 无损检测的方法及结果。

第2节 船体结构用锻钢件

5.2.1 适用范围

5.2.1.1 本节规定适用于建造船体结构(如舵轴、舵柱、舵梢以及首尾柱等)用的碳钢或碳锰钢的锻钢件。

若拟采用抗拉强度高于本节5.2.4.2规定的碳钢或碳锰钢，或采用合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等提交给本社认可。

5.2.2 化学成分

5.2.2.1 采用焊接连接和非焊接连接的船体结构用锻钢件，其桶样化学成分应符合表5.2.2.1的规定。

船体结构用锻钢件的化学成分 表5.2.2.1

| 连接方式 | 化学成分(%) | | | | | | | | |
|-----------------|---------|-------|------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | S | P | 残余元素 | | | |
| | | | | | | Cu | Mo | Cr | Ni |
| 焊接 ^① | ≤0.23 | ≤0.45 | 0.30~1.70 ^② | ≤0.040 | ≤0.040 | | | | |
| 非焊接 | ≤0.30 | ≤0.45 | 0.30~1.50 | ≤0.040 | ≤0.040 | ≤0.30 | ≤0.15 | ≤0.30 | ≤0.40 |

注：① 从锻钢件上取样时，含碳量应不超过0.26%。

② 焊后不进行热处理时，其含锰量应不小于实际含碳量的3倍。

③ 残余元素总含量应不超过0.80%。

5.2.3 热处理

5.2.3.1 锻钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 完全退火；
- (2) 正火；
- (3) 正火加回火，回火温度应不低于550℃。

5.2.4 力学性能

5.2.4.1 锻钢件试样的截取方法如下：

(1) 应从每个锻钢件的一端截取1个拉伸试样。如由一个钢锭锻制成几个锻钢件并经同炉热处理者，可选其中任一锻钢件，截取1个拉伸试样；

(2) 对重量超过4000kg且长度超过3m的锻钢件，应从其两端各取1个拉伸试样；

(3) 除经本社同意外，拉伸试样应沿锻钢件的纵向截取。

5.2.4.2 锻钢件的拉伸试验结果应符合表5.2.4.2的规定。

对于需要从两端取试样的大型锻钢件，其两端的抗拉强度差值应不超过70N/mm²。

船体结构用锻钢件的力学性能 表5.2.4.2

| 抗拉强度 σ_b 不小于(N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于(N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于(%) | |
|---|--|--------------------------|----|
| | | 纵向 | 横向 |
| 430 | 215 | 24 | 18 |

5.2.4.3 对冰区航行的船舶，如其冰级标志为B1*或B1时，该船的舵杆和舵轴或舵梢所采用的锻钢件，除应按本节5.2.4.1的规定进行试验外，还应作-10℃的夏比V型缺口冲击试验，试样1组3个，平均冲击功应不低于27J，单个试样的冲击功应不低于19J。

5.2.5 无损检测

5.2.5.1 舵杆和舵轴以及吊车架的法兰盘等船体结构锻钢件应进行超声波检测。对法兰根部和锥度部分，应进行表面裂纹检测。

第3节 轴系与机械结构用锻钢件

5.3.1 适用范围

5.3.1.1 本节规定适用于轴系用碳钢和碳锰钢以及未包括在本章第4节至第8节范围内的机械用锻钢件。

对用作主推进机械的轴系锻钢件，其抗拉强度范围应为400~600N/mm²。

5.3.1.2 如采用合金钢锻钢件，应将其化学成分、力学性能和热处理规程提交本社认可并应符合下列规定：

- (1) 用作主推进轴时，其抗拉强度一般应不超过800N/mm²；
- (2) 用作其他机械锻钢件时，其抗拉强度一般应不超过1100N/mm²。

5.3.1.3 用于制造中间轴、尾管轴、螺旋桨轴等的热轧圆钢，其直径应不超过250mm。

5.3.2 化学成分

5.3.2.1 锻钢件的桶样化学成分应符合表5.3.2.1的规定。

轴系与机械用锻钢件的化学成分 表5.3.2.1

| 钢种 | 化学成分 (%) | | | | | | | | |
|--------|----------|-------|-----------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | S | P | 残余元素 | | | |
| | | | | | | Ni | Cr | Mo | Cu |
| 碳钢和碳锰钢 | ≤0.60 | ≤0.45 | 0.30~1.50 | ≤0.040 | ≤0.040 | ≤0.4130 | ≤0.30 | ≤0.15 | ≤0.30 |
| 合金钢 | ≤0.45 | ≤0.45 | | ≤0.035 | ≤0.035 | 注 | | | |

注：其余合金元素应经本社认可。

5.3.2.2 对于采用焊接装配成整体的锻钢件，其含碳量应不超过0.23%，残余元素的总含量应不超过0.80%，并应具有良好的焊接性能。若含碳量超过0.23%，则应将其焊接工艺提交本社认可。

5.3.3 热处理

5.3.3.1 碳钢和碳锰钢锻钢件应采用下列之一的热处理法：

- (1) 完全退火；
- (2) 正火；
- (3) 正火加回火；
- (4) 淬火加回火。

其中，回火的温度应不低于550℃。

对于抗拉强度大于700N/mm²的锻钢件，应作淬火加回火处理。

5.3.4 力学性能

5.3.4.1 每一锻钢件至少应在其一端(即相当于钢锭的冒口端)制备试样1套；对于由1个钢锭制成并经同炉热处理的几个锻钢件或每批小型锻钢件，应至少选取其中1个锻钢件作为试件。

5.3.4.2 对于重量超过4000kg且长度超过3m的锻钢件，应在其两端各取1套试样。

5.3.4.3 各种锻钢件的试验项目和试样数量应符合表5.3.4.3的要求。

轴系与机械用锻钢件的试验项目和试样数量 表5.3.4.3

| | |
|-------|-----------|
| 锻钢件名称 | 试验项目和试样数量 |
|-------|-----------|

| | 碳钢和碳锰钢 | 合金钢 |
|--|---------------------------------|--|
| 中间轴、推力轴、尾管轴、螺旋桨轴、连杆、活塞杆、十字头、增压器转子、轴类锻钢件、柴油机气缸头螺栓、贯穿螺栓、主轴承螺栓、轴系法兰螺栓、连杆上下端螺栓、凸轮轴、进排气阀、轴系传动机械的重要锻钢件 | 1. 化学成分分析; 2. 拉伸试验。应至少取1个试样。 | 1. 化学成分分析; 2. 拉伸试验, 应至少取1个试样; 3. 冲击试验, 应至少取1组3个试样。 |

5.3.4.4 试样应沿锻钢件纵向截取, 但如征得本社同意, 也可按图5.3.4.4(1)、(2)和(3)所示的部位选取所需的试样。

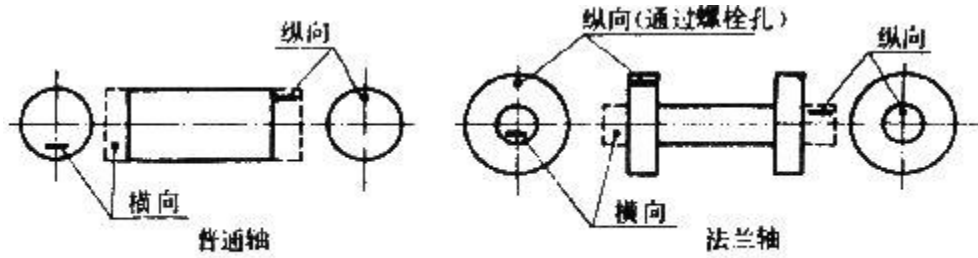


图 5.3.4.4(1)

图 5.3.4.4(2)

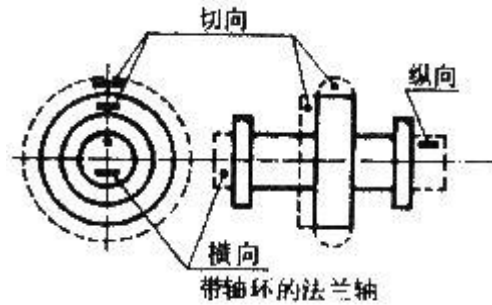


图 5.3.4.4(3)

5.3.5 力学性能

5.3.5.1 碳钢和碳锰钢锻钢件的力学性能应符合表5.3.5.1的规定。

5.3.5.2 合金钢锻钢件经正火加回火或淬火加回火处理后的力学性能应符合本章表5.4.6.2的规定。

5.3.5.3 对要求具有B1*和B1冰级的船舶, 其螺旋桨轴的碳钢和碳锰钢锻钢件, 应作-10℃的夏比V型缺口冲击试验。试样为1组3个(取自每根轴安装螺旋桨的一端), 平均冲击功应不小于20J。

5.3.5.4 如一个锻钢件作2次或以上的拉伸试验, 其抗拉强度的差值应不超过下列规定: 对抗拉强度 $<600\text{N/mm}^2$ 者, 允许相差 70N/mm^2 ; 对抗拉强度 $\geq 600\text{N/mm}^2$ 者, 允许相差 100N/mm^2 。

| 抗拉强度 ^② σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 ^① σ_s 不 小于 (N/mm ²) | 伸长率 σ_s 不小于 (%) | | | 硬度 ^③ (HB) |
|---|--|------------------------|----|----|----------------------|
| | | 纵向 | 切向 | 横向 | |
| 360 | 180 | 28 | 23 | 20 | 95~125 |
| 400 | 200 | 26 | 22 | 19 | 110~150 |
| 440 | 220 | 24 | 21 | 18 | 125~160 |
| 480 | 240 | 22 | 19 | 16 | 135~175 |
| 520 | 260 | 21 | 18 | 15 | 150~185 |
| 560 | 280 | 20 | 17 | 14 | 160~200 |
| 600 | 300 | 18 | 15 | 13 | 175~215 |
| 640 | 320 | 17 | 14 | 12 | 185~230 |
| 680 | 340 | 16 | 14 | 12 | 200~240 |
| 720 | 360 | 15 | 13 | 11 | 210~250 |
| 760 | 380 | 14 | 12 | 10 | 225~265 |

注：① 对于表中抗拉强度的中间值，其所对应的 σ_s 和 δ 可用内插法求得。

② 抗拉强度 $< 600 \text{ N/mm}^2$ 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 120 N/mm^2 ；抗拉强度 $\geq 600 \text{ N/mm}^2$ 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 150 N/mm^2 。

③ 硬度值仅作参考。

5.3.6 无损检测

5.3.6.1 下列锻钢件应按本章5.1.6的规定进行磁粉检测：

- (1) 所有连杆用的锻钢件；
- (2) 缸径超过400mm的柴油机的下述部件：
 - 气缸盖；
 - 活塞顶；
 - 活塞杆；
 - 贯穿螺栓；
 - 凸轮轴的驱动齿轮；
 - 气缸盖、十字头、主轴承及连杆轴承用的螺栓和螺柱。

5.3.6.2 下列锻钢件应按本章5.1.6的规定进行超声波检测：

- (1) 成品直径等于或大于250mm的尾管轴、螺旋桨轴、推力轴、中间轴和其他重要用途的轴；
- (2) 所有活塞顶和气缸盖；
- (3) 柴油机缸径大于400mm的活塞和连杆。

5.3.6.3 其余锻钢件可按本社审批的图纸要求，进行无损检测。

第4节 曲轴锻钢件

5.4.1 适用范围

5.4.1.1 本节规定适用于采用碳钢和碳锰钢制造的整体曲轴以及全组合和半组合式的曲轴锻钢件。

5.4.1.2 如拟采用合金钢曲轴锻钢件,应将其化学成分、力学性能和热处理规程提交本社认可。合金钢曲轴锻钢件的抗拉强度应不超过1000N/mm²。

5.4.2 制造

5.4.2.1 整体曲轴可采用模锻或其他可以保证曲轴的锻造纤维具有连续性的锻造方法。曲轴的锻造工艺规程应提交本社认可。必要时,制造厂还应提交锻造后的曲轴试验报告,以证实该锻钢件纤维组织的连续性是否良好。

5.4.2.2 对于半组合式的曲轴锻钢件,其锻造方法和工艺规程等资料,应提交本社认可。

5.4.2.3 如曲柄臂采用热切割从锻制或轧制的扁坯上切割而成时,应符合本章5.1.4.3的要求。且所有经热切割后的锻钢件表面,均应以机加工削除至少7.5mm深的表面层。

5.4.3 化学成分

5.4.3.1 曲轴锻钢件的桶样化学成分应符合表5.4.3.1的规定。

曲轴锻钢件的化学成分

表5.4.3.1

| 钢种 | 化学成分(%) | | | | | | | | |
|--------|---------|-------|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | C | Si | Mn | S | P | 残余元素 | | | |
| | | | | | | Ni | Cr | Mo | Cu |
| 碳钢和碳锰钢 | ≤0.50 | ≤0.45 | 0.30~1.50 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.40 | ≤0.30 | ≤0.15 | ≤0.30 |
| 合金钢 | ≤0.60 | ≤0.40 | - | ≤0.035 | ≤0.035 | 注 | | | |

注: 其余合金元素应经本社认可。

5.4.4 热处理

5.4.4.1 锻钢曲轴应采用下列之一的热处理:

- (1) 正火加回火;
- (2) 淬火加回火。

其中,回火温度应不低于550℃。

5.4.4.2 对锻钢曲轴如拟采用渗碳、渗氮或高频淬火等方法进行表面硬化处理时,应符合本章5.1.4.4的规定。

5.4.5 试验与试样

5.4.5.1 锻钢曲轴的每个锻钢件均应进行下列的试验:

- (1) 拉伸试验;
- (2) 冲击试验;
- (3) 硬度试验;
- (4) 低倍组织检查(仅适用于由钢锭直接锻制的且直径≤250mm的锻钢件)。

5.4.5.2 曲轴锻钢件的试样数量应符合下列规定:

(1) 对整体曲轴,应至少从每个锻钢件的联轴器端制备一套纵向试样。当整体曲轴的重量(不包括试验材料)超过3t时,应从锻钢件的两端各制备一套纵向试样;

如果曲柄采用机加工或热切割的方法成型时,其第二套试样应从距联轴器端最远的一个曲柄上所切割下来的材料中沿横向截取,如图5.4.5.2(1)所示;

(2) 组合式曲轴的试样数量和取样部位应按本社认可的方法选取;

(3) 一套试样应包括:对碳钢和碳锰钢曲轴锻钢件应取1个拉伸试样;对合金钢曲轴锻钢件应取1个拉伸试样和1组3个冲击试样。

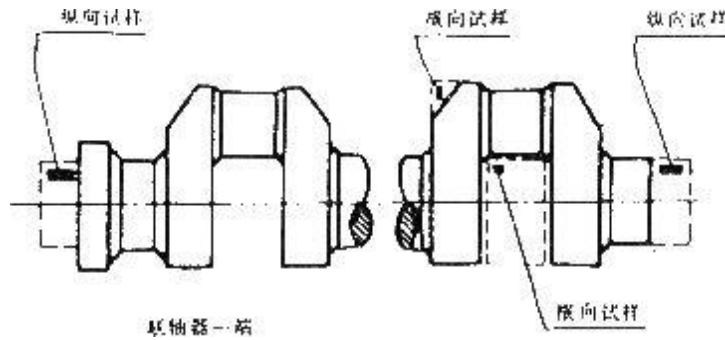


图5.4.5.2(1)

5.4.6 力学性能

- 5.4.6.1 碳钢和碳锰钢的曲轴锻钢件拉伸试验的结果，应符合本章表5.3.5.1的规定。
 5.4.6.2 合金钢曲轴锻钢件的力学性能应符合表5.4.6.2的规定。

合金钢曲轴锻钢件的力学性能

表5.4.6.2

| 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm^2) | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm^2) | | 伸长率 δ_5 不小于(%) | | | 夏比V型缺口试验平均冲击功 不小于(J) | | | | | | 夏比U型缺口试验平均冲击功 不小于(J) | | | | | | 硬度(HB) |
|---|---------------------------------------|-----------|-----------------------------|----|----|-------------------------|----|----|-------|----|----|-------------------------|----|----|-------|----|----|---------|
| | 正火加回 火 | 淬火加回 火 | 纵向 | 切向 | 横向 | 正火加回火 | | | 淬火加回火 | | | 正火加回火 | | | 淬火加回火 | | | |
| | | | | | | 纵向 | 切向 | 横向 | 纵向 | 切向 | 横向 | 纵向 | 切向 | 横向 | 纵向 | 切向 | 横向 | |
| 600 | 330 | 420 | 18 | 16 | 14 | 25 | 20 | 15 | 41 | 31 | 24 | 25 | 22 | 17 | 35 | 29 | 24 | 175~215 |
| 650 | 355 | 450 | 17 | 15 | 13 | 25 | 15 | 13 | 32 | 24 | 22 | 22 | 17 | 15 | 30 | 24 | 23 | 190~235 |
| 700 | 380 | 480 | 16 | 14 | 12 | 20 | 15 | 12 | 32 | 24 | 22 | 22 | 17 | 15 | 30 | 24 | 23 | 205~245 |
| 750 | 405 | 530 | 15 | 13 | 11 | 18 | 14 | 11 | 32 | 24 | 20 | 20 | 16 | 14 | 30 | 24 | 22 | 215~260 |
| 800 | 430 | 590 | 14 | 12 | 10 | 15 | 12 | 9 | 32 | 24 | 20 | 17 | 15 | 12 | 30 | 24 | 22 | 235~275 |
| 850 | 455 | 640 | 13 | 11 | 9 | 15 | 12 | 9 | 27 | 22 | 18 | 17 | 15 | 12 | 26 | 23 | 20 | 245~290 |
| 900 | - | 690 | 13 | 11 | 9 | - | - | - | 27 | 22 | 18 | - | - | - | 26 | 23 | 20 | 260~310 |
| 950 | - | 750 | 12 | 10 | 8 | - | - | - | 25 | 19 | 16 | - | - | - | 25 | 21 | 18 | 275~330 |
| 1000 | - | 810 | 12 | 10 | 8 | - | - | - | 25 | 19 | 16 | - | - | - | 25 | 21 | 18 | 290~340 |
| 1050 | - | 870 | 11 | 9 | 7 | - | - | - | 21 | 15 | 13 | - | - | - | 23 | 17 | 15 | 310~365 |

注：① 取样方向应按本章各节图示所规定的方向。

② 对于抗拉强度的中间值，其所对应的 σ_s 、 δ_5 和平均冲击功的最小值均可用内插法求得。

③ 对抗拉强度 $< 900 N/mm^2$ 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 $150 N/mm^2$ 。对抗拉强度 $\geq 900 N/mm^2$ 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 $200 N/mm^2$ 。

④ 冲击试验在室温 ($18 \sim 25^\circ C$) 下进行。平均冲击功仅适用于直径 $\leq 250 mm$ 的锻钢件；对于直径更大的锻钢件，其平均冲击功应符合本社接受的其他标准。

5.4.6.3 如1个锻钢件作2次或以上的拉伸试验，其抗拉强度的允许差值应符合表5.4.6.3的规定。

抗拉强度允许差值

表5.4.6.3

| 抗拉强度 σ_b (N/mm^2) | 抗拉强度允许差值不大于 (N/mm^2) |
|------------------------------|--------------------------|
| ≥ 600 | 100 |
| < 900 | |

5.4.6.4 对按批试验的小型曲轴锻钢件，每个锻钢件应进行硬度试验，且硬度值应不低于本章表5.3.5.1和表5.4.6.2中的规定值。

5.4.7 无损检测

5.4.7.1 曲轴锻钢件的所有加工表面均应进行磁粉检测，尤其应注意对下列部位进行检查：

- (1) 对整体曲轴，应注意曲柄销和主轴颈与曲柄臂相连的圆角半径处；
- (2) 对半组合曲轴，应注意曲柄销以及曲柄销和曲柄臂相连的圆角半径处。

5.4.7.2 应对所有曲轴锻钢件进行超声波检测。

第5节 齿轮锻钢件

5.5.1 适用范围

5.5.1.1 本节规定适用于主推进轴功率147kW、辅机功率100kW以上的齿轮传动装置。对其他较小功率的齿轮传动装置，可参照执行。

5.5.1.2 采用碳钢和碳锰钢锻造齿轮时，其抗拉强度应不小于 400N/mm^2 ，且应不超过 760N/mm^2 。凡抗拉强度超过 760N/mm^2 的齿轮、齿圈和齿轮套锻钢件，均应采用合金钢锻造，并应有有关技术资料提交本社认可。

5.5.1.3 齿轮传动装置中的弹性联轴器、套筒轴和齿轮轴等锻钢件，应符合本章第3节的有关规定。

5.5.2 制造

5.5.2.1 齿轮锻钢件应具有足够的加工余量，以便机加工去除锻钢件表面的缺陷或脱碳层，以及热处理中可能产生的轻微弯曲和变形。

5.5.3 化学成分

5.5.3.1 碳钢和碳锰钢齿轮锻钢件的桶样化学成分应符合本章表5.3.2.1的规定。

5.5.4 热处理

5.5.4.1 除本节5.5.4.2至5.5.4.5的规定外，齿轮锻钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 正火加回火；
- (2) 淬火加回火。

其中，回火温度应不低于 550°C 。

5.5.4.2 如碳钢和碳锰钢锻钢件的抗拉强度大于 700N/mm^2 时，只能作淬火加回火处理。

5.5.4.3 如拟采用渗碳、氮化或高频淬火等方法对齿轮的齿面进行表面硬化处理时，应将其工艺规程、技术条件等资料提交本社认可。对初次制造齿轮的工厂，应通过试验以证实其齿面硬度的均匀性以及硬化层的深度是否能达到要求，而且又不致损害锻钢件本体的质量。

5.5.4.4 拟进行齿面氮化或高频淬火的齿轮锻钢件，应在轮齿机加工后的适当阶段进行热处理，以获得所需的力学性能，并为其后的齿面硬化处理作好准备。

5.5.4.5 需要在最后机加工完毕后进行渗碳的齿轮锻钢件，应先进行完全退火或正火加回火热处理。

5.5.5 试样

5.5.5.1 每个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,在轴颈末端截取横向试样;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时,应从锻钢件的两端截取试样;

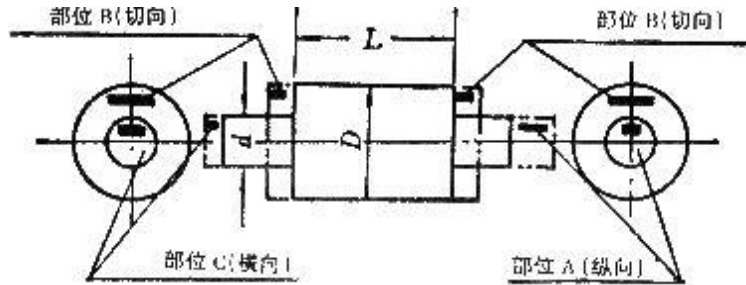


图5.5.5.1(1)

(2) 成品齿轮直径不超过200mm的小齿轮(齿轮轴)锻钢件,可按图5.5.5.1(1)在部位A截取纵向试样;

(3) 齿轮锻钢件的取样部位,应按图5.5.5.1(3)所示,在任一B部位截取切向试样;

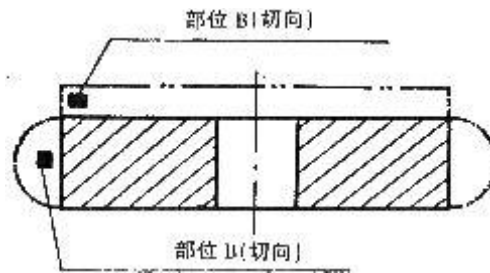


图5.5.5.1(3)

(4) 齿圈的取样部位,应按图5.5.5.1(4)所示,在任一B部位截取切向试样。当成品齿圈直径超过2.5m或重量(热处理状态,不包括其试验材料)超过3t时,应在齿圈直径方向的相对部位截取两套试样,如图5.5.5.1(4)中部位B所示;

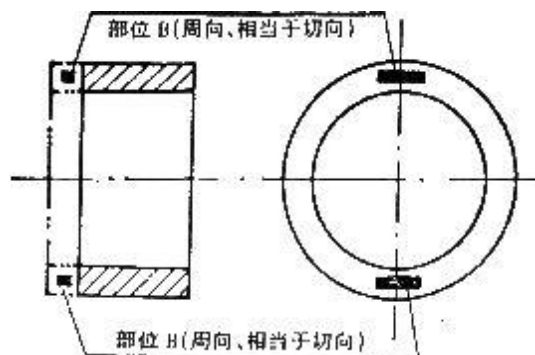


图5.5.5.1(4)

(5) 小齿套(齿轮轴套)锻钢件的取样部位,应按图5.5.5.1(5)所示,在任一C部位截取横向或切向试样。当小齿套(齿轮轴套)成品长度超过1.25m时,应从两端分别截取试样。

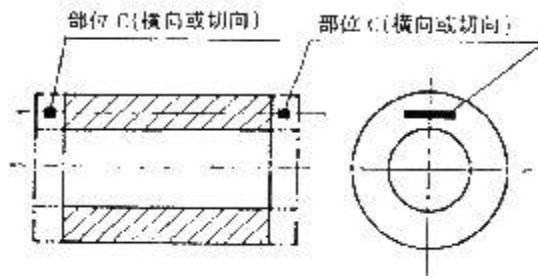


图5.5.5.1(5)

5.5.6 力学性能

5.5.6.1 碳钢和碳锰钢齿轮锻钢件和合金钢齿轮锻钢件的力学性能应分别符合本章表5.3.5.1和表5.4.6.2的规定。

5.5.6.2 如一个锻钢件作2次或以上的拉伸试验，其抗拉强度的允许差值应符合表5.5.6.2的规定。

| 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 抗拉强度允许差值不大于 (N/mm ²) |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| <600 | 70 |
| ≥ 600 <900 | 100 |
| ≥ 900 | 120 |

5.5.6.3 经本社同意，小齿轮锻钢件可按本章5.1.5.2规定进行批量试验，但每一锻钢件应进行硬度试验。

5.5.7 表面硬化处理

5.5.7.1 拟采用氮化或高频淬火对齿轮表面进行硬化处理的齿轮锻钢件，其抗拉强度应不低于800N/mm²。对于渗碳的齿轮锻钢件，应将其渗碳工艺、试样的制取以及试验方法等详细资料提交本社}认可。其抗拉强度应不低于750N/mm²，所有拉伸和冲击试验的结果均应符合表5.4.6.2中对淬火加回火合金钢锻钢件的规定，但表中最低屈服点和最高抗拉强度不适用。

5.5.7.2 所有齿轮锻钢件均应在热处理后和齿加工前进行硬度试验，并在拟作齿加工的圆周表面上的4个等分点上进行硬度测定，若加工后的齿轮直径超过2.5m，则应在8个等分点上进行硬度测定。如齿圈锻钢件的宽度超过1.25m，应在锻钢件的两端各8等分点上进行硬度测定。

5.5.7.3 所有硬度试验的结果应符合本章表5.3.5.1和5.4.6.2的规定。任一齿轮锻钢件经硬度试验后，所测得的最高和最低硬度的差值应符合表5.5.7.3的规定。

| 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 硬度允许差值不大于 (HB) |
|--------------------------------------|----------------|
| <600 | 25 |
| ≥ 600 <900 | 35 |
| ≥ 900 | 42 |

5.5.7.4 对渗氮和高频淬火的锻钢件，还应在表面硬化和机加工完成后对轮齿进行硬度试验，试验方法和结果应符合本社接受的有关标准。

5.5.8 无损检测

5.5.8.1 所有齿轮锻钢件和经氮化、渗碳或高频淬火进行表面硬化处理的齿轮锻钢件，均应进行磁粉检测或着色检测，检测结果应符合本社接受的有关标准。

5.5.8.2 所有加工后直径超过200mm的齿轮锻钢件，应在拟作切齿部分的表面上进行超声波检测，其结果应符合本社接受的有关标准。

5.5.8.3 如有必要，验船师可要求进行硬化层深度的测定。

第6节 涡轮机锻钢件

5.6.1 适用范围

5.6.1.1 本节规定适用于涡轮机的主轴、整体转子、叶轮、叶片和涡轮机所驱动的电机转子、空压机转子的碳钢、碳锰钢锻钢件。

5.6.1.2 如采用合金钢锻钢件时，应将其详细资料提交本社认可。

5.6.1.3 如采用焊接结构的涡轮机转子，应将其化学成分和热处理工艺等资料提交本社认可。

5.6.1.4 对于工作温度超过450℃的涡轮机锻钢件，应选用耐热合金钢制成。

5.6.2 化学成分

5.6.2.1 碳钢和碳锰钢涡轮机锻钢件的桶样化学成分应符合表5.6.2.1的规定。

碳钢和碳锰钢涡轮机锻钢件的桶样化学成分

表5.6.2.1

| 钢种 | 化学成分(%) | | | | |
|--------|---------|-------|-------|--------|--------|
| | C | Mn | Si | S | P |
| 碳钢和碳锰钢 | ≤0.45 | ≥0.40 | ≤0.45 | ≤0.035 | ≤0.035 |

注：焊接结构用的涡轮机锻钢件，其含碳量一般应不超过0.23%。

5.6.3 热处理

5.6.3.1 锻钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 正火加回火；
- (2) 淬火加回火。

5.6.3.2 在各阶段进行的热处理均应避免裂纹和回火脆性现象产生。在制造的适当阶段，锻钢件可重新加热到临界点以上，以便使晶粒细化，并在认可的方式下冷却，然后进行回火以便达到产品所需的力学性能。

5.6.3.3 如锻钢件在机加工前曾经受过主要热处理，则在粗加工后应进行消除应力的热处理。若在粗加工后进行热处理，且锻钢件是从回火温度缓慢冷却的，可不必作消除应力处理。

5.6.3.4 碳钢和碳锰钢锻钢件回火和消除应力热处理的温度应不低于550℃；对于合金钢锻钢件列应不低于600℃。所需保温时间和随后的冷却速度应能避免在锻钢件内产生有害的残余应力。

5.6.4 试样

5.6.4.1 每个涡轮机锻钢件的试样数量和取样方法规定如下：

(1) 转子轴：应从锻钢件一端(相当于钢锭冒口端)至少截取1个纵向拉伸试样，如图

5.6.4.1(1)部位A所示；当单件锻钢件的重量超过3t或长度超过2m时，应从其两端各截取1个纵向试样；每一锻钢件还应按图5.6.4.1(1)部位B截取切向试样，若尺寸许可，还应在图中部位C截取取向试样(相

当于横向)；

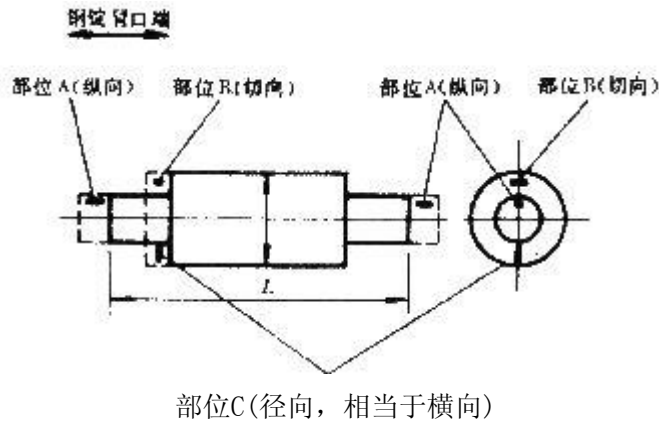


图5.6.4.1(1)

(2) 整体转子：除按本条(1)取样外，还应从转子鼓筒端面或未级叶轮的端面(部位B)截取第2个拉伸试样。若 D 不大于500mm，取横向试样，若 D 大于500ram，则取切向试样；

(3) 叶轮：对每个涡轮机的叶轮锻钢件，至少应在轮毂上截取1个切向或横向拉伸试样，如图5.6.4.1(3)所示；

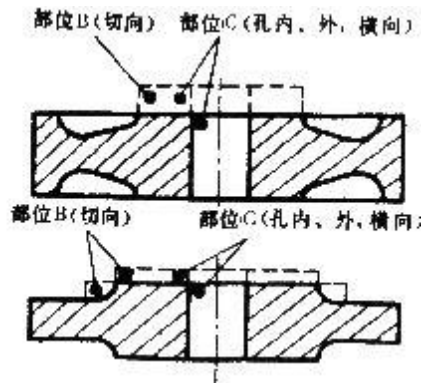


图5.6.4.1(3)

(4) 叶片：按同一炉号、同一热处理规程作为一批，每批至少选取2个锻坯，每个锻坯制备1个拉伸试样；若由于锻坯尺寸较小，无法制备拉伸试样时，应进行高倍金相分析及硬度试验。

5.6.4.2 锻钢件应留有足够的试验材料以便制备本节5.6.4.1所述的试样。这些试验材料应一直保持到所有热处理(包括消除应力热处理)完成为止。

5.6.5 力学性能

5.6.5.1 碳钢和碳锰钢的涡轮机锻钢件，经正火加回火后的力学性能应符合表5.6.5.1的规定。

碳钢和碳锰钢的涡轮机锻钢件的力学性能

表5.6.5.1

| 抗拉强 σ_b | 屈服点 σ_s | 伸长率 δ_5 不小于(N/mm ²) | | | 断面收缩率 ψ 不小于(%) | | |
|-----------------------------|-----------------------------|---|----|----|------------------------|----|----|
| | | 纵向 | 切向 | 横向 | 纵向 | 切向 | 横向 |
| 不小于 (N/mm ²) | 不小于 (N/mm ²) | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
| 400 | 200 | 26 | 22 | 18 | 50 | 40 | 35 |
| 440 | 220 | 24 | 21 | 17 | 50 | 40 | 35 |
| 480 | 240 | 22 | 19 | 15 | 45 | 35 | 30 |
| 520 | 260 | 21 | 18 | 14 | 45 | 35 | 30 |
| 560 | 280 | 20 | 17 | 13 | 40 | 30 | 25 |
| 600 | 300 | 18 | 15 | 12 | 40 | 30 | 25 |

- 注：① 取样方向应按图5.6.4.1(1)和(3)所规定的方向。
 ② 对抗拉强度的中间值，其 σ_s 、 δ_5 和 ψ 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120N/mm²。
 ④ 对整体转子锻钢件，抗拉强度应不超过800N/mm²。

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 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于(N/mm ²) | | 伸长率 δ_5 不小于(N/mm ²) | | | 断面收缩率 ψ 不小于(%) | | |
|--|---|-------|---|----|----|------------------------|----|----|
| | 正火加回火 | 淬火加回火 | 纵向 | 切向 | 横向 | 纵向 | 切向 | 横向 |
| 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 σ_s 、 δ_5 和 ψ 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。

5.6.6 检查 and 无损检测

5.6.6.1 涡轮机锻钢件的内、外表面应作下列检查和试验：

- (1) 潜望镜检查：涡轮机锻钢件应镗孔或在其中中心孔内用光学仪器作检查，其表面应无白点、裂缝、疏松、气孔及非金属夹杂物；必要时，验船师可要求对涡轮机锻钢件进行酸洗检查和硫印试验；
- (2) 热稳定试验：对用于主机的涡轮机整体转子或由部件焊接构成的转子，均应进行热稳定试验，以检查锻钢件在高温工作条件下的稳定性；并将试验程序和技术条件提交本社认可；
- (3) 残余应力测定：直径大于600mm的组合式转子的叶轮和直径大于300mm的整体转子的叶轮均应制备试样，测定其残余切向应力。对于成批制造的叶轮，可从同一炉热处理的每20个叶轮中选取一个测定应力。试验时，应从叶轮的轮毂上制备一环形试样，环形试样的截面尺寸为25mm×25mm，对于整体转子可在叶轮体的轮缘上制备。残余应力 σ_t 可按式计算。

$$\sigma_l = E\delta / D \text{ N/mm}^2$$

式中： δ ——圆环直径平均变形量，mm；
 E ——锻钢件材料弹性模数，取 $1.96 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ；
 D ——圆环割下前的平均直径，mm。

测定的残余应力 σ_l 应符合表5.6.6.1(3)的规定。

如果残余应力超过表中的数值，允许将锻钢件作补充回火处理后再次测定残余应力。

涡轮机锻钢件的允许残余应力 表5.6.6.1(3)

| 锻钢件名称 | | 残余应力 σ_l (MPa) |
|-------|------------------------------------|-----------------------|
| 叶轮 | 直径 $\leq 1000\text{mm}$ | ≤ 39 |
| | 直径 $> 1000\text{mm}$ | ≤ 49 |
| 整体转子 | $\sigma_s \leq 490 \text{ N/mm}^2$ | $\leq 0.1 \sigma_s$ |
| | $\sigma_s > 490 \text{ N/mm}^2$ | $\leq 0.08 \sigma_s$ |

5.6.6.2 每个叶轮的轮毂端面、主轴及转子整个表面和叶片等，均应在热处理后进行磁粉检测，其结果应符合本社接受的有关标准。

5.6.6.3 涡轮机的每个锻钢件均应进行超声波检测，其结果应符合本社接受的有关标准。

5.6.6.4 对于涡轮机锻钢件中具有较大中心孔和孔径的内孔表面，应作磁粉检测和超声波检测。

5.6.7 高温力学性能

5.6.7.1 对于工作温度不低于 350°C 的涡轮机锻钢件，应选取试样测定高温力学性能数据。

第7节 锅炉、受压容器与管系用锻钢件

5.7.1 适用范围

5.7.1.1 本节规定适用于制造锅炉、受压容器和受压管系的碳钢、碳锰钢和低合金钢的锻钢件。若采用本节规定以外的碳钢、碳锰钢或合金钢时，应将详细技术资料提交本社认可。

5.7.1.2 除用于设计温度不低于 0°C 的液化气体货物围护设备管系的锻钢件外，液化气体货物围护设备的锻钢件应符合本章第8节要求。对有低温韧性要求的其他受压容器和管系的锻钢件也应符合本章第8节的要求。

5.7.1.3 若拟采用焊接方法装配锻钢件，应将其化学成分、力学性能、热处理规程和焊接工艺等详细资料提交本社认可。

5.7.2 化学成分

5.7.2.1 碳钢、碳锰钢和低合金钢锻钢件的桶样化学成分应符合表5.7.2.1的规定。

锅炉、受压容器与管系用锻钢件的化学成分 表5.7.2.1

| 钢种 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm^2) | 化学成分(%) | | | | | | 残余元素 |
|--------|---|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|----|---------------------------------|
| | | C | Si | Mn | P | S | Al | |
| 碳钢和碳锰钢 | 410 | ≤ 0.20 | 0.10~0.40 | 0.50~1.20 | ≤ 0.04 | ≤ 0.04 | ① | Ni ≤ 0.40 , Cr ≤ 0.25 |
| | 460 | ≤ 0.23 | 0.10~0.40 | 0.60~1.40 | ≤ 0.04 | ≤ 0.04 | | Mo ≤ 0.10 , Cu ≤ 0.30 |

| | | | | | | | | | |
|-----------|-----|-------|-----------|-----------|-------|-------|--------------------|-----------|-----------|
| | 490 | ≤0.25 | 0.10~0.40 | 0.90~1.70 | ≤0.04 | ≤0.04 | | | |
| 1Cr0.5Mo | 410 | ≤0.20 | 0.15~0.40 | 0.40~0.70 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.02 ^② | Cr | Mo |
| | | | | | | | | 0.85~1.15 | 0.45~0.65 |
| 2.25Cr1Mo | 490 | ≤0.15 | 0.15~0.40 | 0.40~0.70 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.02 ^② | 2.0~2.50 | 0.90~1.20 |

注：① 细化晶粒钢的酸溶铝含量应≥0.015%，或总铝含量≥0.018%。

② 对于合金钢只要酸溶铝含量不超过0.020%，总铝含量的测定值均可接受。

5.7.3 热处理

5.7.3.1 碳钢和碳锰钢锻钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 正火；
- (2) 正火加回火；
- (3) 淬火加回火。

5.7.3.2 合金钢锻钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 正火加回火；
- (2) 淬火加回火。

5.7.4 试样

5.7.4.1 锻钢件的试样数量和取样方法规定如下：

(1) 除本条(4)的规定之外，每个锻钢件至少应取1个拉伸试样。除受锻钢件尺寸和形状的限制外，一般应沿锻钢件纵向取样；

(2) 对每一端部开口的无缝鼓筒和联箱锻钢件，应在其两端截取试验材料，但对一端实心的锻钢件，可只在开口端截取试验材料；

(3) 如果空心锻钢件的一端被锻成封口时，则应在封闭之前切下环状试验材料，并与锻钢件一起热处理。对于开口的空心锻钢件，应在最终热处理后截取试验材料；

(4) 单件重量不超过1t，每批重量不超过10t的小型锻钢件，可按本章5.1.5.2的规定进行批量试验，但应逐个锻钢件进行硬度试验；

(5) 除另有规定外，拉伸试样应沿纵向且位于锻钢件表面下约12.5mm处切取。

5.7.5 力学性能

5.7.5.1 碳钢、碳锰钢和合金钢锻钢件的力学性能应符合表5.7.5.1的规定。

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 σ_b | 屈服点 σ_s | 伸长率 δ_5 | 硬度 (HB) |
|--------------|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|------------|
| | | 不小于 (N/mm ²) | 不小于 (N/mm ²) | 不小于 (%) | |
| 钢和碳锰钢 细晶粒 | $t \leq 63$ | 410 | 215 | 20 | 110 ~ 155 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 205 | | |
| 碳锰钢和碳锰钢 | $t \leq 63$ | 460 | 245 | 18 | 130 ~ 170 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 235 | | |
| | $t \leq 63$ | 490 | 265 | 16 | 140 ~ 180 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 255 | | |
| | $t \leq 63$ | 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 | 3D5 | 16 | 140 ~ 80 |
| | $63 < t \leq 250$ | | 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 σ_s 和 σ_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有硬度试验的要求。

5.7.5.2 拟用于温度高于200℃的锻钢件，应作高温拉伸试验，试样应取自与常温试验所取试样相邻材料。试验程序和结果应符合本社接受的有关标准。

5.7.6 无损检测

5.7.6.1 对锻造的筒体和联箱。应进行超声波检测；对盆形端部的筒体锻钢件应在其盆形端部进行磁粉检测或着色彩检测。

5.7.7 压力试验

5.7.7.1 空心锻钢件应作压力试验。

第8节 低温韧性锻钢件

5.8.1 适用范围

5.8.1.1 本节规定适用于设计温度低于0℃的液化气体运输船的货舱、受压容器以及管系用的碳锰钢和镍合金钢锻钢件。

5.8.1.2 本节规定也适用于对低温韧性有要求的其他锻钢件。

5.8.1.3 在所有的情况下，均应将拟采用的锻钢件的化学成分、力学性能和热处理规程等详细资料交本计认可。

5.8.2 化学成分

5.8.2.1 锻钢件的桶样化成分一般应符合本篇第3章表3.7.2.2的规定。

5.8.3 热处理

5.8.3.1 锻钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 正火；
- (2) 正火加回火；
- (3) 淬火加回火。

5.8.4 试样和力学性能

5.8.4.1 每个锻钢件或每批锻钢件至少应沿纵向取1个拉伸试样和1组3个夏比V型缺口冲击试样。

5.8.4.2 冲击试验温度应与钢的类型和用途相适应，对液化气体运输船用锻钢件，试验温度应符合本篇第3章表3.7.3.2的规定。

5.8.4.3 所有拉伸试验结果和平均冲击功应符合本社接受的有关标准。且平均冲击功一般应符合本篇第3章表3.7.3.2的规定。

5.8.5 无损检测

5.8.5.1 壁厚大于100mm的锻钢件，应按本社接受的有关标准进行磁粉检测和超声波检测。

第9节 奥氏体不锈钢锻钢件

5.9.1 适用范围

5.9.1.1 本节规定适用于散装化学品船和液化气体船的液货舱和管系用的奥氏体不锈钢锻钢件。

5.9.1.2 本节规定的奥氏体不锈钢锻钢件也适用于锅炉在高温条件下使用。

5.9.1.3 对所有的奥氏体不锈钢锻钢件，均应向本社提交化学成分、力学性能和热处理规程等详细资料，并取得本社的认可。

5.9.2 化学成分

5.9.2.1 奥氏体不锈钢锻钢件的桶样化学成分一般应符合本篇第3章表3.8.2.1的规定。

5.9.3 热处理

5.9.3.1 所有奥氏体不锈钢锻钢件应经固溶处理。

5.9.4 力学性能

5.9.4.1 每炉钢或热处理批量在5?下的锻钢件，至少应取1个拉伸试样。

5.9.4.2 奥氏体不锈钢锻钢件的拉伸试验结果应符合本篇第3章表3.8.4.3的规定。

5.9.4.3 除另有协议外，一般不要求作冲击试验。

5.9.5 无损检测

5.9.5.1 对壁厚大于100mm的奥氏体不锈钢锻钢件，应进行无损检测。

5.9.6 晶间蚀试验

5.9.6.1 应按本篇第3章3.8.5的规定，对每炉钢进行抗晶间腐蚀试验。

第6章 铸 钢 件

第1节 一般规定

6.1.1 适用范围

6.1.1.1 本章规定适用于建造船体、机械、锅炉、受压容器和管系的铸钢件。

6.1.1.2 采用本章规定以外的碳钢、碳锰钢或合金钢时，其化学成分、热处理规程和力学性能等经本社同意，可按本社接受的有关标准验收。

6.1.1.3 由同一炉钢水浇铸、尺寸大致相同并进行相同热处理的批量生产的小型铸钢件，经本社同意，可按批量进行检验。

6.1.2 制造加工

6.1.2.1 铸钢件应由本社认可的铸造厂制造，所用原料，也应由本社认可的制造厂提供。

6.1.2.2 采用气割进行切割和开槽或使扁碳弧气刨剔除铸钢件的多余部分或浇冒口时，应按认可的施工方法进行，且这些工作应在最后热处理之前完成。必要时，还应视铸钢件的化学成分或厚度进行预热。凡受切割影响的区域要进行机加工或用打磨方法去除。

6.1.2.3 凡由2个或以上铸钢件焊接成一个复合件时，应将焊接工艺规程提交本社认可。必要时，应进行焊接工艺试验。

6.1.3 铸钢件质量

6.1.3.1 铸钢件表面和内部应无气孔、裂缝、缩孔、冷隔、结疤等缺陷，以及将会影响铸钢件使用的其他缺陷。

6.1.3.2 铸钢件应按批准图纸的要求，加工到规定的表面粗糙度。

6.1.3.3 铸钢件表面不可进行敲打或锤击，也不可以任何方式来掩盖其表面的缺陷。

6.1.4 化学成分

6.1.4.1 铸钢件应采用镇静钢制成。铸钢件的桶样化学成分应符合本章各节的有关规定。

6.1.4.2 铸造厂所选用的细化晶粒元素及其含量，应在化学成分报告中说明。

6.1.5 热处理

6.1.5.1 铸钢件应进行热处理以改善其组织结构。所采用的热处理方法，应符合本章各节的有关规定。

6.1.5.2 如铸钢件经过局部再加热，或在最终热处理以后又进行了校直，还应再次进行热处理，以消除有害的残余应力。

6.1.6 试样

6.1.6.1 每个或每批铸钢件应能提供足够的试验材料，以符合规定的试验和可能进行的复试的需要。试件可与铸钢件一起整体浇铸或附带于铸钢件的本体上，试件厚度应不小于30mm。对薄壁淬火加回火铸钢件，试件厚度至少为20mm，且应与铸钢件的厚度相适应。

6.1.6.2 试验材料应在最终热处理完成之后才能与铸钢件本体分离。分离之前，应标上明显的标记。

6.1.6.3 按本节6.1.1.3提交作批量检验的小型铸钢件，其试件可单独浇铸，但应与其所代表的

铸钢件一起作热处理，并标上其所代表的批量的标记。

6.1.6.4 全部试样应按照本篇第2章的规定制备。拉伸试样的横截面积应大于 150mm^2 。

6.1.7 力学性能

6.1.7.1 铸钢件的力学性能应符合本章各节的有关要求。

6.1.8 目检和无损检测

6.1.8.1 检验前，铸钢件表面应采用酸洗、局部打磨、喷丸、喷砂、钢丝刷清理等方法进行处理。

6.1.8.2 所有铸钢件均应提交验船师进行目检，在可能的情况下，应包括对内表面的检验。

6.1.8.3 经精加工的铸钢件表面可按本章各节规定进行磁粉检测或着色检测，检测部位应符合下列规定：

- (1) 经批准的图纸上所指明的部位；
- (2) 所有填角和截面突变处；
- (3) 用气割或碳弧气刨加工过的部位；
- (4) 组装时焊接过的部位；
- (5) 在使用中有可能承受高应力的区域。

上述检测不可采用干粉法进行磁粉检测，且一般应在验船师在场时进行。

6.1.8.4 对铸钢件的下列部位应进行超声波检测：

- (1) 图纸所指明的部位；
- (2) 组装时焊接过的部位；
- (3) 根据经验有可能出现严重内部缺陷的部位。

超声波检测完毕，制造厂应提交报告，供本社认可。

6.1.8.5 铸钢件的射线检测，可按本节6.1.8.4的规定部位进行。射线检测的技术细节、全部射线照片提交本社认可，并符合本社接受的有关标准。

6.1.9 压力试验

6.1.9.1 当本章有关各节或其他技术条件有要求时，铸钢件还应在最后验收之前，在验船师在场的情况下进行压力试验。

6.1.10 铸钢件缺陷的修补

6.1.10.1 铸钢件如有影响验收的缺陷，应采用下列方法之一予以去除：

- (1) 机加工；
- (2) 批凿；
- (3) 打磨；
- (4) 气割或碳弧气刨。

6.1.10.2 钢件缺陷剔除后，应进行无损检测以证实缺陷已被完全消除。如剔除缺陷所产生的浅槽或凹坑，对铸钢件的使用无不良影响，可将其打磨成光滑的圆弧表面，但应经验船师检查和验收。

6.1.10.3 采用气割或碳弧气刨铲除重要缺陷时，可视铸钢件的化学成分、缺陷的大小和性质，进行必要的预热。

6.1.10.4 凡拟采用焊补方法对铸钢件的缺陷进行修补时，应将所探明缺陷的数量、大小和部位的草图以及焊补工艺规程，提交本社认可。

6.1.10.5 焊补应按照认可的工艺规程，由考试合格的焊工在平焊位置或能保证焊补质量的位置进行，并应避免气候条件的不良影响。

6.1.10.6 铸钢件缺陷的焊补应采用经认可的低氢型焊接材料，其焊缝的熔敷金属应具有不低于

铸钢件母材的力学性能。焊补之前，应进行焊接工艺认可试验，以证明所采用的焊接工艺能保证预期的焊接性能。

6.1.10.7 所有合金钢铸钢件在焊补前均应进行适当的预热。碳钢和碳锰钢铸钢件也可根据其化学成分、缺陷的大小和位置进行预热。如果拟焊补的是重大缺陷，则在焊补前，铸钢件应进行细化晶粒处理。

6.1.10.8 焊补完毕后，铸钢件应按本章有关要求，进行温度不低于550℃的消除应力的热处理。焊补面积小且机加工又进行到最后阶段的铸钢件，可采用局部消除应力热处理。

6.1.10.9 在焊后热处理以后，焊补处及其邻近的母材应打磨光滑，并根据原来缺陷的数量、大小和部位的草图，用适当的无损检测作进一步的复查，以确保缺陷全部消除。

6.1.10.10 铸钢曲轴缺陷的焊补，应符合本章第4节的规定。

6.1.11 标记

6.1.11.1 铸造厂对每一铸钢件或每批铸钢件，应至少在一个位置清晰地打上本社的标志和以下的标记：

- (1) 炉罐号或供查阅此铸钢件制造过程的识别标记；
- (2) 本社负责检验的单位及其钢印；
- (3) 负责检验的验船师的印章；
- (4) 试验压力(如有时)；
- (5) 最后检验的日期。

6.1.12 合格证书

6.1.12.1 制造厂应对每一铸钢件或每批铸钢件提供包括下列内容的合格证书：

- (1) 订货方的名称和合同号；
- (2) 铸钢件质量及铸钢件说明书；
- (3) 炉罐号和化学成分；
- (4) 热处理规程；
- (5) 力学性能试验结果；
- (6) 试验压力(如有时)；
- (7) 无损检测的方法和结果。

第2节 船体结构用铸钢件

6.2.1 适用范围

6.2.1.1 本节规定适用于建造船体结构用的碳钢或碳锰钢的铸钢件。如拟采用比本节所述抗拉强度更高的碳钢或碳锰钢，或采用合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等提交本社认可。

6.2.2 化学成分

6.2.2.1 铸钢件的桶样化学成分应符合表6.2.2.1的规定。

船体结构用铸钢件的化学成分

表6.2.2.1

| 化学成分(%) | | | | | |
|---------|----|----|---|---|------|
| C | Si | Mn | P | S | 残余元素 |

| | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|----|----|
| | | | | | Ni | Cr | Mo | Cu |
| ≤0.23 | ≤0.60 | ≤1.60 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.80 | | | |

注：锰的含量应不小于实际含碳量的3倍。

6.2.3 热处理

6.2.3.1 铸钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 完全退火；
- (2) 正火；
- (3) 正火加回火，回火温度应不低于550℃。

6.2.4 力学性能

6.2.4.1 钢件试样的制备规定如下：

- (1) （铸钢件的拉伸试样应以与铸钢件同炉的钢水铸成，可以从铸钢件本体上截取或与铸钢件附带一起浇铸。一起浇铸时，试样与铸钢件本体之间应有明显的间隔；
- (2) 每一铸钢件或每批铸钢件应至少制备1个拉伸试样；
- (3) 当铸钢件的重量超过10t或形状复杂时，应制备2个拉伸试样。如单个大型铸钢件系由2炉或以上的钢水浇铸，且各炉钢水在浇铸前未曾在同一钢水包内混合时，则拉伸试样应炉数在与铸钢件有明显间隔的位置上与铸钢件一起浇铸。

6.2.4.2 铸钢件的力学性能应符合表6.2.4.2的规定。

船体结构用铸钢件的力学性能

表6.2.4.2

| 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_s 不小于 (%) | 断面收缩率 ψ 不小于 (%) |
|--|---|------------------------------|----------------------------|
| 400 | 200 | 25 | 40 |

6.2.5 无损检测

6.2.5.1 凡用作尾柱、舵和螺旋桨轴架的铸钢件，均应进行超声波检测和磁粉检测，并符合本社接受的有关标准。其他铸钢件的检测应按批准图纸中的规定进行。

第3节 机械结构用铸钢件

6.3.1 适用范围

6.3.1.1 本节规定适用于机械结构用碳钢或碳锰钢的铸钢件。如拟采用含碳量高于本节表

6.3.2.1 规定的碳钢或碳锰钢，或采用合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交本社认可。

6.3.2 化学成分

6.3.2.1 铸钢件的桶样化学成分应符合表6.3.2.1的规定。

机械结构用铸钢件的化学成分

表6.3.2.1

| | |
|----|----------|
| 钢种 | 化学成分 (%) |
|----|----------|

| | C | s _j | Mn | P | S | 残余元素 | | | |
|--------|-------|----------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | Ni | Cr | Mo | Cu |
| 碳钢和碳锰钢 | ≤0.25 | ≤0.60 | 0.50 - 1.60 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.25 | ≤0.15 | ≤0.30 | ≤0.40 |

6.3.2.2 当2个或以上的铸钢件，以焊接方式连接成整体时，其含碳量应不超过0.23%，应具有良好的可焊性。如拟使用更高含碳量的碳钢、碳锰钢或合金钢的焊接结构，应经本社同意。

6.3.3 热处理

6.3.3.1 铸钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 完全退火；
- (2) 正火；
- (3) 正火加回火，回火温度应不低于550℃。

6.3.3.2 主机底座铸钢件、涡轮机壳体铸钢件和在尺寸稳定和消除残余应力方面有要求的其他铸钢件，均应按下列之一进行消除应力的热处理：

- (1) 将铸钢件加热到550℃以上，然后随炉冷却到300℃或更低的温度；
- (2) 完全退火后，随炉冷却到300℃或更低的温度。

6.3.4 力学性能

6.3.4.1 每一铸钢件或同炉浇铸的每批铸钢件至少应截取1个拉伸试样。

6.3.4.2 如铸钢件形状复杂或重量超过10t，则应制备2个拉伸试样。当采用2炉或以上的钢水浇铸成一个大铸钢件，且各炉钢水在浇铸前未在同一钢水包中混合时，应按炉数截取相应数量的拉伸试样。这些试验材料均应与铸钢件铸成一体，且彼此之间尽量远离。

6.3.4.3 碳钢和碳锰钢铸钢件的力学性能应符合表6.3.4.3的规定。

机械结构用铸钢件的力学性能

表6.3.4.3

| 抗拉强度 ^① σ_b | 屈服点 ^① σ_s | 伸长率 ^① δ_s | 断面收缩率 Ψ |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------|
| 不小于 (N/mm ²) | 不小于 (N/mm ²) | 不小于 (%) | 不小于 (%) |
| 400 | 200 | 25 | 40 |
| 440 | 220 | 22 | 30 |
| 480 | 240 | 20 | 27 |
| 520 | 260 | 18 | 25 |
| 560 | 300 | 15 | 20 |
| 600 | 320 | 13 | 20 |

注：①抗拉强度为中间值时，其所对应的 σ_b 、 δ_s 、 Ψ 最小值，均可用内插法求得。

② 表中各强度级铸钢的抗拉强度范围均为150N/mm²。

6.3.5 无损检测

6.3.5.1 重要机械结构用铸钢件的无损检测应符合下列规定：

- (1) 柴油机机座、活塞顶和气缸盖铸钢件，均应进行磁粉检测和超声波检测；
- (2) 涡轮机壳体铸钢件，应进行磁粉检测。在开有焊接坡口处，还应进行超声波检测或射线检测；
- (3) 在批准图纸上有所规定或本社有要求的其他铸钢件，亦应进行无损检测。

第4节 曲轴铸钢件

6.4.1 适用范围

6.4.1.1 本节规定适用于半组合和全组合式的碳钢和碳锰钢曲轴铸钢件。如拟采用高于本节规定含碳量的碳钢或采用合金钢时,应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交本社认可。对合金钢,其抗拉强度应不大于700N/mm²。

6.4.2 制造

6.4.2.1 半组合式曲轴铸钢件的铸造方法应提交本社认可。制造厂应进行必要的工艺认可试验,以验证拟采用的铸造方法是否能保证铸钢件的质量以及铸钢件重要部位的力学性能是否符合要求。

6.4.3 化学成分

6.4.3.1 曲轴铸钢件的桶样化学成分应符合本章表6.3.2.1的规定,但其残余元素应符合下列要求:

$$\text{Cu} \leq 0.40\%$$

$$\text{Cr} \leq 0.40\%$$

$$\text{Ni} \leq 0.40\%$$

$$\text{Mo} \leq 0.20\%$$

残余元素的总含量应不超过1.00%。

6.4.4 热处理

6.4.4.1 曲轴铸钢件应采用下列之一的热处理:

- (1) 完全退火并在炉内冷却到300℃或更低的温度;
- (2) 正火加回火,回火温度应不低于550℃,并在炉内冷却到300℃或更低的温度。

6.4.5 力学性能

6.4.5.1 曲轴铸钢件的试件应附带于铸钢件的本体上;试件的数量和部位应由铸造厂提出并送交本社认可。

6.4.5.2 每个铸钢件的试件上应至少能制备一套试样和可能进行的复试的试样。每套试样应包括1个拉伸试样和1组3个冲击试样。

6.4.5.3 碳钢和碳锰钢曲轴铸钢件的力学性能应符合表6.4.5.3的规定。

曲轴铸钢件的力学性能

表6.4.5.3

| 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) | 断面收缩率 Ψ 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 平均冲击功 不小于(J) | 夏比V型缺口冲击试验 平均冲击功 不小于(J) |
|--|---|------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 400 | 200 | 28 | 45 | 32 | 30 |
| 440 | 220 | 26 | 45 | 28 | 27 |
| 480 | 240 | 24 | 40 | 25 | 25 |
| 520 | 260 | 22 | 40 | 20 | 22 |
| 550 | 275 | 20 | 35 | 18 | 20 |

注:① 抗拉强度为中间值时,其所对应的 σ_s 、 δ_5 、 Ψ 和平均冲击功的最小值,均可用内插法求得。

② 表中各强度级铸钢的抗拉强度范围均为120N/mm²。

③ 冲击试验的温度为室温(18 ~ 25℃)。除另有规定外,可由制造厂任选V型或U型缺口冲击试样。

6.4.6 无损检测

6.4.6.1 每个曲轴铸钢件均应进行超声波检测。

6.4.6.2 曲轴铸钢件的所有表面均应进行磁粉检测。建议在最终热处理之前，先磁粉检测一次，而对所有加工面在精加工以后仍应再次检查。

6.4.7 曲轴铸钢件的缺陷修补

6.4.7.1 对曲轴铸钢件表面的轻微缺陷，应首先考虑用机械方法打磨或修整成有过渡圆弧的光滑表面，但修整所形成凹坑的深度应不大于 $0.01d$ (d 为曲柄销或套合孔的直径)。对有加工余量的表面轻微缺陷，可用机加工予以去除。

6.4.7.2 一般仅允许对偶然和意外出现的表面缺陷进行焊补，但事先应经本社同意。

6.4.7.3 在下列情况下，不能对曲轴铸钢件缺陷进行焊补：

- (1) 由于铸造工艺不当或施工不正确而重复出现的缺陷；
- (2) 表面靠堆焊来增加厚度或填补大面积的凹坑；
- (3) 含碳量超过0.30%时；
- (4) 按下列公式计算出的碳当量 C_{eq} 于0.65%时：

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + MO + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad \%$$

6.4.7.4 若确有必要，经本社同意，曲轴铸钢件的表面缺陷的焊补应符合下列规定：

(1) 对曲臂表面：

- ① 单个焊补沟槽的最大体积应不大于 $3.2t(\text{cm}^3)$ ；每个曲臂所有焊补沟槽的总体积应不大于 $9.6t(\text{cm}^3)$ ；
其中 t 为曲臂沿轴线方向的厚度值 (cm)。如图6.4.7.4(1)和(2)所示；
- ② 对全组合和半组合曲轴，如图6.4.7.4(1)和(2)所示，标有交叉阴影线的部位不能进行焊补；
- ③ 如不影响曲臂的强度，且在重量平衡的范围之内，焊补范围可适当放宽。

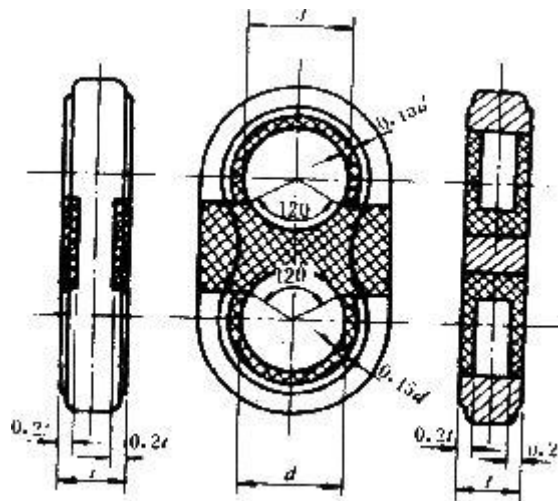


图6.4.7.4(1)

(2) 对曲臂套合孔内的表面：

- ① 各焊补区域的间距应不小于125mm；
- ② 如图6.4.7.4(1)和(2)所示，在距孔边 $t/5$ 的孔内环带以及图示120°弧长范围内

的任何位置均不能焊补；

- ③ 套合孔内表面焊补的最大体积应不大于 $1.1t(\text{cm}^3)$ ，且任一套合孔内表面的焊补应不超过三处。

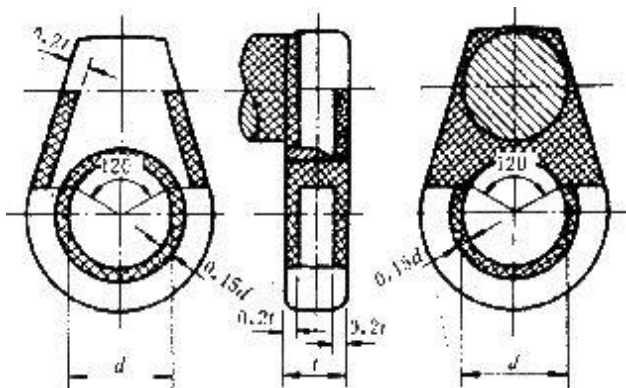


图6.4.7.4(2)

6.4.7.5 在焊补区域内的缺陷材料挖除后，应采用磁粉检测或其他适当的方法，核实该缺陷是否被铲除干净。由于挖除缺陷材料所形成的沟槽和凹坑，可修整成适当的形状，以利于施焊。

6.4.7.6 焊补应由合格的焊工，采用不低于曲轴铸钢件强度的低氢型焊条，以平焊的方式进行施焊。

6.4.7.7 曲轴铸钢件应于焊补前进行细化晶粒热处理，并应在焊补前预热至 200°C 或更高温度，建议此种预热在炉内进行，并一直保持温度到焊补结束和焊后热处理为止。

6.4.8 焊后热处理及检查

6.4.8.1 焊补完毕，曲轴铸钢件应采用下列之一的焊后热处理：

- (1) 完全退火；
- (2) 正火加回火。

如经上述热处理后仍有单个小缺陷，可允许再次焊补，但随后应进行不低于 550°C 的焊后处理。

6.4.8.2 所有焊补表面均应打磨光滑，并进行磁粉检测，以证实焊缝表面及其邻近母材没有危害性缺陷。

第5节 螺旋桨铸钢件

6.5.1 适用范围

6.5.1.1 本节规定适用于碳钢和碳锰钢的螺旋桨及桨叶的铸钢件。如拟采用合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交本社认可。

6.5.2 化学成分

6.5.2.1 铸钢件的桶样化学成分，应符合本章表6.3.2.1的规定，但其中碳的含量应不大于0.25%。

6.5.3 热处理

6.5.3.1 碳钢和碳锰钢螺旋桨及其桨叶的铸钢件，均应采用下列之一的热处理：

- (1) 完全退火；
- (2) 正火；

(3) 正火加回火，回火的温度应不低于550℃。

6.5.4 力学性能

6.5.4.1 试件应与螺旋桨的桨毂或桨叶法兰的铸钢件本体一起整体浇铸。

6.5.4.2 每个铸钢件应至少截取1个拉伸试样和1组3个夏比V型缺口冲击试样。

6.5.4.3 螺旋桨铸钢件的力学性能应符合表6.5.4.3的规定。

螺旋桨铸钢件的力学性能

表6.5.4.3

| 钢种 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 ^③ δ_5 不小于 (%) | 断面收缩率 Ψ 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 ^{①②} 平均冲击功, 不小于(J) | |
|------------|--|--|---|----------------------------|---|------|
| | | | | | 0℃ | -10℃ |
| | | | | | 碳钢和碳锰钢 | 400 |
| 低合金钢 | 400 | 225 | 18 | 25 | | 20 |
| 铁素体或马氏体不锈钢 | 500 | 335 | 16 | 20 | 20 | 20 |
| 奥氏体不锈钢 | 450 | 200 ^④ | 22 | 35 | - | - |

注：① 对具有B冰级的船舶，其使用的铁素体或马氏体不锈钢螺旋桨铸钢件的冲击试验应在0℃进行；对具有BI*、B1、B2或B3冰级的船舶，其使用的螺旋桨铸钢件(除奥氏体不锈钢铸钢件外)的冲击试验应在-10℃进行。

② 夏比V型缺口冲击试验的平均冲击功应不小于表中的值，当试验结果小于表中要求的平均冲击功时，不论原试验中的实际值如何，允许再进行1组3个试样的复试。但复试的结果应与原来的结果一起平均，即6个试样的新的平均冲击功，仍应不小于表中的值。

③ 对具有B1*、B1、B2或B3冰级的船舶，其使用的螺旋桨铸钢件的伸长率应不低于19%。

④ 奥氏体不锈钢的屈服点系指1.0%规定非比例伸长应力。

6.5.5 无损检测

6.5.5.1螺旋桨及桨叶的铸钢件，应在桨叶根部的表面进行磁粉检测；对奥氏体不锈钢桨叶铸钢件，应进行着色检测。

第6节 锅炉、受压容器与管系用铸钢件

6.6.1 适用范围

6.6.1.1 本节规定适用于锅炉、受压容器和管系用的碳钢、碳锰钢或合金钢铸钢件。若采用抗拉强度大于490N/mm²而小于520N/mm²的碳钢和碳锰钢或采用本节规定范围之外的合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交本社认可。

6.6.1.2 符合本节规定的铸钢件也可用于设计温度不低于0℃的液化气体货物管系。设计温度低于0℃和供货合同要求保证低温冲击性能的其他铸钢件应符合本章第7节或第8节要求。

6.6.2 化学成分

6.6.2.1 铸钢件的桶样化学成分应符合表6.6.2.1的规定。

锅炉、受压容器与管系用铸钢件的化学成分

表6.6.2.1

| 钢种 | 化学成分(%) | | | | | | | | | |
|--------|---------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C | sj | Mn | S | P | 残余元素 | | | | |
| | | | | | | Cr | Mo | Cu | Ni | 总含量 |
| 碳钢和碳锰钢 | ≤0.25 | ≤0.60 | 0.50 ~ 1.60 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤0.25 | ≤0.15 | ≤0.30 | ≤0.40 | ≤0.80 |

| 合金钢 | C | si | Mn | S | P | Cr | Mo | V | 残余元素 | | |
|-----------------|-------|-------|-------------|-------|-------|------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|
| | | | | | | | | | Cr | Cu | Ni |
| 0.5Mo | ≤0.25 | ≤0.60 | 0.50 ~ 1.0 | ≤0.04 | ≤0.04 | - | 0.35~0.65 | - | ≤0.25 | ≤0.30 | ≤0.40 |
| 1Cr0.5Mo | ≤0.23 | ≤0.60 | 0.50 ~ 0.80 | ≤0.04 | ≤0.04 | 1.0 ~ 1.50 | 0.45~0.65 | - | - | ≤0.30 | ≤0.40 |
| 2.25Cr1Mo | ≤0.20 | ≤0.60 | 0.40 ~ 0.80 | ≤0.04 | ≤0.04 | 2.0~2.75 | 0.90~1.20 | - | - | ≤0.30 | ≤0.40 |
| 0.5Cr0.5Mo0.25V | ≤0.20 | ≤0.45 | 0.40 ~ 0.80 | ≤0.04 | ≤0.04 | 0.30~0.50 | 0.40~0.60 | 0.20~0.30 | - | ≤0.30 | ≤0.40 |

6.6.3 热处理

6.6.3.1 铸钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 完全退火；
- (2) 正火；
- (3) 正火加回火；
- (4) 淬火加回火。

6.6.4 力学性能

6.6.4.1 每个铸钢件至少应制备1个拉伸试样，对形状复杂的铸钢件或重量超过2.5t的单品成品铸钢件，至少应制备2个拉伸试样。试件应与铸钢件一起整体浇铸，且位置应尽量远离。

6.6.4.2 经本社同意，小型铸钢件可按本章的规定进行批量试验。

6.6.4.3 铸钢件的力学性能应符合表6.6.4.3的规定。

锅炉、受压容器与管系用铸钢件的力学性能 表6.6.4.3

| 钢种 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 伸长率如 δ_5 不小于 (%) | 断面收缩率 Ψ 不小于 (%) |
|------------------|--|---|-------------------------------|----------------------------|
| 碳钢和碳锰钢 | 410 | 205 | 25 | 40 |
| | 460 | 230 | 22 | 30 |
| | 490 | 245 | 20 | 25 |
| 0.5Mo | 440 | 245 | 20 | 30 |
| 1Cr 0.5Mo | 480 | 280 | 17 | 20 |
| 2.5Cr1Mo | 480 | 280 | 17 | 20 |
| 0.5Cr10.5Mo0.25V | 510 | 295 | 17 | 20 |

注：表中各强度等级铸钢件的抗拉强度范围均为150N/mm²。

6.6.5 无损检测

6.6.5.1 铸钢件应按批准图纸的要求进行无损检测。

6.6.6 高温力学性能

6.6.6.1 在高温下使用的铸钢件，应将其高温力学性能的有关资料提交本社认可。

第7节 低温铁素体铸钢件

6.7.1 适用范围

6.7.1.1 本节规定适用于设计温度低于0℃的液化气体管系和其他要求保证低温冲击性能的碳锰钢和镍合金钢的铸钢件。

如拟采用其他钢种时，应将有关化学成分、热处理规程和力学性能等资料提交本社认可。

6.7.2 化学成分

6.7.2.1 铸钢件的桶样化学成分应符合表6.7.2.1的规定。

低温铁素体铸钢件的化学成分

表6.7.2.1

| 钢种 | 化学成分(%) | | | | | | |
|-------|---------|-------|-------------|-------|-------|-----------|--------------------|
| | C | Si | Mn | S | P | Ni | 其他元素 |
| 碳锰钢 | ≤25 | ≤0.60 | 0.70 ~ 1.6 | ≤0.04 | ≤0.04 | ≤.80 | Cr≤0.25 Cu≤0.30 |
| 2.5Ni | ≤0.25 | ≤0.60 | 0.50 ~ 0.80 | ≤0.04 | ≤0.04 | 2.0 ~ 3.0 | |
| 3.5Ni | ≤0.15 | ≤0.60 | 0.50 ~ 0.80 | ≤0.04 | ≤0.04 | 3.0 ~ 4.0 | |

注：碳锰钢应进行细化晶粒处理。

6.7.3 热处理

6.7.3.1 铸钢件应采用下列之一的热处理：

- (1) 正火；
- (2) 正火加回火；
- (3) 淬火加回火。

6.7.4 力学性能

6.7.4.1 每个铸钢件或每批铸钢件应至少提供一套试样。

6.7.4.2 1套试样应包括：1个拉伸试样和1组3个夏比V型缺口冲击试样。

6.7.4.3 铸钢件的力学性能应符合表6.7.4.3的规定。

低温铁素体铸钢件的力学性能

表6.7.4.3

| 钢种 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) | 断面收缩率 Ψ 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 | |
|-------|--|---|---------------------------|-------------------------|------------|-------------|
| | | | | | 试验温度(°C) | 平均冲击功不小于(J) |
| 碳锰钢 | 400 | 200 | 25 | 40 | - 40 | 27 |
| | 430 | 215 | 23 | 35 | | |
| | 460 | 230 | 22 | 30 | | |
| 2.5Ni | 490 | 275 | 20 | 35 | - 60 | 34 |
| 3.5Ni | 490 | 275 | 20 | 35 | - 70 | 34 |

注：对抗拉强度 $<430\text{N/mm}^2$ 的铸钢件，其抗拉强度范围为 100N/mm^2 ；对抗拉强度 $\geq 430\text{N/mm}^2$ 的各强度级铸钢件其抗拉强度的范围为 150N/mm^2 。

6.7.5 无损检测

6.7.5.1 铸钢件应按批准图纸的要求进行无损检测。

第8节 奥氏体不锈钢铸钢件

6.8.1 适用范围

6.8.1.1 本节规定适用于设计温度不低于 -165°C 的液化气体运输船和散装化学品船管系用的

奥氏体不锈钢铸钢件。

6.8.1.2 如拟采用其他钢种时,应将其化学成分,热处理规程和力学性能等资料提交本社认可。

6.8.2 化学成分

6.8.2.1 铸钢件的桶样化学成分应符合表6.8.2.1的规定。

奥氏体不锈钢铸钢件的化学成分 表6.8.2.1

| 钢号 | 化学成分(%) | | | | | | | | |
|---------------|---------|------|------|-------|-------|------|-----------|----------|------------|
| | C | Si | Mn | S | P | Cr | Mo | Ni | 其他元素 |
| 00Cr18Ni10 | ≤0.03 | 0.20 | 0.50 | ≤0.04 | ≤0.04 | 16.0 | - | 8.0~12.0 | - |
| 0Cr18Ni9 | ≤0.08 | | | | | | - | 8.0~12.0 | - |
| 00Cr17Ni14Mo3 | ≤0.03 | ~ | ~ | ≤0.04 | ≤0.04 | ~ | 2.0 ~ 3.0 | 9.0~13.0 | - |
| 0Cr18Ni9Ti | ≤0.08 | 1.50 | 2.0 | ≤0.04 | ≤0.04 | 21.0 | - | 8.0~12.0 | 5C≤Ti≤0.70 |
| 1Cr18Ni11Nb | ≤0.06 | | | | | | - | 8.0~12.0 | 8C≤Nb≤0.90 |

注:若对低温冲击性能无要求时,含碳量最大可为0.080%,含铌量最大可为1.0%。

6.8.3 热处理

6.8.3.1 铸钢件应在不低于1000℃的温度下进行固溶处理,并在适当的介质中迅速冷却。

6.8.4 力学性能

6.8.4.1 每个铸钢件或每批铸钢件应至少提供1个拉伸试样。

6.8.4.2 拟用于设计温度低于-55℃的液化气管系的铸钢件或本社有要求时还应提供1组3个夏比V型缺口冲击试样。

6.8.4.3 铸钢件的力学性能应符合表6.8.4.3的规定。

奥氏体不锈钢铸钢件的力学性能 表6.8.4.3

| 钢种 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于(%) | 断面收缩率 ψ 不小于(%) | 夏比V型缺口冲击试验 | |
|---------------------------|--|---|--------------------------|------------------------|-------------|-------------|
| | | | | | 试验温度 (℃) | 平均冲击功不小于(J) |
| 00Cr18Ni10 | 400 | 200 | 26 | 40 | -196 | 41 |
| 0Cr18Ni9 | 440 | 220 | | | | |
| 00Cr17Ni14Mo3 | 430 | 215 | 26 | 40 | -196 | 41 |
| 0Cr18Ni9Ti 1Cr18Ni11Nb | 480 | 240 | 22 | 35 | -196 | 41 |

6.8.5 晶间腐蚀试验

6.8.5.1 凡要求进行抗晶间腐蚀试验者,应按本篇第3章第7节的规定进行试验。

6.8.6 无损检测

6.8.6.1 铸钢件应按批准图纸的要求进行无损检测。

第7章 铸铁件

第1节 一般规定

7.1.1 适用范围

7.1.1.1 本章规定适用于建造船舶结构、机械、锅炉、受压容器和管系的灰铸铁、球墨铸铁或其他高强度铸铁。凡采用本章规定以外的铸铁，经本社同意，可按本社接受的有关标准验收。

7.1.1.2 铸铁件应按本篇第1章和第2章以及本章的有关规定进行制造和试验。

7.1.1.3 由同一炉铁水浇铸、尺寸相近并经相同热处理的小型铸铁件，经本社同意，可按批进行检验。

7.1.2 制造加工

7.1.2.1 铸铁件应由本社认可的铸造厂制造。

7.1.2.2 浇口和其他多余材料，应采用适当的方法去除。如采用热切割方法，则应采用机加工方法去除受到热影响的切割面。

7.1.2.3 在正式批量生产同类铸铁件前，制造厂应进行工艺认可试验，以证明该工艺能确保铸铁件的质量良好、稳定。

7.1.3 铸铁件质量

7.1.3.1 铸铁件上不应有裂纹、气孔、缩孔、疏松、砂眼、冷隔等影响其后机加工和使用的各种有害缺陷。

7.1.3.2 铸铁件应按已批准图纸的要求，加工到规定的粗糙度。

7.1.4 化学成分

7.1.4.1 除另有规定外，铸造厂可自行决定铸铁件的化学成分，但化学成分应适合铸铁件的尺寸和本章各节所规定的力学性能。

7.1.5 热处理

7.1.5.1 除另有规定外，铸铁件可以铸态或适当的热处理状态交货。

7.1.6 试样

7.1.6.1 每一铸铁件或每批铸铁件应能提供足够的试验材料，以符合规定的试验和可能进行的复试的需要。若大型铸铁件系由2炉(罐)或以上的铁水浇铸，则应提供相应炉(罐)数的试件，以代表各炉(罐)铁水的特性。

7.1.6.2 试件可单独浇铸，但应采用与铸铁件同一种造型材料制成的铸型浇铸。试件应在温度低于500℃时，才能从铸型内取出。

7.1.6.3 应对所有的铸铁件试件作好标记，清楚地标明它所代表的铸铁件。

7.1.6.4 如铸铁件需经热处理后交货，则试件应与其所代表的铸铁件一起进行热处理。

7.1.6.5 所有试样的制备和试验方法应符合本篇第2章的规定。

7.1.7 力学性能

7.1.7.1 铸铁件的力学性能应符合本章的有关规定。

7.1.8 目检和无损检测

7.1.8.1 所有铸铁件均应经适当的清理，以便对其内外表面进行目检。铸铁件表面不可采用敲打、锤击或其他有可能掩盖缺陷的方法进行处理。

7.1.8.2 除批准图纸另有规定或认为铸铁件存在危险性缺陷外，一般不要求对铸铁件进行无损检测。

- 7.1.8.3 制造厂应保证铸铁件的尺寸具有足够的精度。
- 7.1.8.4 如有必要，在最后验收前可要求对铸铁件进行压力试验。

7.1.9 缺陷的修补

7.1.9.1 铸铁件表面的轻微缺陷，可采用适当的方法予以清除。

7.1.9.2 铸铁件表面缺陷一般不允许焊补。若确有必要，应事先提交焊补的详细资料，经本社同意后，方可焊补。

7.1.9.3 凡不承受内压力的铸铁件，其局部疏松，经验船师同意后，可采用适当的塑性填充物进行填充。

7.1.10 标记

7.1.10.1 制造厂对验收合格的每一铸铁件或每批铸铁件，应至少在一个位置清晰地标出本社的标志和以下标记：

- (1) 炉罐号或供查阅铸铁件铸造全过程的识别标记；
- (2) 本社负责检验的单位及其钢印；
- (3) 负责检验的验船师印章；
- (4) 试验压力(如进行该试验时)；
- (5) 最后检验日期。

7.1.11 合格证书

7.1.11.1 制造厂应对已验收的每一铸铁件或每批铸铁件出具1份包括下列内容的合格证书：

- (1) 订货方的名称和合同号；
- (2) 铸铁质量及铸铁件的说明书；
- (3) 炉罐号和化学成分；
- (4) 热处理工艺；
- (5) 力学性能试验结果；
- (6) 试验压力(如进行该试验时)。

第2节 灰铸铁件

7.2.1 适用范围

7.2.1.1 本节规定适用于机械和管路零件用的灰铸铁件。

7.2.2 试样

7.2.2.1 试件形状一般为直径30mm和有适当长度的圆棒。当2个或以上的试件在同一铸模中浇铸时，每一圆棒之间至少应有50mm的间距。

7.2.2.2 当铸铁件厚度超过20mm，重量超过200kg时，经制造厂与客户协商，可采用整体浇铸试件，试件的型式和位置应能保证与其所代表的铸铁件的冷却条件基本一致。

7.2.2.3 对于清理后单件重量不超过1t的铸铁件，可进行批量试验。同一批铸铁件应具有相同的类型和尺寸，并用同1炉铁水浇铸。每批铸铁件(经清理后)为2t，取1个试件。

7.2.2.4 对于大批量连续浇铸的同一类型的铸铁件，每批重量可增加到2h浇铸

7.2.2.5 如果大批量连续浇铸同一类型的铸铁件，并且整个生产过程通过系统检查，如激冷试验、化学分析、热值分析等，受到严格的监控，经本社同意，可以延长取样时间间隔。

7.2.2.6 对于整体浇铸的试件，应与该铸铁件一起进行热处理。

7.2.2.7 每个试件加工 1个拉伸试样，试样 直径为20mm。

7.2.3 热处理

7.2.3.1 若考虑到铸铁件在高温下使用或对铸铁件的尺寸和形状稳定性有要求时，应进行适当的回火或消除应力处理。

7.2.4 力学性能

7.2.4.1 灰铸铁件的力学性能应符合表7.2.4.1的规定。

灰铸铁的力学性能

表7.2.4.1

| 灰铸铁牌号 | 抗拉强度 ^① σ_b 不小于(N/mm ²) | 布氏硬度 ^② (HB) |
|-------|---|---------------------------|
| HT200 | 200 | 150 ~ 225 |
| HT250 | 250 | 168 ~ 251 |
| HT300 | 300 | 185 ~ 278 |
| HT350 | 350 | 203 ~ 304 |

注：① 表列各强度级铸铁件的抗拉强度范围均为100N/mm²。

② 硬度试验仪对螺旋桨、柴油机气缸体、气缸套、活塞、活塞环、导板等有耐磨要求的铸铁件。

7.2.4.2 铸铁件的抗拉强度应不小于200N/mm²。所有拉伸试样的断口应呈均匀的灰色结晶状外观。

第3节 球墨铸铁件

7.3.1 适用范围

7.3.1.1 本节规定适用于机械和管路零件用的球墨铸铁件。

7.3.1.2 本节规定适用于常温下使用的球墨铸铁件。如用于低温或高温环境，应经本社认可。

7.3.2 热处理

7.3.2.1 若考虑到铸铁件在高温下使用或对铸铁件有尺寸和形状稳定性要求时，应在机加工或细化晶粒热处理前进行适当的热处理以消除有害应力。对抗拉强度为350N/mm²和400 N/mm²的有特殊要求的铸铁件以及要求进行冲击试验的铸铁件，应进行铁素体化热处理。

7.3.2.2 如需对铸铁件表面进行硬化处理，其有关工艺应提交本社认可。

7.3.3 试样

7.3.3.1 试件形状一般分U型和Y型两种，应分别按图7.3.3.1(1)、(2)的规定单独或整体浇铸，也可按本社同意的其他形状浇铸。

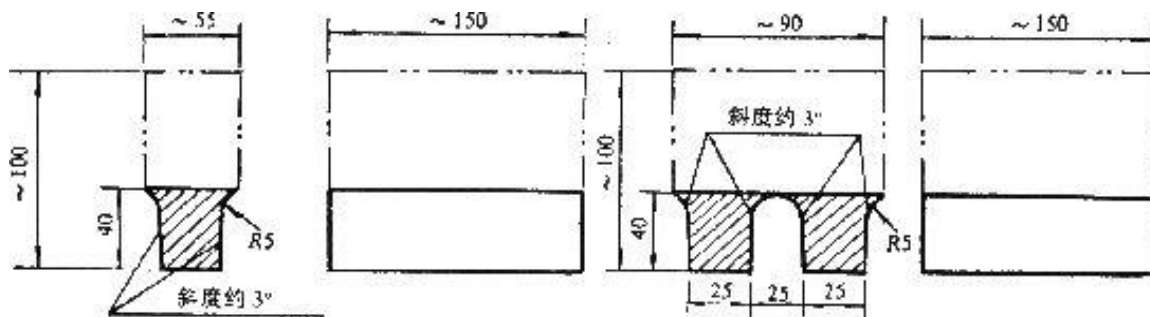


图7.3.3.1(1)

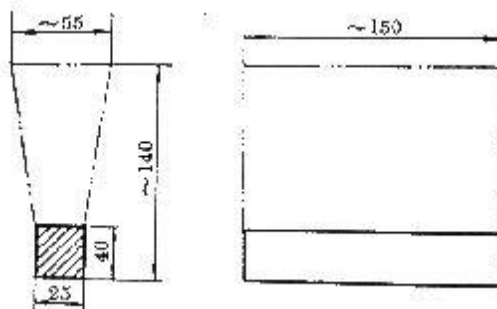


图7.3.3.1(2)

7.3.3.2 取样方法规定如下:

(1) 对整体浇铸的试件: 每个或每批重量为2t的铸铁件, 至少应提供1个试件, 试件应取自铸铁件浇口附近;

(2) 对分开单独浇铸的试件: 每个或每批重量不超过1t的铸铁件, 至少应提供1个试件; 重量超过1t时, 则每2t分别浇铸试件;

(3) 对多于一炉铁水浇铸的大型铸铁件或批量铸铁件, 则每炉应按本条(1)或(2)的规定提供试件;

(4) 如果铸铁件需进行热处理时, 则整体浇铸的试件只能在热处理后, 才能从铸铁件上截取。而单独分开浇铸的试件, 应与所代表的铸铁件同炉热处理。

7.3.3.3 每个试件应加工1个拉伸试样。

7.3.4 力学性能

7.3.4.1 球墨铸铁件的力学性能应符合表7.3.4.1的规定。

7.3.4.2 如果1个拉伸试样的结果不符合要求, 则应从该铸铁件或该批铸铁件中另取2个试样进行复试。如果这2个试样复试的结果符合要求, 则该铸铁件或该批铸铁件可以验收。如果其中任一试样复试不合格, 则该铸铁件或该批铸铁件不能验收。

7.3.4.3 如有必要, 本社可要求进行冲击试验。应从每个试件上制备1组3个夏比V型缺口击试样进行试验, 试样的尺寸和试验程序应符合本篇第2章的有关规定。

球墨铸铁件的力学性能

表7.3.4.1

| 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) | 硬度 (HB) | 夏比V型冲击试验 | | 金相组织 |
|--|---|------------------------------|------------|--------------|------------|------|
| | | | | 试验温度 (°C) | 冲击功 (J) | |
| 普通要求 | 370 | 230 | 17 | 120~180 | - | 铁素体 |
| | 400 | 250 | 12 | 140~200 | - | 铁素体 |

| | | | | | | | |
|------|-----|-----|----|---------|----|--------|---------|
| | ?? | 320 | 7 | 170~240 | - | - | 铁素体/珠光体 |
| | 600 | 370 | 3 | 190~270 | - | - | 铁素体/珠光体 |
| | 700 | 420 | 2 | 230~300 | - | - | 珠光体 |
| | 800 | 480 | 2 | 250~350 | - | - | 铁素体/珠光体 |
| 特殊要求 | 350 | 220 | 22 | 110~170 | 20 | 17(14) | 铁素体 |
| | 400 | 250 | 18 | 140~200 | 20 | 14(11) | 铁素体 |

注：① 中间值可以用内插法计算。

- ② 表中的力学性能以试样的抗拉强度和伸长率为验收依据，如在设计图纸中有要求时，屈服点和硬度亦可作为验收依据。
- ③ 平均冲击功应不低于表中规定的值，单个试样冲击功应不低于括号中的数值。
- ④ 对于整体浇铸的试件，其伸长率可降低2%。

7.3.5 金相检查

7.3.5.1 金相试样应从每一炉铸铁件中截取，也可从拉伸试样上切取。

7.3.5.2 金相试验应表明石墨球化率为1~2级。典型的金相结构列于表7.3.4.1内。

第4节 曲轴铸铁件

7.4.1 适用范围

7.4.1.1 本节对柴油机和制冷压缩机铸铁曲轴作了附加规定。灰铸铁曲轴仅适用于制冷压缩机。

7.4.2 热处理

7.4.2.1 曲轴铸铁件除已进行过完全退火、正火或淬火(油冷)和回火热处理外，在机加工前，应进行消除内应力的热处理。

7.4.2.2 如果对铸铁曲轴的轴颈进行表面硬化处理，则应将详细的工艺资料提交本社认可。曲轴在进行这种处理前，应进行验证试验，并应征得本社的同意。

7.4.3 试验材料

7.4.3.1 试件的尺寸应保证它们的力学性能确能代表曲轴铸铁件的平均力学性能。

7.4.3.2 对大型曲轴铸铁件，每个铸铁件的试件应从铸铁件本体截取或附带浇铸在铸铁件上。

7.4.3.3 对于每个重量不超过100kg批量生产的小型曲轴铸铁件，可按本章7.3.3的规定浇铸试件。

7.4.4 力学性能

7.4.4.1 灰铸铁曲轴的抗拉强度应不小于300N/mm²。球墨铸铁曲轴的抗拉强度应不小于490N/mm²，其力学性能应符合本章表7.3.4.1的要求。

7.4.4.2 除进行拉伸试验外，还应在每个铸铁件上进行硬度试验。球墨铸铁件的硬度值应符合本章表7.3.4.1的规定，灰铸铁曲轴的硬度值应符合本社接受的有关标准。

7.4.5 缺陷的修补

7.4.5.1 铸铁曲轴的缺陷不允许焊补，瑕疵不能用填充物填充。

7.4.6 无损检测

7.4.6.1 曲轴铸铁件在最终机加工后应进行磁粉检测。为此，检测表面应达到所需的粗糙度。磁粉检测的结果应提交本社认可。

第8章 铝合金

第1节 一般规定

8.1.1 适用范围

8.1.1.1 本章规定适用于建造船体和设备的耐海水腐蚀的铝合金板材、型材(包括棒材和管材)、铝合金铆钉以及铝合金活塞。对于制造低温液化气运输球罐用铝合金,其有关试验资料应提交本社认可。

8.1.1.2 其他铝合金的铸件和锻件可按本社接受的有关标准验收。

8.1.2 制造

8.1.2.1 除本章规定外,铝合金的制造与验收应符合本篇第1章和第2章的有关规定。

8.1.2.2 铝合金可采用经本社认可的锭模以及连续或半连续铸造方法生产。板材应按其力学性能要求,采用热轧或冷轧方法制造,型材应采用挤压方法制造,管材可采用挤压或拉拔方法制造。

8.1.2.3 除另有协议外,铝合金的无损检测不作为验收条件,但制造厂应采用取有效措施确保铝合金的内部质量。

8.1.3 化学成分

8.1.3.1 铝合金的化学成分应符合本章各节的有关要求。根据情况,本社可要求做耐腐蚀性及可焊性等特殊试验或提供有关资料。其他铝合金或不完全符合本章要求的铝合金,应经本社同意后,方可选采用。

8.1.4 试验

8.1.4.1 根据铝合金的种类,按本章各节的有关要求,单件或批量提交试验。如按批提交试验,则每批应由同一炉号熔次,同一化学成分、同一产品类型(如板材、型材、棒材等)、同一交货状态及尺寸规格相近的材料组成。如产品以热处理状态交货,则每批应装同一炉内进行热处理或者使用连续热处理炉进行同一最终处理。

8.1.5 表面质量与尺寸等

8.1.5.1 铝合金产品表面不应有裂纹、分层、腐蚀、氧化夹杂物、起皮、气泡、硝酸盐痕和严重的机械损伤以及影响后续加工或使用的有害缺陷,缺陷的判定应符合本社接受的有关技术条件。

8.1.5.2 铝合金产品边缘应平齐、无毛刺、外形尺寸和公差范围应符合本社接受的有关技术条件。

8.1.6 缺陷的修整

8.1.6.1 铝合金产品局部表面的轻微缺陷,在征得本社验船师的同意后,可以用机加工或研磨的方法去除。任何修整部位的深度不得超出厚度的允许负偏差,且不允许对材料产生任何不利的影响。除非另有协议,所有的修整均应在本社验船师的在场下进行。

8.1.6.2 对不能按8.1.6.1中规定予以修整的表面缺陷,除能证明焊补不会影响该铝合金产品的强度和使用外,一般不允许对缺陷进行焊补。

8.1.7 标记

8.1.7.1 制造厂对经本社验收的所有铝合金成品,应至少在一个位置清晰地标出本社的印记和下列标记:

- (1) 制造厂的名称或商标;
- (2) 合金牌号;
- (3) 能追溯产品全部生产过程的识别标志。

若产品成捆包扎或使用容器包装时，征得验船师同意后，可在易于检查之处作牢固的标签。

8.1.8 合格证书

8.1.8.1 制造厂应对所有经本社验收的产品提供包括下列内容的合格证书：

- (1) 订货方名称和合同号；
- (2) 尺寸规格；
- (3) 能追溯产品全部生产过程的识别标志；
- (4) 化学成分和交货状态；
- (5) 力学性能试验结果；
- (6) 热处理工艺(如进行过)。

第2节 铝合金板材与型材

8.2.1 适用范围

8.2.1.1 本节规定适用于建造船体、上层建筑、甲板室、舱盖等结构的铝合金板材和型材(包括棒材和管材)。

8.2.1.2 铝合金应具有良好的耐海水腐蚀性和可焊性。除经同意外，AlSi1Mg合金一般不允许用于直接接触海水的场合。

8.2.2 化学成分

8.2.2.1 应从每一批铝合金产品中取样测定化学成分，并提交1份证书。铝合金的化学成分应符合表8.2.2.1中的要求。

铝合金的化学成分

表8.2.1.1

| 牌号 | 相应的AA 牌号 | 化学成分(%) | | | | | | | | | |
|-----------|-------------|---------|-------|-------|--------------------|---------|-----------|-------|-----------------|----|----------------------------|
| | | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti ^① | Al | 其他元素 |
| AlMg3 | 5754 | ≤.40 | ≤.40 | ≤0.10 | ≤0.50 ^② | 2.6~3.6 | ≤0.30 | ≤0.20 | ≤0.15 | 余量 | 每种 ≤0.05 总量 ≤0.15 |
| AlMg3Mn | 5454 | ≤0.25 | ≤0.40 | ≤0.10 | 0.5~1.0 | 2.4~3.0 | 0.05~0.20 | ≤0.25 | ≤0.20 | 余量 | |
| AlMg4 | 5086 | ≤0.40 | ≤0.50 | ≤0.10 | 0.2~0.70 | 3.5~4.5 | 0.05~0.25 | ≤0.25 | ≤0.15 | 余量 | |
| AlMg4.5Mn | 5083 | ≤0.40 | ≤0.40 | ≤0.10 | 0.4~1.0 | 4.0~4.9 | 0.05~0.25 | ≤0.25 | ≤0.15 | 余量 | |
| AlMg5Mn | 5456 | ≤0.25 | ≤0.40 | ≤0.10 | 0.5~1.0 | 4.7~5.5 | 0.05~0.25 | ≤0.25 | ≤0.20 | 余量 | |
| AlMg6.5 | ③ | ≤0.30 | ≤0.40 | ≤0.10 | 0.30~0.70 | 6.0~7.0 | 0.10~0.20 | ≤0.20 | ≤0.15 | 余量 | |
| AlSi1Mg | 6082 | 0.7~1.3 | ≤0.50 | ≤0.10 | 0.40~1.0 | 0.6~1.2 | ≤0.25 | ≤0.20 | ≤0.10 | 余量 | |

注：① Ti可以全部或部分由其他细化晶粒元素代替。

② 0.1%≤Mn+Cr≤0.6%。

③即2101合金；除表中所列元素外，还应含0.1~0.2%的Zr，其他元素含量每种≤0.05%，总量≤0.10%。

8.2.3 交货状态

8.2.3.1 铝合金板材、棒材、型材和管材可选采用下列状态之一提交检验：

- (1) 加工硬化；
- (2) 热轧；
- (3) 退火；
- (4) 固溶处理加自然(或人工)时效；
- (5) 挤压。

8.2.3.2 在力学性能与本节规定相近的情况下，经本社同意，允许采用其他状态交货。

8.2.4 试样与试验

8.2.4.1 应从每批重量为2000kg或不足2000kg的余额中各取1个拉伸试样进行拉伸试验，试样的截取应符合下列规定：

(1) 对于板材，试样纵轴应垂直于最终轧制方向。若宽度不大于300ram或薄板亦可采用纵向 试样；

(2) 对于型材或管材，试样纵轴应平行于挤压方向。

应尽可能采用全截面拉伸试样，否则应从截面最厚部分或主要部分距边缘1/4~1/3厚度的范围内截取。

8.2.5 力学性能

8.2.5.1 轧制产品和挤压产品在各种状态下的力学性能应分别符合表8.2.5.1(1)和表

8.2.5.1(2)的规定。

8.2.5.2 若试验不符合要求，可按本篇第1章的规定进行复试。若复试仍不合格，则该批材料不予验收。

铝合金板材的力学性能

表8.2.5.1(1)

| 牌号 | 交货状态 | | 规定非比例伸长应力 | 抗拉强度 σ_b | 伸长率如 δ_s |
|-----------------------------|--------------|-------|---|-------------------------|-----------------|
| | | | $\sigma_{p0.2}$ 不小于(N/mm ²) | 不小于(N/mm ²) | 不小于(%) |
| 2mm ≤ t ≤ 40mm ^① | | | | | |
| AlMg3 | 形变硬化 | | 140 | 230 | 10 |
| | 热轧(允许轻微加工硬化) | | 120 | 200 | 10 |
| | 退火或相当的热处理 | | 80 | 200 | 18 |
| AlMg3Mn | 形变硬化 | | 210 | 280 | 5 |
| | 热轧(允许轻微加工硬化) | | 180 | 260 | 10 |
| | 退火或相当的热处理 | | 80 | 210 | 18 |
| AlMg4 | 形变硬化 | 1/4硬化 | 165 | 260 | 10 |
| | | 1/2硬化 | 220 | 300 | 5 |
| | 热轧(允许轻微加工硬化) | | 110 | 240 | 10 |
| | 退火或相当的热处理 | | 95 | 240 | 16 |
| AlMg4.5Mn | 形变硬化 | 1/4硬化 | 220 | 300 | 10 |
| | | 1/2硬化 | 270 | 340 | 5 |
| | 热轧(允许轻微加工硬化) | | 125 | 275 | 12 |
| | 退火或相当的热处理 | | 120 | 260 | 16 |
| AlMg5Mn | 形变硬化 | 1/4硬化 | 220 | 310 | 10 |
| | | 1/2硬化 | 280 | 370 | 5 |
| | 退火或相当的热处理 | | 130 | 290 | 16 |
| AlMg6.5 | 形变硬化 | | 245 | 365 | 8 |
| | 热轧(允许轻微加工硬化) | | 165 | 325 | 10 |
| | 退火或相当的热处理 | | 165 | 325 | 15 |
| AlSi1Mg | 固溶处理加自然时效 | | 115 | 200 | 10 |
| | 固溶处理加人工时效 | | 250 | 310 | 10 |

注：① 厚度t大于10mm者，经本社同意，其力学性能可略低于表中规定。

铝合金型材的力学性能

表8.2.5.1(2)

| 牌号 | 交货状态 | | 规定非比例伸长应力 σ | 抗拉强度 σ_b | 伸长率 δ_s 不小于 |
|-----------------|------|--|---------------------------------|------------------------|--------------------|
| | | | $p_{0.2}$ 不小于(mm ²) | 不小于((mm ²) | (%) |
| 适用于130mm以下的各种厚度 | | | | | |

| | | | | |
|-----------|------------------------|-----|-----|----|
| AlMg3 | 挤压 | 80 | 180 | 14 |
| AlMg3Mn | 挤压 | 100 | 230 | 10 |
| AlMg4 | 挤压 | 100 | 230 | 10 |
| AlMg4.5Mn | 挤压 | 120 | 270 | 10 |
| AlMg5Mn | 挤压 | 130 | 300 | 10 |
| AlMg6.5 | 挤压 | 170 | 330 | 10 |
| AlSi1Mg | 固溶处理加自然时效 | 115 | 200 | 10 |
| | 固溶处理加入工时效 ^① | 250 | 310 | 10 |

注：① 对于复杂型材以及最厚或主要部分的厚度小于5mm的型材，允许其最小规定非比例伸长应力为240N/mm²，最小抗拉强度为290N/mm²

第3节 铝合金铆钉

8.3.1 适用范围

8.3.1.1 本节规定适用于船用铝合金铆钉。

8.3.2 化学成分

8.3.2.1 用于制造铆钉的线材，其化学成分应符合表8.3.2.1的规定。

铝合金铆钉的化学成分

表8.3.2.1

| 牌号 | 相应的AA牌号 | 化学成分(%) | | | | | | | | | 其他元素 |
|---------|---------|---------|-------|-------|--------------------|---------|-----------|-------|-----------------|----|----------------------------|
| | | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Or | Zn | Ti ^① | Al | |
| AlMg2.5 | 5052 | ≤0.25 | ≤0.40 | ≤0.10 | ≤0.10 | 2.2~2.8 | 0.15~0.35 | ≤0.10 | - | 余量 | 每种 ≤0.05 总量 ≤0.15 |
| AlMg3 | 5754 | ≤0.40 | ≤0.40 | ≤0.10 | ≤0.50 ^② | 2.6~3.6 | ≤0.30 | ≤0.20 | ≤0.15 | 余量 | |
| AlMg3.5 | 5154A | ≤0.50 | ≤0.50 | ≤0.10 | ≤0.50 ^③ | 3.1~3.9 | ≤0.25 | ≤0.20 | ≤0.20 | 余量 | |
| AlMg4 | 5086 | ≤0.40 | ≤0.50 | ≤0.10 | 0.2~0.70 | 3.5~4.5 | 0.05~0.25 | ≤0.25 | ≤0.15 | 余量 | |
| AlSi1Mg | 6082 | 0.7~1.3 | ≤0.50 | ≤0.10 | 0.40~1.0 | 0.6~1.2 | ≤0.25 | ≤0.20 | ≤0.10 | 余量 | |

注：① Ti可以全部或部分由其他细化晶粒元素代替。

② 0.10%≤Mn+Cr≤0.60%。

③ 0.10%≤Mn+Cr≤0.50%。

8.3.3 热处理

8.3.3.1 铆钉用线材或铆钉成品应以下列状态之一提交检验：

- (1) 退火；
- (2) 固溶处理加自然时效。

8.3.4 试样与试验

8.3.4.1 用于制造铆钉的线材可按批提交试验。如果一批的重量超过250kg，则应从每250kg或不足250kg的余额中各取一个拉伸试样和一个镦粗试样。

8.3.4.2 必要时，本社可要求进行铆钉用线材的剪切试验，试验结果应符合本社接受的有关标准。

8.3.4.3 提交试验的每批线材，应由同一炉号熔次、同一化学成分，同一直径的材料组成，且每批线材应装入同一炉内，按模拟成品铆钉的热处理方式，对线材整个截面进行同一热处理。

8.3.4.4 试样截取方向和部位，应符合本章8.2.4.1的规定。拉伸试样的制备和尺寸，应符合本篇第2章的规定；镦粗试样端面应与其轴线垂直，其长度等于试样的直径。

8.3.5 力学性能

8.3.5.1 拉伸试验结果应符合表8.3.5.1的规定。

铝合金铆钉的力学性能

表8.3.5.1

| 牌号 | 交货状态 | 规定非比例伸长应力 即 $\sigma_{R0.2}$ 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) |
|---------|-----------|--|--|------------------------------|
| | | 适用于所有厚度或直径 | | |
| AlMg2.5 | 退火 | 70 | 170 | 16 |
| AlMg3 | 退火 | 80 | 190 | 16 |
| AlMg3.5 | 退火 | 90 | 210 | 16 |
| AlMg4 | 退火 | 100 | 230 | 16 |
| AlSi1Mg | 固溶处理加自然时效 | 115 | 200 | 16 |

注：对于复杂型材以及最厚或主要部分的厚度小于5mm的型材，允许其最小规定非比例伸长应力为240N/mm²，最小抗拉强度为290N/mm²

8.3.5.2 锻粗试验应在常温下进行，锻粗试样应压缩到使其直径增大到不小于原来直径的1.6倍，且无裂纹出现。

8.3.6 成品铆钉的试验

8.3.6.1 对于成品铆钉，应以每100kg或不足100kg的余额各取一个锻粗试样，按本节8.3.5.2的规定进行锻粗试验。

若试验不符合要求，可再取双倍数量的铆钉进行复试，如复试中仍有不合格者，则该批铆钉不合格。

第4节 铝合金活塞

8.4.1 制造

8.4.1.1 柴油机铝合金活塞可用铸造铝合金制造。其铸件应按本篇第1章和第2章及本节的规定进行制造和试验。如果采用其他铝合金，其化学成分和力学性能应符合设计要求，并应提交本社认可。

8.4.2 检验项目

8.4.2.1 铝合金活塞铸件的检验项目如下：

- (1) 化学成分：按炉取样；
- (2) 拉伸试验：每炉取1个试样，试样尺寸应符合本篇第2章表2.2.2.1的规定；
- (3) 硬度试验；
- (4) 宏观检查：每件检验。

8.4.3 化学成分和力学性能

8.4.3.1 铝合金活塞的化学成分和力学性能应符合表8.4.3.1(1)、(2)的规定。

铝合金活塞的化学成分

表8.4.3.1(1)

| 牌号 | 化学成分(%) | | | | |
|-------|---------|-----|---------|---------|----|
| | Si | Cu | Mn | Mg | Al |
| ZL108 | 11~13 | 1~2 | 0.3~0.9 | 0.4~1.0 | 余量 |
| ZL110 | 4~6 | 5~8 | - | 0.2~0.5 | 余量 |

铝合金活塞的力学性能

表8.4.3.1(2)

| 牌号 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 硬度 不小于 (HB) | 热处理 |
|-------|--|-------------------|---------|
| ZL108 | 200 | 85 | 人工时效 |
| | 260 | 90 | 淬火加完全时效 |
| ZL110 | 170 | 90 | 人工时效 |

8.4.4 宏观检查

8.4.4.1 铸件表面不应有气孔、裂纹等有害缺陷。

第9章 其他有色金属

第1节 铜质螺旋桨

9.1.1 适用范围

9.1.1.1 本节规定适用于制造螺旋桨(包括桨毂和桨叶)的铜合金铸件。

9.1.1.2 铸件应按本篇第1章和第2章及本节的规定进行制造和试验。

9.1.1.3 如果采用本节规定以外的铜合金时,应向本社提交有关技术资料(包括化学成分、热处理工艺、力学性能和耐海水腐蚀性能等),经本社同意,可按本社接受的有关标准验收。

9.1.2 制造

9.1.2.1 所有铸件的制造厂应经本社认可。

9.1.2.2 铜合金铸件一般应采用砂型浇铸,浇铸方法应确保铸件内无有害应力存在。

9.1.3 铸造质量

9.1.3.1 铸件上应无裂纹、气孔、缩孔、冷隔、结疤和较大的非金属夹渣等影响其使用的各种缺陷。

9.1.4 化学成分

9.1.4.1 铸件的桶样化学成分应符合表9.1.4.1的规定。

铜质螺旋桨铸件的化学

表9.1.4.1

| 铜合金种类 | 化学成分(%) | | | | | | | |
|--------|---------|----------|----------|-------|----------|---------|------|-------|
| | Cu | Al | Mn | Zn | Fe | Ni | Sn | Pb |
| 1级锰青铜 | 52~62 | 0.5~3.0 | 0.5~4.0 | 35~40 | 0.5~2.5 | ≤1.0 | ≤1.5 | ≤0.5 |
| 2级镍锰青铜 | 50~57 | 0.5~2.0 | 1.0~4.0 | 33~38 | 0.5~2.5 | 2.5~8.0 | ≤1.5 | ≤0.5 |
| 3级镍铝青铜 | 77~82 | 7.0~11.0 | 0.5~4.0 | ≤1.0 | 2.0~6.0 | 3.0~6.0 | ≤0.1 | ≤0.03 |
| 4级锰铝青铜 | 70~80 | 6.5~9.0 | 8.0~20.0 | ≤6.0 | 2.0, 5.0 | 1.5~3.0 | ≤1.0 | ≤0.05 |

9.1.4.2 建议Cu1和Cu2级合金的锌当量不超过45%。锌当量可按下列公式计算:

$$\text{锌当量} = 100 - \frac{100 \times \text{Cu}\%}{100 + A} \quad \%$$

式中: A——为下列各项的代数和:

$$\begin{aligned} & 1 \times \text{Sn}\%; \\ & 5 \times \text{Al}\%; \\ & -0.5 \times \text{Mn}\%; \\ & -0.1 \times \text{Fe}\%; \\ & -2.3 \times \text{Ni}\%. \end{aligned}$$

9.1.4.3 如果铸件是用同一种铜合金的铸锭熔化浇铸,且未添加其他炉料,则可采用铸锭生产

厂提供的化学成分报告。

9.1.5 热处理

9.1.5.1 铸件可以铸态或适当的热处理状态交货。

9.1.6 力学性能

9.1.6.1 铸件应按下列要求制备试样：

- (1) 试件应采用与螺旋桨铸件的铸型相同的造型材料，并应在同样的冷却条件下单独浇铸如图9.1.6.1(1)所示的吉尔型试件；若1个铸件由几炉铜水合浇而成，则每炉铜水都要取样：

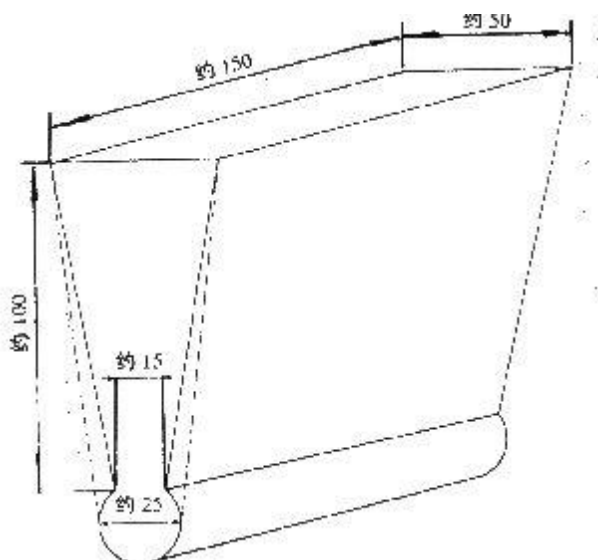


图9.1.6.1(1)

- (2) 若只需要1个试件时，应在浇铸过程即将结束时浇铸试件；若需要几个试件时，则应在浇铸过程开始和结束时分别浇铸；
- (3) 若铸件以热处理状态交货，则试件应与其所代表的铸件一起热处理；
- (4) 所有试件应作出标记，以便识别它所代表的铸件，标记方法应经本社同意；
- (5) 拉伸试样的尺寸应符合本篇第2章表2.2.2.1中序号1(B)的规定。

9.1.6.2 拉伸试验结果应符合表9.1.6.2的规定。

铜质螺旋桨铸件的力学性能

表9.1.6.2

| 铜合金种类 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) |
|--------|--|--|------------------------------|
| 1级锰青铜 | 440 | 175 | 20 |
| 2级镍锰青铜 | 440 | 175 | 20 |
| 3级镍铝青铜 | 590 | 245 | 16 |
| 4级锰铝青铜 | 630 | 275 | 18 |

注：除特殊规定外，表中规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 仅供参考。

9.1.7 目检和无损检测

9.1.7.1 所有的成品铸件应提交验船师进行内外表面检查。

9.1.7.2 成品质量超过15t的螺旋桨和成品质量超过3t的单铸桨叶,应在每一桨叶的压力面上磨光一块表面进行目检和着色检测。磨光的表面区域应包括图9.1.7.2所示的A区和叶根圆角区。

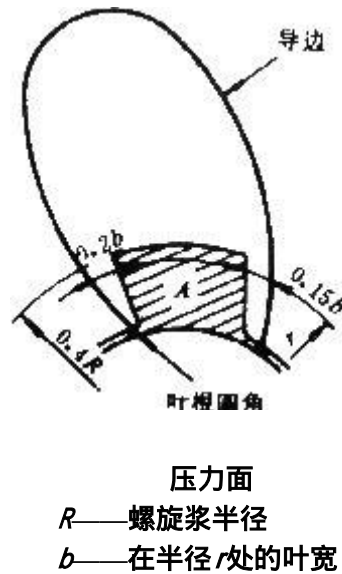


图9.1.7.2

9.1.7.3 着色检测的结果,应符合本社接受的有关标准。

9.1.8 金相组织检验

9.1.8.1 1级锰青铜和2级镍锰青铜应逐炉检验金相组织,试样可由拉伸试样的一端截取。为保证足够的韧性,由5个读数计算出的平均值至少应含有25%的 α 相组织。

9.1.9 缺陷的修补

9.1.9.1 对于不影响强度的小缺陷,一般可不修补。对桨毂端面或内孔表面的局部气孔,经适当处理后,可采用适当的塑性填料进行填充。

9.1.9.2 当铸件中发现超标的缺陷时,可用机械方法将其去除,并将由此产生的凹坑打磨光滑。缺陷除去后应作着色检测,以证明缺陷已经消除。

9.1.9.3 螺旋桨一般不应焊补,若确有必要,应经本社同意,且应事先提交详细的焊补工艺和焊补范围等资料。

9.1.10 标记

9.1.10.1 制造厂应对所有已验收的铸件至少在一个位置清晰地标上本社的标志和下列标记:

- (1) 炉罐号及供查阅此铸件制造过程的标记;
- (2) 合金牌号;
- (3) 本社负责检验的单位及其钢印;
- (4) 负责检验的验船师的印章;
- (5) 最后检验日期。

9.1.11 合格证书

9.1.11.1 制造厂应对每一铸件提供包括下列内容的合格证书:

- (1) 订货方名称和合同号;
- (2) 铸件说明书;
- (3) 炉罐号和合金牌号;
- (4) 热处理规程;
- (5) 无损检测结果.

第2节 铸铜合金

9.2.1 适用范围

9.2.1.1 本节规定适用于阀体、泵壳体、轴套、衬套和其他配件的铜合金铸件。

9.2.1.2 铸件应按本篇第1章和第2章及本节的规定进行制造和试验. 若采用本节规定以外的铸铜合金, 经本社同意, 可按本社接受的有关标准验收.

9.2.2 制造

9.2.2.1 所有的铸件应由本社认可的铸造厂进行制造.

9.2.2.2 铸件可根据其形状选用砂型浇铸、冷硬浇铸、离心浇铸和连续浇铸等铸造方法.

9.2.3 铸件质量

9.2.3.1 所有铸件应清理光整, 不应有缩孔、疏松、气孔、裂纹、夹渣以及影响其使用的表面或内部缺陷.

9.2.4 化学成分

9.2.4.1 铸件的化学成分应符合表9.2.4.1的规定.

铸铜合金的化学成分

表9.2.4.1

| 牌号 | 化学成分(%) | | | | | | | | 议应用范围 |
|-------------|---------|----------|---------|---------|-----------|-----------|-------|--------------|---------------------|
| | Cu | Sn | Zn | Pb | Ni | Mn | P | Fe | |
| 铜锡磷青铜90/10 | 余量 | 9.0—11.0 | ≤0.50 | ≤0.75 | ≤0.5 | - | ≤0.50 | - | 轴套、衬套、阀体、 泵壳体和配件 |
| 炮铜88/10/2 | 余量 | 8.5~11.0 | 1.0~3.0 | ≤1.5 | ≤1.0 | - | - | - | 轴套、阀体和配件 |
| 炮铜83/7/4/6 | 余量 | 6.0~8.0 | 3.0~5.0 | 5.0~7.0 | ≤2.0 | - | - | - | 轴套和衬套 |
| 铅炮铜85/5/5/5 | 余量 | 4.0~6.0 | 4.0~6.0 | 4.0~6.0 | ≤2.0 | - | - | - | 衬套、阀体和配件 |
| 铜镍铁合金90/10 | 余量 | - | - | - | 9.0~11.0 | 0.50~1.0 | - | 1.0~ 1.8 | 阀体、泵壳体和配件 |
| 铜镍铁合金70/30 | 余量 | - | - | - | 29.0~32.0 | 0.50~1.50 | - | 0.40~ 1.0 | 轴套、阀体、泵壳体 和配件 |

注: 制造厂应保证其他元素的含量在本社认可的范围之内.

9.2.4.2 铸锭生产厂所提供的化学成分, 应符合本章9.1.4.2的规定.

9.2.5 热处理

9.2.5.1 铸件可以铸态或适当的热处理状态交货.

9.2.6 力学性能

9.2.6.1 试件可按本章图9.1.6.1(1) 吉尔型试件逐炉单独浇铸. 轴套和衬套的试件也可以从铸件端中截取.

9.2.6.2 如铸件以热处理状态交货, 则试件应进行相同的热处理.

9.2.6.3 每一试件上应制备1个拉伸试样，试样尺寸应符合本篇表2.2.2.1的规定。

9.2.6.4 铸件的拉伸试验结果应符合表9.2.6.4的规定。

铸铜合金的力学性能

表9.2.6.4

| 合金牌号 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) |
|-------------|--|---|---------------------------|
| 铜锡磷青铜90/10 | 250 | 120 | 15 |
| 炮铜88/10/2 | 270 | 130 | 13 |
| 炮铜83/7/4/6 | 270 | 130 | 16 |
| 铅炮铜85/5/5/5 | 200 | 100 | 16 |
| 铜镍铁合金90/10 | 320 | 160 | 20 |
| 铜镍铁合金70/30 | 420 | 220 | 20 |

9.2.7 外观检查

9.2.7.1 所有铸件应经清理后提交验船师进行内、外表面检查。

9.2.8 缺陷的修整

9.2.8.1 对有局部气孔的铸件，若孔隙对铸件强度无有害影响，经验船师同意，可采用适当的塑性填充物加以填充。

9.2.8.2 若确有必要用焊补方法修整缺陷时，应事先征得本社同意，并将缺陷的数量、大小、部位和焊补工艺提交本社认可。对铅含量大于0.5的铜合金轴瓦，不允许焊补。

9.2.9 压力试验

9.2.9.1 若对铸件有压力试验要求，则应在有验船师在场的情况下进行试验。

9.2.10 标记

9.2.10.1 凡经验收的铸件至少应在一个位置清晰地打上本社的标志和下列标记：

- (1) 炉罐号或供查阅此铸件制造过程的标记；
- (2) 本社负责检验的单位及其钢印；
- (3) 负责检验的验船师的印章；
- (4) 试验压力(如有时)；
- (5) 最后检验日期；

9.2.11 合格证书

9.2.11.1 制造厂应对每一铸件提交包括下列内容的合格证书：

- (1) 订货方名称和合同号；
- (2) 铸件说明；
- (3) 炉罐号；
- (4) 铸锭或某一铸次的化学成分；
- (5) 热处理规程；
- (6) 焊补说明(如有时)。

第3节 铜管

9.3.1 适用范围

9.3.1.1 本节规定适用于冷凝器、热交换器和压力管系用的铜合金管材。若采用本节规定以外的铜合金，经本社同意，可按本社接受的有关标准验收。

9.3.1.2 除Ⅲ级压力管外，所有管子应按本篇第1章和第2章及本节的规定进行制造和试验。

9.3.2 制造

9.3.2.1 所有的管子应由本社认可的工厂进行制造。

9.3.2.2 管子一般应采用无缝工艺制造，如采用焊接管，应将其性能和制造方法提交本社认可。

9.3.3 质量

9.3.3.1 管子质量应符合本篇第4章的有关要求。

9.3.4 化学成分

9.3.4.1 管子的化学成分应符合表9.3.4.1的规定。

铜管的化学成分

表9.3.4.1

| 牌号 | 化学成分(%) | | | | | | | |
|------------|-----------|-----------|-----------|-------|-------------|-----------|------------|----|
| | Cu | As | Fe | Pb | Ni | Al | Mn | Zn |
| 铝黄铜 | 76.0~79.0 | 0.02~0.06 | ≤0.06 | ≤0.07 | - | 1.8 ~ 2.5 | - | 余量 |
| 铜镍铁合金90/10 | 余量 | - | 1.0 ~ 2.0 | - | 9.0 ~ 11.0 | - | 0.50 ~ 1.0 | - |
| 铜镍铁合金70/30 | 余量 | - | 0.4 ~ 1.0 | - | 29.0 ~ 33.0 | - | 0.50 ~ 1.5 | - |

注:除表中的主要元素含量外，制造厂还应保证其他元素含量在本社认可的范围之内。

9.3.5 热处理

9.3.5.1 所有的管子均应进行退火处理。铝黄铜管若在退火后进行矫直，则应作消除应力热处理。

9.3.6 力学性能和工艺性能

9.3.6.1 管子可按同一材料、同一尺寸和同一热处理规程为一批提交试验，每批管子应不超过300根。

9.3.6.2 每批管子的试验项目和取样数量如下：

(1) 拉伸试验：每批至少取1个试样；

(2) 压扁试验：每批至少取1个试样；

(3) 扩口试验：每批至少取1个试样；

如果管子以盘卷交货时，则每批至少应任取1卷，每10圈或不足10圈的余量应截取1个试样。

9.3.6.3 力学性能试验方法和试样尺寸应符合本篇第2章的规定。压扁试验应将管子试样压扁至管子内大30%，扩大部分应无破裂和裂纹。

9.3.6.4 管子的力学性能应符合表9.3.6.4的规定。

铜管的力学性能

表9.3.6.4

| 合金牌号 | 抗拉强度 σ_b 不小于 (N/mm ²) | 规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) |
|------------|--|--|------------------------------|
| 铝黄铜 | 320 | 110 | 35 |
| 铜镍铁合金90/10 | 270 | 100 | 30 |
| 铜镍铁合金70/30 | 360 | 120 | 30 |

9.3.7 应力腐蚀开裂试验

9.3.7.1 铝黄铜管子应按批进行应力腐蚀开裂试验，其方法如下：

- (1) 从每批管子中，任选一根管子，割取一段长度为150mm的管子作为试样；
- (2) 将试样浸入硝酸亚汞溶液中，保持2h；
- (3) 从溶液中取出试样后，用5 ~ 10倍放大镜观察其内外表面，应无裂纹出现；
- (4) 若试样出现裂纹，则该试样所代表的所有管子应全部拒收。但经消除内应力后，仍可重新提交试验。

9.3.8 液压试验

9.3.8.1 每根管子均应进行液压试验，试验压力应为管子设计压力的1.5倍或7.0N/mm²，取两者较大值。管子应在试验压力下保持足够时间，以便进行验证和检查。经液压试验的管子不应有漏水、裂纹和变形现象出现。经本社同意，亦可用涡流检测代替液压试验。

9.3.9 目检和缺陷修整

9.3.9.1 应对所有的管子进行内外表面的目检和尺寸校核。管子表面应光滑清洁，不应有针孔、裂缝、气泡、分层和绿锈等缺陷存在。

9.3.9.2 表面缺陷不允许用焊补方法修整，但可用打磨方法予以消除，经打磨的部位与管子的表面应平滑过渡，且不应超出允许的尺寸公差。

9.3.10 标记

9.3.10.1 制造厂应对每批管子清晰地标上本社的标志和下列标记：

- (1) 制造厂名称或产品商标；
- (2) 材料牌号。

9.3.10.2 不可在管子上使用硬印作上述标记。

9.3.11 合格证书

9.3.11.1 制造厂应对每批管子提供具有下列内容的合格证书：

- (1) 订货方名称和合同号；
- (2) 材料的技术规格或等级；
- (3) 产品名称和尺寸；
- (4) 炉罐号和化学成分；
- (5) 力学及工艺性能试验结果；
- (6) 应力腐蚀开裂试验结果；
- (7) 液压试验结果。

第4节 轴承合金

9.4.1 制造

9.4.1.1 船舶机械用的轴承，可采用锡基轴承合金、铅基轴承合金、铝基轴承合金及铜铅合金等制造。如拟采用其他轴承合金，其化学成分应符合设计要求，并应提交本社认可。

9.4.2 检验项目

9.4.2.1 轴承合金的检验项目如下：

- (1) 化学分析：按炉取样；
- (2) 宏观检查：每件检验；
- (3) 粘结检查：每件检验；
- (4) 显微分析和硬度检查：对柴油机的主轴承、连杆上下端的轴承和推力轴承的白合金，必将要时应作显微分析(放大100倍)和硬度检查。对于涡轮机轴承合金，每只都应作显微分析和硬度检查；
- (5) 金相组织检查：仅对铜铅合金作检查。

9.4.3 化学成分

9.4.3.1 轴承合金的化学成分应符合表9.4.3.1的规定。

轴承合金的化学成分表

9.4.3.1

| 牌号 | 化学成分(%) | | | | |
|------------------|---------|---------|-------|-------|----|
| | Sn | Cu | Sb | Pb | Al |
| ChSnSb11-6 | 余量 | 5.5~6.5 | 10~12 | | - |
| ChPbSb7.5-3 | 余量 | 3~4 | 7~8 | | - |
| ChPbSb16-16-1.8 | 15~17 | 1.5~2 | 15~17 | 余量 | - |
| ChPbSb15-5.5-2.8 | 5~6 | 2.5~3 | 14~16 | 余量 | - |
| QPb30 | - | 余量 | - | 27~33 | - |
| (201)锡铜铝-钢双金属板 | 20 | 1 | - | - | 余量 |

9.4.4 其他要求

- 9.4.4.1 每块轴承合金的表面应光滑、整洁，应无熔渣和非金属夹杂物存在。
- 9.4.4.2 轴承合金应能与轴承壳牢固地粘结在一起。
- 9.4.4.3 铜铅合金在金相组织检查中，铅应以中等粒度、呈圆粒状或断续网状均匀分布于铜基体中，无块状析出。

第10章 设 备

第1节 船 用 锚

10.1.1 适用范围

10.1.1.1 本节规定适用于锚头、锚杆、锚卸扣的锻钢件和铸钢件以及组合式钢锚头。

10.1.2 制造和力学性能

10.1.2.1 所有锚均应在本社认可的工厂制造。

10.1.2.2 铸造的锚头、锚杆和锚卸扣应按本篇第6章第1节和第2节的有关规定进行制造和试验。铸造锚可按同一炉钢水、同一规格、同一热处理规程且总重量不超过3t的铸件为一批，每批至少取1个试样进行拉伸试验。

10.1.2.3 锻造的锚头、锚杆和锚卸扣应按本篇第5章第1节和第2节的有关规定进行制造和试验。当单个锻件的重量超过3t时，应进行热处理。

10.1.2.4 组合式钢锚头所用钢板应符合本篇第3章第2节和第3节的有关规定。

10.1.3 锚的拉力试验

10.1.3.1 名义重量(包括锚杆在内)不小于75kg的锚，大抓力锚为56kg，应进行拉力试验。拉力试验机应经校准并经本社认可。

10.1.3.2 锚的拉力试验方法规定如下：

(1) 拉力作用点，一端在锚卸扣处，另一端在距锚爪尖 $1/3$ 处，如图10.1.3.2(1)所示；

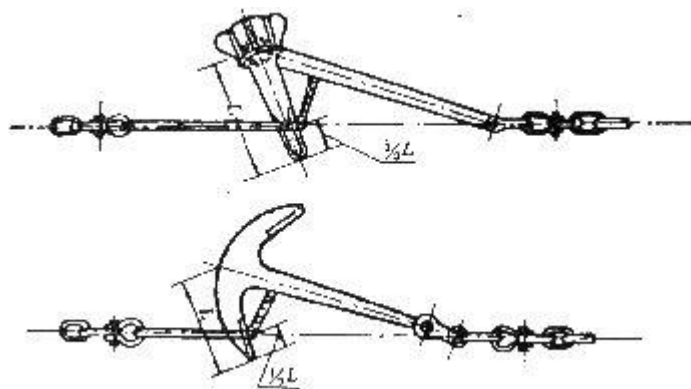


图10.1.3.2(1)

(2) 无杆锚应同时拉其两爪，先在一面拉试后，再转到另一面做同样的试验；

(3) 有杆锚的两个锚爪，应分别进行拉力试验；

(4) 拉力试验前，每个锚应在锚卸扣处的锚杆上及锚爪每一尖端处，各作一标记(打冲眼或划线，作为试验时测量间距用)。对无杆锚应先施加拉力至试验载荷的10%，保持5min后，测量两标记间的距离。然后逐渐增加拉力到试验载荷，保持5min。当拉力减少至试验载荷的10%时，再测量两标记间的距离。对有杆锚应一次施加拉力至试验载荷，保持5min后，卸去载荷，测量两标记间的距离。

10.1.3.3 锚的拉力试验载荷应符合表10.1.3.3的规定。表中锚的重量按下列规定计算：

(1) 对于无杆锚，为锚的总重量；

(2) 对于有杆锚，为不包括横杆的锚的重量；

(3) 对于大抓力锚，名义重量等于锚的实际重量的1.33倍。除非另有协议，否则系泊锚的重量也同样计算。

锚的拉力试验载荷

表10.1.3.3

| 锚的重量 m_a (kg) | 拉力试验载荷 Q (kN) | 锚的重量 m_a (kg) | 拉力试验载荷 Q (kN) | 锚的重量 m_a (k) | 拉力试验载荷 Q (kN) |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 50 | 23.2 | 2200 | 376.0 | 7800 | 861.0 |
| 55 | 25.2 | 2300 | 388.0 | 8000 | 877.0 |
| 60 | 27.1 | 2400 | 401.0 | 8200 | 892.0 |
| 65 | 28.9 | 2500 | 414.0 | 8400 | 908.0 |
| 70 | 30.7 | 2600 | 427.0 | 8600 | 922.0 |
| 75 | 32.4 | 2700 | 438.0 | 8800 | 936.0 |
| 80 | 33.9 | 2800 | 450.0 | 9000 | 949.0 |
| 90 | 36.3 | 2900 | 462.0 | 9200 | 961.0 |
| 100 | 39.1 | 3000 | 474.0 | 9400 | 975.0 |
| 120 | 44.3 | 3100 | 484.0 | 9600 | 987.0 |
| 140 | 49.0 | 3200 | 495.0 | 9800 | 998.0 |
| 160 | 53.3 | 3300 | 506.0 | 10000 | 1010.0 |
| 180 | 57.4 | 3400 | 517.0 | 10500 | 1040.0 |
| 200 | 61.3 | 3500 | 528.0 | 11000 | 1070.0 |
| 225 | 65.8 | 3600 | 537.0 | 11500 | 1090.0 |
| 250 | 70.4 | 3700 | 547.0 | 12000 | 1110.0 |
| 275 | 74.9 | 3800 | 557.0 | 12500 | 1130.0 |
| 300 | 79.5 | 3900 | 567.0 | 13000 | 1160.0 |
| 325 | 84.1 | 4000 | 577.0 | 13500 | 1180.0 |
| 350 | 88.8 | 4100 | 586.0 | 14000 | 1210.0 |
| 375 | 93.4 | 4200 | 595.0 | 14500 | 1230.0 |
| 400 | 97.9 | 4300 | 604.0 | 15000 | 1260.0 |
| 425 | 103.0 | 4400 | 613.0 | 15500 | 1270.0 |
| 450 | 107.0 | 4500 | 622.0 | 16000 | 1300.0 |
| 475 | 112.0 | 4600 | 631.0 | 16500 | 1330.0 |
| 500 | 116.0 | 4700 | 638.0 | 17000 | 1360.0 |
| 550 | 125.0 | 4800 | 645.0 | 17500 | 1390.0 |
| 600 | 132.0 | 4900 | 653.0 | 18000 | 1410.0 |
| 650 | 140.0 | 5000 | 661.0 | 18500 | 1440.0 |
| 700 | 149.0 | 5100 | 669.0 | 19000 | 1470.0 |
| 750 | 158.0 | 5200 | 677.0 | 19500 | 1490.0 |
| 800 | 166.0 | 5300 | 685.0 | 20000 | 1520.0 |
| 850 | 175.0 | 5400 | 691.0 | 21000 | 1570.0 |
| gD0 | 182.0 | 5500 | 699.0 | 22000 | 1620.0 |
| 950 | 191.0 | 5600 | 706.0 | 23000 | 1670.0 |
| 1000 | 199.0 | 5700 | 712.0 | 24000 | 1720.0 |
| 1050 | 208.0 | 5800 | 721.0 | 25000 | 1770.0 |
| 1100 | 216.0 | 5900 | 728.0 | 26000 | 1800.0 |
| 1150 | 224.0 | 6000 | 735.0 | 27000 | 1850.0 |
| 1200 | 231.0 | 6100 | 740.0 | 28000 | 1900.0 |
| 1250 | 239.0 | 6200 | 747.0 | 29000 | 1940.0 |
| 1300 | 247.0 | 6300 | 754.0 | 30000 | 1990.0 |
| 1350 | 255.0 | 6400 | 760.0 | 31000 | 2030.0 |
| 1400 | 262.0 | 6500 | 767.0 | 32000 | 2070.0 |
| 1450 | 270.0 | 6600 | 773.0 | 3400 | 2160.0 |
| 1500 | 278.0 | 6700 | 779.0 | 36000 | 2250.0 |
| 1600 | 292.0 | 6800 | 786.0 | 38000 | 2330.0 |
| 1700 | 307.0 | 6900 | 794.0 | 40000 | 2410.0 |
| 1800 | 321.0 | 7000 | 804.0 | 42000 | 2490.0 |
| 1900 | 335.0 | 7200 | 818.0 | 44000 | 2570.0 |
| 2000 | 349.0 | 7400 | 832.0 | 46000 | 2650.0 |
| 2100 | 362.0 | 7600 | 845.0 | 48000 | 2730.0 |

注：① 如锚的重量为中间值时，其拉力试验载荷可由内插法确定。

② 当普通锚的重量 $m_a > 48000\text{kg}$ 时，其拉力试验负荷 Q 为： $Q = 2.059 m_a^{2/3}$ kN。

③ 当大抓力锚的重量 $m_a > 36000\text{kg}$ 时，其拉力试验负荷 Q 为： $Q = 2.452 m_a^{2/3}$ kN。

10.1.3.4 经拉力试验后,无杆锚的残余变形(即两标记间的距离)应不超过20mm,且应检查锚爪转动至最大角度的灵活性。对组合式钢锚,应检查锚自由转动至最大角度的灵活性。如果上述转动不灵活或不能转到最大角度时,应消除缺陷,并重做拉力试验,如仍不合格,则锚不能验收。对有杆锚,在拉力试验后应无永久变形。

10.1.4 大抓力锚

10.1.4.1 大抓力锚应符合下列要求:

(1) 新设计的锚,凡申请认可作为大抓力锚,应在海上进行试验,以证实该锚的抓力为与其重量相同的无杆锚抓力的2倍以上。

(2) 如果设计大抓力锚系列,至少应选取两种规格的锚在海上进行抓力试验。两种规格中较小的一个应不小于较大一个锚的重量的 $1/10$,而较大的一个应不小于该系列中最大规格锚的重量的 $1/10$ 。

(3) 试验应在不少于3种不同类型的海底进行。通常应为软泥或淤泥、砂子或砾石、坚实的粘土或类似坚实的底质。

(4) 试验通常可由拖轮进行拖拉,并以测力计测定抓力。试验时,被试验的锚和用于比较的无杆锚应采用相同长度的锚链。锚链的长度应不小于锚链筒口至海底垂直距离的6倍,但建议锚链长度为锚链筒口至海底垂直距离的10倍。试验时亦可用钢丝绳代替锚链。

(5) 大抓力锚的设计应保证当锚从普通型式锚链筒中抛落时,无论其落在海底的原始角度或位置如何,都能在短时间内使锚爪有效地抓住海底,且抓力达到本条(1)的要求。对此如有怀疑时,本社可要求进行验证。

10.1.5 标记

10.1.5.1 经检验合格的锚,应打上本社认可的标志和以下标记:

- (1) 制造厂的商标;
- (2) 试验证书号码;
- (3) 试验日期;
- (4) 锚的总重量;
- (5) 锚杆的重量;
- (6) 经认可的大抓力锚的印记HHP。

无杆锚的印记,应打在每个锚爪上。有杆锚的印记,应打在锚身与锚爪连接处。

第2节 锚链及其附件

10.2.1 适用范围

10.2.1.1 本节规定适用于轧制圆钢、锻钢和铸钢制成的有档锚链以及附件的制造和试验。如采用无档短环链,可按本社接受的有关标准进行制造和试验。

10.2.1.2 锚链根据其公称抗拉强度,分为CCSAM1、CCSAM2和CCSAM33个等级。

10.2.2 制造

10.2.2.1 制造锚链及其附件的工厂应经本社认可。所有用于制造锚链及其附件的材料,也应由本社认可的制造厂提供。

10.2.2.2 锚链及其附件应按本社接受的标准进行制造,其典型的结构见图10.2.2.2(1)~(7),图中数字为链径 d 的倍数。每节锚链的链环数应为奇数。对不同于上述图中所规定结构和焊接方法的附件,应将其尺寸、制造方法及热处理规程的全部图纸及工艺提交本社认可。

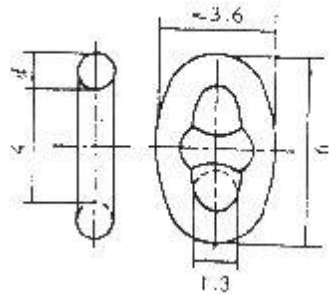


图10 .2 .2 .2(1) 普通链环

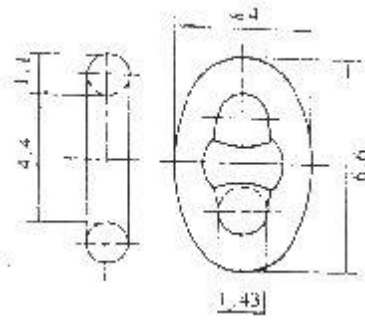


图10 .2 .2 .2(2) 加大链环

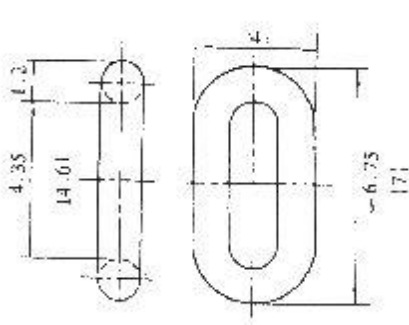


图10 .2 .2 .2(3) 末端链环

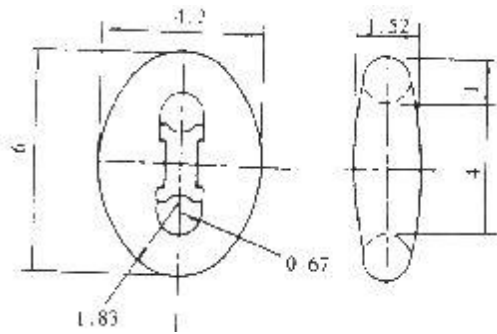
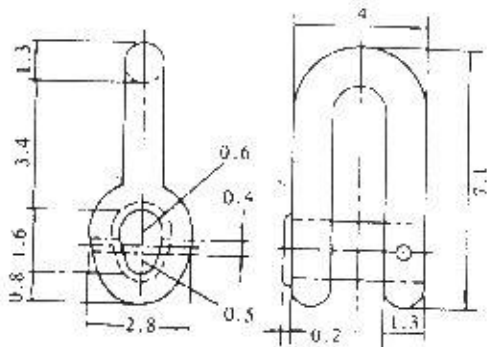


图10 .2 .2 .2(4) 肯特卸扣



.2(5)连接卸扣

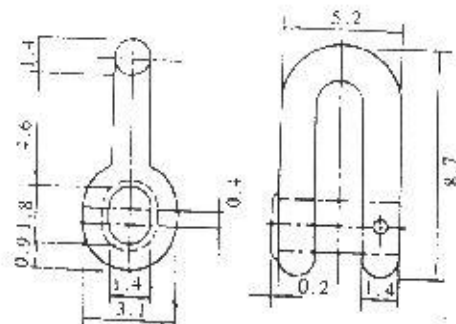


图10 .2 .2 .2(6)末端卸扣

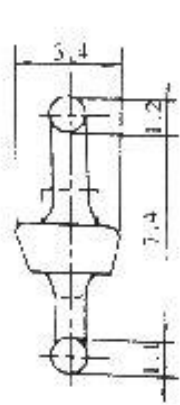


图10 .2 .2 .2(7)转环

10.2.2.3 有档锚链应尽量采用闪光对接焊 制造，链档允许用落锻或浇铸的方法制造。对

公称直径不大于26mm的无档锚链，根据要求也可采用电阻对接焊。

10.2.2.4 锚链附件，如卸扣、转环和转动卸扣等至少应采用不低于CCSAM2级锚链所用的钢材，采用锻造或铸造方法制造。如采用焊接方法制造，应经本社特别认可。

10.2.2.5 链环档的焊接应符合下列要求：

- (1) 横档的焊人应只在与闪光焊缝相对一侧的链环上进行，横档的两端与链环之间应无肉眼可见的缝隙；
- (2) 应尽量在平焊位置，由合格的焊工用合适的材料进行焊接；
- (3) 所有的焊接作业应在锚链最后热处理前进行；
- (4) 焊后应无影响锚链使用性能的缺陷。对咬边、端部弧坑和类似的缺陷应采用打磨方法予以去除。
- (5) 对横档的焊接，本社可要求进行焊接方法的试验。

10.2.3 表面质量

10.2.3.1 所有锚链及其附件应具有与其制造方法相适应的光洁表面，且应无裂纹、沟槽和降低产品性能的其他缺陷。由于落锻或顶锻所产生的飞边应予以清除。

10.2.3.2 小的表面缺陷，可采用打磨方法予以消除，但打磨后的链径应不小于按公差范围所确定的尺寸(见本节10.2.4.2)，且打磨部位与其周围的表面应平顺过渡，同时对远离链冠部位的打磨深度允许放宽，但应不超过公称链径的5%。

10.2.3.3 如需对缺陷进行焊补，应将有关焊补工艺规程提交本社认可。链冠处不允许焊补。

10.2.4 尺寸和公差范围

10.2.4.1 锚链及其附件的结构尺寸，应符合本社接受的有关标准，典型的结构尺寸见本节图10.2.2.2(1)~(7)。

10.2.4.2 链环应符合下列尺寸公差：

(1) 链径的尺寸公差(d 为公称链径)：

| | | |
|-------------------------------------|---|-------|
| $d \leq 40\text{mm}$ | : | - 1mm |
| $40\text{mm} < d \leq 84\text{mm}$ | : | - 2mm |
| $84\text{mm} < d \leq 122\text{mm}$ | : | - 3mm |
| $d > 122\text{mm}$ | : | - 4mm |

链环的直径应在链环平面内的链冠处测量，链径的正偏差应不大于公称链径的5%。链冠部位的横截面积不允许有负偏差；

- (2) 每5个链环组成的长度的制造公差为0% ~ +2.5%(在锚链的拉力试验后测量)；
- (3) 在锚链的所有零件相互适配的情况下，锚链的其他所有尺寸的制造公差均为±2.5%；
- (4) 横档应处于链环的中心位置，并与链环的两侧保持垂直。若横档具有良好的配合，且横档两端与链环内侧没有间隙(按图10.2.4.2(4)进行测量)，则允许存在不超过下列要求的制造公差：

① 相对中心位置的最大偏差 $X = (A - a) / 2$ 为公称直径的10%；

② 相对90°位置的角度偏差 $\alpha \leq 4^\circ$ 。

为了便于拆装连接卸扣，每节锚链两端的加大链环的横档可不位于链环的中心位置。

10.2.4.3 锚链附件尺寸公差应不超过下列值：

公称直径：0% ~ + 5%；

其他直径：±2.5%。

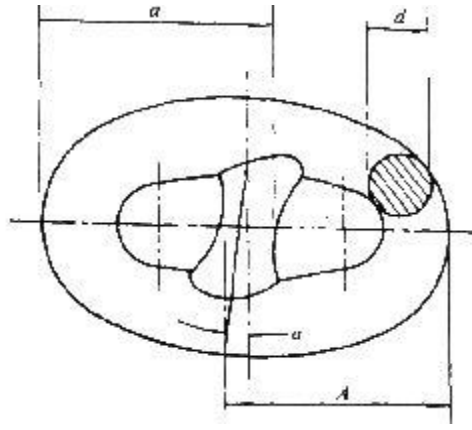


图10.2.4.2(4)

10.2.5 焊接锚链用材料

10.2.5.1 拟用于制造焊接锚链的锚链圆钢应符合本篇第3章第1节的有关规定。

10.2.5.2 圆钢的脱氧方法和桶样化学成分应符合表10.2.5.2的规定。

锚链圆钢的脱氧方法和桶样化学成分

表10.2.5.2

| 锚链等级 | 锚链圆钢等级 | 脱氧方法 | 化学成分(%) | | | | | |
|--------|--------|--------|------------|-----------|-------|--------|--------|-----------------|
| | | | C | Si | Mn | P | S | Al ^② |
| CCSAMI | 一级锚链钢 | 镇静 | ≤0.20 | 0.15~0.35 | ≥0.40 | ≤0.040 | ≤0.040 | - |
| CCSAM2 | 二级锚链钢 | 镇静细晶处理 | ≤0.24 | 0.15~0.55 | ≤1.60 | ≤0.035 | ≤0.035 | ≥0.015 |
| CCSAM3 | 三级锚链钢 | 镇静细晶处理 | 应符合本社认可的标准 | | | | | |

注：① 经本社同意，可添加合金元素。

② 系指酸溶铝含量，如果要测定铝的总含量，则总的含量应不小于0.020%；Al可部分由其他细晶元素代替。

10.2.5.3 圆钢应以同一炉号、同一直径，质量为40t或不足40t为一批，按批提交试验。从每批提交试验的圆钢中，任意截取一段长度适当的试件。取样前，试件全截面应进行与成品锚链相同的热处理。

10.2.5.4 对所有等级的锚链钢均应从所选定的试件上切取1个拉伸试样，对二级和三级锚链钢还应从同一试件上切取1组3个夏比V型缺口冲击试样。拉伸和冲击试样的试样应沿圆钢的纵向截取，且位于距圆钢表面1/6直径处，对直径较小的圆钢应尽可能靠近这个位置，如图10.2.5.4所示。

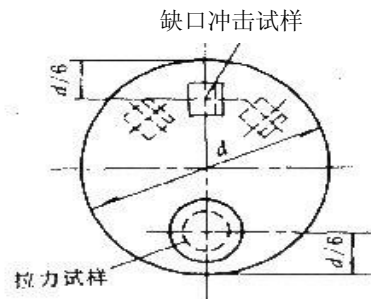


图10.2.5.4

10.2.5.5 试样的制备和尺寸应符合本篇第2章的有关规定，拉伸试样的横截面积应不小于150mm²，也可采用全截面试样代替。拉伸试验和冲击试验的结果应符合表10.2.5.5的规定。

锚链、附件及锚链材料的力学性能

表10.2.5.5

| 锚链或附件等级 | 锚链材料等级或种类 | 屈服点 σ_s 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 (%) | 断面收缩率 Ψ 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 | |
|---------|-------------------|---|--------------------------------------|--------------------|----------------------|------------|----------------------|
| | | | | | | 试验温度(°C) | 平均冲击功(J) |
| CCSAM1 | 一级锚链钢 | | ≤490 ^③ | 25 | - | - | - |
| CCSAM2 | 二级锚链钢 锻钢 铸钢 | 295 | 490~690 | 22 | - | 0 | ≥27 ^① |
| CCSAM3 | 三级锚链钢 锻钢 铸钢 | 410 | ≥690 | 17 | 40 | 0(-20) | ≥60(35) ^② |

注：① 若CCSAM2级锚链或附件以热处理状态交货，其冲击试验可以免除。

② 本社可根据情况，选择CCSAM3级锚链用材的冲击试验温度为-20℃。

③ 当305 < σ_b ≤ 400时， δ_5 应大于30。

10.2.6 锻造锚链用材料

10.2.6.1 除本节另有规定外，用于锻造锚链和附件的锻钢的制造和试验，应符合本篇第5章第1节的有关规定。

10.2.6.2 锻钢的化学成分应符合本社接受的技术条件，制造厂应测定每炉钢的化学成分，并出具相应的证明书。

10.2.6.3 原材料允许以轧制状态供货，成品锻件应根据相应锚链和附件的等级进行正火或淬加回火处理。

10.2.6.4 具有同一炉罐号、同一热处理规程和尺寸相近的锻件，可进行批量试验。批量试验时，可取其中1个锻件作试件或采用单独锻成的锻件作为试件，至少应从每批锻件中取1个拉伸试样和1组3个夏比V型缺口冲击试样进行拉伸和冲击试验。从试件上截取试样的部位，应符合本节图10.2.5.4的规定。

10.2.6.5 锻钢件的拉伸试验和冲击试验的结果应符合本节表10.2.5.5中对CCSAM2和CCSAM3锚链或附件的规定。

10.2.7 铸造锚链用材料

10.2.7.1 除本节另有规定外，用于铸造锚链和附件的铸钢的制造和试验，应符合本篇第6章第1节的有关规定。

10.2.7.2 铸钢的化学成分应符合本社接受的技术条件，制造厂应测定每炉钢的化学成分，并出具相应的证明书。

10.2.7.3 所有铸钢件应根据相应锚链和附件的等级进行正火或淬火加回火处理。

10.2.7.4 具有同一炉罐号、同一热处理规程和尺寸相近的铸件，可进行批量试验。批量试验时，可取其中1个铸件作为试件或采用同样造型材料，与铸件同时浇铸出的铸件作为试件，至少应从每批铸件中取1个拉伸试样和1组3个夏比V型缺口冲击试样进行拉力和冲击试验。从试件上截取试样的部位，应符合本节图10.2.5.4的规定。

10.2.7.5 铸钢件的拉伸试验和冲击试验的结果应符合节表10.2.5.5中对CCSAM2和CCSAM3锚链和附件的规定。

10.2.8 链当材料

10.2.8.1 链档应采用相当于锚链钢的材料制成(如低含碳量的轧制钢、铸钢或锻钢)。不允许采用灰铸铁或球墨铸铁等材料。

10.2.9 成品锚链和附件的交货状态。

10.2.9.1 锚链或附件应根据其等级按表10.2.9.1规定的热处理状态交货。热处理应在锚链或附件制造完工后且未行拉力试验和拉断试验之前进行。

锚链的交货状态

表10.2.9.1

| 锚链或附件等级 | 制造方法 | 交货状态 |
|---------|----------|-----------------------------|
| CCSAM1 | 焊接 | 焊接态或正火态 |
| CCSAM2 | 焊接、铸造或落锻 | 正火、正火加回火或淬火加回火 ^① |
| CCSAM3 | 焊接、铸造或落锻 | |

注：① CCSAM2级锚链或附件可采用焊接态供货；在此情况下，应进行冲击试验。

10.2.10 成品锚链的试验

10.2.10.1 所有的成品锚链应在验船师在场时，按本社接受的标准进行拉力和拉断试验。为此不可在锚链上涂有油漆或防腐涂料。

10.2.10.2 拉力试验：每节锚链(27.5m)应在经认可的试验机上，按表1.2.10.2中相应等级锚链所规定的拉力载荷进行试验。当卸除负荷后，应对每节锚链包括其尺寸进行检验，不应有明显的缺陷。且永久伸长应不超过原始长度的5%。

锚链的拉力和拉断试验载荷

表10.2.10.2

| 锚链直径 mm | CCSAM1 | | CCSAM2 | | CCSAM3 | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | 拉力试验载荷(kN) | 拉断试验载荷(kN) | 拉力试验载荷(kN) | 拉断试验载荷(kN) | 拉力试验载荷(kN) | 拉断试验载荷(kN) |
| 11 | 36 | 51 | 51 | 72 | 72 | 102 |
| 12.5 | 46 | 66 | 66 | 92 | 92 | 132 |
| 14 | 58 | 82 | 82 | 116 | 116 | 165 |
| 16 | 76 | 107 | 107 | 150 | 150 | 216 |
| 17.5 | 89 | 127 | 127 | 179 | 179 | 256 |
| 19 | 103 | 150 | 150 | 211 | 211 | 301 |
| 20.5 | 123 | 175 | 175 | 244 | 244 | 349 |
| 22 | 140 | 200 | 200 | 280 | 280 | 401 |
| 24 | 167 | 237 | 237 | 332 | 332 | 476 |
| 26 | 194 | 278 | 278 | 389 | 389 | 556 |
| 28 | 225 | 321 | 321 | 449 | 449 | 642 |
| 30 | 257 | 368 | 368 | 514 | 514 | 735 |
| 32 | 297 | 417 | 417 | 583 | 583 | 833 |
| 34 | 328 | 468 | 468 | 655 | 655 | 937 |
| 36 | 366 | 523 | 523 | 732 | 732 | 1050 |
| 38 | 406 | 581 | 581 | 812 | 812 | 1160 |
| 40 | 448 | 640 | 640 | 896 | 896 | 1280 |
| 42 | 492 | 703 | 703 | 981 | 981 | 1400 |
| 44 | 538 | 769 | 769 | 1080 | 1080 | 1540 |
| 46 | 585 | 837 | 837 | 1170 | 1170 | 1680 |
| 48 | 635 | 908 | 908 | 1270 | 1270 | 1810 |
| 50 | 696 | 981 | 981 | 1370 | 1370 | 1960 |
| 52 | 739 | 1060 | 1060 | 1480 | 1480 | 2110 |
| 54 | 794 | 1140 | 1140 | 1590 | 1590 | 2270 |
| 56 | 851 | 1220 | 1220 | 1710 | 1710 | 2430 |
| 58 | 909 | 1290 | 1290 | 1810 | 1810 | 2600 |
| 60 | 969 | 1380 | 1380 | 1940 | 1940 | 2770 |
| 62 | 1030 | 1470 | 1470 | 2060 | 2060 | 2940 |

| | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 64 | 1100 | 1560 | 1560 | 2190 | 2190 | 3130 |
|----|------|------|------|------|------|------|

续上表

| 锚链直径 mm | CCSAM1 | | CCSAM2 | | CCSAM3 | |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 拉力试验载荷 (kN) | 拉断试验载荷 (kN) | 拉力试验载荷 (kN) | 拉断试验载荷 (kN) | 拉力试验载荷 (kN) | 拉断试验载荷 (kN) |
| 66 | 1160 | 1660 | 1660 | 2310 | 2310 | 3300 |
| 68 | 1230 | 1750 | 1750 | 2450 | 2450 | 3500 |
| 70 | 1290 | 1840 | 1840 | 2580 | 2580 | 3690 |
| 73 | 1390 | 1990 | 1990 | 2790 | 2790 | 3990 |
| 76 | 1500 | 2150 | 2150 | 3010 | 3010 | 4300 |
| 78 | 1580 | 2260 | 2260 | 3160 | 3160 | 4500 |
| 81 | 1690 | 2410 | 2410 | 3380 | 3380 | 4820 |
| 84 | 1800 | 2580 | 2580 | 3610 | 3610 | 5160 |
| 87 | 1920 | 2750 | 2750 | 3850 | 3850 | 5500 |
| 90 | 2050 | 2920 | 2920 | 4090 | 4090 | 5840 |
| 92 | 2130 | 3040 | 3040 | 4260 | 4260 | 6080 |
| 95 | 2260 | 3230 | 3230 | 4510 | 4510 | 6640 |
| 97 | 2340 | 3340 | 3340 | 4680 | 4680 | 6690 |
| 100 | 2470 | 3530 | 3530 | 4940 | 4940 | 7060 |
| 102 | 2560 | 3660 | 3660 | 5120 | 5120 | 7320 |
| 105 | 2700 | 3850 | 3850 | 5390 | 5390 | 7700 |
| 107 | 2790 | 3980 | 3980 | 5570 | 5570 | 7960 |
| 111 | 2970 | 4250 | 4250 | 5940 | 5940 | 8480 |
| 114 | 3110 | 4440 | 4440 | 6230 | 6230 | 8890 |
| 117 | 3260 | 4650 | 4650 | 6510 | 6510 | 9300 |
| 120 | 3400 | 4850 | 4850 | 6810 | 6810 | 9720 |
| 122 | 3500 | 5000 | 5000 | 7000 | 7000 | 9990 |
| 124 | 3600 | 5140 | 5140 | 7200 | 7200 | 10280 |
| 127 | 3750 | 5350 | 5350 | 7490 | 7490 | 10710 |
| 130 | 3900 | 5570 | 5570 | 7800 | 7800 | 11140 |
| 132 | 4000 | 5720 | 5720 | 8000 | 8000 | 11420 |
| 137 | 4260 | 6080 | 6080 | 8510 | 8510 | 12160 |
| 142 | 4520 | 6450 | 6450 | 9030 | 9030 | 12910 |
| 147 | 4790 | 6480 | 6480 | 9560 | 9560 | 13660 |
| 152 | 5050 | 7220 | 7220 | 10100 | 10100 | 14430 |
| 157 | 5320 | 7600 | 7600 | 10640 | 10640 | 15200 |
| 162 | 5590 | 7990 | 7990 | 11170 | 11170 | 15970 |

10.2.10.3 拉断试验：应按表10.2.10.3规定的数量，由验船师从锚链上选取3环或5环试样，并按本节表10.2.10.2规定的拉断载荷进行试验。试验链环应与锚链在同一制造过程中制成，并与锚链一起进行焊接和热处理。试验链环应在验船师在场的情况下从锚链上取下。

如果试验机的拉力不足以供大链径的锚链作拉断试验，则应与本社协商采用其他等效的方法进行试验。

锚链拉断试验的取样数量

表10.2.10.3

| 锚链等级 | 制造方法和交货状态 | 试样数量 |
|------------------|------------|--|
| CCSAM1 | 焊接，未经热处理 | 从每节长为27.5m或小于27.5m的锚链中取3环或5环试样1个 |
| CCSAM1 | 焊接，经热处理 | 从每4节节长为27.5m或不足此长度的锚链中取3环或5环试样1个 |
| CCSAM2 CCSAM3 | 焊接或落锻，经热处理 | |
| CCSAM2 CCSAM3 | 铸造，经热处理 | 每一热处理批量中取试样1个，但每4节或不足4节(每节长度27.5m)的锚链中至少取3环或5环试样1个 |

10.2.10.4 复试：如果拉断试验不符合要求，则可以在同一节锚链上再取一个试样进行试验，

如能符合要求，则认为试验合格。

如果复试仍不合格，则该节锚链应判为不合格。但可根据制造厂的要求，将其余3节锚链分别作拉断试验，如果其中1个试验结果不符合要求，则3节锚链全部不合格。

如果拉力试验不符合要求，可用经热处理的新链环换下有缺陷的链环，再重新做拉力试验。此外，还应找出试验失败的原因。

10.2.10.5 CCSAM3焊接锚链的材料试验：应从每4节焊接锚链中取1个拉伸试样和2组各3个夏比V型缺口冲击试样进行试验。拉伸试样和1组3个冲击试样应在与焊缝相对部位的母材上截取，而另1组3个冲击试样的缺口应位于焊缝中心。为了取样，在每一锚链节上应有一个附加的链环(如链环较小，应准备几个附加链环)，该节锚链不可再截取拉断试验试样。试验链环应与该节锚链一起制造和热处理。链环力学性能应符合本节表10.2.5.5的规定。其中，对焊缝中心的缺口冲击试样，在0℃时其平均冲击功为50J。

链环力学性能不合格者，可在进行热处理后重新取样，复试一次后，如仍不合格，则该节锚链应判为不合格。

10.2.11 锚链附件的试验

10.2.11.1 拉力试验：所有的附件应按本节表10.2.10.2规定的相应锚链的拉力载荷进行拉力试验。

10.2.11.2 拉断试验：对由25个或不足25个卸扣、转环、旋转卸扣、加大链环和末端链环组成的每个制造批量(炉罐号、链径和热处理相同)应取1个附件作为拉断试验试样；而对由50个或不足50个连接链环组成的每个制造批量应取1个链环作为试样，按本节表10.2.10.2所规定的拉断载荷进行拉断试验。凡做过试验的附件不可再使用。

10.2.11.3 凡同时符合下列条件者，本社可同意免作拉断试验：

- (1) 对相同结构附件进行认可试验时，其拉断载荷已被验证者；
- (2) 每一制造批量的力学性能和冲击功已被验证者；
- (3) 已对附件采用适当的无损检测者。

10.2.11.4 凡按规定的拉断载荷作过试验合格的附件，如果其所用材料的抗拉强度高于规定的等级(例如：CCSAM3级材料用于CCSAM2级的附件，且该附件按CCSAM2级要求进行的拉断试验合格)，或附件的尺寸足以承受试验时拉断载荷1.4倍的拉断载荷，则可同意该附件继续使用。

10.2.12 标记

10.2.12.1 经本社检验合格的锚链和附件，应按图10.2.12.1的要求在每节锚链的两端均打上下述钢印：

- (1) 锚链等级；
- (2) 证书编号；
- (3) 本社的标志。

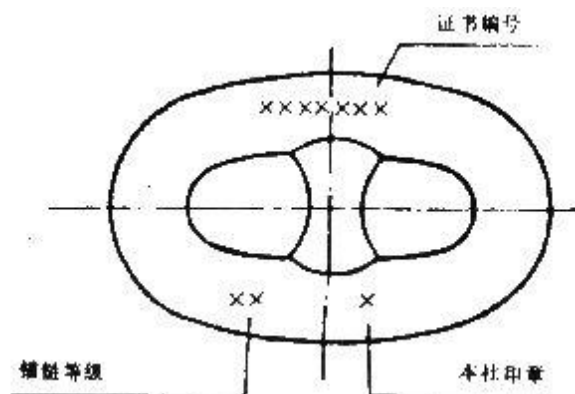


图10.2.12.1

第3节 海上设施系泊定位用锚链及其附件

10.3.1 适用范围

10.3.1.1 本节规定适用于海上移动平台、浮式生产平台、海上装载系统及重力式平台等海洋工程结构物定位系泊用锚链以及附件的制造和试验。

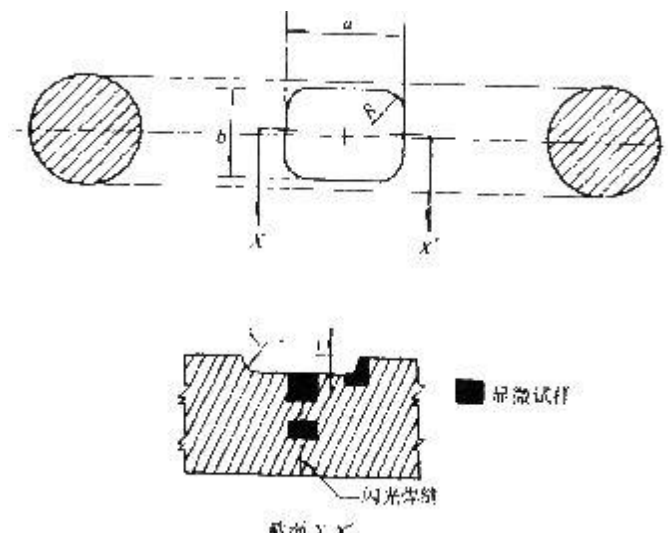
10.3.1.2 海上设施系泊定位用锚链根据其公称抗拉强度，分为CCSOM3、CCSOM3S和CCSOM4三个等级。

10.3.2 制造厂的认可

10.3.2.1 锚链制造厂应从本社认可的工厂购买制造锚链用的圆钢。

10.3.2.2 锚链制造厂应按本篇第1章的有关规定取得本社的质量体系认可，此外：

- (1) 认可试验应包括拉力和拉断试验、力学性能试验和尺寸测量等。
- (2) 锚链制造厂应将可能影响锚链质量的全部制造工艺细节提交本社认可，其中应包括下述内容：
 - ① 圆钢的加热和弯曲，包括方法、温度、温度控制和记录；
 - ② 闪光对接焊，包括电流、压力、时间和尺寸，以及这些参数的控制和记录。
 - ③ 毛刺的清理，包括方法和检查；
 - ④ 横档的置入，包括方法和压痕(见图10.3.2.2(2)④)，加热后塑性变形程度，压痕尺寸测量和记录；



10.3.2.2(2)④

- ⑤ 热处理，包括炉型、温度的设定、控制和记录、走链速度及其许用极限、淬火池和搅拌方法以及取出后的冷却方法。炉内温度应以链环表面和芯部的实测温度进行标定；
- ⑥ 拉力和拉断试验，包括方法和设备、水平支撑设施(如有时)、测量方法和记录；
- ⑦ 无损检测，包括方法、设备、标准及检测人员的资格。

10.3.2.3 圆钢生产厂的认可：

- (1) 提供锚链及其附件制造用圆钢的工厂应经本社认可。认可在锚链成品试验全部合格后授予，且认可一般仅适用于进行 认可试验的圆钢直径。

- (2) 圆钢生产厂应提交圆钢化学成分的标准，并应得到本社会的认可。其中，CCSOM4锚链用钢的钼含量应不小于0.20%。
- (3) 圆钢生产厂应模拟锚链生产条件进行试验，以确定圆钢的热处理敏感性对力学性能的影响，并建立热处理的时间—温度关系。
- (4) 圆钢生产厂应提供证据证明圆钢具有良好的抗应变时效、抗回火脆性和抗氢脆性能。

10.3.2.4 附件制造厂的认可：

- (1) 制造成品或半成品附件的铸锻厂应经本社认可，认可的范围和要求由本社确定。
- (2) 制造机加工附件(如肯特卸扣)的工厂应将图纸和加工工艺文件提交本社认可。

10.3.3 焊接锚链用钢

10.3.3.1 拟用于制造焊接锚链的圆钢应符合本篇第3章第1节有关冶炼方法等的规定。

10.3.3.2 圆钢的化学成分由生产厂测定，并应符合本社接受的有关标准。

10.3.3.3 圆钢应以同一炉号、同一直径，重量为50t或不足50t为一批，按批提交试验。从每批提交试验的圆钢中，任意截取一段长度适当的试件。取样前，试件全截面应进行与成品锚链相同的热处理。

10.3.3.4 每批CCSOM3S和CCSOM4级锚链用钢应做氢脆试验。在连铸情况下，试件应从每铸次的起始端和末端切取；在锭模浇铸情况下，试件应从两个不同的钢锭中切取。试件全截面应进行与成品锚链相同的热处理。应从每一试件中心切取2个拉伸试样，试样的直径取20mm或14mm。一个试样应在制备后3h内进行试验，对于14mm试样应在1.5h内进行试验(或者可将试样在制备后立即置于-60℃环境中保存，保存期不超过5天)。另一试样应在250℃环境中烘焙4h后进行试验，对于14mm试样烘焙时间为2h。

整个试验过程中应变速率应始终小于 $0.0003s^{-1}$ ，直至断裂(对于20mm试样约需10min)。

试验报告应包括抗拉强度，伸长率和断面收缩率。试验结果应符合：

$$\psi_1 / \psi_2 \geq 0.85$$

式中： ψ_1 ——未经烘焙试样的断面收缩率；

ψ_2 ——经烘焙试样的断面收缩率。

如试验不满足上述要求，可经去氢处理后进行复试。

10.3.3.5 所有等级的锚链用钢均应从所选定的试件上制取1个拉伸试样和1组3个夏比V型缺口冲击试样。拉伸和冲击试样的试样应沿圆钢的纵向截取，且应位于距圆钢表面 $1/6$ 直径处，对直径较小的圆钢应尽可能靠近这个位置，如图10.3.3.5所示。

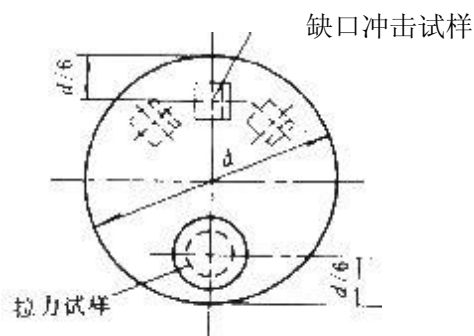


图 10.3.3.5

10.3.3.6 试样的制备和尺寸应符合本篇第2章的有关规定。拉伸试验和冲击试验的结果应符合表10.3.3.6的规定。如试验不符合要求，可按本篇第1章的有关要求进行复试。

海上设施系泊定位用锚链的力学性能 表10.3.3.6

| 等级 | 屈服点 ^① σ_s 不小于 (N/mm ²) | 抗拉强度 ^① σ_b 不小于 (N/mm ²) | 伸长率 δ_5 不小于 (%) | 断面收缩率 ψ 不小于 (%) | 夏比V型缺口冲击试验 | | |
|---------|---|--|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------------------|
| | | | | | 试验温度 ^① (°C) | 平均冲击功 不小于 (J) | 闪光焊缝区 平均冲击功 不小于(J) |
| CCSOM3 | 410 | 690 | 17 | 50 | 0 | 60 | 50 |
| | | | | | -20 | 40 | 30 |
| CCSOM3S | 490 | 770 | 15 | 50 | 0 | 65 | 53 |
| | | | | | -20 | 45 | 33 |
| CCSOM4 | 580 | 860 | 12 | 50 | -20 | 50 | 36 |

注：① 屈服比最大为0.92。

② 本社可根据情况，选择CCSOM3或CCSOM3S级锚链的冲击试验温度为0°C或-20°C。

10.3.3.7 圆钢的直径和不圆度应符合表10.3.3.7所规定的公差。

圆钢的尺寸公差 表10.3.3.6

| 公称直径(mm) | 直径公差(mm) | 不圆度公差 ($d_{max}-d_{min}$) (mm) |
|----------|----------|----------------------------------|
| <25 | -0+1.0 | 0.6 |
| 25~35 | -0+1.2 | 0.8 |
| 36~50 | -0+1.6 | 1.1 |
| 51~80 | -0+2.0 | 1.50 |
| 81~100 | -0+2.6 | 1.95 |
| 101~120 | -0+3.0 | 2.25 |
| 121~160 | -0+4.0 | 3.00 |

10.3.3.8 无损检测和缺陷的修整

圆钢应无缩孔、开裂和剥离，并应在生产过程中适当的阶段进行超声波检测。

圆钢应百分之百进行磁粉或涡流检测。圆钢表面应不存在疤痕、皱折、轧制氧化皮等缺陷。如果纵向缺陷的深度不超过圆钢直径的1%，则可以用打磨方法去除，并将表面修整平滑。

、如果统计结果表明产品质量能一贯地保持在要求的水平上，本社可考虑减少无损检测的频率。

10.3.3.9 标记和证书

(1) 应在每根检验合格的圆钢的一个端面上打上锚链钢的等级和炉号(或代码)的印记，或者以本社同意的其他方式作标记。

(2) 凡经检验合格的圆钢，除打上本社印记外，还应备有由验船师签署的产品合格证书。

10.3.4 锚链用锻钢

10.3.4.1 制造锚链用的锻钢应符合本社接受的有关标准。

10.3.4.2 锻钢的化学成分由生产厂测定，并应符合本社接受的有关标准。

10.3.4.3 锻钢的热处理工艺应提交本社认可。

10.3.4.4 锻钢的力学性能应符合表10.3.3.6的要求。

10.3.4.5 应将同一炉号、同一热处理炉次和尺寸相近(直径差不超过25mm)的锻钢件按批提交力学性能试验。每一批取1个拉伸试样和1组3个夏比V型缺13试样进行试验。取样部位见图10.3.3.5。

- 10.3.4.6 锻钢件应在生产过程中适当阶段进行超声波检测，其结果应符合本社接受的有关标准。
- 10.3.4.7 锻钢件应按10.3.3.9的要求进行标记和配备证书。

10.3.5 锚链用铸钢

- 10.3.5.1 制造锚链用的铸钢应符合本社接受的有关标准。
- 10.3.5.2 铸钢的化学成分由生产厂测定，并应符合本社接受的有关标准。
- 10.3.5.3 铸钢的热处理工艺应提交本社认可。
- 10.3.5.4 铸钢的力学性能应符合表10.3.3.6的要求。但对于断面收缩率，CCSOM3和CCSOM3S级为40%，CCSOM4级为35%。
- 10.3.5.5 应将同一炉号、同一热处理炉次和尺寸相近的铸钢件按批提交力学性能试验。每一批取1个拉伸试样和1组3个夏比V型缺口试样进行试验。取样部位见图10.3.3.5。
- 10.3.5.6 铸钢件应进行超声波检测，其结果应符合本社接受的有关标准。
- 10.3.5.7 铸钢件应按10.3.3.9的要求进行标记和配备证书。

10.3.6 链档用材料

- 10.3.6.1 链档应采用与链环相当的材料，其技术规格应提交本社认可。如链档采用焊接法安装，其含碳量一般应不大于0.25。

10.3.7 锚链的设计

- 10.3.7.1 锚链及其附件的详细图纸应提交本社认可。典型的设计见图10.2.2.2。
- 10.3.7.2 锚链横档的详细图纸也应提交本社认可。为保证横档安装牢固，其在链环上的压痕应具有足够的深度，但该压痕的形状和深度不应在链环上产生任何有害的缺口效应或应力集中。

10.3.8 锚链的制造

- 10.3.8.1 锚链应采用闪光对接焊连续制造，并在连续热处理炉中进行热处理，不允许采用分批热处理。
- 10.3.8.2 有缺陷的链环可采用连接链环替代，连接链环的型式和数量应征最终购买方的书面同意。每100m长度的锚链中最多可使用3个替换链环。
- 10.3.8.3 制造工艺：
- (1) 采用电阻感应加热时，加热状态应由光学温度传感器控制，控温系统应至少每8h校验1次，并作记录。
 - (2) 采用电炉加热时，应采用紧挨锚链圆钢的热电偶连续记录炉温来控制加热过程。控温系统应至少每8h校验1次，并作记录。
 - (3) 在闪光焊接过程中，应对横板的移动速度、通电时间和液压压力等参数进行控制。这些参数应至少第4h校验1次，并作记录。
 - (4) 锚链应在上转变温度以上，按照规定的温度-时间关系进行奥氏体化，并以规定的温度-时间关系进行回火。温度-时间或温度-走链速度应予以控制，并作连续记录。

10.3.9 锚链的力学性能

- 10.3.9.1 成品锚链及其附件的力学性能应符合表10.3.3.6的要求。
- 10.3.9.2 试样的取样部位如图10.3.3.5和图10.3.9.2所示。

10.3.10 拉力和拉断试验

- 10.3.10.1 锚链和附件应进行拉力和拉断试验，试验负荷应符合表10.3.10.1的要求。

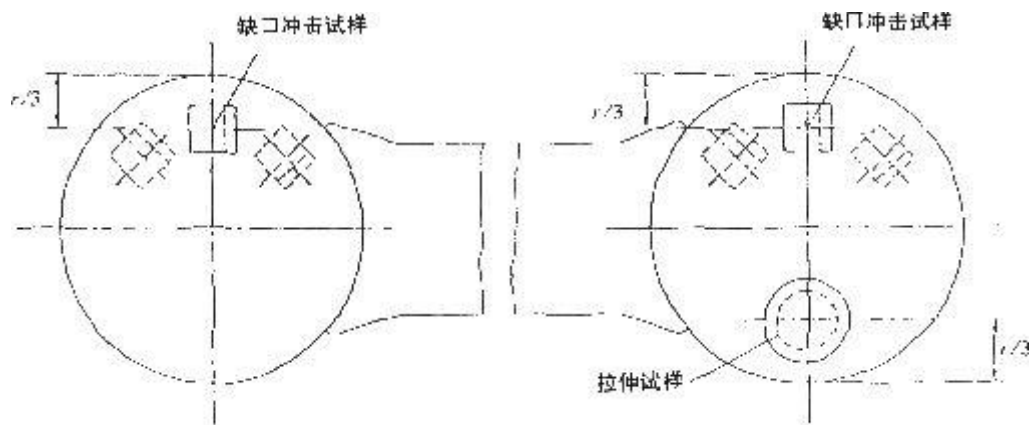


图10.3.9.2

拉力和拉断试验负荷

表10.3.10.1

| | CCSOM3 | CCSOM3S | CCSOM4 |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 拉力试验载荷 (kN) | $0.0148 d^2 (44-0.08 d)$ | $0.0180 d^2 (44-0.08 d)$ | $0.0216 d^2 (44-0.08 d)$ |
| 拉断试验载荷 (kN) | $0.0223 d^2 (44-0.08 d)$ | $0.0249 d^2 (44-0.08 d)$ | $0.0274 d^2 (44-0.08 d)$ |
| 锚链重量 (kg/m) | $0.0219 d^2$ | | |
| 5环长度 l | $22d \leq l \leq 22.55d$ | | |

10.3.11 锚链质量

10.3.11.1 锚链应具有与其制造方法相适应的光洁表面，且应无裂纹、沟槽和妨害锚链使用的其他缺陷。每一链环应按10.3.15.8和10.3.15.9的要求进行质量检查。

10.3.12 尺寸和公差范围

10.3.12.1 锚链及其附件的结构尺寸，应符合本社接受的有关标准，典型的结构尺寸见本章节图10.2.2.2(1)~(7)。

10.3.12.2 链环应符合下列尺寸公差：

(1) 链径的尺寸公差 (d 为公称链径)：

| | | |
|-------------------------------------|---|------|
| $d \leq 40\text{mm}$ | : | -1mm |
| $40\text{mm} < d \leq 84\text{mm}$ | : | -2mm |
| $84\text{mm} < d \leq 2 \text{ mm}$ | : | -3mm |
| $d > 122 \text{ mm}$ | : | -4mm |

链环的直径应在链环平面内的链冠处测量，链径的正偏差应不大于公称链径的5%。链冠部位的横截面积不允许有负偏差；

(2) 链冠以外部位的直径不允许有负偏差，正偏差应不大于公称链径的5%。闪光焊缝的正偏差应符合经本社认可的工厂技术条件；

(3) 每5个链环组成的长度的制造公差为0%~+2.5% (在锚链的拉力试验后测量)；

(4) 在锚链的所有零件相互适配的情况下，锚链的其他所有尺寸的制造公差均为±2.5%；

(5) 横档应处于链环的中心位置，并与链环的两侧保持垂直。若横档具有良好的配合，且横档两端与链环内侧没有间隙(按图10.2.4.2(4)进行测量)，则允许存在不超过下列要求的制造公差：

① 相对中心位置的最大偏差 $X(X=(A-a)/2)$ 为公称直径的10%；

② 相对90°位置的角度偏差 $\alpha \leq 4^\circ$ 。

为了便于拆装连接卸扣，每节锚链两端的加大链环的横档可不位于链环的中心位置。

10.3.12.3 锚链附件尺寸公差应不超过下列值:

公称直径: $0\% \sim +5\%$;

其他直径: $\pm 2.5\%$ 。

10.3.12.4 肯特卸扣的倒圆半径 r , 如图10.3.12.4所示, 应不小于公称链径的3%。

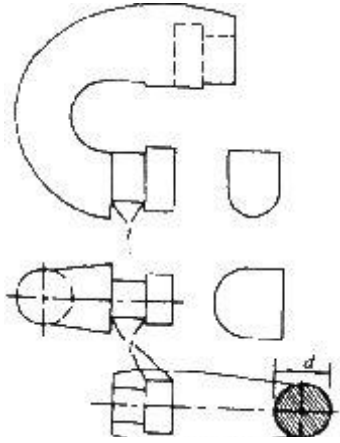


图10.3.12.4

10.3.13 横档的安装

10.3.13.1 CCSOM3及CCSOM3S级锚链的横档安装可采用焊接, 但CCSOM4级锚链横档的安装, 除经本社批准外, 不允许采用焊接方法。

10.3.13.2 如横档采用焊接方法安装, 应在锚链最终热处理之前进行。

10.3.13.3 横档只能在与闪光焊缝相对的一面施焊。横档的两端应与链环内侧保持无间隙配合。除经批准外, 横档应采用周向焊接。

10.3.13.4 除经批准外, 不允许在横档两端施焊。

10.3.13.5 应尽量在平焊位置由合格的焊工使用经认可的低氢焊条按认可的工艺焊接。

10.3.13.6 角焊缝的尺寸应符合图10.3.13.6的要求。

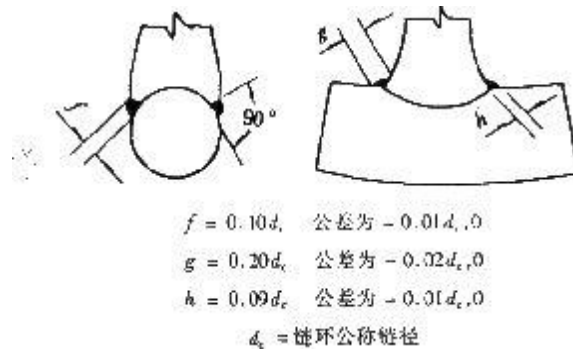


图10.3.13.6

10.3.13.7 焊缝应有良好的质量, 不应有裂缝、未熔合、密集气孔和1mm以上的咬边等缺陷。

10.3.13.8 所有焊缝应进行目检。在拉力试验后, 应对每节锚链中至少10%的横档焊缝进行磁粉或渗透检测。如果发现裂缝或未熔合, 则应对该节锚链的所有横档进行无损检测。

10.3.13.9 对于横档的焊接, 本社可视具体情况要求做焊接试验。

10.3.14 替换链环

10.3.14.1 用于替换试验环或有缺陷链环的单个链环应按认可的工艺制造, 此时整节锚链不必

重新进行热处理。各等级的替换链环应分别进行认可，并应对拟认可等级中最大尺寸的链环进行试验。每年应重新进行工艺认可。

10.3.14.2 替换链环的制造和热处理不应影响与其相邻的链环的性能。热处理时，相邻链环上任一部位的温度均不应超过250℃。

10.3.14.3 每一个替换链环均应按表10.3.10.1.10.3.15.8和10.3.15.9的要求进行拉力试验和无损检测。还应制造一个与该替换链环，并按10.3.15.7的要求进行试验。

10.3.14.4 每一个替换链环均应按10.3.17.3的要求在横档上打印特殊标记，与其相邻链环的横档上也应打印特殊标记。

10.3.15 成品锚链的试验和检查

10.3.15.1 经最终热处理后，所有锚链应在验船师在场时，按本社接受的标准进行拉力试验、拉断试验和力学性能试验。如果制造厂有拉力试验记录程序，并能使验船师满意，则验船师可不必见证所有拉力试验，但验船师应确认试验机已经校准并处于良好的工作状态。

10.3.15.2 试验和检查前，应采用喷砂、喷丸或其他合适的方法去除锚链表面的氧化皮、油漆或其他覆盖物。

10.3.15.3 整节锚链应按表10.3.10.1中规定的拉力载荷进行试验。试验后锚链应不断裂，闪光焊缝中应无裂纹。拉伸锚链时，施加的拉力应不大于规定值的1.1倍。如果采用塑性应变法置入横档，则施加载荷应不超过认可试验所确认的值。

10.3.15.4 应按表10.3.15.4规定的试验频率对至少3个链环组成的试样按表10.3.10.1规定的拉断载荷进行试验。试样应从锚链上截取，或应与锚链在同一制造过程中制成并与锚链一起进行焊接和热处理。试样应代表同一炉次的锚链。每一个试样均应能承受规定的拉断载荷而不断裂，闪光焊缝处也不出现裂纹。如果施加所规定的载荷度保持30s，试样没有出现破坏迹象，则认为该试样合格。

如果试验机的拉力不足以进行较大链径锚链的试验，经本社同意可采用其他等效的试验方法。

拉断试验的取样频率

表10.3.15.4

| 公称链径(mm) | 最大取样间隔(m) |
|----------|-----------|
| ≤48 | 91 |
| 49 ~ 60 | n0 |
| 61~73 | 131 |
| 74~85 | 152 |
| 86~98 | 175 |
| 99~111 | 198 |
| 112~124 | 222 |
| 125~137 | 250 |
| 138~149 | 274 |
| 150~162 | 297 |
| 163~175 | 322 |

10.3.15.5 拉力试验后，应按照10.3.12的要求对至少5%链环的尺寸进行测量。

10.3.15.6 拉力试验后，应对整根锚链进行每次5个链环的长度校验。校验时，第一次测量前5个链环组，从第二次起，第5个链环中至少应包括前一组中的两环，如此测量至最后一个链环。测量时，一般应对锚链施加5% ~ 10%的拉力试验载荷。位于固定装置中的链环可免于测量。

10.3.15.7 应按表10.3.15.4规定的试验次数，每次取两个拉力试样和3组每组3个夏比V型缺口冲击试样进行试验。试验结果应符合表10.3.3.6的要求。试验链环应从锚链上切取，或应与该段锚链一起制造和热处理。试样应代表同一炉次锚链。试样应从下述位置截取：

1个拉力试样应从与闪光焊缝相对的一侧截取；

1个拉力试样从闪光焊缝处截取，并使焊缝位于试样中央(对于CCSOM3级锚链，不要求制备此试样)；

第一组3个冲击试样取自闪光焊缝处，并使焊缝位于试样中央的缺口上；

第二组3个冲击试样取自与闪光焊缝相对的一侧；

第三组3个冲击试样取自链冠处。

如果统计结果表明所要求的冲击韧性得到一贯的保证，经本社同意，可以减少链冠区域的冲击试验次数。

10.3.15.8 拉力试验后，应对每个链环的表面进行目检。毛刺、不平整和毛边等应打磨平整。链环表面，尤其是在闪光焊接夹具夹持处不应有轧制缺陷、裂缝、凹陷、划伤等。横档应足够牢固。

10.3.15.9 每个链环的闪光焊缝区域以及夹具夹持处附近应进行磁粉检测，检测方法和器材应符合本社接受的技术条件。

闪光焊缝区域及夹具夹持处的链环表面应没有裂纹、未熔合及密集气孔。

10.3.15.10 每个链环的闪光焊缝区域应进行超声波检测。检测方法和器材应符合本社接受的技术条件。适用于链环结构形状的标定标准应经本社认可。

闪光焊缝区域内应没有超标缺陷。

10.3.16 复试、报废和修整

10.3.16.1 如果单个链环发现存在缺陷或不满足使用要求，则应予以切除并用经认可的替换链环取代。替换链环后的锚链还应再次进行拉力试验和检查。替换链环应符合10.3.8.2的要求。

10.3.6.2 如果采用其他修理方法，如采用连接卸扣或连接链环取代有缺陷的链环时，其采用的数量和型式等，应经本社和最终购买方的书面批准。

10.3.16.3 如果链环的直径、长度、宽度及横档的对中不符合规定的要求时，则应将这些尺寸与其左、右各20个共40个链环的相应尺寸作比较。如果其中有两个以上的链环的同一尺寸不合格，则应对所有链环的尺寸进行测量。不合格的链环应予以切除并按10.3.8.2的要求替换。

10.3.16.4 如果5环长度小于规定最小值，且经确认属偶然情况，经本社批准，这段锚链可以使用高于拉力试验载荷的拉力予以拉长。此拉力一般应低于拉力试验载荷的1.1倍。经过拉长处理的锚链的编号和拉长载荷值应在检验报告中注明。

如果5环长度超过规定的最大值，则超长的链环应予以切除，并按10.3.8.2的要求替换。

10.3.16.5 如果目检或磁粉检测发现闪光焊缝区存在裂纹、划伤等其他缺陷，则可采用打磨方法去除。打磨深度应不超过链径的5%。且打磨部位与其周围的表面应平顺过渡。打磨后链环尺寸仍应符合10.3.12的要求。打磨后的链环应再用磁粉检测复验。如果缺陷依然存在，则该链环应予以切除。

闪光对接焊缝区圆钢不对中超过链径2.5%的链环应予以切除。

10.3.16.6 如果超声波检测发现闪光焊缝内部存在超标缺陷，则该链环应予以切除，并按10.3.8.2的要求替换。

10.3.16.7 如果拉断试验失败，应立即通知验船师，一起进行全面检查以确定失败的原因，并在同一节锚链上再取两个试样进行附加拉断试验。只有复试合格并根据失败原因分析不属产品质量问题，才能确定该节锚链试验合格。只要有一个附加试样试验不合格，该节锚链应予以报废，并采取10.3.8.2的措施。

10.3.16.8 如果拉力试验中一个链环破坏，则应立即通知验船师，一起进行全面检查以确定失败的原因。如果在拉力试验中发生两个或更多个链环破坏，则该节锚链应予以报废。

上述试验失败原因调查应特别着重于那些会引起其他节锚链失败的因素或条件。

除上述试验失败原因调查外，应从该被破坏链环的两侧各取一套由3个链环组成的拉断试验试进行试验。只有两个拉断试验均合格并根据失败原因分析不属产品质量问题，才能确定该节锚链试验合格。只要有一个附加试样试验不合格，该节锚链应予以报废，并采取10.3.8.2的措施。

10.3.16.9 如果拉伸试验或冲击试验不合格，可按本篇第一章的规定进行复试。复试合格则可以验收。如果复试仍不合格，则该节锚链应予以报废，并采取10.3.8.2的措施。

10.3.17 标记和证书

10.3.17.1 经本社检验合格的锚链，应在下述位置打上标记：

- (1) 锚链的两端；
- (2) 不大于100m的每一间隔处；
- (3) 替换链环；
- (4) 与卸扣或替换链环相邻的链环。

所有打上标记的链环应在产品合格证书上注明。标记应能识别锚链的始端和末端。除上述标记外，连续长度锚链上属同一炉次的第一个和最后一个普通链环应打上明确的和可追溯其制造过程的标记。这些标记在锚链的预计寿命内应始终字迹清晰。

10.3.17.2 上述链环的横档上应作如下标记：

- (1) 锚链等级(可略去CCS字样);
- (2) 证书编号;
- (3) 本社的印章。

证书编号可以为缩写或其他等效的标记, 并应在证书中予以说明。

10.3.17.3 对于替换链环, 除应按照10.3.17.2的要求作标记外, 还应再加注一个该链环专有的号码。与其相邻的链环横档上也应打上相同的标记。

锚链证书应包括替换链环和连接链环的位置和数量。如果证书编号和替换链环号码为缩写或其他等效的标记, 则应在证书中予以注明。

10.3.17.4 制造厂应对每节连续锚链提供一本完整的、装订成册的锚链检验和试验文件。该文件应包括所有的尺寸检查、试验和检验报告、检测报告、造过程记录、照片以及任何不合格、矫正和修整的记录。此外, 还应包括材料合格证书、替换链环的位置和数量。

应对每根连续锚链发给单独的证书。所有附带文件、附录和报告均应注明该证书的编号。

制造厂应负责保存所有有关文件至少10年。在保存期内, 上述文件应完好并可随时调用。

10.3.18 附件的试验和检查

10.3.18.1 经最终热处理后, 所有附件应在验船师在场时, 按本社接受的标准进行拉力试验、拉断试验和力学性能试验。如果制造厂有拉力试验记录程序, 并能使验船师满意, 则验船师可不必见证所有拉力试验, 但验船师应确认试验机已经校准并处于良好的工作状态。

10.3.18.2 试验和检查前, 应采用喷砂、喷丸或其他合适的方法去除附件表面的氧化皮、油漆或其他覆盖物。

10.3.18.3 每一附件均应按表10.3.10.1的规定按相应等级进行拉力试验。

10.3.18.4 附件以25个或不足25个为一批, 每批中应至少取一个进行试验, 按照表10.3.10.1的规定按相应等级进行拉力试验。每批附件系指具有同一炉号, 同一热处理炉次和链径相同者。

单个制造或小批量制造的附件, 经本社批准, 可采用其他等效方法进行试验。

凡做过拉断试验的附件应予以废弃。

10.3.18.5 附件以25个或不足25个为一批, 每批中应至少取一个按10.3.4和10.3.5的有关要求进行力学性能试验。每批附件系指具有同一炉号, 同一热处理炉次和链径相差不超过25mm者。单个制造或小批量制造的附件, 经本社批准, 可采用其他等效方法进行试验。

10.3.18.6 拉力试验后, 每25个附件(相同类型、相同尺寸和相同公称强度)中应至少取一个附件校核尺寸, 结果应符合10.3.12的有关要求。

10.3.18.7 拉力试验后, 应对每个附件的表面进行目检, 特别应注意机加工表面和高应力区域所有非机加工表面均应采用喷砂或喷丸进行清理, 以便进行彻底检查。所有附件均应进行磁粉或渗透检测。

10.3.18.8 如果附件的任一试验失败, 则其代表的那批附件不能验收。如果能确定失败原因及证实其余任一附件均不存在会造成该失败的因素, 并得到验船师的认可, 则该批附件仍可验收。

10.3.18.9 每一经本社检验合格的附件, 均应打上下述标记:

- (1) 锚链等级;
- (2) 证书编号;
- (3) 本社的印章。

附件上所有可拆卸的部件均应打上系列编号, 以免混淆。

证书编号可以为缩写或其他等效的标记, 但应在证书中予以注明。

10.3.18.10 制造厂应对每一订单提供1本完整的、装订成册的附件检验和试验文件。该文件应包括所有的尺寸检查、试验和检验报告、无损检测报告、制造过程记录、任何不合格、矫正和修整的记录以及材料合格证书。

应对每种类型的附件发给单独的证书。所有附带文件、附录和报告均应注明该证书的编号制造厂应负责保存所有有关文件至少10年。在保存期内, 上述文件应完好并可随时调用。

第4节 钢 丝 绳

10.4.1 适用范围

10.4.1.1 本节规定适用于作为船索、拖索和尾锚索的钢丝绳。

10.4.2 制造

10.4.2.1 钢丝绳应由本社认可的工厂制造。

10.4.2.2 钢丝绳的结构型式一般应符合表10.4.2.2的规定，但亦可采用本社接受的其他标准，或采用破断载荷相当、与用途相适应的其他结构型式。

钢丝绳的结构型式

表10.4.2.2

| 用途 | 钢丝绳规格 | | | 钢丝绳结构 | | | | | |
|------------------|-------|-----|-------|-------|-----|----|-------|----|---------------------------|
| | 股数 | 钢丝数 | 股芯 | 股芯 | 内芯丝 | 内层 | 中层 | 外层 | 分层记号 |
| 尾锚索 拖索 系船索 | 6 | 24 | 纤维 | 纤维 | 0 | | 9 | 15 | 6(0+9+15) |
| | 6 | 37 | 纤维 | 钢丝 | 1 | 6 | 12 | 18 | 6(1+6+12+18) |
| | 6 | 26 | 纤维 | 钢丝 | 1 | 5 | (5+5) | 10 | 6(1+5+ $\frac{5}{5}$ +10) |
| | 6 | 31 | 纤维 | 钢丝 | 1 | 6 | (6+6) | 12 | 6(1+5+ $\frac{6}{6}$ +10) |
| | 6 | 36 | 纤维 | 钢丝 | 1 | 7 | (7+7) | 14 | 6(1+5+ $\frac{7}{7}$ +10) |
| | 6 | 41 | 纤维 | 钢丝 | 1 | 8 | (8+8) | 16 | 6(1+5+ $\frac{8}{8}$ +10) |
| | 6 | 30 | 纤维 | 纤维 | 纤维 | 0 | | 12 | 18 |
| 与绞车配合的 拖索和系船索 | 6 | 31 | 7×7钢丝 | 钢丝 | 1 | 6 | (6+6) | 12 | 6(1+6+ $\frac{6}{6}$ +12) |
| | 6 | 36 | 7×7钢丝 | 钢丝 | 1 | 7 | (7+7) | 14 | 6(1+7+ $\frac{7}{7}$ +14) |
| | 6 | 41 | 7×7钢丝 | 钢丝 | 1 | 8 | (8+8) | 16 | 6(1+8+ $\frac{8}{8}$ +16) |

10.4.3 钢丝

10.4.3.1 制造钢丝绳用的钢丝，应采用优质碳素结构钢，其硫、磷含量应不大于0.035%，其他元素的含量应符合本社接受的有关标准。由钢材冷拔拉制成的钢丝应呈圆形截面，且应材质均匀，强度一致，表面应无裂纹、竹节、起刺、锈蚀和伤痕等影响钢丝性能的缺陷。

10.4.3.2 钢丝的抗拉强度一般应在1420 ~ 1570N/mm²、1570~1770N/mm²或1770~1960N/mm²的范围内。

10.4.3.3 钢丝绳应采用全镀锌的钢丝绞制而成。钢丝应采用热浸法或电解法镀锌。钢丝的镀锌层应平滑、完整和牢固。镀层可分为下列3级：

- 1级：厚镀层，在镀锌后拔丝；
 2级：厚镀层，在拔丝后镀锌；
 3级：薄镀层，在镀锌后拔丝。

10.4.4 试样与试验

10.4.4.1 应从成品钢丝绳中截下适当的长度并将其捻开和校直后，从中任选6根钢丝作为试样，进行扭转和卷绕试验，用以检验钢丝镀锌层的粘着程度。此外，还应对镀锌层的含锌重量和均匀性进行试验。以上试验也可以在钢丝绳捻成之前的钢丝中，选取所需数量进行试验。

10.4.4.2 扭转试验应符合下列规定：

- (1) 试样在夹头间的长度应为钢丝直径的100倍或300mm，取较小者；
- (2) 钢丝在扭转试验机上，用夹具夹住两端，使其扭转，直至断裂为止。为了保持钢丝始终呈伸展状态，可在夹具上施加不超过2%的钢丝破断载荷的拉力；
- (3) 试验机的转速和扭转次数应分别符合表10.4.4.2(1)和(2)的规定。

钢丝扭转试验的最大扭转速度 表10.4.4.2(1)

| 镀锌钢丝直径 d (mm) | 最大扭转速度 (1/min) |
|--------------------|----------------|
| $d < 1.5$ | 90 |
| $1.5 \leq d < 3.0$ | 60 |
| $3.0 \leq d < 4.0$ | 30 |

钢丝扭转试验的最小扭转次数 表10.4.4.2(2)

| 镀锌钢丝直径 d (mm) | 最小扭转次数 | | | |
|--------------------|--------|-------|----------|-------|
| | 2级镀锌层 | | 1级或3级镀锌层 | |
| | 捻制前试验 | 捻制后试验 | 捻制前试验 | 捻制后试验 |
| $d < 1.3$ | 15 | 13 | 27 | 24 |
| $1.3 \leq d < 2.3$ | 15 | 13 | 26 | 23 |
| $2.3 \leq d < 3.0$ | 14 | 12 | 23 | 20 |
| $3.0 \leq d < 4.0$ | 12 | 10 | 21 | 18 |

10.4.4.3 镀层试验：锌的镀层厚度是按每单位面积上的镀锌层重量测定的，其最小值应不低于表10.4.4.3的规定，镀锌层重量的测定应按本社接受的标准进行。一般应从钢丝绳中截取不同直径的钢丝进行试验，采用化学方法将钢丝的镀锌层溶解，测定脱锌后钢丝的重量损失量来确定镀锌层的重量。镀锌层的均匀性应按本社接受的标准采用浸液试验来测定。

钢丝镀锌层重量 表10.4.4.3

| 镀锌钢丝直径 d (mm) | 单位面积镀锌层的重量最小值 (g/mm ²) | |
|--------------------|------------------------------------|----|
| | 1级或2级 | 3级 |
| $0.4 \leq d < 0.5$ | 75 | 40 |
| $0.5 \leq d < 0.6$ | 90 | 50 |
| $0.6 \leq d < 0.8$ | 110 | 60 |
| $0.8 \leq d < 1.0$ | 130 | 70 |
| $1.0 \leq d < 1.2$ | 150 | 80 |

| | | |
|--------------------|-----|-----|
| $1.2 \leq d < 1.5$ | 165 | 90 |
| $1.5 \leq d < 1.9$ | 180 | 100 |
| $1.9 \leq d < 2.5$ | 205 | 110 |
| $2.5 \leq d < 3.2$ | 230 | 125 |
| $3.2 \leq d < 4.0$ | 250 | 135 |

10.4.4.4 卷绕试验：镀锌层的粘着力应通过卷绕试验予以检验。将钢丝在圆柱体上卷绕10整圈后，镀层如不出现起皮、剥落和开裂现象，即为合格。每种规格的钢丝至少要取5根进行试验，且钢丝直径与圆柱体直径之比应符合表10.4.4.4的规定：

钢丝卷绕试验规定

表10.4.4.4

| 镀锌层 | 镀锌钢丝直径(mm) | 钢丝直径与圆柱体直径之比 |
|-------|------------|--------------|
| 1级或2级 | <1.5 | 1: 4 |
| | ≥1.5 | 1: 6 |
| 3级 | <1.5 | 1: 2 |
| | ≥1.5 | 1: 3 |

10.4.4.5 成品钢丝绳的破断试验

(1) 凡是制造长度在10000m以下的钢丝绳，应从每根钢丝绳的端头截取一段作破断试验。试样在夹头间的净试验长度至少应为索径的36倍。如果制造长度超过10000m时，则应从钢丝绳上截取第二段试样进行试验；

(2) 在试验时，应控制试验机夹具上试验载荷增加的速度。开始可快速加载，当试验载荷达到钢丝绳公称破断载荷的4 / 5时，试验载荷递增的速度应平稳和缓慢，以确保不在钢丝绳试样上造成冲击载荷。若钢丝绳破断时，其断裂位置在试验机夹具附近，则此项试验结果应作废，允许取试样复试。试验中如实测的破断载荷小于本社接受的标准所规定的最小值，则该试验结果应判为不合格；

(3) 若因设备条件的限制不能以完整钢丝绳进行试验时，可采用单根钢丝试验，则钢丝绳的破断载荷为单根钢丝的破断拉力乘以钢丝的总数，再乘以表10.4.4.5(3)中所列换算系数而求得。

单根钢丝试验换算系数

表10.4.4.5(3)

| 钢丝绳规格 | 换算系数 |
|-------|-------|
| 6×24 | 0.87 |
| 6×37 | 0.825 |

注：其他规格钢丝绳的换算系数可参照本社认可的其他标准中的有关规定。

10.4.5 标记

10.4.5.1 经验收合格的每根成品钢丝绳均应在显而易见处贴上钢丝绳型号、规格、长度及厂名的标签，并应打上本社的标志。

第 2 篇 非金属材料

第1章 通 则

第1节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本篇规定适用于船舶、海上设施等使用的非金属材料或产品的制造、试验和检验。

1.1.1.2 凡本篇未列入的非金属材料或产品(包括新材料、新产品),其化学组成、力学性能和其他特殊性能,可按本社接受的有关标准试验或检验。

1.1.1.3 经本社认可或检验合格的非金属材料或产品,均应标上本社的标志。船舶或海上设施建造厂应优先订购经本社认可和检验的非金属材料或产品,凡不具有本社标志的非金属材料或产品应经本社同意,才能装船使用。

1.1.2 认可与检验

1.1.2.1 生产船用非金属材料或产品的工厂应按本社规定的程序申请进行型式认可或工厂认可。

1.1.2.2 拟在本社入级的船舶或海上设施上使用的材料、零部件和设备等产品,在制造前,产品制造厂一般应按规范要求将需批准的图纸资料一式3份提交给本社指定的审图单位进行审查。批准后的图纸资料,1份留存审图单位,1份交给执行检验单位,1份退给产品制造厂。如审图与检验为同一单位时,则仅需提交2份图纸资料。

特殊情况下,经本社同意,产品制造厂可直接将图纸资料提交给执行检验单位审查。在图纸中已包含零部件图纸且已获得批准时,则可以不必再提交。

1.1.2.3 认可后的检验,可以根据非金属材料或产品以及生产过程控制的情况,采取不同的检验方式。

第2节 试验与检验

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 生产船用非金属材料或产品的工厂,应具备确保其产品质量必需的生产和试验设备、良好的生产环境、适任的人员和完善的检验制度。

1.2.1.2 制造厂应对进厂和出厂的材料或产品提供足够的合格证件和反映生产过程控制的必要资料,以便验船师确认其是按本社认可的制造工艺规程进行生产和质量控制的。

1.2.2 试验与复试

1.2.2.1 除本篇各章另有规定外,试验用试件的尺寸、试样的截取位置、试样的加工和各自要求的化学组成、热性能、物理、化学性能、力学性能以及其他特殊性能等,可按本社接受的有关标准进行,但各项试验结果应分别符合本篇各章的有关要求。

1.2.2.2 任一组试件的试验不合格时,可在原试板(或试样)上或同一批材料以同样的工艺重新制作的试板(或试样)上,对不合格项目取双倍试件进行复试。复试结果应全部合格。

1.2.2.3 若复试结果仍不合格,经本社验船师同意,可重新制作试件再进行一次全部项目的试验。试验结果应全部合格。

1.2.2.4 所有试验结果应全部记录在试验报告内。

1.2.3 标记

1.2.3.1 凡经检验合格的船用非金属材料或产品,除加盖本社标志外,还应备有船用产品证书,或由验船师(或验船师代理人)签署的制造厂的合格证书。

第2章 纤维增强塑料

第1节 一般规定

2.1.1 适用范围

2.1.1.1 本章规定适用于建造各类船艇用的纤维增强塑料。船用纤维增强塑料制品也可参照应用。

2.1.2 材料认可

2.1.2.1 纤维增强塑料用的主要原材料应经本社认可，认可合格后方可使用。

2.1.2.2 经认可的原材料通常每年应进行一次年度检验。如检验合格，认可继续有效，否则将撤销对其产品的认可。

2.1.2.3 原材料生产应具有良好的生产条件、成熟的制造工艺和完善的质量保证体系，以确保产品的质量稳定。

2.1.2.4 原材料的各项试验应按本社接受的标准进行。试验时应有验船师在场。必要时，验船师可根据实际增删试验项目。

2.1.2.5 对于玻璃纤维以外的增强材料，需经本社特别认可后方可使用。

2.1.3 工艺认可

2.1.3.1 建造纤维增强塑料船的工厂应经本社认可，在船舶开工前还应制定必要的成型工艺流程，并提交本社认可。

2.1.3.2 提交的纤维增强塑料成型工艺应包括下列内容：

(1) 原材料的种类、类型(树脂成分、织物纺织型式等)、生产厂、技术参数和制造日期；

(2) 各种原材料的配合比例(相当于纯树脂重量的百分比)；

(3) 成型工艺(包括织物方向、铺敷方式和顺序等)；

(4) 脱模方式和脱模的技术参数；

(5) 部件和构件的连接方式(包括分段合拢、二次胶接、金属与非金属构件的连接、芯材粘接工艺等)；

(6) 铺敷设备种类、型号及特征参数；

(7) 固化说明(包括树脂的温度与固化时间的关系)；

2.1.3.3 纤维增强塑料船成型工艺认可试验：

(1) 每艘新艇在开工前，建造厂均应在与车间相同的施工条件下，由普通工人按送审的工艺规程糊制一块试板。试板通常应为能代表船壳的平板。对于成批生产的小艇，凡同一图纸型号、同一工艺规程、同一生产条件的，允许每10艘做一块试板。

(2) 试板要求表面平整、均匀、无气泡、无分层和纤维裸露等缺陷。

(3) 层板试板的数量和规格按本社接受的有关标准进行加工，供进行拉伸、弯曲等力学性能试验。同时测定其密度、巴氏硬度、树脂含量等项目。

(4) 对于夹层试板，应按本社接受的有关标准进行剪切试验，剪切强度应不低于芯材剪切强度的1.33倍。此外，还应做夹层面板试板，供其他性能试验。试验要求、方法和结果与层板试板相同。

(5) 上述性能试验结果应符合表2.1.3.3(5)的要求，并提交本社验船师确认。

(6) 推荐使用以纤维短切毡和无捻粗纱正交布交替辅糊成型的层板。

试板的性能指标

表2.1.3.3(5)

| 项目 | 增强材料 | | | |
|--------------------------|------|---------------|---------|------------|
| | 短切毡 | 短切毡与无捻粗纱正交布交替 | 无捻粗纱正交布 | 4:1无捻粗纱单向布 |
| 拉伸强度(N/mm ²) | 80 | 100 | 180 | 350 |
| 拉伸模量(N/mm ²) | 5000 | 7000 | 11000 | 20000 |
| 弯曲强度(N/mm ²) | 125 | 150 | 180 | 350 |
| 弯曲模量(N/mm ²) | 5000 | 7000 | 11000 | 20000 |

| | | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 压缩强度(N/mm ²) | 80 | 90 | 119 | 180 |
| 压缩模量(N/mm ²) | 5000 | 7000 | 11000 | 20000 |
| 树脂含量(%，重量) | 65~75 | 55~65 | 45~55 | 45~55 |
| 巴氏硬度 | ≥40 | ≥40 | ≥40 | ≥40 |

注：① 表中树脂含量范围上、下限均不得超越。

② 表中4：1无捻粗纱单向布的性能为经向性能。

第2节 原材料

2.2.1 基体树脂

2.2.1.1 所用的树脂应为船用的通用型不饱和聚酯树脂或环氧树脂。

2.2.1.2 树脂的包装应标明出厂日期、贮藏条件和有效期限。

2.2.1.3 不饱和聚酯树脂的技术要求应符合本社接受的有关标准的要求。其固化后树脂浇铸体试样应符合下列性能要求：

(1) 巴氏硬度 $1 \geq 35$ ；

(2) 热变形温度 $\geq 55^{\circ}\text{C}$ ；

(3) 断裂伸长率($\%$) ≥ 2.0 。

2.2.1.4 环氧树脂的液态物理性能和化学参数应符合下列要求：

(1) 软化点： $12 \sim 28^{\circ}\text{C}$ 或常温下为液体(按不同种类)；

(2) 环氧值(当量/100g) $\geq 0.38 \sim 0.54$ (按不同种类)；

(3) 无机氯值(当量/100g) ≤ 0.001 ；

(4) 有机氯值(当量/100g) ≤ 0.02 ；

(5) 挥发物(110°C ，3h) $1\% \sim 2\%$ (按不同种类)。

2.2.2 胶衣树脂

2.2.2.1 胶衣树脂应为船用耐水型聚酯树脂，其包装应与本节2.2.1.2要求相同。

2.2.2.2 胶衣树脂与纤维增强塑料间应有良好的附着性能，胶衣树脂的断裂伸长率应大于基体树脂的伸长率，其差值应不大于1%。

2.2.3 增强材料

2.2.3.1 纤维增强塑料船所用的增强材料应为本社认可的无碱玻璃纤维、中碱玻璃纤维、高强纤维以及上述纤维的织物或制品。

2.2.3.2 中碱玻璃纤维应经增强型的浸润剂处理，其玻璃纤维增强塑料性能达到本社接受的无碱玻璃纤维增强塑料的性能要求后方可使用，但仅允许使用于15m以下小艇的甲板和上层建筑。

2.2.3.3 增强材料应无杂质、水分、霉变等缺陷，且贮存在干燥、通风、无尘、温度变化不大的场所。

2.2.3.4 增强材料与树脂间应有良好的粘结性和浸润性。

2.2.4 添加剂

2.2.4.1 加入树脂中的各种固化剂(包括引发剂和促进剂)、颜料、填料、阻燃剂、触变剂等添加剂应受到限量，且不得明显影响树脂的各项性能。

2.2.4.2 所用固化剂的种类和比例应符合原材料生产厂的规定，可根据操作条件和环境条件作适当调整。严禁引发剂与促进剂直接接触。

2.2.4.3 所用的填料必须为树脂生产厂推荐的种类。船壳板的树脂中不应添加任何填料。

2.2.5 芯材

2.2.5.1 芯材一般采用闭孔结构的硬质泡沫塑料、轻木、胶合板、松木等材料。

2.2.5.2 芯材应与基体树脂相适应。使用泡沫塑料作夹层板芯材时，其密度应不小于 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 基本力学性能应不低于表2.2.5.2的要求。芯材使用前应向本社提交包括密度(实测值)在内的基本力学性能。

硬质泡沫塑料芯材基本力学性能

表2.2.5.2

| 材料 | 密度 (kg/m ³) | 压缩强度 (N/mm ²) | 压缩弹性模量 (N/mm ²) | 剪切强度 (N/mm ²) | 剪切弹性模量 (N/mm ²) |
|-------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| 聚氨酯泡沫 塑料(PU) | 80 | 0.40 | 11.0 | 0.34 | 5.20 |
| | 100 | 0.60 | 16.0 | 0.47 | 8.70 |
| | 120 | 0.86 | 21.0 | 0.60 | 12.0 |
| | 140 | 1.15 | 27.0 | 0.74 | 17.0 |
| 聚氯乙烯泡沫 塑料(PVC) | 80 | 0.40 | 12.0 | 0.35 | 7.60 |
| | 100 | 0.57 | 18.0 | 0.47 | 11.0 |
| | 120 | 0.75 | 25.0 | 0.60 | 14.6 |
| | 140 | 1.00 | 33.0 | 0.75 | 18-8 |

2.2.5.3 使用松木、胶合板等木质材料作芯材时，这些木质芯材应经干燥处理，含水率不应超过18%。芯材使用前应向本社提交其基本力学性能(包括拉伸、压缩、弯曲、平剪、垂剪)的实测值。对于松木类，应注意木质纤维的方向对力学性能的影响。

2.2.6 预埋材料

2.2.6.1 预埋材料应耐腐蚀，且不影响树脂的固化。

2.2.6.2 预埋材料在使用前应进行表面处理，使其具有良好的粘接性。

2.2.6.3 使用木质材料作预埋件时，要求木材充分干燥，没有明显的节疤、横纤维、腐烂等缺陷。

2.2.6.4 木材表面应涂以加有溶剂稀释了的树脂涂料。粘合处应不透水，并应耐水解。

第3节 成型工艺

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 人员资格：

(1) 从事纤维增强塑料船成型工作的工人应经专门培训，使其了解并掌握纤维和树脂的特点、成型工艺要点、缺陷判断和排除方法。

(2) 建造厂的质量管理人员应具有对工艺和施工质量进行判断的能力，并对整个成型过程都应进行严格的质量监督。

2.3.1.2 成型车间：

(1) 纤维增强塑料船的成型车间应有良好的照明，并具有通风设备，但应避免阳光和人工照明直接照射而影响树脂的正常固化。

(2) 成型车间的温度应在10 ~ 32℃之间，相对湿度应小于85%，并保持稳定。

2.3.1.3 模具：

(1) 成型模具应有足够刚度和强度，且不易变形。模具的尺寸、光洁度应满足产品的要求。

(2) 模具应清洁干燥，且脱模容易。

(3) 脱模剂应均匀地涂于模具的表面，严禁遗漏。

2.3.1.4 配胶和涂胶：

(1) 成型前必须进行凝胶试验，以确定树脂的最佳配比。

(2) 表面胶衣树脂的厚度应在0.3 ~ 0.6mm之间，且应厚薄均匀。

(3) 配胶时，树脂中加入引发剂和促进剂后应逐一搅拌均匀，严禁引发剂直接与促进剂接触。一次配胶量不宜过大。

(4) 成型应在胶衣树脂初步凝胶后较短时间内进行。

2.3.1.5 船体等主要构件成型时，应做好验证试件。验证试件应在与实际生产相同的环境条件、原材料、配方和工艺方法下(除胶衣层外)，由普通操作人员在约45°角放置的平板模具上糊制，待其固化后取样，测定试件的各项性能，并提交本社验船师。

2.3.1.6 若采用木材作有效芯材时，则木材的纤维方向应与其主要受力方向一致。

2.3.2 成型工艺

2.3.2.1 本条规定仅适用于以玻璃纤维和不饱和聚酯树脂为主要原材料的手糊成型或喷射成型的造船工艺。

2.3.2.2 糊制玻璃纤维增强塑料应在胶衣树脂开始凝胶而未完全固化时进行。

2.3.2.3 手糊成型时，第一层增强材料应采用表面毡，然后铺敷1~2层短切毡。

2.3.2.4 手糊成型时，树脂应均匀涂刷于每层增强材料之间，且应使纤维充分浸渍。

2.3.2.5 手糊成型的纤维材料应尽可能连续，同一层纤维材料间可采用搭接或对接方式连接。

相邻层间的接缝应至少错开100mm，5层之内接缝应不重叠。若采用搭接时，搭接宽度应不少于50mm。

2.3.2.6 严格控制每层树脂的用量，各种增强材料的树脂含量应控制在表2.1.3.3(5)要求的范围内。

2.3.2.7 层板厚度变化应缓慢，过渡区的宽度至少为厚度差的30倍。

2.3.2.8 喷射成型仅在喷射施工易于保证成型良好的结构面上使用。

2.3.2.9 喷射设备在使用前应进行校准，以保证喷出的纤维百分比符合预定的要求，喷射厚度要求均匀。

2.3.2.10 当喷射纤维量达 $600\text{g}/\text{m}^2$ 时，应使用滚压法或其他方法消除气泡。

2.3.2.11 若采用分次成型时，二次成型的界面所用的树脂应选择无蜡树脂。如采用有蜡树脂，则成型前需要进行打毛处理。

2.3.2.12 二次成型间应采取措施，保持成型界面的清洁，对有气泡、皱折等缺陷的界面应进行修补。

2.3.3 脱模

2.3.3.1 船体的脱模应在其巴氏硬度大于或等于40后及加强材、隔舱板成型安装后进行。其余大型构件也应在加强材成型固化后方可脱模。

2.3.3.2 脱模后，模具和制品应放在支架上，避免产生变形。

2.3.4 连接

2.3.4.1 应根据受力情况和工作状态选择合理的连接形式，主要的连接形式有胶接、机械连接和两者并用。

2.3.4.2 当大骨材与小骨材交叉时，应在大骨材上开孔，使小骨材保持连续。当相近尺寸的骨材交叉时，一般应使纵向骨材保持连续。

2.3.4.3 胶接时，应合理地选择胶粘剂和确定胶接层的厚度及长度，使胶接区处于最佳受力状态。

2.3.4.4 被胶接表面应平整、干净，但不宜光滑。胶接前应预先进行打毛处理。

2.3.4.5 在二次胶接时，应在胶接面中放一层短切纤维毡。对于承受动载荷的接头，还应在外面糊几层纤维增强角材，见图2.3.4.5。

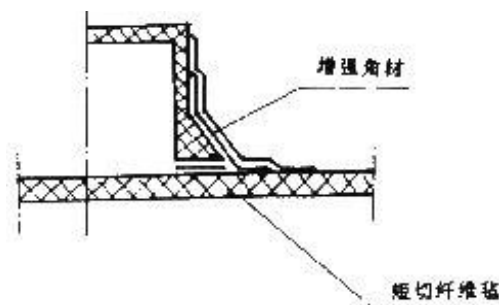


图2.3.4.5

2.3.4.6 角接一般均应采用两侧连接，每一侧角接层的厚度应大于被连接构件中较薄者厚度的一半，角接布层尺寸应由里到外逐层放大25mm。

2.3.4.7 对于承受冲击、振动等载荷的部位，一般应采用螺栓等机械连接。

(1) 机械连接应在被连接件充分固化后进行；

- (2) 连接孔的设计应尽可能降低应力集中，对被削弱的层板应考虑适当的补偿；
- (3) 螺栓和层板应垂直安装，在连接处应设置垫圈；
- (4) 为保证层板的密封性，螺栓顶部可用浸透树脂的纤维丝缠绕后再安装；
- (5) 机械连接时，连接孔的端距、边距、行距、列距应不小于表2.3.4.7的要求。

连接孔离要求

表2.3.4.7

| 板厚(mm) | 端距(mm) | 边距(mm) | 行距(mm) | 列距(mm) |
|--------|--------------|---------------|-------------|-------------|
| <5 | 2.5 <i>d</i> | 1.5 <i>d</i> | ≥4 <i>d</i> | >4 <i>d</i> |
| ≥5 | 2 <i>d</i> | 1.25 <i>d</i> | ≥4 <i>d</i> | >4 <i>d</i> |

注：*d*——连接孔的直径，mm。

2.3.4.8 推荐使用几种典型构件的连接形式见附录A所示，如采用其他连接形式应经本社同意。附录B给出了纤维增强塑料易产生的缺陷及其成因，作为参考。

2.3.5 质量检验

2.3.5.1 在成型的同时，应做好验证试件。

2.3.5.2 验证试件应在与实际生产相同的环境条件、原材料、配方和工艺方法下(除胶衣层外)，由普通操作人员在约45°角放置的平板模具上成型。待其固化后取样，测定验证试件的力学性能，并提交本社认可。

2.3.5.3 在成型过程中应随时检查制品表面，如有明显气泡、分层、皱褶、树脂堆积和流胶等缺陷应予以修补。

2.3.5.4 脱模后应检查制品外表面，发现缺陷应予以修补。同时检查制品各主尺度值。

2.3.5.5 确认完工的制品铺层以及各主要构件的连接等是否与图纸一致。

附录 纤维增强塑料结构节点与施工缺陷分析

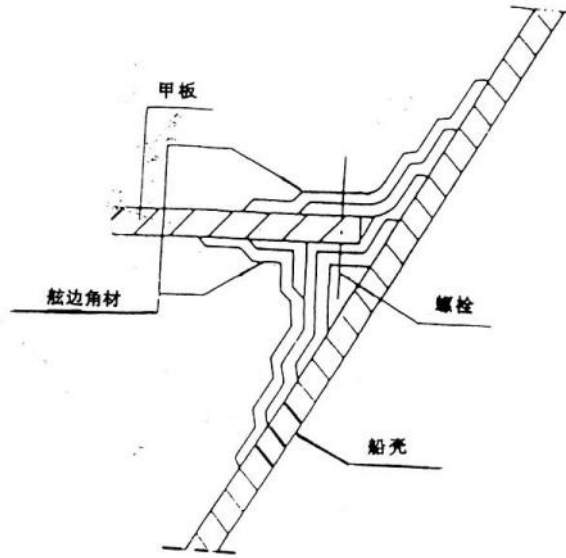
A结构构造细则

A1 一般要求

A1.1 本附录推荐了在实践中已被证实的各种有效的连接形式。设计和建造单位可以在保证强度和连接目的的条件下，提出其他连接形式，但应经本社同意。

A2 甲板与舷侧板的连接

A2.1 甲板与舷侧板的连接除应保证结构的完整性以承受总纵弯矩之外，还应能承受由甲板局部截荷造成的角变形。甲板与舷侧板的连接示例见图A2.1(1)至图A2.1(12)。



图A2.1(1)

图 A2.1(3)

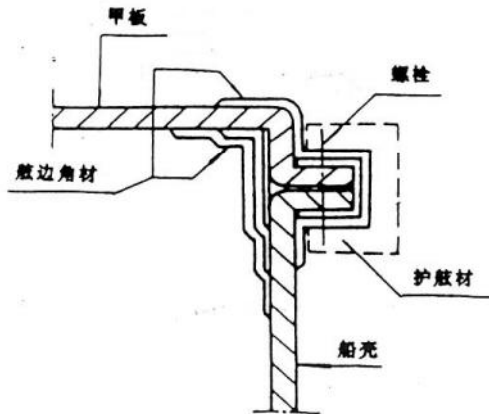


图 A2.1(4)

图A2.1.(2)

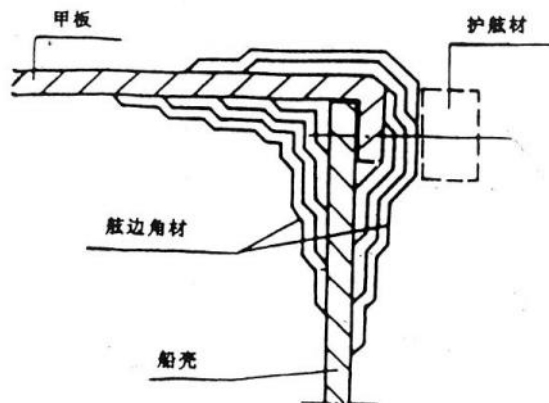


图 A2.1(5)

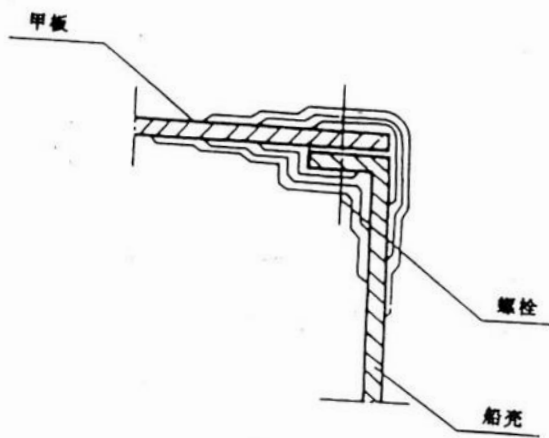


图 A2.1(6)

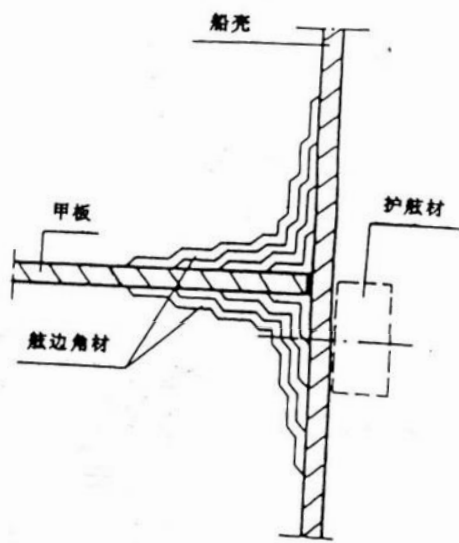


图 A2.1(7)

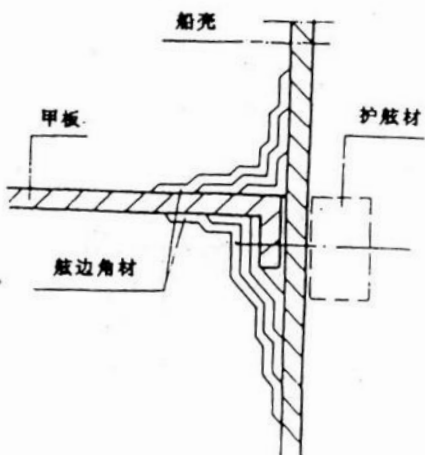


图 A2.1(8)

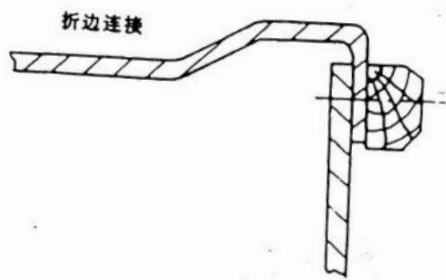


图 A2.1(9)

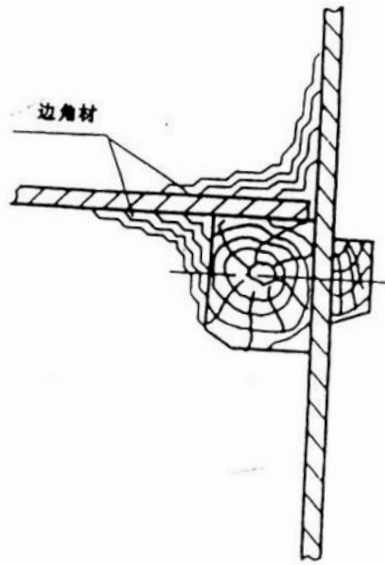


图 A2.1(10)

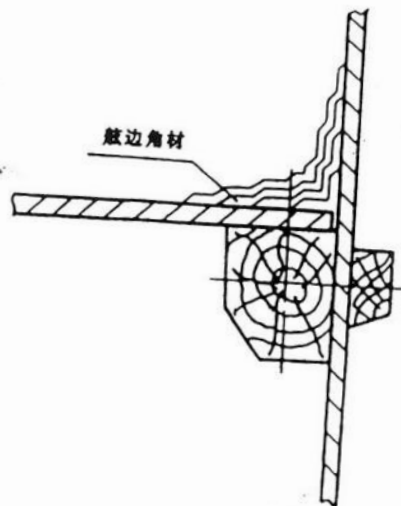
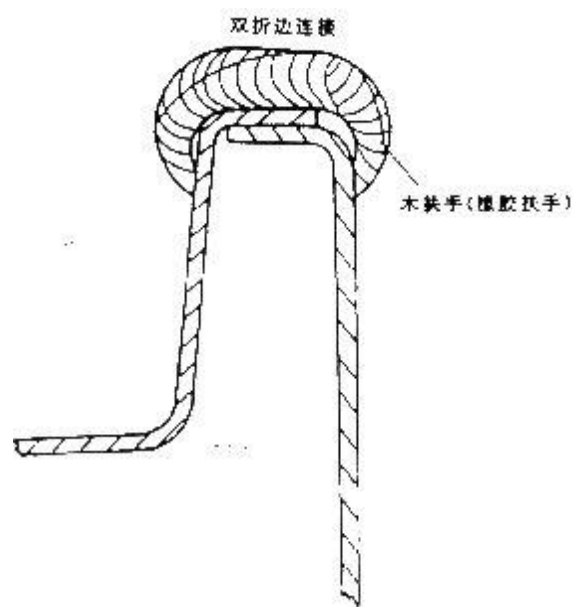


图 A2.1(11)



图A2.1(12)

A2.2 通常甲板与舷侧板的连接程序为：先将甲板与舷侧板连接，接着铺敷角材，然后再连接与之正交的横梁和肋骨。

A3 骨架构件之间的连接

A3.1 骨架构件之间的连接(如横梁与肋骨的连接)可采用机械连接和胶接两种方式。

A3.2 骨架构件之间的连接可分有肘板型和无肘板型两种。为了增加角部连接的刚性。一般多采用有肘板的骨架构件连接形式。

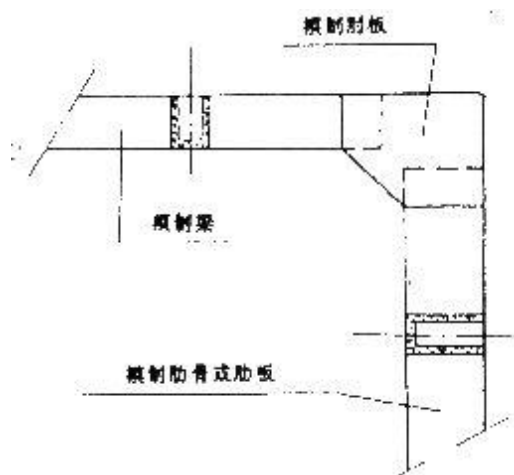
A3.3 预制肘板的组装见图A. 3. 3(1)所示；

单腹板骨材的角接，在面板宽度不同时应逐渐过渡，见图A3. 3(2)所示；横梁与骨材的连接见图A3. 3(3)；

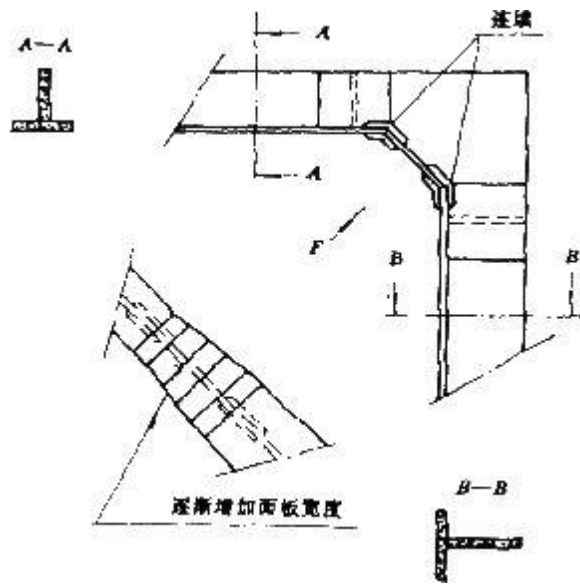
预制骨材按对接规定组装的连接方式，见图A3. 3(4)所示；

帽型骨材现场糊制有肘板角连接的方式，见图A3. 3(5)所示；

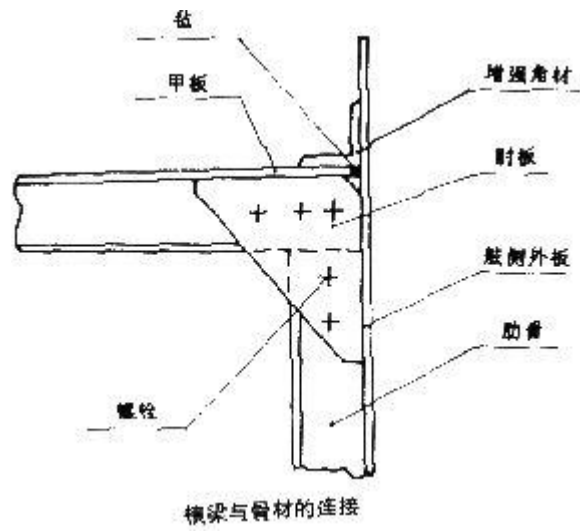
帽型骨材现场糊制无肘板角连接的方式，见图A3. 3(6)所示，去除甲板后，其节点连接如图A3. 3(7)所示。



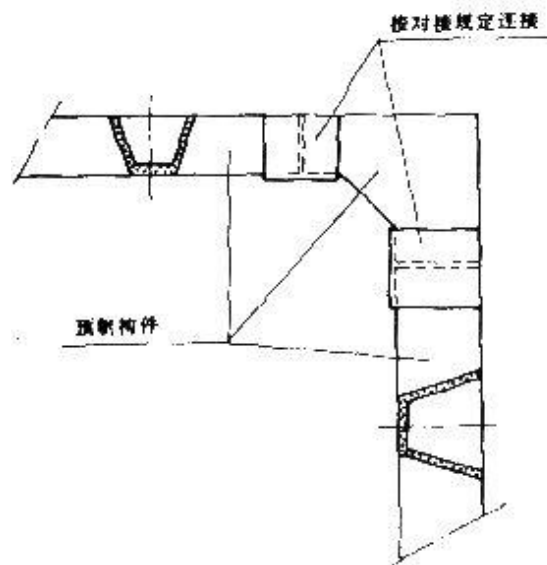
图A3. 3(1)



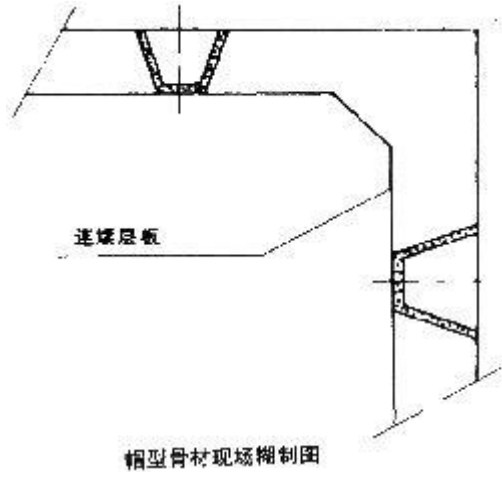
图A3.3(2)



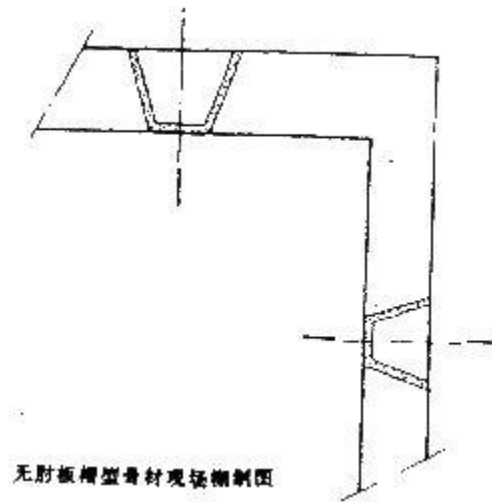
图A3.3(3)



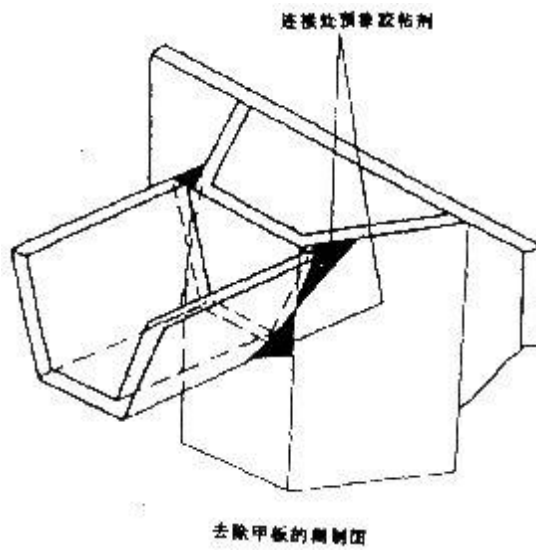
图A3.3(4)



图A3.3(5)



图A3.3(6)

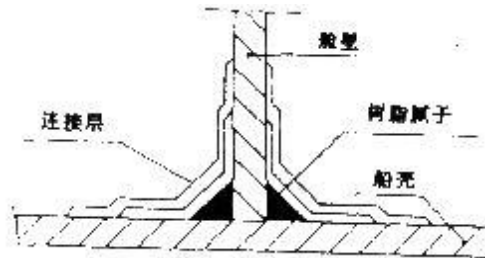


图A3.3(7)

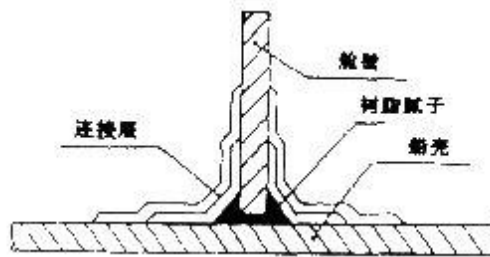
A4 舱壁与船壳板的连接

A4.1 舱壁与船壳板的连接处为船体受总纵弯曲变形时的刚性点，为减少其连接刚性而使其在小变形时的应力分布较均匀，对横舱壁与船壳板的连接，建议采用图A4.1(1)至(3)的连接方式。

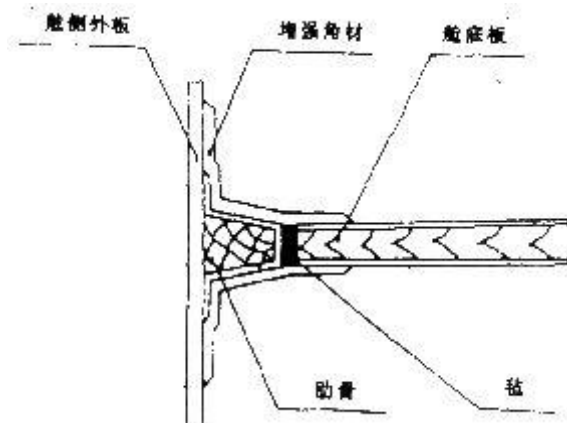
A4.2 对纵舱壁与船底板的连接采用图A4.2(1)至(2)的连接方式；对甲板室围壁与甲板的连接采用图A4.2(3)的连接方式。



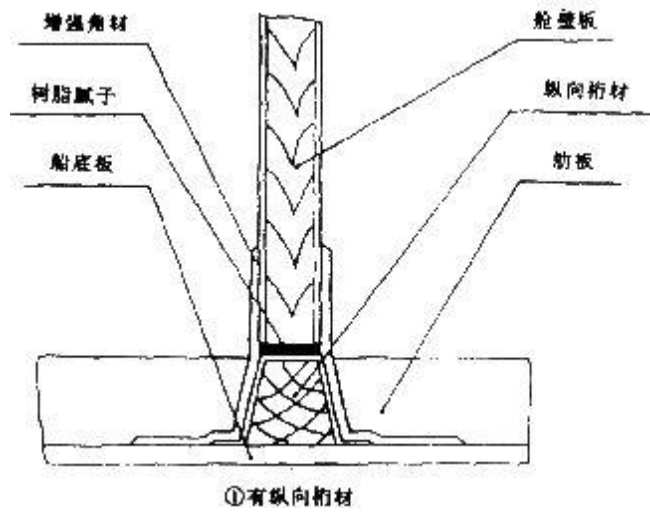
图A4.1(1)



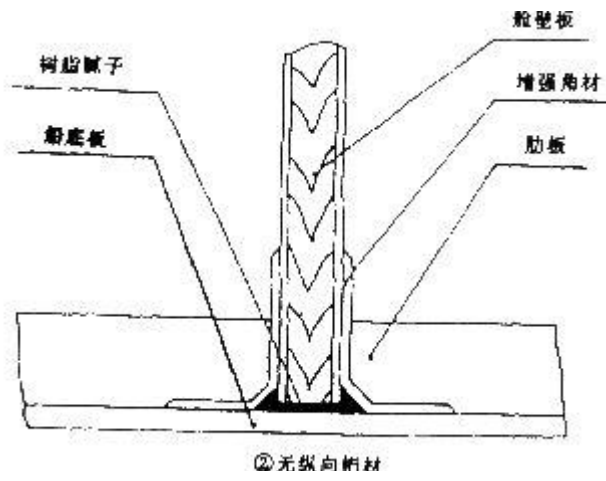
图A4.1(2)



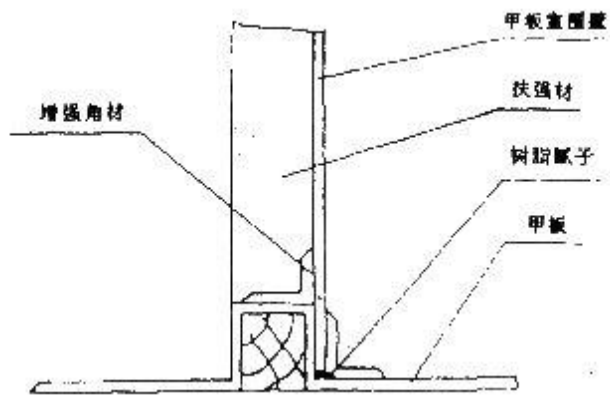
图A4.1(3)



图A4.2(1)



图A4.2(2)

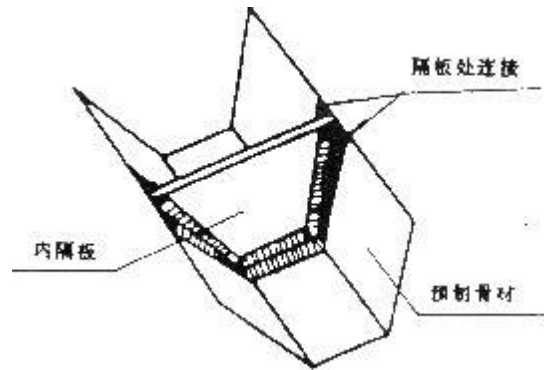


图A4.2(3)

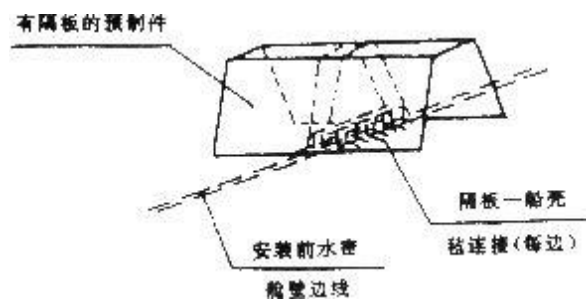
A5 水密舱壁与骨材的连接

A5.1 为了保证水密舱壁在破舱情况下保持水密，对穿过舱壁连续骨材本身在水密舱壁处也应是水密的。

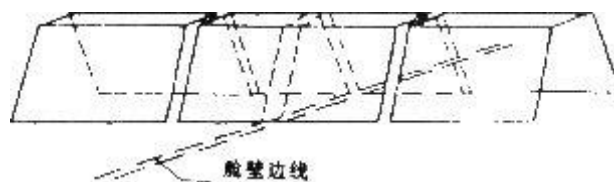
A5.2 图A5.2(1)、A5.2(2)、A5.2(3)显示了装有水密内隔板的帽型骨材的装配方法。水密舱壁与帽型骨材连接应是将带有隔板的帽型骨材预制件先在船壳板上装好，然后再进行舱壁定位。



图A5.2(1)



图A5.2(2)

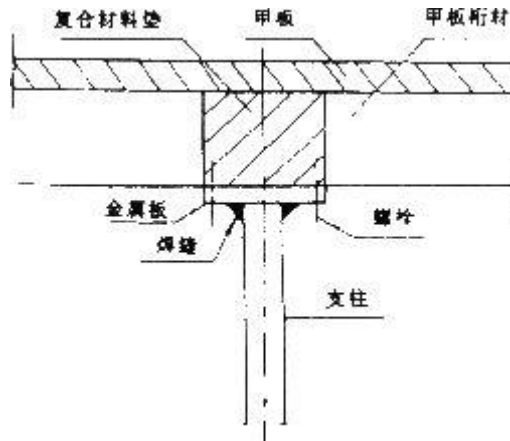


图A5.2(3)

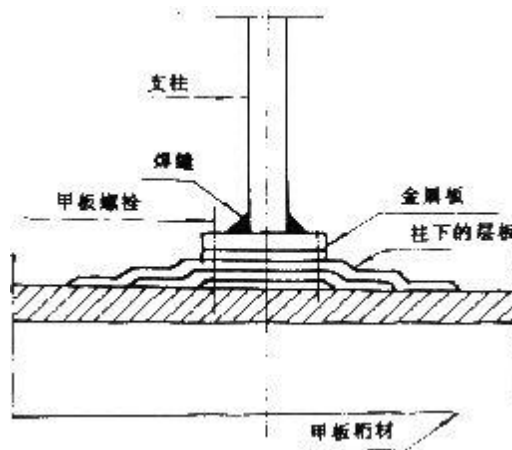
A6 支柱

A6.1 玻璃纤维增强塑料船可以使用金属支柱。金属支柱及其连接板在纤维增强塑料上的安装，应制定工艺措施，并报验船部门审查。

A6.2 安装金属支柱时，支柱上下端与复合材料连接的金属板必须先与支柱焊接成一个整体，不允许先装金属板再焊上金属支柱，见图A6.2(1)和(2)所示。

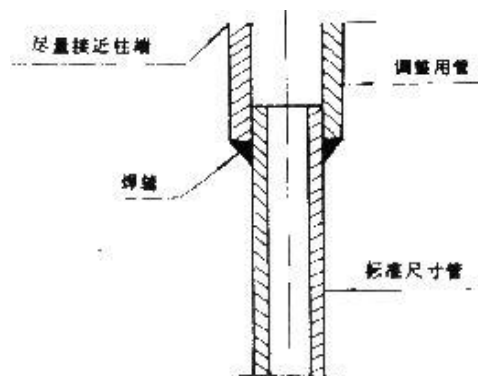


图A6.2(1)



图A6.2(2)

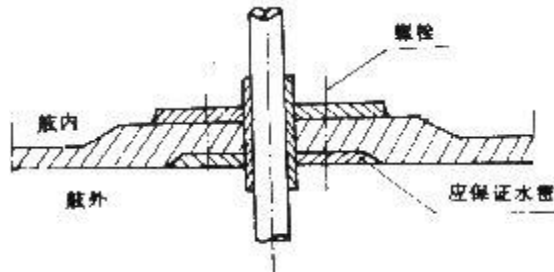
A6.3 当采用管子套管子来调整支柱长度时，应尽量在金属支柱一端进行调整。调好定位尺寸后，卸下焊毕后再安装，见图A6.3所示。



图A6.3

A7 穿过船壳的金属构件与船壳的连接

A7.1 在金属构件穿过船体壳板的部位，特别是如舵杆、尾轴架、轴系等位于水准以下的和有可能受到振动影响的部位，通常应采用增加壳板厚度或增设扶强构件的方法予以加强。对由金属构件引起垂直于壳板的作用力，应用增设的构件承受。图A7.1是一个金属构件穿过船体壳板的一个实例。先将一块板与穿过层板的金属构件焊在一起，然后装配到位，在层板的另一面套上一个垫环，用螺栓夹紧。



图A7.1

A7.2 所有的连接界面应精心加工，并符合装配要求。同时应选择适应金属和纤维增强塑料的树脂(也可加入增强材料)，以保证连接后的强度和水密性。

A8 基座结构

A8.1 机座应安装在专门设计的基座纵桁的构架上，并保证其具有良好的刚性，图A8.1给出了几种实用的基座结构形式。

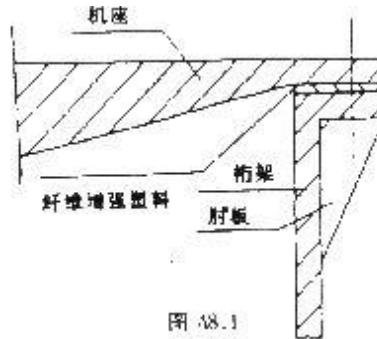
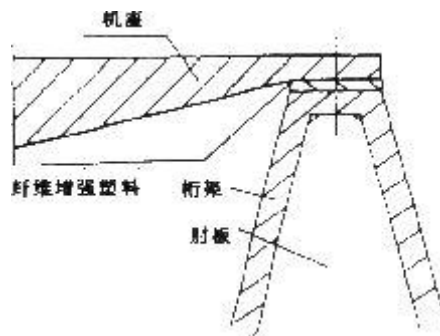
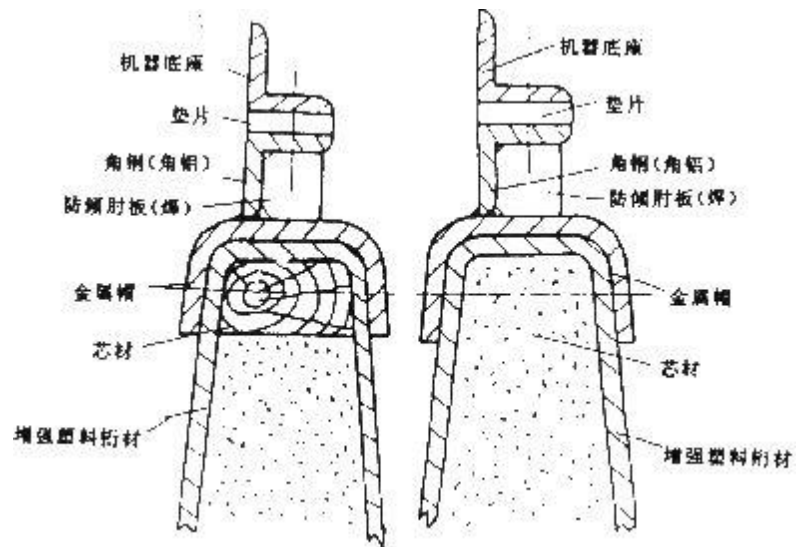


图 A8.1

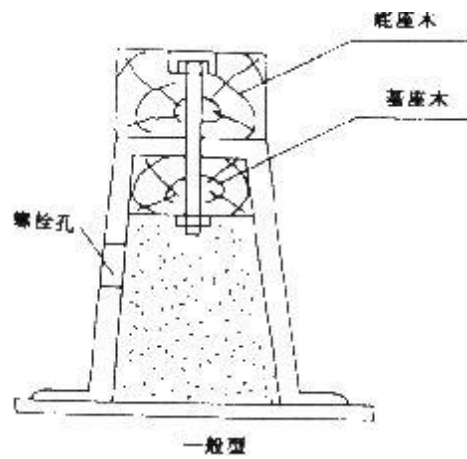
A8.2 基座结构也可以采用在纤维增强塑料构件上或木基座上加装金属帽的结构，见图A8.2(1)~(4)所示。安装金属帽的螺栓处可以使用木质芯材。



图A8.2(1)

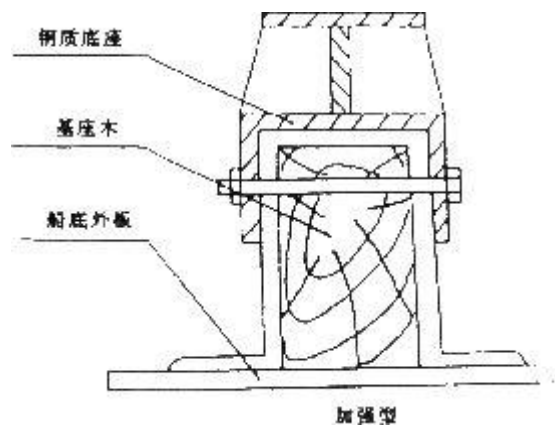


图A8.2(2)



一般型

图A8.2(3)



加强型

图A8.2(4)

B 纤维增强塑料结构建造中 易产生的缺陷及其成因

B1 鼓泡——层板表面大面积隆起，一般为内部分层所致。

B2 皱褶——局限在表面(大面积或小面积)的皱纹。表明模具表面湿气太大，或糊制时固化辅料中湿气太大；不局限在表面的皱褶，其成因主要为树脂含量过大。

B3 桔皮纹——有乳头状突起的涂层表面。这是由于表面涂层施工不良所致，或因涂层化合物与脱模剂不相容所造成的。

B4 裂痕——仅存在于涂层表面的裂痕或已向层板深处扩展的裂纹，一般意味着固化速度太快，其处树脂过多或固化不正常。

B5 表面发粘——通常伴随有浓的苯乙烯气味(不同于充分固化时树脂的微弱气味)，意味着固化不完全。

B6 针孔——成型表面上规则或不规则的针孔，显示了空气进入表面涂层或进入表面涂层与脱模剂之间。

B7 纤维裸露——局部泛白的纤维过多。原因是：脱模过早；树脂与纤维或其浸润剂不相适应；纤维增强材料分布不均匀。

B8 缺胶面——增强纤维材料浸渍不好。原因是：增强纤维材料局部过多；糊制时树脂分布不均匀；凝胶硬化过早。

B9 积胶面——这些表面实际上仅含树脂，使用中很快出现裂缝。原因是：部件设计没有适应纤维增强塑料的特点，曲线变化太突然。

B10 局部积胶——表面树脂局部积聚，因反应热而变色，出现裂缝，属操作不良所致。

B11 分层——增强材料层间分离，其原因是：固化不完全；固化不正常；糊制时有潮气存在；在完全固化前受碰撞；模具上局部温度过高；脱模过早；局部缺少树脂。

B12 气泡——局部或普遍含有大量小气泡。其原因是：树脂滚轧不充分；糊制时树脂流动困难；增强材料潮湿；涂树脂的方法不当。

B13 增强材料位移——成型时增强纤维撕裂或位移。其原因是：树脂粘度太高；凝胶过早；增强材料结构样式不当；模具设计有缺点。

第3章 围裙材料及其连接件

第1节 一般规定

3.1.1 适用范围

3.1.1.1 本章规定适用于侧壁式气垫船和全垫升气垫船围裙裙布及其连接件的制造和试验。

3.1.2 一般要求

3.1.2.1 围裙裙布应由本社认可的工厂制造。

3.1.2.2 围裙裙布生产厂应具备必需的制造和试验设备。在所有情况下，均应提交混炼胶的制备、涂敷织物的压延、围裙拼接成型以及硫化等工艺规程供本社认可。

第2节 裙布材料与连接件

3.2.1 裙布材料

3.2.1.1 裙布应是增强织物和弹性材料的复合物。织物(如尼龙等)和弹性涂敷材料(如天然橡胶、氯丁橡胶以及它们的并用胶料等)的物理性能和外观质量以及裙布的厚度和单位面积重量应符合本社接受的技术条件。

3.2.1.2 裙布上不允许有任何原始应力缺陷或其他影响围裙正常使用的缺陷。

3.2.2 围裙连接件

3.2.2.1 围裙连接材料应能耐海水腐蚀，对油、酸等有抗腐蚀和抗老化能力。

3.2.2.2 围裙连接件的连接强度应至少与裙布扯断强度相当。

3.2.2.3 必要时，连接件应进行抗拉、抗剪切及疲劳强度试验。

第3节 裙布的试验与力学性能

3.3.1 试验与试样

3.3.1.1 裙布应按本社接受的标准进行扯断、撕裂、剥离、搭接接头拉伸强度以及拍打试验。

3.3.1.2 裙布试样应在生产围裙的同一批裙布中截取。取样时，试样应距裙布经向边缘0.1m以上，距裙布末端1m以上。同一批裙布应由同一织物编织结构、同一粘接、硫化工艺的裙布组成。试样的制备、试样的尺寸以及试样的数量应符合下列规定：

(1) 扯断试验：试样尺寸为200mm×50mm，每批裙布应至少沿其经向和纬向各取5个扯断试样。试样的长度方向应严格平行于织物的经向和纬向。

(2) 撕裂试验：试样为如图3.3.1.2(2)所示的鸟翼状撕裂试样。每批裙布应至少沿裙布经向和纬向各取3个试样。

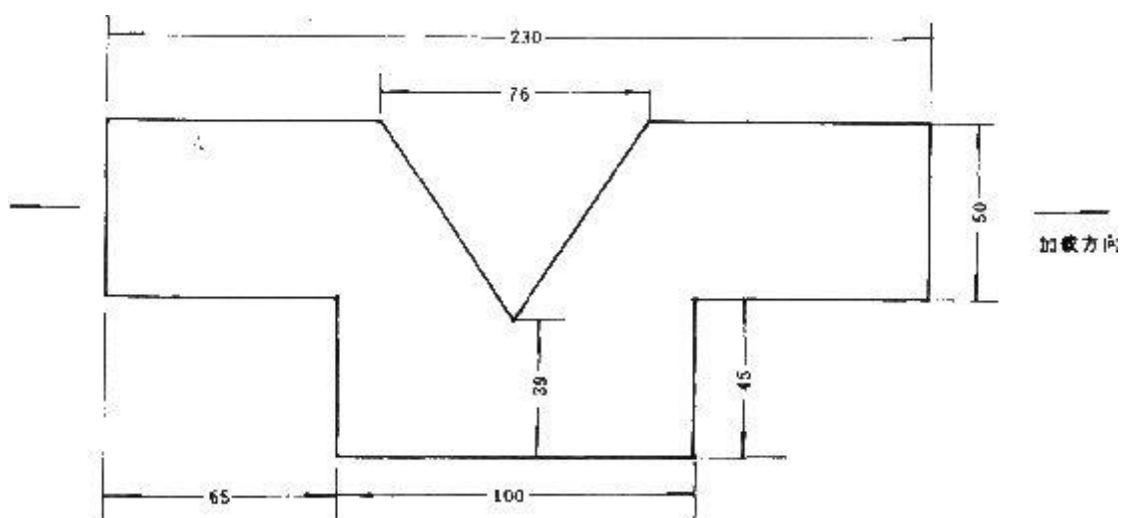


图3.3.1.2(2)

- (3) 剥离试验：试样应为双重迭200mm×50mm的条状试样，重迭部分长150mm。对每批裙布应至少截取3个经向或纬向试样。
- (4) 搭接接头试验：采用两块裙布做成围裙布拼幅成型的搭接接头，搭接宽度为50mm。硫化后，垂直于搭接缝剪成50mm宽的条状试样。对每批围裙应至少制备5个搭接接头试样。
- (5) 拍打试验：必要时，本社可要求进行裙布的拍打试验。试样尺寸为200mm x 400mm，每批裙布至少应沿裙布的经向和纬向各取3个试样，按本社接受的有关标准进行试验，以试样的平均破损面积为试验结果提交本社认可。

3.3.2 裙布的力学性能

3.3.2.1 裙布的力学性能应符合表3.3.2.1的规定。

围裙裙布的力学性能

表3.3.2.1

| 围裙裙布等级 | 扯断强度 不小于 (N / 5cm) | | 撕裂强力不小于 (N) | | 剥离强度 不小于 (N / 5cm) | 搭接接头强度 不小于 (N / 5cm) |
|--------|-----------------------|------|-------------|-----|--------------------------|----------------------------|
| | 经向 | 纬向 | 经向 | 纬向 | | |
| A | 2940 | 2940 | 340 | 340 | 590 | 2940 |
| B | 4410 | 4410 | 585 | 585 | 680 | 4410 |
| C | 4900 | 4900 | 780 | 780 | 680 | 4900 |

第4章 混 凝 土

第1节 一般规定

4.1.1 适用范围

4.1.1.1 本章规定适用于重力式混凝土平台混凝土结构和海底管道加重层用的材料及其施工。

4.1.2 一般要求

4.1.2.1 材料在使用前，应提交本社认可的试验室签发的试验合格证书或鉴定证书。

4.1.2.2 有关材料的试验方法、内容和结果应符合本社接受的有关标准。

4.1.2.3 新材料、新产品应经本社同意后方可使用。

第2节 原 材 料

4.2.1 水泥

4.2.1.1 水泥的质量应符合本社接受的有关标准。

4.2.1.2 选用时，还应考虑水泥的化学成分对钢筋的腐蚀和海水侵蚀的耐久性 or 受硫酸盐、冻融、干湿交替等条件的影响。

4.2.1.3 水泥成分中铝酸三钙($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)的含量(以重量计)应控制在4%~10%以内。

4.2.2 骨料

4.2.2.1 骨料包括粗骨料和细骨料，可以是天然的砂、砾石、碎石和轻骨料或其他通过试验的和实际上业已遍采用的材料，并应有足够的强度和耐久性。

4.2.2.2 骨料应大致呈立方体或球形，且有适当的级配和一致的品质及配比。

4.2.2.3 不能使用含有大量易反应物或有害成分的骨料(如某些易反应的硅质或碳质矿物成分、盐、硫化物、粘土、淤泥、非常扁平或长的颗粒、有机物或其他不纯物)。使用海卵石时，应用淡水彻底冲洗。

4.2.2.4 对重质骨料的使用将予以专门考虑。

4.2.3 钢筋和管套

4.2.3.1 钢筋可以是光面钢筋、变形钢筋和焊接钢筋网，其机械性能和尺寸应符合本社接受的有关标准。制造厂应提供其屈服应力或抗拉强度、伸长率等特性的详细数据和保证。必要时，对其握裹性提供说明。

4.2.3.2 预应力钢筋可采用高强钢筋、钢绞线和钢丝束等，其要求和4.2.3.1相同，且特别注意断裂强度和断裂韧性。

4.2.3.3 管套应采用刚性或半刚性水密金属管套。管套应由紧密配合的套筒拼接而成，套筒之间的接缝用防水胶带粘合。曲线形后张预应力管套内壁应光滑，减少预应力钢筋与管套壁的磨擦而造成的预应力损失。

4.2.4 拌和用水和外加剂

4.2.4.1 拌和用水应使用不影响水泥正常凝结、硬化和引起钢筋锈蚀的饮用水。不得使用海水、沼泽水、工业废水和含有机质或有害物质(酸、盐、油等)的水。

4.2.4.2 拌和混凝土使用的外加剂，应能保持设计中所需的混凝土的基本性能，并经本社同意。当有充分的论证或经验证明无害的情况下，可以同时使用两种或两种以上的外加剂。

4.2.4.3 禁止使用氯化钙。

第3节 钢筋混凝土

4.3.1 一般要求

4.3.1.1 钢筋混凝土设计应满足基本的强度要求，并根据平台的具体工作条件，分别满足抗冻性、抗侵蚀性、抗渗性等方面的要求。

4.3.1.2 在混凝土平台结构设计和施工中使用的材料应有以前在类似的环境条件下，具有良好性能的证明文件或充分的试验数据和经验，并符合本社接受的有关标准。

4.3.1.3 对钢筋混凝土结构还应提交配筋图和必要的计算书。

4.3.2 混凝土强度等级

4.3.2.1 混凝土的强度等级是按标准方法制作养护的边长为15cm的立方体试块，在28天龄期用标准试验方法所得的具有95%保证率的抗压强度。如采用其他试块，则所测得的强度应乘以尺寸换算系数，其系数值对20cm的立方体试块为1.05，对10cm的立方体试块为0.95。

4.3.2.2 对一般钢筋混凝土，处于暴露大气和浪溅区域的不宜低于C35，其他部分的结构不宜低于C30。

4.3.2.3 对预应力混凝土，混凝土的强度等级不宜低于C40。

4.3.3 混凝土的设计强度

4.3.3.1 混凝土的设计强度按表4.3.3.1选用。

混凝土的设计强度

表4.3.3.1

| 强度种类 (N/mm ²) | 混凝土强度等级 | | | | |
|------------------------------|---------|------|------|------|------|
| | C30 | C35 | C40 | C50 | C60 |
| 轴向抗压 | 17.5 | 20.0 | 23.0 | 28.5 | 32.5 |
| 弯曲抗压 | 22.0 | 25.0 | 29.0 | 35.5 | 40.5 |
| 抗拉 | 1.75 | 1.90 | 2.15 | 2.45 | 2.65 |
| 抗裂 | 2.10 | 2.35 | 2.55 | 2.85 | 3.05 |

4.3.4 混凝土的特性

4.3.4.1 混凝土在受拉或受压时，其弹性模量一般可按表4.3.4.1选用。

混凝土的弹性模量

表4.3.4.1

| 强度等级 | C30 | C35 | C40 | C50 | C60 |
|--|------|------|------|------|------|
| 弹性模量， $\times 10^4$ (N/mm ²) | 3.00 | 3.15 | 3.30 | 3.50 | 3.65 |

4.3.4.2 必要时应由试验测定混凝土和钢筋混凝土的容重，一般可取：

混凝土 23~24 kN/m³

钢筋混凝土 24~25 kN/m³

4.3.4.3 混凝土的其他物理性能值一般应由试验确定。当实测资料不足时，可按下列数值选用：

泊松比 $\gamma = 1/6$

线膨胀系数 $a = 1.0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

4.3.5 钢筋

4.3.5.1 钢筋和预应力钢筋的各种性能采用制造厂提供或国家标准的数据，如屈服应力、抗拉

强度、弹性模量、泊松比等。

4.3.5.2 承受冲击或交变载荷的构件以及处于低温下的结构不宜使用冷拉钢筋。

4.3.5.3 在疲劳、拖力点及系泊缆桩区域内配置钢筋时，应尽量避免搭接接头。当需要使用搭接接头时，其搭接接头的长度应两倍于本社接受标准的计算值。

4.3.6 钢筋的混凝土保护层

4.3.6.1 对于一般钢筋，混凝土保护层厚度应不小于下列数值：

| | |
|-------------|-------|
| 不经受严重飞溅的大气带 | 40 mm |
| 其他部分 | 50 mm |

此外，保护层的厚度应不小于骨料直径的1.5倍。

4.3.6.2 对于预应力钢筋，管套的保护层应不小于以上所示值的2倍。应特别注意可能经受高温部位的保护层。

4.3.6.3 外露的钢制件及锚固系统应采用至少50mm厚的混凝土与电器设备隔离，阴极保护系统对于暴露在外的钢部件，如裙板、可升降的附设平台等应为牺牲阳极的类型。如采用可靠的控制方法能防止钢筋和预应力筋的脆断，则允许使用外加电流的方法。

4.3.7 施工

4.3.7.1 混凝土的施工方法、工艺、试件的制作、试验方法和标准等应按国家有关规定和规程并按已认可或批准的程序进行。在任何情况下，不允许采用降低结构安全度和给以后的施工安装造成困难的程序和方法。

4.3.7.2 对系船构件、受拖驳挤压的外墙以及在以后的施工中那些临时承受严重动力载荷的结构，应进行受力分析，保证有足够的强度。

4.3.7.3 施工中使用的材料应有清楚的标记，标记不清楚的材料一般不能使用。

4.3.7.4 在制作预应力混凝土时所使用的拉力计等测量仪器，应经国家主管部门或机构严格校核，并处于有效的使用期限内。

4.3.7.5 为保证混凝土质量达到设计要求，应对原材料的质量、配合比以及施工过程中的各个环节进行检查，包括：

- (1) 原材料的型号、质量与称重；
- (2) 砂石料的含水量；
- (3) 水灰比和水泥用量；
- (4) 外加剂情况；
- (5) 拌和用水的质量；
- (6) 混凝土的配合比。

对以上情况的检查应有详细的记录，并存档备查

4.3.7.6 混凝土的配合设计应符合下列要求：

- (1) 拌合混凝土的水灰比(W/C)应不大于0.45；
- (2) 在不掺减水剂的情况下，水泥用量应不小于下列数值：

| | |
|-------|----------------------|
| 波浪飞溅区 | 400kg/m ³ |
| 其他部分 | 360kg/m ³ |

4.3.7.7 钢筋应符合下列要求：

- (1) 普通钢筋应无浮锈、无油脂、无盐沉积物 and 任何其他可能影响钢筋耐久性和粘结强度的沉积物。对钢筋规定的混凝土保护层应严格遵守，特别注意钢筋的切断、弯折和绑扎，保证定位正确和固定，避免浇注混凝土时发生移动；
- (2) 预应力钢筋应清洁，并清除油脂、不溶性油、盐沉积物以及任何其他可能影响钢筋

耐久性和粘结强度的沉积物。在采用保护性涂料时，涂料在化学上应为中性，以防对钢筋产生化学或电化学腐蚀。

4.3.7.8 后张预应力钢筋的金属管套应妥善保管，管套应隔水，施工期间应堵塞或密封，防止海水、水泥浆或混凝土流入。

4.3.7.9 灌浆中，对于钢筋束、灰浆的掺和料、搅拌和灌浆程序均应检查，以确保灌浆的密实性。

4.3.8 漂浮和临时坐底时的施工

4.3.8.1 当平台处于漂浮状态下继续施工时，混凝土的浇注速度应与平台逐渐浸入水中的速度有适当的配合，以避免混凝土出现超应力。

4.3.8.2 当平台处于临时坐底时，应考虑当时的混凝土强度，同时还应考虑海床条件。

4.3.9 养护

4.3.9.1 注意混凝土的养护以保证耐久性，使裂缝趋于最小。

4.3.9.2 海水不能用于养护钢筋混凝土和预应力混凝土。如果施工程序要求混凝土结构浸在水中，应使其获得足够的强度，以抵御环境和施工条件等因素造成的破坏。

第4节 海底管道混凝土加重层

4.4.1 一般要求

4.4.1.1 本节适用海底管道混凝土加重层。其他的管道锚固系统将予以专门考虑。混凝土加重层的主要目的是对海底管道在其设计寿命期内提供负浮力，并可防止外防腐涂层有管道铺设、安装和运行期间遭到机械损伤。

4.4.1.2 在使用拖曳法安装时，混凝土加重层应能承受在拖曳作业中海床与管道接触所引起的摩擦力和机械磨损。加重层的耐磨性和与土的摩擦系数通常需通过试验验证。这类试验采用相应的管径、加重层管道在水中重量、混凝土质量、连接与包覆方法和沿一条类似于实际拖曳线路(包括海床特性)来进行。

4.4.1.3 为防止加重层因铺管弯曲应力而产生裂纹，必要时可将加重层用隔板在管轴方向分隔成若干小段。

4.4.1.4 每节管子或管段的混凝土加重层和防腐涂层的两端应留出足够长的光管端以便焊接。此长度一般为225~375mm，取决于现场补口结构和工艺要求。

4.4.1.5 混凝土加重层的技术要求一般应包括下列各项：

- (1) 材料品种、性能指标；
- (2) 厚度、强度、密度和单位体积重量；
- (3) 施工方法；
- (4) 养护方法；
- (5) 检测与试验；
- (6) 包覆加重层管子的储存、装卸和运输要求；
- (7) 加重层的验收标准。

4.4.2 混凝土性能

4.4.2.1 加重层的混凝土应具有足够的强度、密实度和耐久性。

4.4.2.2 加重层强度要求由设计确定，一般混凝土等级为C30。

4.4.2.3 渗透性是确定浸没于海水中的混凝土密实度和耐久性的重要特性。高密实度、低渗透性的混凝土可用下列方法获得：

- (1) 提高水泥含量和水泥标号；
- (2) 降低水灰比，一般应 ≤ 0.40 ，但不大于0.45；

- (3) 采用坚硬和密致的骨料；
- (4) 粗、细骨料的适当级配及配比；
- (5) 以良好的拌和性、彻底的捣实、适当的养护和搬运工艺来保证良好的浇注准则。

4.4.3 钢筋

4.4.3.1 混凝土加重层用的钢筋，应采用本社接受标准规定的光面圆盘筋或其他适用的钢筋。如钢筋需冷拉时，应经本社同意。

4.4.3.2 混凝土加重层中的钢筋，可采用光面或螺纹钢筋焊成骨架网或采用钢丝网。加强筋的型式和数量由设计确定，应考虑预期的管道载荷和工作条件，以便控制混凝土加重层的破裂形式。

4.4.3.3 加强筋的型式和施工方法，应保证环向筋的连续性。

4.4.3.4 钢筋应有准确的位置和适当的支撑，并保证钢筋的混凝土保护层的设计厚度。钢筋不得与管子或者牺牲阳有电气连通。

4.4.4 施工

4.4.4.1 管上混凝土应使用适当的设备和浇注(包覆)工艺施工。可以用喷射、浇注、挤压包覆等方法，并及时形成充分固结的厚度、强度和密实度都均匀的混凝土加重层。

4.4.5 养护

4.4.5.1 选用的混凝土养护方法、养护条件与养护持续时间，应能保证混凝土加重层达到设计要求的性能，防止出现不应有的裂纹。

4.4.5.2 对在不利的气候和环境条件下的养护措施，应向本社提交适用于该条件的养护方法的证明文件。

4.4.6 试验和检查

4.4.6.1 有关加重层混凝土材料的试验方法，应按通用的建筑材料有关的规定实施。在混凝土预制场内的试验、检查等方法应经本社同意。

4.4.6.2 混凝土生产过程中各种材料的现场测定和试验，应按规程进行。根据供料的批量、质量和材料均匀性等确定材料的检验次数。

4.4.6.3 在混凝土浇注前，应按本社接受的有关标准由试验确定配合比、强度和单位体积重量并提交相应的证明文件。混凝土浇注期间，应定期对浇注的混凝土厚度、强度和密度等进行现场检验。每10~15节浇注完毕的管子至少抽取一组(三块)试样，每工作班至少有一组试样。对于不同规格和要求的混凝土浇注件应分别制取一组试样。除用模型浇注的试块试样外，作为强度检验的辅助，尚可用回弹法评定混凝土抗压强度。

4.4.7 修理

4.4.7.1 当外观检验发现预制的带混凝土加重层的管节有裂缝和表面剥落时，应按批准的工艺规程进行修理。

4.4.7.2 加重层因严重裂缝或剥落而是否拒收的标准，一般可按设计规定执行。

第5章 纤维绳

第1节 一般规定

5.1.1 适用范围

5.1.1.1 本章规定适用于作为系船索和拖索用的植物纤维绳和合成纤维绳。

5.1.2 一般要求

5.1.2.1 纤维绳应由本社认可的工厂制造。

5.1.2.2 船用纤维绳的结构形式和制造纤维绳的材料，应符合本社接受的有关标准。

第2节 制造材料

5.2.1 材料

5.2.1.1 纤维绳可以用植物纤维(椰子壳纤维、大麻、马尼拉麻或龙舌兰麻)制成，也可用化学合成(人造)纤维(聚酰胺、聚酯和聚丙烯)制成。

5.2.1.2 制造纤维绳的材料应质地良好，材质均匀，耐腐蚀。

5.2.1.3 如采用其他材料，应经本社同意。

5.2.2 制造

5.2.2.1 绳索内不应加入任何填料和增加其质量的物质。

5.2.2.2 植物纤维绳中任何浸渍润滑剂的用量应减至最小值，任何防腐或防水措施均不对植物纤维造成危害。

5.2.2.3 上述各种措施的结果，均不可增加索重，降低其强度和缩短其使用寿命。

5.2.2.4 根据纤维绳的材料和类型，其结构形式可以为3股、4股或9股，也可考虑其他结构形式。

第3节 试 验

5.3.1 破断试验

5.3.1.1 在成品纤维绳中截取试样，其试验长度和初始载荷可按表5.3.1.1的规定。

纤维破断试验参数

表5.3.1.1

| 材料 | 试样在夹具间的最小自由长度(mm) | 初始载荷/最小破断载荷(%) | 应变率(mm/min) |
|------|-------------------|----------------|-------------|
| 植物纤维 | 1800 | 2 | 150±50 |
| 合成纤维 | 900 | 1 | 75±25 |

5.3.1.2 施加初始载荷后，校验试样的直径(是否符合名义尺寸)和捻捻均匀度，然后将试样按表5.3.1.1所规定的应变率，均匀增加载荷，直至断裂。

5.3.2 结果评定

5.3.2.1 试样的实际破断拉力，应不小于本社接受的有关标准中所规定之值。

5.3.2.2 试验时，若索的断裂位置在距夹具150mm范围之内，可重新取样复试，但每卷纤维绳的破断试验应不超过两次。

5.3.2.3 若试样在被夹持部位或在捻接部位发生断裂，而其试验结果已达到对纤维绳规定的最大破断载荷的90%以上时，则可以认为该试验是合格的。

5.3.3 标记

5.3.3.1 经验收合格的每卷(或每捆)成品纤维绳, 均应在显而易见处贴上纤维绳号、材料、结构、规格和厂名的标签, 并应打上本社的标志。

第 3 篇 焊 接

第一章 通 则

第1节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本篇适用于船体结构、海上设施结构、锅炉、压力容器、潜水器、管系和重要机械构件的焊接，焊工资格考核以及焊接材料的认可。

1.1.1.2 本篇的规定适用于手工电弧焊、埋弧焊、气体保护焊和电渣焊的焊接方法。若选用其他方法应经本社批准后方可采用。

1.1.1.3 在船舶或海上设施建造中，若选用本规范规定以外的焊接材料(包括新焊接材料)，应将其化学成分、力学性能和试验方法等有关技术资料提交本社批准后方可采用。

1.1.2 焊接材料、设备和操作环境

1.1.2.1 焊接材料(包括焊条、焊丝、焊剂和保护气体)应符合本篇第2章的有关规定，并应经本社认可。

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

1.1.2.3 焊接用的设备和装置应适用于拟定的用途，并始终保持良好的工作状态。同时，应对其妥善地加以布置，以保证有良好的焊接操作条件。

1.1.3 焊工和焊接工艺

1.1.3.1 为保证焊接质量，各船舶，海上设施或船用产品的制造厂的焊工应按本篇第4章的要求参加焊工资格考试。只有持有本社颁发或承认的《焊工合格证书》的焊工方可从事与其证书相应的焊接工作。

1.1.3.2 焊接工艺规程应按本篇第3章的规定提交本社批准后方可采用。

1.1.4 管理与无损检测人员

1.1.4.1 工厂应具有健全的质量保证管理机构，并能有效地运行。重要焊缝应由有经验的焊接检验员监督施焊，以确保焊接质量。

1.1.4.2 无损检测人员应持有本社颁发的或接受的《无损检测人员资格证书》，并从事与证书的种类和等级相符的无损检测工作。

第2节 试 验

1.2.1 一般要求

1.2.1.1 除本节另有规定外，焊缝力学性能的试验方法应符合本规范第1篇第2章的有关规定。

1.2.2 取样

1.2.2.1 试验用试件的尺寸和试样的截取位置应符合本篇各章的有关规定。

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

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

1.2.3 试样的形状和尺寸

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

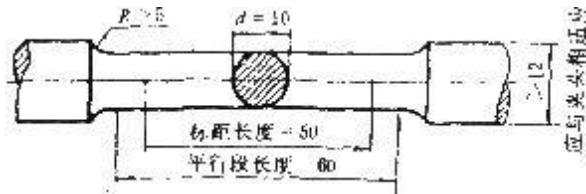
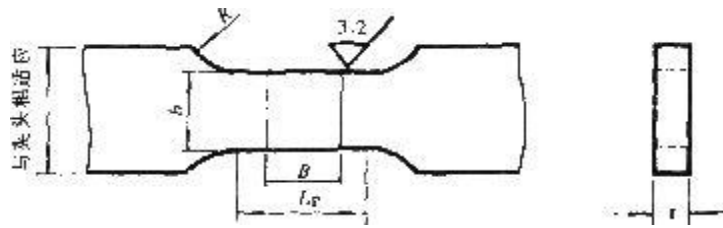


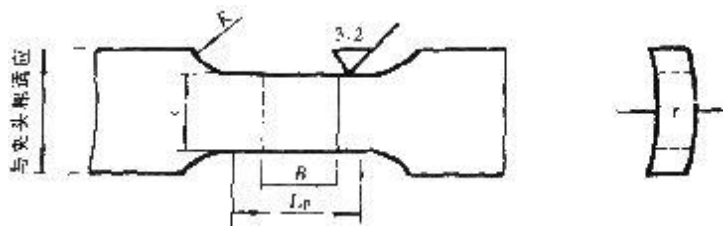
图1.2.3.1

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

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



a) 平板试样



b) 圆管试样

B -焊缝宽度, mm; t -试样厚度, mm; b -板试样平行段宽度, 取25mm;

c -管试样平行段宽度, 对直径等于或大于76mm的管子取20mm; 对直径小于76mm的管子, 则取12mm或取整管进行拉伸;

L_p -试样平行段长度, 取 $3t$ 或 $B+12$ mm(取大者), 对铝合金取 $B+2t$; R -过渡圆弧半径, 大于25mm, 对于铝合金取50mm

图1.2.3.2(1)

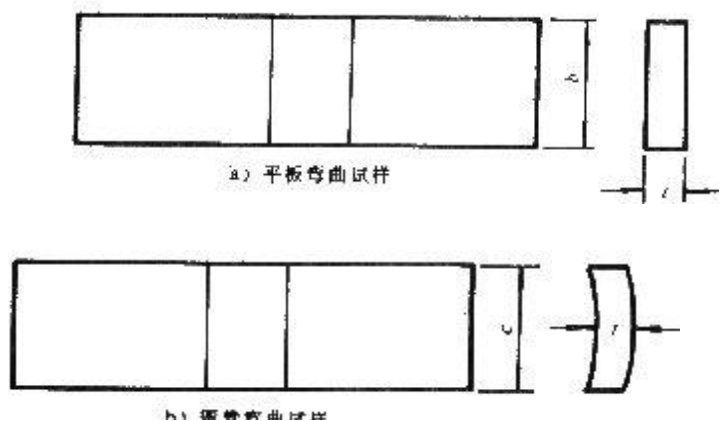


a) $25 < t \leq 50$

b) > 50

图1.2.3.2(2)

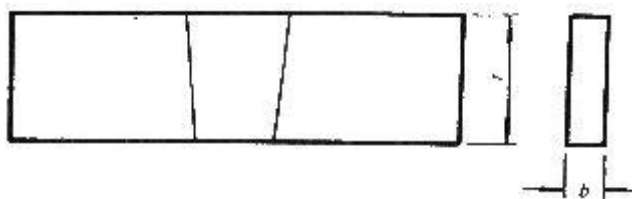
1.2.3.3 对接焊缝正反弯曲试样的形状和尺寸应按图1.2.3.3所示。焊缝的上下表面应锉平、磨光或机加工至与母材表面齐平。试样的受拉表面允许两边缘倒角 $1 \sim 2$ mm。管试样可将受压表面机加工成为一个平面。



t —试样厚度，应为母材厚度，若厚度超过25mm，可将试样的受压面一侧减薄至25mm，对于铝合金应取母材的全厚度； b —板试样宽度，取30mm； c —管试样宽度，取 $t+0.1d$ ，但不小于10mm，也不大于30mm。式中 d 为管试件的外径，mm。

图1.2.3.3

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



t —试板厚度，mm。当 t 大于40mm时，可分为数个20mm到40mm的试样分别进行试验；
 b —试样厚度，取为10mm。

图1.2.3.4

1.2.3.5 焊缝冲击试样的形状和尺寸应按本规范第1篇对夏比V型缺口冲击试样的规定制备，V型缺口的位置应符合本篇各章中的有关规定。

1.2.3.6 断面宏观检查试样是将试件垂直于焊缝截断，再将接头处的断面磨平、抛光，经酸洗后进行检查。

1.2.3.7 硬度试验的试样可按本节1.2.3.6宏观检查试样截取的方法截取，并将接头处断面磨平、抛光，进行硬度测定。

1.2.4 试验

1.2.4.1 拉伸试验和冲击试验应按本规范第1篇第2章第2节和第3节的有关规定进行。

1.2.4.2 弯曲试验是在常温条件下，把一个规定直径的压头对准焊缝中心线，通过该压头将试样压弯。正、反或侧弯试验是将焊缝的正、反或侧面分别置于受拉位置进行试验。钢材弯曲试验的压头直径和试样的弯曲角度，除另有规定外，应符合表1.2.4.2的规定。

对于形变硬化交货的A1Mg4.5和其他印.2大于220N/mm²的铝合金，压头直径取 $6t$ 。其他铝合金压头直径取 $4t$ 。弯曲角度为180°。

钢材弯曲试验要求

表1.2.4.2

| 试验类别 | 试验材料强度(N/mm ²) | 压头直径 d | 弯曲角度 a |
|------|----------------------------|----------|----------|
|------|----------------------------|----------|----------|

| | | | |
|----------|---------------------------|------|------|
| 焊接材料认可试验 | $\sigma_s \leq 400$ | $3t$ | 120° |
| | $400 < \sigma_s \leq 500$ | $4t$ | |
| | $500 < \sigma_s \leq 690$ | $5t$ | |
| 焊接工艺认可试验 | $\sigma_s < 400$ | $4t$ | 180° |
| | $400 < \sigma_s \leq 500$ | $5t$ | |
| | $500 < \sigma_s \leq 690$ | $6t$ | |

注：① 表中 t 为试样的厚度。

1.2.4.3 硬度试验是用维氏硬度计，沿图1.2.4.3所示的线①、线②位置测定焊缝的硬度，测点的间距为0.5~2mm。对于双面焊，必要时可增测线③处的硬度。

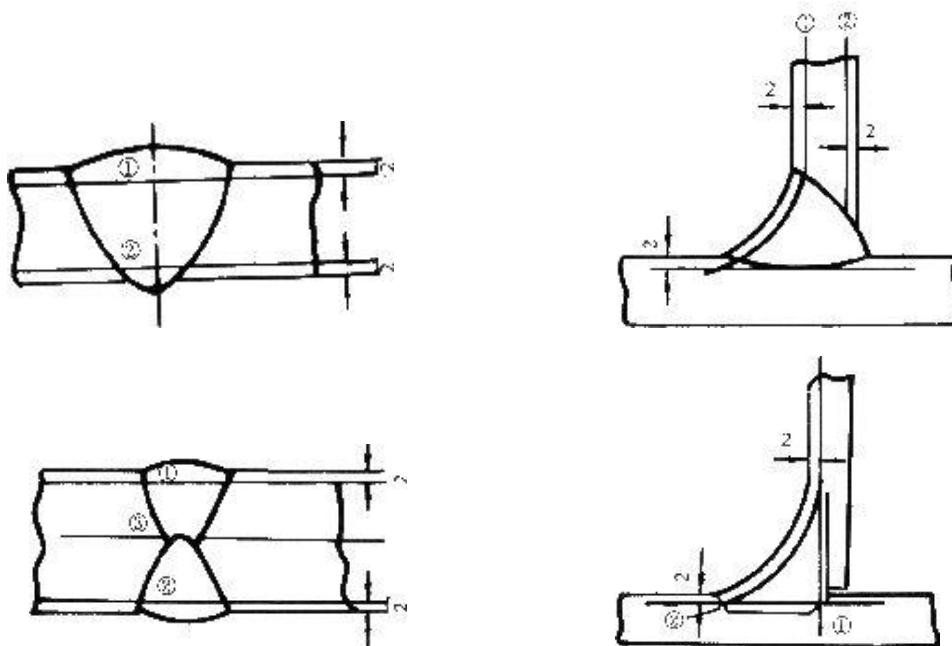


图 1.2.4.3

1.2.4.4 角焊缝破断试验是按图1.2.4.4所示，在腹板上加力，使焊缝根部受力、开裂。

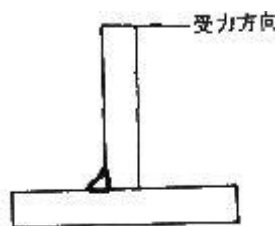


图1.2.4.4

1.2.5 验收与复试

1.2.5.1 各项试验结果应符合本篇各章的有关规定。冲击试验是以1组3个试样试验值的算术平均值(允许其中有1个试验值低于规定的平均值，但不应低于规定平均值的70%)进行验收。

1.2.5.2 除冲击试验外，当任一试样的试验结果不合格时，可在原试件上或在用同一批试验材料以同样工艺重新焊制的试件上，对不合格项目制取双倍试样进行复试，复试结果应全部合格。

1.2.5.3 当1组3个冲击试样的试验结果不合格时，若低于规定平均值的试样不超过2个，且其中低于规定平均值70%的试样不超过1个，则允许再取1组3个冲击试样进行复试。前后6个试样的

算术平均值应符合规定平均值的要求，且低于规定平均值的试样不应超过2个，其中低于规定平均值70%的试样不超过1个，则复试合格。

如上述复试结果仍不合格，则经本社验船师同意，可重新焊制试件，再进行一次全部规定项目的试验。

1.2.5.4 所有试验结果应全部记录在试验报告内。

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 本章规定适用于本规范所规定的金属结构焊接所使用的焊条、焊丝和焊剂等焊接材料。
- 2.1.1.2 本章规定以外的焊接材料，应将有关的技术资料提交本社批准后方可使用。

2.1.2 工厂认可

2.1.2.1 焊接材料应由本社认可的工厂进行制造，其制造焊接材料所用的钢材亦应由本社认可的钢厂提供。

2.1.2.2 焊接材料制造厂应具有良好的生产条件、成熟的制造工艺和完善的质量管理体系，以确保产品质量稳定、可靠。

2.1.2.3 船舶和海上及产品制造厂应采用本社认可的焊接材料。

2.1.3 认可试验

2.1.3.1 各种焊接材料，应按本章各节的有关规定进行认可试验。必要时，本社验船师可根据实际情况增加认可试验的项目。

2.1.3.2 认可试验的试样、试验要求及复试条件，除本章另有规定外，应符合本篇第1章第2节的有关规定。

2.1.3.3 认可试验时，试样的制备和试验均应在本社验船师在场时进行。试件焊后建议进行无损检测，以确定焊缝中不存在影响试验准确性的缺陷。除熔敷金属的纵向拉伸试样外，试样焊后不得进行任何热处理。低氢焊条熔敷金属纵向拉伸试样不得进行脱氢热处理。

2.1.3.4 焊接材料制造厂应向本社验船师提交焊接材料的试验报告，试验报告应包括下列内容：

- (1) 试验日期、环境条件、焊接材料预处理状态；
- (2) 焊接材料认可等级、牌号、型号、尺寸；
- (3) 试板钢种、等级、力学性能、化学成分(包括细化晶粒元素)；
- (4) 焊接位置；
- (5) 焊接采用的电流、电压、焊接速度和设备型号；
- (6) 各项试验的结果。

2.1.3.5 各级焊接材料认可试验用的试板可根据表2.1.3.5选取。允许选取韧性级别低于表中要求的材料。结构钢焊接材料熔敷金属试验用试板可以选用任何级别结构钢。当一般结构钢用于含镍低合金结构钢焊接材料熔敷金属试验时，建议在坡口区域用所试的焊接材料先堆焊一至二层，再装配试件。

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

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

认可试验用钢材级别

表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 |
|--------|---------|--------|---------------|
| 1 | A | 5Y50 | F50 |
| 2 | B、D | 3Y55 | D55 |
| 3 | E | 4Y55 | E55 |
| 4 | F | 5Y55 | F55 |
| 1Y | A32、A36 | 3Y62 | D62 |
| 2Y | D32、D36 | 4Y62 | E62 |
| 3Y | E32、E36 | 5Y62 | F62 |
| 4Y | F32、F36 | 3Y69 | D69 |
| 2Y40 | D40 | 4Y69 | E69 |
| 3Y40 | E40 | 5Y69 | F69 |
| 4Y40 | F40 | 0.5Ni | 0.5Ni |
| 3Y42 | D42 | 1.5Ni | 1.5Ni |
| 4Y42 | B42 | 3.5Ni | 3.5Ni |
| 5Y42 | F42 | 5Ni | 5Ni |
| 3Y46 | D46 | 9Ni | 9Ni |
| 4Y46 | E46 | AS1-A | 00Cr18Ni10 |
| 5Y46 | F46 | AS1-B | 00Cr17Ni14Mo3 |
| 3Y50 | D50 | AS2-A | 0Cr18Ni9Ti |
| 4Y50 | E50 | AS2-B | 1Cr18Ni11Nb |

2.1.4 认可保持

2.1.4.1 经认可的焊接材料应每年进行1次年度检查和试验，以继续保持该焊接材料的认可。

2.1.4.2 焊接材料制造厂若对已认可的焊接材料作制造工艺上的改动，应通知本社。本社将根据变动的情况确定认可是否继续保持或重新做认可试验。

2.1.4.3 在下列情况下，本社将通知焊接材料制造厂，撤消对其产品的认可：

- (1) 年度检查和试验不合格者；
- (2) 无特殊理由而未进行年度检查和试验者；
- (3) 抽样检查表明产品质量比认可时有明显下降以至不合格者。

2.1.5 标志和说明书

2.1.5.1 凡经本社认可的焊接材料，应在每盒或每包上明显地标上本社认可的标志。

2.1.5.2 对已认可的焊接材料应在每一包装盒中附上1份使用说明书。该说明书应包括制造厂对该焊接材料所推荐的贮存、焙烘和使用的参数。

第2节 焊接材料的力学性能

2.2.1 一般要求

2.2.1.1 除本节规定外，焊接材料尚应根据其不同用途分别按本章有关规定进行认可试验和年度试验。

2.2.2 结构钢焊接材料

2.2.2.1 结构钢焊接材料按其屈服点可以分为9个等级；各个等级又按其缺口冲击韧性可进一步划分为若干个级别。各级焊接材料的表达方式见表2.1.3.5所示；冲击韧性以数字1至5表示，高强度焊接材料以字母Y表示；若焊接材料的屈服点大于400N/mm²，则在字母Y后接以数字40至69。含镍低合金钢焊接材料则以其钢中镍合金的含量分为0.5Ni、1.5Ni、3.5Ni、5Ni和9Ni共5个级别。

2.2.2.2 对每一等级的结构钢焊接材料，凡符合较高韧性级别要求者，可以认为该材料也

符合较低级别的要求。

2.2.2.3 结构钢焊接材料的力学性能应符合表2.2.2.3的要求。

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、4 | 1Y、2Y 3Y、4Y ^① | 2Y40、 3Y40、 4Y40、 5Y40 | 3Y42 4Y42 5Y42 | 3Y46 4Y46 5Y46 | 3Y50 4Y50 5Y50 | 3Y55 4Y55 5Y55 | 3Y62 4Y62 5Y62 | 3Y69 4Y69 5Y69 | 0.5Ni | 1.5Ni | 3.5 Ni | 5 Ni | 9Ni | | |
|----------------------------|---|--|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|-------|--------|------|-----|--|--|
| 熔 敷 金 属 试 验 | 屈服点 ^⑦ σ_s (N/mm ²) | ≥306 | ≥375 | ≥400 | ≥420 | ≥460 | ≥5(30) | ≥550 | ≥620 | ≥690 | ≥375 | | | | | | |
| | 抗拉强度 ^⑧ σ_b (N/mm ²) | 400-560 | 490-660 | 510-690 | 530-680 | 570-720 | 610-770 | 670-830 | 720-890 | 790-940 | ≥460 | ≥420 | ≥500 | ≥600 | | | |
| | 伸长率 ^⑧ δ_5 (%) | ≥22 | | | ≥20 | | | ≥18 | | | ≥22 | | ≥25 | | | | |
| | 夏比V型缺 口冲击试 验 | 试验温度(°C) | ② | | | | | | | | | | | | | | |
| | 平均冲击功 ^③ (J) | ≥47 ^③ | | | ≥47 | | | ≥50 | ≥55 | ≥62 | ≥69 | ≥34 | | | | | |
| 对 接 焊 接 试 验 | 接头抗拉强度 ^⑧ (N/mm ²) | 1>400 | >490 | ≥510 | ≥530 | ≥570 | ≥610 | ≥670 | ≥720 | ≥770 | ≥490 | ≥450 | ≥540 | ≥640 | | | |
| | 夏比V型缺 口冲击试 验 | 试验温度(°C) | ② | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 平均冲击功 ^③ (J) | ≥47 ^④ | | | ≥47 | | | ≥50 | ≥55 | ≥62 | ≥69 | ≥34 | | | | |
| | 弯曲试验 | 试验后。试样表面上出现的裂纹或其他缺陷长度应不大于3mm。 ^⑤ | | | | | | | | | | | | | | | |

注：① 手工焊条应符合2Y级以上要求。

② 1、1Y级焊接材料的冲击试验温度为20℃；

2、2Y、2Y40级焊接材料的冲击试验温度为0℃；

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

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

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

③ 自动焊熔敷金属冲击试验的平均冲击功，对 $\sigma_s < 4.00 \text{ N/mm}^2$ 的焊接材料应不低于34J；对 $\sigma_s \geq 400 \text{ N/mm}^2$ 的焊接材料应不低于41J。

④ 立焊及自动焊对接接头冲击试验的平均冲击功，对 $\sigma_s < 400 \text{ N/mm}^2$ 的焊接材料应不低于34J；对 $\sigma_s \geq 400 \text{ N/mm}^2$ 的焊接材料应不低于41J。

⑤ 除5Ni和9Ni钢试样用直径为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 $\sigma_{p0.2}$ 。

⑧ 当抗拉强度超过上限时，由本社另行考虑。

2.2.2.4 对屈服点大于或等于420N/mm²的焊接材料，若弯曲试验不能符合表2.2.2.3要求，而在弯曲试样标距长度L₀内的伸长率符合熔敷金属试验的伸长率要求时，可认为试验合格。弯曲试样的标距L₀见图2.2.2.4所示。

2.2.3 奥氏体不锈钢用焊接材料

2.2.3.1 奥氏体不锈钢焊接材料根据其钢中主要合金元素成份分成4个级别。各个级别分别以AS1-A、AS1-B、AS1-B、AS2-B表示。

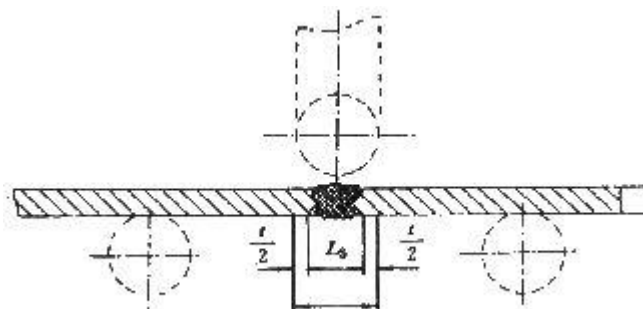


图 2.2.2.4

2.2.3.2 各级奥氏体不锈钢焊接材料的力学性能应符合表2.2.3.2的规定。

奥氏体不锈钢焊接材料的力学性能

表2.2.3.2

| 焊接材料级别 | | AS1 - A | AS1 - B | AS2 - A | AS2 - B | |
|-------------|----------------------------------|----------------------|-------------------------------|-----------|------------|--|
| 熔敷金属试验 | 规定非比例伸长应力 (N/mm^2) | $\sigma_{p0.2}$ ① | ≥ 270 | | ≥ 290 | |
| | | $\sigma_{p0.1}$ | ≥ 310 | | ≥ 330 | |
| | 抗拉强度 σ_b (N/mm^2) | | ≥ 500 | | ≥ 550 | |
| | 伸长率 δ_s (%) | | ≥ 25 | ≥ 22 | | |
| | 夏比V型缺口冲击试验 ② | 试验温度 ($^{\circ}C$) | -196 | | | |
| 平均冲击功 ③ (J) | | ≥ 29 | | | | |
| 对接焊缝试验 | 接头抗拉强度 σ_b % (N/mm^2) | | ≥ 440 | | ≥ 490 | |
| | 夏比V型缺口冲击试验 ② | 试验温度 ($^{\circ}C$) | -196 | | | |
| | | 平均冲击功 ③ (J) | ≥ 27 | | | |
| | 弯曲试验 | | 试验后。试样表面上出现的裂纹或其他缺陷长度应不大于3mm。 | | | |

注：① 表中规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 值，除另有协议外，一般不作验收依据；

② 除用于深冷条件外，奥氏体不锈钢通常不必进行冲击试验；
冲击试验的个别值应不低于规定值的70%。

第3节 电弧焊焊条

2.3.1 一般要求

2.3.1.1 凡符合本章第2节力学性能要求，并经测氢试验符合本节2.3.6.6要求的焊条，在其级别符号后加缀“H15”、“H10”或“H5”，以表示其为符合测氢要求的低氢焊条。不同级别焊条的扩散氢含量至少应符合表2.3.1.1的要求。

焊接材料的含氢量要求

表2.3.1.1

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

2.3.1.2 具有深熔特性的结构钢焊条，在其级别符号后加缀“DP”，以示区别。仅1级焊条可认可为深熔焊条。

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

2.3.2 试验项目

2.3.2.1 所有焊条均应进行熔敷金属试验。

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

若焊条同时满足平焊和垂直上行焊要求，则可认为其已满足横焊要求。全位置焊条应进行平、立和仰3种位置的对接焊试验。

2.3.2.3 具有角焊性能的普通焊条除本节2.3.2.1和2.3.2.2要求外，还应加做平角焊位置的角接焊试验。对仅作角焊用的焊条除进行熔敷金属试验外，还应按焊条制造厂推荐的焊接位置(平、立和仰焊位置)进行角接焊试验。

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

2.3.2.5 兼作深熔焊条的1级普通焊条，在符合1级焊条要求后，还应增加平焊位置的深熔对接焊和深熔角接焊试验。仅作平焊对接和横焊角接认可的深熔焊条，除按本节2.3.3进行熔敷金属试验外，还应按2.3.7和2.3.8的规定进行深熔焊试验。

2.3.3 熔敷金属试验

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

2.3.3.2 每一熔敷金属试验的试件应制备2块试板和1块垫板。试板的厚度为20mm，宽度不小于100mm，长度约300mm，开10°的斜角。垫板的厚度为10mm，宽度为30mm，与试板等长。

2.3.3.3 试件应按节图2.3.3.3组装。按常规工艺以单道焊或多道焊的方法在平焊位置焊接。多道焊时，每一焊道的焊接方向应在试件端部改变，每一焊道的厚度应为2—4mm，每焊完一道后，除去焊渣，将试板置于静止的空气中待焊缝冷却到250℃以下，但不必低于100℃(温度在焊缝中心线的上表面处测量)，然后再焊下一焊道。

2.3.3.4 按图2.3.3.3所示，从试件上截取1个纵向拉伸试样和1组3个V型缺口冲击试样，进行拉伸和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关规定。纵向拉伸试样的轴线应尽可能位于试件焊缝的中心线上，并在试件厚度的中间处。V型缺口冲击试样的轴线应位于试件厚度的中间，且与焊缝中心线垂直，V型缺口应位于焊缝中心线上，并与试板表面相垂直。

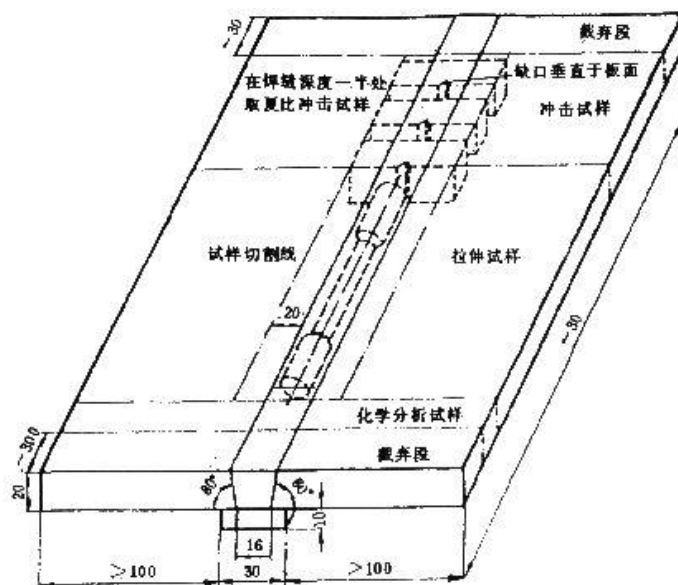


图2.3.3.3

2.3.3.5 除本节2.3.3.3规定外，应对每一试件进行熔敷金属化学成份分析。分析报告应提交本社。报告中应包括所有重要的合金元素的含量。

2.3.4 对接焊试验

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

- (1) 平焊：第1道用直径4mm的焊条，其余各道(最后两层除外)用直径5mm的焊条，最后两层用制造厂生产的同型号焊条中最大直径的焊条；
- (2) 横焊：第1道用直径4mm或5mm的焊条，其余各道均用直径5mm的焊条；
- (3) 立向上焊和仰焊：第一道用直径3.2mm的焊条，其余各道用直径4mm(如制造厂推荐时，可用直径5mm)的焊条；
- (4) 立向下焊：采用制造厂推荐的焊条规格。

若同一型号焊条直径只有1种或2种规格，则以上各种焊接位置中，第1道用较小直径的焊条，其余各道用较大直径焊条。

2.3.4.2 若焊条仅用于平焊位置对接焊，则除本节2.3.4.1(1)规定焊制1个试件外，还应焊制1个平焊位置的对接焊试件。试件第1道用直径4mm焊条，第2道用直径5mm或6mm的焊条，其余各道以制造厂生产的同牌号焊条中最大直径的焊条焊制。

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

2.3.4.4 试件按图2.3.4.4装配、焊制。焊接的道间温度应不高于250℃，也不必低于100℃(温度在焊缝中心线的上表面处测量)。所有对接焊试件均应清根，然后用直径4mm或该型号中直径较小的焊条，按原焊接位置进行封底焊。

为使焊后试件平直，试件可在焊前预置反变形。

2.3.4.5 按图2.3.4.4所示截取1个横向拉伸试样，2个弯曲试样和1组3个冲击试样(仰焊位置的试样可免做冲击试验)，进行拉伸、正反弯曲和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。

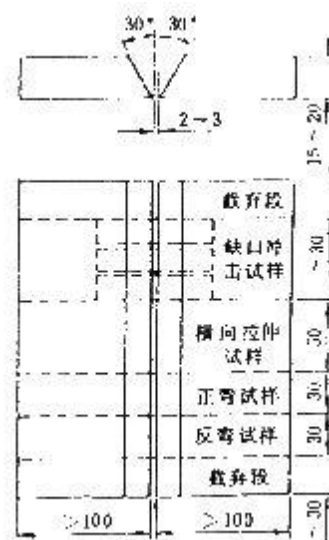


图2.3.4.4

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。焊脚尺寸通常根据试验时所用焊条的直径和焊接电流确定。

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

2.3.5.3 按图2.3.5.3(1)所示，截取3个长度为25mm的断面宏观检查试样。检验焊缝的熔

合情况，是否存在裂纹、过多的气孔和夹渣等缺陷。并将此3个断面宏观检查试样的端面磨光，按图2.3.5.3(2)所示作硬度测试，以测定焊接接头的硬度。在余下的2个分段中，取1个分段将第1侧的角焊缝凿槽或刨尽，另1个分段将第2侧的角焊缝凿槽或刨尽，然后按本篇1.2.4.4进行角焊缝破断试验。其断面应显示出熔合良好，无裂纹和疏松等缺陷。

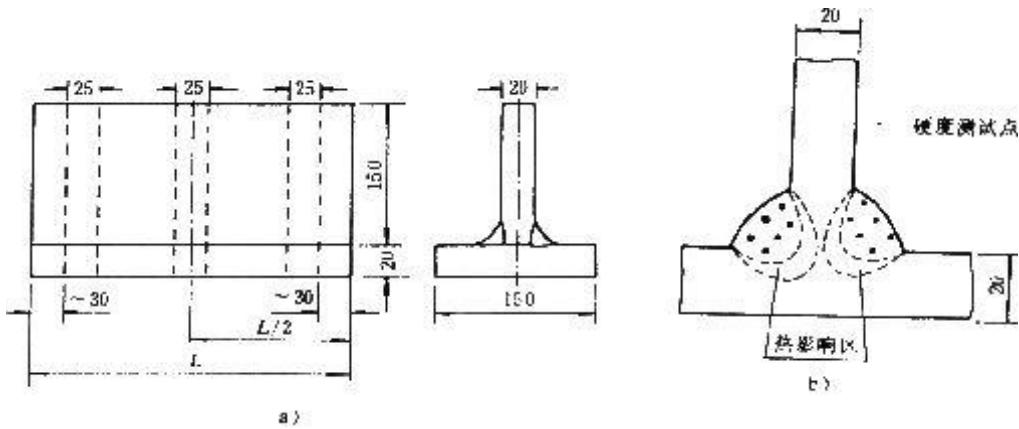


图2.3.5.3(1)

图2.3.5.3(2)

2.3.6 测氢试验

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

2.3.6.2 焊前，试板应予以清洁并称重，重量精确到0.1g。

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

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

2.3.6.5 试样应在温度为45℃的甘油中浸放48h，然后取出，再分别在酒精和水中清洗干净，待干燥后称重(精确到0.1g)，以确定熔敷金属的重量。

应仔细测定被收集的氢气的体积，精度应达到0.05cm³，然后将测得的体积换算成标准状态(0℃，101.325kPa)下的体积。

上述氢含量的测定方法也可用ISO-3690规定的水银测定法代替。

2.3.6.6 4个试件测得的每100克熔敷金属的扩散氢平均含量应符合表2.3.6.6的规定：

扩散氢平均含量

表2.3.6.6

| 含氢量等级 | 水银法 | 甘油法 |
|-------|-------------------|-------------------|
| H15 | 15cm ³ | 10cm ³ |
| H10 | 10cm ³ | 5cm ³ |
| H5 | 5cm ³ | |

2.3.7 深熔对接焊试验

2.3.7.1 深熔对接焊的试件应制备2块试板。试板的厚度为焊条直径的2倍另加2mm，板宽不小于100mm，长度根据试样尺寸与数量而定。试板对接接头边缘不开坡口，但应加工成直角边。

2.3.7.2 试板应装配齐平，定位后装配间隙不大于0.25mm。试件应采用制造厂生产的最大直径的焊条，并按制造厂推荐的电流与工艺方法在平焊位置进行双面单道对接焊(不清根)。

2.3.7.3 每一试件应按图2.3.7.3所示截取2个横向拉伸试样、2个弯曲试样和1组3个冲击试样(缺口位于焊缝中心)进行拉伸、弯曲和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。

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

2.3.8 深熔角接焊试验

2.3.8.1 深熔角接焊的试件应制备2块试板。试板厚度约为12.5mm,宽度约为100mm,长度约为180mm。立板的接头边缘应机加工成直角边。

2.3.8.2 试件按“T”型装配,装配间隙应不大于0.25mm,如图2.3.8.2所示。试件的一侧用直径4mm的焊条,另一侧用制造厂生产的最大直径的焊条,按制造厂推荐的焊接电流,在试件的每一侧分别焊制一道长度不小于160mm的焊道。



图2.3.7.3

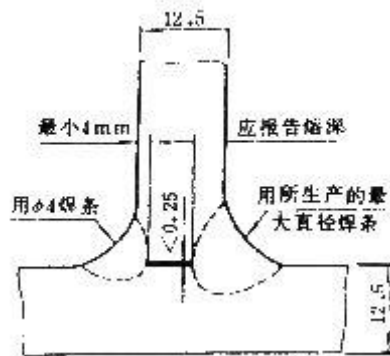


图2.3.8.2

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

2.3.9 年度检查

2.3.9.1 凡得到本社认可的焊条,通常每年应由验船师到场进行年度检查和试验。

2.3.9.2 焊条的年度试验应包括下列内容:

- (1) 普通焊条应按本节2.3.3的规定,焊制2个试件,进行熔敷金属的各项试验。若制造厂仅生产1种规格的焊条,则焊制1个试件即可;
- (2) 凡认可作深熔焊的焊条,应按本节2.3.7的规定,焊制1个试件,进行深熔对接焊的各项试验;
- (3) 凡认可兼作深熔焊的普通焊条,应按本条(1)和(2)的规定焊制试件,进行各项性能试验;
- (4) 凡认可作重力焊的焊条,应参照本节2.3.3的规定,用制造厂推荐的工具焊制1个试件,进行熔敷金属的各项试验。

第4节 埋弧自动焊的焊丝-焊剂

2.4.1 一般要求

- 2.4.1.1 对用于双面单道焊工艺的焊丝-焊剂，在其级别符号后面加缀字母“T”。
- 2.4.1.2 对用于多道焊工艺的焊丝-焊剂，在其级别符号后面加缀字母“M”。
- 2.4.1.3 对兼用于多道焊和双面单道焊工艺的焊丝焊剂，在其级别符号后面加缀字母“TM”。

2.4.2 试验项目

- 2.4.2.1 对用于多道焊工艺的焊丝-焊剂应进行熔敷金属试验和对接焊试验。
- 2.4.2.2 对用于双面单道焊工艺的焊丝-焊剂应进行双面单道焊工艺对接焊试验。
- 2.4.2.3 对兼用于多道焊和双面单道焊工艺的焊丝-焊剂应对每一种工艺都进行试验。
- 2.4.2.4 对用于多丝埋弧焊的焊丝-焊剂，要单独进行认可试验。通常可按本节要求进行。
- 2.4.2.5 对用于屈服点大于或等于420N/mm²淬火加回火高强度钢的焊接材料，应按本社认可的方法进行测氢试验。其结果应符合表2.3.1.1的要求。

2.4.3 多道焊工艺熔敷金属试验

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

2.4.3.2 试件应按图2.4.3.2所示装配，并在平焊位置进行焊接。每一焊道的焊接方向应从试板的一端开始改变方向。每焊一道后，除去焊剂和熔渣，并将试板放置在静止空气中使焊缝冷却到250℃以下，但不必低于100℃(温度在焊缝中心处的表面上测量)，再焊下一道。每一焊道的厚度应不小于焊丝直径，且至少为4mm。

2.4.3.3 按图2.4.3.2所示，从试件上截取2个纵向拉伸试样和1组3个V型缺口冲击试样，进行拉伸和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。试样的截取位置与本章7.3.3.4的规定相同。每一试件的焊缝熔敷金属的化学成分报告(包括所有重要合金元素的成分)应提交本社审查。

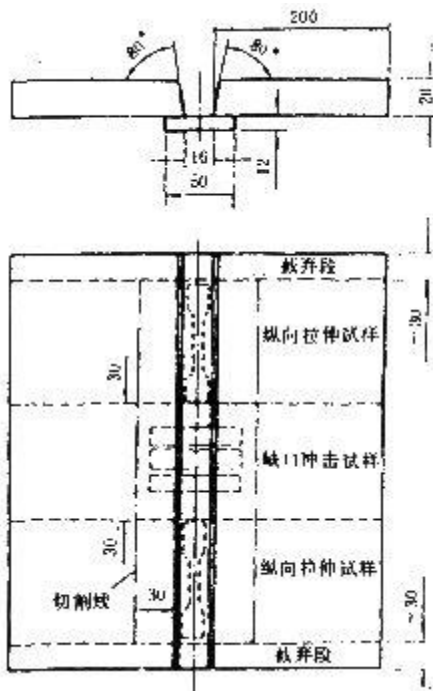


图2.4.3.2

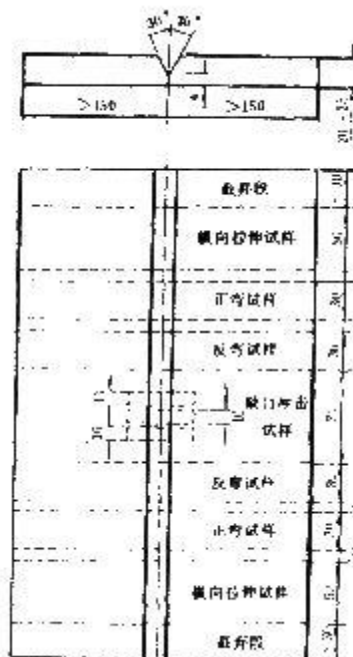


图2.4.4.3

2.4.4 多道焊工艺对接焊试验

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

2.4.4.2 试件以多道焊工艺在平焊位置上进行焊接。焊接条件同本节2.4.3.2。一面焊完后，应对焊缝清根，直至显露无缺陷金属后，再在平焊位置进行封底焊。

2.4.4.3 应按图2.4.4.3所示，从试件上截取2个横向拉伸试样、4个弯曲试样和1组3个V型缺口位于焊缝中心的冲击试样，分别进行拉伸、正反弯曲和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。

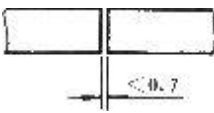
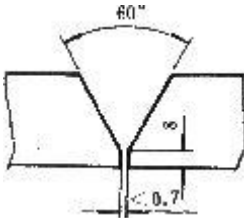
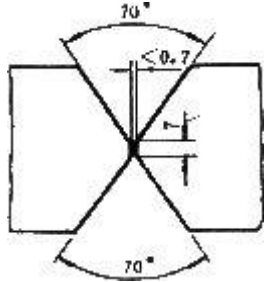
2.4.5 双面单道焊工艺对接焊试验

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

2.4.5.2 与最大焊丝直径配合的板厚和试件坡口形式应符合表2.4.5.2的规定。坡口尺寸允许存在较小的偏差。

双面单道焊对接试板的板厚与坡口型式

表2.4.5.2

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

2.4.5.3 每个试件的两面各焊一条焊道。第一面焊完后，除去焊剂和熔渣，并将试件置于静止空气中冷却，待焊缝冷却到100℃以下(温度在焊缝表面中心处测量)再焊第二面焊道。

2.4.5.4 按图2.4.5.4(1)所示，从每个试件上截取2个横向拉伸试样、2个弯曲试样和1组3个V型缺口冲击试样，冲击试样的截取位置见图2.4.5.4(2)所示。对上述试样分别进行拉伸、弯曲和冲击试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。同时应将试件两截弃段的断面磨光腐蚀进行宏观检查。

2.4.5.5 若焊接材料仅适用于双面单道焊工艺时，除本节2.4.5.4所规定的试样外，还应在较厚的试件中截取1个纵向拉伸试样和熔敷金属化学成份分析试样，进行熔敷金属的拉伸试验和化学成份分析。纵向拉伸试样的轴线应与焊缝中心线相重合，并位于第2侧焊缝表面下方约7mm处。化学成份分析报告中应包括所有重要合金元素的成份。

2.4.6 年度检查

2.4.6.1 凡得到本社认可的焊丝-焊剂，通常每年应由验船师到场进行年度检查和试验。

2.4.6.2 焊丝-焊剂的年度试验应包括下列内容：

- (1) 对多道焊的焊丝-焊剂，应焊制熔敷金属试件1个；
- (2) 对双面单道焊的焊丝-焊剂，应焊制对接焊试件1个，试件板厚至少为20mm。

2.4.6.3 熔敷金属试件应按本节2.4.3的规定制备和试验，但只需1个纵向拉伸试样和1组3

个

V型缺口冲击试样。

2.4.6.4 对接焊试验应按本节2.4.5的规定焊制1个试件(厚度大于20mm),从试件上仅截取1个横向拉伸试样、2个弯曲试样和1组3个V型缺口冲击试样进行试验。如该焊丝-焊剂仅作双面单道焊认可时,则应增加1个纵向拉伸试样。

2.4.6.5 若焊丝-焊剂既适用于一般强度钢又适用于高强度钢时,则本节2.4.6.2(2)中所述的对接焊试件应采用高强度钢焊制。

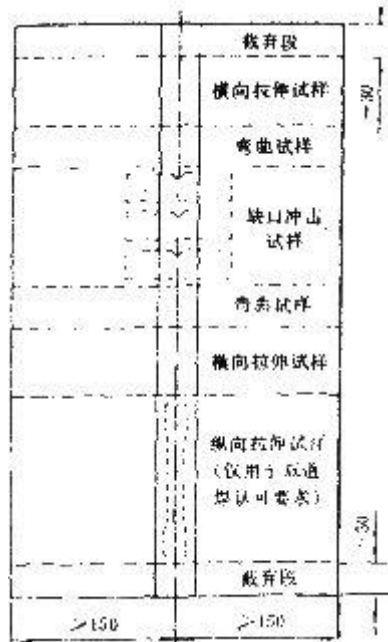


图2.4.5.4(1)

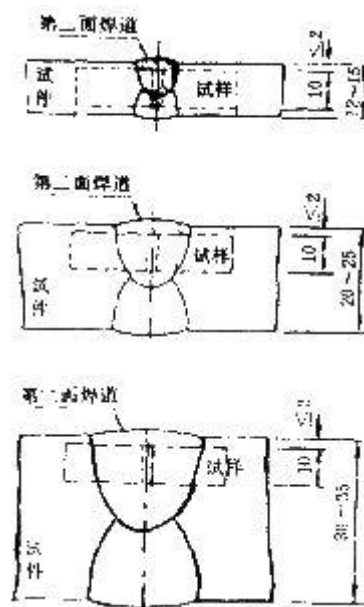


图2.4.5.4(2)

第5节 半自动、自动焊的焊丝与焊丝-气体

2.5.1 一般要求

2.5.1.1 各种焊丝与焊丝-气体配合可按工艺适用性作如下划分:

- (1) 对用于多道半自动焊的焊丝与焊丝-气体配合,应在其级别符号后面加缀字母“S”;
- (2) 对用于多道自动焊的焊丝与焊丝-气体配合,应在其级别符号后面加缀字母“M”;
- (3) 对用于双面单道自动焊的焊丝与焊丝-气体配合,应在其级别符号后面加缀字母“T”;
- (4) 对兼用于双面单道和多道焊的焊丝与焊丝-气体配合,应在其级别符号后面加缀字母“TM”;
- (5) 对兼用于半自动焊和自动焊的焊丝与焊丝-气体配合,应在其级别符号后面加缀字母“SM”。

2.5.1.2 实芯焊丝或药芯焊丝应按本社认可的方法进行熔敷金属的测氢试验,其结果应符合本章表2.3.6.6的要求。符合低氢要求的焊接材料可在其等级符号后在加缀相应的低氢等级符号。各级焊接材料的低氢要求可参见本章表2.3.1.1。

2.5.1.3 认可试验所采用的保护气体的成分应在试验报告中列出。保护气体的成分按表2.5.1.3规定分组。不同组别的保护气体应各自分别进行认可试验。

保护气体的成分

表2.5.1.3

| 组别 | 气体成分(体积含量%) | | | |
|-----|-------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| | 氩气(Ar) | 二氧化碳(CO ₂) | 氧气(O ₂) | 氢气(H ₂) |
| M11 | 余量①② | 0~5 | — | 0~5 |
| M12 | 余量①② | 0~5 | — | — |
| M13 | 余量①② | — | 0~3 | — |
| M14 | 余量①② | 0~5 | 0~3 | — |
| M21 | 余量①② | 5~25 | — | — |
| M22 | 余量①② | — | 3~10 | — |
| M23 | 余量①② | 5~25 | 0~8 | — |
| M31 | 余量①② | 25—50 | | |
| M32 | 余量①② | — | 10~15 | — |
| M33 | 余量①② | 5~50 | 8~15 | — |
| C1 | — | 100 | — | — |
| C2 | — | 余量 | 0~30 | — |

注：① 其中氩气含量的95%可由氦气所代替。

② 使用氦气时，其含量应大于或等于氩的含量。

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

2.5.2 焊丝与焊丝-气体配合的试验项目

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

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

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

2.5.3 多道半自动焊熔敷金属试验

2.5.3.1 除按本节2.5.3.2的要求焊制2个试件外，多道半自动焊熔敷金属试验应按本章2.3.3的规定进行。

2.5.3.2 1个熔敷金属试件应采用制造厂生产的直径最小的焊丝焊制。另1个试件应采用制造厂生产的直径最大的焊丝焊制。若制造厂只生产1种直径的焊丝，则只需要用该直径焊丝焊制一个试件。焊接时每层焊道的厚度应在2~6mm之间。

2.5.4 多道半自动焊对接焊试验

2.5.4.1 认可为多道半自动焊的焊丝与焊丝-气体配合应根据制造厂推荐的各种位置(平、横、立、仰焊)各焊1个对接焊试件。除按本节2.5.4.2的要求进行试件焊接外，多道半自动对接焊试验应按本章2.3.4的规定进行。

2.5.4.2 平焊位置试件第1条焊道应采用制造厂所生产的最小直径的焊丝焊制；其余各条焊道应采用制造厂生产的最大直径的焊丝进行焊接。若仅认可用于平焊位置，则应采用不同于上述直径的焊丝增焊1个对接焊试件。

其他位置所用的焊丝的直径为：第1条焊道用制造厂所生产的最小直径的焊丝，其余各条焊道用该厂对该位置所推荐的直径最大的焊丝。

2.5.5 多道半自动角接焊试验

2.5.5.1 除焊缝两侧应分别以制造厂生产的最小和最大直径焊丝焊制试件以外，多道半自动角接焊试验应按本章2.3.5的规定进行。

2.5.6 多道自动焊熔敷金属试验和对接焊试验

2.5.6.1 除试件的每层焊道厚度应不小于3mm外，多道自动焊熔敷金属试验应按本章2.4.3的规定进行。多道自动焊对接焊试验应按本章2.4.4的规定进行。

2.5.7 双面单道自动焊对搔焊试验

2.5.7.1 双面单道自动焊对接焊试验除按本节2.5.7.2-2.5.7.4的规定焊制2个试件外，应符合本章2.4.5的规定。

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

2.5.7.3 试件坡口应按图2.5.7.3的要求制备。若制造厂有要求，可允许有少量变动。如试件板厚大于25mm，应将坡口尺寸记入试验报告。

2.5.7.4 焊丝直径可采用制造厂推荐的直径，并记入报告。

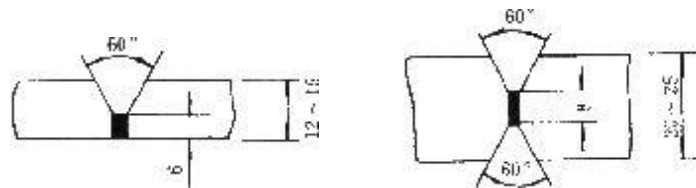


图2.5.7.3

2.5.8 年度检查

2.5.8.1 凡得到本社认可的半自动或自动焊的焊丝与焊丝-气体配合，通常每年应由验船师到场进行年度检查和试验。

2.5.8.2 焊丝与焊丝-气体配合的年度试验应包括下列内容：

- (1) 对认可为多道半自动焊或作为多道半自动焊和多道自动焊兼用的焊丝与焊丝-气体配合，应按本节2.5.3的规定焊制多道半自动焊熔敷金属试件1个，并进行熔敷金属的各项试验；
- (2) 对仅认可为多道自动焊的焊丝与焊丝-气体配合，应按本节2.5.6的规定焊制多道自动焊熔敷金属试件1个，并进行熔敷金属的各项试验。但纵向拉伸试样可仅取1个；
- (3) 对认可为双面单道自动焊的焊丝与焊丝-气体配合，应按本节2.5.7的要求焊制试板厚度为20~25mm的试件1个，进行对接焊的各项试验，但横向拉伸试样可仅取1个。

第6节 电渣焊或气电立焊的焊接材料

2.6.1 一般要求

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

2.6.1.2 1Y、2Y、3Y、4Y、2Y40、3Y40和4Y40级的电渣焊或气电立焊用焊接材料可以仅对特定的高强度钢作认可。考虑到所含细化晶粒元素的影响，若要求对焊接材料作一般性认可时，则应使用铌处理钢进行认可试验。

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

2.6.2 对接焊试验

2.6.2.1 对接焊试验应焊制2个试件，1个试件的试板厚度为20~25mm，另1个试件的试板厚度为35~40mm，每块试板的宽度应不小于150mm，长度应足够提供截取本节2.6.2.3所规定数量和尺寸的试样。

2.6.2.2 试件应按制造厂推荐的焊接条件和坡口形式制备，并记入报告。

2.6.2.3 按图2.6.2.3(1)所示，从每个试件上截取2个纵向拉伸试样、2个横向拉伸试样、2个弯曲试样、1个宏观断面检查试样和2组(每组3个)V型缺口冲击试样。分别进行拉伸、弯曲、冲击等试验。试验结果应符合本章第2节的有关规定。2组V型缺口冲击试样的取样位置应按图2.6.2.3(2)所示。

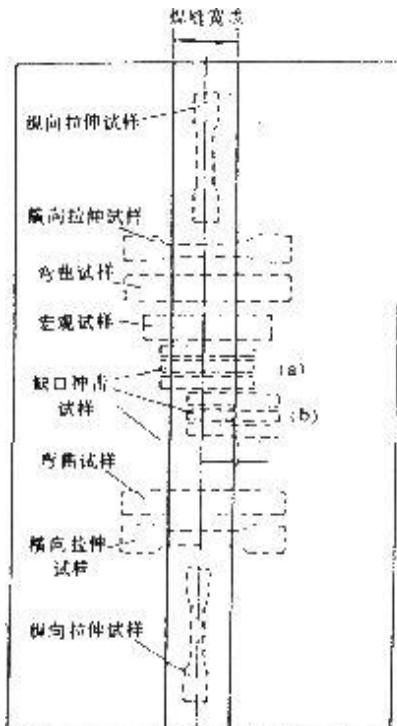


图2.6.2.3(1)

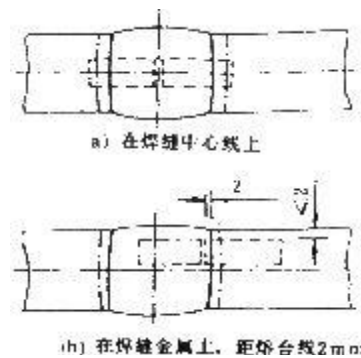


图2.6.2.3(2)

2.6.3 年度检查

2.6.3.1 凡得到本社认可的气电立焊或气电立焊的焊接材料，通常每年应由验船师到场进行年度检查和检验。

2.6.3.2 电渣焊或气电立焊焊接材料的年度试验，至少应按本节2.6.2的规定焊制2个试板厚度为20~25mm的对接焊试件。在该试件上截取1个纵向拉伸试样、1个横向拉伸试样、2个弯曲试样和2组冲击试样(V型缺口分别位于焊缝中心和距熔合线2mm的熔敷金属上)，分别进行拉伸、弯曲和冲击试验。

第7节 单面焊接双面成型的焊接材料

2.7.1 一般要求

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

2.7.1.2 采用临时衬垫材料的单面焊接双面成型的手工焊条或半自动焊焊丝-焊剂的认

可，本社将另行考虑。

2.7.2 单面焊接双面成型焊接材料的对接焊试验

2.7.2.1 单面焊接双面成型焊接材料的对接焊试验应焊制2个试件：1个试件的试板厚度为20~25mm；另1个试件的试板厚度为35~40mm。试板宽度不小于150mm，长度应足够截取规定数量和尺寸的试样。

2.7.2.2 从每个试件中截取2个纵向拉伸试样、2个横向拉伸试样、2个弯曲试样、1个断面宏观检查试样和本节2.7.2.3规定的V型缺口冲击试样，分别进行拉伸、弯曲和冲击等试验。试验结果应符合本章第2节的有关要求。

2.7.2.3 按图2.7.2.3所示，从试板厚度为20~25mm的试件中截取2组(每组3个)V型缺口冲击试样；从试板厚度为30~35mm的试件中取出3组(每组3个)V型缺口冲击试样。

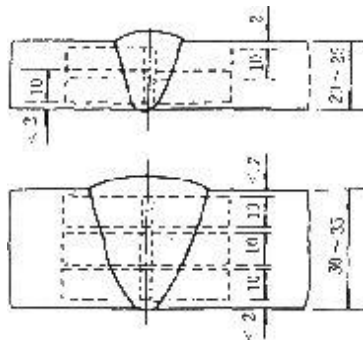


图2.7.2.3

2.7.3 年度检查

2.7.3.1 凡得到本社认可的单面焊接双面成型的焊接材料，通常每年应由验船师到场进行年度检查和试验。

2.7.3.2 单面焊接双面成型焊接材料的年度试验，应按本节2.7.2的规定焊制1个试板厚度为20~25mm的对接焊试件。在试件上截取1个纵向拉伸试样、1个横向拉伸试样、2个弯曲试样和1组3个取自焊缝根部的V型缺口冲击试样(如图2.7.2.3所示)，分别进行拉伸、弯曲和冲击试验。

第3章 焊接工艺认可

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、海上设施和船用产品的制造厂焊接生产前的焊接工艺认可。

3.1.2 认可

3.1.2.1 在开工建造前,工厂应结合本厂的技术条件和生产经验,制定产品建造焊接工艺计划表交验船师认可。计划表中应针对建造中焊缝出现于重要结构与结点的不同位置、形式和尺寸,列出拟使用的焊接工艺规程的名称和编号。

对于未曾批准过的工艺,工厂应制定详细的工艺规程并提交本社认可。经工艺认可试验合格后方可使用。

3.1.2.2 提交认可的焊接工艺规程应包括下列内容:

- (1) 母材的牌号、级别、厚度和交货状态;
- (2) 焊接材料(焊条、焊丝、焊剂和保护气体)的型号、等级和规格;
- (3) 焊接设备的型号和主要性能参数;
- (4) 坡口设计和加工要求;
- (5) 焊道布置和焊接顺序;
- (6) 焊接位置(平、立、横、仰焊等);
- (7) 焊接规范参数(电源极性、焊接电流、电弧电压、焊接速度和保护气体流量);
- (8) 焊前预热和道间温度、焊后热处理及焊后消除应力的措施等;
- (9) 施焊环境:现场施焊或车间施焊;
- (10) 其他有关的特殊要求。

3.1.2.3 通常在采用新材料、新工艺时,应进行工艺认可试验,以证实该焊接工艺的适用性。

3.1.2.4 对认可试验的焊接工艺,应在验船师在场时进行试验。试验结束后应将试验结果记入工艺认可试验报告,随认可工艺规程一起提交本社认可。

3.1.2.5 如焊接工艺业经本社认可,则以后按此工艺施工时,可免做焊接工艺认可试验。当工厂对已批准的焊接工艺规程进行改动时,应将所有改动的细节向本社报告。本社根据改动的具体内容决定是否重做焊接工艺认可试验。

3.1.3 认可焊接工艺的适用范围

3.1.3.1 钢材和焊接材料的适用范围一般为认可试验时所采用的相同等级钢材和焊接材料。但韧性级别高的材料工艺试验通过后,若能证明焊接工艺参数对焊缝性能无明显影响,经本社同意后,可将次工艺用于韧性级别较低的材料。

3.1.3.2 当采用多道焊工艺时,钢板厚度的适用范围为试验所用钢材厚度的50%~200%;对于海上设施,钢板厚度的认可范围为75%~125%;铝合金材料的适用厚度范围为50%~200%。

当采用单道焊工艺时,钢板厚度的适用范围为试验所用钢材厚度的80%~110%。

3.1.3.3 钢管直径的适用范围为试验所用钢管直径的50%~200%,管壁厚度认可范围按钢板的厚度范围认可。

3.1.3.4 焊缝坡口形式不应作任意变更。

3.1.3.5 焊接规范参数中的焊接电流或电弧电压的任何一个值的波动范围一般均应不超过±15%。焊接速度的波动范围一般应不超过±10%。

3.1.3.6 预热温度的波动范围应不超过规定最高或最低预热温度。

第2节 对接焊工艺认可试验

3.2.1 一般要求

3.2.1.1 本节适用于平板对接焊和圆管对接焊的焊接工艺认可试验。

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

3.2.2 试件

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

3.2.2.2 平板对接焊试板的尺寸按表3.2.2.2的规定。试板的取向应使焊缝平行于试板的轧制方向。

平板对接焊试板尺寸

表3.2.2.2

| 试板尺寸 焊接方法 | 试板长度 L (mm) | 试板宽度 b (mm) |
|--------------|------------------|------------------|
| 手工焊、半自动焊 | ≥ 500 (400) | 150 |
| 自动焊 | ≥ 650 | 200 |

注：表中括号内的数值适用于铝合金。

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

上述试板的尺寸可根据实际采用的方法作适当调整。

3.2.2.3 焊缝坡口形式、装配、焊接及热处理工艺等均应与工艺规程中规定的相同。试件的焊接位置应与实际施焊位置相同。

3.2.3 取样前检测

3.2.3.1 试验前应对试件进行外观检查 and 无损检测，其中对于海上设施，母材厚度小于50mm的试件，应进行射线检测；母材厚度大于或等于50mm的试件，应进行超声波检测和磁粉检测。焊缝表面应成形均匀，平滑地向母材过渡，无裂纹、明显的焊瘤和咬边等有害缺陷。焊缝内部应无不允许存在的缺陷。

3.2.4 钢质船体结构的对接焊工艺试验项目

3.2.4.1 钢质船体结构的对接焊工艺试验一般应按图3.2.4.1所示从试件上切取如下试样：

(1) 焊缝横向拉伸试样2个；

(2) 焊缝正反弯试样各1个。若试件厚度大于20mm时，改取侧弯试样2个；

(3) 当试件厚度大于6mm时，应制取冲击试样3组(每组3个)。一般试样应取自试件的厚度中心，见图3.2.4.1(3)所示，试样的缺口位置分别位于焊缝中心、熔合线和距熔合线2mm的热影响区处。

当验船师认为有必要时可加试一组缺口位置位于距熔合线5mm处的冲击试样。

当采用单面焊双面成型工艺时，还应在尽可能靠近试件背面的表面处取2组冲击试样。

其缺口位置分别位于焊缝中心和熔合线处；

(4) 焊缝断面宏观检查与硬度测试试样各1个(可利用截弃段制备试样)。母材为一般强度钢，且厚度不大于20mm的试件，可免做硬度试验；

(5) 对于散装液化气体船的液货舱和处理用受压容器的每个试件均应进行上述试验。其中弯曲试验，若母材和焊缝金属具有不同的强度级别，可以纵向弯曲试验替代横向弯曲试验；

(6) 除上述试验外，对散装液化气体船的C型独立液货舱，还应加试1个熔敷金属纵向拉伸试样进行焊缝金属纵向拉伸试验。

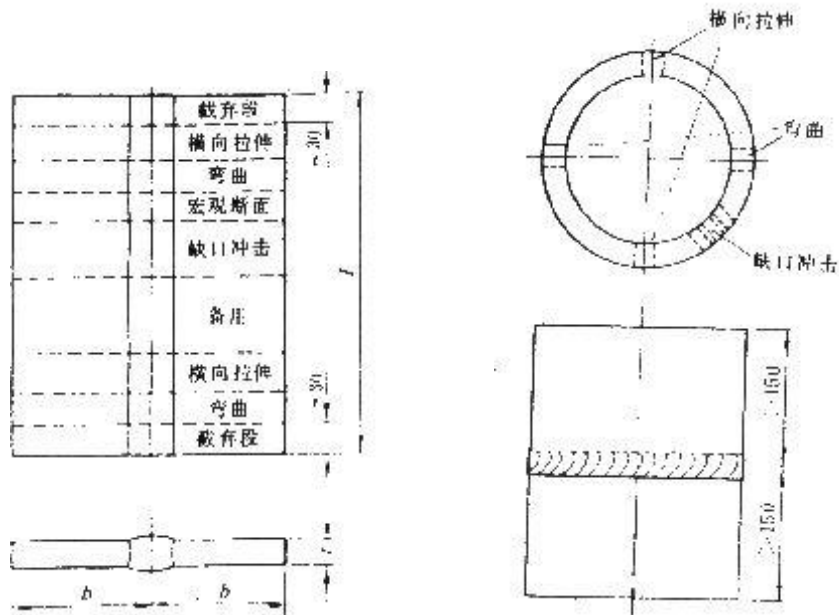


图3.2.4.1

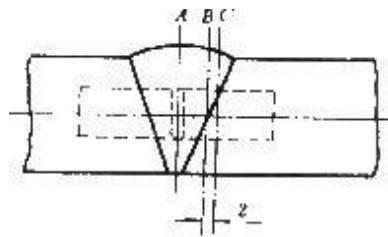


图3.2.4.1(3)

3.2.5 钢质海上设施结构的对接焊工艺试验项目

3.2.5.1 钢质海上设施结构的对接焊工艺试验一般应按图3.2.5.1所示从试件上切取如下试样：

- (1) 板材厚度大于20mm的对接焊试验，取2个焊缝横向拉伸试样和1个熔敷金属拉伸试样；厚度小于20mm的试件只取1个焊缝横向拉伸试样；管子对接焊，取2个焊缝横向拉伸试样。
- (2) 试件厚度小于50mm时，冲击试样应取自焊缝的最后焊层且距上表面2mm。如图3.2.5.1(2)所示，4组试样(每组3个)的V型缺口位置分别为焊缝中心、熔合线、距熔合线2mm及5mm的热影响区。试件厚度大于或等于50mm时，除按上述要求取样外，还要在焊缝根部取样2组，缺口位置分别在焊缝中心和熔合线。
- (3) 当母材碳当量小于或等于0.43%时，硬度试验按船体结构工艺试验的要求进行；当母材碳当量大于0.43%时，应进行第一道焊缝区域的硬度试验，如图3.2.5.1(3)所示，沿“1”箭头方向，每隔0.5mm分别测试焊缝、热影响区及母材的硬度。再根据测出的最高硬度区域，沿“2”箭头方向测试硬度，符合要求才允许焊后继焊道。
- (4) 弯曲试验4个(正弯2个，反弯2个)、焊缝断面宏观检查2个及附加试验按船体结构工艺试验的要求进行。必要时验船师可要求进行断裂力学试验。

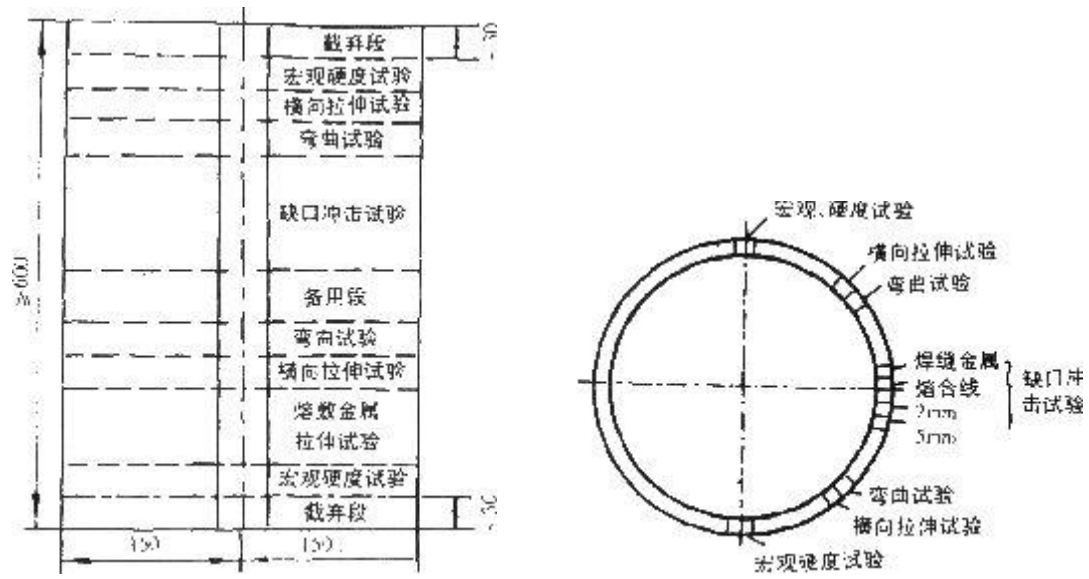


图3.2.5.1

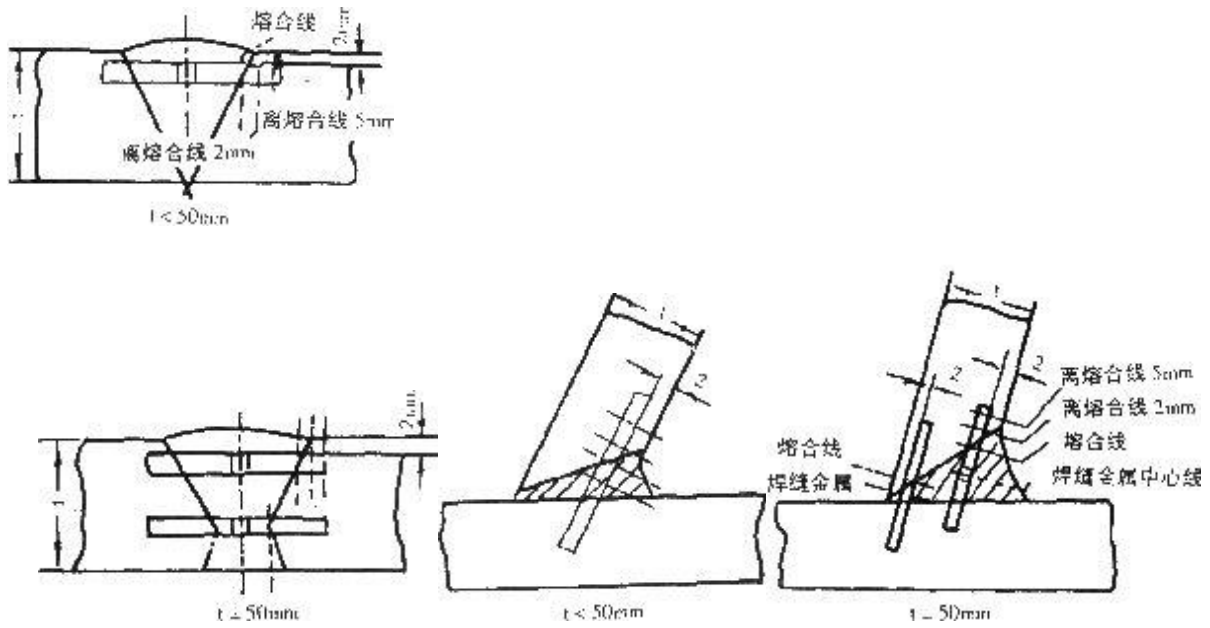


图3.2.5.1(2)

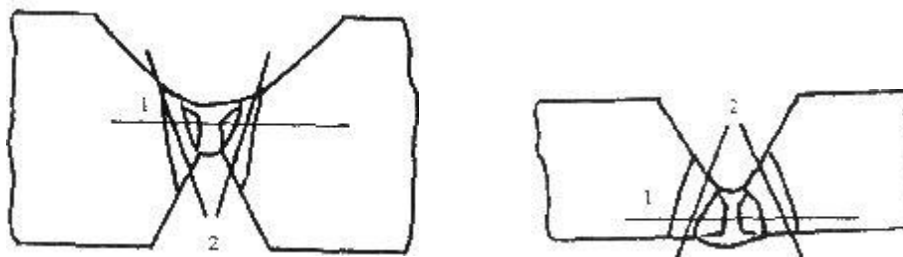


图3.2.5.1(3)

3.2.6 铝合金结构的对接焊工艺试验项目

3.2.6.1 铝合金结构的对接焊工艺试验一般应按图3.2.6.1所示从试件上切取如下试样：

- (1) 焊缝横向弯曲试样4个(正弯2个, 反弯2个)。
- (2) 焊缝横向拉伸试样2个和焊缝断面宏观检查1个(可利用截取段制取)应按船体结构工艺试验的要求进行。

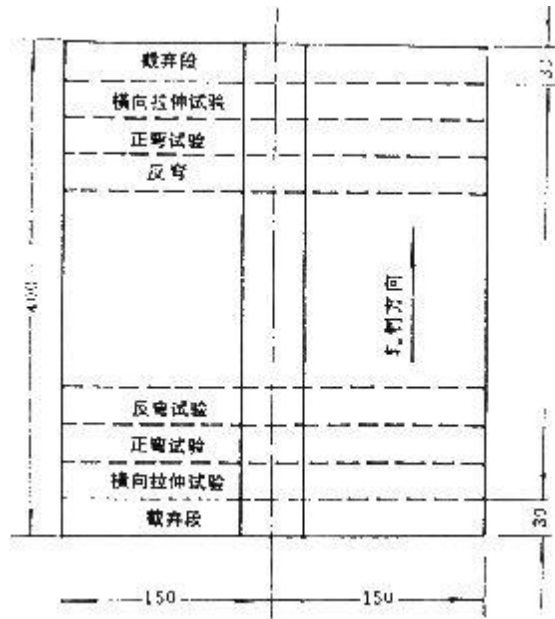


图3.2.6.1

3.2.7 其他检查与试验

3.2.7.1 除本节3.2.4, 3.2.5和3.2.6中的试验外, 如本社验船师认为有必要, 可要求进行下列检查和试验:

- (1) 熔敷金属的化学成分;
- (2) 试件母材的化学成分;
- (3) 放大倍数为100和300倍的焊接接头金相照片;
- (4) 焊缝熔敷金属纵向拉伸试验。

3.2.8 钢质结构焊接工艺试验结果要求

3.2.8.1 接头的抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度。

3.2.8.2 焊缝熔敷金属的屈服点应不低于母材规定的最小屈服点或设计时所考虑的最小屈服点, 其抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度, 其伸长率应不低于母材规定的最小伸长率的80%。

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

3.2.8.4 夏比V型缺口冲击试验的试验温度应符合表3.2.8.4(a)的规定, 其试验结果应符合表3.2.8.4(b)的规定。

冲击试验的温度要求

表3.2.8.4(a)

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

冲击试验的韧性要求

表3.2.8.4(b)

| | | | | | | | | | | |
|--------|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 试验材料等级 | A、B D、E、F | A32、D32 E32、F32 | A36、D36 E36、F36 | A40、D40 E40、F40 | D42、E42、 F42 | D46、E46、 F46 | D50、E50、 F50 | D55、E55、 F55 | D62、E62、 F62 | D69、E69、 F69 |
| 平均冲击功J | 47 ^① | | | 47 ^② | 47 | 47 | 50 | 55 | 62 | 69 |

注：① 立焊和埋弧自动焊时平均冲击功可为34J。

② 立焊和埋弧自动焊时平均冲击功可为41J。

3.2.8.5 焊缝断面宏观检查应显示焊缝完全焊透、无裂纹。若焊缝出现夹渣或气孔时，应将这类缺陷的数量、大小、位置和密集程度提交本社认可。

3.2.8.6 硬度测试的结果一般应不超过HV350。若超过HV350，应将结果提交本社认可。对于海上设施应不超过HV325。若超过HV325，应将结果提交本社认可。

3.2.8.7 无损检测结果的评定应符合本社接受的有关标准的要求。

3.2.9 铝合金结构焊接工艺试验结果要求

3.2.9.1 接头的抗拉强度应不低于母材退火态规定的最低值。

3.2.9.2 对于铝合金结构的其他要求按本节3.2.8有关要求执行。

第3节 角接焊工艺认可试验

3.3.1 一般要求

3.3.1.1 本节适用于平板、管子或管板角接焊缝的焊接工艺认可试验。

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

3.3.2 试件

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

3.3.2.2 平板试件的翼板宽约为150mm，腹板宽约为75mm。试件的长度，对手工焊不小于300mm；对自动焊不小于500mm，其厚度为15~20mm。

管板试件的平板边长至少应比试管外径大50mm。

管板试件的管段长度应大于150mm。

3.3.2.3 焊缝坡口形式、装配与焊接等要求均应与工艺规程的规定相同。

3.3.2.4 试件焊缝的焊脚尺寸应根据焊接工艺和下列要求确定：

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

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

3.3.3 试验项目

3.3.3.1 试样焊毕后应进行外观检查。焊缝表面应成型均匀，无裂纹、无明显的焊瘤和咬边等缺陷。对于海上设施，应对试件表面进行着色或磁粉检测。

3.3.3.2 平板角接焊应按图3.3.3.2所示截取试样。在试件的两端截弃长度约为30mm的截弃段，然后在试件长度中心处截取一段长度约25mm的试样作为焊缝断面宏观检查和硬度测试试样，剩余两段为角焊缝破断试样。

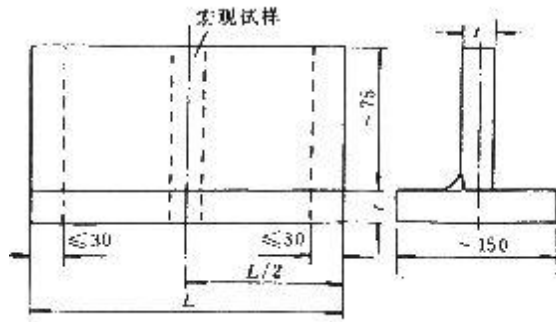


图 3.3.3.2

3.3.3.3 对于海上设施结构的工艺试验，还应进行3组硬度试验(可利用宏观检查后的试样剖面进行，每个剖面1组)。

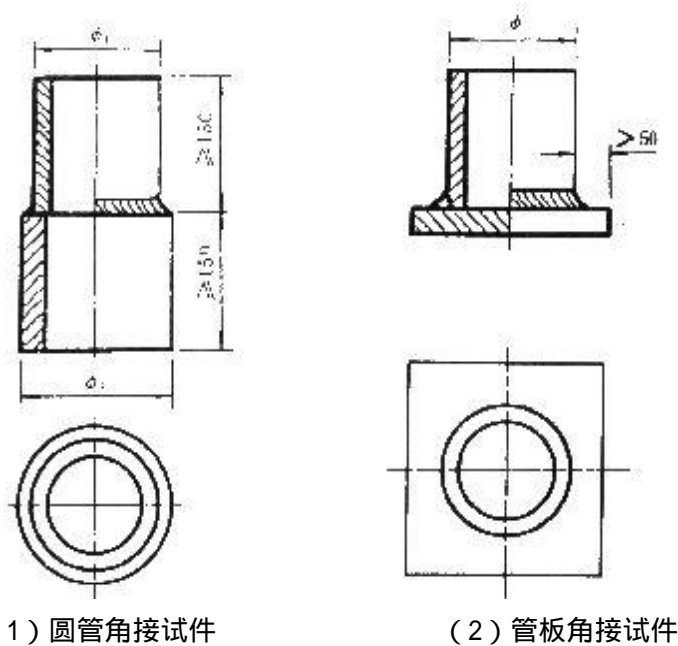
3.3.3.4 除另有规定外，管子角接和管板角接的试样一般应按图3.3.3.4(1)或(2)所示四等分截取。对每个焊缝断面作宏观检查。

3.3.4 试验结果要求

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

3.3.4.2 破断试样的破断面应显示出焊缝无裂纹、无未熔合。若焊缝中出现夹渣或气孔，应将这类缺陷的数量、大小、位置和密集程度记入报告，并提交本社认可。

3.3.4.3 钢质结构硬度测定的结果一般应不超过HV350。若超过HV350，应将结果提交本社认可。其中对于海上设施结构应不超过HV325。若超过HV325，应将结果提交本社认可。



(1) 圆管角接试件

(2) 管板角接试件

图3.3.3.4

3.3.4.4 无损检测结果的评定应符合本社接受的有关标准要求。

第4节 T形、K形与Y形板构件全焊

透工艺认可试验

3.4.1 一般要求

3.4.1.1 钢质海上设施结构的T形、K形和Y形板构件全焊透工艺试验应按不同的焊接方法和不同的焊接位置分别进行。

3.4.1.2 T形板构件焊缝试验可代替K形及Y形板构件的试验。

3.4.2 试件

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

3.4.2.2 T形板构件的试件如图3.4.2.2所示。试板厚度根据构件尺寸相应确定。焊缝长度为400mm。

3.4.2.3 焊缝坡口形式、装配及焊接等要求均应与工艺规程的规定相同。

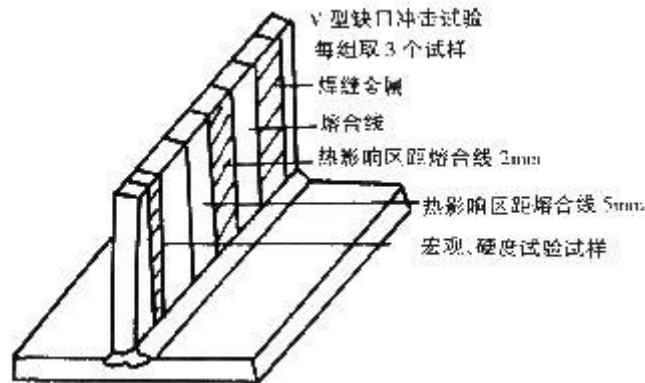


图 3.4.2.2

3.4.3 试验项目

3.4.3.1 试件除舍去部分外应作下列检查：外观检查、着色或磁粉及超声波检测。焊缝表面应成型均匀，无裂纹、无明显的焊瘤和咬边等缺陷。无损检测应符合本社接收的有关标准的要求。

3.4.3.2 除另有规定外，一般应按图3.4.2.2所示从试件上切取试样。

3.4.4 试样结果要求

3.4.4.1 夏比V型缺口冲击试验的试验温度应符合表3.2.8.4(a)的规定，其试验结果应符合表3.2.8.4(b)的规定。

3.4.4.2 焊缝断面宏观检查应显示焊缝完全焊透、无裂纹。若焊缝出现夹渣或气孔时，应将这类缺陷的数量、大小、位置和密集程度提交本社认可。

3.4.4.3 硬度测试的结果一般应不超过HV325，若超过HV325，应将结果提交本社认可。

3.4.4.4 无损检测结果的评定应符合本社接受的有关标准要求。

第5节 倾斜或T形管节点全焊透工艺认可试验

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 钢质海上设施的倾斜或T形管节点全焊透工艺认可实验应按不同的焊接方法和不同的焊接位置分别进行。

3.5.2 试件

3.5.2.1 除另有规定外，倾斜或T形管节点焊接试件一般应按图3.5.2.1布置。

3.5.2.2 管节点立柱、倾斜撑杆直径、壁厚和倾角等有关参数应根据结构相应确定。一般倾角为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ，或选用结构可能出现的最小倾角。倾斜撑杆的最小长度取撑杆的直径或300mm。坡口设计、加工、装配及焊接工艺应符合实际结构的要求。

3.5.2.3 若管节点立柱直径大于600mm，则可用厚度与管壁相同的同级钢板代替，但要有足够的尺寸。

3.5.2.4 管节点分车间焊接(转动)和现场焊接(固定)两种情况，各焊1试件。试验焊缝长度应为整个节点焊缝长度。当整个节点焊缝长度为800mm时，试验焊缝可取节点焊缝长度的一半。

3.5.3 试验项目

3.5.3.1 焊缝应作磁粉或着色及超声波检测。

3.5.3.2 冲击试验4组(每组3个)。图3.5.2.1所示，试样在邻近“9”点的部位截取，其缺口位置分别为焊缝中心、熔合线、距熔合线2mm和5mm的热影响区。V型缺口垂直于倾斜管管壁。

3.5.3.3 焊缝断面宏观检查2个，分别在管节点“6”点和“12”点部位截取。

3.5.4 试验结果要求

3.5.4.1 夏比V型缺口冲击试验的试验温度应符合表3.2.8.4(a)的规定，其试验结果应符合表3.2.8.4(b)的规定。

3.5.4.2 焊缝断面宏观检查应显示焊缝完全焊透、无裂纹。若焊缝出现夹渣或气孔时，应将这类缺陷的数量、大小、位置和密集程度提交本社认可。

3.5.4.3 无损检测结果的评定应符合本社接受的有关标准要求。

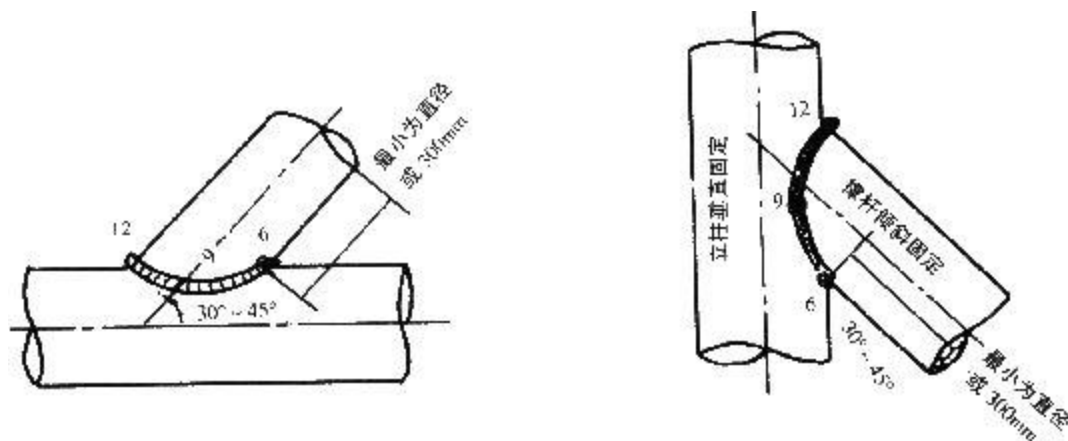


图3.5.2.1

第4章 焊工资格考试

第1节 一般规定

4.1.1 适用范围

4.1.1.1 本章的规定适用于船体及海上设施的结构、机械、锅炉与受压容器及管系等的碳钢、碳锰钢、合金钢及铝合金的手工电弧焊、半自动焊和TIG焊焊接工艺。

4.1.1.2 母材、焊接材料和焊接方法不同于本章规定者，其焊工资格考试要求应提交本社认可。

4.1.2 焊工考试委员会

4.1.2.1 有关工厂可单独或联合成立焊工考试委员会，负责按本章要求具体实施焊工资格考试。

4.1.2.2 焊工考试委员会一般应由工厂技术负责人、焊接工程技术人员、焊接质量检验人员、有经验的技术工人及本社验船师等人员组成，并报本社认可。

4.1.3 报考条件

4.1.3.1 具备下列条件之一者，经审查批准，可参加考试：

- (1) 持有技校焊接专业毕业证书，现从事焊接工作者。
- (2) 能独立承担焊接工作，具有熟练操作技能，现从事焊接工作者。
- (3) 经过基本知识和操作技能培训者。
- (4) 参加水下焊工考试者，还应持有有效的潜水员证书或潜水学校颁发的潜水员毕业证书并具有一定的水下焊接技能，或经过水下焊接培训的潜水员，经考试委员会审查批准。
- (5) 凡取得I级水下焊工资格，并经2年水下焊接作业后，方可申请II级水下焊工资格考试；取得II级水下焊工资格，并经2年水下焊接作业后，方可申请III级水下焊工考试。

4.1.3.2 从事焊接作业的焊工应按本章要求参加相应类别的资格考试。考试合格者，本社将颁发相应的资格证书。

4.1.4 焊工资格分类

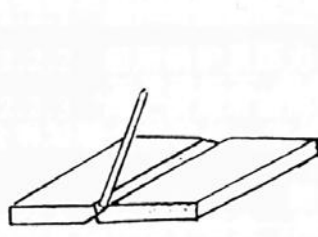
4.1.4.1 焊工等级按照施焊结构种类、母材厚度及焊接位置的不同对于板材分为I、II和III级；对于管材分为I_P、II_P、III_P级。水下湿法定位焊为T级。

4.1.4.2 按照不同的焊接位置，考试科目的分类见表4.1.4.2及图4.1.4.2。

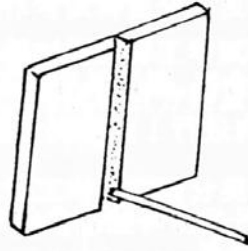
考试科目分类

表4.1.4.2

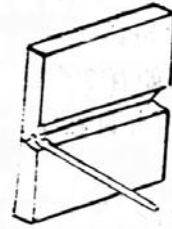
| 试件形式 | 考试科目代号 | 焊接位置 |
|-------|--------|-------------------|
| 板材对接焊 | F | 平焊 |
| | V | 立焊 |
| | H | 横焊 |
| | 0 | 仰焊 |
| 管子对接焊 | 1G | 管子水平滚动焊 |
| | 2G | 管子垂直固定焊 |
| | 5G | 管子水平固定焊 |
| | 6G | 管子倾斜45° 固定焊 |
| | 6GR | 带有限制环的管子倾斜45° 固定焊 |



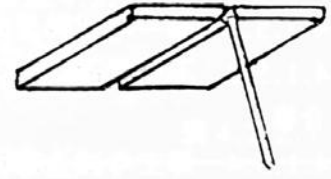
试板平焊 F



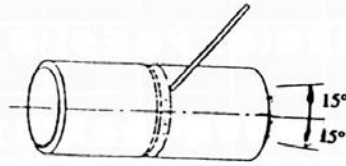
立焊 V



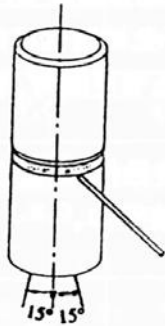
横焊 H



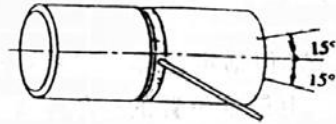
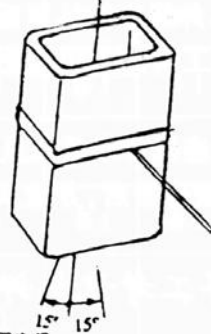
仰焊 O



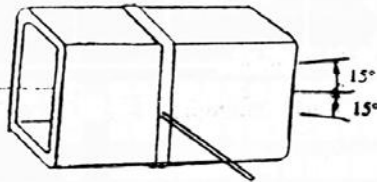
1C 管子水平滚动焊



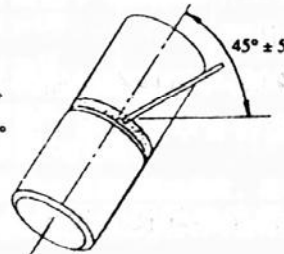
2C 管子垂直固定焊



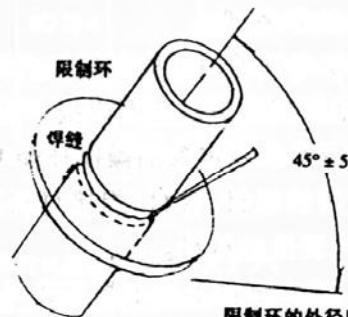
5C 管子水平固定焊



5C 管子水平固定焊



6C 管子倾斜 45° 固定焊



BGR 带有限制环的管子倾斜 45° 固定焊

限制环的外径比壁厚较大的管子的外径至少大 300 mm, 且安装在该管子的外缘, 距两管子接缝及壁厚较大的管材的端面距离不大于 13 mm.

图 4.1.4.2

4.1.5 复试与重新考试

4.1.5.1 每一考试科目中，如有1个试样不合格，可在原试件上取2倍试样按原试验要求进行复试，复试全部合格者，该科目为合格。

4.1.5.2 每一考试科目中，如有2个试样不合格，则该科目为不合格，不进行复试。

4.1.5.3 不合格的考试科目允许在1个月内进行1次该科目的补考。补考的全部试样合格则该科目合格。

4.1.5.4 焊工考试全部科目不合格者，1个月后方可重新参加考试。全部考试科目合格后方可发给证书。重新考试仍不合格者，应经过培训后方可重新申请考试。

4.1.5.5 凡由于试件加工不当，或因非焊接因素造成缺陷而导致试验不合格者，试件作废并重新焊接后进行试验。

4.1.6 证书和标志

4.1.6.1 焊工考试合格后，由本社发给《焊工资格证书》，焊工应严格按照证书所规定的工作范围进行焊接操作。

4.1.6.2 焊工在进行焊接操作时，验船师可随时检查其《焊工资格证书》。

4.1.6.3 《焊工资格证书》的有效期为发证之日起3年。定位焊科目的《焊工资格证书》为长期有效。

4.1.6.4 在有效期满之前，焊工应重新参加考试，重新考试可着重于操作技能考试。经考试合格，可再取得有效期3年。

4.1.6.5 焊工在证书有效期内，焊接质量一贯良好，无损检测合格率保持在90%以上，且具有产品质量记录，经验船师审查，由焊工考试委员会提名并报本社认可后，可予免试延长有效期1年。

4.1.6.6 对同时具有手工焊和半自动焊《焊工资格证书》的焊工，证书更新时，手工焊考试合格，两张证书即可同时更新。

4.1.6.7 焊工考试(包括定位焊)合格后，如连续6个月未从事焊接操作，则应在重新操作前，先焊一件本人证书规定科目中最难位置的试件，经试验合格后，方能从事焊接操作。

第2节 焊工考试与评定

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 焊工考试内容分基本知识和操作技能两种。焊工应先进行基本知识考试，基本知识考试合格后，才能参加操作技能考试。

4.2.1.2 基本知识考试的内容应与焊工实际工作相适应，可包括常用母材、焊接材料、焊接设备和工艺及焊接安全等基础知识。考试范围应报本社认可。

4.2.1.3 焊工应按本章规定参加操作技能考试，考试应在验船师监督下完成。

4.2.1.4 考试所用的板材、管材、焊接材料应符合本规范第1篇和本篇第2章的有关规定。考试试件材料应选取具有代表性的材料。

4.2.1.5 焊接前，应在试件上打上焊工代号钢印和焊接位置记号。水平固定和45°固定的管子应打上焊接位置的钟点记号。

4.2.1.6 试件坡口两端不应使用引弧板和熄弧板。

4.2.1.7 试样一经施焊，不得改换焊接位置。施焊过程中，应始终保持焊接方向一致，不应变更。立焊的焊接方向应由下向上施焊。

4.2.1.8 除非母材另有要求，试件在焊接前后，应不作任何处理(包括预热、焊后热处理、锤击、焊缝表面打磨或修补等)。

4.2.2 操作技能考试内容

4.2.2.1 船体对接焊焊工操作考试科目分类及试验项目见表4.2.2.1。

4.2.2.2 船用锅炉及压力容器对接焊焊工考试科目分类及试验项目见4.2.2.2。

4.2.2.3 海上设施对接焊焊工考试科目分类及试验项目见表4.2.2.3。

船体焊工考试科目分类及试验项目

表4.2.2.1

| 试件形式 | 等级 | 考试科目代号 | 试件厚度 (板厚 t , 外径 d) (mm) | 试验项目及 试样数量 | | | | 适用工作 范围 | |
|-------|-------|--------------|------------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|----------|-----------------------------------|------------------------------------|
| | | | | 正弯 | 反弯 | 侧弯 | 弯曲 角度 | | |
| 试板对接焊 | I | F | $t=4\sim5$ | 1 | 1 | | 90° | 厚度 $\leq 10\text{mm}$ 的一般板结构的平焊 | |
| | | | $t=8\sim10$ | 1 | 1 | | 180° | 厚度8~20mm的一般板结构的平焊 | |
| | | | $t\geq 20$ | | | 2 | | 厚度 $> 10\text{mm}$ 的一般板结构的平焊 | |
| | II | F、V | $t=4\sim5$ | 各1 | 各1 | | 90° | 厚度 $\leq 10\text{mm}$ 的主要板结构的平、立焊 | |
| | | V、H | $t=8\sim10$ | 各1 | 各1 | | 180° | 厚度8~20mm的主要板结构的平、立、横焊 | |
| | | | $t\geq 20$ | | | 各2 | | 厚度 $> 10\text{mm}$ 的主要板结构的平、立、横焊 | |
| | III | V、O | $t=4\sim5$ | 各1 | 各1 | | 90° | 厚度 $\leq 10\text{mm}$ 的重要板结构的全位置焊 | |
| | | V、O | $t=8\sim10$ | 各1 | 各1 | | 180° | 厚度8~20mm的重要板结构的全位置焊 | |
| | | V、H、O | $t\geq 20$ | | | 各2 | | 厚度 $> 10\text{mm}$ 的重要板结构的全位置焊 | |
| | | | $t=8\sim10$ | 各1 | 各1 | | | | |
| | 管子对接焊 | Ip | 1G | $d < 150$ ($t=4\sim5$) | 1 | 1 | | 90° | 壁厚 $\leq 8\text{mm}$ 的一般结构的管子水平滚动焊 |
| | | IIp | 2G或5G | $d \geq 150$ ($t=8\sim10$) | 2G为1 5G为2 | 2G为1 5G为2 | | 180° | 壁厚8~20mm的主要结构的管子相应固定位置焊 |
| IIIp | | 6G或 2G+5G | $d \geq 150$ ($t=8\sim10$) | 各2 | 各2 | 6G为4 | 180° | 壁厚8~20mm的重要结构的管子全位置焊 | |
| | | | $d \geq 150$ ≥ 15 | | | 各2 | | 壁厚 $> 10\text{mm}$ 的重要结构的管子全位置焊 | |

注：① 管子对接焊不允许带有任何垫环。

② 试板对接焊可按工艺要求带或不带垫板。

③ 试板对接焊时，可采用反变形措施或强制固定措施。施焊后试板角变形应不大于5°。

④ 表中弯曲角度仅适用于碳钢和碳锰钢，铝合金的弯曲角度为180°，其他材料的弯曲角度应提交本社认可。

船用锅炉及压力容器焊工考试科目分类及试验项目

表4.2.2.2

| 试件 考试 | 等 级 | 考 试 科 目 代 号 | 试 件 厚 度 (板厚 t , 外径 d) (mm) | 试验项目及试样数量 | | | 适用工作范围 | |
|-----------------------|--------|----------------------------|--|-----------|--------------|--------------|---|---|
| | | | | 射线 检测 | 冷弯180° | | | |
| | | | | | 正弯 | 反弯 | | 侧弯 |
| 试 板 对 接 焊 | I | F | $t=4\sim5$ | 要 求 | 1 | 1 | 厚度 $\leq 2t$ 的板结构的平焊 | |
| | | | $t=16$ | | | | 2 | 厚度 $> 10\text{mm}$ 的板结构的平焊 |
| | II | F、V | $t=4\sim5$ | | 各1 | 各1 | | 厚度 $\leq 2t$ 的板结构的平、立焊 |
| | | | $t=16$ | | | | 各2 | 厚度 $> 10\text{mm}$ 的板结构的平、立焊 |
| | III | H、V、O | $t=4\sim5$ | | 各1 | 各1 | | 厚度 $\leq 2t$ 的板结构的全位置焊 |
| | | | $t=16$ | | | | 各2 | 厚度 $> 10\text{mm}$ 的板结构的全位置焊 |
| 管 子 对 接 焊 | Ip | 1G | $d\leq 60$ ($t=3\sim6$) | 要 求 | 1 | 1 | 壁厚 $\leq 2t$, $d\leq 76\text{mm}$ 的结构的管子滚动平焊 | |
| | | | $d\geq 100$ ($t=3\sim6$) | | 1 | 1 | 或2 | 壁厚 $\leq 2t$, $d> 76\text{mm}$ 的结构的管子滚动平焊 |
| | IIp | 2G或5G | $d\leq 60$ ($t=3\sim6$) | | 2G为1 5G为2 | 2C为1 5G为2 | | 壁厚 $\leq 2t$, $d\leq 76$ 的管子相应固定位置焊的主要结构 |
| | | | $d\geq 100$ ($t=8\sim10$) | | 2G为1 5G为2 | 2G为1 5G为2 | 或2G为: 5G为4 | 壁厚 $\leq 2t$, $d> 76\text{mm}$ 的主要结构的管子相应固定位置焊 |
| | IIIp | 2G+5G 或6G | $d\leq 60$ ($t=3\sim6$) | | 各2 (2G为1) | 各2 (2G为1) | | 壁厚 $\leq 2t$, $d\leq 76\text{mm}$ 的重要结构的管子全位置焊 |
| | | | $d\geq 100$ ($t\geq 15$) | | 各2 (2G为1) | 各2 (2G为1) | 或各4 (2G为2) | 壁厚 $\leq 2t$, $d> 76\text{mm}$ 的重要结构的管子全位置焊; 当 $t\geq 19\text{mm}$ 时, 壁厚不限 |

- 注: ① 所有试件应单面焊接, 不应使用垫板和垫环。
- ② 试件应在考试位置点焊固定, 只能采取反变形措施, 不应强制固定, 施焊后角变形应不大于3°。
- ③ 如有工艺要求, 管子考试允许采用氩弧焊打底, 但不应有未焊透存在。
- ④ 施焊过程中任何焊道均不能修补。
- ⑤ 当试板厚度(壁厚) $t> 10\text{mm}$ 时, 可采用侧弯代替所要求的正弯和反弯。
- ⑥ 表中弯曲角度仅适用于碳钢和碳锰钢, 铝合金的弯曲角度为180°, 其他材料的弯曲角度应提交本社认可。
- ⑦ 射线检测评定按照本社接受的有关标准进行。

| 试件形式 | 等级 | 考试科目代号 | 试件厚度 (板厚 t , 外径 d) (mm) | 试验项目及试样数量 | | | | 适用工作范围 |
|-------|------|--------------|--|-----------|----|----------------------|------|---|
| | | | | 正弯 | 反弯 | 侧弯 | 弯曲角度 | |
| 试板对接焊 | I | F | $t=8\sim 10$ | 1 | 1 | | 180° | 厚度8~20mm的一般板结构的平焊 |
| | | | $t\geq 20$ | | | 2 | | 厚度>10mm的一般板结构的平焊 |
| | II | V | $t=8\sim 10$ | 1 | 1 | | 180° | 厚度8~20mm的主要板结构的平、立焊 |
| | | | $t\geq 20$ | | | 2 | | 厚度>8mm的主要板结构的平、立焊 |
| | III | V、H、0 | $t=8\sim 10$ | 1 | 1 | | 180° | 厚度>8mm的重要板结构的全位置焊 |
| | | | $t\geq 20$ | | | 各2 | | |
| 管子对接焊 | IP | 1G | $d\geq 150$ ($t=8\sim 10$) | 1 | 1 | | 180° | 壁厚 $\leq 2t$ 的一般结构的管子水平滚动焊 |
| | IIP | 2G+5G 或6G | $d\geq 150$ ($t>10$) | | | 5G、6G 各4; 2G为2 | | 壁厚 $\leq 2t$ 的主要结构的管子对接全位置焊; $t>20\text{mm}$ 时厚度>10mm的重要结构 |
| | IIIP | 6GR | $d\geq 200$ ($t1\geq 13$) ($t2\geq 18$) ($t2-t1\geq 5$) | | | 4 | | 厚度不限的T、K、Y型节点及其他所有结构的管结构的全位置焊接 |

- 注：① 6GR中限制环的位置在考试全过程中不应移动。
 ② 试板和管子对接不应带任何垫板或垫环。
 ③ 对于厚度小于8mm的一般结构的焊接，可按船体焊工考试的要求进行。
 ④ 对于角变形的限制要求可按船体焊工考试的要求进行。
 ⑤ 表中弯曲角度仅适用于碳钢和碳锰钢，铝合金的弯曲角度为180°，其他材料的弯曲角度应提交本社认可。

4.2.2.4 管板焊接的考试分管板垂直固定焊接和管板水平固定焊接两种，分别对应相应位置的焊接工作。

4.2.2.5 定位焊焊工应以施焊的每一种位置考试一块试板。

4.2.3 试件、试样和试验要求

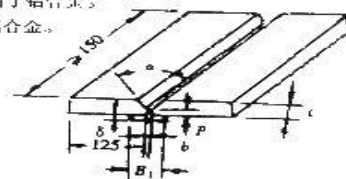
4.2.3.1 试板对接焊试件尺寸和装配要求见表4.2.3.1和图4.2.3.1。

试板对接焊试件尺寸和装配要求

表/4.2.3.1

| 试板厚度 t (mm) | V型坡口 角度 α | 间隙 b (mm) | | 钝边 P (mm) | 垫板尺寸 $\delta \times B_1$ (mm) |
|------------------|------------------------|-------------|----------|-----------------|----------------------------------|
| | | 有垫板 | 无垫板 | | |
| 4~5 | $\leq 70^\circ$ (90°) | ≤ 5 | ≤ 2 | ≤ 2 (6) | (4~6) × 25 |
| 8~10 | $\leq 70^\circ$ (110°) | ≤ 6 | ≤ 4 | | (4~6) × 25 |
| ≥ 20 | $\leq 70^\circ$ (110°) | ≤ 10 | ≤ 5 | | (4~6) × 30 |

- 注：① 表中V型坡口括号内的数值适用于铝合金。
 ② 表中钝边括号内的数值适用于铝合金。



单位: mm

图 4.2.3.1

4.2.3.5 试件施焊后,应用肉眼或不大于5倍的放大镜及必要的量具对焊缝进行外观检查。记录焊缝表面缺陷的性质、位置、数量和尺寸。外观检查时,焊缝表面应为焊后原始状态,不得进行过任何加工。试件经外观检查合格后方可切取试样。

4.2.3.6 试样的截取方法应不影响材料的性能,一般可采用机械加工方法。如采用气割方法,则每侧应留有不少于5mm的机加工余量。

4.2.3.7 焊缝余高和垫板应采用机械加工方法加工至与母材轧制面齐平,焊缝边缘的咬边不应去除。

4.2.3.8 各类板试件弯曲试样的截取位置见图4.2.3.8。

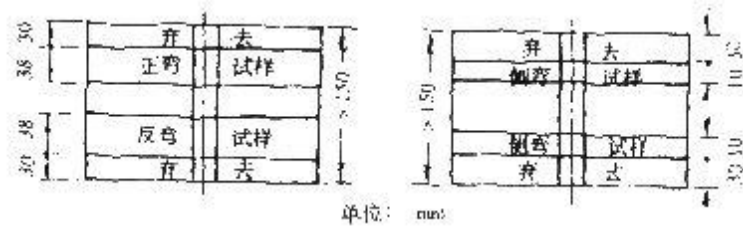


图4.2.3.8

4.2.3.9 各类管试件弯曲试样的截取位置见图4.2.3.9。

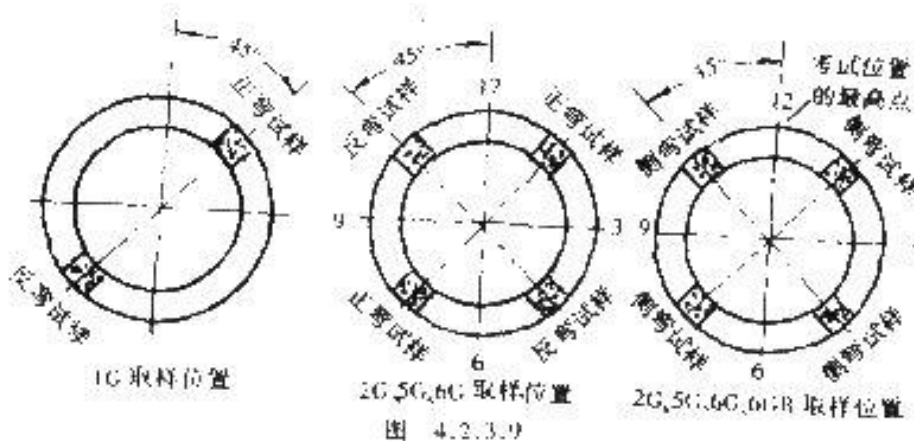


图 4.2.3.9

4.2.3.10 各类试件弯曲试样分正弯、反弯和侧弯三种,其具体要求见本篇第1章图1.2.3.3和图1.2.3.4其中 t 为试样厚度,取母材厚度,如厚度超过10mm,可在受压面机械加工减薄至10mm; b 为板试样宽度,取38mm; c 为管试样宽度,当管子外径 $d > 60\text{mm}$ 时取38mm,当管子外径 $d \leq 60\text{mm}$ 时取25mm。

4.2.3.11 弯曲试验可用滚轮装置或压模装置进行。如使用压模装置,压头尺寸要求见本篇第1章表1.2.4.2。

4.2.3.12 定位焊的弯曲试验,试板应与该处垫板成整体弯曲,且焊缝表面为受拉面。

4.2.4 试件的评定

4.2.4.1 焊缝外观检查应满足下列要求:

- (1) 焊缝表面成形良好,焊缝边缘应圆滑过渡到母材,焊缝宽度均匀。
- (2) 焊缝表面应无裂纹、未熔合、夹渣、气孔和焊瘤等缺陷。
- (3) 焊缝咬边深度应不大于0.5mm。焊缝两侧咬边累计总长度对于板试件应不超过焊缝全长的10%;对于管试件应不超过焊缝全长的20%。

(4) 无垫板的试件焊接后,不应有未焊透,但允许有深度不超过 $0.1t$ (t 为试件厚度)且不大于1.5mm、累计长度不超过焊缝全长10%的局部内凹。

(5) 平焊位置的焊缝余高应不大于3mm，其他位置应不大于4mm；每侧焊缝宽度应不大于坡口宽度2.5mm。

(6) 无垫板的试件，焊后其根部焊瘤应不大于3mm。

(7) 管子施焊后，应进行根部熔合情况检查，不应有任何裂纹、未熔合、未焊透及超过3mm的焊瘤等缺陷。

(8) 对于管板焊接，如图4.2.4.1(8)所示用机械方法将管板试件四等分，取其中两块，对A面进行宏观断面检查，母材和焊缝应完全熔合，并不得有任何裂纹(焊缝根部不大于0.8mm的线状内凹可以不计)。焊缝表面的凹陷和凸起应不大于1.6mm，两焊脚尺寸之差应不大于3.2mm。

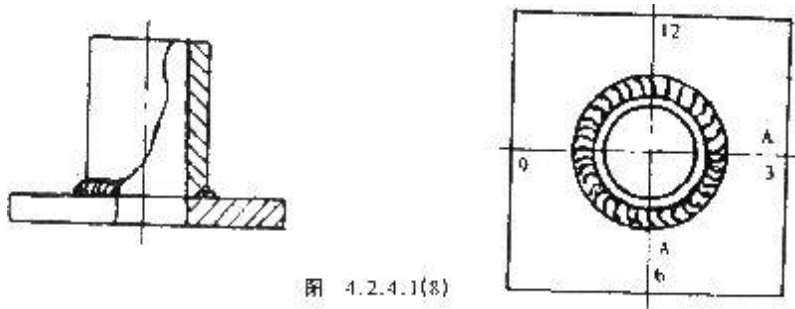


图 4.2.4.1(8)

(9) 试件外观检查合格后，应在取样部位打上本社的标志。

4.2.4.2 试样经过弯曲试验，在其受拉面的任何方向上均不应有超过3mm的裂纹或其他开口缺陷。

4.2.4.3 定位焊焊缝断口在垫板或每个定位焊全长的坡口边缘上，不应出现与母材的未熔合，也不应有大于2mm的夹渣或气孔。

4.2.5 证书适用范围

4.2.5.1 基本知识和操作技能考试均合格的焊工将获得《焊工资格证书》，可从事证书适用范围内的焊接工作。

4.2.5.2 焊工资格证书的适用范围可按下列规定相互替代：

- (1) 表4.2.2.2中的I、II、III类焊工，可替代表4.2.2.1和表4.2.2.3中的I、II、III类相应厚度和科目所规定的适用工作范围。
- (2) 表4.2.2.3中的I、II、III类焊工，可替代表4.2.2.1中的I、II、III类相应厚度和科目所规定的适用工作范围。
- (3) 表4.2.2.1中的IIp、IIIp焊工，可替代表4.2.2.3中Ip所规定的适用工作范围。
- (4) 表4.2.2.2中的Ip、IIp、IIIp各类别的焊工，在相应的壁厚和科目条件下，可替代表4.2.2.1中的Ip、IIp、IIIp和表4.2.2.3中Ip、IIp所规定的适用工作范围。
- (5) 表4.2.2.3中的Ip焊工，可替代表4.2.2.1中Ip的相应壁厚所规定的适用工作范围；表4.2.2.3中IIp焊工，可替代表4.2.2.1中Ip、IIp、IIIp所规定的适用工作范围。
- (6) 表4.2.2.3中的IIIp焊工，可替代表4.2.2.1和表4.2.2.2中所有类别规定的适用工作范围。

4.2.5.3其他：

- (1) 经管子试件考试合格可免去相同类别试板的考试。
- (2) 经高强度钢考试试件合格，即认为同时具有一般强度钢焊接的资格。
- (3) 经使用碱性焊条考试合格，即认为同时具有酸性焊条焊接的资格。
- (4) 经不带垫板考试合格，即认为同时具有焊接带垫板的工件的资格。
- (5) 各等级的焊工资格均可替代定位焊焊工资格。

第3节 水下焊工考试与评定

4.3.1 考试要求

4.3.1.1 水下焊工考试内容分基本知识和操作技能两部分。焊工应先进行基本知识考试，基本知识考试合格后，才能参加操作技能考试。

4.3.1.2 基本知识考试的内容应与焊工实际的水下焊接工作相适应，可包括常用母材、焊接材料、水下焊接设备和工艺及水下焊接安全等基础知识。考试范围应经本社认可。

4.3.1.3 焊工应按本节规定参加技能考试，考试应在验船师监督之下进行。

4.3.1.4 操作技能考试分为湿法和局部干法两种。

水下湿法焊接是指在水下用手工电弧焊条，不采取任何排水措施直接在试件上进行焊接的方法。水下局部干法焊接是指在水下把试件待焊部位的水人为地排去，形成一个局部气相区以进行焊接的方法。

4.3.1.5 按水下湿法焊接考试合格者，只能从事水下湿法焊接；按水下局部干法焊接考试合格者，只能从事水下局部干法焊接。

4.3.1.6 考试所用的板材、管材、焊接材料应符合本规范第1篇和本篇第2章的有关规定。考试试件材料应选取具有代表性的材料。

4.3.1.7 考试应在所报考的水深中进行，或在相当的模拟环境中进行。应考者可根据实际工作条件自行选择考试水深。

4.3.1.8 考试时，试件的装配、坡口的清理、设备夹具的的调节、焊接参数的选择均由应考者自行处理。

4.3.1.9 焊接前，应在试件上打上焊工代号钢印和焊接位置记号。水平固定和45°固定的管子应打上焊接位置的钟点记号。

4.3.1.10 试件坡口两端不应使用引弧板和熄弧板。

4.3.1.11 试样一经施焊，不得改换焊接位置。施焊过程中，应始终保持焊接方向一致，不应变更。立焊的焊接方向应由下向上施焊。

4.3.1.12 除非母材另有要求，试件在焊接前后，应不作任何处理(包括预热、焊后热处理、锤击、焊缝表面打磨或修补等)。

4.3.1.13 湿法T类(水下湿法点固焊)考试，只要求按4.3.3.1(3)焊一道焊缝，作外观检查。

4.3.2 操作考试内容

4.3.2.1 水下焊工操作考试科目分类及试验项目见表4.3.2.1。

4.3.3 试件和试样

4.3.3.1 试件尺寸和装配

(1) 板材对接：板材对接分带垫板和不带垫板两种。不带垫板考试合格者可允许从事相应等级的带垫板焊接。

板材尺寸：长度 $L=400$ mm；宽度 $B=100$ mm。装配要求见图4.3.3.1(1)。

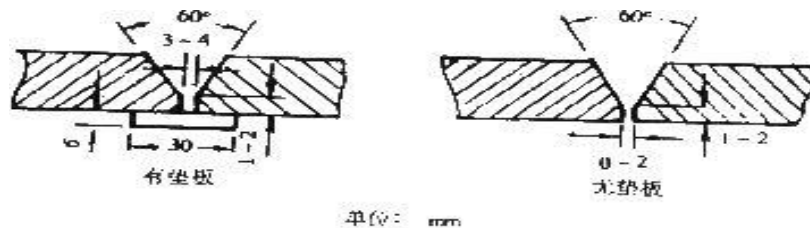


图 4.3.3.1(1)

(2) 管子对接见第2节图4.2.3.2，其尺寸如下：

长度 $L \geq 125$ mm $\times 2$ ；钝边 $h \leq 2$ mm；

直径 ψ ：湿法为100~150 mm，局部干法为300~350 mm。

坡口、间隙与板材对接焊相同。

(3) T类试板尺寸见图4.3.3.1(3)。

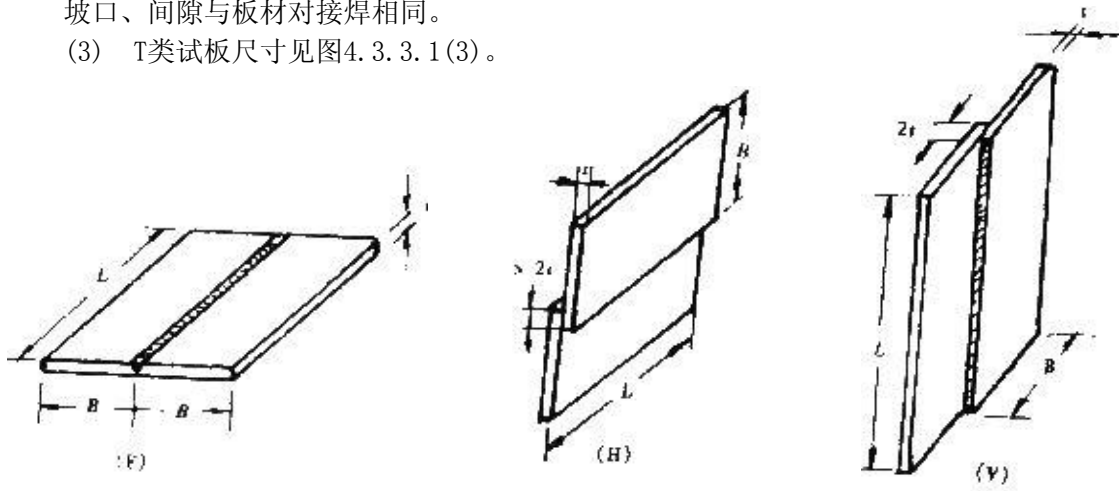
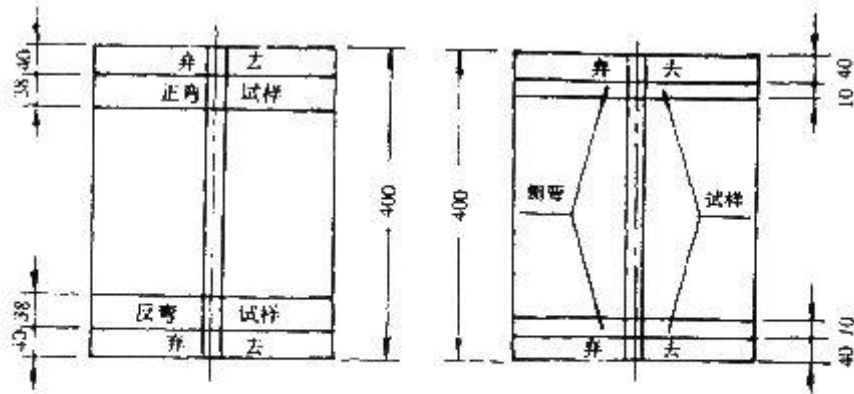


图4.3.3.1(3)

4.3.3.2 弯曲试样的截取：

(1) 板材对接焊试件的取样位置见图4.3.3.2(1)。



单位：mm

图 4.3.3.2(1)

(2) 管子对接焊试件的取样位置见图4.3.3.2(2)。

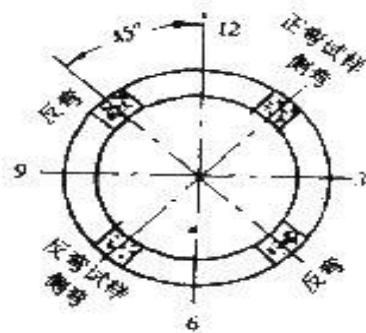


图 4.3.3.2(2)

水下焊工考试科目分类及试验项目表

表4.3.2.1

| 试件形式 | 等级 | 考试科目代号 | 试件厚度 (mm) | 试验项目及试样数量 | | | | | 适用工作范围 | |
|------------|------------|--------|-----------|-----------|------|-------|---------|-------------------|-------------------|-----------|
| | | | | 腐蚀检查 | 射线检查 | 弯曲试验 | | | 最大允许工作水深为考试水深加10m | |
| | | | | | | 正弯 | 反弯 | 侧弯 | | |
| 板材对接焊 (PL) | T | F、H、V | 6 | 要求 | 要求 | - | - | - | 定位焊, 应急性修补 | |
| | I | F | 12~14 | | | 2 | 2 | - | 厚度<20mm | 板结构的平焊 |
| | | | 20 | | | - | - | 2 | 厚度≤1.5t | |
| | II | H、V | 12~14 | | | 各2 | 各2 | | 厚度<20mm | 板结构的横焊和立焊 |
| | | | 20 | | | - | - | 2 | 厚度≤1.5t | |
| | III | 0 | 12~14 | | | 2 | 2 | - | 厚度<20mm | 板结构的全位置焊接 |
| | | | 20 | | | - | - | 2 | 厚度≤1.5t | |
| | 管子对接焊 (PP) | Ip | 2G | | | 12~14 | 2 | 2 | - | 厚度<20mm |
| 20 | | | | - | - | 2 | 厚度≤1.5t | | | |
| Iip | | 5G | 12~14 | 2 | 2 | - | 厚度<20mm | 管子水平固定焊和板结构的全位置焊接 | | |
| | | | 20 | - | - | 2 | 厚度≤1.5t | | | |
| IIIp | | 6G | 12~14 | 2 | 2 | - | 厚度<20mm | 管子和板结构的全位置焊接 | | |
| | | | 20 | - | - | 2 | 厚度≤1.5t | | | |

4.3.3.3 弯曲试样和试验的规定见本章4.2.3.10和4.2.3.11。

4.3.4 试件的评定

4.3.4.1 焊缝外观检查应满足下列要求:

- (1) 焊缝表面成形良好, 焊缝边缘应圆滑过渡到母材, 焊缝宽度均匀。
- (2) 焊缝表面应无裂纹、未熔合、夹渣、气孔和焊瘤等缺陷。
- (3) 焊缝表面凹陷深度应不低于母材表面0.8 mm。
- (4) 焊缝咬边深度应不大于0.8mm。焊缝两侧咬边累计总长度对于板试件应不超过焊缝全长的10%; 对于管试件应不超过焊缝全长的20%。
- (5) 带垫板或不带垫板的试件焊接后, 不应有未焊透, 但允许有深度不超过0.1t(t为试件厚度)且不大于1.5mm、累计长度不超过焊缝全长10%的局部内凹。
- (6) 平焊位置的焊缝余高应不大于3mm, 其他位置应不大于4mm; 每侧焊缝宽度应不大于坡口宽度2.5mm。
- (7) 无垫板的试件, 焊后其根部焊瘤应不大于3mm。

4.3.4.2 弯曲试验评定要求见本章4.2.4.2。

4.3.4.3 射线检查:

- (1) 焊缝中不得有裂纹。
 - (2) 单个气孔的最大直径应不大于3 mm; 密集气孔的直径应不大于1.6mm, 累计总长度不大于13mm。
 - (3) 未焊透和未熔合的总长度应不大于3 mm。
 - (4) 夹渣的总长度应不大于25 mm, 单个夹渣的长度不大于7 mm。
 - (5) 密集型的气孔、夹渣或未焊透等缺陷的间距应大于6mm, 累计长度应不大于40mm。
- 4.3.4.4 宏观腐蚀试验

从试件上截取带有焊缝横截面的宏观试样, 以适当的腐蚀液腐蚀至其清晰地显示出焊缝金属和热影响区的界线。在焊缝和热影响区内应无肉眼可见的任何缺陷。

4.3.5 证书

4.3.5.1 基本知识和技能考试合格的水下焊工将获得《水下焊工资格证书》，可从事证书适用范围内的焊接工作。

第5章 船体结构的焊接与铆接

第1节 一般规定

5.1.1 适用范围

5.1.1.1 本章规定适用于船体钢材、铝材和奥氏体不锈钢复合材的焊接和检验。

5.1.2 工艺规程与检验标准

5.1.2.1 施工前应按本篇第3章的要求,将工艺规程和检验标准提交本社认可,并进行焊接工艺认可试验(必要时)。生产施工和检验应按本社认可的图纸、工艺规程和检验标准进行。

5.1.3 产品焊缝试验

5.1.3.1 产品焊缝试验要求适用于散装运输液化气体船舶。

5.1.3.2 除整体液货舱和薄膜液货舱外,一般应对所有液货舱和处理用受压容器的每50m左右的对接焊缝接头进行一次产品焊缝试验,并能代表每个焊接位置。但对次屏壁仍应进行作为对主要液货舱要求的相同型式的产品焊缝试验。

验船师根据实际情况可同意减少产品焊缝试验的数量,也可要求对液货舱或次屏壁进行其他试验。

5.1.3.3 用于A型和B型独立液货舱以及半薄膜液货舱的产品焊缝试验应包括下列试验:

应对每50m的焊缝进行弯曲试验,以及当要求进行焊接工艺试验时,还应对每50m的焊缝进行以3个夏比V型缺口试样为一组的冲击试验。进行夏比V型缺口冲击试验时,应使试样的缺口位于焊缝中心或热影响区(根据工艺的结果所确定的最危险的位置)。对于奥氏体不锈钢,所有的缺口均应位于焊缝的中心。

5.1.3.4 对于C型独立液货舱和处理用受压容器,除上述5.1.3.3所列的试验外,还要求截取1个焊缝纵向拉伸试样和1个焊缝横向拉伸试样,试验要求应符合本篇第3章的有关规定。

5.1.3.5 对于整体液货舱和薄膜液货舱的产品焊缝试样应符合本社接受的标准要求。

5.1.4 焊前准备

5.1.4.1 构件的坡口加工、装配次序、定位精度及装配间隙应符合认可的工艺规程的要求。并应避免强制装配,以减少构件的内应力。若因焊缝坡口或装配间隙过大必需修正时,其修正方法应征得本社验船师的同意。

5.1.4.2 焊缝坡口区域的铁锈、氧化皮、油污和杂物等应予清除,并保持清洁和干燥。

5.1.4.3 涂有底漆的钢材,如在焊接之前未能将底漆清除,则应证明该底漆对焊缝的质量没有不良的影响,并应经本社认可。

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

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

- (1) 施工环境的温度低于0℃时;
- (2) 材料的碳当量 C_{eq} 按下式计算数值较大时;

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \times 100\%$$

- (3) 结构刚性过大、构件板厚较厚或焊段较短时。

当碳当量 C_{eq} 大于0.45%时，应进行预热，并考虑进行焊后热处理。

5.1.5 焊接工艺

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

5.1.5.2 定位焊的数量应尽量减少，定位焊缝应具有足够的高度。其长度，对一般强度钢，应不小于30mm；对高强度钢，应不小于50mm。定位焊的质量应与施焊的焊缝质量相同。有缺陷的定位焊应在施焊前清除干净。

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

进行多道焊时，在下道焊接之前，应将前道焊渣清除。

5.1.5.4 除本社同意外，对有焊透要求的焊缝，在焊接第二面焊缝前应进行清根，清根后应具有适当的坡口形状，以便进行封底焊。

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

第2节 船体构件的焊接

5.2.1 一般要求

5.2.1.1 除确能保证完全焊透者外，对接焊焊件边缘应开单面或双面坡口，坡口角度一般在40~60°之间；若焊件边缘拟加工成其他坡口形式时，则应征得本社的同意。

5.2.1.2 若全焊透对接焊缝因结构原因而无法进行封底焊时，经验船师同意，允许加固定垫板进行对接焊。此种接头的坡口形式及装配间隙应保证其在垫板上能完全熔合。

5.2.1.3 船体构件的角焊缝和板材的对接缝在交叉处，应符合下列规定：

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

(2) 连续角焊缝的构件腹板上如有对接焊缝时，应先焊好对接焊缝，并将角焊缝处的余高铲平，然后进行连续角焊接。

5.2.2 小夹角处的角焊缝

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

(1) 内底边板与舷侧外板的角接缝，其坡口角度应不小于45°，如图5.2.2.1(1)所示。若小于45°则可将内底边板的边缘开坡口。并在该坡口处进行多道单面连续角焊，其底层焊道应选用较小直径的焊条施焊；

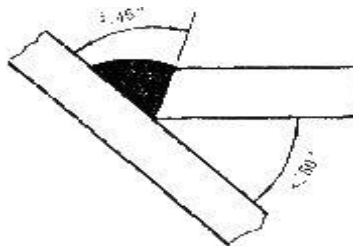


图 5.2.2.1(1)

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

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本社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。

5.2.4 铸钢和锻钢船体结构件的焊接

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

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

(2) 采用手工焊、CO₂气体保护焊进行焊接的首柱、尾柱、舵杆和尾轴架等应在焊后进行回火处理。采用电渣焊方法进行焊接的首柱、尾柱和舵杆，在焊后应进行正火一回火处理。

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

5.2.5 舷顶列板与强力甲板边板的焊接

5.2.5.1 舷顶列板与强力甲板角接时，在船中的0.5 L区域内，强力甲板的边缘应开坡口，并一般应完全焊透。坡口形式可按施工情况而定。

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

5.2.6 柴油机主机基座的焊接

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

5.2.6.2 与主机基座相连接的其他各构件(如船底板、肋板、肘板、隔板等)的角焊缝，其焊缝厚度应不小于 $0.44 t_p$ (t_p 为构件的最小厚度，指角焊缝连接构件中较薄一块板的厚度)。

5.2.7 起重桅(柱)的焊接

5.2.7.1 支持吊杆的起重桅(柱)，其焊缝应符合下列要求：

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

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

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

第3节 焊缝检验与修补

5.3.1 一般要求

5.3.1.1 本节规定适用于钢质船体结构的焊缝检验与修补。船体以外的钢结构的焊缝检验与修补应经本社批准后方可执行。

5.3.2 焊缝质量检查

5.3.2.1 船体结构施焊完工后,应对所有焊缝进行外观检查。焊缝表面应成型均匀、致密、平滑地向母材过渡,无裂纹和过大的余高以及不应有的焊瘤、弧坑和咬边等缺陷存在。

5.3.2.2 焊缝的内部质量可采用射线、超声波或其他适当的方法进行无损检测。无损检测的工艺和评定标准应经本社同意。

5.3.2.3 船体焊缝无损检测的数量和位置可根据实际情况由船厂和本社验船师商定。

5.3.2.4 船中0.6 L范围内强力甲板和外板的射线拍片数量 n ,一般可按式计算:

$$n = 0.25(i + 0.1W_T + 0.1W_L) \text{张}$$

式中: i ——船中0.6 L范围内纵、横向对接焊缝交叉处的总数;

W_T ——船中0.6 L范围内横向对接焊缝的总长, m;

W_L ——船中0.6 L范围内分段合拢的纵向对接焊缝的总长, m。

射线检测的布片密度应按钢材的材料级别从高到低递减,钢材的材料级别见本社《钢质海船入级与建造规范》第2篇有关规定。

纵横向对接焊缝交叉处的布片方向应平行于横向对接焊缝。

5.3.2.5 船底、舷侧和甲板纵骨的对接接头,在船中0.4L范围内每10个检查1个,0.4 L范围外每20个检查1个。

5.3.2.6 除本节5.3.2.3~5.3.2.5的规定外,危险化学品船尚应对下列部位进行无损检测:

(1) 液货舱舱壁上所有的焊缝十字交叉处;

(2) 液货舱周界焊缝应探测裂纹,探测的长度应至少为液货舱周界焊缝总长度的10%;

(3) 当舷侧和船底纵骨以及纵舱壁水平扶强材在横舱壁处中断时,除本条(2)要求以外,上述构件与横舱壁连接的焊缝应探测裂纹。探测的长度应至少为骨材与横舱壁连接焊缝总长度的10%;

(4) 当纵向构件和纵舱壁水平扶强材连续地通过横舱壁时,除本条(2)要求外,其与横舱壁连接的焊缝应探测裂纹。探测的长度对舷侧和船底纵向构件至少为总长度的30%,对纵舱壁水平扶强材至少为总长度的20%;

(5) 当横向构件连续地穿过液货舱纵舱壁时,该构件与周界连接焊缝应探测裂纹。探测的焊缝长度至少为总长度的10%。

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

5.3.2.8 无损检测的位置和结果应记入报告,并应提交本社验船师认可。

5.3.3 缺陷修补

5.3.3.1 若检查表明焊缝缺陷超过标准允许值时,应在船体完工试验前,对缺陷处进行修补。

5.3.3.2 外观检查发现的缺陷,通常应在无损检测前修补完毕。表面微小缺陷可用砂轮磨去。

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

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

5.3.4 对于散装运输液化气体船舶的补充要求

5.3.4.1 对于设计温度为一20℃或以下的A型独立液货舱和半薄膜液货舱以及任何设计温度的B型独立液货舱,其所有舱壁板的全焊透对接焊缝均应被进行100%的射线检测,其中:

(1) 若设计温度高于一20℃,则对液货舱结构焊缝交叉处的所有全焊透对接焊缝以及至少10%剩余的全焊透焊缝均应进行射线检测;

(2) 本社认为必要时,在所有情况下,可对其余液货舱结构的焊缝包括扶强材以及其他附件和连接件的焊缝进行磁粉或着色检测;

(3) 本社认为必要时,可增加射线检测的范围和数量。除正常的射线检测外,也可增加超声波检测。

(4) 适用时,本社可接受已被认可的超声波检测替代射线检测。

5.3.4.2 对C型独立液货舱、处理用压力容器、整体液货舱、薄膜液货舱和支持内部绝热液货舱结构的内层壳体结构,无损检测应按本社接受的有关标准进行。

5.3.4.3 本社认为必要时,可对次屏壁进行射线检测。若船体的外壳为次屏壁的一部分,则对所有舷侧顶列板的对接焊缝以及舷侧外板上的所有对接焊缝的交叉处进行射线检测。

5.3.4.4 所有无损检测结果应符合本社接受的有关标准要求。

第4节 奥氏体不锈钢及其复合钢板的焊接

5.4.1 一般要求

5.4.1.1 本节规定适用于奥氏体不锈钢及其复合钢板的焊接。其他材料复合板的焊接将由本社另行考虑。

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

5.4.1.3 从事奥氏体不锈钢及其复合钢板焊接的焊工,应经奥氏体不锈钢焊接的操作技术培训和考试取证。

5.4.2 焊接材料

5.4.2.1 奥氏体不锈钢通常选用熔敷金属成分与母材基本相当的焊接材料。

5.4.2.2 奥氏体不锈钢复合钢板的焊接材料应分别适用于相应的基材和复层材。

5.4.3 焊前准备

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

5.4.3.2 焊前板材表面应彻底清除油、漆、污物和杂质。

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

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

复合钢板的坡口的形状应予以特别考虑。加工后应检查坡1:3表面(包括钝边部分),不应有裂纹和复层脱开现象。

5.4.3.5 复合钢板的对接应以复材为基准对齐,定位焊应焊在基层材上。

5.4.4 焊接

5.4.4.1 焊接奥氏体不锈钢时应采用短电弧,并使电弧稳定而快速地直线移动,避免两边摆动。

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

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

5.4.4.4 不应在面向腐蚀介质的钢板表面引弧或随意焊接安装临时构件。

5.4.5 焊后处理

5.4.5.1 不锈钢板及复合板两侧的表面应避免使用铁锤矫正。

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

5.4.6 焊缝检验

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

5.4.6.2 焊缝的内部质量应经无损检测方法检查。无损检测的范围、数量及其所采用的工艺和标准应符合本社接受的标准的要求。

5.4.7 缺陷修补

5.4.7.1 建议采用机加工的方法清除焊缝中的缺陷。缺陷的焊补方法应取得本社验船师同意。

第5节 铝合金的焊接

5.5.1 一般要求

5.5.1.1 本节适用于符合本规范第1篇第8章中可焊铝合金的焊接。

5.5.1.2 铝合金的焊接工艺规程应提交本社认可,焊接工艺规程中应包括防止焊接变形和变形矫正的措施。

5.5.1.3 铝合金焊接工艺认可试验的方案可根据实际情况制订,并报送本社认可。

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

5.5.2 焊前准备

5.5.2.1 铝合金焊接场地应有防潮、防尘、防寒和防风设施。施工时的风速应小于0.5m/s。

5.5.2.2 铝合金材料可采用机械或等离子方法进行切割。坡口一般可采用刨或磨等机加工方法制备。若采用其他方法,应经本社验船师同意。

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

5.5.2.4 凡符合下列情况之一者,可考虑对焊接区域进行预热:

(1) 当铝合金材料的厚度大于8mm时;

(2) 环境温度低于0℃时;

(3) 环境湿度大于80%时。

铝合金的预热不宜采用氧—乙炔火焰加热的方法。

铝镁系合金的预热温度通常为50℃±10℃。

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

5.5.3 焊接

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

5.5.3.2 主要对接焊缝应尽量采用倾角小于20°的位置进行平对接焊。

5.5.3.3 为使变形减至最小程度,焊接时应:

(1) 单条长焊缝应采用分中对称焊或逐步退焊法;

(2) 密集性的多条长焊缝应采用中间向四周对称焊的方法;

(3) 在满足设计要求的基础上尽可能不加大焊缝的尺寸。

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

5.5.3.5 清理焊缝根部和清除焊缝缺陷应采用铲、刨等机加工方法。

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

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

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

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

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

5.5.4 焊缝检查与修补

5.5.4.1 完工焊缝应进行外观检查 and 无损检测,检测的方法和验收标准应经本社同意。

5.5.4.2 主要船体结构的焊缝无损检测范围由工厂与验船师商定。建议射线检测范围应不少于主船体对接焊缝的5%。重要结构的角焊缝应经超声波检测,缺陷的评定应符合本社接受的标准的要求。

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

5.5.4.4 铝合金的焊补不应超过2次,超过2次的焊补应经本社同意。

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

第6节 铆 接

5.6.1 一般要求

5.6.1.1 本节仅用于铝合金船体结构的铆接。

5.6.1.2 铆接施工应按认可的工艺规程进行。

5.6.1.3 生产厂应制定详细的铆接工艺规程并提交本社认可。

5.6.1.4 铆接用的铆钉应与结构材料相适应,并符合本规范第1篇第8章的有关要求。铆接缝中的密封填料应与结构材料相适应,不会产生电化腐蚀或化学反应。

5.6.2 铆钉孔的加工

5.6.2.1 铆钉孔的加工通常只能用电钻或风钻进行。对冷作硬化材料加工时,应慎重而正确地操作。

5.6.2.2 采用沉头或半沉头铆钉而需对构件进行镗孔时,镗孔的锥角应与铆钉相配合。当板厚与镗孔深度相同时,孔深可减小0.5mm。

5.6.2.3 构件之间的铆钉孔应对准并与铆钉有良好的配合,铆钉孔四周应光洁,不应有毛刺或棱角。

5.6.2.4 加工后的铆钉,其直径、不圆度和中心偏差应符合有关标准的公差规定,铆钉孔中心线垂直度偏差应小于构件厚度的十分之一。

5.6.3 铆前准备

5.6.3.1 一般情况下,铆接工作应在待铆接部位及其相邻部位的焊接、开孔和矫正等工作完毕后才能进行。

5.6.3.2 铆接的结合面应平顺、清洁、紧密,不应夹有杂物。干燥后才可涂刷防锈漆或密性填料。密性填料应在整个长度内厚度保持基本一致。

5.6.3.3 为保证铆接工作的顺利进行,铆前应取适当的间隔,在铆钉孔位开直径略小于铆钉的定位孔,用螺钉作临时固定。

5.6.3.4 铆接前,应对铆钉、铆钉孔、镗孔等进行检查。符合规定要求后才能进行铆接作业。


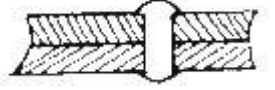

5.6.4 结构铆接

5.6.4.1 铆接应由中央向前后对称进行。

5.6.4.2 铆钉的钉杆露出长度应符合表5.6.4.2的有关规定。

铆钉钉杆露出长度

表5.6.4.2

| 钉直径 d (mm) | 墩头种 类 | 墩头形状 | 露出长度 T (mm) | 备注 |
|-----------------|----------|---|------------------|--------------------------------------|
| 3~25 | 半沉头 |  | $0.8d \sim 1.2d$ | 平墩头应取表中较大值， 三层重叠露出长度应有 1mm左右余长 |
| 3~25 | 圆头 |  | $1.5d \sim 1.7d$ | |
| 3~13 | 平头 |  | $1.3d \sim 1.4d$ | |

5.6.4.3 使用的气锤及顶铁应与铆钉的直径相匹配。

5.6.4.4 平墩头铆钉的平墩头方向应按下列规定施工，若有特殊情况应经本社验船师同意：

- (1) 板材与型材铆接时，平墩头位于型树一侧；
- (2) 厚度不同时，平墩头位于较厚材料的一侧；
- (3) 硬度不同时，平墩头位于较硬材料的一侧。

5.6.4.5 不同材料进行铆接时，在两种不同的金属材料之间应加上耐腐蚀绝缘材料，以防止产生电化学腐蚀。

5.6.4.6 铆接时应尽可能一次成形，不宜重复修整。

5.6.5 铆接缝检验

5.6.5.1 铆接的各铆钉间距、排距及铆钉直径应符合图纸的要求。

5.6.5.2 铆固后铆钉周围的构件表面应紧贴，被铆位置应无明显的压痕。

5.6.5.3 铆钉的钉头尺寸应符合有关标准的要求。铆钉不应有松动、墩头偏心、裂纹等现象。

第6章 海上设施结构的焊接

第1节 一般规定

6.1.1 适用范围

6.1.1.1 本章规定适用于移动式 and 固定式海上设施钢结构的焊接和检验。

6.1.2 材料

6.1.2.1 海上设施结构焊接所选用的焊接材料应符合本篇第2章的有关要求。

6.1.2.2 用于厚度大于50mm的管节点的焊接材料应根据V型锤击试验和断裂韧性试验来选用，并经本社同意。

6.1.2.3 对用于特殊构件的焊接材料，建造厂对新购焊接材料应进行焊接试验，复查焊接接头和熔敷金属的力学性能和冲击韧性。

6.1.2.4 焊接材料应密封包装并贮藏于相对湿度不大于45%，温度不低于15℃的干燥处。在施工前应对焊接材料进行复验，禁止使用受潮、生锈、受污染和过期的焊接材料。

6.1.3 焊接工艺认可试验

6.1.3.1 海上设施结构焊接的焊接工艺认可应符合本篇第3章的有关规定。

6.1.3.2 焊接工艺经本社认可后，若建造厂6年内未用此工艺从事类似结构的焊接生产，则此工艺在重新使用前应重新进行认可使用。

第2节 结构焊接

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 海上设施结构开工前，建造厂应送审有关结构图纸。图纸应注明每条焊缝的位置、尺寸、焊接方法和焊接场地。

6.2.1.2 海上设施结构应严格按已认可的焊接工艺规程进行焊接施工。

6.2.1.3 为确保熔敷金属的质量，手工焊通常应采用低氢焊条。

6.2.2 施焊条件

6.2.2.1 焊接工作应在具有防风、雨、雪的遮蔽条件下进行。施焊时的环境温度不应低于工艺试验所规定的最低温度。在严寒天气焊接应采取适当的措施。焊接时在坡口两侧应加热去潮，其温度至少为5℃。

6.2.2.2 手工焊不应在焊缝以外引弧。埋弧焊应在焊件两端使用引弧板和熄弧板。

6.2.3 焊前准备

6.2.3.1 焊接前坡口及其两侧区域应除去水分、油脂、油漆、锈污及其他氧化物等。若焊缝区域有底漆护层，则应按有关规定进行试验，并经本社同意。

6.2.3.2 焊接前应根据焊接材料的产品说明书进行焙烘，然后贮存于保温容器中，携带至焊接地点待用。埋弧焊所用的焊剂应保持干燥，如果受潮，应重新加热烘干。

6.2.3.3 临时固定焊和定位焊应由合格的焊工施焊。所用的焊条应与正式施焊时相同。定位焊的数量应控制到最小，定位焊焊缝的厚度应不小于根部焊道的厚度，其长度不小于较厚焊件厚度的4倍或50mm(取其小者)。定位焊的焊缝质量要求与正式施焊的焊缝要求相同。如定位焊有不允许存在的

缺陷, 则应消除缺陷后再进行正式施焊。

6.2.3.4 对要求全焊透的焊接接头, 除确能保证焊透者外, 应清根后再进行反面焊接。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。如有渗碳或过热现象, 应予打磨。打磨出的槽口形状应符合焊接工艺要求。

6.2.4 焊前预热和道间温度

6.2.4.1 预热温度和道间温度应根据钢结构特点、施焊环境、焊接方法、钢材牌号, 包括化学成分及钢材焊接工艺性能等参数及焊接工艺认可使用的结果确定。

6.2.4.2 应尽量避免使用碳当量大于0.45%的钢种。当使用钢种的碳当量大于0.45%时, 建造厂应提出预热温度和道间温度的试验并经本社同意。

6.2.5.1 海上设施结构的对接焊缝一般应全焊透。焊缝余高部分的外形应符合要求, 并应平滑地过渡到母材。

6.2.5.2 角接焊缝的焊缝通常用于板和扶强材的连接, 肘板的固定等。

如焊件间存在有允许的装配间隙, 则焊缝厚度应相应增加间隙值。

6.2.5.3 对重要的角焊缝以及可能出现疲劳现象的强受力构件的角焊缝应完全焊透。施焊时可采用交替对称焊以及坡口表面预先堆焊焊道等工艺措施。

6.2.5.4 应采用合理的装配步骤和焊接顺序, 以控制焊接变形, 避免过大的残余应力和防止裂纹产生。

6.2.6 特厚构件(厚度 $t > 50\text{mm}$)及管结点的焊接

6.2.6.1 特厚构件和管结点的焊接应采用低氢型焊条和合理的焊接工艺, 并保证完全焊透。

6.2.6.2 焊前应做好预热。焊后应按本节6.2.7的规定, 做好焊后热处理。

6.2.6.3 管节点在施焊时, 不应烧穿, 焊缝表面应连续、均匀, 两管连接处要逐渐平顺过渡。建议采用小直径焊条进行盖面焊, 以改善节点的疲劳性能。如设计要求打磨管节点焊缝, 则打磨后焊缝表面曲率半径应符合设计和制造的有关规定。

6.2.7 焊后热处理

6.2.7.1 对厚度大于50mm的焊接接头和受力复杂的管节点, 一般应进行焊后消除内应力的热处理。若有资料证明焊接接头具有良好的断裂韧性, 则可免作焊后热处理。

6.2.7.2 海上设施结构采用本规范第1篇第3章所规定的钢材时, 其焊后热处理的温度为550~620℃。保温时间按焊件最厚部位的尺寸, 以每25mm保温1h来确定。加热速度要适当, 以避免产生变形和裂纹。加热炉内的温差应控制在15℃范围内。保温焊件的内外表面的温差应不超过30℃。当加热温度在300℃以上时, 沿对称线或对称面的温差应不超过30℃。

6.2.7.3 对较大构件个别部位可作局部消除内应力的焊后热处理。热处理时, 在焊缝两侧至少等于材料厚度的3倍区域内应保持规定的温度。隔热区外缘的温度应不超过300℃。

6.2.8 缺陷焊补

6.2.8.1 建造厂在修补特殊构件和主要构件的焊接缺陷时, 应编制详细的修补焊接工艺说明书。

6.2.8.2 焊补前应完全消除焊缝中的缺陷, 必要时可用磁粉检测或着色检测方法进行检查。

6.2.8.3 当进行浅层和局部修补时, 预热温度和施焊温度应比通常施焊时采用的温度高25℃, 且至少为100℃。

6.2.8.4 为保证重要焊缝的修补质量, 在修补焊缝缺陷时, 其焊缝长度应不小于100mm。

6.2.8.5 特殊构件上的同一部位的缺陷一般只允许修补2次。

6.2.8.6 对较长的焊缝缺陷可以分段修补, 以避免产生过高的内应力和裂纹。

- 6.2.8.7 焊后经过热处理的焊接接头，焊补后应再次进行热处理。
- 6.2.8.8 在施焊过程中，如缺陷重复出现或缺陷的范围较大时，应审查焊接工艺和焊工的资格。
- 6.2.8.9 焊补后的焊缝应与相邻部位过渡平顺，并按本章第3节的要求重新进行表面质量和内部质量的检验。
- 6.2.8.10 建造厂应做好修补缺陷的位置、大小、修补方法及焊补后质量检查等记录，存档备查。

第3节 焊接检验

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 海上设施的焊接工作应有自检和互检，建造厂要有专职人员在焊接施工之前、施焊期间及焊后对焊接过程和焊接质量作认真的监督检查，检验报告应在验收前提交本社验船师，全部检验报告应存档备查。

6.3.1.2 建造厂应制订1个详细的检验计划交本社认可。此计划应包括海上设施各个主要建造阶段建造顺序、检验部位和验收要求。

6.3.1.3 焊缝经建造厂检验后，应在不涂油漆的情况下提交本社验船师验收。若验船师对焊缝质量有疑问时，可要求重新检验或扩大范围检验。

6.3.1.4 建造厂使用的各项无损检测工艺及标准应经本社同意。

6.3.1.5 建造厂应向本社提交无损检测设备的合格鉴定证件，并保持设备良好的工作状态。

6.3.1.6 从事焊缝无损检测的人员应经过理论和实际操作方面的培训，并通过考核取得检验员资格后方可进行检测。检验员应具备有关焊接技术、检查程序和无损检测设备方面的知识，并能确定缺陷的部位、大小及性质，还能分析造成缺陷的原因，提出修补范围的建议。

6.3.1.7 所有焊缝表面应进行外观检查(包括使用10倍以下的放大镜)，焊波应均匀，焊缝边缘应平顺过渡到母材，焊缝外形尺寸应符合设计图纸要求和6.3.2.1的要求。

6.3.1.8 外观检查中，焊缝表面不得有裂纹、夹渣、未熔合以及不允许存在的气孔、焊瘤、弧坑和咬边。

6.3.1.9 海上设施结构的无损检验应根据不同部位，选用射线、超声波、磁粉或渗透的检测方法。如选用其他方法应经本社同意。

6.3.1.10 焊缝的无损检测检查一般应在焊后48h以后进行。当焊件要作焊后热处理时，无损检测应在热处理后进行。

6.3.1.11 若使用一种方法检测不能准确判断缺陷时，则应采用其他无损检测方法进行综合判断。

6.3.1.12 经无损检验评为不合格的焊缝，应在两端邻接部位增加无损检验范围。

6.3.1.13 焊缝修补后应进行无损检验，并将修补前后的检验报告送交本社备查。

6.3.1.14 当焊缝中存在超过验收标准允许范围的缺陷时，在有断裂韧性试验或有关的大量资料证明此缺陷对构件安全使用无害的条件下，经本社同意可免于修补。

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 对接焊缝余高度应符合有关标准，且应不超过3mm。

② 角焊缝的两焊脚高度差应不大于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。

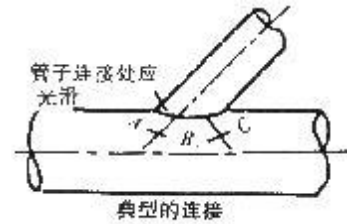
③ 管结点的焊缝尺寸如图6.3.2.1(1)①、②及表6.3.2.1(1)所示，打磨后焊缝的外形尺寸应

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，其焊脚高度除另有规定外，一般应不超过5mm。

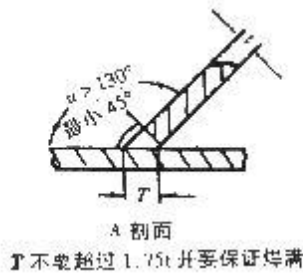
典型接头 α 与 T 的关系 表6.3.2.1(1)

| α | T |
|------------------------------------|---------|
| $\leq 35^\circ$ | $1.75t$ |
| $35^\circ < \alpha \leq 50^\circ$ | $1.50t$ |
| $50^\circ < \alpha \leq 135^\circ$ | $1.25t$ |
| $> 135^\circ$ | 见剖面A |

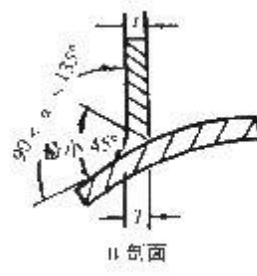


典型的连接
其中角度 α 是撑杆和弦杆在连接处的外表面交线上任一点所形成的角度

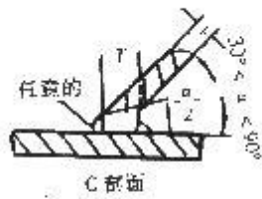
图中在 B 点撑杆和弦杆在连接处的点所形成的角度



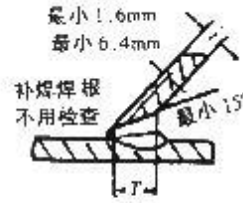
A 剖面
 T 不要超过 $1.75t$ 并要保证焊满



B 剖面



C 剖面



C 剖面

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

图 6.3.2.1(1)①

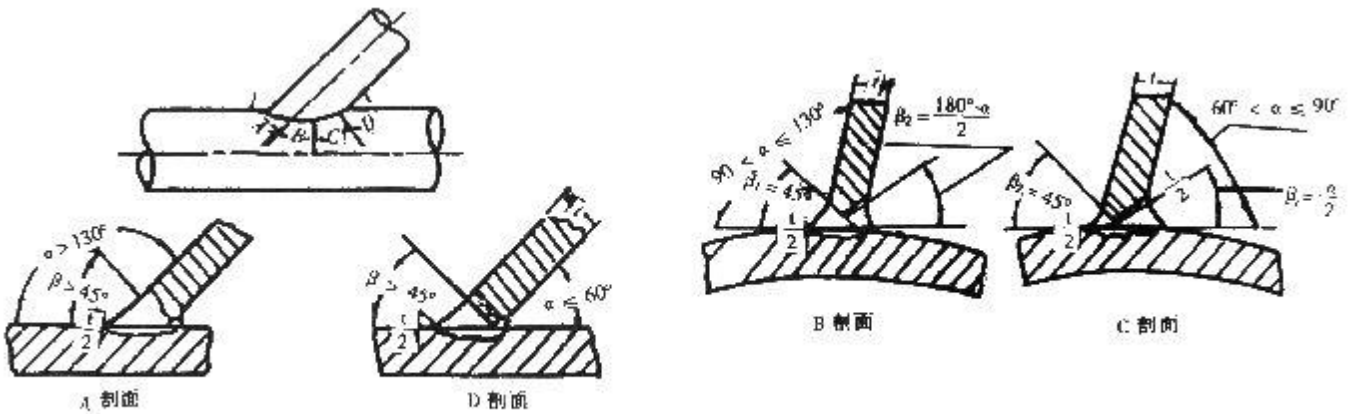


图 6.3.2.1(1)②

(2) 主要构件焊缝表面的咬边深度应不超过0.25mm，次要构件应不超过0.6mm。

(3) 表面缺陷在焊缝内部质量检验和密性试验前应予以修补。修补工艺应符合本章6.2.8的有关规定

6.3.2.2 焊缝无损检测:

(1) 对接焊构件的无损检验规定如下:

① 特殊构件的焊缝或由特殊构件和主要构件连接的焊缝，应进行100%超声波检测。

同时根据构件工作环境和板厚等情况再进行10%~20%射线检测和20%~100%磁粉检测，射线和磁粉检测的数量应经本社同意。

- ② 主要构件的焊缝或由主要构件和一般构件连接的焊缝，应进行10%~20%超声波检测和10%~20%磁粉检测，其检测数量应经本社同意。如超声波检测检查有疑问时，应用射线检测进行复查。
- ③ 次要构件的焊缝应进行0%~5%超声波检测和0%~5%磁粉检测，检测数量应经本社同意。
- ④ 主要的对接焊缝交叉点(T字形或十字形)应进行射线检测。

(2) 全焊透的角接焊构件的无损检验规定如下：

- ① 特殊构件的焊缝或由特殊构件和主要构件连接的焊缝，应进行100%超声波检测和100%磁粉检测。本社可根据实际情况要求一定数量的射线检测。
- ② 主要构件的焊缝或由主要构件和次要构件连接的焊缝，应进行20%超声波检测和20~100%磁粉检测，磁粉检测的数量应经本社同意。
- ③ 次要构件的焊缝应进行0~5%超声波检测和0~5%磁粉检测，其数量应经本社同意。

(3) 管结点的焊缝应进行100%超声波检测和100%的磁粉检测。本社可要求一定数量的射线检测进行核查。

(4) 射线检测

- ① 拍片的部位和张数可由建造厂根据构件类别、结构形式、工作条件及6.3.2.2的要求提出，并经本社同意。
- ② 射线灵敏度的测定应符合下列要求：
 - (a) 射线拍片时，应将金属线型的象质计放在光源一侧。当光源一侧不能放置时，在确定对透照灵敏度的影响程度后，也可放置在底片一侧。但实际灵敏度应通过对比试验保证达到规定要求。若采用一次曝光拍摄整个管子的环缝，则在环缝的周围应至少均匀地放置三个象质计。
 - (b) 放置在光源一侧的象质计的透照灵敏度应按下式计算：

$$S = \frac{d \times 100}{t} \%$$

式中：S——象质计灵敏度；

d——能看到的最细金属线直径，mm；

t——焊缝厚度，mm。

上式所得的灵敏度应符合图6.3.2.2(4)②的要求。

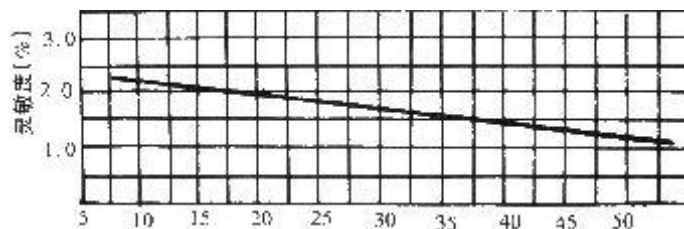


图6.3.2.2(4)

- ③ 检测报告中应写明检测人员姓名、焊缝编号、拍片日期、透照灵敏度、透照焊缝长度、缺陷的形状、尺寸及性质。同时根据本节6.3.2.2(6)的要求评定焊缝质量并提出返修部位。全部检测底片应随检验报告存档备查。

(5) 超声波检测

- ① 凡因焊接而使构件在厚度方向承受拉应力的完全焊透角焊缝和管结点，应在焊缝处宽为100mm的区域内采用超声波检测，检查有无层状撕裂。

- ② 建造厂应针对具体结构事先编订检测程序，并做好超声波检测仪的校正和确定初始灵敏度。检测过程中，若仪器工作不正常或受到损坏，则应重新校正仪器后再进行检测。
- ③ 超声波检测仪的校正，应在模拟缺陷的试块或带有小孔的对比试块上进行。模拟试块或对比试块的材料一般应与构件材料相同。如采用标定振幅来估计缺陷大小时，应考虑声束的衰减、表面粗糙度和曲率等的影响。
- ④ 超声波检测的检验报告中应对不合格的焊缝和接近不合格的焊缝列出下列数值，并附示意图说明：
 - (a) 缺陷沿焊缝轴线的位置和长度；
 - (b) 缺陷在焊缝横截面上的位置和大小(宽度)；
 - (c) 估计的缺陷类型。

根据本节6.3.2.2(6)的要求评定焊缝质量并提出返修部位。

- (6) 焊接的内部质量验收标准
 - ① 固定海上设施的焊缝内部质量应符合表6.3.2.2(61)①的要求。如采用其他标准，应经本社同意。
 - ② 当焊缝中存在超过验收标准允许范围的缺陷时，在有断裂韧性试验或有关的大量资料证明此缺陷对构件安全使用无害的条件下，经本社同意可免于修补。

化焊缝内部质量标准 **表6.3.2.2(6)**

| 缺陷类型 | | 构件类别 | 特殊构件 和主要构件 | 次要构件 |
|-------------------------------|--------------|------|---------------|--------------|
| 裂纹 | | | 不允许 | 不允许 |
| 未熔合 | | | 不允许 | 不允许 |
| 未焊透 | | | 不允许 | 不允许 |
| 夹渣 | 条状夹渣(长度) | | $\leq t/2$ | $\leq 2t/3$ |
| | 点状夹渣(每点尺寸) | | $\leq t/4$ | $\leq t/3$ |
| 气孔 | 管状气孔(长度) | | $\leq t/2$ | $\leq 2t/3$ |
| | 分散点状气孔(每点尺寸) | | $\leq t/4$ | $\leq t/3$ |
| | 一群密集气孔的孔径总和 | | $\leq t/2$ | $\leq s2t/3$ |
| 在任何 $6t$ 焊缝长度范围内， 各缺陷长度的总和 | | | $\leq 3t/4$ | $\leq t$ |
| 大于 2.4mm 缺陷之间的最小间隔 | | | $\geq 2.2t$ | $\geq 2t$ |

注：① 条状夹渣和管状气孔是指其长宽比大于3的缺陷。长宽比等于或小于3的为点状夹渣或气孔。

② 表中 T 对角焊缝为有效焊缝厚度高度，对对接焊缝为板厚，mm。

③ 点状夹渣或气孔在 $T \leq 51\text{mm}$ 时，最大值为4mm， $T > 51\text{mm}$ 时，最大值为6mm。

第7章 受压壳体的焊接

第1节 一般规定

7.1.1 适用范围

7.1.1.1 本章适用于锅炉与压力容器、液化气船C型独立舱、处理用压力容器、潜水系统和潜水器等承受内压或外压封闭结构的受压壳体的焊接。

7.1.1.2 本章规定仅适用于碳钢和低合金钢钢质容器以手工、自动或半自动电弧熔化焊的焊接联接。如采用其他方法，应经本社同意。

7.1.1.3 铝质壳体的焊接可按本篇第5章第5节的有关规定进行。不锈钢容器的焊接可按本篇第5章第4节的有关规定进行。

7.1.2 焊接材料

7.1.2.1 对于焊接结构的受压壳体，所选用的焊接材料应与母材相匹配，并经本社认可。

7.1.3 认可

7.1.3.1 制造受压壳体的工厂应向本社申请工厂认可或质量体系认证。

7.1.3.2 受压壳体制造厂在首次制造产品或使用新的焊接工艺时，应按相应的结构型式，根据本篇第3章的规定，进行焊接工艺规程认可。其中用于锅炉与受压容器的试样在弯曲试验时的压头直径应符合本章表7.2.3.4的规定。

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

7.1.3.4 断口组织均匀性检查的试样如图7.1.3.4所示，其断口应垂直于母材的表面并在焊缝中心线的两侧切割。试验时，将试样弯曲，使其在焊缝处折断，或用落锤法打断。然后目视检查断口，亦可用10倍以下放大镜检查。断口处组织应均匀，且不应有夹渣、气孔和粗晶等缺陷。

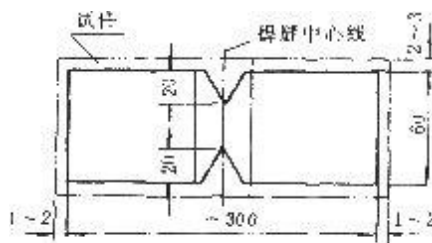


图 7.1.3.4

7.1.4 图纸与标准

7.1.4.1 受压壳体的焊接、施工和检验应按本社认可的图纸、工艺和接受的标准进行。

第2节 受压壳体的产品焊接试验

7.2.1 一般要求

7.2.1.1 除Ⅲ级受压容器外，各级受压壳体在生产过程中应根据本节规定，进行产品焊接试验。

7.2.1.2 锅炉与受压容器的分级见本社《钢质海船入级与建造规范》第3篇第6章有关规定。液化气处理用受压容器、C型独立舱及潜水系统与潜水器的受压壳体，除本社专门批准外，应作为I级受压壳体处理。

7.2.2 试板

7.2.2.1 通常每个受压壳体应焊制2个试件。液化气船上的受压容器、C型独立舱的受压壳体，至少每50m应焊制一个试件。大型潜水系统或潜水器受压壳体，至少每20m应焊制一个试件。锅炉与一般受压容器若焊制2个试件有困难时，经本社验船师同意，亦可焊制1个试件，但其长度除能按本节表7.2.3.1规定提供一整套试样外，还应有能截取复试试样的备用长度。

7.2.2.2 产品焊接试验试板的材料级别和厚度应与壳体材料相同，试板宽度不小于150mm，长度足以提供本节表7.2.3.1所规定的一整套试样。试板的坡口应与筒体焊缝的坡口相同。试板应用定位焊与筒体壳体相连接，使两试板间的焊缝成为筒体壳体纵向焊缝的延续和模拟。

7.2.2.3 锅炉与受压容器的环缝一般可不需焊制试件。但如筒体上仅有环缝或环缝与纵

缝所采用的工艺差别较大时，则应焊制环缝模拟试件1个。其试件应能提供本节表7.2.3.1所规定的一整套试样和所需的复试试样。制造同型受压壳体时。可按每30m环缝焊制1个试件。

7.2.2.4 焊接试件所用的方法、工艺和热处理等均应与筒体所采用的方法、工艺和热处理等相同。试件应与筒体一起热处理。

7.2.2.5 试件应采取措施，以减小由焊接引起的翘曲变形。对需要热处理的试件应在热处理前校平。

7.2.2.6 在割下试件之前，应由本社验船师或由其指定的代理人员打上本社的钢印，并做好标记。

7.2.3 试样与试验

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。

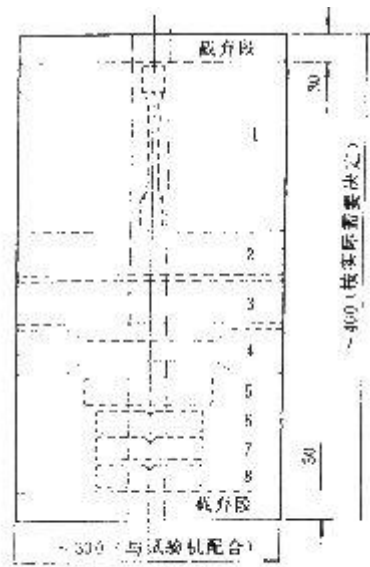


图 7.2.3.1

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 | 有要求 | 有要求 |
| 2 | 正向弯曲 ^① | 有要求 | 有要求 |
| 3 | 反向弯曲 ^① | 有要求 | 有要求 |
| 4 | 接头横向拉伸 | 有要求 | 有要求 |
| 5 | 断面宏观检查 | 有要求 | 有要求 |
| 6~8 | 冲击试验 ^② | 有要求 | |

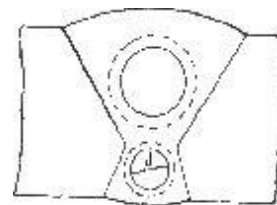


图 7.2.3.3

注：① 当试板厚度超过20mm时，改取侧弯试样做侧弯试验。

② 对液化气处理用受压容器、C型独立舱、潜水系统和潜水器受压壳体，

应增加1组3个缺口位于熔合线上的冲击试样。

7.2.3.2 除本节7.2.3.3和7.2.3.4的规定外，试样的制备和试验应符合本篇第1章第2节的有关规定。

7.2.3.3 当试板厚度超过70mm时，应按图7.2.3.3所示，制取2个熔敷金属拉伸试样。如试样直径无法取为10ram时，则应尽可能取大的直径，其标距长度为直径的5倍。

7.2.3.4 弯曲试验的压头直径和支辊边缘的内间距应符合表7.2.3.4的规定。

弯曲试验的压头直径与支辊间距

表7.2.3.4

| 试板规定的最小抗拉强度 σ_b (N/mm ²) | 压头直径 | 支辊边内间距 |
|---|------|--------|
| $\sigma_b < 460$ | $2t$ | $4.2t$ |
| $460 \leq \sigma_b < 510$ | $3t$ | $5.2t$ |

注：表中 t 为弯曲试样的厚度. mm。

7.2.4 验收与复试

7.2.4.1 各项试验的结果应符合表7.2.4.1的规定。

产品焊接试验的要求

表7.2.4.1

| 试验项目 | 受压壳体 | |
|----------|---|----------|
| | I级 | II级 |
| 熔敷金属拉伸试验 | (1) 抗拉强度 σ_b ：不小于母材规定的最小抗拉强度，且不大于母材规定的最小抗拉强度加上145N/mm ² (2) 伸长率 δ_5 ； $\delta_5 \geq (980 - \sigma_b) / 21.6$ ，且不低于母材规定最小伸长率的80%。 | |
| 弯曲试验 | 按本节表4.2.3.4的规定，选取压头直径和支辊边缘内间距。压头垂直于试样加压直至试样完全弯曲为止。试样弯曲后，试样受拉表面出现的裂纹或其他缺陷的长度应不大于3mm。 | |
| 接头横向拉伸试验 | 对接接头的抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度。 | |
| 断面宏观检查 | 不应有未焊透、未熔合、较大的夹渣或其他缺陷。 | |
| 冲击试验 | 常温冲击试验，其平均冲击功应不低于27J。* | 不要求冲击试验。 |

* 除锅炉与一般压力容器用试样的冲击试验温度为常温外，其他受压壳体试样的冲击试验温度应符合母材规定的冲击温度。

7.2.4.2 任一试样的试验结果不合格时，应查明其不合格的原因，并另行截取2个试样进行复试。

7.2.4.3 如原先已备有2个试件者，则应从第2个试件上截取复试试样。

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

7.2.4.5 当液化气船的C型独立舱和处理用受压容器的冲击试验不合格时，经本社同意，可通过落锤试验对冲击试验予以验收。在此情况下，对每级不合格冲击试验，应取2个落锤试样，并在夏比冲击试验的温度下对其进行落锤试验，且2个试样均应不断裂。

第3节 受压壳体的制造

7.3.1 一般要求

7.3.1.1 除另有规定外，受压壳体的主要焊缝均应采用对接焊。

7.3.2 坡口

7.3.2.1 受压壳体各构件的待焊接板边应有良好的坡口。坡口可采用气割、机加工、凿削或打磨的方法来加工。当采用气割方法时，气割的坡口表面应用机加工或打磨的方法清除所有的熔渣和氧化物。

7.3.3 对接焊缝的拼接

7.3.3.1 柱形受压壳体对接焊缝的两板面之间，于任何一点上的错边应不大于板厚的10%，且对纵缝应不超过3mm，对环缝应不超过4mm。

7.3.3.2 球形受压壳体和柱形受压壳体封头接头处对接焊缝的两板面之间，于任何一点上的错边应不大于板厚的10%，且应不超过3mm。

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

(1) 对于纵向焊缝，较厚板的边缘应以机加工内外面等量削斜，在环向方向上斜边的宽度应不小于厚度差的两倍，使两板边沿在焊缝处具有相等的厚度。对于环缝，也应以类似的方法对厚板进行削斜，在纵向方向上斜边的宽度与上述要求相同；

(2) 对于环缝，如整个周向板厚的厚度差是相等的，则较厚板的边缘应以机加工削斜，斜边的宽度不小于厚度差的4倍，使两板边沿在环缝处具有相等的厚度；

(3) 当焊缝宽度足以使焊缝表面形成上述(1)和(2)规定的斜面过渡时，母材表面允许不进行削斜处理。

7.3.3.4 不要求焊透的角焊缝的构件可不开坡口，装配时构件要贴紧，局部不能贴紧的部件的间隙应不超过下列规定：

- (1) 当构件厚度小于或等于10mm时，为2mm；
- (2) 当构件厚度大于10mm时，为3mm；
- (3) 处于仰焊位置时，为2mm。

7.3.4 焊接

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

7.3.4.2 焊接操作应在具有防雨、雪的遮蔽，并考虑避风的条件下进行。当环境温度较低或湿度较高时，应具有可靠的预热或去潮措施可供使用。

7.3.4.3 除另行批准外，受压壳体的焊接应选用低氢或超低氢焊接材料。使用前应严格按照规定加以干燥。

7.3.4.4 受压壳体上的对接焊缝应为双面全焊透，其上的受力角焊缝一般也应全部焊透。焊接封底焊道前应进行清根。如因结构特殊、确实无法进行封底焊时，经本社同意，可允许安装垫板进行焊接，但垫板的材料应与筒体板的成分相同。

7.3.4.5 采用单面焊时，应采用适当措施保证焊缝根部能完全焊透，并使因焊缝金属收缩所产生的变形为最小。

7.3.4.6 焊接应尽可能安排在不平焊位置上进行。对于环缝应采取措施，以保证符合此项要求。

7.3.4.7 如由于接头的拘束力、板材的厚度以及被焊材料成分而有预热要求时，应采用预热和保持焊道间最低温度的焊接工艺。

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

7.3.4.9 受压壳体上的短管、法兰和座板一般应采用双面连续的角接焊缝，且在热处理以前装焊完毕。

7.3.4.10 焊缝外表面可以和壳体板表面齐平，也可以做成使焊缝中心的总厚度稍大于板厚，但焊缝余高的截面变化应逐渐过渡。

7.3.4.11 壳体板上所焊接的拉攀、支架、支管、人孔框架及开孔周围的补强板等附件应与壳体板完全贴合。且应在壳体热处理前焊装完毕。如确因结构需要而必须在热处理以后焊装者，应经本社同意。

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

第4节 热处理

7.4.1 一般要求

7.4.1.1 受压壳体连同其产品焊接试验试板的热处理应在焊制完毕后、液压试验之前进行。

7.4.1.2 下列受压壳体一般可免做焊后热处理：

(1) I级受压壳体，当采用碳钢或碳锰钢，且其焊接构件的厚度小于20mm时；

(2) II级锅炉与受压容器，当采用碳钢，其焊接构件的厚度小于30mm且工作温度不大于150℃时；或采用碳锰钢，其焊接构件的厚度小于20mm且工作温度不大于150℃时；

(3) 所有III级受压容器。

7.4.1.3 潜水系统与潜水器受压壳体的板厚超过20mm时，若能证明其焊接接头具有良好的断裂韧性，则经验船师同意可免做焊后热处理。

7.4.2 热处理炉

7.4.2.1 热处理炉应具备以下条件：

(1) 具有适宜的控制温度的设备；

(2) 装有测量和记录炉内温度变化的高温温度计。

7.4.3 热处理

7.4.3.1 受压壳体一般应进行整体热处理。若因条件限制，无法进行整体热处理时，可允许分段热处理，但应保证焊缝的全长均受到热处理。

7.4.3.2 热处理应包括将受压壳体筒体缓慢且均匀地加热到适合于消除内应力的温度，并保温适当时间。然后在炉内缓慢均匀地冷却到400℃以下。最后置于静止的空气中进行冷却。

7.4.3.3 热处理温度、保温时间、加热和冷却速度的选择应使受压壳体的残余应力得以消除，性能得到改善，而不能使材料性能下降。

7.4.3.4 对碳钢或碳锰钢，消除残余内应力热处理的温度和保温时间建议按表7.4.3.4的规定进行。对合金钢，热处理应根据所选用的材料确定，且应经本社同意。

消除残余应力热处理的温度与保温时间

表7.4.3.4

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

第5节 检验与修补

7.5.1 一般要求

7.5.1.1 受压壳体的检验应包括筒体不圆度测量、焊缝外观检查、焊缝内部质量检验以及筒体液压试验。

7.5.1.2 受压壳体的液压试验应根据不同产品的要求进行。

7.5.2 受压壳体不圆度测量

7.5.2.1 受压壳体在制造完工、最终热处理前及后应检查其壳体不圆度和外形尺寸等局部偏差。壳体不圆度是指在同一截面上所测得的最大和最小的内径相差值。

7.5.2.2 在测量壳体不圆度时，允许将壳体平放或竖放。平放测量时，应将壳体绕其纵轴转动，每90°测量直径一次，每一直径两次测得的值应加以平均，然后求得该壳体的不圆度数值。

7.5.2.3 壳体外形轮廓偏差(局部不圆度)是以具有理论轮廓的设计型线量规测得的壳体实际轮廓与理论轮廓的偏差。测量时，用量规在内侧(见图7.5.2.3(a))或外侧(见图7.5.2.3(b))测量与壳体实际轮廓的差值 X 。

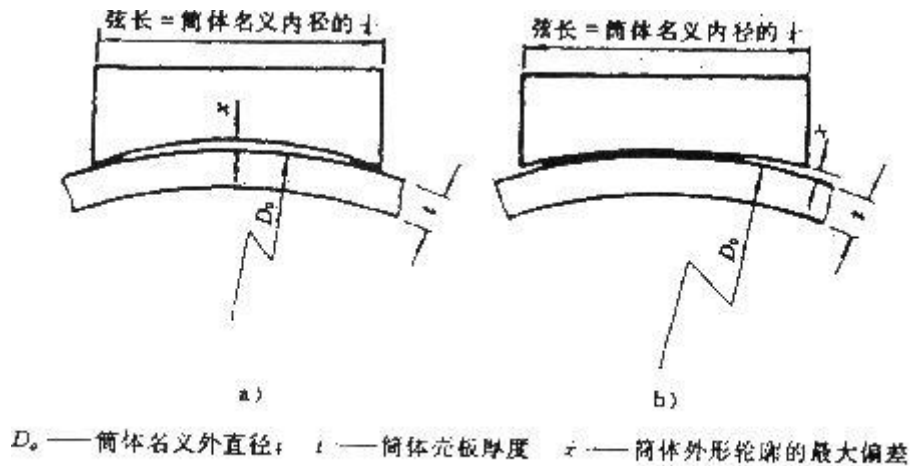


图 7.5.2.3

7.5.2.4 测量锅炉与一般受压容器的设计型线量规的弦长等于壳体名义内径的1/4。锅炉与受压容器外形轮廓偏差 X 和壳体不圆度 $\Delta\phi$ 均应符合表7.5.2.4的规定。

锅炉与一般受压容器壳体不圆度偏差

表7.5.2.4

| 受压壳体的名义内径 D_i (mm) | 壳体不圆度允差值 $\Delta\phi$ (mm) | 外形轮廓的最大偏差 X (mm) |
|-------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| $D_i \leq 300$ | $\leq 0.1 D_i$ | 1.2 |
| $300 < D_i \leq 460$ | | 1.6 |
| $460 < D_i \leq 600$ | | 2.4 |
| $600 < D_i \leq 900$ | | 3.2 |
| $900 < D_i \leq 1220$ | | 4.0 |
| $1220 < D_i \leq 1520$ | | 4.8 |
| $1520 < D_i \leq 1900$ | | 5.6 |
| $1900 < D_i \leq 2300$ | ≤ 19 | 6.4 |
| $2300 < D_i \leq 2670$ | | 7.2 |
| $2670 < D_i \leq 3950$ | | 8.0 |
| $3950 < D_i \leq 4650$ | ≤ 19 | $0.002 D_i$ |
| > 4650 | $\leq 0.004 D_i$ | $0.002 D_i$ |

7.5.2.5 锅炉与压力容器受压壳体焊接后实际的外部周长和计算的理论周长(根据筒体名义内径和实际板厚确定)的偏差值应不大于表7.5.2.5的规定。

筒体外周长偏差

表7.5.2.5

| 外径(名义内径加上2倍板厚)(mm) | 筒体周长的偏差值(mm) |
|--------------------|------------------------|
| 300~600 | $\leq \pm 5$ |
| >600 | $\leq \pm 0.25\%$ 筒体周长 |

7.5.2.6 潜水器和潜水系统等承受外压的壳体的整体不圆度 $\Delta\psi$ 应不大于名义直径的0.5%。

7.5.2.7 用于潜水器和潜水系统等承受外压的壳体测量的“设计型线量规”的弧长应根据不同的结构形式,按下式计算,取小值:

(1) 球壳体: $L_a = 4\sqrt{R_o t}$, mm;

(2) 圆柱壳体: $L_a = 1.15\sqrt{l\sqrt{R_o t}}$ 或 $L_a = 0.5\pi R_o$, mm;

式中: L_a ——样板弧长, mm;

R_o ——壳体名义内半径, mm;

t ——壳板实际厚度, mm;

l ——肋骨间距, mm。

7.5.2.8 当采用本节7.5.2.7规定弧长样板测量承受外压的受压壳体的局部不圆度时,壳体局部不圆度 X 应不超过下式规定的值:

$$X = \frac{0.01L_a}{1 + \frac{L_a}{R_o}} \quad \text{mm}$$

式中: L_a ——样板弧长, mm;

R_o ——壳体名义内半径, mm。

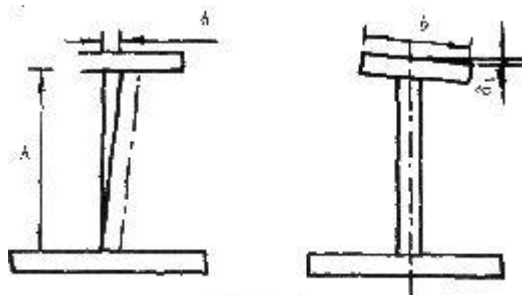


图 7.5.2.9

7.5.2.9 当承受外压的圆柱壳体的 $l/R_o < 2.25\sqrt{t/R}$ 时,应检查壳体母线的局部直度,而不必测量壳体的局部不圆度。局部直度是指肋骨间壳板和壳体母线之间的径向最大差值。其最大值应不超过7.5.2.8中规定的 X 值。

7.5.2.10 承受外压的壳体,还应检查其环形肋骨的局部偏差。安装后的环形肋骨局部偏差应符合下列规定(见图7.5.2.9):

(1) 腹板垂直度偏差 δ_1 应不超过腹板高度的3%,当腹板高度大于300mm时,最大不超过10mm。

(2) 翼板平行度偏差 δ_2 应不超过翼板宽度的5%。

7.5.3 外观检查

7.5.3.1 受压壳体焊缝表面应均匀、致密,不应有裂纹、焊瘤、气孔、夹渣、咬边、弧坑和未填满等缺陷。如有上述缺陷,应在无损检测之前清除。

7.5.3.2 受压壳体表面不应有伤痕。筒体上的焊疤等均应铲除或在距筒体表面3~5mm处割除,然后打磨平整。

7.5.4 焊缝无损检测

7.5.4.1 受压壳体的焊缝应作无损检测。检测的方法、数量和部位应符合表7.5.4.1的规

定。无损检测的工艺应经本社同意。

受压容器检测要求

表7.5.4.1

| 检测类别 | 受压壳体 | | C型独立舱与处理用压力容器 | 潜水系统与潜水器 |
|---------|--|----------------------------|--------------------------------|---------------|
| | II级 | I级 | | |
| 射线检测 | 所有受压壳体、鼓筒、联箱、接管的所有对接缝 ^① ，连同试板应作100%检查。 | 试板应作100%的检查；对接缝应作大于10%的抽查。 | 壳体对接缝应作100%的抽查。 ^② | 壳体对接缝应作100%检查 |
| | 锅炉炉胆、燃室以及其他类似的受压部件应作局部抽查。 | | | |
| 超声波检测 | 板厚超过50mm，经本社同意，可用超声波代替射线进行检测。必要时仍应选择局部焊缝进行射线检测。承压壳体上的全焊透角焊缝应100%进行超声波检测。 | | 壳体上的全焊透角焊缝应作100%进行超声波检查。 | |
| 磁粉或渗透检测 | 管柱、复板、短管和支管等焊缝未经射线检查者，应作10%磁粉或渗透检测的抽查。必要时，验船师可要求增加检查的部位和数量。 | | 抽查全部焊缝的10%；在开孔处或接管处的加强焊缝100%检查 | |

注：① 联箱、接管及其他筒形构件，当外径≤170mm时，其模压接头的环缝应作10%的抽查。

② 经本社同意，处理用受压容器的射线检查范围可为壳体10%对接焊缝及全部对接焊缝的交叉点。

③ III级压力容器可由验船师根据实际用途确定是否需要无损检测。

7.5.4.2 承受外压的壳体在经过耐压试验后，除还需进行外观检查外，对重要部位应进行磁粉或着色检测。检测的部位及数量应经验船师同意。

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

7.5.4.4 焊缝无损检测一般应在焊后48h后进行。

7.5.4.5 射线检测的灵敏度应符合下列规定：

- (1) 采用孔型象质计时，在射线照片上能看到的最小孔径：对焊缝厚度不超过50mm者，应不大于焊缝厚度的3%；对焊缝厚度超过50mm者，应不大于焊缝厚度的2.5%；
- (2) 采用金属丝型象质计时，在射线照片上能看到的金属丝的最小直径：对焊缝厚度为10~50mm者，应不大于焊缝厚度的1.5%；对焊缝厚度为50~200mm者，应不大于焊缝厚度的1.25%。

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

7.5.4.7 超声波和磁粉检测的灵敏度应根据具体检测部位而定，并应得到验船师的同意。

7.5.4.8 需无损检测的焊缝，其质量应按本社接受的标准进行评定。

7.5.4.9 对潜水系统和潜水器的承压壳体检查中发现有超过合格限度的缺陷，且返修困难时，经本社同意，允许执行以断裂力学为基础的焊缝缺陷的验收标准。

7.5.5 缺陷修补

7.5.5.1 焊缝无损检测发现有不允许存在的缺陷时，应确定缺陷的范围。超标缺陷应予以清除，必要时可采用磁粉或渗透检测方法进行检查。在确认缺陷完全清除后，再进行焊补。

7.5.5.2 在抽查的焊缝中发现有不允许存在的缺陷时，应在该被检焊缝所代表的焊缝长度上任选2处进行复查。如复查合格，则将原焊缝中的缺陷剔除，重新焊补。如复查仍不合格，则应采取下列之一的措施：

- (1) 将该被检焊缝所代表焊缝的全长长度铲除干净，重新焊接。然后作为新的焊缝提交进行焊缝抽查，同时与此焊缝有关的试板也应进行类似的处理；
 - (2) 对所代表焊缝的整个长度进行检查，凡有缺陷之处均应进行修补，然后对所有修补处重新进行检查。
- 7.5.5.3 受压壳体的焊补工艺应经本社验船师同意。
 - 7.5.5.4 通常耐压壳体的同一部位缺陷修补应不超过两次。
 - 7.5.5.5 缺陷的修整和焊补应在焊后热处理之前完成。
 - 7.5.5.6 焊补后重新检验的结果应使本社验船师满意。

第8章 重要机件的焊接

第1节 一般规定

8.1.1 适用范围

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

8.1.2 材料

8.1.2.1 所选用的焊接材料应按本篇第2章的有关规定进行认可。

8.1.3 焊接工艺认可

8.1.3.1 在施工前应按本篇第3章第1节的有关规定，将重要的焊接构件所采用的焊接工艺规程提交本社认可。

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

8.1.4 结构

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

8.1.4.2 两种不同厚度的构件对接时，其厚度差大于或等于4mm时，应对厚板的边缘进行削斜，使其均匀过渡。斜边的宽度应不小于厚度差的4倍。

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

8.1.5 预热

8.1.5.1 在下列情况下应考虑采用适当的焊前预热措施：

(1) 当焊接大型构件和复杂构件以及设计图纸上特别规定的重要机件时；

(2) 当被焊构件或机件材料的含碳量大于0.23%或碳当量 C_{eq}

($C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$) 大于0.14%时；

(3) 当在环境温度低于0℃和 / 或湿度较大的环境下进行焊接时。

第2节 转子轴的焊接

8.2.1 一般要求

8.2.1.1 本节适用于涡轮机及废气涡轮增压器转子轴的焊接。

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

8.2.2 工艺认可试验

8.2.2.1 前应按经本社同意的焊接工艺规程焊制试件，进行熔敷金属拉伸试验、接头横向拉伸试验、正弯和反弯试验，以及断面宏观组织检查。

8.2.3 焊后热处理

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

8.2.3.2 焊缝的内、外部缺陷均应在热处理以前修补完毕。

8.2.4 无损检测

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

第3节 机座、机架、汽缸与壳体等构件的焊接

8.3.1 一般要求

8.3.1.1 本节适用于柴油机的机座、机架、曲轴箱、气缸体和涡轮机的底座、汽缸、隔板、冷凝器以及废气涡轮增压器和减速齿轮箱的壳体等构件的焊接。

8.3.2 焊接工艺认可试验

8.3.2.1 对柴油机的机座、机架以及涡轮机的底座等构件，应制备模拟接头，进行拉伸、弯曲、冲击和断面宏观检查试验，试验结果要求为：

- (1) 拉伸试验：不低于母材规定的最小抗拉强度；
- (2) 冲击试验：不低于母材的最小平均冲击功；
- (3) 弯曲试验：同本篇第7章表7.2.4.1弯曲试验的规定；
- (4) 断面宏观检查：不应有裂纹、未焊透和未熔合，以及不允许存在的咬边和夹渣等缺陷。

8.3.2.2 涡轮机汽缸的对接接头应进行包括有拉伸、弯曲和焊缝断面宏观检查的焊接试验，其结果应符合本篇第7章表7.2.4.1的有关规定。

8.3.2.3 涡轮机的隔板、喷嘴板等应选具有代表性的试样，进行切片和宏观浸蚀检查。

8.3.3 焊前准备

8.3.3.1 构件的坡口应采用气割或机加工方法加工至所需的形状和表面粗糙度。

8.3.3.2 构件拼装应准确，其焊缝的坡口型式、间隙均应符合要求。

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

8.3.3.4 焊接应尽可能采用平焊位置，并应避免不良环境条件的影响。

8.3.4 焊后热处理

8.3.4.1 碳钢或碳锰钢制成的机座及涡轮机的汽缸应按本篇第7章表7.4.3.4规定的温度和保温时间进行焊后热处理。

8.3.4.2 合金钢的热处理方法应提交本社认可。

8.3.5 无损检测

8.3.5.1 构件在热处理完成后，应按下列规定对焊缝进行检查：

- (1) 涡轮机汽缸：压力壳体内承受主要应力的接缝应作射线透视检查；
- (2) 涡轮机的其他接缝：喷嘴板和支管连接的接头、隔板接头等应采用经本社同意的无损检测方法进行检查；
- (3) 柴油机焊装组合的横梁构件的焊缝，应采用经本社同意的无损检测方法进行检查；
- (4) 其他重要机件的接缝，如本社验船师认为有必要时，也可要求作无损检测。

第9章 压力管系的焊接

第1节 一般规定

9.1.1 适用范围

9.1.1.1 本章规定适用于采用手工、自动或半自动电弧焊以及经本社认可的其他方法所焊接的管子对接接头、支管和法兰连接的接头。

9.1.1.2 氧—乙炔气体焊仅限于焊接直径不超过100mm或壁厚不超过9.5mm的管子对接接头。

9.1.2 焊接工艺认可

9.1.2.1 对于首次焊制或采用新的焊接工艺时，应按本篇第3章的有关规定将下列连接接头的焊接工艺规程提交本社认可。

- (1) 法兰与管子的连接；
- (2) 阀箱与管子的连接；
- (3) 附件与管子的连接；
- (4) 管子与管子的对接；
- (5) 分支管接头的焊接等。

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

9.1.2.3 试验焊缝应按本章第3节规定进行质量检查，并按验船师指定部位切成剖面。然后，对每一剖面的表面进行加工、浸蚀和检查焊缝及热影响区的缺陷。

9.1.2.4 对合金钢的钢管接头及分支管接头还应作破坏性试验和按本篇第1章第2节的有关规定进行力学性能试验。对碳钢、碳锰钢的管接头及分支管接头，本社验船师认为有必要时，也可要求进行力学性能试验，以验证接头是否具有足够的强度。

第2节 管子接头的焊接

9.2.1 一般要求

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

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

9.2.2 焊接

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

- (1) 对带固定垫环的管子：0.5mm；
- (2) 对不带固定垫环的管子：
 - ① 内径小于150mm，厚度不大于6mm时，为1mm或 $t/4$ ，取较小值；

- ② 内径小于300mm，厚度不大于9.5mm时，为1.5mm或 $t/4$ ，取较小值；
- ③ 内径大于或等于300mm或壁厚超过9.5mm时，为2.0mm或 $t/4$ ，取较小值。

t 为管壁厚度。

9.2.2.2 施焊前应清除焊缝边缘上的氧化物、潮湿和油污等，焊缝间隙和坡口应符合焊接工艺规程的要求。

9.2.2.3 管子接头的预热温度应根据其材料的化学成分和管壁厚确定。预热温度一般应符合表9.2.2.3的要求。

管接头的预热温度

表9.2.2.3

| 钢材种类 | 较厚部分的厚度(mm) | 最小预热温度(°C) |
|---------------------------------------|------------------|------------|
| 碳钢及碳锰钢(C+Mn / 6≤0.4) | ≥20 ^② | 50 |
| 碳钢及碳锰钢(C+Mn/6>0.4) | ≥20 ^② | 100 |
| 0.3Mo | >13 ^② | 100 |
| 1Cr0.5Mo | <13 | 100 |
| | ≥13 | 150 |
| 2.25CrMo及0.5Cr0.5Mo0.25V ^① | <13 | 150 |
| | ≥13 | 200 |

注：① 对该类材料，如本社对焊接工艺认可中的硬度试验结果认为可以接受，则可免除厚度为6mm及以下材料的预热。

② 对环境温度低于0°C时，不论厚度如何，均应按最小预热温度进行预热。特殊情况本社将特殊考虑。

③ 表中数值为低氢的焊接方法。如采用非低氢的焊接方法，则应考虑采用较高的预热温度。

9.2.2.4 对接接头的焊缝与母材的过渡应平缓且均匀。

第3节 焊接质量检查

9.3.1 一般要求

9.3.1.1 管子焊接后应进行外观检查、无损检测和液压试验。

9.3.1.2 液压试验应按本社《钢质海船人级与建造规范》第3篇第2章第5节的规定进行。

9.3.2 外观检查

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

9.3.3 无损检测

9.3.3.1 I类受压管系的对接焊缝应按表9.3.3.1的规定进行射线检测；II类受压管系的对接焊缝由本社验船师指定位置进行射线检测。射线检测的灵敏度应符合本篇第7章7.5.4.5的规定。

I类受压管系对接焊缝的射线检测范围

表9.3.3.1

| 管子外径(mm) | 检测范围 |
|----------|--------------|
| ≤76 | 由本社验船师指定位置抽查 |
| >76 | 焊缝100%进行检查 |

9.3.3.2 如用超声波检测代替射线检测，应经本社同意。

9.3.3.3 I类受压管系的填角焊缝应按表9.3.3.3的规定进行磁粉检测。II类受压管系的填角焊缝由本社验船师指定位置进行磁粉检测。

I类受压管系填角焊缝的磁粉检测范围

表9.3.3.3

| 管子外径(mm) | 检测范围 |
|----------|--------------|
| ≤76 | 由本社验船师指定位置抽查 |
| >76 | 焊缝100%进行检查 |

第4节 焊后热处理

9.4.1 一般要求

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

- (1) 钢管和组合分支管的含碳量超过0.23%；
- (2) 钢管和组合分支管的含碳量未超过0.23%，但壁厚超过20mm的I类受压管或壁厚超过30mm的II类受压管。

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

- (1) 用电弧焊连接的；
- (2) 经加热成形，或弯管加工的；
- (3) 冷弯成形而弯心半径小于3倍管子外径的(弯心半径从弯管内侧边缘测量)。

9.4.1.3 凡采用氧—乙炔气体焊连接的管子，焊后均应进行正火加回火处理，对材料为碳钢或碳锰钢时，亦可采用正火处理。

9.4.1.4 碳钢、碳锰钢的消除应力热处理温度为580~620℃；保温时间按每25mm管壁厚度1h选取。合金钢消除应力热处理的温度应根据材料成分确定，并经本社验船师同意。

第10章 海底管系的焊接

第1节 一般规定

10.1.1 适用范围

10.1.1.1 本章规定适用于海底输送管系的现场组装焊接及焊接管段制造中的焊接。

10.1.1.2 本章规定适用于采用手工、半自动和自动电弧焊、电阻闪光对接焊和其他经本社认可的方法。

10.1.2 材料

10.1.2.1 海底管系的管段可直接采用无缝钢管或用钢板卷制焊接而成。

10.1.2.2 制管用钢材的屈服强度应不大于500MPa，且应经本社认可。

10.1.3 焊接工艺

10.1.3.1 海底管系的焊接应按本篇第3章规定的程序和有关要求焊接工艺认可。

10.1.3.2 海底管系海上安装的水下焊接工艺应经本社认可。

10.1.4 焊工

10.1.4.1 从事海底管系海上现场安装焊接的焊工，除应具有与从事焊接作业相适应的焊工合格证外，还应经过与海上安装作业环境相应条件下的培训和考核。

10.1.4.2 从事海底水下焊接安装作业的焊工，除应具有本社颁发或认可的水下焊工合格证外，还应具有适用的潜水合格证书。

第2节 管系的组装焊接

10.2.1 一般要求

10.2.1.1 管子的组装焊接可分为预组装焊接和管系现场组装焊接。预组装焊接可在陆上或海上作业地进行。

10.2.1.2 组装作业现场应具有合适可靠的焊接设备和焊接作业环境。能保证焊接作业安全顺利地进行。

10.2.1.3 组装现场应对进场的管子进行外观和尺寸复查。发现在运输过程中可能造成的各种缺陷应在投入使用前予以消除。

10.2.1.4 组装焊接一般应在防腐涂层涂装前进行。根据铺管方法的要求，也可在涂层施工完后进行管子的对接焊。

10.2.2 焊接工艺

10.2.2.1 在组装焊接前宜在管子外表面用油漆标明安装用的连续数码编号，以利辨认、丈量和记录。被截短后的管子应重新丈量和标记。

10.2.2.2 管端坡口处应清除湿气、油脂、氧化皮等影响焊接质量的污物。

10.2.2.3 焊接时应严格按已认可的焊接工艺进行组装焊接。在焊接较高强度钢管时，应采用低氢型焊接材料和工艺措施。

10.2.2.4 一般在头两道焊道焊完前，不允许移走内、外对口器。当为了对中需进行点焊时，应用

经认可的焊接工艺规程，并只允许在焊缝坡口内进行点固焊。不良的点固焊缝应予清除。

10.2.2.5 在接头未达到足够强度前，不应中断焊接，以避免管子在挪动或搬运过程中发生塑性变形和裂缝。

10.2.2.6 在中断焊接后重新开始焊下道焊道前，应清除焊渣。若焊接工艺中有预热要求，则应将接头预热到规定的最低预热温度时再施焊。

10.2.2.7 立管和管道的永久性支撑构件、附件及起吊环扣等一般应焊在加强环上。临时使用的加强环应用夹具夹紧。

10.2.2.8 永久性加强环一般应制成完整的套环，其材料应符合承压部件的要求。在焊接套环的纵向焊缝时应加条状衬板，以免焊穿主管。环向焊缝应是连续的，其焊接方式应使根裂和层状撕裂危险减至最小程度。

10.2.3 水下焊工艺

10.2.3.1 水下焊接应在已排出水的焊接舱内用低氢焊接材料和工艺施焊。若采用其他水下焊接方法，应经本社批准。

10.2.3.2 焊接用的密封装置，应符合设计和制造的要求。密封清管器除经使用，证明性能可靠外，一般应在装入管道前经受压力试验。

10.2.3.3 应制订详细的焊接工艺规程，除本篇第3章有关规定外，还应附加下述内容：

- (1) 水深；
- (2) 密封舱内的压力；
- (3) 密封舱内的气体组分；
- (4) 舱内湿度；
- (5) 舱内温度。

10.2.3.4 水下焊接时，其焊接工艺的基本参数允许变动范围除本篇第3章有关规定外，还应符合下述要求：

- (1) 舱内压力不应有任何增加；
- (2) 舱内气体组分不应有任何变化；
- (3) 舱内湿度不应有超过所要求范围的任何增加。

10.2.3.5 为了消除焊缝的湿气和防止焊缝中的氢扩散，应将焊缝坡口区域预热到适当温度。

10.2.3.6 水下焊接作业面上应具有良好的照明和通风装置，以保证水下焊接作业的顺利进行。

10.2.3.7 水下焊接的连接焊缝应进行全长度无损检测，并按规定的标准进行验收。

10.2.4 焊缝检验

10.2.4.1 所有组装焊接的焊缝完工后均应进行100%外观检查和100%射线无损检测。无损检测的工艺应经本社认可。

10.2.4.2 每条经外观检查或无损检测的焊缝应做好检查记录，以便于查找有疑问焊缝的位置和采用无损检测进行复核。

10.2.4.3 完工焊缝应符合表10.2.4.3所规定的要求。

10.2.5 焊缝的修补

10.2.5.1 当检查发现有超出允许范围的缺陷时，允许清除焊缝缺陷并进行修补或切除部分带缺陷焊缝的管段。

10.2.5.2 浅表性缺陷允许进行打磨处理。管子打磨消除缺陷时，其剩余壁厚应不小于规定的最小厚度。打磨应由熟练人员进行，打磨后的表面应保持光滑过渡。

10.2.5.3 管子补焊前应制订包括管子和焊缝在内的焊接修补工艺规程，必要时可要求进行焊补工艺的认可试验。经本社同意后，才能用于管子的补焊。

10.2.5.4 所制订的焊缝焊补工艺规程，除本篇第3章规定外，还应包括下列技术要求：

- (1) 除去缺陷的方法，焊区清理及修补后 有无损检测工艺；

(2) 最小和最大修补深度和长度。

海底管道系统焊缝检查要求

表10.2.4.3

| 缺陷名称 | | 合格要求 |
|------|------------------------|--|
| 内部缺陷 | 气孔 | 分散性气孔最多应为投影面积的3%。其最大孔径为 $t/4$ ，最大为4mm。 密集性气孔，在任何连续的300mm焊缝长度内应不超过12mm直径的面积，其任一单独气孔的最大直径应不超过 $t/8$ ，最大为2mm。 成线状的气孔不得透出焊缝表面，最大孔径为 $t/8$ ，最大为2mm。 |
| | 夹渣 ^{①②③} | 孤立的夹渣：长度 $\leq t/2$ ，宽度 $\leq t/4$ ，最大为4mm。 成线状夹渣：长度 $\leq 2t$ ，最大为50mm，宽度 ≤ 2 mm。 对车迹式夹渣：每条平行渣线宽度应不超过1.5mm。 |
| | 未熔合或未焊透 ^{①②③} | 长度 $\leq 2t$ ，最大为50mm。 |
| | 裂缝 | 不允许存在 |
| 外观缺陷 | 相连两管端的不同心度 | $< 0.15t$ ，最大为3mm |
| | 凹陷 | 深度：最大为6mm；长度最大为外径的一半。 |
| | 冷却形成的缩孔、缩沟、弧坑和电弧擦伤 | 不允许，可用打磨法除去。 |
| | 焊缝余高 | 对 $t \leq 12.5$ mm，最大为3mm(外)和2mm(内) 对 $t > 12.5$ mm，最大为4mm(外)和3mm(内) |
| | 凹坑 | 不允许有管外侧凹坑；管内侧凹坑允许存在，但在射线照片上凹坑处的黑度应不超过其邻近母材金属的黑度。 |
| | 咬边 ^{①②} | 对环焊缝，咬边长度在任何连续30mm焊缝长度内不应大于： 对深度 $\leq t/10$ ，最大为0.8mm。最长为50mm； 对深度 $\leq t/20$ ，最大为0.4mm，最长为100mm。 对深度 ≤ 0.3 mm的咬边，若认为其形状和凹陷的影响无害，则可不考虑其长度。 |
| | 未熔合或未焊透 ^{①②} | 长度 $\leq t$ |
| 裂缝 | 不允许 | |

注：① 若几个细长形缺陷处于一条线上，且彼此间的距离小于最长缺陷的长度，则这些缺陷应作为一个连续的缺陷考虑。

② 夹渣、未焊透、未对中、或咬边的任何聚集都应作为最严重的缺陷处理。

③ 在相当于5倍缺陷长度的任何连续焊缝内，最多只能有一个①和②中限制的缺陷。

④ t 为管子壁厚，mm。

10.2.5.5 检查发现的缺陷应在重新焊补前全部除净。必要时可采用无损检测的方法确认缺陷已完全消除。

10.2.5.6 需作局部焊补的焊道长度至少应在100mm以上。过长的焊缝可考虑分段修补。

10.2.5.7 焊补时应采用低氢焊接材料，适当地控制预热和层间温度。焊补后焊缝表面应保持平缓过渡，必要时可打磨至平顺。

10.2.5.8 但在同一区域内焊接修补的次数，除经本社同意外，一般应不多于两次。

10.2.5.9 对修补后的焊缝进行无损检测时，其检测范围应向修补焊缝两端各向外延伸50mm。