

中　国　船　级　社

材料与焊接规范

2018

2018 年 7 月 1 日生效

北　京
Beijing

目　录

第 1 篇　金属材料

第 1 章　通则.....1-1
第 1 节　一般规定.....1-1
第 2 节　试验与检验.....1-1

第 2 章　材料的性能试验.....1-4
第 1 节　一般规定.....1-4
第 2 节　拉伸试验.....1-5
第 3 节　冲击试验.....1-7
第 4 节　弯曲试验.....1-8
第 5 节　Z 向拉伸试验.....1-9
第 6 节　管材延性试验.....1-10
第 7 节　不锈钢晶间腐蚀试验.....1-12
第 8 节　金属材料裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验.....1-13
第 9 节　双相不锈钢点蚀试验.....1-16
第 10 节　金属材料落锤试验.....1-18

第 3 章　钢板、扁钢与型钢.....1-20
第 1 节　一般规定.....1-20
第 2 节　一般强度船体结构用钢.....1-26
第 3 节　高强度船体结构用钢.....1-28
第 4 节　焊接结构用高强度淬火回火钢.....1-31
第 5 节　锅炉与受压容器用钢.....1-37
第 6 节　机械结构用钢.....1-40
第 7 节　低温韧性钢.....1-40
第 8 节　奥氏体不锈钢和双相不锈钢.....1-44
第 9 节　复合钢板.....1-46
第 10 节　Z 向钢.....1-47
第 11 节　适应高热输入焊接的船体结构钢.....1-48
第 12 节　锚链及其附件用轧制圆钢.....1-49

第 4 章　钢管.....1-53
第 1 节　一般规定.....1-53
第 2 节　无缝压力管.....1-55
第 3 节　焊接压力管.....1-57
第 4 节　锅炉管与过热器管.....1-57
第 5 节　低温铁素体钢压力管.....1-59
第 6 节　奥氏体和奥氏体 - 铁素体双相不锈钢压力管.....1-60

第 5 章　锻钢件.....1-63
第 1 节　一般规定.....1-63
第 2 节　船体结构用锻钢件.....1-66
第 3 节　轴系与机械结构用锻钢件.....1-67
第 4 节　曲轴锻钢件.....1-70
第 5 节　齿轮锻钢件.....1-72

第 6 节 涡轮机锻钢件 1-76
第 7 节 锅炉、受压容器与管系用锻钢件 1-79
第 8 节 低温韧性锻钢件 1-81
第 9 节 奥氏体不锈钢锻钢件 1-81

第 6 章 铸钢件 1-84
第 1 节 一般规定 1-84
第 2 节 船体结构用铸钢件 1-86
第 3 节 机械结构用铸钢件 1-88
第 4 节 曲轴铸钢件 1-89
第 5 节 螺旋桨铸钢件 1-91
第 6 节 锅炉、受压容器与管系用铸钢件 1-94
第 7 节 低温铁素体铸钢件 1-95
第 8 节 奥氏体不锈钢铸钢件 1-96

第 7 章 铸铁件 1-98
第 1 节 一般规定 1-98
第 2 节 灰铸铁件 1-99
第 3 节 球墨铸铁件 1-101
第 4 节 曲轴铸铁件 1-103

第 8 章 铝合金 1-105
第 1 节 一般规定 1-105
第 2 节 铝合金板材与型材 1-106
第 3 节 铝合金铆钉 1-111
第 4 节 铝合金活塞 1-112
第 5 节 钢 - 铝过渡接头 1-113

第 9 章 其他有色金属 1-115
第 1 节 铜质螺旋桨 1-115
第 2 节 铸铜合金 1-118
第 3 节 铜管 1-120
第 4 节 钛合金板 1-121
第 5 节 钛及钛合金管 1-123
第 6 节 轴承合金 1-125

第 10 章 设备 1-127
第 1 节 锚 1-127
第 2 节 船用锚链及其附件 1-132
第 3 节 海上设施定位用系泊链及其附件 1-137
第 4 节 钢丝绳 1-147

第 2 篇 非金属材料

第 1 章 通则 2-1
第 1 节 一般规定 2-1
第 2 节 试验与检验 2-1

第 2 章 塑料材料 2-2

第 1 节 一般规定 2-2
第 2 节 原材料 2-3
第 3 节 试样与试验 2-10

第 3 章 纤维增强塑料船体材料 2-13
第 1 节 一般规定 2-13
第 2 节 原材料 2-14
第 3 节 铺敷成型工艺 2-16
第 4 节 检查与试验 2-19
第 5 节 纤维增强塑料船直接计算用材料属性 2-20

第 4 章 塑料管与配件 2-22
第 1 节 一般规定 2-22
第 2 节 材料、设计、制造与强度试验 2-22
第 3 节 管子成品的质量与缺陷修整 2-24
第 4 节 标志 2-25

第 5 章 围裙材料及其连接件 2-26
第 1 节 一般规定 2-26
第 2 节 裙布材料与连接件 2-26
第 3 节 裙布的试验与力学性能 2-26

第 6 章 混凝土 2-28
第 1 节 一般规定 2-28
第 2 节 原材料 2-28
第 3 节 钢筋混凝土 2-29
第 4 节 海底管道混凝土加重层 2-31

第 7 章 纤维绳 2-33
第 1 节 船用纤维绳 2-33
第 2 节 海工用纤维绳 2-34

第 3 篇 焊接

第 1 章 通则 3-1
第 1 节 一般规定 3-1
第 2 节 试验 3-1

第 2 章 焊接材料 3-9
第 1 节 一般规定 3-9
第 2 节 焊接材料的力学性能 3-10
第 3 节 电弧焊焊条 3-12
第 4 节 埋弧自动焊的焊丝－焊剂 3-17
第 5 节 半自动、自动焊的焊丝与焊丝－气体 3-20
第 6 节 电渣焊或气电立焊的焊接材料 3-22
第 7 节 单面焊接双面成型的焊接材料 3-24
第 8 节 不锈钢焊接材料 3-24
第 9 节 铝合金焊接材料 3-26

第 3 章 焊接工艺认可.....3-29
第 1 节 一般规定.....3-29
第 2 节 对接焊工艺认可试验.....3-32
第 3 节 角接焊工艺认可试验.....3-37
第 4 节 倾斜或 T 形管节点全焊透工艺认可试验.....3-39

第 4 章 焊工资格考试.....3-41
第 1 节 一般规定.....3-41
第 2 节 焊工考试与评定.....3-42
第 3 节 焊工资格适用范围.....3-47
第 4 节 水下焊工考试与评定.....3-52

第 5 章 船体结构的焊接.....3-56
第 1 节 一般规定.....3-56
第 2 节 船体构件的焊接.....3-58
第 3 节 焊缝检验与修补.....3-59
第 4 节 不锈钢及其复合钢板的焊接.....3-62
第 5 节 镍合金钢的焊接.....3-63

第 6 章 海上设施结构的焊接.....3-65
第 1 节 一般规定.....3-65
第 2 节 结构焊接.....3-65
第 3 节 焊接检验.....3-67

第 7 章 受压壳体的焊接.....3-71
第 1 节 一般规定.....3-71
第 2 节 受压壳体的产品焊接试验.....3-71
第 3 节 受压壳体的制造.....3-74
第 4 节 热处理.....3-75
第 5 节 检验与修补.....3-76

第 8 章 重要机件的焊接.....3-81
第 1 节 一般规定.....3-81
第 2 节 转子轴的焊接.....3-81
第 3 节 机座、机架、汽缸与壳体等构件的焊接.....3-82
第 4 节 螺旋桨的无损检测与焊补.....3-82

第 9 章 压力管系的焊接.....3-89
第 1 节 一般规定.....3-89
第 2 节 管子接头的焊接.....3-89
第 3 节 焊接质量检查.....3-90
第 4 节 热 处 理.....3-91

第 10 章 海底管系的焊接.....3-93
第 1 节 一般规定.....3-93
第 2 节 管系的组装焊接.....3-93

第 11 章 有色金属的焊接和铆接.....3-96
第 1 节 一般规定.....3-96

第 2 节　铝合金的焊接 3-96
第 3 节　钛及钛合金的焊接 3-97
第 4 节　铆 接 3-99
第 5 节　船用铜及铜合金管的焊接 3-100

第1篇　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　用于船体、机械、锅炉和受压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、锅炉和受压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，可按公认的其他标准验收。

新产品、新材料应经 CCS 认可后方可装船使用。

1.1.2　标志

1.1.2.1　所有经 CCS 认可或检验合格的材料或产品均应标上相应的 CCS 标志。

1.1.3　制造

1.1.3.1　制造厂应向经 CCS 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 CCS 的要求建立的适用的程序，进行型式认可或工厂认可。

1.1.4.2　图纸资料审查：拟在 CCS 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 CCS 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 CCS 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 CCS 检验。验船师应：

(1)　按批准图纸进行检验。

(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 CCS 检验下制造的产品，应提交 1 份图纸资料和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　性能试验通常应在验船师或其授权代表在场下进行，以验证试验结果是否满足规定的要求。

1.2.1.2　工厂应为验船师进入相关工作场所开展工作提供方便，并应向验船师提供必要的资料，使其能按规范要求选样；见证检查试验设备校准、试验精度和材料的可追溯性；以及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。

1.2.1.3　任何材料在后续的冷热加工、制造或试验过程中如发现并证实其不符合要求，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　熔炼化学成分试样通常应在每炉钢出钢时从钢包、中间包或在连铸的结晶器中取样，取样方法应与认可时保持一致。当产品以不同炉次钢水在钢包中混合时，则应在钢包中取样。熔炼化学成分应以重量百分比报告。

1.2.2.3　工厂的化学分析报告可以得到 CCS 的承认，但若验船师有要求时，可进行取样核查。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。成品化学成分分析与熔炼化学成分分析之间偏差，应符合公认的标准要求。

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 CCS 备查。

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，可采用适当替代方法，但应证明可行。除热处理炉按规定间隔进行温度均匀性检查外，热处理炉应有足够的连接到炉内工件的热电偶，以测量和记录炉内温度，并验证炉内温度的合理均匀性。

1.2.3.3　工厂应保存包括所用热处理炉、热处理工件、热处理日期、热处理温度和时间等信息的热处理记录和报告。当验船师有要求时应予以出示。

1.2.4　力学性能试验

1.2.4.1　力学性能试验试样的数量、尺寸及截取位置和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。试验的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　无损检测

1.2.5.1　从事无损检测人员应按 CCS《无损检测人员资格鉴定与认证规范》或相应标准考试合格，并持有有效的 CCS 颁发或接受的《无损检测人员资格证书》。

1.2.5.2　无损检测人员仅允许从事与证书类别和等级相符的无损检测工作。

1.2.5.3　无损检测的仪器设备应按相应的标准定期校准，相关的器材应保持完好可用。

1.2.6　复试

1.2.6.1　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，对不合格的试验项目，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 (件) 材料可以验收。

1.2.6.2　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。

1.2.6.3　本节 1.2.6.1 和 1.2.6.2 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。

1.2.6.4　如按本节 1.2.6.1 和 1.2.6.2 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，并结果全部合格，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。

1.2.6.5　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 1.2.6.1 和 1.2.6.2 的规定进行复试。复试不合格者，该批材料不再提交验收。

1.2.7　缺陷的修整

1.2.7.1　材料的表面和内部应无影响其使用的缺陷。缺陷的判定按公认的相关标准执行。

1.2.7.2　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。

1.2.8　材料的标记

1.2.8.1　制造厂应采用一套能够有效追溯产品生产过程的标识系统。并在产品和证书上予以标识。

1.2.8.2　合格的材料和产品均应打上 CCS 规定的标志。如某些材料无法打上硬印时，可采用型板喷刷、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；标记奥氏体不锈钢和奥氏体－铁素体双相不锈钢时，应采用尽可能低氯离子含量的涂料。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，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。

1.2.8.3　凡经检验合格的材料或产品，除打上 CCS 的标志外，还应备有 CCS 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。

1.2.8.4　制造厂应检查所用的原材料、零部件有否 CCS 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　材料的性能试验

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、工艺性能试验和不锈钢耐腐蚀性能试验。本章规定以外的试验可按本篇其他章节中的规定或公认的有关标准执行。

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　试样的要求应符合本篇各章的规定。当采用符合国家标准或国际标准的替代试样时，经 CCS 同意也可采用。

2.1.3.2　制取试样的试件应在材料最终状态下分割。若采用分离试件，则试件应与所代表的材料同时进行相同的处理。试样制备的方式应不影响原材料的性能。

2.1.3.3　截取试样时，若采用剪切或热切割 (如等离子、激光和火焰切割等) 方法时，则应留有合理的加工余量足以去除受影响的区域。

2.1.3.4　试样在矫直或机械加工时，不可经受过分的加热或冷变形。且除另有规定外，不应以任何方式单独热处理。

2.1.3.5　试验室应以适当的编号系统对所有试样进行标识，以方便追溯其所代表的材料。标识的方法应不影响试验结果。

2.1.4　试验机

2.1.4.1　所有试验应由胜任的试验人员按规定的程序进行操作。

2.1.4.2　试验机应保持良好而准确的状态，需计量的试验机至少每年一次由国家认可的计量机构进行校验。试验机的校验应按规定的标准进行，被校验的试验机的计量值应能溯源到国家基准。

2.1.4.3　拉伸试验机应按 ISO 7500-1 或等效的国家标准进行校准，试验机的精度应在 ±1% 范围内。

2.1.4.4　夏比摆锤冲击试验机的校验应符合 ISO 148-2 或等效国家标准的要求。

2.1.4.5　硬度试验仪的校准应根据适用的试验方法，按相应的国际或国家标准进行校准。

2.1.5　试验程序

2.1.5.1　除本章规定外，不同试验的试验程序可遵循相应国际或国家标准所确定的习惯做法。

2.1.6　试样的作废

2.1.6.1　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。

2.1.6.2　拉伸试验时，如断裂处与最近的标距标记之间的距离小于原始标距长度的 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。

2.1.7　试验温度

2.1.7.1　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一般在室温 (10℃ ~35℃) 下进行。

第 2 节 拉 伸 试 验

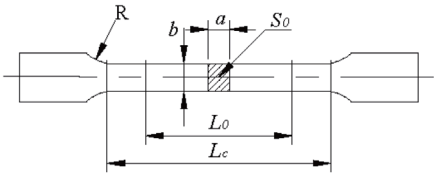
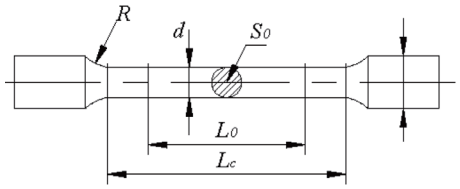
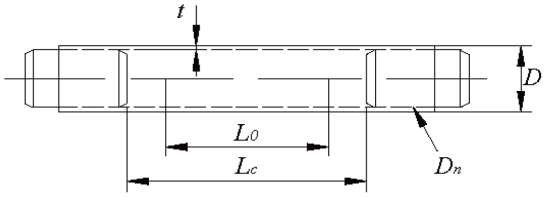
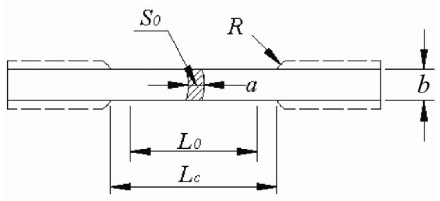
2.2.1 一般要求

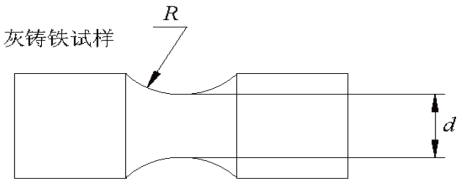
2.2.1.1 船用金属材料的抗拉强度、屈服强度、伸长率以及断面收缩率等力学性能应由拉伸试验测定。

2.2.2 试样

2.2.2.1 拉伸试样的形状和尺寸应符合表 2.2.2.1 的规定。试样的端部可加工成适宜于试验机夹持的形状。

拉伸试样的形状和尺寸 **表 2.2.2.1**

序号	试样形状	试样尺寸 (mm)①	适用场合
1	板状试样 	比例试样：$a=t$，$b=25$，$R=25$ $L_0=5.65\sqrt{S_0}$ $L_c=L_0+2\sqrt{S_0}$	钢质板材、扁坯和型材②
		非比例试样 1：$a=t$，$b=25$，$R=25$ $L_0=200$，$L_C \geqslant 212.5$	
		2：$a=t$，$b=12.5$， $R=25$，$L_0=50$，$L_C \geqslant 55$	$t \leqslant 12.5$mm 的铝质板材和型材
2	圆形试样 	比例试样：$d=10\sim20$，(优选 14) $L_0=5d$， $L_C \geqslant L_0+0.5d$ $R=10$	厚钢板和型材； $t>12.5$mm 的铝质板材和型材； 锻件； 线材③、棒材④； 铸件 (灰铸铁除外)
3	圆形管子试样 	比例试样：$L_0=5.65\sqrt{S_0}$ $L_C \geqslant L_0+0.5D$⑤	薄壁小直径管
4	管子切割试样 	比例试样：$a=t$，$b \geqslant 12$，$R \geqslant 10$ $L_0=5.65\sqrt{S_0}$ $L_C \geqslant L_0+2b$	大直径管⑥

序号	试样形状	试样尺寸 (mm)①	适用场合
5		非比例试样：d=20，R=25	灰铸铁

注：① 表中 a 为试样厚度、b 为试样宽度、d 为试样直径、D 为管件外径、L_0 为标距长度、L_c 为试样平行段长度、R 为试样过渡半径、S_0 为试样原始截面积、t 为材料厚度。

② 对轧制产品的全厚度试样，应保留原轧制面。若试验机能力不足时，可对一个轧制面进行加工，将厚度减薄至 25mm；当钢板厚度大于 40mm 时，可改取序号 2 的圆形试样。

③ 对细直径线材，可直接取样进行试验，但标距长度应取为 200mm，夹头之间的试样平行段长度为 250mm。

④ 小尺寸棒状铸锻件或类似的产品，可直接取适当长度的全截面比例试样进行试验。

⑤ 试样的平行段长度 L_C 应不大于试验机夹具间或管塞间的距离中的较小者。

⑥ 试样沿管轴纵向截取，试样平行段长度部分不应被压平，而试样的夹持部分则允许压平。当壁厚足够时，可改取序号 2 的圆形试样。圆形试样的轴线应位于管壁厚度中心处。

2.2.2.2 通常应优先选用标距长度 L_0 等于 $5.65\sqrt{S_0}$ 或 $5d$ 的比例试样，且 L_0 应不小于 20mm。当试样截面太小，可选用 L_0 等于 $11.3\sqrt{S_0}$ 或 $10d$ 的比例试样，或采用非比例试样。试样的实际标距长度可修约为 5mm 的整倍数，但与 L_0 的理论值之差应小于 ±10%。

2.2.2.3 试样的表面粗糙度、尺寸和形位公差应符合公认的标准要求。

2.2.3 材料的屈服强度与伸长率

2.2.3.1 本篇所涉及的不同的金属材料并不都具有明显的屈服现象。对具有明显屈服现象的金属材料，应测量其上屈服强度 R_{eH}；对无明显屈服特征的金属材料，取材料在试验力作用下的规定非比例延伸强度 R_p 为材料的屈服强度。

2.2.3.2 对不同种类金属材料的屈服强度规定如下：

(1) 碳钢、碳锰钢和合金钢及其焊接材料，应测定其上屈服强度 R_{eH}，或规定非比例延伸长度为原始试样标距 0.2% 时所对应的强度 $R_{p0.2}$；

(2) 奥氏体不锈钢、奥氏体 / 铁素体双相不锈钢及其焊接材料，应分别测定规定非比例延伸长度为原始试样标距 0.2% 或 1.0% 时所对应的强度 $R_{p0.2}$ 或 $R_{p1.0}$；

(3) 铝合金、铜合金及其焊接材料，应测定规定非比例延伸长度为原始试样标距 0.2% 时所对应的强度 $R_{p0.2}$。

2.2.3.3 材料的断后伸长率 A 通常采用的表 2.2.2.1 中所示的标准比例试样测定。除本篇第 8 章铝合金薄板外，其他各章节所规定的伸长率均为采用标距长度为 $5.65\sqrt{S_0}$ 或 $5d$ 的标准比例试样测得的伸长率 A_5。

2.2.3.4 当中低强度且未经冷作硬化的铁素体钢采用非标准比例试样时，为判定其断后伸长率是否符合规范规定，可将规定最小伸长率按下式换算成最小等效伸长率 A_0。

$$A_0 = 2A_5\left(\frac{\sqrt{S_0}}{L_0}\right)^{0.40}$$

式中：A_5 —— 本篇各章所规定的标距长度 L_0 为 $5.65\sqrt{S_0}$ 或 $5d$ 时的最小伸长率，%；

S_0 —— 试样平行段的原始横截面面积，mm^2；

L_0 —— 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。

2.2.3.5 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 700N/mm² 的碳钢、碳锰钢和低合金钢。其他交货状态和抗拉强度超过 700N/mm² 碳钢、碳锰钢和低合金钢，以及其他材料的最小等效伸长率，应按公认的方法另行计算。

2.2.4 试验

2.2.4.1 在室温下进行拉伸试验时应符合下列规定：

(1) 测定金属材料的屈服强度或规定非比例延伸强度时，在弹性变形直至明显屈服的区间内，应力变化速率应控制在表 2.2.4.1(1) 规定的范围内。

拉伸试验加载时应力变化速率 **表 2.2.4.1(1)**

材料的弹性模量 E N/mm²	应力速率 (N/mm²/s)	
	最小	最大
<150000	2	20
≥ 150000	6	60

(2) 在达到屈服载荷后，为测定材料的抗拉强度，对塑性材料，其应变速率最大应不超过每秒 0.008；对脆性材料 (如铸铁)，弹性应力变化速率最大应不超过每秒 10N/mm²。

(3) 钢材的上屈服强度应根据下述测得的载荷值计算：

① 试验机示力计上的指示值明显回落前的瞬时载荷或停滞时的载荷；

② 载荷 - 拉伸图上屈服阶段塑性变形开始处的载荷或材料塑料变形开始所产生的第 1 个峰值载荷，不论该峰值载荷是否等于或小于其随后出现的其他峰值载荷。

(4) 材料的规定非比例伸长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规定间距 (用伸长计测得伸长为原标距长度的 0.2% 或 1.0% 时) 的平行直线来确定。以此直线与载荷 - 拉伸图的塑性变形部分相交点的载荷计算规定非比例延伸强度 ($R_{p0.2}$ 或 $R_{p1.0}$)。

2.2.4.2 在高温 (≥ 50℃) 下进行拉伸试验时，应符合下列规定：

(1) 测定高温下的下屈服强度或 0.2% 规定非比例延伸强度所用的试样其标距长度 L_0 应不小于 50mm，而横剖面面积 S_0 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 ±5℃；

(3) 在接近屈服强度或规定非比例延伸强度时，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。

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。

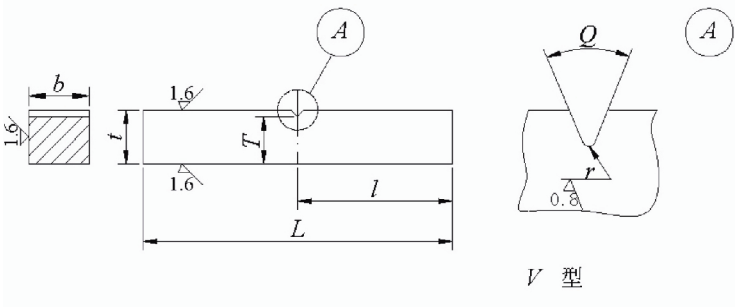


图 2.3.1.1

冲击试样的尺寸 **表 2.3.1.1**

名　称		符号	夏比 V 型缺口试样	
			公称尺寸	偏差
长度 (mm)		*L*	55	±0.60
宽度 (mm)	标准试样	*b*	10	±0.11
	标准辅助试样	*b* *b*	7.5 5	±0.11 ±0.06
厚度 (mm)		*t*	10	±0.075
缺口角度 (°)		*Q*	45	±2
缺口宽度 (mm)		*U*	–	–
缺口以下的厚度 (mm)		*T*	8	±0.075
缺口根部半径 (mm)		*r*	0.25	±0.025
试样端部至缺口中心距离 (mm)		*l*	27.5	±0.42
缺口对称面与试样纵向轴线间的角度 (°)		–	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。试样缺口的方向通常垂直于工件的原始表面，开槽位置距离火焰切割或剪切边应不小于 25mm。

2.3.1.3　在任何情况下均应就材料厚度尽可能加工出最大尺寸的试样。标准辅助试样与标准试样的冲击功换算关系如表 2.3.1.3 所示。对小于 5mm 的试样，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试验温度下进行。试验温度不是室温时，应对试样温度进行严格控制。试样应在规定试验温度的环境下保持至少 5min(对液体冷却介质) 或 30min(对气体冷却介质)，并在取出后 5s 之内进行冲击，以保证断裂瞬间的试样温度在规定试验温度的 ±2℃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分层等缺陷。

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始表面，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始表面；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
	试样厚度 a	试样宽度 b	试样长度 L	倒角	
1	$a=t$①	b=30mm②	11a~9a+D	试样的拉伸面两侧允许倒角 1~2mm。	板材和型材
2	a=20mm	b=25mm	11a ~9a+D		铸件、锻件和半成品
3	$a=d$③		11a~9a+D		棒材或线材

表中：① t 为材料的厚度，并可根据 2.4.2.2 规定减薄。
② 当 t 小于 6mm 时，b=5a。
③ d 为圆形材料的直径，D 为试验压头的弯芯直径。

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测定断面收缩率，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 向钢板板厚方向拉伸试样的截取位置和数量规定如下：

(1) 应从板的一端，靠近宽度 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；

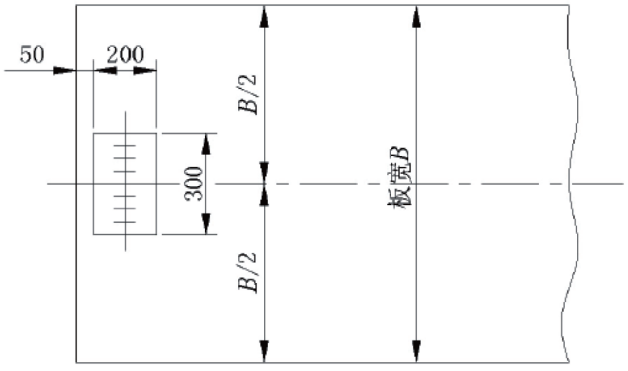


图 2.5.2.1(1)

(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，以作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；

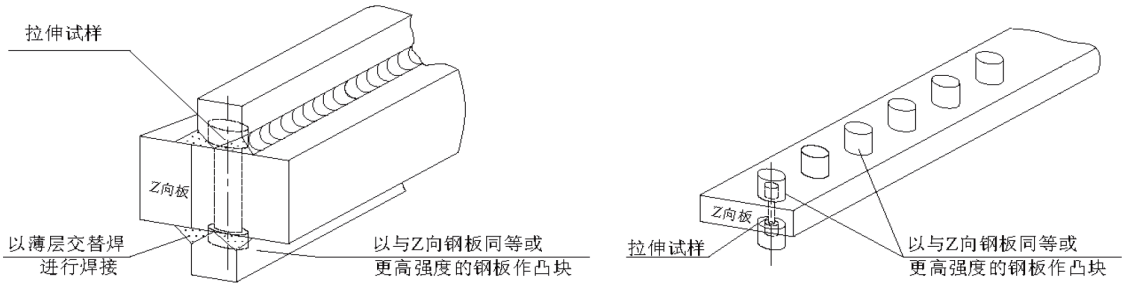


图 2.5.2.2(1)

(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。

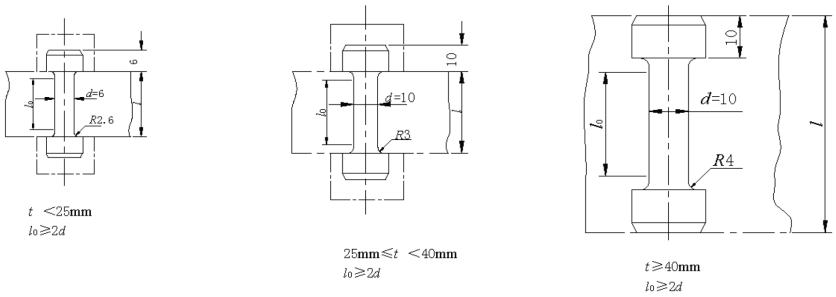


图 2.5.2.2(3)

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 (Z_Z) 是指拉伸试验后，试样横截面面积的变化量与原始横截面面积之比的百分数：

$$Z_Z = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100\%$$

式中：S_0 —— 试样的原始横截面面积；

S —— 拉断后试样的横截面面积，通常呈椭圆形，应沿断口横截面相互垂直的方向测量横截面直径 D_1 和 D_2，并按下式计算：

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

第 6 节 管材延性试验

2.6.1 一般要求

2.6.1.1 管材延性试验一般用于检验金属管状材料的延展性能和冶金缺陷。

2.6.1.2 除本节规定的延性试验外，若需进行圆环扩展试验或圆环拉伸试验，则应分别按 ISO 8495 或 ISO 8496 进行。

2.6.2 压扁试验

2.6.2.1 试样的截取应使其端面平整，无缺口，且垂直于管材的轴线。试样长度应为 10mm~100mm。

2.6.2.2 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。

2.6.2.3 对于焊接管，焊缝应置于与压扁施力方向成 90° 的位置。

2.6.3 扩口试验

2.6.3.1 试样的截取应使其两端面平整且垂直于管材的轴线，试验端面应无缺口，其边缘应适当倒角。

2.6.3.2 试样的长度根据选用钢锥的角度，按表 2.6.3.2 选取，但最短应使试验后保持圆柱体形状的长度不小于管材外径的一半。

扩口试验的试样长度 **表 2.6.3.2**

试验钢锥角度 (°)	30	45	60
试样长度 (mm)	2D	1.5D	1.5D

注 ：表中 D 为试验管材的外径。

2.6.3.3 试验应在室温下选用表 2.6.3.2 中所列适用角度的坚硬圆锥形钢锥头对准管材中心线 (如图 2.6.3.3 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。

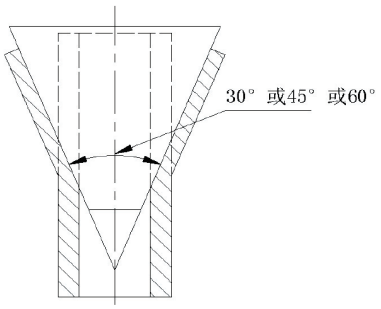


图 2.6.3.3 管材扩口试验

2.6.3.4 试验时，锥头应加润滑剂，锥头与管材在试验过程中不可相对转动，且使钢锥头压入速度不大于 50mm/min。

2.6.3.5 试验后，管材扩口部分不应有破裂或肉眼可见的裂纹。

2.6.4 卷边试验

2.6.4.1 试样的截取应使其两端面均垂直于管材的轴线，试验端的边缘应适当倒圆。

2.6.4.2 试样长度为约 1.5 倍管材外径。若根据计算能使试验后保持圆柱体形状的长度不小于管材外径的一半时，允许缩短试样长度。

2.6.4.3 试验应在室温下用坚硬的圆锥形钢锥头 (如图 2.6.4.3 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。

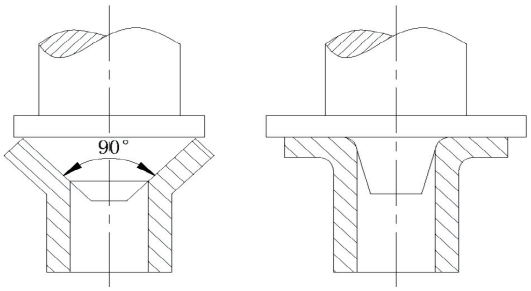


图 2.6.4.3　管材卷边试验

2.6.4.4　试验时，锥头应加润滑剂，锥头与管材在试验过程中不可相对转动，且使钢锥头压入速度不大于 50mm/min。

2.6.4.5　试验后，管材筒体和卷边部分不应有破裂或肉眼可见的裂纹。

2.6.5　弯曲试验

2.6.5.1　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。

2.6.5.2　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 7 节　不锈钢晶间腐蚀试验

2.7.1　一般要求

2.7.1.1　不锈钢晶间腐蚀试验主要用于评价奥氏体不锈钢和奥氏体 / 铁素体双相不锈钢的基本耐腐蚀性能。

2.7.2　试样制备

2.7.2.1　不锈钢晶间腐蚀试验的试样坯料应从与拉伸试样相邻的部位截取。

2.7.2.2　晶间腐蚀试验的试样总表面积应在 12cm^2~35 cm^2。对于轧制板材和外径大于 56mm 的管，应采用厚度不大于 6mm，宽度不小于 10mm 的弯曲试样。对于直径不大于 12mm 的棒材，可直接截取圆形截面的弯曲试样。若产品厚度大于 6mm 或直径大于 12mm，则可从一面减薄至 6mm。弯曲时应使试样保留原轧制面侧受拉。

对外径不大于 60mm 的小直径管材可截取管段直接作为压扁试样。

2.7.2.3　对焊接接头，试样应从与考核的焊接接头相同母材、焊接材料、焊接工艺焊制的试件上截取。应采用试样厚度不大于 6mm 的纵向弯曲试样。当试件厚度大于 6mm 时，可从一面减薄至 6mm。保留面为接触腐蚀介质的面，并作为弯曲试验的受拉面。对板状接头和管状接头的试样尺寸要求分别如下：

(1)　平板对接试件取宽度为 40mm、长度为 100mm 的纵向弯曲试样；

(2)　外径大于 60mm 的管子对接试件取平行于焊缝的舟样试样，尺寸参照 (1)；

(3)　外径大于 60mm 的管子纵向焊缝试件取平行于焊缝的纵向弯曲试样，其试样宽度应不小于 20mm，长度应不小于 50mm；

(4)　外径不大于 60mm 的小直径管试件可直接作为压扁试样。

2.7.3　试验

2.7.3.1　试验的腐蚀介质溶液应按下述程序制备：

(1) 将 100g 硫酸铜 ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) 置于 700mL~800mL 蒸馏水中；
(2) 将 100mL 密度为 1.84g/mL 的硫酸缓慢加入到 (1) 所述的溶液中；
(3) 然后用蒸馏水将 (2) 所述的溶液稀释至 1L 溶液。

2.7.3.2 将细铜屑加入试验容器中铺成铜屑垫，铜屑与溶液之比至少为 50g/L。

2.7.3.3 将清洁后的试样进行敏化处理（焊接接头试样除外）：加热至 700±10℃，保温 30min，随后迅速放入水中冷却。然后将试样置于试验容器中的铜屑垫上，加入腐蚀介质溶液至浸没整个试样，溶液应高出试样上表面 20mm 以上。加热试验容器至溶液沸腾，使试样在沸腾的溶液中浸泡 16h，除非供需双方协议更长的时间。试验过程中应防止溶液因蒸发而浓缩。若溶液中放置多个试样，应保持溶液总量与试样总面积之比不低于 10mL/cm²，且试样之间应无相互接触。

焊后已进行固溶处理的焊接接头试样，试验前应进行敏化处理。

2.7.3.4 浸泡后的试样应按表 2.7.3.4 条件在常温下进行弯曲试验。

不锈钢晶间腐蚀试样的弯曲半径与弯曲角度 **表 2.7.3.4**

产品形式	弯芯半径	弯曲角度
轧制产品	试样的直径或厚度	90°
铸造产品	试样厚度的 2 倍	90°
焊接接头	试样厚度的 2 倍①	90°

注：① 对双相不锈钢，可按协议规定确定弯芯半径，但最大不应超过试样厚度的 2 倍。

小直径管段试样则可按本章第 6 节的要求进行压扁试验。

2.7.3.5 弯曲或压扁试验后，用不大于 10 倍的放大镜观察试样的受拉表面。试样的受拉面应无因晶间腐蚀引起的裂纹 (角裂及不伴有裂纹的滑移线、皱纹和表面粗糙不计)。

2.7.3.6 当对上述试验结果有疑问时，可使用试样纵向截面的金相试验来判定。

第 8 节 金属材料裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验

2.8.1 一般要求

2.8.1.1 本节适用于金属材料及其焊接材料的裂纹尖端张开位移 (CTOD) 试验。

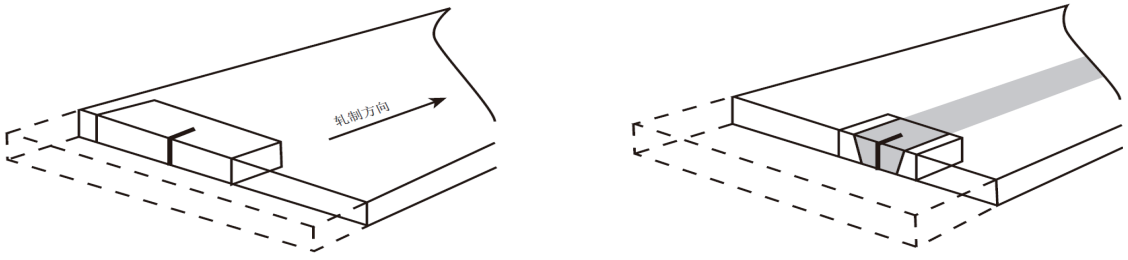
2.8.1.2 本节适用于采用三点弯曲试样进行的 CTOD 试验。

2.8.1.3 CTOD 试验应采用行程速率可控制并具有位移－载荷同步记录装置的试验机来进行，试验过程的数据应自动记录。

2.8.1.4 除本节规定外，经事先商定，也可采用其他试验方法测定金属材料的 CTOD 值。

2.8.2 试样制备

2.8.2.1 除协议有规定外，对于金属原材料试件，试样的取样方向通常应使缺口与板的轧制方向平行，且垂直于板厚方向 (图 2.8.2.1a)；对于熔敷金属试件，试样的取样方向应使缺口与焊缝方向平行且垂直于厚度方向 (图 2.8.2.1b)。



a 板材的取样方向　　b 熔敷金属的取样方向

图 2.8.2.1 试样的取样方向

2.8.2.2　除协议另有规定外，试样应为被试材料的全厚度试样。试样的主要尺寸应符合图 2.8.2.2 和表 2.8.2.2 的规定，其他尺寸应符合公认标准的要求。

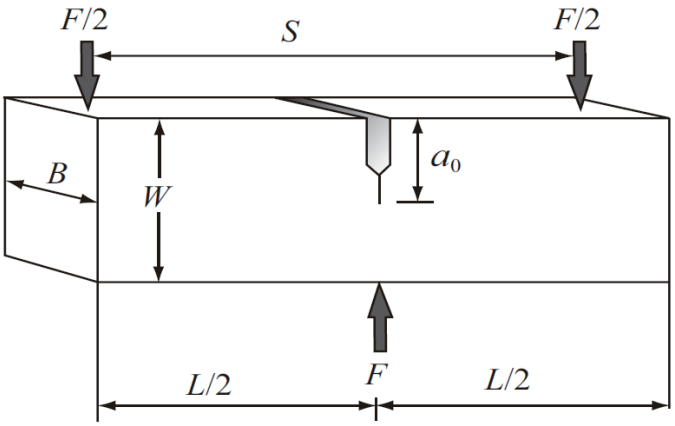


图 2. 8. 2. 2

CTOD 试样的尺寸　　**表 2.8.2.2**

名称	符号	矩形试样	正方形试样	偏差
试样宽度	B	B	B	±0.5%B
试样高度	W	2B	B	±0.5%W
支点跨距	S	4W	4W	±0.5%S
试样长度	L	≥ 4.5W	≥ 4.5W	
有效裂纹长度 *	a	0.45W~0.55W	0.45W~0.55W	

注：对熔敷金属试验的试样，其有效裂纹长度范围可为 0.45W~0.70W。

2.8.2.3　试样应以机加工方法加工。试样的长度中心应以机加工 (线切割) 方法开有缺口，缺口尖端的半径应不大于 0.08mm。随后在疲劳试验机上预制疲劳裂纹，使有效裂纹长度达到试样的规定范围。裂纹长度在试样两侧表面测量，测量精度为 0.05mm，任一侧的疲劳裂纹长度应不超过两侧测得平均长度的 15%。最短疲劳裂纹的长度应不低于 0.025W，且不小于 1.3mm。预制疲劳裂纹时，加载在试样上的循环力通常符合下列要求：

$$F_{max}=kBW\left(R_{p0.2}+R_m\right)\quad \text{N}$$

式中：k　—— 加载系数，对钢材取不大于 0.016，对焊缝宜取在 0.0117 至 0.0145 的范围内；

B　—— 试样的宽度，mm；

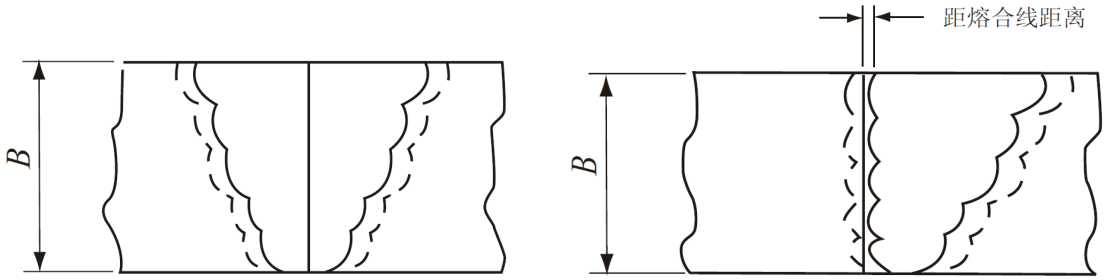
W　—— 试样的高度，mm；

$R_{p0.2}$ —— 试验材料的非比例延伸强度，N/mm²；

R_m　—— 试验材料的抗拉强度，N/mm²。

2.8.2.4　如需要确定金属材料焊缝热影响区的断裂韧性，在试件制作时建议采用焊接方法所适用的最大厚度材料，且坡口形状应为 K 形、单边 V 形或 J 型。

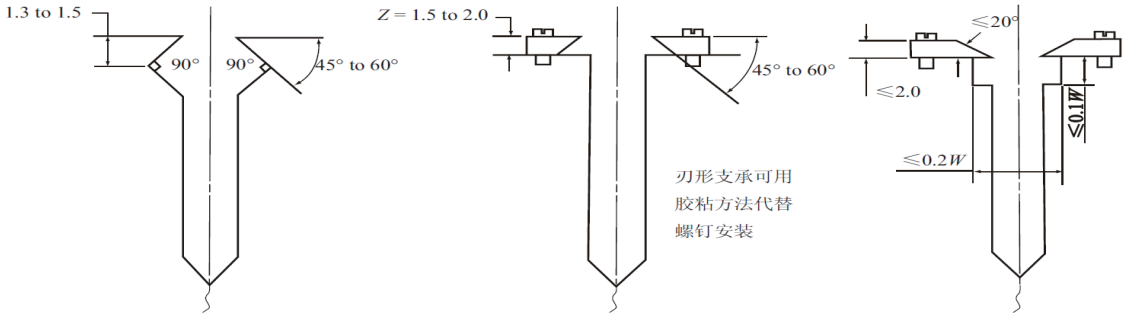
2.8.2.5　试样缺口的位置和取向可根据试验目的按图 2.8.2.5 选择。



(a) 用于评定焊缝熔敷金属　　(b) 用于评定母材热影响区组织

图 2.8.2.5　带焊缝试样的缺口位置和取向

2.8.2.6　试样的缺口处可按图 2.8.2.6 要求开槽或安装刃形支承，以便于放置位移测量仪 (夹式引伸仪)。刃口与试样上表面的距离应予以测量并记录。



(a) 整体刃形支承　　(b) 缺口上安装刃形支承

图 2.8.2.6　试样上安装位移测量仪的措施

2.8.3　试验

2.8.3.1　CTOD 试验应在 CCS 接受的试验室进行。

2.8.3.2　试验过程中试样的温度应控制在规定值的 ±2℃ 以内。温度应在距离裂纹尖端不超过 2mm 处测量。

2.8.3.3　试验应采用具有良好线性和精度的位移测量仪，其工作量程应满足预计裂纹嘴张开位移测量的需要，且在工作量程中的线性偏差应不大于 ±1%。该位移测量仪应在每个试验日的试验前校核一次，若单日进行多次试验，则每超过 10 次试验应再进行一次校核。校核满足要求时，该位移测量仪才可用于试验。

2.8.3.4　位移测量仪应稳固地放置在试样的刃形支承处，测量仪与刃口应紧密接触，且接触处可以自由转动。当在温度介质中进行试验时，应尽量减少温度介质对位移测量的影响。

2.8.3.5　试验程序和结果评定方法应按公认标准进行。

2.8.4　试验要求

2.8.4.1　试验后应对每个试样的断面进行观察和测量，并按下列 2.8.4.2 和 2.8.4.3 的要求评定试样的有效性。每项试验至少应有 3 个有效试样。

2.8.4.2　试样应满足下列要求，否则，该试样应认定无效：

(1)　疲劳裂纹前缘应在单一平面内；

(2)　疲劳裂纹表面任一部分的平面与试件缺口平面之间的角度不超过 10°；

(3)　任何一处测量疲劳裂纹前沿距线切割端点的距离 (疲劳裂纹的深度) 均大于 0.025W 或 1.3mm，取其大者；

(4)　如图 2.8.4.2(4) 所示，沿试样厚度方向分别测量 9 个位置的疲劳裂纹前沿的长度，并按下式计算出其加权平均值 a_0。最长与最短原始疲劳裂纹前沿长度的差不超过 0.1a_0；

$$a_0 = \frac{1}{8}\left(\frac{a_{01} + a_{09}}{2} + \sum_{i=2}^{8} a_{0i}\right)$$

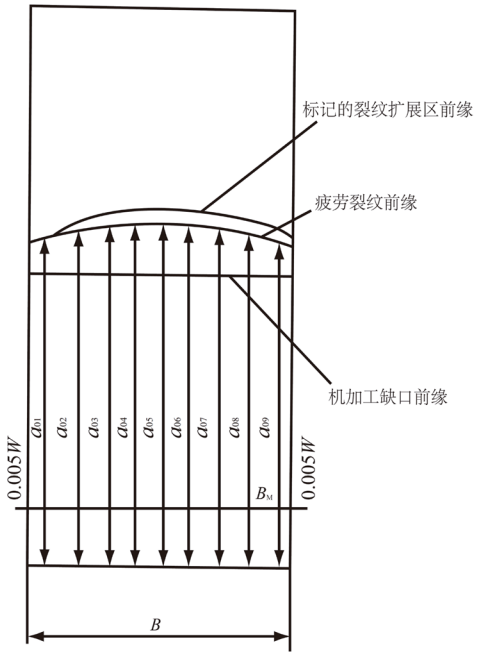


图 2.8.4.2(4)　测量示意图

2.8.4.3　除 2.8.4.2 外，对熔敷金属及其热影响区的试验还应满足下列要求：

(1)　对热影响区粗晶区的试样，疲劳裂缝前沿应位于距熔合线 0.5mm 的热影响区中。如由于熔合线不规则而难以做到，则可接受裂纹前沿尽可能多在热影响区粗晶区的试件；

(2)　对热影响区其他组织进行测试的试样，疲劳裂纹应尽可能在预定的位置。但如由于熔合线不规则而难以做到，则可以接受一个有尽可能多有关金相组织的试件。

2.8.5　试验报告

2.8.5.1　CTOD 试验的报告应包括下列内容：

(1)　材料及其交货状态和尺度的详细资料；
(2)　试样尺寸；
(3)　疲劳预制裂纹细节；
(4)　试验温度和环境；
(5)　试验机的控制系统以及横梁位移或加载速率；
(6)　裂纹长度测量记录；
(7)　*F-V* 曲线，最好是自动绘图记录的形式；
(8)　CTOD 特征值；
(9)　断面照片；
(10)　裂纹表面的观察结果。

第 9 节　双相不锈钢点蚀试验

2.9.1　一般要求

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

2.9.2 试样制备

2.9.2.1 试样应尽可能保留一个原始表面。对于平板，推荐试样尺寸为 25mm×50mm×(1.5mm~5.0mm)；对于其他形状产品，可选用便于试验的尺寸。对于焊接接头应去除焊缝余高。

2.9.2.2 试样的截取方法一般采用机械加工方法。若采用热加工切割方法，则应用机械方法对断面进一步加工，以消除高温对材料性能的影响。

2.9.2.3 试样表面应用砂纸进行研磨，研磨时应避免过热。

2.9.2.4 测量试样尺寸，并计算总暴露表面积。

2.9.2.5 将试样表面清洗后，用丙酮或无水乙醇除油，并吹干。

2.9.2.6 试样称重，精确到 1mg。

2.9.3 试验程序

2.9.3.1 试验的腐蚀介质应按每 100g 分析纯三氯化铁 ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) 溶于 900ml 蒸馏水的比例，配制成约 6% 三氯化铁溶液。溶液的 pH 值通常控制在约 1.3，若有偏差时可通过加入 HCl 或 NaOH 来调整。

2.9.3.2 将配制好的溶液倒入试验容器中，每平方毫米试样表面积所需的试验溶液量应在 0.2ml 以上，且溶液应浸没试样。将试验容器放入恒温槽中，加热到规定温度。不同材料的试验温度见表 2.9.3.2。

不同双相不锈钢材料母材和焊缝的试验温度 **表 2.9.3.2**

钢号	统一数字代号	状态	试验温度 (℃)
022Cr22Ni5Mo3N	S22253	母材	25
		焊接件	22
022Cr23Ni5Mo3N	S22053	母材	25
		焊接件	22
03Cr25Ni6Mo3Cu2N	S25554	母材 / 焊接件	40
022Cr25Ni7Mo4N	S25073	母材 / 焊接件	40

2.9.3.3 试验溶液达到规定温度后，把装有试样的玻璃支架放入溶液中，持续浸泡 24h，并在试验容器上盖上表面皿等以防止溶液蒸发。试验过程中应保持溶液温度恒定，精确到 ±1℃。

2.9.3.4 试验结束后，取出试样，清除试样上的腐蚀产物，洗净，干燥后称重 (精确到 1mg)。

2.9.4 试验结果

2.9.4.1 在试样表面应无肉眼可见的点蚀。

2.9.4.2 除非另有规定，腐蚀率 (即 24 小时浸泡后的单位面积失重) 应不大于 10 mdd。具体计算公式如下：

$$CR = \frac{W_1 - W_2}{S} \times 10^4$$

式中：CR —— 腐蚀率，mdd；
W_1 —— 试验前试样的重量，mg；
W_2 —— 试验后试样的重量，mg；
S —— 试样总表面积，mm^2。

第 10 节 金属材料落锤试验

2.10.1 一般要求

2.10.1.1 本节规定适用于厚度不小于 12mm 的铁素体钢 (包括马氏体、珠光体、贝氏体以及所有的非奥氏体钢) 的无塑性转变温度的测定或验证。

2.10.1.2 为测定铁素体钢的无塑性转变温度，应进行系列温度下的落锤试验。

2.10.2 试样

2.10.2.1 落锤试验的试料通常可在常规力学性能取样位置附近截取。对于轧制板，试样的取向应使其纵向与板的轧制方向垂直。

2.10.2.2 试样的尺寸如表 2.10.2.2 所示。取样时应尽材料的厚度可能制取最大厚度的试样。除下列要求外，试样的制备 (包括尺寸偏差、启裂焊道堆焊和缺口加工) 应符合公认标准 (如 GB/T6803) 的要求。

(1) 试样的边缘应以锯切或机加工形成。若采用火焰切割方法，则试样边缘距火焰切割边至少 25mm ；

(2) 当材料厚度大于试样厚度要求时，应仅在板的一侧进行机加工减薄。

试样类型和尺寸 **表 2.10.2.2**

试样型号	P1	P2	P3	P4	P5	P6
长度 *L*(mm)	360	130	130	130	360	360
宽度 *B*(mm)	90	50	50	50	90	90
厚度 *T*(mm)	25	20	16	12	38	50

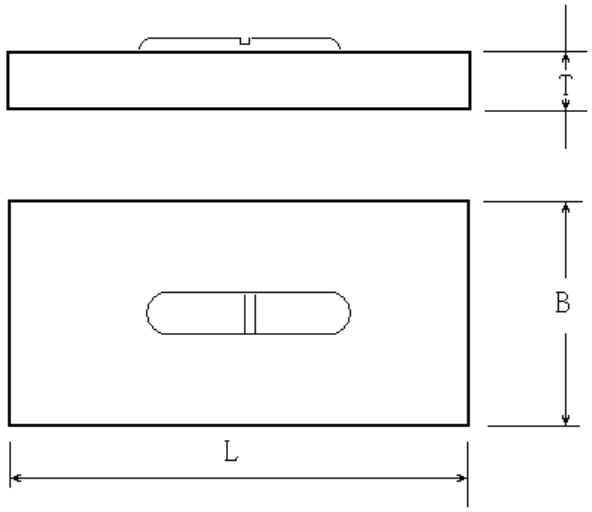


图 2.10.2.2 标准落锤试样

2.10.2.3 截取的试样数量应满足试验和复试的需要。

2.10.3 试验

2.10.3.1 除下列规定外，试验应按公认的标准 (如 GB/T6803) 进行。

2.10.3.2 测定材料无塑性转变温度应进行系列温度试验。试验温度一般为 5℃的整倍数。

2.10.3.3 对于产品合格性考核的试验，仅在规定的温度下进行落锤试验。

2.10.3.4　每一试验温度应取一组 2 个试样进行试验。

2.10.4　试验要求

2.10.4.1　在测量材料无塑性转变温度的系列温度试验中，应试验至一组试样中至少有一个出现断裂 (即裂纹扩展到试样受拉面的一个或两个边缘) 为止，并在 1 组 2 个试样均未发生断裂的系列温度中取试验温度最低者为受试材料的无塑性转变温度。

2.10.4.2　对于产品合格性考核的试验，如果出现一组 2 个试样中有一个断裂的情况可进行复试。若 2 个试样均断裂时，不允许复试。复试应在原取样位置附件重新选取一组 2 个试样在原温度下进行，复试的两个试样应均不出现断裂。

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、锅炉和受压容器及海洋工程等所用的钢板、扁钢、型钢和棒材。

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 CCS 认可。

3.1.1.3　用于原油船作为涂层替代措施的耐腐蚀一般强度和高强度船体结构钢，除分别满足本章相关要求外，还应满足 CCS《原油船耐蚀钢检验指南》的相关要求。

3.1.2　制造

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

3.1.2.2　钢材应采用平炉、电炉、吹氧转炉或经 CCS 特别认可的其他方法冶炼。各级钢材的脱氧方法应符合本章各节的规定。

3.1.2.3　钢可浇铸在锭模中或采用经 CCS 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。

3.1.2.4　钢材的轧制和热处理方法应满足本章各节中钢材供货状态的要求。适用的轧制和热处理方法定义如下，其原理图如图 3.1.2.4 所示。

(1)　热轧 (AR)：该方法涉及的钢轧后直接冷却，而不进行进一步的热处理。轧制温度通常在奥氏体再结晶区域内并高于正火温度。该方法生产的钢的强度和韧性通常比轧制后进行热处理的钢或者用先进方法生产的钢都要低。

(2)　正火 (N)：正火是将轧制钢加热到临界温度 (Ac3) 以上，并在奥氏体再结晶温度区的下沿保温一段规定时间，随后空气冷却。此方法以细化晶粒尺寸和均匀显微组织来改善热轧钢的力学性能。

(3)　控轧 (CR，正火轧制 NR)：终轧变形是在正火温度范围内进行，随后在空气中冷却，得到与正火处理相当的材料性能的轧制工艺。

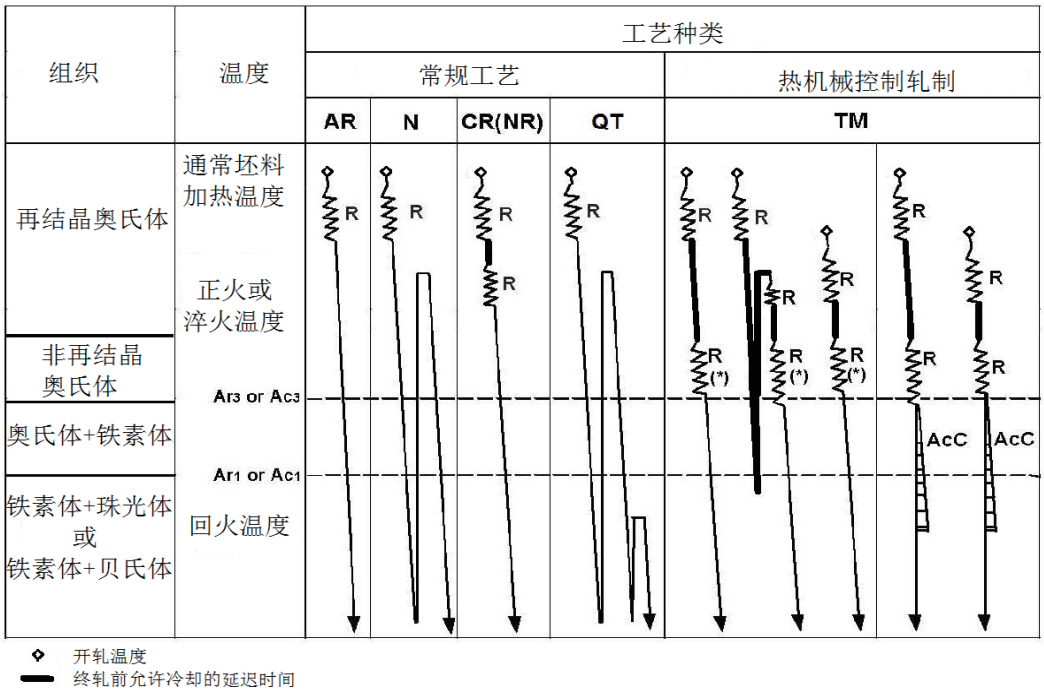
(4)　淬火加回火 (QT)：淬火系一种将钢加热到 Ac3 以上适当温度，保温一段规定时间，随后在合适的冷却介质中冷却，使组织硬化的工艺。淬火后的回火是一种将钢加热到不高于 Ac1 的合适温度，在该温度保温一段规定时间，以改善金相组织和降低由淬火产生的残余应力来恢复韧性。

(5)　热机械控制轧制 (TM/TMCP)：这是一种同时严格控制轧制温度和压下量的工艺。通常，在 Ar3 温度附近进行大压下量轧制，并且可能涉及在两相温度区域中轧制。与控轧 (正火轧制) 不同，TM(TMCP) 赋予的性能不能通过后期的正火或其他热处理来重现。

经 CCS 特别同意，TM 轧制后采用加速冷却是可接受的。轧制后回火处理对 TM 轧制的钢也可适用。

(6)　加速冷却 (AcC)：加速冷却的目的是通过在最终的 TM 轧制操作之后立即以高于空冷的速率控制冷却来改善力学性能。直接淬火不包括在加速冷却之内。

通过 TM(TMCP) 和 AcC 工艺所得到的性能不能通过随后的正火或其他热处理来重现。



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

图 3. 1. 2. 4　轧制钢材生产工艺示意图

3.1.2.5　钢材制造厂在钢材生产过程中应遵循有关的生产技术条件，进行正确的操作和有效的生产控制。为此，钢厂应审核实际轧制记录，验船师可抽查这些记录。

3.1.2.6　当执行程序化轧制工艺、正火工艺或淬火加回火工艺中发生偏差时，或出现其他控制失误导致可能的产品质量问题，制造厂应：

(1)　查出产生原因，制订防止再次发生的措施。同时将调查处理报告提交验船师备查。

(2)　若制造厂要求受影响的钢材继续使用，则应逐件进行试验。试验结果应符合规范要求。

(3)　CCS 可根据具体情况对后继生产的钢材要求钢厂增加试验的频率，以证明工厂对产品质量承诺的有效性。

3.1.2.7　规定的力学性能试验应在验船师或其授权的检验人员在场时进行。

3. 1. 3　尺寸偏差

3.1.3.1　钢材制造厂应采取措施，确保钢材厚度偏差在规范规定范围内，并负有厚度验证的责任。验船师可要求见证钢厂对钢材厚度偏差的检查。

钢板长度、宽度、平整度等应满足公认的国家或国际标准。

3.1.3.2　相关的责任方应采取适当措施避免钢材在运输和存储过程中产生严重锈蚀或其他损伤。钢材在投入生产使用前其表面应依然保持在可接受的水平。

3.1.3.3　钢材的名义厚度在订货时由合同双方在合同中确定。钢材的偏差定义如下：

(1)　负偏差为钢材实际厚度小于钢材名义厚度，但可以接受的范围下限；

(2)　正偏差为钢材实际厚度大于钢材名义厚度，但可以接受的范围上限。

3.1.3.4　本章钢板和宽度大于等于 600mm 的扁钢及型钢的厚度，除合同双方另有规定外，应符合下列要求：

(1)　型钢及名义厚度小于 5mm(不包括 5mm) 的钢板，其厚度偏差可按公认的标准验收；

(2)　对本章第 2、3 和 4 节所规定的各类船体结构用钢板和宽扁钢，除用于运输散装化学品或液化气体的受压容器和独立液货舱结构者外，其母钢板（指由一个锭或坯上直接轧制而成，未进行切割的钢板）应按 3.1.3.5 的规定进行厚度测量，其测量的算术平均值应不低于钢板的名义厚度，个别测量

点的负偏差应不超过 0.3mm。若钢板采用保证任选测点的厚度均不低于名义厚度的轧制工艺，则不必计算钢板的算术平均值。钢厂应证明钢板测点的数量和分布能够恰当地确定所生产的母钢板不低于规定的名义板厚，并使 CCS 满意。

(3) 对于本章第 5 节所规定的锅炉、受压容器用钢材，以及用于运输散装化学品或液化气体的独立液货舱结构的钢材，除供需双方另有协议规定者外，其厚度负偏差应不超过 0.3mm；

(4) 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 3.1.3.4(4) 的规定；

机械结构用钢板和宽扁钢的厚度负偏差 **表 3.1.3.4(4)**

名义厚度 t (mm)	负偏差 (mm)
$5 \leqslant t < 8$	<0.4
$8 \leqslant t < 15$	<0.5
$15 \leqslant t < 25$	<0.6
$25 \leqslant t < 40$	<0.8
$t \geqslant 40$	<1.0

(5) 对于本章第 7、8、9 节所规定的钢板和宽扁钢，如在订货合同中没有规定将名义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；对于板厚超过 10mm 者，负偏差应不超过 0.5mm。

(6) 对于本章第 10 节和第 11 节的钢材，其厚度偏差应符合其母级钢的要求。

(7) 所有钢材的厚度正偏差可按公认的国家或国际标准验收。

3.1.3.5 除船体结构用钢板厚度的测量应符合下列测量要求外，其他钢板的测量方法可按国家或国际标准进行：

(1) 钢材的厚度测量可以以自动或手工方法进行；

(2) 钢板测量位置应符合下列规定：

a. 厚度测量应在图 3.1.3.5(2) 中所示的沿钢材轧制方向的三条纵向线中的任意两条上进行，在所选定的每条线上应至少选取三个位置进行厚度测量。当每条线的测点位置多于三点时，每条线上的测点应数量相等，且位置对应；

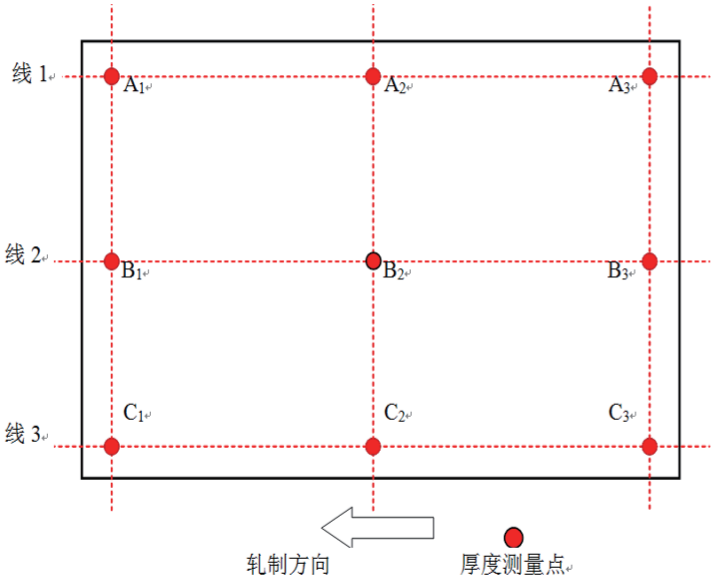


图 3.1.3.5(2) 原始板的厚度测量点位置

b. 当采用自动测量方法时，测点距板边和板端的距离应在 10~300mm 之间；

c. 当采用手工测量方法时，测点距板边和板端的距离应在 10~100mm 之间。

钢厂应保留测量的程序和记录供验船师查阅，并在有要求时，提供副本。

(3) 上述测量位置均指从钢坯或钢锭直接轧制成形的成品，而不适用于钢板轧成后再切割的钢板 (示例见图 3.1.3.5(3))。

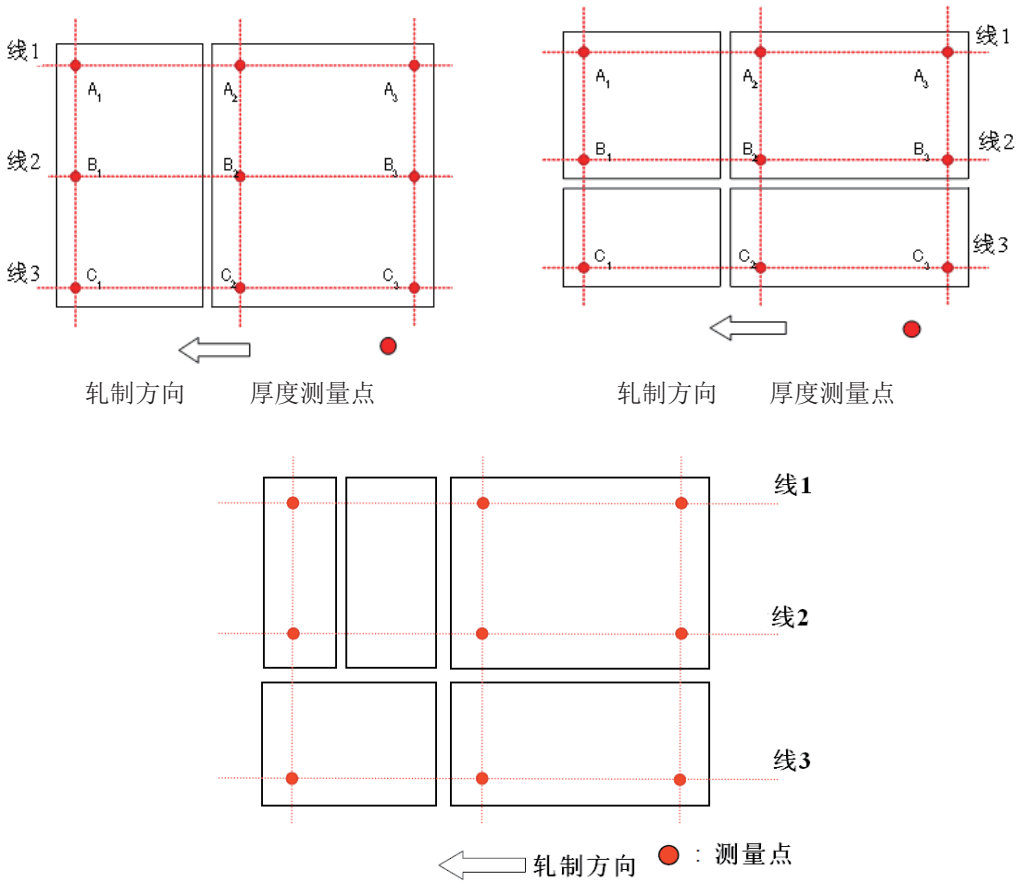


图 3.1.3.5(3) 厚度测量点在切割钢板上的位置示例

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。试验材料应在热处理完成后从下列部位切取 (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) 对钢板和宽度大于或等于 600mm 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；

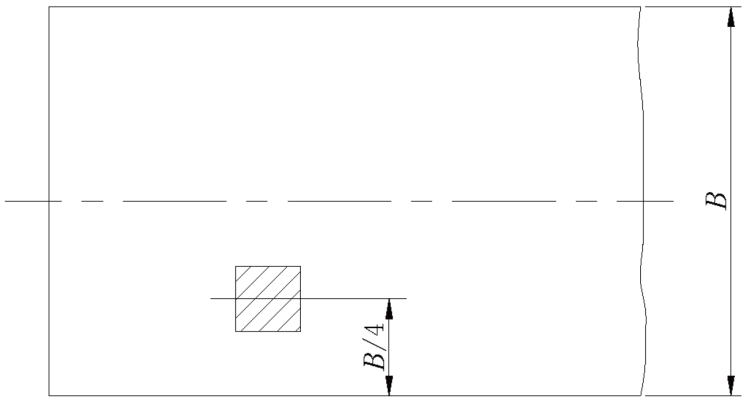
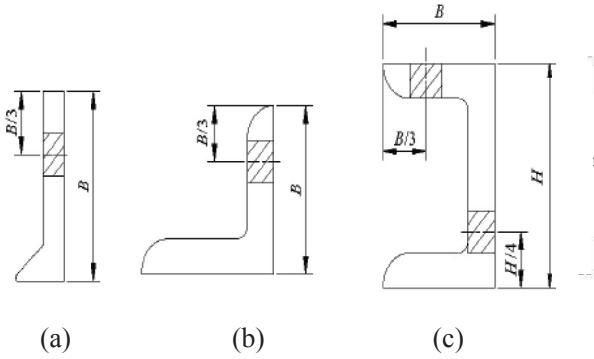


图 3.1.4.2(1)

(2) 对球扁钢、角钢等型钢，以及宽度小于 600mm 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；



(a) (b) (c) (d)

图 3.1.4.2(2)

图 3.1.4.2(3)

(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；

(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。

3.1.4.3 对于钢板或扁钢，一般应切取至少保留 1 个轧制面的拉伸试样；若全厚度试样超过试验机能力或产品厚度超过40mm时，试样应是代表产品全厚度的剖分试样或保留一个轧制面的半厚度试样，也可采用试样轴线尽可能位于板厚 1/4 处的圆形横截面试样。

3.1.4.4 对于成批验收的钢材，冲击试样应取自同一批材料中厚度最大的材料。

3.1.4.5 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：钢板和宽度大于或等于 600mm 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 外观检查和无损检测

3.1.5.1 钢厂有责任对所有钢材进行外观检查及外形尺寸校核，并使材料符合相关的质量要求。在轧制过程中应采取必要的预防措施，并应在交货前对产品进行检查。轧制 (或热处理) 有可能掩盖表面的缺陷和缺欠，因此如果在后继除锈或加工中发现钢材有缺陷时，CCS 仍可要求对钢材进行修补或判废 (拒收 / 剔除)。

3.1.5.2 钢材表面质量检查方法应符合客户与钢厂达成一致并为 CCS 接受的国家或国际标准。除本章另有规定或钢厂与客户另有更高质量要求的协议外，钢材表面应具有公认标准 (如 EN 10163) 或

CCS 接受的相当标准所规定的质量。

3.1.5.3　对于钢板和宽扁钢，由制造过程中所产生的无害缺欠，如麻点、氧化皮、压痕、辊印、划痕和凹槽，不论数量多少，只要满足下列全部条件，则可接受：

(1)　缺欠深度不超过 EN 10163-2 的 A 级或 CCS 的接受等效标准中规定的最大允许值；

(2)　钢板或宽扁钢的厚度保持在本节 3.1.3.4 规定的平均允许负厚度公差范围内；

(3)　深度不超过 (1) 规定限值的缺欠总面积不超过该被查总表面积的 15%。

对于型钢和棒材的表面质量和供货状态要求可按公认标准验收。

3.1.5.4　有深度超过 3.1.5.3(1) 限制缺欠的区域，不论其数量多少，均应予以修补。

在表面或边缘目视可见的裂纹、有害的表面发纹、结疤 (带非金属夹杂物的冷搭)、粘砂、分层、尖锐边缘 (拉裂)，不论其尺寸和数量，均作为有损于产品使用的缺陷而应对该钢材予以修补或拒收。

3.1.5.5　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，但钢厂有责任采取适当措施保证钢材的内部质量。CCS 对钢材的验收并不解除钢厂保证钢材内部质量的责任。若订货钢板或宽扁钢需要超声波检测，则可按公认标准验收。

3.1.6　缺陷的修整

3.1.6.1　对本章第 2、3、4 和 6 节所述的结构用钢板或宽扁钢，可采用打磨方法消除表面缺陷，但应满足下列全部条件：

(1)　单个修磨面积不大于 0.25m^2，(若相邻修磨区域之间的距离小于其平均宽度，则作为一个面积处理)，总修磨面积不大于钢板该表面总面积的 2%；

(2)　厚度减薄应不大于公称厚度的 7%，且不大于 3mm，取较小值；

(3)　钢板双面相向修磨时，厚度减薄仍应不超过 (2) 规定的值；

(4)　缺陷或不可接受的缺欠应被完全去除，钢板或宽扁钢的厚度应保持在本节 3.1.3.4 规定的范围内；

(5)　修磨区域应与产品周边表面平顺过渡；

(6)　应采用磁粉检测或渗透检测证实缺陷已被完全去除。

3.1.6.2　不能按本节 3.1.6.1 规定处理的表面缺陷，经 CCS 同意，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)　单一焊补面积不能超过 0.125m^2，总焊补面积不能超过该表面总面积的 2%；

(2)　两个焊补区域间的距离小于它们的平均宽度时应作为单个区域处理；

(3)　在缺陷消除后和焊补之前，钢材厚度应不低于钢材公称厚度的 80%。对偶然超过深度限值的缺陷，应经验船师特殊考虑；

(4)　应由具有适当资格的焊工，采用认可的按制造厂要求干燥后的低氢焊条，按认可的相应钢级用焊接方法和焊接工艺进行焊补。焊条应在焊前和焊接过程中采取防回潮措施；

(5)　焊补后，被修补部位应打磨光顺，并进行磁粉或渗透检测，以证明焊补质量满足要求。若焊补深度超过 3mm，对焊补区域，CCS 可要求按认可工艺进行超声波检测；

(6)　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　钢厂对检验合格的每一件钢材 (小型钢材可包扎成捆)，应至少在一个位置清晰地标出 CCS 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)　结构钢的交货状态 (如：N、NR、TM、TM+AcC、TM+DQ 和 QT 等)；

(5)　如订货方有要求，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 CCS 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，则应将该

标志彻底去除。

3.1.7.3 钢厂应向验船师提供所有验收材料的合格证书二份。除钢厂名称外，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) 炉批号、熔炼化学成分；
(3) 材料的技术规格 / 等级和尺寸；
(4) 交货数量和重量；
(5) 碳当量 (C_{eq}、CET 或 P_{cm} 值)(如适用)；
(6) 力学性能试验结果，包括可追溯的试验标识号；
(7) 除热轧状态以外的供货状态 (对于第 4 节中以热处理态交货的高强度钢，应附有热处理温度)；
(8) 表面质量检查结果；
(9) 超声波检测结果 (如有时)。

3.1.7.4 证书签发前，钢厂应书面声明，陈述材料已按认可的方法生产并按要求进行了试验，且结果使验船师或其授权代表满意。例如在带有钢厂名称的试验合格证书上加盖或打印该声明并由授权的厂方代表签字的方式是可接受的。

3.1.7.5 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、炉罐号和熔炼化学成分，且该炼钢厂应经 CCS 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 150mm 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熔炼分析化学成分应符合表 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)		$t \leqslant 50$，除沸腾钢外任何方法①；$t>50$，镇静处理	$t \leqslant 50$，除沸腾钢外任何方法；$t>50$，镇静处理	$t \leqslant 25$，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	C②	≤ 0.21③	≤ 0.21	≤ 0.21	≤ 0.18
	Mn②	≥ 2.5C	≥ 0.80④	≥ 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)	—	—	≥ 0.015⑤⑥	≥ 0.015⑥

注：① 凡经 CCS 和订货方同意，对 $t \leqslant 12.5$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% ≤ 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 CCS 同意后，也可使用其他细化晶粒元素。
⑦ 若采用热机械控制轧制 (TMCP) 状态交货，经 CCS 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)				
			$t \leqslant 12.5$	$12.5 < t \leqslant 25$	$25 < t \leqslant 35$	$35 < t \leqslant 50$	$50 < t \leqslant 150$
A	沸腾钢	型材	A(−)	不适用			
	$t \leqslant 50$mm，除沸腾钢外任何方法；t>50mm，镇静处理	板材	A(−)				N(−)，TM(−)，CR(50)，AR*(50)
		型材	A(−)				不适用
B	$t \leqslant 50$mm，除沸腾钢外任何方法；t>50mm，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		
	镇静和细化晶粒处理	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(25)，AR*(15)，CR*(15)				不适用

注：① 交货状态：A：任意；N：正火；CR：控制轧制；TM(TMCP)：热机械控制轧制；
AR*：经 CCS 特别认可后，可采用热轧状态交货；CR*：经 CCS 特别认可后，可采用控制轧制状态交货。
② 括号中的数值表示冲击试样的取样批量 (单位为 t)，(−) 表示不作冲击试验。每一批量应取 1 组 3 个夏比 V 型缺口冲击试样进行试验。

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 1 的板状比例试样；对厚度超过 40mm 者也可采用序号 2 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。冲击试样的缺口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 和不足 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	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)	试验温度 (℃)	夏比 V 型缺口冲击试验					
					平均冲击功不小于 (J)					
					厚度 t(mm)					
					$t \leqslant 50$		$50 < t \leqslant 70$		$70 < t \leqslant 150$	
					纵向②	横向②	纵向	横向	纵向	横向
A	235	400-520①	22	20	—	—	34④	24④	41④	27④

钢材等级	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 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)					
					厚度 t(mm)					
					$t \leqslant 50$		$50<t \leqslant 70$		$70<t \leqslant 150$	
					纵向②	横向②	纵向	横向	纵向	横向
B				0	27③	20③				
D				-20						
E				-40						

注：① 经 CCS 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 CCS 要求外，$t \leqslant 50$mm 时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。
③ 对厚度不大于 25mm 的 B 级钢，经 CCS 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 CCS 同意，以热机械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)	$t \leqslant 5$	$5<t \leqslant 10$	$10<t \leqslant 15$	$15<t \leqslant 20$	$20<t \leqslant 25$	$25<t \leqslant 30$	$30<t \leqslant 40$	$40<t \leqslant 50$
伸长率 A (%)	14	16	17	18	19	20	21	22

第 3 节 高强度船体结构用钢

3.3.1 钢材等级

3.3.1.1 高强度船体结构用钢按其最小屈服强度划分强度级别，每一强度级别又按其冲击韧性的不同分为 A、D、E、F4 级。本节规定适用于厚度不超过 150mm 的 AH32、DH32、EH32、FH32、AH36、DH36、EH36、FH36、AH40、DH40、EH40 和 FH40 等级的钢板和宽扁钢；本节规定还适用于上述等级厚度不大于 50mm 的型钢和棒材。

3.3.1.2 大型集装箱船用厚度为 50mm~100mm、屈服强度不小于 460N/mm² 的高强度船用结构钢应满足 CCS《船用高强度钢厚板检验指南》的要求。

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，其熔炼分析化学成分应符合表 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		AH32，AH36，AH40，DH32，DH36，DH40，EH32，EH36，EH40	FH32，FH36，FH40
化学成分 (%)⑤⑥	C	≤ 0.18	≤ 0.16
	Mn	0.90~1.60①	0.90~1.60
	Si	≤ 0.50	≤ 0.50
	S	≤ 0.035	≤ 0.025
	P	≤ 0.035	≤ 0.025

等 级		AH32，AH36，AH40，DH32，DH36，DH40，EH32，EH36，EH40	FH32，FH36，FH40
	Al(酸溶)	≥ 0.015②③	≥ 0.015②③
	Nb④	0.02~0.05③	0.02~0.05③
	V④	0.05~0.10③	0.05~0.10③
	Ti④	≤ 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，其含量应不低于表列值；若混合加入两种以上细化晶粒元素时，则表中对单一元素含量下限的规定不适用，但应满足认可的技术条件。
④ 铌、钒、钛的含量还应符合：Nb%+V%+Ti% ≤ 0.12%。
⑤ 若采用 TMCP 状态交货，化学成分应满足本节 3.3.2.3 的规定。
⑥ 在钢材的冶炼过程中添加的任何其他元素，应在材料证书上注明。

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

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

碳当量最大值不应超过协议允许值。

3.3.2.3 对于以热机械控制轧制状态交货的钢材，还应符合下列要求：

(1) 应根据钢材的熔炼分析化学成分，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：

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

按上述公式计算出的 P_{cm} 值应符合公认的有关标准。

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

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

注：① 钢厂和船厂可以根据具体情况协商制定更严格的碳当量要求。

3.3.3 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)					
			$t \leqslant 12.5$	$12.5 < t \leqslant 20$	$20 < t \leqslant 25$	$25 < t \leqslant 35$	$35 < t \leqslant 50$	$50 < t \leqslant 150$
AH32 AH36	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
	Al 或 Al 和 Ti	板材	A(50)		AR*(25)		不适用	
					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
AH40	任意	板材	A(50)	N(50)，CR(50)，TM(50)				N(50)，TM(50)，QT(每热处理长度)
		型材	A(50)	N(50)，CR(50)，TM(50)				不适用
DH32 DH36	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
	A1 或 Al 和 Ti	板材	A(50)		AR*(25)	不适用		
					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
DH40	任意	板材	N(50)，CR(50)，TM(50)					N(50)，TM(50)，QT(每热处理长度)
		型材	N(50)，CR(50)，TM(50)					不适用
EH32 EH36	任意	板材	N(每件)，TM(每件)					
		型材	N(25)，TM(25)，AR*(15)，CR*(15)					不适用
EH40	任意	板材	N(每件)，TM(每件)，QT(每热处理长度)					
		型材	N(25)，TM(25)，QT(25)					不适用
FH32 FH36	任意	板材	N(每件)，TM(每件)，QT(每热处理长度)					
		型材	N(25)，TM(25)，QT(25)，CR*(15)					不适用
FH40	任意	板材	N(每件)，TM(每件)，QT(每一热处理长度)					
		型材	N(25)，TM(25)，QT(25)					不适用

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

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

3. 3. 4 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 1 的板状试样，对厚度超过 40mm 者也可采用序号 2 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表 3.3.3.1 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	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/ mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)	夏比 V 型缺口冲击试验①					
				试验温度 (℃)	平均冲击功不小于 (J)				
					厚度 t(mm)				
					$t \leqslant 50$		$50<t \leqslant 70$		$70<t \leqslant 150$	
					纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向
AH32	315	440~570	22	0	31②	22②	38	26	46	31
DH32				-20						
EH32				-40						
FH32				-60						
AH36	355	490~630	21	0	34②	24②	41	27	50	34
DH36				-20						
EH36				-40						
FH36				-60						
AH40	390	510~660	20	0	39	26	46	31	55	37
DH40				-20						
EH40				-40						
FH40				-60						

注：① 除订货方或 CCS 有要求外，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。型钢一般仅做纵向冲击试验。

② 如钢厂能保证冲击试验抽查合格，经 CCS 同意，AH32 和 AH36 级钢验收时冲击试验的批量可予以放宽。

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	$t \leqslant 5$	$5<t \leqslant 10$	$10<t \leqslant 15$	$15<t \leqslant 20$	$20<t \leqslant 25$	$25<t \leqslant 30$	$30<t \leqslant 40$	$40<t \leqslant 50$
伸长率 A (%)	AH32，DH32，EH32，FH32	14	16	17	18	19	20	21	22
	AH36，DH36，EH36，FH36	13	15	16	17	18	19	20	21
	AH40，DH40，EH40，FH40	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　本节规定适用于拟用于海洋结构工程的热轧、细晶、可焊接高强度结构钢。而不适用于本章第 2 节和第 3 节所规定的船体结构钢。

本节规定亦可适用于钢板以材外的型钢或无缝钢管等其他产品型式。

3.4.1.2　本节规定的高强度钢按其最小规定屈服强度分为 420、460、500、550、620、690、890 和 960 N/mm² 共 8 个等级。除屈服强度 890 N/mm² 和 960 N/mm² 不设 F 韧性级外，其他各强度级按其

冲击试验的温度分为 A、D、E 和 F 共 4 个韧性级。所有等级如下：

AH420	DH420	EH420	FH420
AH460	DH460	EH460	FH460
AH500	DH500	EH500	FH500
AH550	DH550	EH550	FH550
AH620	DH620	EH620	FH620
AH690	DH690	EH690	FH690
AH890	DH890	EH890	
AH960	DH960	EH960	

3.4.1.3　本节规定适用于厚度不大于 250mm 的钢板和扁钢、厚度不超过 50mm 的型钢，以及直径 / 厚度不超过 250mm 的钢棒。厚度超出此范围的钢材，应经 CCS 特别考虑。

3.4.1.4　本节规定的钢材可以以正火 (N)/ 正火轧制 (NR)、热机械控制轧制 (TM) 或淬火加回火 (QT) 状态交货。TM 交货状态可以是：热机械控制轧制 (TM)、热机械控制轧制后进行加速冷却 (TM+AcC)、热机械控制轧制后直接淬火加回火 (TM+DQ)。

3.4.1.5　由 CCS 特别认可的材料，以及与本规范要求有差异的材料应在标识记号后增加后缀“S”(如 EH620S) 。

3.4.2　制钢方法

3.4.2.1　本节规定的高强钢应由碱性氧气转炉、碱性电弧炉或经 CCS 特别认可方法生产。

3.4.2.2　下列各等级钢材均应进行真空脱气处理：

(1)　所有有 Z 向性能要求的钢；

(2)　强度级别为 690、890 和 960N/mm^2 的钢。

3.4.3　脱氧方法和化学成分

3.4.3.1　本节规定的高强钢均应为全镇静钢，并按认可的制造工艺进行晶粒细化处理。按 ISO 643 或相当的试验方法中规定的金相检查法确定的晶粒度应大于或等于 6。

3.4.3.2　应按认可的钢厂技术条件进行目标化学成分分析，表 3.4.3.2 所列的所有元素应予以报告。不同交货状态的钢材应满足相应的成分要求。

焊接结构用高强度钢的化学成分　　**表 3.4.3.2**

交货状态①	N/NR		TM		QT	
钢材等级 / 化学成分②	AH420 DH420 AH460 DH460	EH420 EH460	AH420 DH420 AH460 DH460 AH500 DH500 AH550 DH550 AH620 DH620 AH690 DH690 AH890	EH420 FH420 EH460 FH460 EH500 FH500 EH550 FH550 EH620 FH620 EH690 FH690 DH890 EH890	AH420 DH420 AH460 DH460 AH500 DH500 AH550 DH550 AH620 DH620 AH690 DH690 AH890 AH960	EH420 FH420 EH460 FH460 EH500 FH500 EH550 FH550 EH620 FH620 EH690 FH690 DH890 EH890 DH960 EH960
C (%)	≤ 0.20	≤ 0.18	≤ 0.16	≤ 0.14	≤ 0.18	
Mn (%)	1.0~1.70		1.0~1.70		≤ 1.70	
Si (%)	≤ 0.60		≤ 0.60		≤ 0.80	

交货状态①	N/NR		TM		QT	
钢材等级 / 化学成分②	AH420 DH420 AH460 DH460	EH420 EH460	AH420 DH420 AH460 DH460 AH500 DH500 AH550 DH550 AH620 DH620 AH690 DH690 AH890	EH420 FH420 EH460 FH460 EH500 FH500 EH550 FH550 EH620 FH620 EH690 FH690 DH890 EH890	AH420 DH420 AH460 DH460 AH500 DH500 AH550 DH550 AH620 DH620 AH690 DH690 AH890 AH960	EH420 FH420 EH460 FH460 EH500 FH500 EH550 FH550 EH620 FH620 EH690 FH690 DH890 EH890 DH960 EH960
P③ (%)	⩽ 0.030	⩽ 0.025	⩽ 0.025	⩽ 0.020	⩽ 0.025	⩽ 0.020
S③ (%)	⩽ 0.025	⩽ 0.020	⩽ 0.015	⩽ 0.010	⩽ 0.015	⩽ 0.010
Al(总含量)④ (%)	⩾ 0.02		⩾ 0.02		⩾ 0.018	
Nb⑤ (%)	⩽ 0.05		⩽ 0.05		⩽ 0.06	
V⑤ (%)	⩽ 0.20		⩽ 0.12		⩽ 0.12	
Ti⑤ (%)	⩽ 0.05		⩽ 0.05		⩽ 0.05	
Ni⑥ (%)	⩽ 0.80		⩽ 2.00⑥		⩽ 2.00⑥	
Cu (%)	⩽ 0.55		⩽ 0.55		⩽ 0.50	
Cr⑤ (%)	⩽ 0.30		⩽ 0.50		⩽ 1.50	
Mo⑤ (%)	⩽ 0.10		⩽ 0.50		⩽ 0.70	
N (%)	⩽ 0.025		⩽ 0.025		⩽ 0.015	
O⑦ (ppm)	不适用		不适用	⩽ 50	不适用	⩽ 30

注：① 交货状态见 3.4.4.1。
② 化学成分应以熔炼成分分析来确定，并应满足认可的制造技术条件。
③ 对型钢硫和磷的含量允许比表中规定值高 0.005%。
④ 总铝与氮的比最小应为 2：1。当采用其他固氮元素时，最小铝含量和铝氮比可不必满足。
⑤ Nb+V+Ti ⩽ 0.26 % 和 Mo+Cr ⩽ 0.65%，但对于淬火加回火钢可不必满足。
⑥ 经本社同意，可适当提高镍的含量。
⑦ 最大氧含量的要求仅适用于 DH890、EH890、DH960 和 EH960。

3.4.3.3 合金化、固氮和细化晶粒所用的元素以及残余元素应在制造技术条件中详细列明。当硼作为强化钢的淬硬性而有意加入时，硼元素的最大含量应不高于 0.005%，且分析结果应予以报告。

3.4.3.4 钢的碳当量值 C_{eq} 应以熔炼成分分析值按下式进行计算。最大值在表 3.4.3.4 中规定。

(1) 所有等级钢可采用 IIW 的公式：

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

(2) 对 H460 及更高强度级钢，钢厂可采用 *CET* 来替代 C_{eq}，且按下面公式进行计算。

$$CET=\mathrm{C}+\frac{(\mathrm{Mn+Mo})}{10}+\frac{(\mathrm{Cr+Cu})}{20}+\frac{\mathrm{Ni}}{40}\qquad(\%)$$

(3) 对于含碳量不大于 0.12% 的热机械控制轧制钢和淬火加回火钢，钢厂可用评价焊接性的冷裂纹敏感性系数 P_{cm} 替代 C_{eq} 或 CET，且按下列公式计算。

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

高强度钢的碳当量要求 (%) 表 3.4.3.4

碳当量 (%)	C_{eq}						CET	P_{cm}
产品形式	板材			型材	棒材	管材	所有	所有
产品厚度 / 钢材等级 / 交货状态	$t \leqslant 50$ (mm)	$50<t \leqslant 100$ (mm)	$100<t \leqslant 250$ (mm)	$t \leqslant 50$ (mm)	T(或 d) $\leqslant 250$ (mm)	$t \leqslant 65$ (mm)	所有	所有
H420N/NR	0.46	0.48	0.52	0.47	0.53	0.47	–	
H420TM	0.43	0.45	0.47	0.44	–	–		
H420QT	0.45	0.47	0.49	–	–	0.46		
H460N/NR	0.50	0.52	0.54	0.51	0.55	0.51	0.25	
H460TM	0.45	0.47	0.48	0.46	–	–	0.30	0.23
H460QT	0.47	0.48	0.50	–	–	0.48	0.32	0.24
H500TM	0.46	0.48	0.50	–		–	0.32	0.24
H500QT	0.48	0.50	0.54			0.50	0.34	0.25
H550TM	0.48	0.50	0.54			–	0.34	0.25
H550QT	0.56	0.60	0.64			0.56	0.36	0.28
H620TM	0.50	0.52	–			–	0.34	0.26
H620QT	0.56	0.60	0.64	–		0.58	0.38	0.30
H690TM	0.56	–				–	0.36	0.30
H690QT	0.64	0.66	0.70			0.68	0.40	0.33
H890TM	0.60	–				–	0.38	0.28
H890QT	0.68	0.75	–			–	0.40	–
H960QT	0.75	–				–	0.40	–

注：表中“–”为不适用。

3.4.4 交货状态

3.4.4.1　本节规定的高强度钢可以按以下状态交货：

(1)　正火 (N)/ 正火轧制 (NR)；

(2)　热机械控制轧制 (TM)，(包含 TM+AcC 和 TM+DQ)；

(3)　淬火加回火 (QT)(包括热轧后直接淬火加回火)。

3.4.5　压缩比

3.4.5.1　除在认可时另有规定外，钢坯或钢锭的压缩比应不小于 3：1。

3.4.6　厚度限制

3.4.6.1　由连铸方法生产的坯料最大厚度由钢厂自行确定。

3.4.6.2　相应于特定的交货状态，钢板、型材、钢棒和管的最大适用厚度见表 3.4.6.2 所示。

不同形式产品的最大厚度　　**表 3.4.6.2**

交货状态	最大厚度 / 直径 (mm)			
	板	型材	钢棒	管
正火 (N)	250②	50	250	65
正火轧制 (NR)	150	①		
热机械控制轧制 (TM)	150	50	不适用	不适用
淬火加回火 (QT)	150②	50	不适用	50

注：① 用正火轧制工艺路线生产的型钢、钢棒和管材的最大厚度通常小于正火工艺路线生产产品的厚度，并应经 CCS 同意。

② 对于厚度大于 250mm 的正火钢和厚度大于 150mm 的淬火加回火钢应经 CCS 特别考虑。

3.4.7　力学性能

3.4.7.1　力学性能的试验频率应按下列要求：

(1)　应以同炉、相同交货状态和相同厚度，小于或等于 25 吨为一批，按批制取拉伸试样。

(2)　夏比 V 型缺口冲击试样应按以下要求抽取：

a. 对于以 N、NR 或 TM 轧制状态交货的钢板或扁钢，应每一轧件制取一套试样；

b. 对以 QT 状态交货的钢板或扁钢，应每一热处理件制取一套试样；

c. 对型钢、棒材或管材，应以每 25 吨或其余量为一批，每批制取一套试样。

(3)　对于连续热处理的产品，其冲击试验的数量和取样位置可由钢厂特别考虑并经 CCS 同意。

3.4.7.2　力学性能试验的取样位置和方向，除如下规定外，应符合本章 3.1.4 的相关规定：

(1)　对于厚度大于 100mm 的产品，当采用圆形横截面拉伸试样时，除了在厚度 1/4 处取样外，还应在厚度中心增加一个试样。

(2)　对于钢板和宽度超过 600mm 的扁钢应取横向夏比冲击试样；对其他产品形式应取纵向冲击试样。

(3)　夏比 V 型缺口冲击试样应取自其一个面距离轧制表面不大于 2mm 处。但对于厚度大于 50mm 的材料，冲击试样应在 $t/4$ 和 $t/2$ 处取样。

(4)　对于名义厚度小于 6mm 的材料，一般不要求进行冲击试验。

3.4.7.3　力学性能的试样和试验程序应满足本规范第 2 章的规定。

3.4.7.4　试验结果应满足表 3.4.7.4 的相应要求。若对板和宽扁钢以外其他形式的产品进行纵向试验时，试验的伸长率结果应满足表内的纵向伸长率的要求。

焊接结构用高强度钢的力学性能 **表 3.4.7.4**

钢级和交货状态 \ 力学性能		屈服强度 R_{eH} (N/mm²) 不小于			抗拉强度 R_m (N/mm²)		断后伸长率 A_5 (%) $L_0=5.65\sqrt{S_0}$ 不小于		夏比 V 型缺口冲击试验		
		名义厚度 (mm)			名义厚度 (mm)				试验温度 (°C)	冲击功不小于 (J)	
		≥ 3 ≤ 50	>50 ≤ 100	>100 ≤ 250①	≥ 3 ≤ 100	>100 ≤ 250①	横向 T	纵向 L		横向 T	纵向 L
H420N/NR H420TM H420QT	A D E F	420	390	365	520~680	470~650	19	21	0 -20 -40 -60	28	42
H460N/NR H460TM H460QT	A D E F	460	430	390	540~720	500~710	17	19	0 -20 -40 -60	31	46
H500TM H500QT	A D E F	500	480	440	590~770	540~720	17	19	0 -20 -40 -60	33	50
H550TM H550QT	A D E F	550	530	490	640~820	590~770	16	18	0 -20 -40 -60	37	55
H620TM H620QT	A D E F	620	580	560	700~890	650~830	15	17	0 -20 -40 -60	41	62
H690TM H690QT	A D E F	690	650	630	770~940	710~900	14	16	0 -20 -40 -60	46	69
H890TM H890QT	A D E	890	830	不适用	940~1100	不适用	11	13	0 -20 -40	46	69
H960QT	A D E	960	不适用	不适用	980~1150	不适用	10	12	0 -20 -40	46	69

注：① 对某些应用场合，如海上平台的齿条等，若设计要求其整个厚度保持拉伸性能时，则最小规定的拉伸性能不能随着厚度的增加而降低。

3.4.7.5 对于宽度 25mm、标距长度 200mm 的矩形截面全厚度试样，其伸长率应符合表 3.4.7.5 所列的最小值的规定。

全厚度板状试样的最小伸长率① 表 3.4.7.5

强度	厚度 (mm)						
	≤ 10	>10 ≤ 15	>15 ≤ 20	>20 ≤ 25	>25 ≤ 40	>40 ≤ 50	>50 ≤ 70
H420	11	13	14	15	16	17	18
H460	11	12	13	14	15	16	17
H500	10	11	12	13	14	15	16
H550	10	11	12	13	14	15	16
H620	9	11	12	12	13	14	15
H690	9②	10②	11②	11	12	13	14

注 ① 表列最小断后伸长率是对横向试样的要求。
② 对厚度小于等于 20mm 的 H690 板，可用符合本篇第 2 章第 2 节的圆截面拉伸试样替代矩形截面的拉伸试样。横向试样的最小伸长率为 14%。
③ H890 和 H960 的试样及不包括在表内的试样应采用标距长度为 $L_0=5.65\sqrt{S_0}$ 的比例试样。

3.4.7.6 对带有 Z 向性能标识的钢，应按本章第 10 节要求进行各项试验。厚度方向的抗拉强度应不低于规定最小抗拉强度的 80%。

3.4.8 消应力处理和其他热处理

3.4.8.1 涉及热处理工艺的认可钢材，适宜进行消除应力热处理。如冷成型后的消除应力热处理或焊后热处理，以降低脆断风险、增加疲劳寿命和加工后的尺寸稳定性。

第 5 节 锅炉与受压容器用钢

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。

3.5.2 脱氧方法与化学成分

3.5.2.1 锅炉与受压容器用钢的脱氧方法和熔炼分析化学成分应符合表 3.5.2.1 的规定。

锅炉与受压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	≤ 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	≤ 0.04	0.015-0.065	—	—	
410A	镇静	≤ 0.20	0.10~0.35	0.50~1.30	≤ 0.04	≤ 0.04	②	—	—	
410B	镇静并细化晶粒	≤ 0.20	0.15~0.35	0.50~1.30	≤ 0.04	≤ 0.04	0.015-0.065	—	—	
460A	镇静	≤ 0.20①	0.10~0.40	0.80~1.40	≤ 0.04	≤ 0.04	②	—	—	
460B	镇静并细化晶粒	≤ 0.20①	0.15~0.40	0.80~1.40	≤ 0.04	≤ 0.04	0.010~0.065	—	—	
490A	镇静	≤ 0.20①	0.15~0.50	0.90~1.60	≤ 0.04	≤ 0.04	②	—	—	
490B	镇静并细化晶粒	≤ 0.20①	0.15~0.50	0.90~1.60	≤ 0.04	≤ 0.04	0.015~0.065	—	—	
1Cr0.5Mo	镇静	0.10~0.18	0.10~0.35	0.40~0.80	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.020	0.70~1.30	0.40~0.60	Cu ≤ 0.30 Ni ≤ 0.30
2.25Cr1Mo	镇静	0.08~0.18	0.10~0.50	0.40~0.80	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.020	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≤ 0.22%。
② 钢材可以采用铝脱氧。

3.5.3 热处理

3.5.3.1 锅炉与受压容器用钢，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 360N/mm²~490N/mm² 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 15m 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 和不足 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 3.2.4.1 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。

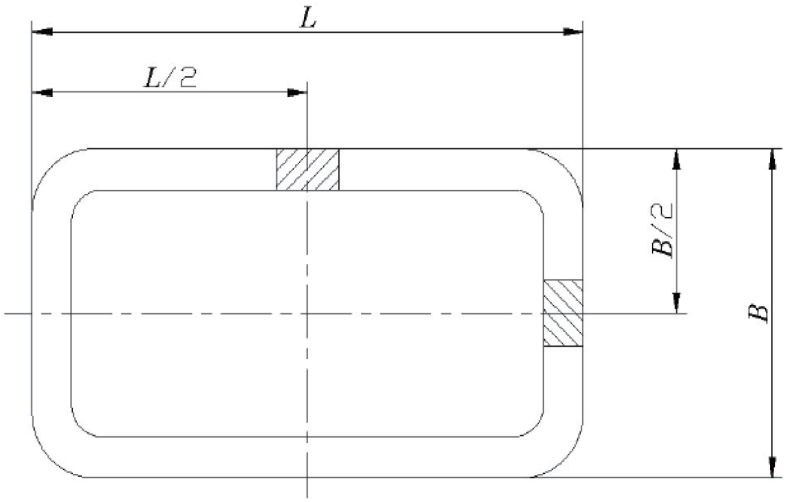


图 3.5.4.2

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 R_m (N/mm²)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)			伸长率 A_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 (℃)	平均冲击功 (J)
			$t \leqslant 16$	$16 < t \leqslant 40$	$40 < t \leqslant 60$	$t \leqslant 40$	$40 < t \leqslant 60$		
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强度 R^T_{eH}，高温屈服强度 R^T_{eH} 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 $R^T_{m100000}$，以供设计用，$R^T_{m100000}$ 的值见表 3.5.5.2。

高温屈服强度 R^T_{eH} **表 3.5.5.1**

钢材等级		厚度 t (mm)	设计温度 (℃)											
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
			屈服强度 R^T_{eH}，不小于 (N/mm²)											
360	A	$t \leqslant 16$	183	175	172	168	150	124	117	115	113			
		$16<t \leqslant 40$	173	171	169	162	144	124	117	115	113			
		$40<t \leqslant 60$	166	162	158	152	141	124	117	115	113			
	B	$t \leqslant 16$	214	204	185	165	145	127	116	110	106			
		$16<t \leqslant 40$	200	196	183	164	145	127	116	110	106			
		$40<t \leqslant 60$	183	179	172	159	145	127	116	110	106			
410	A	$t \leqslant 16$	220	211	208	201	180	150	142	138	136			
		$16<t \leqslant 40$	204	201	198	191	171	150	142	138	136			
		$40<t \leqslant 60$	196	192	188	181	168	150	142	138	136			
	B	$t \leqslant 16$	248	235	216	194	171	152	141	134	130			
		$16<t \leqslant 40$	235	228	213	192	171	152	141	134	130			
		$40<t \leqslant 60$	222	215	204	188	171	152	141	134	130			
460	A	$t \leqslant 16$	260	248	243	235	210	176	168	162	158			
		$16<t \leqslant 40$	235	230	227	220	198	176	168	162	158			
		$40<t \leqslant 60$	227	222	218	210	194	176	168	162	158			
	B	$t \leqslant 16$	276	262	247	223	198	177	167	158	153			
		$16<t \leqslant 40$	271	260	242	220	198	177	167	158	153			
		$40<t \leqslant 60$	262	251	236	217	198	177	167	158	153			
490	A	$t \leqslant 16$	280	270	264	255	228	192	183	177	172			
		$16<t \leqslant 40$	255	248	245	237	214	192	183	177	172			
		$40<t \leqslant 60$	245	240	236	227	210	192	183	177	172			
	B	$t \leqslant 16$	297	284	265	240	213	192	182	173	168			
		$16<t \leqslant 40$	293	279	260	237	213	192	182	173	168			
		$40<t \leqslant 60$	283	272	256	234	213	192	182	173	168			
1Cr0.5Mo		$t \leqslant 60$	284	270	265	248	236	216	205	199	194	188	181	174
2.25Cr1Mo		$t \leqslant 60$	255	249	241	233	226	219	212	207	194	180	160	137

高温破断平均应力 $R^T_{m100000}$ **表 3.5.5.2**

温度 (℃)	钢级		温度 (℃)	钢级	
	360A 360B 410A 410B	460A 460B 490A 490B		1Cr0.5Mo	2.25Cr1Mo
	$R^T_{m100000}$ (N/mm²)			$R^T_{m100000}$ (N/mm²)	
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章 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 CCS 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 40mm 的碳锰钢和镍合金钢。该类用钢除符合本节规定外，还应满足 CCS《散装运输液化气体船舶构造和设备规范》的相关要求。

3.7.1.2 对厚度超过 40mm 的碳锰钢和镍合金钢的要求需另行考虑。

3.7.1.3 满足 3.7.1.1 要求的碳锰钢最小规定屈服强度分为 315、355、390N/mm² 级别，韧性等级用符号 CL-I、CL-II 和 CL-III 表述（其中：C 取 CCS 第 1 个字母、L 表示低温。）。

3.7.1.4 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 所有钢材应为采用铝处理细化晶粒方法的全镇静钢。

3.7.2.2 碳锰钢的化学成分见表 3.7.2.2。

3.7.2.3 镍合金钢的化学成分见表 3.7.2.3。

3.7.2.4 碳当量 C_{eq} 可根据熔炼分析化学成分按下列公式计算：

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

碳当量最大值不应超过协议允许值。

碳锰钢的化学成分 **表 3.7.2.2**

钢号	化学成分 (%)					
	C	Mn	Si	P	S	其他元素
CL-I-2、CL-II-2 CL-I-3、CL-II-3 CL-I-4、CL-II-4	≤ 0.18	0.70~1.60	0.10~0.50	≤ 0.025	≤ 0.025	Ni ≤ 0.80，Cr ≤ 0.25 Mo ≤ 0.08，Cu ≤ 0.35 Nb ≤ 0.05，V ≤ 0.10
CL-III-2 CL-III-3 CL-III-4	≤ 0.16					
铝含量总量≥ 0.02% (酸溶≥ 0.015%)						

镍合金钢的化学成分 **表 3.7.2.3**

钢号	化学成分 (%)						
	C	Mn	Si	P	S	Ni	其他元素
1.5Ni	≤ 0.14	0.30~1.50	0.10~0.35	≤ 0.025	≤ 0.02	1.30~1.70	Cr ≤ 0.25 Mo ≤ 0.08 Cu ≤ 0.35 Cr+Mo+Cu ≤ 0.60 Al(酸溶) ≥ 0.015
2.25 Ni	≤ 0.14	≤ 0.70	≤ 0.30	≤ 0.025	≤ 0.025	2.10~2.50	
3.5Ni	≤ 0.12	0.30~0.80	0.10~0.35	≤ 0.025	≤ 0.02	3.20~3.80	
5Ni	≤ 0.12	0.30~0.90	0.10~0.35	≤ 0.025	≤ 0.02	4.70~5.30	
9Ni	≤ 0.10	0.30~0.90	0.10~0.35	≤ 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%)。

3.7.3 热处理与力学性能

3.7.3.1 碳钢和碳锰钢的交货状态和力学性能应符合表 3.7.3.1 的规定。

3.7.3.2 镍合金钢的交货状态和力学性能应符合表 3.7.3.2 的规定。

碳锰钢的交货状态和力学性能[①] **表 3.7.3.1**

钢号	交货状态[②]	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)	夏比 V 型缺口冲击试验				最低设计温度 (℃)
					材料厚度 t （mm）	试验温度 T (℃)	试样冲击功的平均值不小于 (J)		
							纵向	横向	
CL-I-2	正火或淬火加回火	315	440-570	22	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-20 -25 -30 -35	41	27	-15
CL-II-2		315	440-570	22	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-40 -45 -50 -55	41	27	-35
CL-III-2		315	440-570	22	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-60 -65 -70 -75	41	27	-55
CL-I-3		355	490-630	21	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-20 -25 -30 -35	41	27	-15
CL-II-3		355	490-630	21	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-40 -45 -50 -55	41	27	-35
CL-III-3		355	490-630	21	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-60 -65 -70 -75	41	27	-55
CL-I-4		390	510-660	20	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-20 -25 -30 -35	41	27	-15
CL-II-4		390	510-660	20	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-40 -45 -50 -55	41	27	-35
CL-III-4		390	510-660	20	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-60 -65 -70 -75	41	27	-55

① 本要求适用于厚度不超过 40mm 的材料。对厚度超过 40mm 的材料的夏比 V 型缺口冲击能量值应经 CCS 同意。
② 控轧工艺或 TMCP 可代替正火或淬火加回火。
③ 表中冲击试验横向值适用板材、纵向值适用型材。

镍合金钢的交货状态和力学性能　　表 3.7.3.2

钢号	交货状态	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)	夏比 V 型缺口冲击试验				最低设计温度 (℃)
					材料厚度 t （mm）	试验温度 T (℃)	试样冲击功的平均值不小于 (J)		
							纵向	横向	
1.5Ni	正火或正火加回火或淬火加回火或 TMCP①	275	470~640	22	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-65 -70 -75 -80	41	27	-60
2.25Ni	正火或正火加回火或淬火加回火或 TMCP①	295	420~570	19	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-70 -75 -80 -85			-65
3.5Ni		345	440~690	21	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-95 -100 -105 -110			-90
5Ni	正火或正火加回火或淬火加回火①②	390	520~710	21	$t \leqslant 25$ $25<t \leqslant 30$ $30<t \leqslant 35$ $35<t \leqslant 40$	-110 -115 -120 -125			-105
9Ni	两次正火加回火或淬火加回火	490	640~830	19	$t \leqslant 40$	-196			-165

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

3.7.3.3　力学性能试验试样的截取：

(1)　钢板：应从每一轧制件的一端截取 1 个拉伸试样和 1 组 3 个冲击试样；

(2)　型钢等其他钢材：应以同一炉罐号、同一规格、同一轧制方法和同一热处理制度为一批 (每批最大重量为 10t)，从每批钢材中任取一件截取 1 个拉伸试样和 1 组 3 个冲击试样；

(3)　拉伸与冲击试样的截取方向、试样形状和尺寸应符合本篇第 2 章与本章第 1 节有关规定，对于拟用于本节 3.7.1.1 所述用途的钢板，其冲击试样应取横向试样，取样位置及试验值应按 CCS《散装运输液化气体船舶构造与设备规范》第 6 章 6.1.4.1、6.1.4.2 和 6.1.5 的相关要求。

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，如订货协议有要求可进行落锤试验：

①　碳锰钢拟用于设计工作温度低于 -40℃时；
②　1.5Ni 钢拟用于设计工作温度低于 -60℃时；
③　2.25 Ni 钢拟用于设计工作温度低于 -65℃时
④　3.5Ni 钢拟用于设计工作温度低于 -80℃时；
⑤　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。

第 8 节 奥氏体不锈钢和双相不锈钢

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、水处理用受压容器或其他构件的奥氏体不锈钢和奥氏体 / 铁素体双相不锈钢 (以下简称双相不锈钢)。

3.8.2 一般要求

3.8.2.1 本节规定的奥氏体不锈钢也适用于制造设计温度一般不低于 -165℃的压力容器。

3.8.2.2 本节规定的双相不锈钢一般适用于制造设计使用温度在 0℃至 300℃之间的结构构件。

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

3.8.3 化学成分

3.8.3.1 奥氏体不锈钢的熔炼分析化学成分应符合表 3.8.3.1 的规定。

奥氏体不锈钢的成分 **表 3.8.3.1**

牌号	统一数字代号	化学成分 (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	其他
06Cr19Ni10①	S30408	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	18.0~20.0	8.0~11.0	—	—	
022Cr19Ni10	S30403	≤ 0.03	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	18.0~20.0	8.0~12.0	—	—	
022Cr19Ni10N	S30453	≤ 0.03	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	18.0~20.0	8.0~11.0	—	0.10~0.16	
06Cr17Ni12Mo2①	S31608	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	—	
022Cr17Ni12Mo2	S31603	≤ 0.03	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	—	
022Cr17Ni12Mo2N	S31653	≤ 0.03	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	16.0~18.0	10.0~13.0	2.0~3.0	0.10~0.16	
06Cr19Ni13Mo3①	S31708	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	—	
022Cr19Ni13Mo3	S31703	≤ 0.03	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	—	
022Cr19Ni13Mo4N	S31753	≤ 0.03	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	0.10~0.22	
06Cr18Ni11Nb	S34778	≤ 0.08	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.045	≤ 0.03	17.0~19.0	9.0~12.0	—	—	10C ≤ Nb ≤ 1.10

注：① 一般不宜用作直接接触承载腐蚀性化学品的容器结构件。

3.8.3.2 双相不锈钢的熔炼分析化学成分应符合表 3.8.3.2 的规定。

双相不锈钢的化学成分 **表 3.8.3.2**

牌号	统一数字代号	化学成分 (%)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	其他
022Cr22Ni5Mo3N	S22253	≤ 0.03	≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 0.030	≤ 0.020	21.0~23.0	4.5~6.5	2.5~3.5	0.08~0.20	
022Cr23Ni5Mo3N	S22053	≤ 0.03	≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 0.030	≤ 0.020	22.0~23.0	4.5~6.5	3.0~3.5	0.14~0.20	
03Cr25Ni6Mo3Cu2N	S25554	≤ 0.04	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 0.035	≤ 0.030	24.0~27.0	4.5~6.5	2.9~3.9	0.10~0.25	1.0 ≤ Cu ≤ 2.5
022Cr25Ni7Mo4N	S25073	≤ 0.03	≤ 1.2	≤ 0.8	≤ 0.035	≤ 0.020	24.0~26.0	6.0~8.0	3.0~5.0	0.24~0.32	Cu ≤ 0.50

3.8.4 热处理

3.8.4.1　所有奥氏体不锈钢和双相不锈钢均应以固溶状态交货。

3.8.5　力学性能

3.8.5.1　试样按本章 3.5.4.1 的规定切取。

3.8.5.2　除另有协议外，本节所列的奥氏体不锈钢一般不要求进行冲击试验。当奥氏体不锈钢用于 -100℃及以下工作温度时，可要求进行 -196℃温度下的夏比 V 型缺口冲击试验。试验的最低平均值应不低于 27J(横向取样)。

3.8.5.3　奥氏体不锈钢的力学性能应符合表 3.8.5.3 的规定。

奥氏体不锈钢的力学性能　　**表 3.8.5.3**

钢号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ ① 不小于 (N/mm^2)	规定非比例延伸强度 $R_{p1.0}$ ① 不小于 (N/mm^2)	抗拉强度 R_m ② 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)
06Cr19Ni10	205	245	515	40
022Cr19Ni10	175	215	480	40
022Cr19Ni10N	245	285	550	40
06Cr17Ni12Mo2	205	245	515	40
022Cr17Ni12Mo2	175	215	480	40
022Cr17Ni12Mo2N	245	285	550	40
06Cr19Ni13Mo3	205	245	515	40
022Cr19Ni13Mo3	205	245	520	40
022Cr19Ni13Mo4N	275	315	570	40
06Cr18Ni11Nb	205	245	520	40

注：① 一般测定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$。如合同另有规定，允许以非比例延伸强度 $R_{p1.0}$ 为交货条件。
② 奥氏体不锈钢的抗拉强度上限应不超过表列值加 200 N/mm^2。

3.8.5.4　双相不锈钢的力学性能应符合表 3.8.5.4 的规定。

双相不锈钢的力学性能　　**表 3.8.5.4**

牌号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm^2)	抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	夏比 V 型缺口冲击试验		
				试验温度 (℃)	冲击值 (J)	
					纵向	横向
022Cr22Ni5Mo3N	450	620	25	-20	41	27
022Cr23Ni5Mo3N	450	620	25	-20	41	27
03Cr25Ni6Mo3Cu2N	490	690	25	-20	41	27
022Cr25Ni7Mo4N	550	790	20	-20	41	27

3.8.6　晶间腐蚀试验

3.8.6.1　当不锈钢用于某些特定环境，如存放腐蚀性化学品的液舱或储罐时，应按本章 3.5.4.1 的组批要求，与拉伸试验同时制取晶间腐蚀试验的试样，进行试验。

3.8.6.2　晶间腐蚀试验的试样制备和试验应按本篇第 2 章第 7 节的要求进行。

3.8.6.3　若客户有实际载货的特殊要求时，应按合同要求进行不锈钢的耐腐蚀试验。

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。

3.9.4 热处理

3.9.4.1 板材应以最适合于复合钢板两种材料的热处理状态交货，热处理工艺应提交 CCS 备查。

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 CCS 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 者应逐张检查，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，中间区域应沿间隔 200mm 四方环线进行连续的检测。允许存在的单个未粘合区域面积应不超过 4000mm^2，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),在炉批号相同的条件下，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，测得的屈服强度或抗拉强度 R_c 应不小于按下式计算所得之值：

$$R_c = \frac{t_1 R_1 + t_2 R_2}{t_1 + t_2} \qquad \text{N/mm}^2$$

式中：t_1 —— 基体材料的公称厚度，mm；

t_2 —— 覆层材料的公称厚度，mm；

R_1 —— 基体材料的规定最小屈服强度 (R_{eH}) 或非比例延伸强度 ($R_{p0.2}$) 或抗拉强度 (R_m)，N/mm^2；

R_2 —— 覆层材料的规定最小屈服强度 (R_{eH}) 或非比例延伸强度 ($R_{p0.2}$) 或抗拉强度 (R_m)，N/mm^2；

R_c —— 复合钢板的规定最小屈服强度 (R_{eH}) 或非比例延伸强度 ($R_{p0.2}$) 或抗拉强度 (R_m)，N/mm²。

如果 R_c 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 CCS 接受的方法进行试验，粘合面的抗剪强度应不低于下列规定：

(1)　对抗拉强度 R_m<280N/m² 者，抗剪强度为抗拉强度的 50%；

(2)　对抗拉强度 $R_m \geqslant$ 280N/mm² 者，抗剪强度为 140N/mm²。

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。

3.9.7　耐腐蚀试验

3.9.7.1　当覆层材料为有耐腐蚀要求的不锈钢材料时，应按本篇第 2 章第 7 节的规定取样，对覆层材料进行耐晶间腐蚀试验。

第 10 节 Z 向钢

3.10.1　一般要求

3.10.1.1　本节适用于因结构中承受厚度方向拉伸载荷而对钢材厚度方向有性能要求的厚度不小于 15mm 的板材与扁钢 (简称 Z 向钢)。

3.10.1.2　Z 向钢是在某一等级结构钢 (称为母级钢) 的基础上，经过特殊处理 (如钙处理、真空脱气、氩气搅拌等) 和适当热处理的钢材。

3.10.1.3　Z 向钢根据厚度方向拉伸试样的断面收缩率的大小分为 Z25 和 Z35 两个级别。

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 向钢等级的后缀 Z25 或 Z35。其中 Z 后面的数字为 Z 向钢规定最小厚度方向断面收缩率 Z_Z 指标值。如标记 EH32-Z35 表示为具有最小厚度方向断面收缩率为 35% 的 EH32 级船体结构用钢。

3.10.3　化学成分

3.10.3.1　Z 向钢的化学成分除应符合其母级钢规定外，其熔炼分析化学成分的硫含量应不大于 0.008%。

3.10.4　力学性能

3.10.4.1　除其母级钢的力学性能试验外，Z 向钢的厚度方向力学性能可按批量进行验收。每批材料应是同一炉号、相近厚度 (厚度差不超 5mm)，经过相同热处理规程。每批数量应符合表 3.10.4.1 的规定。

Z 向钢厚度方向力学性能试验的批量规定　　**表 3.10.4.1**

产品硫含量	*S*>0.005%	*S* ≤ 0.005%
板材	每件	≤ 50 t
厚度小于或等于 25mm 的宽扁钢	≤ 10 t	≤ 50 t
厚度大于 25mm 的宽扁钢	≤ 20 t	≤ 50 t

3.10.4.2 每批钢材选择有代表性的材料，按第 2 章第 5 节的要求截取试件，制备试样。

3.10.4.3 每批取 3 个试样进行拉伸试验。试验结果应符合如下规定：

(1) 对 Z25 级钢，3 个试样的厚度方向断面收缩率的平均值应不小于 25%，其中允许 1 个单值小于规定值，但不小于 15%；

(2) 对 Z35 级钢，3 个试样的厚度方向断面收缩率的平均值应不小于 35%，其中允许 1 个单值小于规定值，但不小于 25%。

3.10.4.4 试验时若发生试样断在焊缝或热影响区内，可将该试样及试验结果作废。再在原取样处制取新的试样来代替。

3.10.4.5 若 3 个试样的平均值低于规定值，或两个试样的单值低于规定平均值但均大于 3.10.4.3 中对最小单值的规定时，则应对备用的 3 个试样进行试验。新的试验结果应与原来的结果一起取平均值，其值应大于规定的最小平均值 (如图 3.10.4.5 所示)。

3.10.4.6 若复试不合格，则该批钢材应予拒收。若制造厂有要求，可将该批的剩余材料逐件按 3.10.4.3~3.10.4.5 的规定进行试验。符合要求的可以验收。

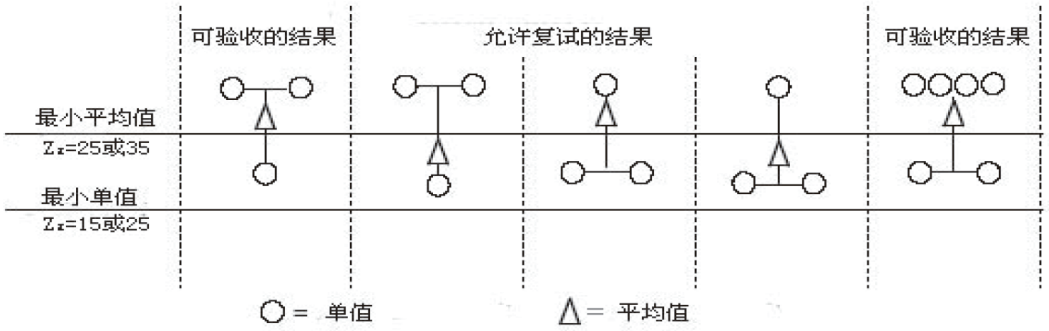


图 3.10.4.5 验收和复试的标准

3.10.5 超声波检查

3.10.5.1 Z 向钢应以交货状态，按 ISO 17577 或等效的标准，用 3~5MHz 频率的探头，逐张进行超声波检测。

3.10.5.2 无损检测结果应符合表 3.10.5.2 的规定。

Z 向钢超声波检测验收要求 **表 3.10.5.2**

扫查区域	不可接受的单个缺陷	不可接受的密集性缺陷	
		需计入的缺陷	最大密度
板内区域	面积 (s) 大于 1000mm^2	100 mm^2< s ≤ 1000 mm^2	15 个 /1m×1m
板边缘四周	长度 (l) 大于 50mm，或 面积 (s) 大于 1000mm^2	25 mm< l ≤ 50 mm	5 个 /1m

第 11 节 适应高热输入焊接的船体结构钢

3.11.1 一般规定

3.11.1.1 本节规定的具有高热输入焊接适应性的钢材是适应采用最高热输入超过 50kJ/cm 焊接工艺的船体结构钢。

3.11.1.2 具有高热输入焊接适应性的钢材是在某一等级结构钢 (称为母级钢) 的基础上，经化学成分少量调整处理的钢材。因此除本节规定外，还应符合其母级钢 (见本章第 2 节和第 3 节) 的所有要求。

3.11.2 标记

3.11.2.1 具有适应高热输入焊接钢材的标记是在母级钢标记后加上适应最高热输入的标记。最高热输入的标记为 W 加上适应最高热输入值。如标记 AH32-W60 即表示为适应最高焊接热输入为 60kJ/cm 的 AH32 级高强度船体结构钢。

3.11.3 焊接性能

3.11.3.1 船体结构钢所适应的最高焊接热输入应由钢厂根据其研制的情况提出，并经焊接试验证明。

3.11.3.2 高热输入焊接试验通常仅在钢材产品认可时进行。在日常生产中，验船师可根据常规检验时的冲击试验显示的情况，要求抽样进行高热输入焊接试验。

3.11.3.3 高热输入焊接试验可采用本规范第 3 篇第 3 章第 2 节对接焊工艺认可试验的平板对接焊试验。

3.11.3.4 焊接时采用的热输入应为制造厂建议的最高热输入，在平焊位置上进行焊接。

3.11.3.5 除本规范第 3 篇第 3 章 3.2.4 规定外，还应增加对距熔合线 5mm 和 10mm 两处热影响区的冲击试验。

3.11.3.6 所有试验结果应符合对母级钢的有关规定。

第 12 节 锚链及其附件用轧制圆钢

3.12.1 一般规定

3.12.1.1 本节规定适用于制造船舶锚链、海上设施系泊链及其附件用的轧制圆钢。

3.12.1.2 链用轧制圆钢的等级按其公称抗拉强度和适用产品种类分为船舶锚链用钢 M1、M2、M3 和海上设施系泊链用钢 MR3、MR3S、MR4、MR4S 和 MR5 共 8 个等级。

3.12.2 化学成分

3.12.2.1 对于船用 M1、M2、M3 级锚链钢，其化学成分一般应满足表 3.12.2.1 的要求。

锚链用圆钢的脱氧方法和化学成分 **表 3.12.2.1**

锚链钢等级	脱氧方法	化学成分 (%)					
		C	Si	Mn	P	S	Al②
M1	镇静	≤ 0.20	0.15~0.35	≥ 0.40	≤ 0.040	≤ 0.040	–
M2①	镇静细晶处理	≤ 0.24	0.15~0.55	≤ 1.60	≤ 0.035	≤ 0.035	≥ 0.020
M3	镇静细晶处理	应符合 CCS 接受的标准③					

注：① 经 CCS 同意，可添加合金元素。

② 系指铝的总含量。Al 可部分由其他细晶元素代替。

③ 对 M3 级锚链钢，钢厂应提供相关的技术条件。技术条件应包括所有必要的细节，如化学成分、脱氧措施、制造工艺、热处理要求和力学性能等。

3.12.2.2 海上设施系泊链用钢的化学成分应满足认可的标准。但对于 MR4、MR4S 和 MR5 级锚链钢，其钼含量应不低于 0.20%。

3.12.3 制造

3.12.3.1 除 1 级锚链钢外，锚链、系泊链及其附件用轧制圆钢应经 CCS 认可的工厂生产。

3.12.3.2 锚链用钢和系泊链用钢应以碱性吹氧转炉、电炉或其他经特别认可的工艺生产。

3.12.3.3 所有锚链钢和系泊链钢均应为镇静钢，且除 M1 级锚链钢外，其他各等级的锚链钢和系泊链钢均需经细化晶粒处理。

3.12.3.4 MR4S 和 MR5 级系泊链用钢应经真空脱气处理。

3.12.3.5 系泊链用钢的轧制比至少应不低于 5:1。如合同需要，可提出更高的轧制比要求。轧制比系指钢材开轧时的横截面积与成材后的横截面积之比。

3.12.3.6 除合同约定外，链用圆钢通常以热轧状态交货。

3.12.4 化学成分分析与冶金学检查

3.12.4.1 锚链钢和系泊链钢应每炉进行熔炼化学成分分析，结果应满足本节 3.12.2 的要求。

3.12.4.2 用于海上设施用的系泊链钢，每炉应取一个金相试样，在圆截面的 1/3 半径处，按公认的标准 (如 ASTM E112) 检查奥氏体晶粒度。显微晶粒度应不低于 6。

3.12.4.3 对于 MR4S 和 MR5 级钢，钢厂还应向制链厂提供如下信息，使其将检查结果包含在系泊链文件中：

(1) 非金属夹杂物检查：每炉按公认的标准 (如 ISO 4967) 对非金属夹杂物进行定量和评估，确认其夹杂物的水平对于最终产品是可接受的；

(2) 宏观酸蚀检查：每炉按公认标准 (如 ASTM E381) 取样进行检查，确认无有害的偏析和气孔；

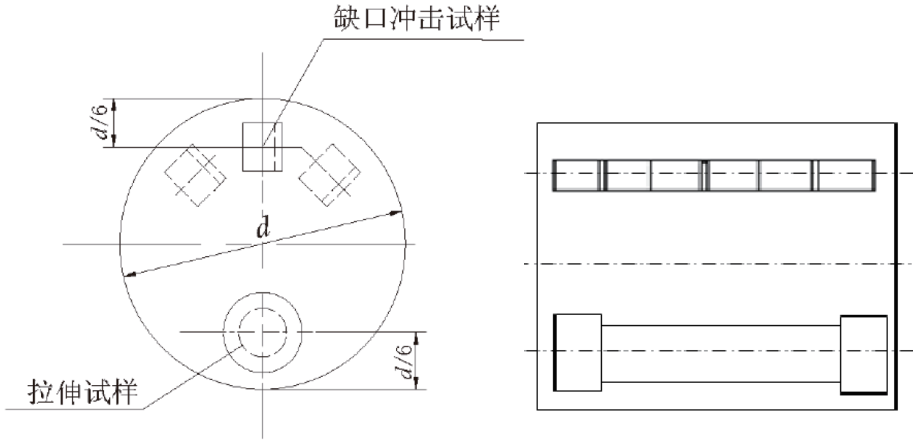
(3) 淬透性试验：每炉按公认标准 (如 ASTM A255) 取样进行试验。

3.12.5 力学性能试验

3.12.5.1 圆钢应以同一炉号、同一直径，质量不超过 50t 为一批，按批提交试验。每批提交试验的圆钢中任意截取一段长度适当的试件，按成品锚链的要求进行相应的热处理。

3.12.5.2 在每个试件中应截取 1 个拉伸试样；除 1 级锚链钢外，还应从同一试件上切取 1 组 3 个夏比 V 型缺口冲击试样。拉伸和冲击试样的截取位置如图 3.12.5.2a 或 b 所示，沿圆钢的纵向截取，且尽可能位于距表面 1/6 直径处。试样的制备和尺寸应符合本篇第 2 章的有关规定，其中拉伸试样的横截面积一般应不小于 150mm²。若截面积不足时，也可采用全截面试样代替。

拉伸和冲击试验及其复试要求应按本篇第 2 章的有关规定进行，其试验结果应符合表 3.12.5.2 的规定。



(a) 试样并列截取　　(b) 试样串列截取

图 3.12.5.2 试样截取位置

锚链、系泊链及附件用材料的力学性能　　表 3.12.5.2

锚链及附件用材料等级	屈服点 R_{eH} (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 (%)	断面收缩率 Z (%)	夏比 V 型缺口冲击试验	
					试验温度 (℃)	冲击功 (J)
M1	无要求	370~490	≥ 25	无要求	无要求	无要求
M2	≥ 295	490~690	≥ 22	无要求	0	≥ 27①
M3	≥ 410	≥ 690	≥ 17	40	0(-20)②	≥ 60(35)

锚链及附件用材料等级	屈服点 R_{eH} (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 (%)	断面收缩率 Z (%)	夏比 V 型缺口冲击试验	
					试验温度 (℃)	冲击功 (J)
MR3	≥ 410③	≥ 690③	≥ 17	50	0(-20)②	≥ 60(40)
MR3S	≥ 490③	≥ 770③	≥ 15	50	0(-20)②	≥ 65(45)
MR4	≥ 580③	≥ 860③	≥ 12	50	-20	≥ 50
MR4S④	≥ 700③	≥ 960③	≥ 12	50	-20	≥ 56
MR5④	≥ 760③	≥ 1000③	≥ 12	50	-20	≥ 58

注：① 若 M2 级钢以热处理状态交货，其冲击试验可以免除。
② M3、MR3 和 MR3S 级钢的冲击试验温度通常为 0℃。当订货方有要求时，可以 -20℃温度下冲击作为交货条件。
③ 材料的屈强比的目标值不大于 0.92。
④ MR4S 钢的硬度应不大于 330HBW，对 MR5 级钢的硬度应不大于 340HBW。

3.12.5.3 每炉 MR3S、MR4、MR4S 和 MR5 级圆钢还应按下列要求进行氢脆试验：

(1) 当采用连铸方式生产时，试样应分别从能代表铸次的始端和末端的材料中切取。若采用锭模浇铸方式生产，试样应从能代表 2 个不同铸锭的材料上截取。

(2) 试件应采用拟在系泊链生产中采用的相同热循环进行热处理。且应从每一试件的中心部位切取 2 个拉伸试样，试样的直径宜取 20mm(或 14mm)。

(3) 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)。当无法做到及时试验时，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)。

(4) 拉伸试验整个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)。

(5) 除应报告抗拉强度、断后伸长率和断面收缩率外，试验结果应满足：

$$Z_1/Z_2 \geqslant 0.85$$

式中：Z_1—— 未经烘焙试样的断面收缩率；

Z_2—— 经烘焙试样的断面收缩率。

若如试验不满足 $Z_1/Z_2 \geqslant 0.85$ 的要求，可经 CCS 同意，在试件上重新取样，经脱氢处理后进行复试。

3.12.5.4 除非能够清晰证明失败的原因是因不合适的热处理造成的，可重新经热处理后再交验外，若试验不合格，则其所代表的该批材料应予报废。

3.12.6 表面质量与尺寸公差

3.12.6.1 圆钢应无影响锚链制造和使用的缺陷。表面的小缺欠，如不超过公差允许范围，则可以打磨消除。

3.12.6.2 除合同规定外，直接用于焊接锚链或系泊链制造的圆钢，其直径和圆度偏差应符合表 3.12.6.2 的要求。系泊链用钢至少应对同批圆钢抽取 1% 进行圆度测量。圆度的测量应是在一个横截面上测取最大直径和最小直径，圆度偏差是测得的最大直径与最小直径之差。

圆钢直径和圆度偏差 **表 3.12.6.2**

圆钢名义直径 (mm)	小于 25	25~35	36~50	51~80	81~100	101~120	121~160	161~222
直径偏差 (mm)	-0~+1.0	-0~+1.2	-0~+1.6	-0~+2.0	-0~+2.6	-0~+3.0	-0~+4.0	-0~+5.0
圆度偏差 (mm)	0.6	0.8	1.1	1.5	1.95	2.25	3.00	4.00

3.12.7 无损检测

3.12.7.1 钢厂应制定系泊链及其附件用钢所用的无损检测工艺文件，并将其与验收标准一起在认可时提交 CCS 备查。

3.12.7.2 所有系泊链及其附件用钢应在制造过程的适当阶段，按认可时确认的工艺和验收要求，用超声波无损检测方法进行 100% 检测。圆钢应无气孔、裂纹或折皱。若交货圆钢的端头不能进行超声波检测时，钢厂应与制链厂商定圆钢端头切除的长度，具体细节应在圆钢供应厂的认可文件中明确。经 CCS 同意，超声波相控阵方法也可应用。

3.12.7.3 所有海上设施系泊锚链用钢应用磁粉、涡流或漏磁方法进行表面检测。表面无损检测应按公认的标准 (如 ISO 9934、ISO 15549 等) 进行。圆钢应无如裂纹、折叠、轧入氧化皮等有害的表面缺欠。如果表面纵向缺欠深度不大于圆钢直径的 1%，则可打磨去除，并使轮廓平顺过渡。

3.12.7.4 所有以机加工 (表面去皮) 状态交货的圆钢应经 100% 外观检查。CCS 也可要求对纵向缺欠增加 10% 的磁粉 (MT)、涡流 (ET) 或漏磁 (MLFT) 检测。去皮的最大深度由钢厂在认可时确定，并列入其认可文件中。

3.12.7.5 若统计表明产品的质量能够一贯保持在所要求水平之上，CCS 可酌情减少无损检测的频率。

3.12.7.6 系泊链用圆钢不允许焊接修补。

3.12.8 标记和证书

3.12.8.1 每根检验合格的圆钢应在其端面按本章 3.1.7 要求的内容，做好标识。当直径小于或等于 40mm 的圆钢成捆包装交货时，可在适当部位系上载有上述内容的标签。

3.12.8.2 每批圆钢应由 CCS 验船师签署相应的合格证书。合格证书的内容除本章 3.1.7.3 所要求的内容外，当按本节 3.12.5.1 规定对试样进行了成品锚链所要求的模拟热处理，则还应包括试样热处理的详情、试样数量和相应的力学试验结果。对于 MR3S、MR4、MR4S 和 MR5 级系泊链用圆钢还应列出氢脆试验和无损检测等检查的结果以及奥氏体显微晶粒度、非金属夹杂物和淬透性检查结果的信息。

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 CCS 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。(本章涉及的管系的分级参见 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 2 章的有关规定)

4.1.1.4　III级管系用的钢管，可按公认的有关标准进行制造、试验和验收。

4.1.1.5　海底管系用的钢管以及海洋工程钢结构或流体输送用的钢管等可按公认的有关标准进行制造、试验和验收。

4.1.1.6　极地船舶暴露于低温环境下管系（包括管子、阀门和附件）的冲击试验应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 23 章的相关要求。

4.1.2　制造

4.1.2.1　钢管应由 CCS 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 CCS 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 / 扩无缝钢管工艺；

(2)　冷拔 / 轧无缝钢管工艺；

(3)　电阻焊或高频感应焊的焊接管工艺；

(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规定最小壁厚。

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公认的有关标准。

4.1.4　化学成分

4.1.4.1　钢材的脱氧方法和熔炼分析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　如本社需要，钢管应进行热处理，并应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级和Ⅱ级压力管系用的钢管、锅炉管和过热器管，应按表 4.1.6.2 的规定，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。

钢管取样批量　　表 4.1.6.2

钢管等级	钢管外径 D(mm)	每批数量 (根)①
Ⅰ级	所有外径	50
Ⅱ级	D>325	100
	$D \leqslant 325$	200

注：① 由一根管坯轧制而成的钢管，在锯切后不再进行热处理，则从此钢管锯切的所有管段可视为一根计算。

4.1.6.3 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。

4.1.6.4 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，其结果应符合公认的有关标准。

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 CCS 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 CCS 备查；

(2) 本条 (1) 中所述的试验压力 P 不必超过按下式确定的值：

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

式中：D —— 钢管的公称外径，mm；

t —— 钢管的公称壁厚，mm；

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

(3) 在试验压力下应保持足够的时间，以便进行检查。

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 CCS 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，应进行渗透检测。

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 CCS 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。

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 CCS 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 / 扩或冷拔 / 轧工艺进行制造。

4.2.2.2　钢材的脱氧方法和熔炼分析化学成分应符合表 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	Mo	Cu	Sn	V	Al
碳钢和碳锰钢	320	半镇静或镇静	≤ 0.16	—	0.4~0.7	≤ 0.04	≤ 0.04	Ni ≤ 0.30 Cr ≤ 0.25 Mo ≤ 0.10 Cu ≤ 0.30 残余元素总量≤ 0.70						
	360		≤ 0.17	≤ 0.35	0.4~0.8	≤ 0.04	≤ 0.04							
	410	镇静	≤ 0.21	≤ 0.35	0.4~1.2	≤ 0.04	≤ 0.04							
	460		≤ 0.22	≤ 0.35	0.8~1.4	≤ 0.04	≤ 0.04							
	490		≤ 0.23	≤ 0.35	0.8~1.5	≤ 0.04	≤ 0.04							
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	410 490		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
1Cr0.5Mo	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 R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	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 $120N/mm^2$。
② 对合金钢，表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为 $150N/mm^2$。

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强度 **表 4.2.4.2(1)**

钢种	强度级 (N/mm^2)	高温屈服强度 R^T_{eH} 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	410①	121	108	99	92	85	80	76	72	69	66	64	62
	490②	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 R^T_m 参考值 (N/mm^2)																				
		温度 (℃)																				
		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
	490①(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 若回火温度高于 750℃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 如采用纵向埋弧焊焊制钢管时，应将其详细资料提交 CCS 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 钢材的脱氧方法和熔炼分析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) 如本社需要，碳钢和碳锰钢钢管应进行正火加回火处理或正火处理。

(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焊缝增强部分应予以去除。

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熔炼分析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 含碳量大于 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/mm²)	抗拉强度 R_m 不小于 (N/ mm²)①	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)①	伸长率 A_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 0℃至 -165℃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　使用纵向焊接和螺旋焊接的管子，除满足本节要求外，还应满足本章第 3 节焊接压力管的相关要求。

4.5.2.3　钢材的脱氧方法和熔炼分析化学成分应符合表 4.5.2.3 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 4.5.2.3**

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①②
碳钢	360	全镇静细化晶粒处理	≤ 0.17	0.10~0.35	0.40~1.00	≤ 0.03	≤ 0.025		Cr ≤ 0.25 Cu ≤ 0.30 Mo ≤ 0.10 Ni ≤ 0.30 总量≤ 0.70	A1 ≥ 0.015 (酸溶)
碳锰钢	410 460		≤ 0.20	0.10~0.35	0.60~1.40	≤ 0.03	≤ 0.025			A1 ≥ 0.015 (酸溶)
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 0.020%。

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	交货状态
碳钢或碳锰钢	正火或经同意的热处理方法
3.5Ni	正火或正火加回火或淬火加回火
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 4.1.6.2 和 4.1.6.3 所规定的试样数量按批抽样试验，试验的每根钢管应进行拉伸和压扁或弯曲试验。

若钢管的壁厚能够取出宽度为 5mm 或以上的标准试样时，还应按本节表 4.5.4.2 所规定的温度对每

根试验的钢管进行冲击试验。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 章第 3 节的有关规定。

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 R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度① R_{eH} 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	压扁试验系数 C	弯曲试验弯芯直径 (mm)	夏比 V 型缺口冲击试验	
							试验温度 (℃)	平均冲击能量不小于 (J)
碳钢	360	360	210	24	0.10	$4t$②	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	$4t$	−95	34
9Ni	690	690	510	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 $120N/mm^2$；对镍合金钢，表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为 $150N/mm^2$。

② t 为试样厚度。

③ 试验温度应低于设计温度 5℃或为 -20℃，取其较低者。

第 6 节 奥氏体和奥氏体 - 铁素体双相不锈钢压力管

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 -165℃的奥氏体不锈钢压力管和适用于腐蚀环境的奥氏体不锈钢和奥氏体－铁素体双相不锈钢钢管。

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 CCS 认可。

4.6.1.3　奥氏体－铁素体双相不锈钢通常用于设计温度在 0℃ ~300℃的使用条件。

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　钢材的熔炼分析化学成分应符合表 4.6.2.2(1) 或 4.6.2.2 (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(1)**

牌号	统一数字代号	化学成分 (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	其他
06Cr19Ni10	S30408	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	18.0~20.0	8.0~11.0	—	—	—
022Cr19Ni10	S30403	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	18.0~20.0	8.0~12.0	—	—	—
06Cr17Ni12Mo2	S31608	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	—	—
022Cr17Ni12Mo2	S31603	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	—	—
06Cr19Ni13Mo3	S31708	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	—	—
022Cr19Ni13Mo3	S31703	≤ 0.03	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	—	—
06Cr18Ni10Ti	S32168	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	17.0~19.0	9.0~12.0	—	—	5C ≤ Ti ≤ 0.80
06Cr18Ni11Nb	S34778	≤ 0.08	≤ 1.00	≤ 2.00	≤ 0.045	≤ 0.030	17.0~19.0	9.0~12.0	—	—	10C ≤ Nb ≤ 1.10

双相不锈钢的化学成分　　表 4.6.2.2(2)

钢号	统一数字代号	化学成分 (%)									
		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	N	其他
022Cr22Ni5Mo3N	S22253	≤ 0.03	≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 0.030	≤ 0.020	21.0~23.0	4.5~6.5	2.5~3.5	0.08~0.20	
022Cr23Ni5Mo3N	S22053	≤ 0.03	≤ 2.0	≤ 1.0	≤ 0.030	≤ 0.020	22.0~23.0	4.5~6.5	3.0~3.5	0.14~0.20	
03Cr25Ni6Mo3Cu2N	S25554	≤ 0.04	≤ 1.5	≤ 1.0	≤ 0.035	≤ 0.030	24.0~27.0	4.5~6.5	2.9~3.9	0.10~0.25	1.5≤Cu≤2.5
022Cr25Ni7Mo4N	S25073	≤ 0.03	≤ 1.2	≤ 0.8	≤ 0.035	≤ 0.020	24.0~26.0	6.0~8.0	3.0~5.0	0.24~0.32	Cu ≤ 0.50

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级奥氏体不锈钢或奥氏体－铁素体双相不锈钢压力管应按本章 4.1.6 规定的试样数量按批抽样试验。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(1) 或 4.6.4.1(2) 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(1)

牌号	统一数字代号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm²)	规定非比例延伸强度 $R_{p1.0}$ 不小于 (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)	压扁试验系数 C	弯曲试验弯心直径 D
06Cr19Ni10	S30408	205	245	520~720	35	0.09	3t (t 为厚度)
022Cr19Ni10	S30403	175	205	480~680	35	0.09	3t
06Cr17Ni12Mo2	S31608	205	245	520~720	35	0.09	3t
022Cr17Ni12Mo2	S31603	175	205	480~680	35	0.09	3t
06Cr19Ni13Mo3	S31708	205	245	520~720	35	0.09	3t
022Cr19Ni13Mo3	S31703	175	205	480~680	35	0.09	3t
06Cr18Ni10Ti	S32168	205	245	520~720	35	0.09	3t
06Cr18Ni11Nb	S34778	205	245	520~720	35	0.09	3t

注：① 表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为 200 N/mm²。
② $R_{p1.0}$ 仅作参考。除另有协议外，一般不要求测定该项数据。

双相不锈钢的力学性能　　表 4.6.4.1(2)

钢号	统一数字代号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm²)	抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)	压扁试验系数 C	弯曲试验弯心直径 D
022Cr22Ni5Mo3N	S22253	450	620	25	0.09	3t①
022Cr23Ni5Mo3N	S22053	450	620	25	0.09	3t①
03Cr25Ni6Mo3Cu2N	S25554	490	690	25	0.09	3t①
022Cr25Ni7Mo4N	S25073	550	790	20	0.09	4t

注：对于焊接管的焊缝部位弯曲试验，其弯芯直径可为 4t。

4.6.4.2　除另有协议外，本节所列的奥氏体不锈钢管一般不要求进行冲击试验。当奥氏体不锈钢管 (无缝管和焊接管) 用于 -100℃及以下工作温度时，且管壁可以取出宽度为 5mm 及以上的标准冲击

试样时，可要求进行 -196℃温度下的夏比 V 型缺口冲击试验。试验的最小平均值应不低于 41J(纵向取样)。

4.6.5 晶间腐蚀试验

4.6.5.1 凡用于直接接触腐蚀性化学品的钢管，应按本章 4.1.6 所规定的批量，从每批钢管中选取 1% 根数 (至少 1 根)，按本规范第 2 章第 7 节的规定制备试样进行晶间腐蚀试验。

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 CCS 认可，经同意后，可按公认的有关标准验收。

5.1.1.2 极地船舶暴露于低温环境下的锻钢件冲击试验应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 23 章的相关要求。

5.1.1.3 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。

5.1.1.4 锻钢件以及用于锻钢件制造的坯料应由 CCS 认可的工厂制造。

5.1.2 化学成分

5.1.2.1 锻钢件的熔炼分析化学成分通常是在每炉钢出钢适当时候取样，当多炉混合时则应在混合的钢包中取样。试样的熔炼分析化学成分应符合本章各节的规定。具体化学成分应适合于锻制钢材的种类、锻钢件的尺寸和规定的力学性能。

5.1.2.2 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。

5.1.2.3 在锻钢件技术条件中作为残余元素列明的元素不应有意加入钢中。这些元素的含量应予以报告。

5.1.3 锻制与焊接

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有害的偏析等缺陷。

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。塑性变形应使锻钢件在热处理后的组织均匀且无影响使用的缺陷，并具有满意的力学性能。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 $L \leqslant D$，1.5:1
由轧制产品锻制③	$L>D$，4:1 $L \leqslant D$，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，其总变形比应不小于 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 CCS 认可。

5.1.3.8　当用焊接方法将两个及以上锻件，或锻件与其他钢构件连接成一个组合部件时，应将焊接工艺规程提交 CCS 认可。必要时可要求进行焊接工艺认可试验。

5.1.4　热处理

5.1.4.1　锻钢件完成所有热锻后，在适当的机加工阶段前，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，锻钢件需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　当采用气割、火焰表面清理或碳弧气刨将锻坯、轧制扁坯或钢锭进行切割或修整时，应按公认的可行方法进行，并且除另经批准外，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，则应考虑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，应将其详细的工艺规程和技术条件提交 CCS 认可，且制造厂应通过试验证实该工艺能使锻钢件达到均匀的具有所要求的硬度和深度的表面硬化层，且不损害锻钢件本体和性能。

5.1.4.6　锻钢件应保留载明所采用的热处理炉、炉料批号、处理日期、保温温度与时间等信息的热处理记录。在验船师有要求时应出示记录。

5.1.5　试验材料和试验

5.1.5.1　锻钢件试件的大小应满足所需试验和可能进行复试的需要，其横截面尺寸应不小于所代表的锻钢件的那一部分截面。除 5.1.5.2 和 5.1.5.3 另有规定外，试件应与锻钢件为一个整体。分离锻制的试样应与其所代表的锻钢件具有相似的锻造比。

5.1.5.2　当一个锻钢件锻后被分为数个部件，所有这些部件又在同一炉内进行热处理时，则可视其为一个锻钢件，应按原始锻钢件的总长度和总重量确定试件的数量。

5.1.5.3　以同一炉罐号、同一热处理炉次生产的形状和尺寸相近的小型锻钢件，可按下列要求进行批量试验：

(1)　对单件 1000kg 以下的正火锻件，每批重量不超过 6t；

(2)　对单件 500kg 以下的淬火加回火锻件，每批重量不超过 3t；

(3)　对相同直径的轧制圆钢，每批重量不超过 2.5t。

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，并标注批号标记。

5.1.5.4　通常应从试件中制取一个拉伸试样。当有要求时，还应制取一组 3 个冲击试样。拉伸和冲击试样的纵轴线应与锻钢件的主轴平行 (纵向试样) 或与锻件同心圆相切 (切向试样)。试样的制备应符合本篇第 2 章和本章各节的有关规定。

5.1.5.5　除另有规定外，截取试样时，应使试样的轴线位置位于：

(1)　对厚度或直径小于或等于 50mm 的锻件，试样的纵轴线应位于厚度中间或横截面中心处；

(2)　对厚度或直径大于 50mm 的锻件，试样的纵轴线 (中部) 应位于锻件热处理表面下 1/4 厚度 (或半径的一半) 或 80mm 处，(取较小值)。

5.1.5.6　除另有规定者外，试件在所有热处理完成前不应从锻钢件上取下。

5.1.5.7　拉伸试样横截面的面积应不小于 150mm^2，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 CCS 的同意。冲击试样应采用夏比 V 型缺口的试样。

5.1.5.8 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。除另有协议外，所有试验应在验船师在场下进行。

5.1.6 目检和无损检测

5.1.6.1 验收时，所有锻钢件应提交验船师作外表面的目视检查。如适用，目视检查还应包括内表面和孔的检查。除另有协议外，制造厂应负责锻钢件的尺寸校核。

5.1.6.2 目视检查时，锻钢件的表面应保持清洁，无氧化皮、油脂等影响检查的物质。必要时采用局部磨削、喷丸、喷砂、火焰清理或钢丝刷清理以及酸洗或其他化学方法清理表面。

5.1.6.3 当结构规范有要求，或以按本章 5.1.3.8 规定获得认可的焊接工艺焊接组合成一个锻钢组合部件，在验收前工厂应进行适当的无损检测，并报告检测结果。

5.1.6.4 锻钢件在最终热处理后机加工至适当阶段时应按本章各节的有关规定进行无损检测，并满足下列要求：

(1) 检测的方法和检测范围应符合 CCS《船舶焊接检验指南》第 7 章附录 7A 的规定；

(2) 当采用外加电流法磁化工件时，应避免磁化电流损伤电极接触处的工件表面；

(3) 当进行超声波无损检测时，通常应进行径向和轴向两个方向的检测。当形状或尺寸受限时，可进行轴向或径向检测；

(4) 除图纸要求或另有协议外，无损检测的结果应符合 CCS《船舶焊接检验指南》第 7 章附录 7A 的规定。

5.1.6.5 除 CCS 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 若构件的尺寸允许，锻钢件表面的轻微缺陷可用銼凿或修磨的方法去除。由此产生的槽口底部半径应不小于深度的 3 倍，且边缘处有足够大的圆角与周边平顺过渡。必要时可采用磁粉检测或渗透检测方法证实缺陷确已消除。

5.1.7.2 除曲轴锻钢件外，经 CCS 同意，锻钢件表面可进行焊接修补。此时，修补范围和位置、拟采用的焊接工艺、热处理以及随后的检查程序应提交 CCS 认可。

5.1.7.3 锻钢件制造厂应保持每个修补过锻钢件的修补记录和后继可追溯至每个修补锻钢件的检查报告。这些报告应在有要求时提交验船师。

5.1.8 标记

5.1.8.1 锻钢件制造厂应具有一套能够对所有最终产品追溯到原始锻钢件的识别系统，当有要求时能为验船师追溯锻钢件提供充分的方便。

5.1.8.2 制造厂应对经 CCS 检验合格后的所有锻钢件，在不少于一个位置上清晰地标出下列标记：

(1) CCS 检验标志；

(2) 炉罐号或可以追溯锻钢件制造过程的标识号；

(3) 试验压力 (如有时)；

(4) 锻钢件材料的牌号或等级；

(5) 检验单位缩写和担当验船师印章；

(6) 证书号。

当标识面积不允许时，则至少应标出上述 (1)~(3) 三项。

钢印应用油漆框出，以求明显易认。

5.1.8.3 以批量生产交货的小型锻钢件的标识方法可由生产厂提交 CCS 备案。

5.1.9 合格证书

5.1.9.1 制造厂应对每一锻钢件或成批量交验的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) 锻钢件的描述 (名称) 和钢级 (牌号) 和追溯锻钢件制造过程的标识号；
(3) 炼钢方法、炉罐号和熔炼化学成分分析；
(4) 热处理详细资料，包括热处理温度和保温时间；
(5) 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 (如适用)。

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、舵杆、舵销以及首尾柱等) 用的碳钢、碳锰钢或合金钢的锻钢件。

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，其熔炼分析化学成分应符合表 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**

钢材种类	化学成分 (%)									
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	Cu	残余元素总量
碳钢 碳锰钢	≤ 0.23①②	≤ 0.45	0.30~1.50	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.30③	≤ 0.15③	≤ 0.40③	≤ 0.30③	≤ 0.85
合金钢	④	≤ 0.45	④	≤ 0.035	≤ 0.035	④	④	④	≤ 0.30③	—

注：① 如果按下式计算所得的碳当量 (C_{eq}) 不超过 0.41%，则含碳量可超过 0.23% 的限制。

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

② 不用于焊接结构的碳钢和碳锰钢的含碳量最大可为 0.65%。
③ 这些元素作为残余元素考虑。
④ 技术条件应提交备查。
⑤ 舵杆和舵销应按焊接结构件考虑。

5.2.3 热处理

5.2.3.1 除另有规定外，碳钢和碳锰锻钢件应采用下列状态之一交货：
(1) 完全退火；
(2) 正火；
(3) 正火加回火 (回火温度应不低于 550℃)；
(4) 淬火加回火 (回火温度应不低于 550℃)。

5.2.3.2 除另有规定外，合金钢应以淬火加回火 (回火温度应不低于 550℃) 状态交货。

5.2.4 力学性能

5.2.4.1 锻钢件试样的截取方法如下：

(1) 通常应从每个锻钢件的一端截取 1 个纵向拉伸试样。当制造厂有要求时，也可按图 5.3.4.4 所示的方向或位置截取试样；

(2) 对重量超过 4000kg 且长度超过 3m 的锻钢件 (锻态，但不包括试料的重量和长度)，应从其两端各取 1 个拉伸试样；

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**

钢种	抗拉强度①② R_m 不小于 (N/mm²)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)		断面收缩率 Z 不小于 (%)	
			纵向	切向	纵向	切向
碳钢 碳锰钢	400	200	26	19	50	35
	440	220	24	18	50	35
	480	240	22	16	45	30
	520	260	21	15	45	30
	560	280	20	14	40	27
	600	300	18	13	40	27
合金钢	550	350	20	14	50	35
	600	400	18	13	50	35
	650	450	17	12	50	35

注：① 对抗拉强度 <600N/mm² 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 120N/mm²；
对抗拉强度≥ 600N/mm² 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 150N/mm²。
② 当材料的规定最小抗拉强度为中间值时，其所对应其他力学性能要求均可用内插法求得。

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销所采用的锻钢件，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。

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。

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 CCS 认可。

5.3.1.3 当用热轧圆钢直接用于制造 (仅进行机加工) 中间轴、尾管轴、螺旋桨轴等时，其直径

应不超过 250mm。

5.3.2 化学成分

5.3.2.1 锻钢件的熔炼分析化学成分应符合表 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	Cr	Mo	Ni	Cu②	残余元素总量
碳钢 碳锰钢	≤ 0.65①	≤ 0.45	0.30~1.50	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.30②	≤ 0.15②	≤ 0.40②	≤ 0.30	≤ 0.85
合金钢③	≤ 0.45	≤ 0.45	0.30~1.00	≤ 0.035	≤ 0.035	≥ 0.40④	≥ 0.15④	≥ 0.40④	≤ 0.30	—

注：① 用于焊接结构的碳钢、碳锰钢的含碳量应不大于 0.23%；如果按下式计算所得的碳当量 (C_{eq}) 不大于 0.41%，则含碳量可以高于此值。

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

② 除有最少量限制外，这些元素作为残余元素考虑。
③ 用于焊接结构的合金钢锻钢件，化学成分应提交 CCS 认可。这
④ 些元素的一项或多项应符合最低要求。

5.3.2.2 对于采用焊接装配成整体的碳钢或碳锰钢锻钢件，其碳当量超过 0.41% 时，应考虑进行焊接认可试验。

5.3.2.3 当锻钢件有纯净度要求时，应严格控制有害元素及气体含量。

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方法：

(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/mm^2 的锻钢件，应作淬火加回火处理。

5.3.3.2 合金钢锻钢件可采用下列之一的热处理方法：

(1) 淬火加回火
(2) 正火加回火

其中，回火的温度应不低于 550℃。

当合金钢采用正火加回火热处理时，其力学性能应符合公认的国际或国家标准的要求。

5.3.4 试验与试样

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 (锻态，但不包括试料的重量和长度)，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、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。 4. 夹杂物分析①

注：① 适用于本节 5.3.4.5 规定的中间轴锻钢件。

5.3.4.4 试样一般应沿锻钢件纵向 (位置 A) 截取，锻钢件制造厂也可按图 5.3.4.4(1)、(2) 和 (3) 所示的其他部位选取所需的试样。

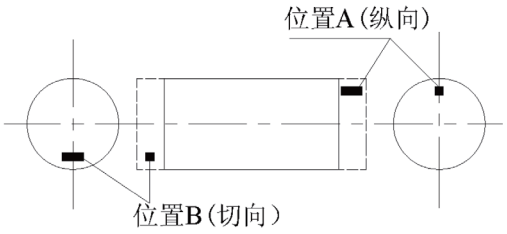


图5. 3. 4. 4(1)

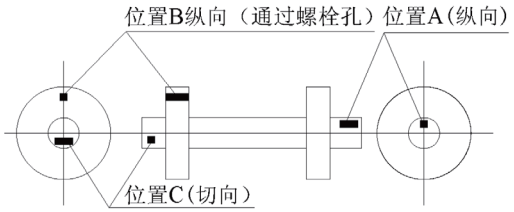
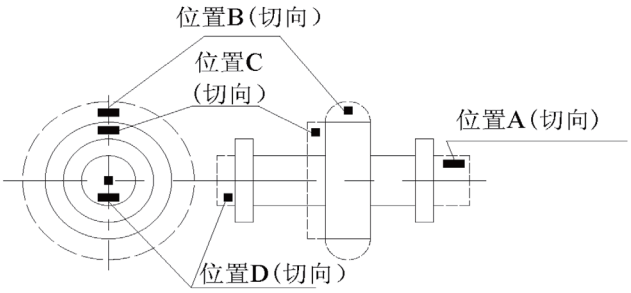


图5. 3. 4. 4(2)



带轴环的法兰轴

图 5. 3. 4. 4（3）

5.3.4.5 对按《钢质海船入级规范》第 3 篇 11.2.2.1 规定，采用 R_m 值大于 800N/mm² 计算轴径的抗拉强度超过 800N/mm²，但低于 950N/mm²，用于中间轴的合金钢锻钢件，应每炉在一个代表性锻件 (或轧件) 上尽可能位于相应于铸锭的头部位置制取夹杂物分析试样。试样按 ISO 4967 方法 A 进行分析，钢中的夹杂物应不超过表 5.3.4.5 的要求。

锻钢件的纯净度要求 **表 5.3.4.5**

夹杂物类别	A		B		C		D		DS
系列	细	粗	细	粗	细	粗	细	粗	—
合格等级	1	1	1.5	1	1	1	1	1	1

5. 3. 5 力学性能

5.3.5.1 轴系与机械结构用锻钢件的力学性能应符合表 5.3.5.1 的规定。

轴系与机械用锻钢件的力学性能　　表 5.3.5.1

钢种	抗拉强度①② R_m 不小于 (N/mm²)	屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)		断面收缩率 Z 不小于 (%)		硬度③ (HB)
			纵向	切向	纵向	切向	
碳钢 碳锰钢	400	200	26	19	50	35	110~150
	440	220	24	18	50	35	125~160
	480	240	22	16	45	30	135~175
	520	260	21	15	45	30	150~185
	560	280	20	14	40	27	160~200
	600	300	18	13	40	27	175~215
	640	320	17	12	40	27	185~230
	680	340	16	12	35	24	200~240
	720	360	15	11	35	24	210~250
	760	380	14	10	35	24	225~265
合金钢	600	360	18	14	50	35	175~215
	700	420	16	12	45	30	205~245
	800	480	14	10	40	27	235~275
	900	630	13	9	40	27	260~320
	1000	700	12	8	35	24	290~365
	1100	770	11	7	35	24	320~385

注：① 对抗拉强度 <900N/mm² 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 150N/mm²；
对抗拉强度≥ 900N/mm² 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 200N/mm²。
② 当材料的规定最小抗拉强度为中间值时，其所对应其他力学性能要求均可用内插法求得。
③ 硬度值仅供参考。

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冲击性能应符合本章表 5.4.6.2 的规定。

5.3.5.3　对具有 B1* 和 B1 冰级的船舶，其表 5.3.5.1 所列全部钢种的螺旋桨轴锻钢件，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 27J。

5.3.5.4　如一个锻钢件上不同位置取样进行拉伸试验时，其抗拉强度的差值应不超过下列规定：

对抗拉强度 <600N/mm² 者，允许相差不超过 70N/mm²；对抗拉强度≥ 600N/mm² 者，允许相差不超过 100N/mm²。

5. 3. 6　无损检测

5.3.6.1　CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章第 2 节规定进行无损检测的锻钢零部件应按本章 5.1.6 的规定进行无损检测。

5.3.6.2　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应按本章 5.1.6 的规定进行超声波检测。

5.3.6.3　其余锻钢件可按 CCS 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 CCS 认可。合金钢曲轴锻钢件的抗拉强度应不超过 1000N/mm^2。

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 CCS 认可。必要时，制造厂还应提交锻造后的曲轴试验报告，以证实该锻钢件具有良好的组织和纤维连续性。

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 CCS 备查。

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 曲轴锻钢件的熔炼化学成分应符合本章表 5.3.2.1 的规定。

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 5.1.4.5 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 (如适用)。

5.4.5.2 曲轴锻钢件的试样数量应符合下列规定：

(1) 对整体自由锻的曲轴，应如图 5.4.5.2(1) 所示，至少从每个锻钢件的联轴器端 (位置 A) 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 (位置 A 和位置 B) 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 (位置 C) 中沿切向截取；

(2) 对组合式曲轴的曲柄臂，每个锻件应制备一套切向试样；

(3) 对按本节 5.4.2.1 认可方法制造的曲轴锻钢件，试样的数量和取样位置应经 CCS 同意。

(4) 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。

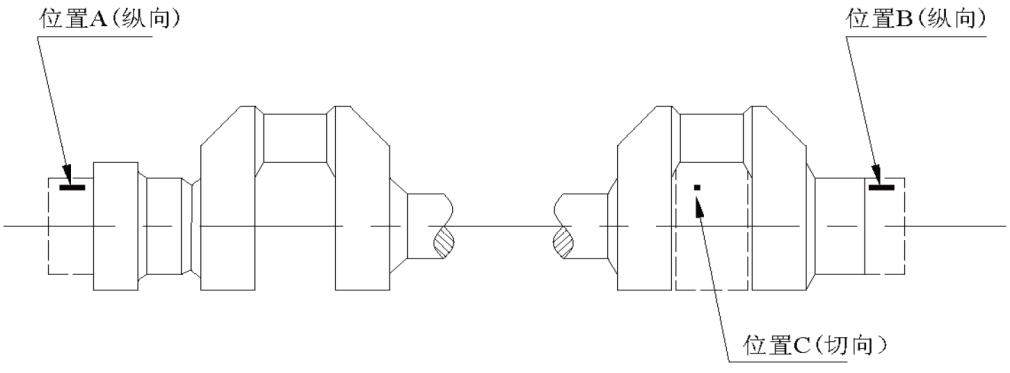


图 5.4.5.2(1)

5.4.6 力学性能

5.4.6.1 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 曲轴合金钢锻钢件在常温下的夏比 V 型缺口冲击试验要求应符合表 5.4.6.2 的规定。

曲轴合金钢锻钢件冲击试验要求① **表 5.4.6.2**

规定最小抗拉强度 R_m (N/mm²)			600	700	800	900	1000	1100
夏比 V 型缺口冲击试验平均冲击功 (J) 不小于	正火加回火	纵向	25	20	15	—	—	—
		切向	15	12	9	—	—	—
	淬火加回火	纵向	41	32	30	27	25	21
		切向	24	22	20	18	16	13

① 对于材料规定最小抗拉强度为表列值中间时，其所对应的平均冲击功的最小值可用内插法求得。

5.4.6.3 如一个锻钢件上不同位置取样进行拉伸试验时，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 R_m (N/mm²)	抗拉强度允许差值不大于 (N/mm²)
⩾ 600 <900	100
⩾ 900	120

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，且硬度值通常应满足本章表 5.3.5.1 中的要求。

5.4.7 无损检测

5.4.7.1 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 9 章第 2 节规定进行无损检测的柴油机曲轴锻钢件应按本章 5.1.6 的规定进行无损检测。磁粉检测时，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 其他曲轴锻钢件可按 CCS 审批图纸要求进行无损检测。

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/mm²，且应不超过 760N/mm²。凡抗拉强度超过 760N/mm² 的齿轮、齿圈和齿轮套锻钢件，均应采用合金钢锻造，并将有关技术资料提交 CCS 备查。

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熔炼分析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，回火温度一般应不低于 550℃。但锻钢件不需要进行表面硬化热处理时，允许较低的回火温度。

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 CCS 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 对需要进行渗碳的齿轮锻钢件，为随后的机加工和渗碳有适合条件，应在适当阶段进行热处理 (通常是完全退火或正火加回火热处理)。

5.5.5 试样

5.5.5.1 每个取样的齿轮锻钢件至少应提供一套试验材料，包括 1 个拉伸试样，1 组 3 个冲击试样。试样的切取方法应符合下列规定：

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

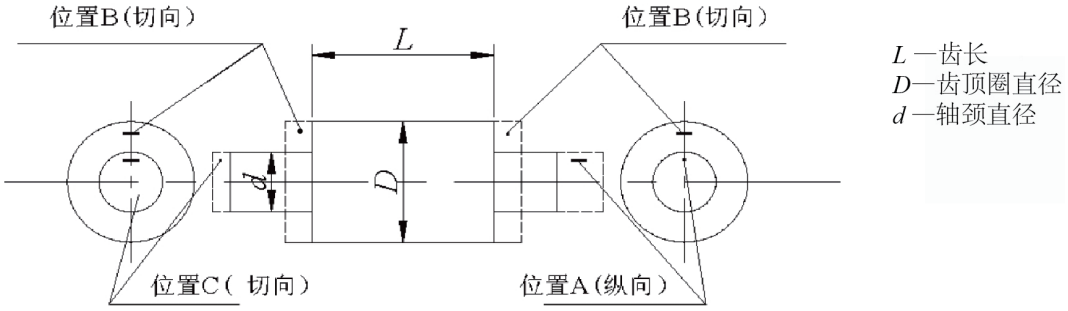


图 5.5.5.1(1)

(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，在位置 A 或位置 B 部位截取切向试样；

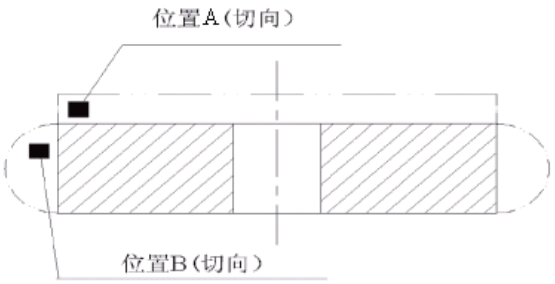


图 5.5.5.1(3)

(4)　齿圈的取样部位，应按图 5.5.5.1(4) 所示，在位置 A 或位置 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) 中位置 A 和位置 B 所示，试验的力学性能应符合纵向要求 ；

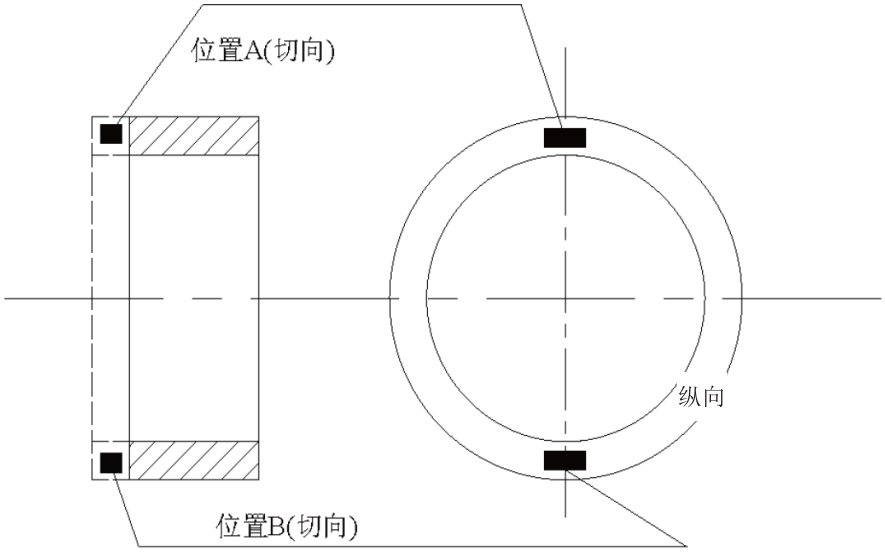


图 5. 5. 5. 1 (4)

(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，在位置 A 或位置 B 部位截取切向试样。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。

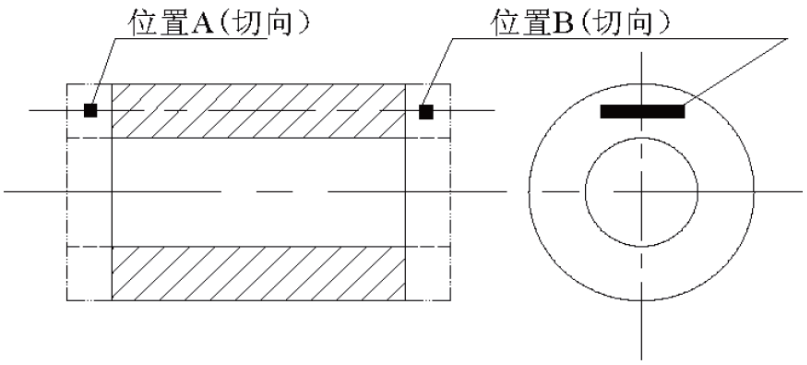


图 5. 5. 5. 1 (5)

5.5.5.2　对于渗碳处理的锻钢件和随后端部将被封闭的空心锻钢件，可在最终热处理前取下足够的试件。取下的试件应与锻钢件同炉进行热处理。

5.5.5.3　对渗碳处理的锻钢件，应提供足够的试验材料以进行锻造阶段的基础试验和完成渗碳后的试验。

为此应按 5.5.5.1 所示，在一个位置 (不必考虑锻钢件的重量和尺寸) 截取二个试件。其中对整体齿轮轴，应截取纵向试件。

试件应机加工至外齿圈直径的四分之一或 60mm，取较小值。

对锻造阶段的基础试验，一个试件应经伪渗碳和模拟锻件随后经历的热循环。

对最终验收的试验，第二个试件应随其代表的锻件一起进行伪渗碳和热处理。

锻件制造厂或齿轮制造厂可选择采用大截面的试样进行渗碳处理或伪渗碳处理，但均应在最终淬火加回火处理前机加工至所要求的直径。

此外还应取一个直径约 30mm 的试样与工件一起进行渗碳处理，以测定淬硬层的深度和硬度。

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。但表 5.3.5.1 中的抗拉强度上限不适用于采用低温回火处理的合金钢渗碳锻钢件。

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。

抗拉强度允许差值 **表 5.5.6.2**

抗拉强度 R_m (N/mm²)	抗拉强度允许差值不大于 (N/mm²)
<600	70
≥ 600 <900	100
≥ 900	120

5.5.6.3 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 CCS 备查。其抗拉强度应不低于 750N/mm²，所有冲击试验的结果均应符合表 5.4.6.2 中相应强度等级对淬火加回火钢锻钢件的规定。

5.5.7.2 在下列情况下可要求进行硬度试验：

(1) 齿轮锻钢件在热处理后和齿加工前，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。

(2) 以批量验收的小型齿轮锻件，每个锻件至少应进行一次硬度试验。

5.5.7.3 硬度试验的结果应予以报告，并符合本章表 5.3.5.1 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。

硬度允许差值 **表 5.5.7.3**

抗拉强度 R_m (N/mm²)	硬度允许差值不大于 (HB)
<600	25
≥ 600 <900	35
≥ 900	42

5.5.7.4 对高频淬火、渗氮和渗碳处理的锻钢件可要求进行硬度试验。对齿轮，当适用时，还应在表面硬化和研磨至最终形状后对轮齿进行硬度试验。试验方法和结果应符合公认的有关标准。

5.5.7.5 对渗碳处理的锻钢件，应将与锻钢件一起进行渗碳处理和热处理的试件切断，测定淬硬区的硬度、形状和深度。其结果应符合认可技术条件的要求。

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渗透检测，检测结果应符合公认的有关标准。

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，其结果应符合公认的有关标准。

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 CCS 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 CCS 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熔炼分析化学成分应符合表 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℃；对于合金钢锻钢件则应不低于 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 截取径向试样；

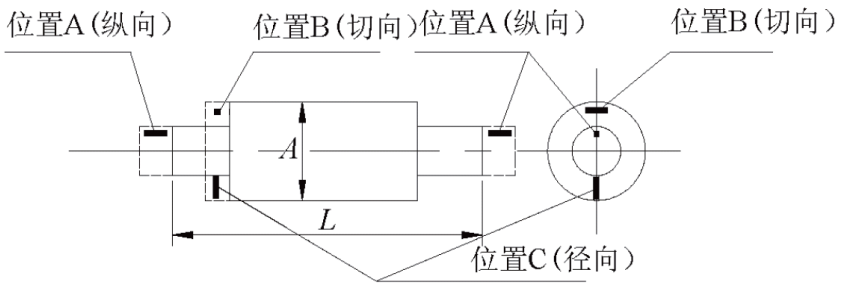


图 5.6.4.1(1)

(2) 整体转子：除按本条 (1) 取样外，还应从转子鼓筒端面或末级叶轮的端面 (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 500mm，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；

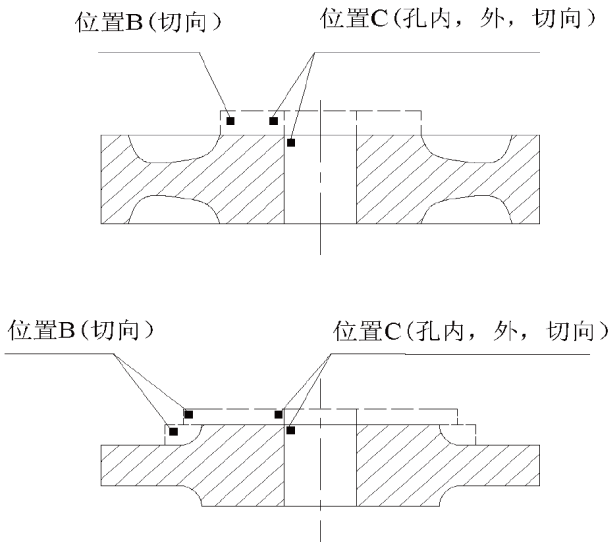


图 5.6.4.1(3)

(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**

抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm²)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)			断面收缩率 Z 不小于 (%)		
		纵向	切向	径向	纵向	切向	径向
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 R_{eH}、A_5 和 Z 的最小值均可用内插法求得。
③ 表中各强度级锻钢的抗拉强度范围均为 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热处理后的力学性能应符合表 5.6.5.2 的规定。

合金钢的涡轮机锻钢件的力学性能　　表 5.6.5.2

抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm²)	屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm²)		伸长率 A_5 不小于 (%)			断面收缩率 Z 不小于 (%)		
	正火加回火	淬火加回火	纵向	切向	径向	纵向	切向	径向
500	275	—	22	20	18	50	40	35
550	300	—	20	18	16	50	40	35
600	330	410	18	16	14	50	40	35
650	355	450	17	15	13	50	40	35
700	385	490	16	14	12	45	35	30
750	—	530	15	13	11	45	35	30
800	—	590	14	12	10	45	35	30
850	—	640	13	11	9	40	30	25
900	—	690	13	11	9	40	30	25
950	—	750	12	10	8	40	30	25
1000	—	810	12	10	8	40	30	25

注：① 取样方向应按本节图 5.6.4.1(1) 和 (3) 所规定的方向。
② 对于抗拉强度的中间值，其所对应 R_m、A_5 和 Z 的最小值均可用内插法求得。
③ 表中各强度级锻钢的抗拉强度范围均为 150N/mm²。
④ 对整体转子锻钢件，抗拉强度应不超过 800N/mm²。

5.6.6 检查和无损检测

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) 内窥镜检查：涡轮机锻钢件应镗孔并在其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；并应将试验程序和技术条件提交 CCS 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 可按下式计算。

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

式中：δ —— 圆环直径平均变形量，mm；
E —— 锻钢件材料弹性模数，取 1.96×10^5 N/mm²；
D —— 圆环割下前的平均直径，mm。

测定的残余应力 σ_t 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_t (MPa)
叶轮	直径≤ 1000mm 直径 >1000mm	≤ 39 ≤ 49
整体转子	$R_{p0.2}$ ≤ 490 N/mm² $R_{p0.2}$>490 N/mm²	≤ 0.1 $R_{p0.2}$ ≤ 0.08 $R_{p0.2}$

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，其结果应符合公认的有关标准。

5.6.6.3 涡轮机的每个锻钢件均应进行超声波检测，其结果应符合公认的有关标准。

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℃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。

5.7.1.2 除用于设计温度不低于 0℃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及有低温韧性要求的其他受压容器和管系的锻钢件应符合本章第 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 CCS 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熔炼分析化学成分应符合表 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 R_m 不小于 (N/mm^2)	化学成分 (%)							
		C	Si	Mn	P	S	A1	残余元素	
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 Mo ≤ 0.10，Cu ≤ 0.30 总量≤ 0.80	
	460	≤ 0.23	0.10~0.40	0.60~1.40	≤ 0.04	≤ 0.04			
	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	≤ 0.02②	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	≤ 0.02②	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 R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	硬度 (HB)
钢和碳锰钢	$t \leqslant 63$	410	215	20	110 ~ 155
	$63 < t \leqslant 250$		205		
	$t \leqslant 63$	460	245	18	130 ~ 170
	$63 < t \leqslant 250$		235		
	$t \leqslant 63$	490	265	16	140 ~ 180
	$63 < t \leqslant 250$		255		
细晶粒碳钢和碳锰钢	$t \leqslant 63$	410	235	20	110 ~ 155
	$63 < t \leqslant 250$		220		
	$t \leqslant 63$	460	275	18	130 ~ 170
	$63 < t \leqslant 250$		255		
	$t \leqslant 63$	490	305	16	140 ~ 80
	$63 < t \leqslant 250$		280		
1Cr0.5Mo	$t \leqslant 100$	410	255	18	110 ~ 160
2.25Cr1Mo	$t \leqslant 100$	490	275	18	140 ~ 185

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

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

③ 取自锻钢件两端的拉伸样，其抗拉强度的差值应不超过 70N/mm²。

④ 仅对按批试验的小型锻钢件，要求每件进行硬度试验。

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件相邻材料。试验程序和结果应符合公认的有关标准。

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渗透检测。

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、处理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冲击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提交 CCS 认可。

5.8.2 化学成分

5.8.2.1 锻钢件的熔炼分析化成分一般应符合本篇第 3 章表 3.7.2.2 和表 3.7.2.3 的规定。

5.8.2.2 对采用铌、钒、钛元素以单一或组合形式加入以细化晶粒的碳钢或碳锰钢，其成分应符合下列规定：

Nb 0.01%~0.05%
V 0.02%~0.10%
Ti ≤ 0.02%

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 3.7.3.1 和 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一般应符合本篇第 3 章表 3.7.3.1 和 3.7.3.2 的规定。

5.8.4.4 对按批量验收的锻钢件，验船师可要求对每个锻钢件进行硬度测试。各锻件间不应有过大的硬度差。

5.8.5 无损检测

5.8.5.1 壁厚大于 100mm 的锻钢件，应按公认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 一般规定

5.9.1.1 本节规定适用于液化气体船的液货舱和管系低温用，以及散装化学品船液货舱和管系耐蚀用奥氏体不锈钢锻钢件。

5.9.1.2 本节规定也适用于螺旋桨推进轴的不锈钢锻钢件。

5.9.1.3 本节规定的奥氏体不锈钢锻钢件也适用于锅炉等高温条件下使用。

5.9.1.4 所有奥氏体不锈钢锻钢件均应提交化学成分、力学性能和热处理规程等详细资料，并取得 CCS 的认可。

5.9.2 化学成分

5.9.2.1　奥氏体不锈钢锻钢件的熔炼分析化学成分一般应符合表 5.9.2.1 的规定。

奥氏体不锈钢锻钢件的化学成份　　表 5.9.2.1

牌号	统一数字代号	化学成分 (%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	其他	注
06Cr19Ni10	S30408	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0~20.0	8.0~11.0	—	—	1
022Cr19Ni10	S30403	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0~20.0	8.0~12.0	—	—	
06Cr17Ni12Mo2	S31608	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	—	1
022Cr17Ni12Mo2	S31603	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	16.0~18.0	10.0~14.0	2.0~3.0	—	
06Cr19Ni13Mo3	S31708	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	—	1
022Cr19Ni13Mo3	S31703	0.03	1.00	2.00	0.045	0.030	18.0~20.0	11.0~15.0	3.0~4.0	—	
06Cr23Ni13	S30908	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	22.0~24.0	12.0~15.0	—	—	2
06Cr25Ni20	S31008	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	24.0~26.0	19.0~22.0	—	—	2
06Cr18Ni10Ti	S32168	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.0~19.0	9.0~12.0	—	5C ≤ Ti ≤ 0.80	
06Cr18Ni11Nb	S34778	0.08	1.00	2.00	0.045	0.030	17.0~19.0	9.0~12.0	—	10C ≤ Nb ≤ 1.10	

注：① 不建议用于液化天然气船液货舱中的结构件。
② 建议用于高温条件抗腐蚀要求较高的场合。
③ 表中数据除有区间的表示外，其他值均为最高限值。

5.9.3　热处理

5.9.3.1　所有奥氏体不锈钢锻钢件均应经固溶处理。

5.9.3.2　当锻钢轴校直变形量较大时，应进行相应的消除应力处理。必要时应再次热处理。

5.9.4　力学性能

5.9.4.1　不锈钢锻钢件应按下列要求取样：

(1)　轴类锻钢件的取样应满足本章第 3 节 5.3.4.1 和 5.3.4.2 的要求；

(2)　管和阀类锻钢件以同熔炼号、同热处理批，每批不超过 5t，至少取一个拉伸试样。

5.9.4.2　奥氏体不锈钢锻钢件的拉伸试验结果应符合表 5.9.4.2 的规定。

奥氏体不锈钢锻钢件的力学性能　　表 5.9.4.2

牌号	统一数字代号	屈服应力 $R_{P0.2}$ N/mm²	抗拉强度 R_m N/mm²	伸长率 A_5 %	断面收缩率 Z %	硬度		
						HBW	HRB	HVW
06Cr19Ni10	S30408	≥ 205	≥ 520	≥ 40	≥ 60	≤ 187	≤ 90	≤ 200
022Cr19Ni10	S30403	≥ 175	≥ 480	≥ 40	≥ 60			
06Cr17Ni12Mo2	S31608	≥ 205	≥ 520	≥ 40	≥ 60			
022Cr17Ni12Mo2	S31603	≥ 175	≥ 480	≥ 40	≥ 60			
06Cr19Ni13Mo3	S31708	≥ 205	≥ 520	≥ 40	≥ 60			
022Cr19Ni13Mo3	S31703	≥ 175	≥ 480	≥ 40	≥ 60			
06Cr23Ni13	S30908	≥ 205	≥ 520	≥ 40	≥ 60			
06Cr25Ni20	S31008	≥ 205	≥ 520	≥ 40	≥ 50			
06Cr18Ni10Ti	S32168	≥ 205	≥ 520	≥ 40	≥ 50			
06Cr18Ni11Nb	S34778	≥ 205	≥ 520	≥ 40	≥ 50			

注：表中硬度指标可任选一种方法测定，且仅在验收时作为参考值。

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

5.9.5 无损检测

5.9.5.1 对直径大于 250mm 的奥氏体不锈钢螺旋桨推进轴锻钢件通常应进行超声波检测。

5.9.5.2 对除轴以外奥氏体不锈钢锻钢件，应按批准图纸、标准、合同或协议的要求进行无损检测。

5.9.5.3 不锈钢锻钢件应在制造过程的热处理后或适当阶段进行超声波检测。

5.9.5.4 从事奥氏体不锈钢超声波检测的人员应具有奥氏体钢的检测经验。

5.9.5.5 对于不锈钢锻钢件的重要部位可要求在制造过程结束后或其他适当阶段进行渗透检测。

5.9.6 晶间腐蚀试验

5.9.6.1 当材料拟用于腐蚀场合时，奥氏体不锈钢热处理后应取样按本篇第 2 章第 7 节的规定进行晶间腐蚀试验。

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　极地船舶暴露于低温环境下铸钢件的冲击试验应满足《钢质海船入级规范》第 8 篇第 23 章的相关要求。

6.1.1.3　除第 6 节至第 8 节另有规定外，本章规定仅适用于设计和验收试验与环境温度下力学性能相关的铸钢件。若设计和应用有需要，特别是拟在高温或低温下应用时，可要求进行必要的附加试验。

6.1.1.4　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 CCS 同意，可按公认的有关标准验收。

6.1.1.5　由同一炉钢水浇铸，尺寸大致相同，并进行相同热处理批量生产的，单个重量小于 1t 的小型铸钢件，经 CCS 同意，可按每批不大于 6t 进行批量检验。

6.1.2　制造加工

6.1.2.1　铸钢件应由 CCS 认可的铸造厂按 CCS 认可的制造方法制造。

6.1.2.2　采用气割、火焰表面清理或碳弧气刨剔除铸钢件多余部分或切割浇冒口时，应按公认的施工方法进行，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和 / 或厚度进行预热。如需要，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而成一个复合件时，应将焊接工艺规程提交 CCS 认可。必要时，应进行焊接工艺试验。

6.1.2.4　对某些包括经受表面硬化处理铸钢件的构件，制造所拟用的方法 CCS 可要求特别认可。

6.1.3　铸钢件质量

6.1.3.1　铸钢件表面和内部应无裂缝、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，如气孔等。

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。铸钢件的熔炼分析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。

6.1.5.3　若对工件的尺寸稳定和消除残余应力方面有要求时，则应进行消除应力热处理。此项热处理应在不低于 550℃的温度下进行，并应随炉冷却至 300℃或以下。

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，以满足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，也可从铸件的浇道中取出，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 6.1.1.5 提交作批量检验的小型铸钢件，其试件可用同炉钢水单独浇铸。试件尺寸

按公认标准 (如 ISO 4990) 确定，且至少为 28mm 厚。试件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 试样通常取自其轴线在试件厚度的 1/4 处。若试件厚度小于 56mm，则试样轴线应位于距表面 14mm 处。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。不宜采用锤击等可能掩盖缺陷的方法清理铸件表面。

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。除另有规定外，制造厂应负责校核铸件的尺寸精度。

6.1.8.3 通常下列部位应进行磁粉或渗透检测：

(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、火焰清理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。

6.1.8.5 铸钢件的无损检测通常应按公认的检测方法进行，并应满足 CCS《船舶焊接检验指南》第 7 章附录 7B 或公认验收标准的要求。

6.1.8.6 若采用射线方法对 6.1.8.4 规定的铸钢件部位进行检测时，射线检测工艺应经 CCS 认可。检测结果应满足公认的有关标准要求。

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 铸钢的缺陷可以根据修补程度分级如下：

(1) 大焊补系指当修理深度大于壁厚的 25% 或 25mm(取较小值)；或铸件上焊接修补面积超过 2% 铸件表面积 (其中当两条焊缝之间的距离小于其平均宽度时，应作为一条焊缝来考虑)。

(2) 小焊补系指总面积 (长 × 宽) 超过 500mm^2 的焊接修补。

(3) 修饰性焊补系指除上述 (1) 和 (2) 外的其他焊接修补。

(4) 不必焊补的修理系指非机加工表面处去除缺陷的深度不超过 15mm 或壁厚的 10%(取较小值), 且长度不超过 100mm 的修理。

6.1.10.2 铸钢件的缺陷应采用下列方法之一予以去除：

(1) 打磨；机加工；

(2) 凿凿加打磨；

(3) 气割或碳弧气刨加打磨。

热去除金属的方法只应在最终热处理前进行。

6.1.10.3 铸钢件缺陷剔除后，应进行无损检测以证实缺陷已被完全消除。如属于不必焊补的缺陷，剔除缺陷所产生的浅槽或凹坑应打磨成光滑的圆弧表面，与临近区域表面顺利过渡，并应经验船师检查和验收。所有开槽的底部应有约 3 倍槽深的半径。如剔除缺陷后需要进行焊补，则剔除缺陷时应使坡口形状能方便后续的焊接操作。

6.1.10.4　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。

6.1.10.5　凡拟采用焊补方法对铸钢件的缺陷进行修补时，焊接工艺规程应提交 CCS 认可。进行大焊补前还应经验船师同意。

6.1.10.6　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。

6.1.10.7　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规定的力学性能。

6.1.10.8　所有合金钢铸件和曲轴铸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。

6.1.10.9　焊补完毕后，铸钢件应进行温度不低于 550℃的消除应力的热处理，或根据铸件化学成分、修补尺寸、位置和特点进行适当的热处理。

6.1.10.10　对于在精加工阶段发现的小缺陷，经 CCS 同意，修补后可免除热处理或进行局部热处理。

6.1.10.11　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，并用原定的无损检测方法作复查，以确保修补处的质量满足要求。

6.1.10.12　铸钢曲轴缺陷的焊补，应符合本章第 4 节的规定。

6.1.10.13　铸造厂应保持每个修补铸件的修补范围和位置的详细记录以及修补的焊接和热处理过程记录及后继检验报告。这些报告应提交验船师。

6.1.11　标记

6.1.11.1　制造厂应对经 CCS 检验合格的所有铸件，在不少于一个位置上清晰地标出下列标记：

(1)　CCS 检验标志；

(2)　炉罐号或可以追溯铸件制造过程的标记；

(3)　试验压力 (如有时)；

(4)　铸件材料的牌号或等级；

(5)　证书号。

当标识面积不允许时，则至少应标出上述 (1)~(3) 三项。

钢印应用油漆框出，以求明显易认。

6.1.11.2　以批量生产交货的小型铸件的标记方法可由生产厂提交 CCS 备查。

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)　热处理详细资料，包括热处理温度和保温时间；

(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。

6.2.2　化学成分

6.2.2.1　铸钢件的熔炼分析化学成分应符合表 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**

C	Mn①	Si	P	S	残余元素②			
					Cu	Cr	Ni	Mo
≤ 0.23	≤ 1.60	≤ 0.60	≤ 0.04	≤ 0.04	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.40	≤ 0.15

注：① 锰的含量不宜小于实际含碳量的 3 倍。
② 残余元素的总含量应不大于 0.80%。
③ 当按下式计算的碳当量 C_{eq} 不超过 0.41% 时，则含碳量可超过 0.23% 的限制。

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

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℃；
(4) 淬火加回火，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) 铸钢件的试件应以与铸钢件同炉的钢水铸成，可以从铸钢件浇道处截取或与铸钢件附带一起浇铸。一起浇铸时，试件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 个试件，每个试件至少制备 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 个试件。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，则应按炉数截取相应数量的试件。并且这些试件在整个铸件中的位置应尽可能地互相远离；

(4) 当按 6.2.4.3 要求需要进行冲击试验时，应从试件上制取一组三个夏比 V 型缺口冲击试样进行冲击试验。

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① R_m 不小于 (N/mm²)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)	断面收缩率 Z 不小于 (%)
400	200	25	40
440	220	22	30
480	240	20	27

① 抗拉强度的上限应不超过表列要求加 150 N/mm²。
② 抗拉强度为中间值时，其所对应的 R_{eH}、A_5 和 Z 最小值，均可用内插法求得。

6.2.4.3 船体重要结构的铸钢件 (如首柱、尾柱、舵承、尾轴支架、挂舵臂、尾轴管毂等) 应进行夏比冲击试验。试样取自试件距表面 t/4 处，试验温度为 0℃。冲击能量应不低于 27J。

6.2.4.4 对于 6.1.2.4 所述经特别认可的制造方法制造的铸件，由 CCS 根据采用的制造方法确定其试样数量和取样位置。

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，并符合公认的有关标准。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。

6.3.2 化学成分

6.3.2.1 铸钢件的熔炼分析化学成分应符合表 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**

应用	C	Mn	Si	P	S	残余元素①			
						Cu	Cr	Ni	Mo
焊接结构用	≤ 0.23	≤ 1.60	≤ 0.60	≤ 0.04	≤ 0.04	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.40	≤ 0.15
非焊接结构用	≤ 0.40	0.50~1.60	≤ 0.60	≤ 0.04	≤ 0.04	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.40	≤ 0.15

① 残余元素的总含量应不大于 0.80%。

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℃；

(4) 淬火加回火。

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 个试件，每个试件制备 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 个试件。当采用 2 炉或以上的钢水浇铸成一个大型铸钢件，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试件。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 R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度① R_{eH} 不小于 (N/mm^2)	伸长率① A_5 不小于 (%)	断面收缩率 Z 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 R_{eH}、A_5 和 Z 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/mm^2。

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 CCS 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。对合金钢，其抗拉强度应不大于 700N/mm^2。

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 CCS 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能保证铸钢件的质量以及铸钢件重要部位的力学性能符合要求。

6.4.3 化学成分

6.4.3.1 曲轴铸钢件的熔炼化学成分应符合本章表 6.3.2.1 的规定。

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 CCS 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① R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度② R_{eH} 不小于 (N/mm^2)	伸长率② A_5 不小于 (%)	断面收缩率② Z 不小于 (%)	夏比 V 型缺口冲击试验平均冲击功 不小于 (J)
400	200	28	45	32
440	220	26	45	28
480	240	24	40	25
520	260	22	40	20
550	275	20	35	18

注：① 表中各强度级铸钢的抗拉强度范围均为 120N/mm^2。

② 抗拉强度为中间值时，其所对应的 R_{eH}、A_5、Z 和平均冲击功的最小值，均可用内插法求得。

③ 冲击试验的温度为室温 (18℃～25℃)。

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 CCS 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} 大于 0.65% 时：

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

6.4.7.4　若确有必要，经 CCS 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(cm^3)；每个曲臂所有焊补沟槽的总体积应不大于 9.6t(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。

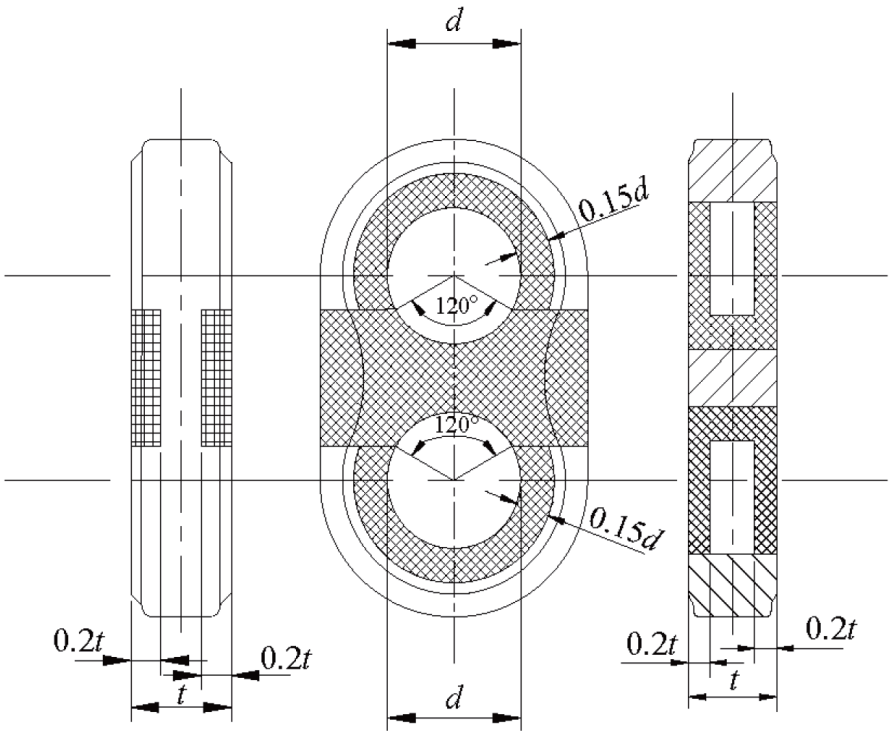


图 6.4.7.4(1)

(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 $1.1t(cm^3)$，且任一套合孔内表面的焊补应不超过 3 处。

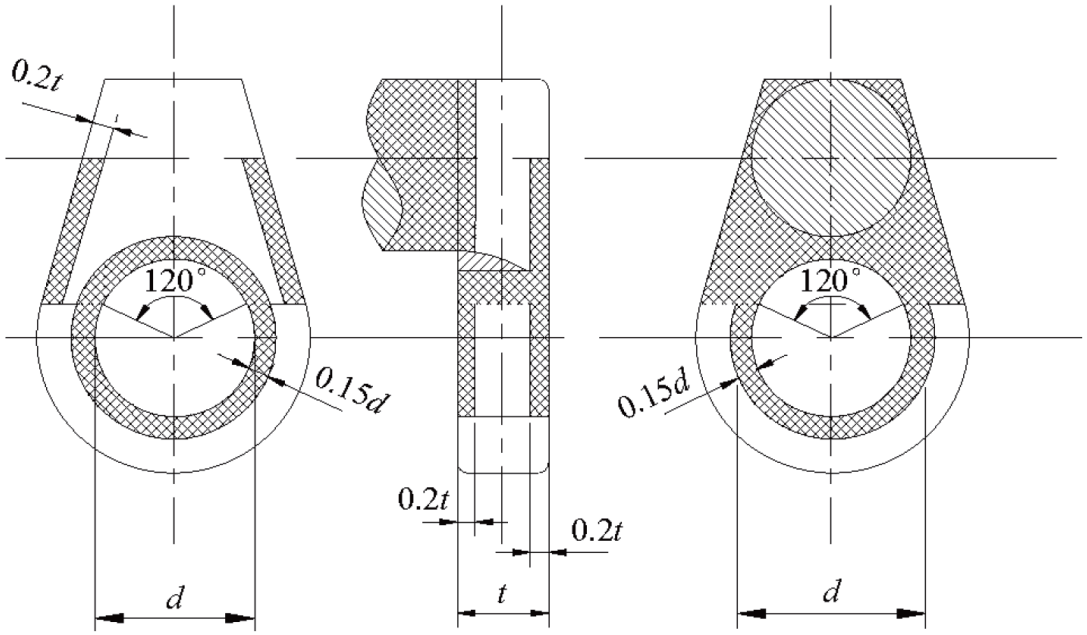


图 6.4.7.4(2)

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℃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℃的焊后处理。

6.4.8.2 所有焊补表面均应打磨光顺，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、碳锰钢、低合金钢和不锈钢铸造螺旋桨 (包括桨叶和桨毂)。

6.5.1.2 铸钢螺旋桨及其部件的制造应符合本章第 1 节的有关规定。

6.5.2 化学成分

6.5.2.1 碳钢和碳锰钢螺旋桨铸钢件的熔炼分析化学成分应符合本节表 6.5.2.1 的规定。

碳钢和碳锰钢螺旋桨铸钢件的化学成分 **表 6.5.2.1**

钢种	化学成分 (%)								
	C	Si	Mn	P	S	残余元素①			
						Ni	Cr	Mo	Cu
碳钢和碳锰钢	≤ 0.25	≤ 0.60	0.50~1.60	≤ 0.04	≤ 0.04	≤ 0.40	≤ 0.30	≤ 0.15	≤ 0.30

注：① 残余元素总量不超过 0.80%。

6.5.2.2 不锈钢螺旋桨铸钢件的熔炼分析化学成分应符合本节表 6.5.2.2 的规定。

不锈钢螺旋桨铸钢件的化学成分 **表 6.5.2.2**

钢 种	类型①	化学成分 (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo②
1Cr12NiMo	M/F	≤ 0.15	≤ 1.5	≤ 2.0	≤ 0.035	≤ 0.030	≤ 2.0	11.5~17.0	≤ 0.5
0Cr13Ni4Mo	M/F	≤ 0.06	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 0.035	≤ 0.030	3.5~5.0	11.5~17.0	≤ 1.0
0Cr16Ni5Mo	M/F	≤ 0.06	≤ 1.5	≤ 2.0	≤ 0.035	≤ 0.030	3.5~6.0	15.0~17.5	≤ 1.5
1Cr18Ni12Mo	A	≤ 0.12	≤ 1.5	≤ 1.6	≤ 0.035	≤ 0.030	8.0~13.0	16.0~21.0	≤ 4.0

注：① 表中：M— 马氏体、F— 铁素体、A— 奥氏体

② 钼的最小值应满足国际或国家标准的规定。

6.5.3 热处理

6.5.3.1 碳钢和碳锰钢螺旋桨铸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，回火温度应不低于 550℃。

6.5.3.2 不锈钢螺旋桨铸件应根据其钢材种类进行下列热处理：

(1) 马氏体铸钢应进行奥氏体化并进行回火。

(2) 奥氏体铸钢应进行固溶热处理。

6.5.4 力学性能

6.5.4.1 通常每个螺旋桨铸件应制取 1 个代表其性能的试件。若采用同炉钢水浇铸，且同炉进行热处理，批量制造的直径不大于 1m，且尺寸相同的螺旋桨，则每 5 个铸件中至少应制取 1 个适当尺寸的试件。

6.5.4.2 试件一般应与铸钢件本体一起整体浇铸，桨叶上的附连试件应位于桨叶半径的 0.5 至 0.6 倍处。经 CCS 同意，也可采用同炉材料与本体分开浇制的试件。

6.5.4.3 试件应与铸件同炉进行热处理。在最终热处理完成前，附连试件不能从铸件上取下。附连试件应采用机加工的方法截取。

6.5.4.4 每个试件应至少截取 1 个拉伸试样和一组 3 个夏比 V 型缺口冲击试样，分别按本篇第 2 章有关规定进行试验。

6.5.4.5 螺旋桨铸钢件的力学性能应符合表 6.5.4.5 规定。

螺旋桨铸钢件的力学性能 表 6.5.4.5

钢种		抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	断面收缩率 Z 不小于 (%)	夏比 V 型缺口冲击试验平均冲击功① 不小于 (J)
碳钢和碳锰钢		400	200	25	40	20
低合金钢		420	225	19	25	20
不锈钢	1Cr12NiMo	590	440	15	30	20
	0Cr13Ni4Mo	750	550	15	35	30
	0Cr16Ni5Mo	760	540	15	35	30
	1Cr18Ni12Mo	440	180②	30	40	—

注：① 对无冰级要求的船舶或具有 B 级冰级要求船舶，其使用的螺旋桨铸钢件的冲击试验应在 0℃进行；对具有其他冰级要求的船舶，其使用的螺旋桨铸钢件的冲击试验应在 -10℃进行。奥氏体不锈钢铸钢件可不作冲击试验。

② 奥氏体不锈钢若采用 1.0% 规定非比例延伸强度，则 $R_{p1.0}$ 应不小于 $205N/mm^2$。

6.5.5 检验

6.5.5.1 所有螺旋桨产品铸件均应进行外观成形检查和 100% 表面检查，其最终产品表面应符合批准图纸规定的粗糙度，且无裂纹或其他影响其使用性能的缺陷。

6.5.5.2 所有螺旋桨均应进行无损检测。螺旋桨的重要部位的划分和相应的无损检测应符合本规范第 3 篇第 8 章第 4 节 8.4.2 和 8.4.3 的规定。

6.5.5.3 制造厂应检测螺旋桨的尺寸，并将检测报告提交验船师现场确认。

6.5.5.4 所有螺旋桨均应按图纸要求进行静平衡试验。对额定转速超过 500r/min 的螺旋桨应进行动平衡试验。

6.5.5.5 检查中发现的缺陷应按本规范第 3 篇第 8 章第 4 节的 8.4.4 和 8.4.5 进行修复。验船师可要求对焊补区域进行酸蚀试验以检查焊补情况。

6.5.6 标记和证书

6.5.6.1 每个螺旋桨铸件应由制造厂做下列适当标记：

a) 炉号或其他能追溯铸件整个制造经过的标记；
b) CCS 证书号；
c) 冰级符号，当适用时；
d) 大侧斜角螺旋桨的侧斜角；
e) 最终检验的日期；
f) 当铸件已验收通过，应打上 CCS 的标记。

6.5.6.2 凡经检验合格的螺旋桨铸件均应具有下列内容的船用产品证书或等效证明文件：

a) 订货方名或订货号；
b) 船名 (当已知时)；
c) 带图号的铸件详细描述文件；
d) 螺旋桨的直径、桨叶数、螺距、旋向；
e) 大侧斜角螺旋桨的侧斜角；
f) 成品桨重量；
g) 合金型号、炉号、化学成分；
h) 铸件的浇铸号；
i) 详细的热处理时间和温度；
j) 力学性能试验结果和无损检测结果。

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。

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 节的要求。

6.6.2 化学成分

6.6.2.1 铸钢件的熔炼分析化学成分应符合表 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	Si	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 个试件，对形状复杂的铸钢件或重量超过 2.5t 的单件成品铸钢件，至少应制备 2 个试件。试件应与铸钢件一起整体浇铸，且位置应尽量远离。每个试件至少制取 1 个拉伸试样。

6.6.4.2 经 CCS 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 R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	断面收缩率 Z 不小于 (%)
碳钢和碳锰钢	410	205	25	40
	460	230	22	30
	490	245	20	25

钢种	抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	断面收缩率 Z 不小于 (%)
0.5Mo	440	245	20	30
1Cr 0.5Mo	480	280	17	20
2.5Cr1Mo	480	280	17	20
0.5Cr0.5Mo0.25V	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 CCS 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。

6.7.2 化学成分

6.7.2.1 铸钢件的熔炼分析化学成分应符合表 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	≤ 0.25	≤ 0.60	0.70~1.60	≤ 0.035	≤ 0.035	≤ 0.80	Cr ≤ 0.25 Cu ≤ 0.30
2.25Ni	≤ 0.25	≤ 0.60	0.50~0.80	≤ 0.03	≤ 0.03	2.0~3.0	
3.5Ni	≤ 0.15	≤ 0.60	0.50~0.80	≤ 0.03	≤ 0.03	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① R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度 R_{eH} 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	断面收缩率 Z 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)
碳锰钢	400	200	25	40	②	27
	430	215	23	35		
	460	230	22	30		
2.25Ni	490	275	20	35	- 70	34
3.5Ni	490	275	20	35	- 95	34

注：① 对抗拉强度 <430N/mm² 的铸钢件，其抗拉强度范围为 100N/mm²；对抗拉强度≥ 430N/mm² 的各强度级铸钢件，其抗拉强度的范围为 150N/mm²。

② 试验温度应比设计温度低 5℃，或为 -20℃，取其低者。具体试验温度应在订货时确定。

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 本节规定适用于有低温 (设计温度不低于 -165℃，如液化气体运输船) 和抗腐蚀 (如散装化学品船) 要求的管系用的奥氏体不锈钢铸钢件。

6.8.2 化学成分

6.8.2.1 铸钢件的熔炼分析化学成分应符合表 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

牌号	化学成分 (%)								
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	其他元素
00Cr18Ni10	≤ 0.03	0.20~1.50	0.50~2.0	≤ 0.04	≤ 0.04	16.0~21.0	—	8.0~12.0	—
0Cr18Ni9	≤ 0.08						—	8.0~12.0	—
00Cr17Ni14Mo3	≤ 0.03						2.0~3.0	9.0~13.0	—
0Cr18Ni9Ti	≤ 0.08						—	8.0~12.0	5C ≤ Ti ≤ 0.70
1Cr18Ni11Nb①	≤ 0.06						—	8.0~12.0	8C ≤ Nb ≤ 0.90

注：① 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 个试件，每个试件至少制取 1 个拉伸试样。

6.8.4.2 拟用于设计温度低于 -55℃的液化气体管系的铸钢件或 CCS 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**

牌号	抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm^2)	屈服强度 $R_{p1.0}$ 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)	断面收缩率 Z 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 2 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。

7.1.1.2 凡采用本章规定以外的铸铁时应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交 CCS 审核，经 CCS 同意，可按公认的有关标准验收。

7.1.1.3 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。

7.1.1.4 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 CCS 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 CCS 认可的铸造厂制造。

7.1.2.2 浇口和其他多余材料，宜采用适当的机加工方法去除。如采用热切割方法，则应留有足够的机加工余量，以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，制造厂应进行工艺验证试验，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 若采用单独浇铸的试件时，试件应取自同一炉 (罐) 浇铸，试件所用的铸模材料应与铸铁件所用铸模的材料一致。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 CCS 同意后，方可焊补。

7.1.9.3 若铸铁件有局部不影响其强度和使用的缺欠 (如疏松或气孔)，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 制造厂应对经 CCS 检验合格的所有铸件，在不少于一个位置上清晰地标出下列标记：

(1) CCS 检验标志；
(2) 炉罐号或可以追溯铸件制造过程的标记；
(3) 试验压力 (如有时)；
(4) 铸件材料的牌号或等级；
(5) 证书号。

当标识面积不允许时，则至少应标出上述 (1)~(3) 三项。

钢印应用油漆框出，以求明显易认。

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) 铸件标识号 (或炉罐号)；
(4) 化学成分 (如有特殊要求时)；
(5) 热处理工艺 (如采用)；
(6) 力学性能试验结果；
(7) 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 除制造厂与订货方另有协议外，灰铸铁通常采用单独浇铸的试件。试件的形状为直径 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 (如图 7.2.2.1 所示)。

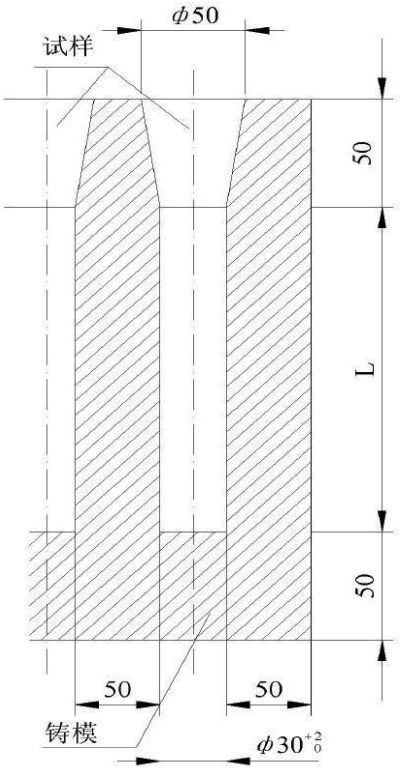


图 7. 2. 2. 1　灰铸铁试件

7.2.2.2　当铸铁件厚度超过 20mm，且重量超过 200kg 时，经制造厂与客户协商，可采用整体浇铸试件。试样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，并应得到 CCS 同意。

7.2.2.3　除 7.2.2.4 规定外，铸铁件可按以下原则组批进行试验。每批至少应取一个试件进行试验。

(1)　以同 1 炉铁水浇铸，具有相同类型和尺寸，总重量不超过 2t 的铸件可进行批量试验；

(2)　对单个重量不低于 2t 的铸件，单个成批。

(3)　对于同一等级大批量连续熔化和浇铸的铸铁件，每批重量可增加到 2h 浇铸的产量。

7.2.2.4　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 CCS 同意，可以延长取样时间间隔。

7.2.2.5　对于整体浇铸的试件，应与该铸铁件一起进行热处理。

7.2.2.6　若铸件以热处理态交货，则试件应与其代表的铸铁件一起进行热处理。对于整体浇铸的试件，则应在热处理后切取试件。

7.2.2.7　所有试件均应予以适当的标记来识别它们代表的铸件。每个试件加工 1 个拉伸试样，对直径 30mm 的试件取试样直径为 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

抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm^2)	布氏硬度① (HB)
200	150 ~ 225
250	168 ~ 251
300	185 ~ 278
350	203 ~ 304

注：① 硬度试验仅对螺旋桨、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。
② 当采用附连试样时，灰铸铁件的力学性能可按公认的国家 / 国际标准进行验收。

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 CCS 认可。

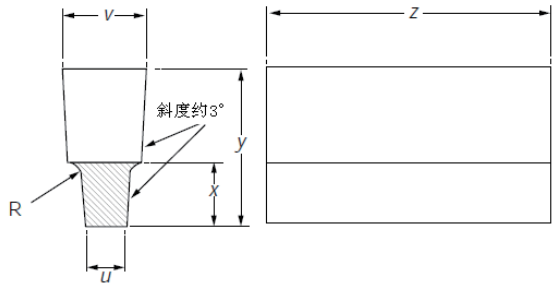
7. 3. 2 热处理

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 400N/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 CCS 认可。

7. 3. 3 试样

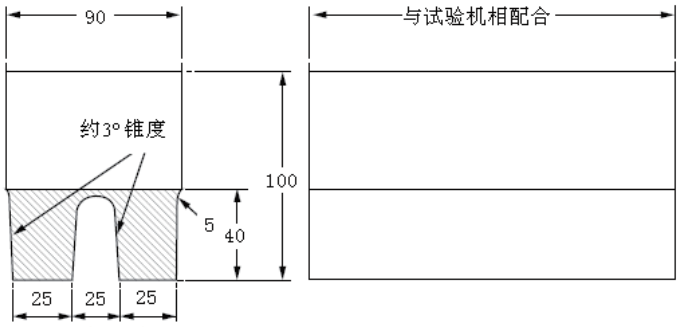
7.3.3.1 试件通常采用厚度为 25mm 的图 7.3.3.1 中所示三种标准型式中的一种。对某些部件也可特殊要求如图 7.3.3.1 中所示的其他尺寸的试件。



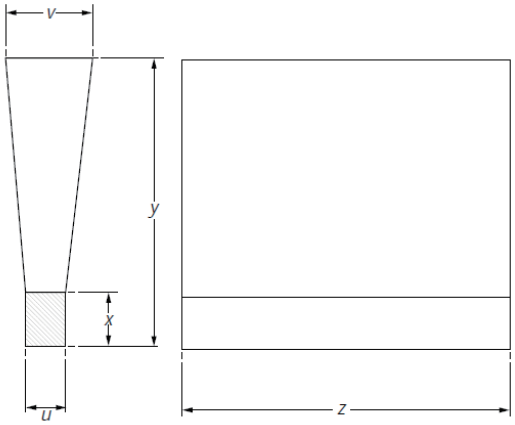
A 型试件的尺寸 (mm)

尺寸	标准试件	有特殊要求时的替代试件		
u	25	12	50	75
v	55	40	90	125
x	40	30	60	65
y	100	80	150	165
z	与试验机相配合			
R	约为 5			

(1) A 型试件 (U 型)



(2) B 型试件 (双 U 型)



C 型试件的尺寸 (mm)

尺寸	标准试件	有特殊要求时的替代试件		
u	25	12	50	75
v	55	40	100	125
x	40	25	50	65
y	140	135	150	175
z	与试验机相配合			
试件处的铸件厚度	≥ 40	≥ 40	≥ 80	≥ 80

(3) C 型试件 (Y 型)

图 7. 3. 3. 1　球墨铸铁和可锻铸铁的试件

7.3.3.2　取样方法规定如下：

(1)　每个铸铁件至少应提供 1 个试件。试件可取自铸铁件浇口附近，也可单独浇铸；也可采用铸件本体中适合尺寸的材料作试验材料；

(2)　对需多个球化处理罐铁水浇铸的大型铸铁件，则应按每罐提供一个对应的代表性试件；

(3)　由同一球化处理罐铁水浇铸，形状和尺寸相似，并进行相同热处理的，单个重量小于 1t 的小型铸铁件，可按每批总重量不大于 2t 进行批量检验。

(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。

球墨铸铁件的力学性能 表 7.3.4.1

抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm²)		规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm²)	伸长率 A_5 不小于 (%)	硬度 (HB)	夏比 V 型冲击试验		金相组织
					试验温度 (℃)	冲击功 (J)	
普通要求	370	230	17	120~180	—	—	铁素体
	400	250	12	140~200	—	—	铁素体
	500	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	—	—	珠光体 / 回火组织
特殊要求	350	220	22④	110~170	20	17(14)	铁素体
	400	250	18④	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，屈服强度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%。

7.3.4.2 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，CCS 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。

7.3.5 金相检查

7.3.5.1 球墨铸铁应进行金相检查。

7.3.5.2 如有要求时，每一罐球化处理的铸铁应取一个金相试样。试样可从拉伸试样上制取，也可从浇铸阶段末段炉罐中取样。

7.3.5.3 试件检验应表明至少 90% 的石墨呈分散的球状或絮状分布。表 7.3.4.1 列出供参考的典型的金相组织。

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 CCS 认可。曲轴在进行这种处理前，应进行验证试验，并应征得 CCS 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公认的有关标准。

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 CCS 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，应提供有关试验资料交 CCS 审核。

8.1.1.2 其他铝合金的铸件和锻件可按公认的有关标准验收。

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 CCS 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，CCS 可要求进行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 CCS 同意后，方可选用。

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，可以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 (对板材为相同厚度) 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。缺陷的判定应符合公认的有关技术条件。

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 CCS 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 CCS 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 CCS 验船师在场下进行。

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 CCS 检验合格的所有铝合金成品，应至少在一个位置清晰地标出 CCS 的印记和下列标记：

(1) 制造厂的名称或商标；

(2) 铝合金牌号和状态号；

(3) 耐腐蚀试验的标记“M”(如有时)；

(4) 能追溯产品全部生产过程的识别标志。

8.1.7.2 若相同产品以成捆包扎或使用容器包装交货时，则可在易于检查之处牢固地系上载有 8.1.7.1 规定内容的标签。

8.1.8 证书

8.1.8.1 制造厂应对所有经 CCS 检验合格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) 船名或结构项目号，若已知；
(3) 产品的数量、尺寸规格和重量；
(4) 铝合金牌号和交货状态；
(5) 铝合金化学成分；
(6) 制造批号或能追溯产品全部生产过程的识别标志；
(7) 力学性能试验结果；
(8) 腐蚀性能试验结果，如适用。

第 2 节 铝合金板材与型材

8.2.1 适用范围

8.2.1.1 本节规定适用于船体结构、上层建筑和其他海上设施建造用厚度为 3mm~50mm 的铝合金板材和型材。但本节规定的铝合金一般不适用于工作温度低于 -100℃的结构。

8.2.1.2 当使用本节规定以外的铝合金时，应将其化学成分、交货状态和力学性能提交 CCS 审核，经同意后，可用于船舶和海洋工程结构。

8.2.2 一般要求

8.2.2.1 铝合金板材与型材及其半成品应由 CCS 认可的生产厂制造。

8.2.2.2 铝合金应具有良好的耐海水腐蚀性和焊接性。

8.2.2.3 除有有效的保护措施 (如阴极保护和 / 或有完整的涂装保护) 外，AlSiMg 系合金 (6000 系) 一般不允许用于直接接触海水的构件。

8.2.3 化学成分

8.2.3.1 铝合金的熔炼化学成分应符合表 8.2.3.1 中的要求。

铝合金的化学成分 (%) **表 8.2.3.1**

牌号	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al	其他元素①	
										每种	总量
5A01	Si+Fe ≤ 0.40		≤ 0.10	0.30~0.70	6.0~7.0	0.10~0.20	≤ 0.20	≤ 0.15	余量	≤ 0.05	≤ 0.15
5454	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.10	0.50~1.0	2.4~3.0	0.05~0.20	≤ 0.25	≤ 0.20	余量	≤ 0.05	≤ 0.15
5083	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.10	0.40~1.0	4.0~4.9	0.05~0.25	≤ 0.25	≤ 0.15	余量	≤ 0.05	≤ 0.15
5383	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.20	0.7~1.0	4.0~5.2	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.15	余量	≤ 0.05④	≤ 0.15④
5059	≤ 0.45	≤ 0.50	≤ 0.25	0.6~1.2	5.0~6.0	≤ 0.25	0.40~0.90	≤ 0.20	余量	≤ 0.05⑤	≤ 0.15⑤
5086	≤ 0.40	≤ 0.50	≤ 0.10	0.20~0.70	3.5~4.5	0.05~0.25	≤ 0.25	≤ 0.15	余量	≤ 0.05	≤ 0.15
5456	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.10	0.50~1.0	4.7~5.5	0.05~0.20	≤ 0.25	≤ 0.20	余量	≤ 0.05	≤ 0.15
5754	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.10	≤ 0.50②	2.6~3.6	≤ 0.30②	≤ 0.20	≤ 0.15	余量	≤ 0.05	≤ 0.15
6005A	0.50~0.90	≤ 0.35	≤ 0.30	≤ 0.50③	0.4~0.7	≤ 0.30③	≤ 0.20	≤ 0.10	余量	≤ 0.05	≤ 0.15
6061	0.40~0.80	≤ 0.7	0.15~0.40	≤ 0.15	0.8~1.2	0.04~0.35	≤ 0.25	≤ 0.15	余量	≤ 0.05	≤ 0.15
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	≤ 0.05	≤ 0.15

注：① 其他元素包括 Ni、Ga、V 和其他未显示成分限制的元素，常规试验时不必分析；
② 0.10% ≤ Mn+Cr ≤ 0.60%；
③ 0.12% ≤ Mn+Cr ≤ 0.50%；
④ Zr ≤ 0.20，其他元素的总量中不包括锆 (Zr)；
⑤ 0.05% ≤ Zr ≤ 0.25%，其他元素的总量中不包括锆。

8.2.3.2 当铝合金冶炼厂以生产半成品交货时，应向验船师出具一份载明炉号和化学成分的证书。

8.2.4 交货状态

8.2.4.1 铝合金板材、棒材、型材和管材可采用轧制或挤压方法生产。

8.2.4.2 铝合金一般以下列状态交货：

O — 退火状态
H111 — 退火后经过轻微加工硬化处理 (如矫正等)
H112 — 热加工成形的状态
H116 — 镁含量不小于 3.0% 的铝合金，进行防腐蚀处理后的状态
H32 — 加工硬化后进行稳定化处理的状态
H321 — 镁含量不小于 3.0% 的铝合金加工硬化后进行稳定化处理的状态
T5 — 高温成形冷却后进行人工时效处理
T6 — 固溶热处理后进行人工时效处理

8.2.4.3 轧制铝镁系合金一般以 H111、H112、H116、H32、H321 或 O 状态交货。

8.2.4.4 挤压成形铝镁合金一般以 H111、H112 或 O 状态交货。

8.2.4.5 挤压成形的铝硅镁系合金一般以 T5 或 T6 状态交货。

8.2.5 试验和检查

8.2.5.1 铝合金冶炼厂应检查每炉产品的化学成分，铝合金的化学成分应符合本节 8.2.3.1 的规定。

8.2.5.2 成品材料应具有规定的表面粗糙度，并无影响使用的内外部缺陷。轻微的表面缺陷可用打磨或机加工的方法去除，但应使材料的厚度保持在 8.2.5.3 允许的公差范围内。

8.2.5.3 制造厂应检验每批铝合金产品的尺寸偏差。铝合金轧制产品的厚度负偏差应符合表 8.2.5.3 的规定，挤压产品的厚度负偏差应满足公认的国家标准或国际标准。除厚度负偏差外的其他尺寸偏差应符合公认的国家标准或国际标准要求。

轧制产品的厚度负公差 (mm) **表 8.2.5.3**

名义宽度 B(mm) / 名义厚度 t(mm)	$B \leqslant 1500$	$1500 < B \leqslant 2000$	$2000 < B \leqslant 3500$
$3 \leqslant t < 4$	0.10	0.15	0.15
$4 \leqslant t < 8$	0.20	0.20	0.25
$8 \leqslant t < 12$	0.25	0.25	0.25
$12 \leqslant t < 20$	0.35	0.40	0.50
$20 \leqslant t < 50$	0.45	0.50	0.65

8.2.5.4 铝合金产品通常按批取样进行力学性能试验。每批铝合金材料应具有相同炉号、相同制造工艺、相同材料等级和状态、具有相似的形状和尺寸 (对板材，相同板厚)。取样数量应符合 8.2.5.5~8.2.5.7 的规定。

8.2.5.5 每批轧制材料应制取一个拉伸试样。当一批重量超过 2000kg 时，应每 2000kg 和余量各取一个拉伸试样。若单件产品 (板材或卷材) 重量大于 2000kg，则仅取一个拉伸试样。

8.2.5.6 挤压产品应按表 8.2.5.6 要求取样进行试验。

挤压产品的取样数量 **表 8.2.5.6**

产品名义重量	批重量	取样数量
<1kg/m	1000kg 和不足 1000kg 的余额	1 个试件
1~5kg/m	2000kg 和不足 2000kg 的余额	1 个试件
>5kg/m	3000kg 和不足 3000kg 的余额	1 个试件

8.2.5.7 制造厂对每批闭合型材应采用宏观断面试验或扩口试验证明其压合焊缝无未熔合。扩口试验可按下列要求进行：

(1) 最终热处理后，以每五根或不足五根为一批，取一根作试验材料。当型材长度超过 6m 时，应对开始生产的每根型材均作为试验材料；如最初的 3~5 根型材试验结果可接受，则可改为每五根取一根。

(2) 每根试料应从头尾两端载取两个试样。

(3) 试样应使其端面垂直于型材的轴线。边缘可用锉刀倒圆。

(4) 试样的长度应符合本篇第 2 章 2.6.2 的规定。

(5) 采用锥角至少为 60° 的硬质钢锥，在环境温度下，对型材进行扩口试验。

(6) 如果确认试样系因焊接熔合不良而清晰地沿焊缝开裂，应判为不合格。

8.2.5.8 试验应按本篇第 2 章的有关规定进行。试验结果应符合本节 8.2.7 的有关规定。

8.2.5.9 若拉伸试验不符合要求，则可按本篇第 1 章 1.2.5 的有关规定进行复试并验收。

8.2.5.10 对以 H116 和 H321 状态交货，用于海船船体结构或经常与海水直接接触构件的 5083, 5383, 5059, 5086 和 5456 铝镁系合金，应每批按 8.2.5.11~8.2.5.13 的规定进行腐蚀试验或检验。

8.2.5.11 在上述铝镁系合金认可时，制造厂一般应建立材料金相结构与耐蚀性之间的关系。制造厂应按 ASTM B928 中第 9.4.1 条规定的条件，对每种交货态和厚度范围摄取放大 500 倍的金相照片作为参考金相照片。参考金相照片应取自按 ASTM G66 要求进行剥落腐蚀试验后，试样没有明显剥蚀且点蚀率为 PB 级或更好的试件。该试件也应具有按 ASTM G67 要求进行试验后，失重不大于 15mg/cm^2 的抗晶间腐蚀性能。CCS 根据金相组织与耐蚀性之间的关系，认可主参考金相照片和腐蚀试验的结果。参考金相照片被认可后，不应再改变生产工艺。

8.2.5.12 每批以 H116 或 H321 状态验收的铝镁系 (5000 系) 合金，应从随机的板或卷的一端的宽度中间取样进行金相检查。金相检查试样应按 ASTM B928 第 9.6.1 条规定的条件，使试样纵剖面垂直于轧制表面。在验船师在场时对试样金相组织与接受的参考金相照片进行比对。若金相组织显示在晶界处连续网状铝镁析出物超过接受的参考金相照片的证据时，该批材料应予以拒收或经验船师同意重新按 ASTM G66 和 G67 进行剥落腐蚀和晶间腐蚀试验。试验结果应为按 ASTM G66 要求进行试验后，试样没有明显剥蚀且点蚀率为 PB 级或更好；按 ASTM G67 要求进行试验后，失重不大于 15mg/cm^2。若试验结果满足 8.2.5.11 的要求，该批材料可以验收，否则就应拒收。

8.2.5.13 若不采用金相检查的方法，成品材料也可每批以在 ASTM B928 规定的条件，按 ASTM G66 和 G67 标准进行剥落腐蚀和晶间腐蚀试验。其验收条件应满足 8.2.5.12 的要求。

8. 2. 6 试件与试样

8.2.6.1 轧制产品的拉伸试件应取自于材料纵向的端部，宽度的 1/3 处；挤压产品的拉伸试件应在产品最厚处距外表面半径 1/2 至 1/3 处。

8.2.6.2 拉伸试样的取向应符合下列要求：

(1) 轧制产品通常进行横向取样试验，如果产品宽度不足以得到横向试样，或在应变强化铝合金的情况下，允许以纵向取样。

(2) 挤压产品通常纵向取样进行试验。

8.2.6.3 取出的试样上应标记产品的批号、取样位置和取向。

8.2.6.4 试件上截取试样应符合下列规定：

(1) 对厚度小于或等于 12.5mm 的铝合金产品，应采用本规范第 1 篇表 2.2.2.1 中序号 1 非比例试样 2 的板状试样。试样加工时应保留两个轧制面。

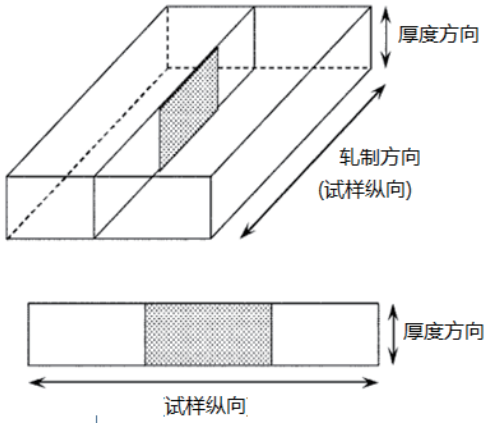
(2) 对厚度超过 12.5mm 的铝合金产品，应采用本篇表 2.2.2.1 中序号 2 的圆形试样。取样时，对厚度小于或等于 40mm 的产品，试样的中心线应位于产品的中心，当产品厚度超过 40mm 时，试样的中心线应位于厚度的四分之一处。

8.2.6.5 腐蚀试验或金相检查照片的试样应从下列部位制取，试样的纵截面垂直于材料的轧制表面：

(1) 对卷材：在每一卷材的端部的宽度中间；

(2) 对板材：从一批板材中随机抽取一张，在其端部的宽度中间。

晶间腐蚀试样的取样方向和评估区域参见图 8.2.6.5。



图中阴影部分为晶间腐蚀试样的评估区域

图 8.2.6.5　晶间腐蚀试样的取样方向和评估区域

8.2.7　力学性能

8.2.7.1　轧制成形铝合金在各种状态下的力学性能应分别符合表 8.2.7.1 的规定。

轧制铝合金的力学性能 (3mm ≤ *t* ≤ 50mm)　　表 8.2.7.1

牌号	状态	厚度 *t* (mm)	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	最低断后伸长率 *A*① (%)	
					50mm	5*d*
5A01	O	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 165	≥ 325	10	
	H112	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 165	≥ 325	10	
	H32	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 245	≥ 365	8	
5454	O	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 85	215~285	17	16
	H112	6 ≤ *t* ≤ 12.5	≥ 125	≥ 220	8	—
		12.5< *t* ≤ 50	≥ 85	≥ 215	—	9
	H32	3 ≤ *t* ≤ 6.3	≥ 180	250~305	8	—
		6.3< *t* ≤ 50	≥ 180	250~305	—	10
5083	O	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 125	275~350	16	14
	H111	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 125	275~350	16	14
	H112	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 125	≥ 275	12	10
	H116	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 215	≥ 305	10	10
	H321	3 ≤ *t* ≤ 50	215~295	305~385	12	10
5383	O	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 145	≥ 290	—	17
	H111	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 145	≥ 290	—	17
	H116	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 220	≥ 305	10	10
	H321	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 220	≥ 305	10	10
5059	O	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 160	≥ 330	24	24
	H111	3 ≤ *t* ≤ 50	≥ 160	≥ 330	24	24
	H116	3 ≤ *t* ≤ 20	≥ 270	≥ 370	10	10
		20< *t* ≤ 50	≥ 260	≥ 360	—	10

牌号	状态	厚度 t (mm)	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	最低断后伸长率 A ① (%)	
					50mm	5d
	H321	$3 \leqslant t \leqslant 20$	≥ 270	≥ 370	10	10
		$20 < t \leqslant 50$	≥ 260	≥ 360	—	10
5086	O	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 95	240~305	16	14
	H111	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 95	240~305	16	14
	H112	$3 \leqslant t \leqslant 12.5$	≥ 125	≥ 250	8	—
		$12.5 < t \leqslant 50$	≥ 105	≥ 240	—	9
	H116	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 195	≥ 275	10 ②	9
5456	O	$3 \leqslant t \leqslant 6.3$	130~205	290~365	16	—
		$6.3 < t \leqslant 50$	125~205	285~360	16	14
	H116	$3 \leqslant t \leqslant 30$	≥ 230	≥ 315	10	10
		$30 < t \leqslant 40$	≥ 215	≥ 305	—	10
		$40 < t \leqslant 50$	≥ 200	≥ 285	—	10
	H321	$3 \leqslant t \leqslant 12.5$	230~315	315~405	12	—
		$12.5 < t \leqslant 40$	215~305	305~385	—	10
		$40 < t \leqslant 50$	200~295	285~370	—	10
5754	O	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 80	190~240	18	17
	H111	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 80	190~240	18	17

注：① 试验时对厚度 12.5mm 及以下的材料，应采用标距长度为 50mm 的断后伸长率，当材料厚度大于 12.5mm 时，应采用 5d 断后伸长率。
② 对厚度小于及等于 6.3mm 的材料，为 8%。
③ O 状态和 H111 状态的力学性能相同。因为这些状态代表着不同处理工艺，为了防止双重证书，特予以分别列出。

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

挤压成形铝合金的力学性能　　**表 8.2.7.2**

牌号	状态	厚度 t (mm)	规定非比例伸长强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	最低断后伸长率 A ①② (%)	
					50mm	5d
5A01	H112	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 170	≥ 330	10	
5454	H112	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 100	≥ 230	10	
5083	O	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 110	270~350	14	12
	H111	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 165	≥ 275	12	10
	H112	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 110	≥ 270	12	10
5383	O	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 145	≥ 290	17	17
	H111	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 145	≥ 290	17	17
	H112	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 190	≥ 310		13
5059	H112	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 200	≥ 330		10
5086	O	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 95	240~315	14	12
	H111	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 145	≥ 250	12	10

牌号	状态	厚度 t (mm)	规定非比例伸长强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	最低断后伸长率 A①② (%)	
					50mm	5d
	H112	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 95	≥ 240	12	10
5456	H112	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 130	≥ 300	10	
5754	H112	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 80	≥ 180	10	
6005A	T5	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 215	≥ 260	9	8
	T6	$3 \leqslant t \leqslant 10$	≥ 215	≥ 260	8	6
		$10 < t \leqslant 50$	≥ 200	≥ 250	8	6
6061	T6	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 240	≥ 260	10	8
6082	T5	$3 \leqslant t \leqslant 50$	≥ 230	≥ 270	8	6
	T6	$3 \leqslant t \leqslant 5$	≥ 250	≥ 290	6	
		$5 < t \leqslant 50$	≥ 260	≥ 310	10	8

注：① 试验时对厚度 12.5mm 及以下的材料，应采用标距长度为 50mm 的伸长率，当材料厚度大于 12.5mm 时，应采用 5d 伸长率。
② 表中数据纵向或横向试样均适用。

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	原牌号	化学成分 (%)										
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti①	Al	其他元素	杂质元素①
5052	AlMg2.5	≤ 0.25	≤ 0.40	≤ 0.10	≤ 0.10	2.2~2.8	0.15~0.35	≤ 0.10	—	余量	0.10≤Zr≤0.20	
5754	AlMg3	≤ 0.40	≤ 0.40	≤ 0.10	≤ 0.50②	2.6~3.6	≤ 0.30②	≤ 0.20	≤ 0.15	余量		每种≤ 0.05
5154A	AlMg3.5	≤ 0.50	≤ 0.50	≤ 0.10	≤ 0.50③	3.1~3.9	≤ 0.25③	≤ 0.20	≤ 0.20	余量		
5086	AlMg4	≤ 0.40	≤ 0.50	≤ 0.10	0.20~0.70	3.5~4.5	0.05~0.25	≤ 0.25	≤ 0.15	余量		总量≤ 0.15
6082	AlSi1Mg	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，可要求进行铆钉用线材的剪切试验，试验结果应符合公认的有关标准。

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 8.2.6.2 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	状态	规定非比例伸长应力 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm^2)	抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm^2)	伸长率 A_5 不小于 (%)
5052	O	70	170	16
5754	O	80	190	16
5154A	O	90	210	16
5086	O	100	230	16
6082	T6	115	200	16

注：表中数据适用于所有厚度或直径

8.3.5.2　镦粗试验应在常温下进行，镦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 的余额各取一个镦粗试样，按本节 8.3.5.2 的规定进行镦粗试验。

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，并提交 CCS 备查。

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)

材料牌号	合金代号	化学成分 %					
		Si	Cu	Mn	Mg	Ni	Al
ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	11~13	1~2	0.3~0.9	0.4~1.0	–	余量
ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	11~13	0.5~1.5	–	0.8~1.3	0.8~1.5	余量
ZAlSi5Cu6Mg	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)

材料牌号	合金代号	抗拉强度 R_m (N/mm^2) 不小于	硬度 HBW 不小于	交货态
ZAlSi12Cu2Mg1	ZL108	200	85	人工时效 (T5)
	ZL108	260	90	固溶处理加完全人工时效 (T6)
ZAlSi12Cu1Mg1Ni1	ZL109	195	90	人工时效 (T5)
	ZL109	245	100	固溶处理加完全人工时效 (T6)
ZAlSi5Cu6Mg	ZL110	170	90	人工时效 (T5)

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 5 节 钢 - 铝过渡接头

8.5.1 适用范围

8.5.1.1 本节规定适用于船舶的钢结构和铝合金结构间连接用的过渡接头。

8.5.2 一般要求

8.5.2.1 钢 – 铝过渡接头应由 CCS 认可的工厂生产。

8.5.2.2 制造厂应提供过渡接头的技术说明书 (包括焊接过程中界面处允许承受的最高温度)。

8.5.2.3 钢 – 铝过渡接头由两层或三层金属组成，基层是钢板，覆层是铝合金。对三层的过渡接头，中间过渡层可以是钛或铝。

8.5.2.4 基层材料通常应为符合本篇第 3 章第 2 节相关要求的一般强度船体结构用钢。

8.5.2.5 覆层材料通常应为符合本章第 2 节相关要求的船用铝合金。

8.5.2.6 用于过渡层的工业纯钛或纯铝应符合公认的标准。

8.5.3 制造方法

8.5.3.1 应采用爆炸焊方法制成复合板。

8.5.3.2 用机加工方法将复合板加工成条状、块状或其他形状的过渡接头。

8.5.4 目视检查和超声波检测

8.5.4.1 每张复合板应采用 100% 目视检查和超声波检测，以确定界面未复合区域的范围。未复合区域及其周围各 25mm 范围内的板材应予截弃。

8.5.4.2 超声波检测方法应符合公认标准。

8.5.5 力学性能试验

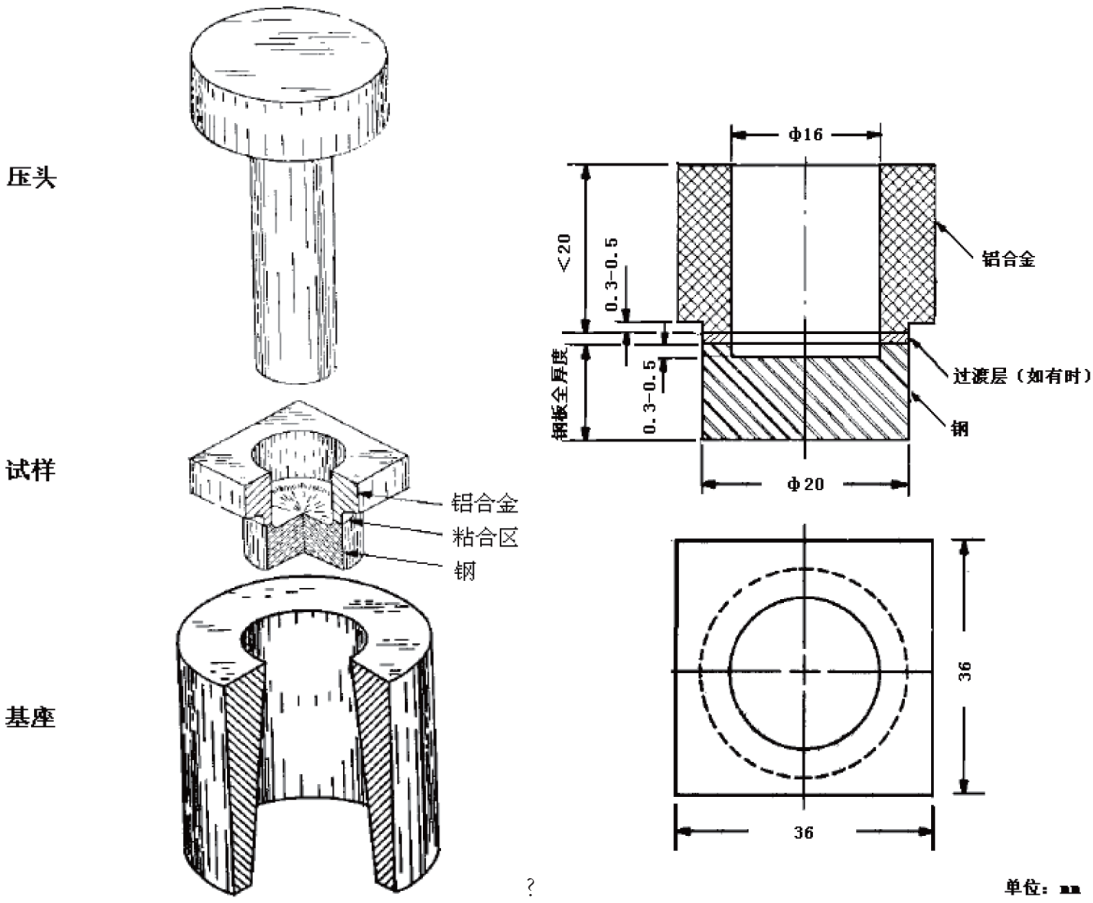
8.5.5.1　按批取样提交检验。每批由 3 张或 3 张以下同时生产且具有相同的材质、相同尺寸和相同的爆炸焊工艺的复合板组成。在其中的 1 张板两对角处各取 1 组试样进行试验。

8.5.5.2　每组试样包括以下试验项目：

(1)　拉伸试验 2 个：用厚度方向拉伸试验或粘结试验 (见图 8.5.5.2) 测界面分离时的极限拉伸强度，且其中 1 个试样应在试验前加热到界面允许承受的最高温度并保温约 15min，冷却到室温后进行试验；

(2)　剪切试验 2 个：测界面的剪切强度，且其中 1 个试样应在试验前加热到界面允许承受的最高温度并保温约 15min，冷却到室温后进行试验。若中间过渡层为钛时应增加 2 个试样，在两个界面处分别测上述条件下的剪切强度；

(3)　侧弯试验 1 个：压头直径为 6*t*(*t* 为试样厚度)，弯曲角度为 90°。



(a) 粘结试验示意图　　(b) 粘结试验试样推荐尺寸

图 8.5.5.2　粘结试验图

8.5.5.3　以上试验的试验方法应符合公认标准。

8.5.5.4　试验结果应符合制造厂技术条件的规定。

8.5.5.5　当以上任一项力学性能试验结果不符合要求时，对不合格的项目，允许在原板上再取 2 倍数量的试样进行复试，复试结果均合格者，则这批产品可以验收。若复试结果仍有不合格，则对该批产品逐张进行检验。

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　本节规定适用于铜合金铸造螺旋桨 (包括桨叶和桨毂)。

9.1.1.2　铸造铜合金螺旋桨及其部件的制造和试验，应符合本篇第 1 章和第 2 章及本节的有关规定。

9.1.2　认可

9.1.2.1　制造厂 (包括铸造厂和机加工厂) 应按 CCS 规定申请工厂认可。

9.1.2.2　认可的螺旋桨生产厂应接受 CCS 年度复查。年度复查应核查工厂的质保体系、生产、试验、检测设备的技术状况和精度。对不经常生产的工厂除前述外，尚应按认可试验内容进行考核。

9.1.3　化学成分

9.1.3.1　铜质螺旋桨及其部件材料的化学成分一般应符合如表 9.1.3.1 所示。如果采用表 9.1.3.1 以外的铜合金，应提交有关技术资料 (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 CCS 同意，可按公认的有关标准验收。

螺旋桨用铜合金的典型化学成分　　**表 9.1.3.1**

合金	化学成分 (%)							
类型	Cu	Al	Mn	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb
1 级锰青铜 (Cu1)	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 (Cu2)	50~57	0.5~2.0	1.0~4.0	33~38	0.5~2.5	3.0~8.0	≤ 1.5	≤ 0.5
3 级镍铝青铜 (Cu3)	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 (Cu4)	70~80	6.5~9.0	8.0~20.0	≤ 6.0	2.0~5.0	1.5~3.0	≤ 1.0	≤ 0.05

9.1.3.2　对于 Cu1 和 Cu2 合金，制造厂应测定其 α 相和 β 相的含量。α 相应不低于 25%，β 相应保持低含量以保证足够的冷加工塑性和耐腐蚀疲劳性能。

9.1.3.3　为保证 Cu1 和 Cu2 的金相组织中 α 相的比例，可控制铜合金的锌当量不超过 45%。锌当量按下式确定：

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

式中：A ＝ 1×Sn%+5×Al%−0.5×Mn%−0.1×Fe%−2.3×Ni%。

若能保证 α 相达到或超过 25% 时，可不考虑锌当量的要求。

9.1.4　制造与热处理

9.1.4.1　浇铸螺旋桨或其部件的铜合金应采用干燥的砂型进行浇铸，液态金属一般应经脱气处理，浇涛时应控制浇铸速度，防止产生过大的紊流；同时也应有适当的装置并防止炉渣进入型腔。

9.1.4.2　浇铸方法应确保其内部不存在降低其使用性能的铸造缺陷，如气孔、缩孔、裂纹和较大的非金属夹渣。

9.1.4.3　若采用单独浇铸的试样时，浇铸试样的模具材料应与制造螺旋桨的模具材料相同，并在与螺旋桨相同的条件下冷却。

9.1.4.4　螺旋桨或其部件的铸件可采用后续的退火热处理消除残余应力，其详细工艺资料应经审

核。消应力热处理的温度和保温时间可参见表 9.1.4.4。

消应力热处理的温度和保温时间　　表 9.1.4.4

合金类别 / 消除应力热处理温度 (℃) / 保温时间	Cu1 和 Cu2		Cu3 和 Cu4	
	每 25mm 厚度保温时间 (h)	推荐最大总热处理时间 (h)	每 25mm 厚度保温时间 (h)	推荐最大总热处理时间 (h)
350	5	15	—	—
400	1	5	—	—
450	1/2	2	5	15
500	1/4	1	1	5
550	1/4①	1/2①	1/2②	2②
600	—	—	1/4②	1②

注：① 适用于 Cu2 合金。
② 仅适用于 Cu4 合金。

9.1.4.5　铸件可以铸态或经适当热处理交货。

9.1.5　试样

9.1.5.1　铜质螺旋桨一般采用如图 9.1.5.1 所示的单独浇铸的吉尔型试件。若采用附连的试件，则试件应尽可能位于桨叶的 0.5*R* 与 0.6*R* 之间 (*R* 为螺旋桨的半径)。也可采用其他公认的标准规定的单独浇铸的试样。

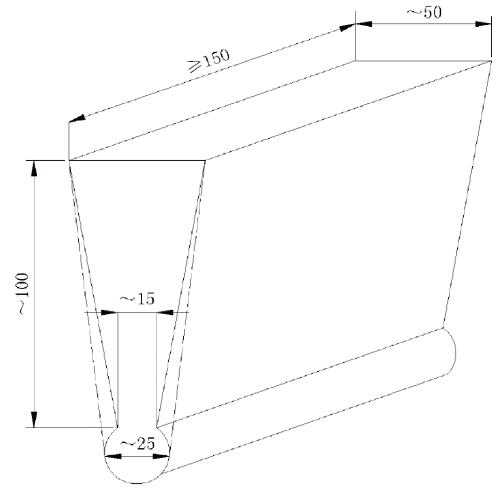


图 9.1.5.1　吉尔型试件

9.1.5.2　通常每一炉液体金属应至少制取 1 个力学试件。且通常在浇铸过程即将结束时浇铸试件。

9.1.5.3　对于同炉浇铸和热处理，且形状和尺寸相同，批量制造的螺旋桨，满足如下条件时，可按每 5 个产品中至少浇制 1 个试件进行批量试验：

(1)　整体铸造螺旋桨，其直径不大于 1m；

(2)　可调距螺旋桨，单个桨叶或桨毂的重量不大于 200kg；

9.1.5.4　如螺旋桨需经热处理，则试件应与之一起进行处理。切取试样时，不应使用热加工方法。

9.1.5.5　每个试件应按本规范第 1 篇第 2 章表 2.2.2.1 中序号 2 的规定制取圆形比例拉伸试样。

9.1.6 试验与检验

9.1.6.1 铜质螺旋桨及其部件应逐炉进行化学成分分析，其结果应符合本节 9.1.3 的有关规定。

9.1.6.2 Cu1 和 Cu2 型合金的螺旋桨产品应逐炉取样进行金相检验，测定 α 相的比例。α 相的比例应取 5 次读数的平均值。测定结果应符合 9.1.3.2 的要求。

9.1.6.3 力学性能试验应测定其抗拉强度、0.2% 规定非比例延伸强度和断后伸长率。分离试样的试验结果应符合表 9.1.6.3 所示的数值要求。连体浇铸试样的力学性能要求应经 CCS 特别同意。

螺旋桨铜合金的力学性能 **表 9.1.6.3**

合金类型	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ N/mm²	抗拉强度 R_m N/mm²	断后伸长率 A_5 %
1 级锰青铜 (Cu1)	≥ 175	≥ 440	≥ 20
2 级镍锰青铜 (Cu2)	≥ 175	≥ 440	≥ 20
3 级镍铝青铜 (Cu3)	≥ 245	≥ 590	≥ 16
4 级锰铝青铜 (Cu4)	≥ 275	≥ 630	≥ 18

9.1.6.4 螺旋桨铸件宜在制造过程的所有阶段均进行外观检查。并且在最终裸露状态下提交验船师进行整个外表面的全面目视检查。此项检查还应包括桨毂。

9.1.6.5 制造厂应对产品的尺寸、形状公差和表面粗糙度进行检查。尺寸检查的报告应提交验船师审核，验船师可要求在其在场时核查。检查结果应符合认可图纸的要求。

9.1.6.6 铸件上的微小缺陷如夹沙、夹渣、冷疤等均应予以修饰；较大的影响使用的缺陷如非金属夹杂、缩孔、气孔和裂纹等应用适当的方法予以消除，并按本规范第 3 篇第 8 章第 4 节的有关规定进行修补。

9.1.6.7 每个螺旋桨及其产品应按本规范第 3 篇第 8 章第 4 节的有关规定进行无损检测，并提供无损检测报告。

9.1.6.8 若发现有必须修补的缺陷，应按本规范第 3 篇第 8 章第 4 节的有关规定进行修补，并对修补处进行无损检测，证实产品符合要求。

9.1.6.9 若对焊补范围有怀疑时，验船师可要求对怀疑区域进行酸蚀 (例如用氯化铁) 观察。

9.1.6.10 所有螺旋桨均应根据批准的图纸进行静态平衡试验。对额定转速在 500 r/min 以上的螺旋桨应进行动态平衡试验。

9.1.7 标记和证书

9.1.7.1 每个螺旋桨铸件应由制造厂做下列适当标记：

a) 材料等级或其缩写符号；
b) 制造厂标记；
c) 炉号或其他能追溯铸件整个制造过程的标记；
d) 试样号；
e) CCS 证书号；
f) 冰级符号 (当适用时)；
g) 大侧斜角螺旋桨的侧斜角；
h) 最终检验的日期；
i) 当铸件已验收通过，应打上 CCS 的标记。

9.1.7.2 每一已验收通过的螺旋桨铸件应具有下列内容的船用产品证书或等效证明文件：

a) 订货方名或订货号；
b) 船名，当已知时；
c) 螺旋桨图纸的图号 (图纸中对铸件进行详细描述)；
d) 螺旋桨的直径、桨叶数、螺距、旋向；

e) 大侧斜角螺旋桨的侧斜角；
f) 成品桨重量；
g) 合金型号、各炉的化学成分；
h) 铸件的炉号或浇铸批号；
i) 铸件的标识号；
j) 无损检测方法及其结果；
k) 力学性能试验结果；
l) 金相检查中 α 相的比例 (仅适用于 Cu1 和 Cu2 合金)。

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 CCS 同意，可按公认的有关标准验收。

9.2.2 制造

9.2.2.1 所有的铸件应由 CCS 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 (%)								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标准的范围之内。

9.2.4.2 铸锭生产厂所提供的化学成分，应符合本章 9.1.3.1 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 相同炉号，相近尺寸的小型铜合金铸件，可以每炉不超过 1 吨为一批，取样进行试验。力学性能试件可按本章图 9.1.5.1 吉尔型试件单独浇铸，也可从产品上直接取样。

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 R_m (N/mm²)	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ (N/mm²)	伸长率 A_5 (%)
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，应事先征得验船师同意，并将缺陷的数量、大小、部位和焊补工艺提交 CCS 备查。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 制造厂应对经 CCS 检验合格的所有铸件，在不少于一个位置上清晰地标出下列标记：

(1) CCS 检验标志；
(2) 炉罐号或可以追溯铸件制造过程的标记；
(3) 试验压力 (如有时)；
(4) 铸件材料的牌号或等级；
(5) 证书号。

当标识面积不允许时，则至少应标出上述 (1)~(3) 三项。

钢印应用油漆框出，以求明显易认。

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。

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 CCS 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 CCS 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	A1	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 CCS 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：至少取 1 个试样；
(2) 压扁试验：至少取 1 个试样；
(3) 扩口试验：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表面相碰为止，试样上应无破裂或裂纹。扩口试验应采用夹角为 45º 的钢锥头，将管子外径扩大 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 R_m 不小于 (N/mm^2)	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (N/mm^2)	断后伸长率 A_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，最大一般不必超过 7.0MPa。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 CCS 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 CCS 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 钛 合 金 板

9.4.1 适用范围

9.4.1.1　本节规定适用于船舶或海洋工程用厚度在 3mm 及以上的钛合金板。

9.4.1.2　采用本节规定以外的钛合金板，应将其化学成分、力学性能和应用场合等资料提交 CCS 审核，经同意后，可按公认的有关标准验收。

9.4.2　制造

9.4.2.1　钛合金板应由经 CCS 认可的工厂生产。

9.4.2.2　除本节规定以外，钛合金的制造和试验应符合本篇第 1 章和第 2 章的有关规定。

9.4.2.3　钛合金的熔炼应在真空条件下进行。若采用真空自耗炉重熔冶炼，其自耗电极禁止使用钨极氩弧焊焊接，且其熔炼次数应不少于 2 次，以保证材料的化学均匀性。

9.4.2.4　钛合金板通常应采用轧制方法制造。

9.4.2.5　除合同规定外，钛合金板通常以退火态交货。

9.4.3　表面质量

9.4.3.1　板表面不应有影响使用的缺欠，如裂纹、起皮、氧化皮、折皱、金属或非金属夹杂物、过碱洗痕迹等。

9.4.3.2　钛合金板的产品边缘应平齐、无毛刺、外形尺寸和公差范围应符合 CCS 接受的有关技术条件。

9.4.3.3　轻微的表面缺陷允许打磨去除。打磨一般应以轧制方向进行，打磨后的表面应形成平滑过渡，且厚度不低于技术条件所规定的最小厚度。不允许采用焊补的方法修整表面缺陷。

9.4.4　化学成分

9.4.4.1　钛合金铸锭厂应对每炉产品进行熔炼化学成分分析。化学成分应满足表 9.4.4.1 的要求。

钛合金的化学成分 (%)　　**表 9.4.4.1**

牌号	名义化学成分	铝 Al	钼 Mo	锡 Sn	锆 Zr	钒 V	硅 Si	铌 Nb	氮 N	碳 C	氢 H	铁 Fe	氧 O	其他元素		钛 Ti
														单	总	
TA7	Ti-5Al-2.5Sn	4.0~6.0	—	2.0~3.0	—	—	—		0.05	0.08	0.015	0.50	0.20	0.10	0.40	余量
TA18	Ti-3Al-2.5V	2.0~3.5	—	—	—	1.5~3.0	—		0.05	0.08	0.015	0.25	0.12	0.10	0.30	余量
TC4	Ti-6Al-4V	5.5~6.75	—	—	—	3.5~4.5	—		0.05	0.08	0.015	0.30	0.20	0.10	0.40	余量
TC4 ELI	Ti-6Al-4V ELI	5.5~6.5	—	—	—	3.5~4.5	—		0.03	0.08	0.012	0.25	0.13	0.10	0.40	余量
TA31(Ti80)	Ti-6Al-3Nb-2Zr-Mo	5.5~6.5	0.6~1.5	—	1.5~2.5	—	0.15	2.5~3.5	0.05	0.10	0.015	0.25	0.15	0.10	0.30	余量

注：表中数据除有区间的表示外，其他值均为最高限值。

9.4.5　力学性能

9.4.5.1　应在每批 (同一炉号、同一制造方法、同一厚度、同一热处理炉次) 的板中至少抽取 1 张 (当一批板多于 4 张时，应抽取 2 张板)，在板材的端部距板边约 1/4 板宽处切取一个试料。

9.4.5.2　每块试料中应按如下要求制取 1 个拉伸试样和 1 组 3 个夏比冲击试样 (对板厚大于 10mm 者) 和 2 个弯曲试样：

(1)　拉伸试样应采用本篇第 2 章表 2.2.2.1 中序号 1 的板状比例试样 (但试样宽度可为 12.5mm P7 试样)；对厚度大于 40mm 者也可采用序号 2 的圆棒形比例试样 (但试样直径可为 5mm)，此时试样的轴线应位于板的 1/4 厚度处；

(2)　对板的厚度不大于 40mm 时，冲击试样应为试样边缘距板轧制表面不大于 2mm 处；若产品厚度超过 40mm 时，试样的轴线应位于板材的 1/4 厚度处。试样轴线应垂直于轧制方向，试样的缺口应垂直于轧制面；

(3)　2 个弯曲试样的受拉面应至少各保持一个原轧制面，且其轴线应垂直于轧制方向。试样宽度

为 15mm，对于厚度超过 5mm 的板，可单面减薄至 5mm。

9.4.5.3 力学性能的试样制备和试验应按本篇第 2 章相关规定进行。弯曲试验应使板两个轧制面均受到试验。

9.4.5.4 钛合金的力学性能应满足表 9.4.5.4 的规定。

钛合金的力学性能 **表 9.4.5.4**

牌号	名义化学成分	板厚 mm	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ N/mm²	抗拉强度 R_m N/mm²	伸长率 A %	夏比 V 缺口冲击功① J	弯曲试验②	
							直径 D	弯曲角度 α
TA7	Ti-5Al-2.5Sn	≤ 10	≥ 685	735~930	≥ 12	–	9t	105°
TA18	Ti-3Al-2.5V	≤ 10	≥ 485	590~735	≥ 15	–	6t	105°
TC4	Ti-6Al-4V	≤ 80	≥ 825	≥ 895	≥ 10	≥ 20	10t	105°
TC4 ELI	Ti-6Al-4V ELI	≤ 100	≥ 795	≥ 860	≥ 10	≥ 24	10t	105°
TA31(Ti80)	Ti-6Al-3Nb-2Zr-Mo	≤ 25	≥ 785	≥ 880	≥ 12	≥ 47	8t	105°
		> 25~100	≥ 740	≥ 810	≥ 10	≥ 40	8t	105°

注：① 试验在常温下进行。对 TA7 和 TA18 合金的冲击值可由合同规定。

② 弯曲试样的受拉表面应无肉眼可见裂纹。

9.4.6 无损检测

9.4.6.1 若合同规定对板应进行无损检测时，应按合同要求进行无损检测。

9.4.7 标识与证书

9.4.7.1 板制造厂对检验合格的每一件钛板 (薄板可叠放打包) 在一个位置处清晰地标出 CCS 检验标识和下列标记：

(1) 制造厂名；

(2) 材料的牌号和交货状态；

(3) 能够追溯钛材全部生产过程的编号或缩写；

(4) 如订货方有要求时，可标上订货合同号或其他识别标记。

9.4.7.2 每批板应附有材料的合格证书。合格证书应至少包括下列内容：

(1) 订货方名称和合同号；

(2) 材料的牌号、炉批号和交货状态；

(3) 材料的规格和数量；

(4) 材料化学成分和力学性能。

第 5 节 钛及钛合金管

9.5.1 一般规定

9.5.1.1 本节规定适用于船舶和海洋工程一般用途的钛及钛合金管。

9.5.1.2 采用本节规定以外的钛及钛合金管，应将其化学成分、力学性能和应用场合等资料提交 CCS 审核，经同意后，可按公认的有关标准验收。

9.5.2 制造

9.5.2.1 钛及钛合金管应由经 CCS 认可的工厂生产。

9.5.2.2 除本节规定以外，钛合金管的制造和试验应符合本篇第 1 章、第 2 章和第 4 章的有关规定。

9.5.2.3 钛及钛合金的熔炼应在真空条件下进行。若采用真空自耗炉重熔冶炼，应采用 2 次或以

上的重熔工艺，以保证材料的化学成分均匀性和组织均质性，并降低氧化和氮化夹杂物水平。

9.5.2.4　钛合金管可采用轧制、焊接或焊接加轧制的方法制造。

9.5.2.5　焊接管可以退火态的轧制板带卷制后，用 TIG 焊或 MIG 方法焊接而成。若需采用填充材料时，采用的填充材料应与母材相适应。

9.5.2.6　钛及钛合金管的制造质量应符合本规范本篇第 4 章 4.1.3 的相关规定。

9.5.3　热处理

9.5.3.1　除合同另有规定外，钛及钛合金管应以退火态交货。

9.5.3.2　对于冷轧加工的管，通常应在不低于 540℃的温度下进行退火；对热加工的管，若加工终止温度不低于 760℃时，可不必进一步热处理。

9.5.4　化学成分

9.5.4.1　钛合金铸锭厂应对每炉产品进行熔炼化学成分分析。化学成分应满足表 9.5.4.1 的要求。

钛和钛合金管的化学成分 (%)　　**表 9.5.4.1**

牌号	名义化学成分	钛 Ti	钼 Mo	钯 Pd	镍 Ni	铁 Fe	碳 C	氮 N	氢 H	氧 O	其他元素	
											单一	总和
TA2	工业纯钛	余量	—	—	—	0.30	0.08	0.03	0.015	0.25	0.10	0.40
TA3	工业纯钛	余量	—	—	—	0.30	0.08	0.05	0.015	0.35	0.10	0.40
TA9	Ti-0.2Pd	余量	—	0.12~0.25	—	0.30	0.08	0.03	0.015	0.25	0.10	0.40
TA9-1	Ti-0.2Pd	余量	—	0.12~0.25	—	0.20	0.08	0.03	0.015	0.18	0.10	0.40
TA10	Ti-0.3Mo-0.8Ni	余量	0.2~0.4	—	0.6~0.9	0.30	0.08	0.03	0.015	0.25	0.10	0.40

注：表中数据除有区间的表示外，其他值均为最高限值。

9.5.5　力学性能

9.5.5.1　钛管和钛合金管可按批进行检查和试验。每批管材应由同一炉号、同一制造方法、同一规格、同一热处理炉次的钛管组成。

9.5.5.2　每批管材中按 2% 的比例随机抽取不少于 2 根，按下述要求进行取样试验：

(1)　每根管取一个拉伸试样和一个压扁试样；

(2)　当订货方有要求，每根管截取一个弯曲试样。

9.5.5.3　拉伸和压扁试验的试样和试验应符合本篇第 2 章的有关规定。压扁试验时，当管径小于等于 25.4mm 时，压扁系数取 0.04；对管径大于 25.4mm 时，压扁系数取为 0.06。对 TA10 合金，压扁系数取为 0.04。

9.5.5.4　钛及钛合金管的力学性能应满足表 9.5.5.4 的规定。

钛及钛合金管的力学性能　　**表 9.5.5.4**

牌号	名义化学成分	交货 状态	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ N/mm²	抗拉强度 R_m N/mm²	伸长率 A_{50} %
TA2	工业纯钛	退火	275~450	≥ 345	≥ 20
TA3	工业纯钛	退火	380~550	≥ 500	≥ 18
TA9	Ti-0.2Pd	退火	275~450	≥ 400	≥ 20
TA9-1	Ti-0.2Pd	退火	140~310	≥ 240	≥ 24
TA10	Ti-0.3Mo-0.8Ni	退火	≥ 300	≥ 460	≥ 18

9.5.6 无损检测与液压试验

9.5.6.1 所有钛和钛合金管均应在制造厂进行无损检测和液压试验。

9.5.6.2 无损检测可按公认标准 (如 GB/T 12969) 的规定进行涡流或超声波检测。

9.5.6.3 如无合同规定，液压试验的压力可按下述公式确定。但一般对管径不超过 76mm 的管，试验压力不必超过 17.2MPa ；对管径超过 76mm 的管，试验压力也不必超过 19.3MPa。

$$P = \frac{kSt}{\frac{D}{2} - 0.4t}$$

式中 ：P —— 试验压力，MPa ；

k —— 试验压力系数，对无缝管取 1，对焊接管取 0.85 ；

S —— 管子的许用应力，一般取材料规定非比例延伸强度最小值的 50%，MPa ；

t —— 管壁厚度，mm ；

D —— 管的名义外径，mm。

9.5.6.4 液压试验时，试验压力应保持至少 5s，管材应不出现畸变或泄漏。

9.5.7 标识与证书

9.5.7.1 制造厂应在检验合格的每一根钛管或钛合金管上清晰地标出 CCS 标识和下列标记 ：

(1) 制造厂名或商标 ；

(2) 材料的牌号和规格 ；

(3) 能够追溯钛管全部生产过程的编号或缩写。

9.5.7.2 每批管应附有材料的合格证书。合格证书应至少包括下列内容 ：

(1) 订货方名称和合同号 ；

(2) 材料的牌号、炉批号和交货状态 ；

(3) 材料的规格和数量 ；

(4) 材料化学成分和力学性能。

第 6 节 轴 承 合 金

9.6.1 制造

9.6.1.1 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。

9.6.2 检验项目

9.6.2.1 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。

9.6.3 化学成分

9.6.3.1 轴承合金的化学成分应符合表 9.6.3.1 的规定。

轴承合金的化学成分表　　表 9.6.3.1

牌号	化学成分 (%)				
	Sn	Cu	Sb	Fb	A1
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

9.6.4　其他要求

9.6.4.1　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。

9.6.4.2　轴承合金应能与轴承壳牢固地粘结在一起。

9.6.4.3　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 锚

10.1.1　一般规定

10.1.1.1　本节规定适用于以铸造、锻造、焊接等工艺方法制造的锚头、锚柄和锚卸扣的材料、制造、试验和发证。

10.1.1.2　所有锚的设计均应经认可。在制造过程中对设计有任何变化应事先得到 CCS 的同意。

10.1.1.3　普通锚应为通常采用的“无杆型”锚。锚应按 CCS 接受的标准设计和制造。

10.1.1.4　本节规定的大抓力锚是指其抓力至少为相同重量普通无杆锚抓力 2 倍的锚。

10.1.1.5　本节规定的超大抓力锚是指其抓力至少为相同重量普通无杆锚抓力 4 倍或大抓力锚抓力 2 倍的锚。超大抓力锚的重量一般不超过 1500kg。

10.1.2　材料

10.1.2.1　所有制造锚及主要零部件的材料应按 CCS 认可的工艺制造。

10.1.2.2　锚的铸钢件应采用铝处理细化晶粒的焊接结构用铸钢件，并按本篇第 6 章第 1 节和第 2 节的有关规定进行制造和试验。

用于超大抓力锚的铸钢件每批还应取一组 3 个夏比冲击试样，在 0℃下进行试验，其平均冲击功应不低于 27J。

10.1.2.3　锚的锻钢件应采用焊接结构用碳钢和碳锰钢，并按本篇第 5 章第 1 节和第 2 节的有关规定进行制造和试验。

10.1.2.4　钢板焊接组合式锚头所用的钢板应符合本篇第 3 章第 2 节和第 3 节的有关规定。

10.1.2.5　用于焊接的超大抓力锚的钢材应按 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章表 1.3.2.2(7) 中“材料级别 II”进行选择。其所配合的锚卸扣应满足本规范本章第 2 节表 10.2.8.4 中 3 级附件的要求。

10.1.2.6　用于销、转环和卸扣的轧制棒材应符合本篇第 3 章和第 5 章的相关规定。

10.1.2.7　锚制造时采用的焊接材料应与母材相匹配，且符合本《规范》第 3 篇第 2 章的有关规定。

10.1.3　制造

10.1.3.1　锚应由 CCS 认可的工厂制造。

10.1.3.2　组装锚的结构焊接应采用认可的焊接材料，按认可的焊接工艺，由持有合格证书的焊工施焊。

10.1.3.3　铸造或锻造的锚部件应按本规范第 6 章或第 5 章的要求进行适当的热处理。焊接制造的锚可根据认可工艺的要求，在焊后进行消除应力热处理。

10.1.3.4　必要时可要求对锚的铸造和锻造零部件进行无损检测。

10.1.3.5　对铸钢或锻钢锚表面不影响使用的缺陷，经验船师的同意，允许修补。焊接锚的修理应经验船师的同意并按经认可的焊接工艺，由合格的焊工进行。

10.1.3.6　锚的组装和装配应按设计要求进行。以焊接方法固定锚销、卸扣销或转环螺母时，应按认可的工艺进行。若承认的标准没有其他规定或批准的图纸没有明确的组装和装配公差要求，则应满足下列要求：

(1)　在锚卸扣与锚柄的任一侧间隙应满足表 10.1.3.3(1) 的要求：

锚卸扣与锚柄的间隙　　**表 10.1.3.3(1)**

锚重量 T(t)	间隙值 (mm)
$T \leqslant 3$	$\leqslant 3$
$3<T \leqslant 5$	$\leqslant 4$
$5<T \leqslant 7$	$\leqslant 6$
$T>7$	$\leqslant 12$

(2) 卸扣销应与卸扣销孔相适配，销孔外侧边缘均应有一定深度的倒角，以使销插入焊接后能可靠固定。卸扣销与销孔的直径差应满足下列要求：

对销直径 57mm 及以下，不大于 0.5mm；

对直径大于 57mm，不大于 1.0mm。

(3) 锚销轴应以间隙配合安装到位，长度应足以防止该轴纵向窜动，其间隙应不大于销位长度的 1%。

(4) 锚柄的侧向倾斜应不超过 3°，见图 10.1.3.6(3) 所示。

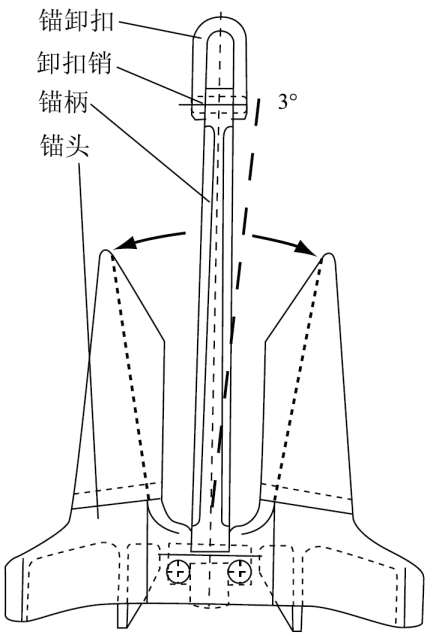


图 10.1.3.6(3) 锚的侧向倾斜

10.1.4 成品检验

10.1.4.1 成品锚均应在未经涂油漆的情况下进行外观检查、称重和试验。

10.1.4.2 所有部件应清除表面的氧化皮、浮砂等杂质。表面应达到制造方法所能达到的整洁程度，无裂纹、缺口、夹渣或影响产品使用性能的其他缺陷。

10.1.4.3 锚的重量应符合下列要求：

(1) 普通无杆锚的锚头重量 (包括销轴和附件的重量) 应不小于锚总重量的 60%。

(2) 锚的实际重量与名义重量的偏差应在 +7% 至 -3% 范围内。

10.1.4.4 名义重量 (包括横杆在内) 不小于 75kg 的普通锚，56kg 的大抓力锚或 38kg 的超大抓力锚均应按本节 10.1.5 的要求进行拉力验证试验。

10.1.4.5 每个铸钢锚头或锚柄应按下列要求进行坠落试验和锤击试验：

(1) 将每个锚头或锚柄提升到 4m 高度，(通常将锚柄置于水平位置，锚头的锚冠部向下)，使其自由下坠。

(2) 锚铸钢零部件坠落到钢砧上应不断裂。钢砧应具有适用于抗坠落件的冲击载荷的能力；

(3) 坠落试验后，将每个锚头或锚柄用非金属的绳索吊离地面，用重量为 3kg~7kg 的锤子敲击构件，以声音检查铸件的完好性。

10.1.4.6 锚的装配要求应满足本节 10.1.3.6 的有关要求。

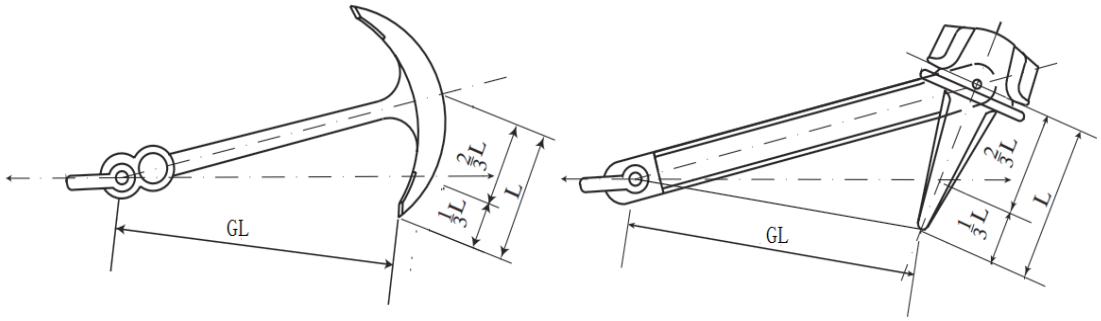
10.1.5 锚的拉力验证试验

10.1.5.1 各种尺寸的锚均应进行拉力试验。在进行拉力试验前应检查并确认锚中无有害的表面缺陷。锚的拉力试验机应经校准。

10.1.5.2 锚的拉力试验方法规定如下：

(1) 拉力试验作用点：一端在锚卸扣处，另一端在锚冠中心至锚爪尖之间的 1/3 处，如图 10.1.5.2(1)

所示；



图中：L—锚冠中心至锚爪尖之间的距离；GL—标距长度

图 10.1.5.2(1)

(2)　无杆锚同时拉其两爪，先在一面拉试后，再翻转到另一面进行同样的试验；

(3)　有杆锚的两个锚爪应分别进行拉力试验；

(4)　拉力试验前，每个锚应在邻近锚卸扣处的锚柄上及锚爪尖端附近各做一个标记 (打冲眼或划线)，并测定两点之间的标距长度 (GL)。

(5)　试验时，应先将拉力加至规定载荷的 10%，保持 5min 后，测量并记录两标记之间的距离。然后缓慢加载到规定的试验载荷，保持 5min 后逐渐卸载。当载荷降至规定载荷的 10% 时，再测量两标记间的距离。

10.1.5.3　锚的拉力试验载荷应按锚的重量确定，并符合表 10.1.5.3 的规定。对不同类型的锚，表中锚的重量 m_a 按下列规定计算：

(1)　对于无杆锚，为锚的实际总重量；

(2)　对于有杆锚，为不包括横杆的锚实际重量；

(3)　对大抓力锚，按锚的实际重量的 1.33 倍计。除另有协议外，系泊锚也应按此要求计算；

(4)　对超大抓力锚，按锚实际重量的 2 倍计。

锚的拉力试验载荷　　**表 10.1.5.3**

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 (kg)	拉力试验载荷 Q (kN)	锚的重量 m_a (kg)	拉力试验载荷 Q (kN)
50	23.2	1200	231.0	4800	645.0	11000	1070.0
55	25.2	1250	239.0	4900	653.0	11500	1090.0
60	27.1	1300	247.0	5000	661.0	12000	1110.0
65	28.9	1350	255.0	5100	669.0	12500	1130.0
70	30.7	1400	262.0	5200	677.0	13000	1160.0
75	32.4	1450	270.0	5300	685.0	13500	1180.0
80	33.9	1500	278.0	5400	691.0	14000	1210.0
90	36.3	1600	292.0	5500	699.0	14500	1230.0
100	39.1	1700	307.0	5600	706.0	15000	1260.0
120	44.3	1800	321.0	5700	712.0	15500	1270.0
140	49.0	1900	335.0	5800	721.0	16000	1300.0

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 (kg)	拉力试验载荷 Q (kN)	锚的重量 m_a (kg)	拉力试验载荷 Q (kN)
160	53.3	2000	349.0	5900	728.0	16500	1330.0
180	57.4	2100	362.0	6000	735.0	17000	1360.0
200	61.3	2200	376.0	6100	740.0	17500	1390.0
225	65.8	2300	388.0	6200	747.0	18000	1410.0
250	70.4	2400	401.0	6300	754.0	18500	1440.0
275	74.9	2500	414.0	6400	760.0	19000	1470.0
300	79.5	2600	427.0	6500	767.0	19500	1490.0
325	84.1	2700	438.0	6600	773.0	20000	1520.0
350	88.8	2800	450.0	6700	779.0	21000	1570.0
375	93.4	2900	462.0	6800	786.0	22000	1620.0
400	97.9	3000	474.0	6900	794.0	23000	1670.0
425	103.0	3100	484.0	7000	804.0	24000	1720.0
450	107.0	3200	495.0	7200	818.0	25000	1770.0
475	112.0	3300	506.0	7400	832.0	26000	1800.0
500	116.0	3400	517.0	7600	845.0	27000	1850.0
550	125.0	3500	528.0	7800	861.0	28000	1900.0
600	132.0	3600	537.0	8000	877.0	29000	1940.0
650	140.0	3700	547.0	8200	892.0	30000	1990.0
700	149.0	3800	557.0	8400	908.0	31000	2030.0
750	158.0	3900	567.0	8600	922.0	32000	2070.0
800	166.0	4000	577.0	8800	936.0	34000	2160.0
850	175.0	4100	586.0	9000	949.0	36000	2250.0
900	182.0	4200	595.0	9200	961.0	38000	2330.0
950	191.0	4300	604.0	9400	975.0	40000	2410.0
1000	199.0	4400	613.0	9600	987.0	42000	2490.0
1050	208.0	4500	622.0	9800	998.0	44000	2570.0
1100	216.0	4600	631.0	10000	1010.0	46000	2650.0
1150	224.0	4700	638.0	10500	1040.0	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>48000kg 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>36000kg 时，其拉力试验负荷 Q 为：$Q=2.452\,m_a^{2/3}$kN。

10.1.5.4　经拉力试验后，应对锚进行如下检查：

(1)　外观检查和无损检测：成品锚经拉力试验后，应按表 10.1.5.4(1) 要求对锚进行外观检查和无损检测。

(2)　残余变形 (即两标记之间的距离) 测量：有杆锚应无明显的残余变形，无杆锚的残余变形应不超过标距长度的 1%。

(3)　转动灵活性：组合锚应能灵活地自由转动到其设计的最大角度。如上述转动不灵活或不能转到该最大角度时，应消除缺陷，并重做拉力试验。如仍不合格，则锚不能被验收。

拉力试验后锚的外观检查和无损检测　　**表 10.1.5.4(1)**

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

注：铸钢件的无损检测应符合本篇第 5 章第 1 节和第 2 节的有关规定；锻钢件的无损检测应符合本篇第 6 章第 1 节和第 2 节的有关规定。组合锚焊缝应符合相关的质量要求。

10.1.6　抓力试验

10.1.6.1　设计为具有大抓力或超大抓力的锚，在认可时，应按下列要求以全尺寸锚在不同类型底质 (通常为软泥或淤泥、砂石或砾石、坚实的粘土或类似的坚实的底质) 的海上进行抓力试验。

10.1.6.2　抓力试验用锚的重量应尽可能代表拟认可的该型锚整个系列重量范围。通常应按下列要求选取：

(1)　对大抓力锚应在整个尺寸系列中至少选取两种规格的锚进行海上抓力试验。两种规格中较大的一个应不小于该系列中最大规格锚的重量的 10%；而较小的一个应不小于较大一个锚的重量的 10%；

(2)　对超大抓力锚至少应在整个尺寸系列中锚重量的低端、高端和中间各选取一个进行试验。

10.1.6.3　为了确定系列范围内锚抓力，试验时还应取与试验锚重量相近的普通无杆锚一起进行对比试验。若不使用普通无杆锚，也可采用其他已认可的大抓力锚或超大抓力锚。

10.1.6.4　试验时所用的锚链直径应与试验锚相适配。每根锚链的长度应使被拖的锚柄保持水平。为此，锚链的长度通常为锚链筒口至海底垂直距离的 10 倍，但至少应为锚链筒口至海底垂直距离的 6 倍。

10.1.6.5　每个锚应在每一类型底质上进行 3 次试验。应尽可能注意锚的稳定性和易拔出性。试验通常可由拖轮进行拖拉，也可以岸上试验进行替代。拉力应以测力计测定。允许用拖轮的转速与系柱拖力曲线求得的读数代替测力计的读数。抓力试验的载荷应不超过表 10.1.5.3 该锚拉力试验的载荷。

10.1.7　证书与标记

10.1.7.1　凡经检验合格的锚均应具有下列内容的船用产品证书或等效证明文件：

(1)　生产厂名

(2)　订货号 (如有时)；

(3) 锚柄和锚爪上的铸件识别号；
(4) 锚的形式、名义重量和实际重量；
(5) 热处理情况；
(6) 锚材料等级或牌号；
(7) 锚拉力试验负荷；
(8) 锚上的标记。

10.1.7.2 经检验合格的锚，应在锚爪和锚柄上打上 CCS 认可标记和下列内容的标记：
(1) 制造厂的标记；
(2) 产品证书号码；
(3) 锚的总重量；
(4) 锚柄的重量；
(5) 经认可的大抓力锚或超大抓力锚的印记 HHP 或 SHHP；
(6) 锚铸件的唯一编号 (此编号应铸在锚柄和锚爪上)。

锚爪的标记应标在从冠部沿锚柄看，右侧锚头的冠部中心至爪尖顶点 2/3 处。锚柄上的标记应标在与锚爪尖齐平处。

第 2 节 船用锚链及其附件

10.2.1 适用范围

10.2.1.1 本节规定适用于轧制圆钢和锻钢制成的船用有档锚链及其附件的材料、设计、制造和试验。

10.2.1.2 本节规定的船用锚链包括普通链环、加大链环、末端链环、肯特卸扣、连接卸扣、末端卸扣、转环和转环卸扣。

10.2.1.3 无档短链可按 CCS 接受的有关标准进行制造和试验。

10.2.1.4 锚链根据其公称抗拉强度，分为 1、2 和 3 共 3 个等级。

10.2.2 锚链材料

10.2.2.1 锚链用轧制圆钢应满足本规范第 1 篇第 3 章第 12 节有关船用锚链材料的相应要求。

10.2.2.2 除下列规定外，用于附件制造的锻钢应符合本篇第 5 章第 1 节的有关规定：

(1) 锻钢的化学成分应符合 CCS 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。

(2) 锻钢锚链的坯料应参照本篇第 3 章 3.12.5 的规定取样进行力学性能试验。

10.2.2.3 除下列规定外，用于附件制造的铸钢应符合本篇第 6 章第 1 节的有关规定：

(1) 化学成分应符合 CCS 接受的技术条件，铸造厂应测定并保证每炉钢的化学成分。

(2) 所有铸件均应按表 10.2.6.1 对相应钢级的规定进行适当热处理。

10.2.2.4 横档应采用与锚链钢相应的可焊接材料制成 (如轧制或锻制的低碳钢)。不允许采用灰铸铁或球墨铸铁等材料。

10.2.2.5 锚链原材料制造厂应在材料的端部清晰地标出商标、钢材等级、可追溯至原始炉号的标记。当直径为 40mm 及以下的圆钢成捆包装交货时，应牢固地系有载有上述内容的标签。

10.2.3 锚链及附件的设计与制造

10.2.3.1 制造锚链及其附件的工厂应经 CCS 认可。

10.2.3.2 锚链及其附件应按公认的标准进行设计与制造，其典型的结构见图 10.2.3.2(1)~(7)，图中数字为公称直径 *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生产的附件，应将其尺寸、制造方法及热处理过程的全部图纸及工艺提交 CCS 认可。

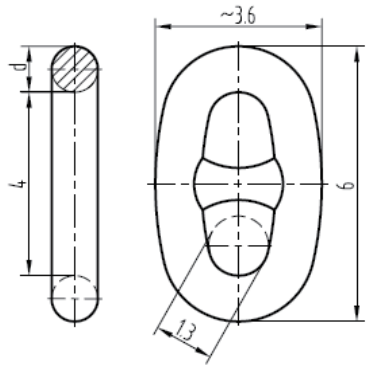


图 10.2.3.2(1)　普通链环

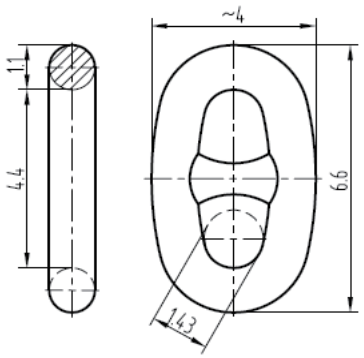


图 10.2.3.2(2)　加大链环

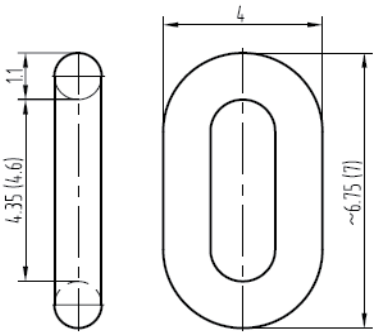


图 10.2.3.2(3)　未端链环

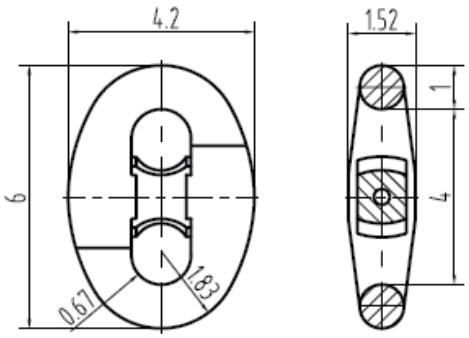


图 10.2.3.2(4)　肯特卸扣

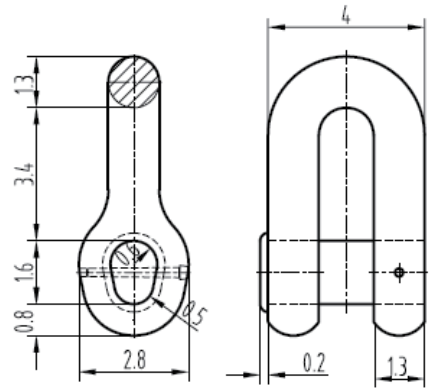


图 10.2.3.2(5)　连接卸扣

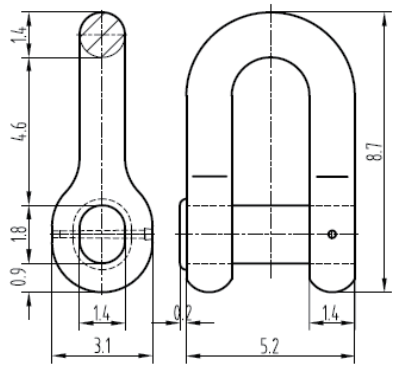


图 10.2.3.2(6)　未端卸扣

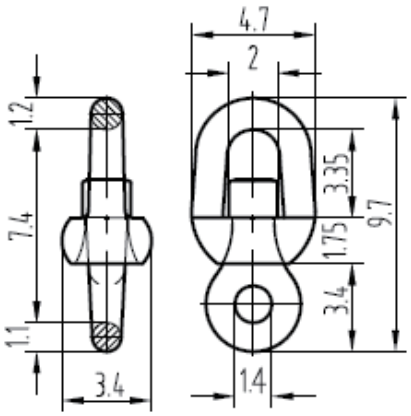


图 10.2.3.2(7)　转环

10.2.3.3　有档锚链应尽量采用闪光对接焊制造。对公称直径不超过 26mm 的 1 和 2 级无档锚链，根据要求也可采用电阻对接焊。

10.2.3.4　锚链附件，如卸扣、转环和转环卸扣等，至少应采用不低于 2 级的锚链钢用锻造方法制造。如采用焊接方法制造，应经 CCS 专门认可。锚卸扣允许采用铸造方法制造，其材料的等级应不低于 2 级锚链钢。

10.2.3.5　链环档的焊接应符合下列要求：

(1)　横档的焊入应只在与闪光焊缝相对一侧的链环上进行，横档的两端与链环内侧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终热处理前进行；

(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，可要求进行焊接方法的试验。

10.2.4　表面质量

10.2.4.1　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、缺口和夹杂等降低产品性能的缺陷。由落锻或顶锻所产生的飞边应予以清除。

10.2.4.2　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 10.2.5)，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%。

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

10.2.5　尺寸和公差范围

10.2.5.1　锚链及其附件的结构尺寸，应符合公认的有关标准。

10.2.5.2　链环的尺寸公差应符合下列要求：

(1)　链冠处的直径应在平行链环平面和垂直于链环平面各测一次，其与公称直径 d 的偏差应符合表 10.2.5.2(1) 的要求，且横截面积不能有负偏差：

链冠处的直径允许偏差　　**表 10.2.5.2(1)**

公称直径 (mm)	$d \leqslant 40$	$40<d \leqslant 84$	$84<d \leqslant 122$	$d>122$
允许偏差 (mm)	-1~+0.05d	-2~+0.05d	-3~+0.05d	-4~+0.05d

(2)　链冠以外的链环直径无负偏差，其正偏差为公称直径的 5%。闪光焊缝处的直径正偏差应符合认可工艺的规定；

(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无间隙 (按图 10.2.5.2(5) 进行测量)，则允许存在不超过下列要求的制造公差：

1)　最大中心偏移 X 为链径的 10%，X 按公式 $X=(A-a)/2$ 计算。

2)　最大偏移角度 $\alpha \leqslant 4°$。

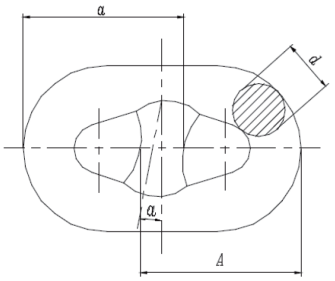


图 10.2.5.2(5)

为了便于拆装肯特卸扣，每节锚链两端的加大链环的横档可稍偏离链环的中心位置。

10.2.5.3　锚链附件尺寸偏差应不超过下列值：

公称直径：0%~+5%；

其他直径：±2.5%。

10.2.6　成品锚链和附件的热处理

10.2.6.1　锚链或附件应根据其等级按表 10.2.6.1 规定的交货状态进行必要的热处理。热处理应在锚链或附件制造完工后且未进行拉力试验、破断试验和成品锚链材料力学性能试验之前进行。

锚链的交货状态　　**表 10.2.6.1**

锚链及附件的等级	锚链	附件
1	焊态或正火	不适用
2	焊态或正火①	正火
3	正火、正火加回火或淬火加回火	正火、正火加回火或淬火加回火

注：① 当 2 级锚链以锻的方法制造时，则应进行正火处理。

10.2.7　成品锚链的试验

10.2.7.1　所有的成品锚链应在验船师在场时，按公认的标准进行拉力和破断试验，不应断裂或出现裂纹。应对闪光焊缝处的外观检查特别注意，为此检验前不可在锚链上涂有油漆或防腐涂料。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。

10.2.7.2　拉力试验：每节锚链 (27.5m) 应在经认可的试验机上，按表 10.2.7.2 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%。

锚链的拉力和破断试验载荷　　**表 10.2.7.2**

试验载荷	1	2	3
拉力载荷 (kN)	$0.00686d^2(44-0.08d)$	$0.00981d^2(44-0.08d)$	$0.01373d^2(44-0.08d)$
破断载荷 (kN)	$0.00981d^2(44-0.08d)$	$0.01373d^2(44-0.08d)$	$0.01961d^2(44-0.08d)$

10.2.7.3　破断试验：验船师应以每批不超过四节的锚链中取不少于 3 个链环的锚链作为试样，并按表 10.2.7.2 规定的破断载荷进行试验。试验时，破断载荷至少应保持 30s。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。

如果试验机的拉力不足以供大链径的锚链作破断试验，则应经协商采用其他等效的方法进行试验。

如果施加所规定的载荷之后，试样未出现破断现象，则认为试样已通过该项试验。

10.2.7.4　复试：如果破断试验不符合要求，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 节锚链分别作破断试验，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，经 CCS 认可，可采用局部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。

10.2.7.5　2 和 3 级锚链应以每 4 节焊接锚链为一批；对锻造锚链则以浇铸炉号和热处理炉号分批，每批不大于 4 节锚链。每批应按表 10.2.7.5 的要求制取 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。试验链环应与该批锚链一起制造和热处理。

完工锚链和附件的力学性能试验取样数量　　表 10.2.7.5

等级	制造方法	供货状态	试样数量		
			母材拉伸试验	夏比冲击试验	
				母材	焊缝
1	闪光对接焊	焊接、正火	不要求	不要求	不要求
2	闪光对接焊	焊接	1	3	3
		正火	不要求	不要求	不要求
	锻造或铸造	正火	1	3①	不适用
3	闪光对接焊	正火、正火加回火、淬火加回火	1	3	3
	锻造或铸造	正火、正火加回火、淬火加回火	1	3	不适用

注：① 仅适用于附件。

10.2.7.6　力学性能试验应在验船师在场时进行。链环力学性能应符合本节表 10.2.8.4 的规定。

10.2.7.7　链环力学性能试验不合格者，可按本篇第 2 章 1.2.3 的相关要求，取样进行复试。

10.2.7.8　如复试仍不合格，可该节锚链进行重新热处理，并重新取样进行，复试一次后，如仍不合格，则该节锚链应判为不合格。

10.2.8　锚链附件的试验

10.2.8.1　拉力试验：所有的附件应按本节表 10.2.7.2 规定的相应锚链的拉力载荷进行拉力试验。

10.2.8.2　破断试验：对由 25 个或不足 25 个卸扣、转环、转环卸扣、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 个附件作为破断试验试样；而对肯特卸扣则以 50 个或不足 50 个为一个制造批量，取 1 个链环作为试样，按本节表 10.2.7.2 所规定的破断载荷进行破断试验。凡做过破断试验的附件一般不可再使用。

若末端链环和加大链环是与锚链一起制造、热处理和试验时，则不必再进行破断试验。

10.2.8.3　凡同时符合下列条件者，CCS 可同意免作破断试验：

(1)　对相同结构附件进行认可试验时，其破断载荷已被验证者；

(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。

10.2.8.4　对相同炉批号、同炉热处理、尺寸相似的锻造或铸造锚链附件可作为一个制造批量。在热处理后每批至少应抽取一个附件按本节 10.2.7.5 的规定截取试样，进行力学性能试验。试验结果和复试要求均应满足表 10.2.8.4 的规定。

完工锚链和附件的力学性能　　表 10.2.8.4

锚链及附件等级	屈服强度 R_{eH} (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 (%)	断面收缩率 Z (%)	夏比 V 型缺口冲击试验		
					试验温度 (℃)	冲击功 (J)	
						母材	焊缝
2	≥ 295	490~690	≥ 22	无要求	0	≥ 27	≥ 27
3	≥ 410	≥ 690	≥ 17	≥ 40	0(-20)①	≥ 60(35)	≥ 50(27)

① 3 级完工锚链的冲击试验温度通常为 0℃。当订货方有要求时，可按 -20℃冲击为交货条件。

10.2.9　标记和证书

10.2.9.1　经 CCS 检验合格的锚链和附件，应按图 10.2.9.1 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)　CCS 的标志。

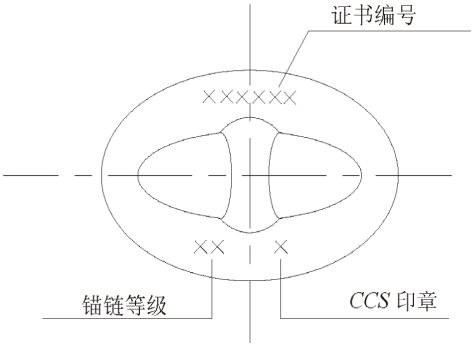


图 10.2.9.1

证书编号可以为缩写或其他等效的标记，并应在相应的证书中说明。

10.2.9.2　符合要求的锚链或附件应由 CCS 签发证书，证书上应至少有下列各项：

(1)　制造厂名称；

(2)　等级；

(3)　炉号 (适用于附件)；

(4)　化学成分 (包括铝的总含量)；

(5)　名义直径 / 重量；

(6)　拉力载荷 / 破断载荷；

(7)　热处理；

(8)　锚链或附件的标记；

(9)　长度 (适用于锚链)；

(10)　力学性能 (如适用)。”

第 3 节　海上设施定位用系泊链及其附件

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上设施定位系泊用的系泊链以及附件的设计、制造和试验。

10.3.1.2　本节规定的系泊链包括普通有档和无档链环、普通替换链环、加大链环、末端链环、可拆卸连接链环 (如：卸扣)、末端卸扣、水下连接器、转环、转环卸扣。

10.3.1.3　无档系泊链通常仅一次性用于在预先确定寿命的长期永久性系泊系统中。

10.3.1.4　用于海上单点系泊装置的防擦链通常也应按本节相关要求制造。

10.3.2　系泊链等级

10.3.2.1　根据制造厂所生产所采用材料的公称抗拉强度，系泊链分为 R3、R3S、R4、R4S 和 R5 五个等级。

10.3.2.2　制造厂对于 R4S 和 R5 级链的性能规定可以依据设计条件与 CCS 商议验收条件。

10.3.3　材料

10.3.3.1　焊接系泊链及其附件用轧制圆钢应满足本规范第 1 篇第 3 章第 10 节的相关要求。

10.3.3.2　除下列规定外，用于附件制造的锻钢应符合本篇第 5 章第 1 节的有关规定。

(1)　锻钢应满足认可的技术条件和在认可时提交认可的试验报告。钢应以吹氧转炉、电炉或其他

经特别认可的工艺制造。所有钢级均应经镇静和细化晶粒处理 ,R4S 和 R5 级钢还应经真空脱气处理。

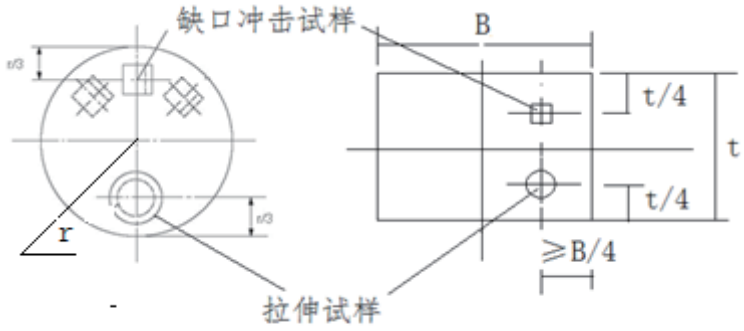
(2) 制造厂应测定每炉钢的熔炼化学成分。钢的化学成分应符合认可时 CCS 接受的技术条件。

(3) 锻钢材料应按公认的标准 (如 ：ASTM E112) 进行晶粒度检测 , 其显微奥氏体晶粒度应为 6 或更细。对圆钢检测位置为表面下半径 1/3 处，对非圆钢材则为材料厚度的 1/4 处。

(4) 用于 R4S 和 R5 级附件的锻钢，应每炉按公认的国际 / 国家标准进行夹杂物的定量和评估 (如 ISO 4967)，偏析和气孔检查 (如 ASTM E381)，并进行淬硬性测定 (如 ASTM A255)。结果应满足认可时确定的要求。

(5) 完工的锻件应按工厂提交并经认可的技术规程进行适当的热处理。

(6) 在适当的热处理后，应以相同炉号、相同热处理，且直径相差不大于 25mm 的锻钢为一批，抽取一个试件，每个试件按本篇第 3 章第 12 节图 3.12.5.2 或本节图 10.3.3.2(4) 所示位置取 1 个拉伸 3 个冲击试样进行力学性能试验。力学性能应不低于本篇第 3 章第 12 节对系泊链用圆钢的相关要求。



a 圆横截面试件的取样位置　　b 矩形横截面试件的取样位置

图 10. 3. 3. 2(4)　力学性能试样的取样位置

(7) R3S、R4、R4S 和 R5 级锻钢件，每炉应按本篇第 3 章第 12 节 3.12.5.3 的规定进行氢脆试验。

(8) 对交货的锻钢件表面应按工厂提交的检测工艺文件，采用公认的标准 (如 EN 10228-1 或其他等效标准) 进行连续湿式磁粉检测法检测。且应按不低于 1% 的比例在制造过程的适当阶段用公认的标准 (如 ISO 13588，或其他等效标准) 进行超声波无损检测。检测结果应满足认可时提交的标准要求。

(9) 系泊链用锻件材料的非机加工表面缺欠允许打磨，但深度不大于 5% 名义直径。除非为确认伪缺陷而进行最大深度为 0.8mm 的轻微打磨外，机加工表面不允许打磨。任何缺陷不允许采用焊接修补。

10.3.3.3　除下列规定外，用于附件 (锚卸扣) 制造的铸钢应符合本篇第 6 章第 1 节的有关规定。

(1) 铸钢应满足认可的技术条件和认可时提交认可的试验报告。钢应以吹氧转炉、电炉或其他经特别认可的工艺制造。所有钢级均应经镇静和细化晶粒处理，R4S 和 R5 级钢还应经真空脱气处理。

(2) 制造厂应测定每炉钢的熔炼化学成分 , 钢的化学成分应符合认可时 CCS 接受的技术条件。

(3) 铸钢件应按公认的标准 (如 ：ASTM E112) 进行晶粒度检测 , 其显微奥氏体晶粒度应为 6 或更细。其检测位置对圆截面钢材为表面下半径 1/3 处，对非圆截面钢材则为材料厚度的 1/4 处。

(4) 用于 R4S 和 R5 级附件的锻钢，应每炉按公认的国际 / 国家标准进行夹杂物的定量和评估 (如 ISO 4967)，偏析和气孔检查 (如 ASTM E381)，并进行淬硬性测定 (如 ASTM A255)。结果应满足认可时确定的要求。

(5) 所有铸件均应按工厂提交并经认可的技术规程进行适当的热处理。

(6) 铸钢应以相同炉号、相同热处理，且尺度相似的材料为一批抽取 1 个试件，每个试件按本篇第 3 章第 12 节图 3.12.5.2 所示位置取 1 个拉伸 3 个冲击试样进行力学性能试验。力学性能应不低于本篇第 3 章第 12 节对系泊链用圆钢的相关要求。但对 R3 和 R3S 级的铸钢件，其断面收缩率可为 40%，对 R4、R4S 和 R5 的铸钢件，其断面收缩率可为 35%。

(7) 对交货的铸件表面应按工厂提交的检测工艺文件，采用公认的标准 (如 ASTM E709 或其他等效标准) 采用连续湿式磁粉检测法进行检测。且应按不低于 1% 的比例在制造过程的适当阶段用公认的标准 (如 ISO 13588，或其他等效标准) 进行超声波无损检测。检测结果应满足认可时提交的标准要求。

(8) 对位于非加工面深度小于 5% 名义直径的缺欠可用打磨方法去除 ；除非为确认伪缺陷而进行

最大深度为 0.8mm 的轻微打磨外，机加工表面不允许打磨。当去除的缺欠超过 5% 直径或厚度时，应按下列要求对缺欠区域用焊接修补：

① 去除缺陷后的凹槽形状应方便焊接，并打磨光顺，且用无损检测方法验证已彻底消除缺陷；

② 当凹槽的深度超过直径或厚度的 25% 或 25mm，取较小值，为大焊补。其他焊补为小修补；

③ 对大焊补，在焊补前应进行工艺认可。除须进行焊缝金属、熔合线、热影响区 2mm 和 5mm 位置进行冲击试验外，焊补工艺应按公认标准 (如 ISO 15614 或等效标准) 进行考核。试验结果应满足母材的规定要求。大焊补的方案应附有显示修补范围和位置的草图或照片。

④ 大焊补前应对整个铸件进行晶粒细化处理，焊补后应进行焊后热处理或按铸件原热处理要求进行热处理。

⑤ 所有焊补均应记录在显示修补范围和位置的草图或照片上。

10.3.3.4　用于 R4S 和 R5 级附件的锻钢和铸钢交货时，除常规钢材信息外，附件的质量文件还应提供包括每炉钢材的夹杂物含量、偏析和气孔、淬硬倾向、氢脆试验和超声波检测结果，以及附有草图或照片的焊接修补记录 (如有时)。

10.3.3.5　横档材料应与链环材料相一致或满足提交 CCS 并被认可的技术条件。如横档需要焊接，其含碳量一般应不大于 0.25%，或碳当量不超过 0.58%。

10. 3. 4　系泊链设计

10.3.4.1　系泊链及其附件的详细图纸和计算书应提交 CCS 认可。有档系泊链典型的设计可参见图 10.2.3.2，无档链环的形状和比例应符合 10.3.8.6(5) 的规定，其他无档链的比例应经特别认可。新型或非标准设计的链环、卸扣或附件可要求进行疲劳分析，并进行可行的其他性能试验、疲劳试验或腐蚀疲劳试验。

10.3.4.2　对有档系泊链，横档的详细图纸应提交 CCS 备查。链环上的压痕应具有足够的深度，以使横档安装牢固，其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。

10.3.4.3　肯特卸扣的机加工后的角部圆角半径至少应为名义直径的 3%。

10. 3. 5　系泊链制造

10.3.5.1　系泊链制造厂应经 CCS 认可，并从 CCS 认可的钢厂购买制造系泊链用的圆钢。

10.3.5.2　系泊链应采用闪光对接焊连续制造。除以短链 (如防擦链) 交货的特殊情况下外，系泊链应在连续热处理炉中进行热处理，不允许采用分批热处理。

10.3.5.3　有缺陷的链环可采用替换链环替代，但型式和数量应征得最终购买方的书面同意。每 100m 长度的系泊链中最多可使用 3 个替换链环。

10.3.5.4　圆钢加热应符合下述规定：

(1)　圆钢应以电阻炉、感应炉或普通加热炉加热。

(2)　当采用电阻或感应加热时，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。

(3)　当采用普通加热炉加热时，应采用紧挨系泊链圆钢的热电偶连续记录炉温并控制加热过程。控温系统应至少每 8h 校验 1 次，并作记录。

10.3.5.5　在每个链环的闪光焊接过程中，应对电极移动速度、通电时间与电流，以及液压压力等参数进行控制。这些参数应至少每 4h 校验 1 次，并作记录。

10.3.5.6　系泊链的热处理应符合下述要求：

(1)　按已确定限制范围的温度和时间关系，将系泊链加热到上转变温度以上，使之奥氏体化。

(2)　如适用，系泊链应以规定的温度－时间关系进行回火。回火后的冷却速度应适当，以避免产生回火脆性。

(3)　温度－时间或温度－走链速度应予以控制，并作连续记录。

10.3.5.7　圆钢加热、链环的闪光焊和热处理记录应能使验船师方便查阅。

10. 3. 6　横档的安装

10.3.6.1　R3 及 R3S 级系泊链的横档可采用焊接方法加固。除经 CCS 特别批准外，R4、R4S 和 R5 级系泊链横档不允许焊接。

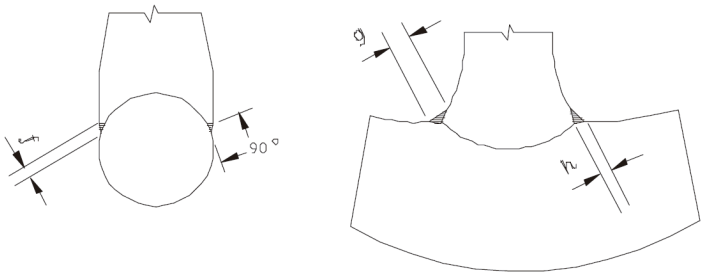
10.3.6.2　如横档采用焊接方法加固，则焊接应在系泊链最终热处理之前进行。

10.3.6.3　横档的两端应与链环内侧有良好的配合。横档的焊接加固只能在与闪光焊缝相对的一面进行，除经批准外，应对横档端部采用周向焊接。

10.3.6.4　除经批准外，不允许在横档两端施焊。

10.3.6.5　横档焊接应由合格的焊工使用经认可的低氢焊接材料按认可的工艺焊接。

10.3.6.6　角焊缝的尺寸应符合图 10.3.6.6 的要求。



图中：$f=0.1d^{0}_{-0.01d}$，$g=0.2d^{0}_{-0.02d}$，$h=0.09d^{0}_{-0.01d}$

图 10.3.6.6

10.3.6.7　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。

10.3.6.8　所有焊缝应进行目检。在拉力试验后，应对每节系泊链中至少 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，则应对该节系泊链的所有横档焊缝进行检测。

10.3.7　替换链环

10.3.7.1　用于替换试验环或有缺陷链环而不必对整节系泊链重新热处理的单个链环应按认可的工艺制造。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。

10.3.7.2　替换链环的制造和热处理应不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℃。

10.3.7.3　每一个替换链环均应按表 10.3.8.5、10.3.8.9 和 10.3.8.10 的要求进行拉力试验、外观检查和无损检测。还应制造一个与该替换链环相同的链环，并按 10.3.8.8~10.3.8.10 的要求进行试验和检测。

10.3.7.4　每一个替换链环均应按 10.3.10.1 的要求在有档链的横档上或无档链闪光焊缝对面平直段的链环外侧处打上满足本节 10.3.10 要求的特殊标记和唯一编号。与其相邻链环的横档或链环平直段上也应打印特殊标记。

10.3.8　系泊链的试验和检查

10.3.8.1　本小节适用但并不限于成品系泊链 (如普通有档和无档链环、端部链环、加大链环和替换链环) 的试验和检查。

10.3.8.2　检查前，应采用喷砂、抛喷丸或其他合适的方法去除系泊链表面的氧化皮、油漆或其他覆盖物，且具有与所用无损检测标准相适应的表面。

10.3.8.3　系泊链应具有与其制造方法相适应的光洁表面，且应无裂纹、沟槽和妨碍系泊链使用的其他缺陷。每个链环应按认可的程序进行检查。系泊链及其附件的结构尺寸，应符合 CCS 接受的有关标准或认可的特别设计要求。

10.3.8.4　经最终热处理后，所有系泊链应在验船师在场时，按 CCS 接受的标准进行拉力试验、抽样破断试验和力学性能试验。如果制造厂有拉力试验记录加载载荷的程序，且记录系统足以使验船师满意，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保持良好的工作状态。

10.3.8.5　系泊链应按下述要求进行拉力试验和破断试验：

(1)　整根系泊链应能承受表 10.3.8.5(1) 中规定的拉力载荷的试验无破裂，且闪光焊缝中无裂纹，横档应无明显松动。拉链时所施加的载荷应不超过 110% 规定拉力试验负荷。如果采用塑性变形法紧固横档时，则施加载荷应不超过认可试验时所确定的值；

拉力和破断试验负荷、重量与五环长度　　表 10.3.8.5(1)

有档链	R3	R3S	R4	R4S	R5
拉力试验载荷 (kN)	0.0148*K*	0.0180*K*	0.0216*K*	0.0240*K*	0.0251*K*
破断试验载荷 (kN)	0.0223*K*	0.0249*K*	0.0274*K*	0.0304*K*	0.0320*K*
无档链	R3	R3S	R4	R4S	R5
拉力试验载荷 (kN)	0.0148*K*	0.0174*K*	0.0192*K*	0.0213*K*	0.0223*K*
破断试验载荷 (kN)	0.0223*K*	0.0249*K*	0.0274*K*	0.0304*K*	0.0320*K*
系泊链重量 (kg/m)	有档链 $0.0219d^2$		无档链应按设计，计算重量		
5 环长度 *L*	$22d \leqslant L \leqslant 22.55d$				

表中：$k=d^2(44-0.08d)$

d—— 系泊链的公称链径，mm。

(2)　至少由 3 个链环组成的拉断试样应从系泊链或与系泊链同时同样方法制造的产品中制取。试验的频率应符合表 10.3.8.5(2) 规定的取样间隔，且原材料的各炉批次均有代表。每一个试样均应能承受表 10.3.8.5(1) 规定的破断载荷并保持 30s，而无断裂，且闪光焊缝处不出现裂纹，则认为该试验合格；

破断试验和力学性能试验的取样频率　　表 10.3.8.5(2)

公称链径　(mm)	⩽ 48	49 ~ 60	61~73	74~85	86~98	99~111	112~124	125~137
最大取样间隔 (m)	91	110	131	152	175	198	222	250
公称链径　(mm)	138~149	150~162	163~175	176~186	187~199	200~210	211-222	
最大取样间隔 (m)	274	297	322	346	370	395	420	

(3)　对于直径超过 100mm 的系泊链，经 CCS 同意，上述 3 环断裂试验的试样可以用单个链环替代。采用替代试样时，试验的频率、代表性和试验载荷均应满足上述 (2) 的规定；

(4)　当试验机能力不足时，若试验和校准程序经 CCS 同意，可采用具有足够加载能力的替代加载试验机 (如两个加载器并联)。

10.3.8.6　拉力试验过程后，应按照下述要求对至少 5% 链环的尺寸进行测量。链环的形状和比例应符合公认标准或特别认可的设计要求和下列尺寸公差要求：

(1)　在链冠位置测得的最大和最小尺寸应满足表 10.3.8.6(1) 的偏差要求。但冠部横截面积不允许有负偏差，冠部横截面积应按带有正负偏差的平均值计算，测量时应至少在交错约 90° 的两个位置上测量；

链环链冠位置的链径尺寸偏差　　表 10.3.8.6(1)

公称链径 *d* (mm)	⩽ 40	40<*d* ⩽ 84	84<*d* ⩽ 122	122<*d* ⩽ 152	152<*d* ⩽ 184	184<*d* ⩽ 222
负偏差　(mm)	1	2	3	4	6	7.5
正偏差　(mm)	对名义链径大于或等于 20mm：0.05*d* 对名义链径小于 20mm：在认可时经 CCS 同意					

(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 CCS 认可的工厂技术条件；对链径小于 20mm 的系泊链，其正偏差应在认可时得到 CCS 的同意。

(3)　每 5 个链环组成的长度的制造公差为 0%~+2.5%(在加载不超过 10% 拉力试验载荷的条件下测量)；

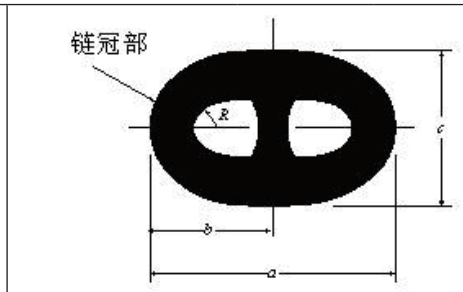
(4)　在系泊链的所有零件相互适配的情况下，除表 10.3.8.6(5) 规定外，其他所有尺寸的制造公差均为 ±2.5%；

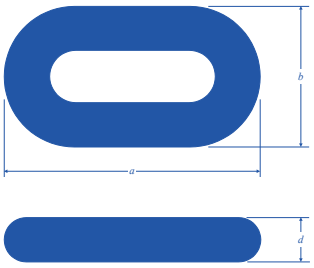
(5)　普通有档和无档链环的偏差应满足表 10.3.8.6(5) 的相关要求。链环的内外侧弯曲半径应均匀；

(6)　对有档链，其横档应置于链环的中心位置，并与链环两侧成直角。若横档采用紧配合，则其

两端与链环内侧应紧密贴合，通常应压入链环 2%~6% 的链直径，且满足表 10.3.8.6(5) 的偏差要求。

普通链环比例尺寸和偏差　　表 10.3.8.6(5)





符号	名　称	有链链环公称尺寸	负偏差	正偏差	无档链环公称尺寸	负偏差	正偏差
A	链环长度	6*d*	0.15*d*	0.15*d*	6*d*	0.15*d*	0.15*d*
B	半环长度	*a**/2	0.1*d*	0.1*d*	不适用	—	—
C	链环宽度	3.6*d*	0.09*d*	0.09*d*	3.35*d*	0.09*d*	0.09*d*
E	横档偏角	0°	4°	4°	不适用	—	—
R	内侧半径	0.65*d*	0	—	0.60*d*	0	—

注：① 表中：*d*—— 系泊链公称直径；*a**—— 实际链环长度。
② 无档链的其他尺寸比例应提交 CCS 审核。

10.3.8.7　拉力试验后，应对整根系泊链进行每次 5 个链环的长度校验。校验时，第一次测量前 5 个链环组，随后的每 5 个一组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。测量宜在系泊链施加 10% 的拉力试验载荷下进行。一组 5 个链环的长度偏差应满足表 10.3.8.5(1) 的要求，超过偏差则应经客户和 CCS 同意。位于牵引装置中的端部链环可免于测量。

10.3.8.8　按表 10.3.8.5(2) 规定的试验频率和取样规定，从完成热处理的系泊链上取下足够的试样链环，按下述要求进行金相检查和力学性能试验：

(1)　取一个金相试样 (如能确认材料的炉号，则可按每炉取一个)，在距表面 1/3 半径和中心处分别按公认的标准 (如 ISO 643) 检查母材、热影响区和焊缝的奥氏体晶粒度。奥氏体显微晶粒度应不低于 6。

(2)　每次应从链环中切取 1 个拉伸试样和 3 组每组 3 个夏比 V 型缺口冲击试样进行试验。各试样的取样位置如图 10.3.8.8(2) 或本篇第 3 章第 12 节图 3.12.5.2 所示，并满足下述规定：

拉伸试样应从闪光焊缝相对的一侧截取；

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。

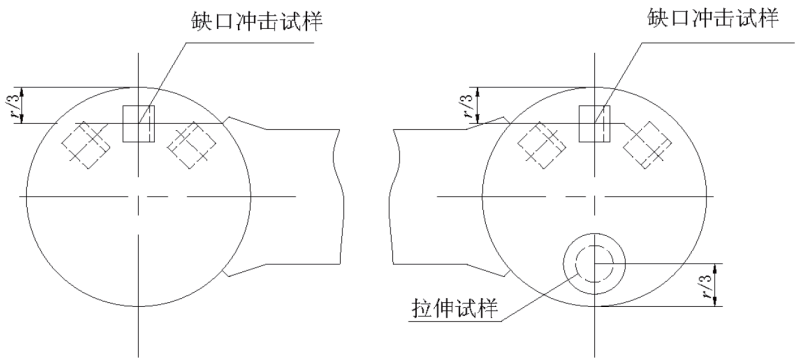


图 10.3.8.8(2)

(3)　如果统计结果表明所要求的冲击韧性能得到一贯的保证，经 CCS 同意，可以减少链冠区域的冲击试验频率。

(4)　试验结果应符合表 10.3.8.8(4) 的要求。

系泊链及附件材料的力学性能　　表 10.3.8.8(4)

系泊链及附件用材料等级	屈服点 $R_{P0.2}$ (N/mm²)	抗拉强度 R_m (N/mm²)	伸长率 A_5 (%)	断面收缩率 Z (%)	夏比 V 型缺口冲击试验		
					试验温度 (℃)	冲击功 (J)	
						母材	焊缝
R3	≥ 410	≥ 690②	≥ 17	50	0(-20)①	≥ 60(40)	≥ 50(30)
R3S	≥ 490	≥ 770②	≥ 15	50	0(-20)①	≥ 65(45)	≥ 53(33)
R4	≥ 580	≥ 860②	≥ 12	50	-20	≥ 50	≥ 36
R4S③	≥ 700	≥ 960②	≥ 12	50	-20	≥ 56	≥ 40
R5③	≥ 760	≥ 1000②	≥ 12	50	-20	≥ 58	≥ 42

注：① R3 和 R3S 级锚链的冲击试验温度通常为 0℃。当订货方有要求时，可以 -20℃温度下冲击作为交货条件。
② 材料的屈强比一般不大于 0.92。
③ 在最终热处理状态下的硬度对 R4S 应不大于 330HBW，对 R5 级钢应不大于 340HBW。

10.3.8.9　应按认可时经 CCS 同意的频率和位置，在成品系泊链上进行硬度试验。试验结果仅作为信息和验证系泊链生产过程中热处理工序稳定性。

10.3.8.10　拉力试验后，应将系泊链放置在能够方便地对整根系泊链表面进行检查的位置上，对每个链环的表面进行目检。为了最方便地检查链的表面，可将链挂在垂直位置，但检查链的互连部位只能将链放在平位置。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、表面裂缝、凹陷、划伤等。横档应足够牢固，无松档现象。

10.3.8.11　应采用与认可时提交 CCS 的工艺和验收标准，使用相同的和设备，按下列要求对下述部位进行磁粉检测：

(1)　每个链环的闪光焊缝区域和焊接夹具夹持处附近；此外，

(2)　10% 链环的所有可检测到的表面；

(3)　检测宜按公认的标准 (如 ISO 9934) 采用湿法连续荧光磁粉法进行检测。当此标准检测方法不可行时，也可接受非荧光磁粉法检测；

(4)　链环的表面、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。且无超过 1.6mm 横向线状磁痕显示或超过 3.2mm 的纵向线状磁痕显示，也无超过 4.8mm 的非线状磁痕显示。

10.3.8.12　应采用与认可时提交 CCS 的工艺和验收标准，使用相同的设备，按下列要求对系泊链进行超声波检测：

(1)　现场校准的标准试块，应配合链的形状，并经 CCS 认可；

(2)　每个链环的闪光焊缝区域应进行超声波检测；

(3)　按公认的标准 (如 ASTM E587)，采用波束角为 45°~70° 的单晶片斜探头进行检测。由于单片探头的技术局限性，仅涉及中心区域的检测，且对于闪光焊缝的缺欠如平面点缺欠折反射率较差，因此当认为必要，可能需要采用串列、相控阵或 TOFD 技术。

(4)　闪光焊缝区域内应无导致出现等于或超过标定标准回波信号的缺陷。

10.3.8.13　链档焊缝 (如有时) 应经外观检查。角焊缝的趾部应平顺过渡到链环，且无超过 1.0mm 的咬边。此外，至少分布在整根链上的 10% 链档焊缝应按公认标准 (如 ASTM E1417，或 ASTM E1444) 进行渗透检测或磁粉检测。裂纹、未熔合或密集气孔是不可接受的。如发现缺陷，则应扩大检查至整根系泊链的链档焊缝。

10.3.9　复试、报废和修整

10.3.9.1　若系泊链 5 环组的长度不足，且仅为偶然发生时，系泊链可用高于规定的拉力试验载荷，但不高于认可的载荷对系泊链进行拉伸。经拉伸处理的链环应在报告中记录。若长度超过规定的偏差，

则超长的链环应予以切除，并采用 10.3.9.2 的规定予以替换。

10.3.9.2　如果单个链环发现存在缺陷或不满足其他适用要求，则缺陷链环应予以切除并用替换链环替代。替换链环的单独热处理和检查程序应经 CCS 的同意。其他修补的方法应经 CCS 和最终用户的书面认可。系泊链不允许焊接修补。

10.3.9.3　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。打磨深度应不超过名义链径的 5%，且打磨部位与其周围的表面应无尖锐轮廓。打磨后链环尺寸仍应符合标准要求。

10.3.9.4　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 10.3.9.2 的要求替换。

10.3.9.5　如果链环的直径、长度、宽度及横档位置不符合规定的要求时，则应将这些链环与其左、右两侧各 20 个共 40 个链环的作相应尺寸比较。如果其中有两个以上的链环出现同样的尺寸不合格，则应对该节所有链环的尺寸进行测量。不合格的链环应予以切除并按 10.3.9.2 的要求替换。

10.3.9.6　如果破断试验失败，应立即通知验船师，一起进行全面检查以确定失败的原因。并在同一取样长度内的系泊链上再取两个试样进行附加破断试验。只有复试全部合格并根据失败原因分析不属产品质量问题，才能确定该取样长度的系泊链试验合格。只要有一个附加试样试验不合格，该试验环所代表的系泊链应予以报废。并取相同长度试验合格的链段替代。

10.3.9.7　如果拉力试验中，加载段中有一个链环失败，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。如果在试验段中发生两个或更多个链环失败，则该段系泊链应予报废。上述试验失败原因调查应特别着重于那些会引起其他取样长度的系泊链失败的因素或条件。

10.3.9.8　除上述试验失败原因调查外，还应从该试验失败链环的两侧各取一个拉断试样进行拉断试验。

当同时生产多条链，前后闪光焊的链环将以替换链环或其他端部链环连接起来。在这种情况下，CCS 可要求从包含有前后两种闪光焊链环的链中增加取样两个拉断试验。如两个破断试验和对失效情况研究的结果令验船师满意，则可考虑验收这节系泊链。只有两个破断试验均合格并根据失败原因分析不属产品质量问题，才能确定该节系泊链试验合格。若有一个附加试样试验不合格，该加载段长度的系泊链应予以报废。缺陷链环应按 10.3.7 进行替换。

如果调查表明在闪光对焊中有缺陷或发现造成低级强度的闪光焊“虚焊”缺陷，则应附加进行 NDT(如相控阵) 检查确定是否有其他链环受到影响。焊接前需对闪光对接焊机进行一次全面评估，同时也需要对圆钢端部的状况进行评估。

10.3.9.9　对于链环材料的拉伸和冲击试验的复试的要求应符合本篇第 1 章第 2 节的相关规定。如果复试不合格，则该试样所代表的整节系泊链应予拒收。

10. 3. 10　标记、证书和文件

10.3.10.1　经 CCS 检验合格的系泊链，应按在下述位置打上标记：

(1)　系泊链的端部；

(2)　不大于 100m 的每一间隔处；

(3)　替换链环上；

(4)　与卸扣或替换链环相邻的链环处。

10.3.10.2　所有打上标记的链环应在产品合格证书上注明。标记应能识别系泊链的始端和末端。除上述要求的标记外，连续长度系泊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。这些标记应是永久性的，在系泊链的预计寿命内应始终字迹清晰。

10.3.10.3　在链环的横档上应作如下标记：

(1)　系泊链等级；

(2)　证书编号；

(3)　CCS 的印章。

10.3.10.4　证书编号可以为缩写或其他等效的标记。但如使用，则应在证书中予以说明。

10.3.10.5　系泊链证书应包括替换链环的位置和数量的信息。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。

10.3.10.6　制造厂应对每根长度连续的系泊链提供一本完整的、装订成册的系泊链检验和试验文

件。该文件应包括所有的尺寸检查、试验和检验报告、无损检测报告、制造过程记录、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。

应对每根连续的系泊链发给单独的证书。其所有附带文件、附录和报告均应注明该证书的编号。

制造厂有责任以安全并可随时调用的方式负责保存所有有关文件至少 10 年。

10.3.11　附件的试验和检查

10.3.11.1　本小节适用但并不限于成品系泊链用附件，(如可拆式连接链环 (卸扣)、可拆式连接板 (三角板)、末端卸扣、转环和转环卸扣，的试验和检查。

10.3.11.2　经最终热处理后，所有附件应在验船师在场时，进行拉力试验、取样破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。试验和检查前，所有附件表面应无氧化皮、涂漆或其他覆盖物。

10.3.11.3　对于附件的生产应向 CCS 提交包括附件产品特征、铸造、锻造、热处理 (包括部件在热处理炉内的布置、间距、淬火)、力学试验、拉力试验、破断试验、无损检测细节的制造工艺技术条件。

10.3.11.4　所有附件均按对应有档系泊链等级规定和规格的载荷进行拉力试验。

10.3.11.5　系泊链附件应以至少每批 (不超过 25 个) 取一个，按对其适用系泊链的等级和规格规定的载荷进行破断试验。每批应是源于同一炉钢和同一热处理批次。

小批量（少于 5 个）单独制造或热处理的附件，经 CCS 批准，可采用其他等效方法进行试验。但应满足下列条件：

(a)　制造工艺技术条件和书面程序文件中描述等效试验方法；

(b)　提供断裂载荷下的有限元分析，并证明附件具有高于系泊链断裂载荷的安全边界；

(c)　对与认可时相同的参数生产的等级材料按 CCS 同意的程序进行应变时效试验；

(d)　如果附件尺寸很大，难以进行批量热处理或具有独特的设计，则在初次认可和生产过程中进行的断裂试验时应进行应变测量。产品试验的应变测量结果应与认可时的结果相当。

经破断试验后的附件应毁弃不能作为系泊的组成部分使用。

10.3.11.6　拉力试验后，每批 (相同类型、相同尺寸、相同公称强度且不超过 25 个) 附件中应至少取一个附件校核尺寸。制造厂应提供一份满足订货合同要求的声明。

10.3.11.7　系泊链附件尺寸公差应不超过下列值：

公称直径：0%~+5%；

其他尺寸：±2.5%。

这些公差不适用于机加工表面。

10.3.11.8　在热处理后并经拉力试验合格的产品中 (每批不超过 25 个) 至少抽取 1 个全尺寸附件作为代表整批产品的试件，取样进行力学性能试验。成品附件应进行硬度试验，其频率和位置应经 CCS 同意。报告的硬度值仅作为信息，用于核查验证附件生产过程中热处理是否稳定。

除附件形状特别复杂外，不允许采用分离的代表试件。

10.3.11. 9　附件力学性能试验应满足下列要求：

(1)　锻造卸扣和锻造肯特卸扣应在其卸扣的冠部，参照图 10.3.8.8(2)，制取一组 3 个冲击试样和 1 个拉伸试样，其中冲击试样应取自弯曲半径的外侧。对较小直径的卸扣，冠部因几何尺寸而无法截取拉伸试样时，拉伸试样可以在其直段上截取。拉伸性能和冲击值应分别满足表 10.3.8.8(4) 的要求。

(2)　铸造卸扣和铸造肯特卸扣可从附件的直段处制取试样。取样位置参照图 10.3.8.8(2)，拉伸性能和冲击值应满足表 10.3.8.8(4) 的要求。

(3)　其他几何形状复杂的附件的取样位置应经 CCS 同意。通常对于非圆形截面产品，从表面下厚度的 1/4 处取样，对轧制板材类应按生产板材的标准进行试验。

10.3.11.10　小批量 (小于 5 个) 单独生产 (或热处理) 的附件，可由制造厂用书面方式详细列出每种替代试验的方案，提交 CCS 同意。并可以要求以下的附件条件：

(1)　若采用分离的锻造或铸造试件，应有与其代表的附件相当的横截面，并与实际锻件或铸件在同炉热处理，同时同一容器中淬火。热电偶应连接到该试件和附件上；

(2)　若同意用分离的锻造或铸造试件，则应通过工艺试验来验证试件的性能代表着附件的性能。

10.3.11.11　销的力学性能试验应参照图 10.3.8.8(2) 右侧图示，从与成品销相同直径，专用于试验

的销的中段中取样。对于椭圆形销，所取的直径应代表较细的直径。力学试验试样可取自一个与最终的销直径相同，但含有试验段和热处理缓冲段的延长样品销中，其中中部试验段的长度已确定。热处理后要切除的保护段长度应至少等于一个销的直径，然后从此销的延长段中取出试验段，如图 10.3.11.10 所示。保护段和试验段应取自销的同一端。

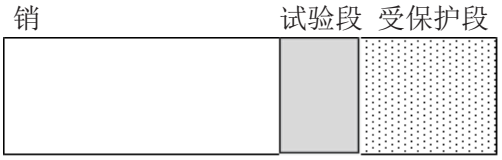


图 10.3.11.10　受保护段和试验的位置

10.3.11.12　拉力试验后，应按下列要求进行无损检测。

(1)　对每个附件的表面进行近观目检，应特别注意机加工表面和高应力区域。检查前附件应按所用无损检测方法标准的要求对表面进行适当处理。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。可行时，附件应拆开进行内表面检查。所有附件均应进行磁粉 (或渗透检测)。CCS 可要求进行超声波检测。

(2)　应按公认的标准 (如表 10.3.11.11 所示) 进行无损检测。检测工艺和相关的验收标准应提交 CCS 审核。

系泊链附件无损检测适用标准　　表 10.3.11.11

附件材料	检测方法	适用标准
锻件	磁粉检测	ISO 4986，IACS Rec.69，EN 10228-1，ASTM A275
	超声波检测	ISO 13588，EN 10228-3，ASTM A388
铸件	磁粉检测	ASTM E709，湿式连续磁化法
	超声波检测	ISO 13588，ASTM A609

(3)　整个表面均应经磁粉检测，检测应参照荧光磁粉技术的标准。表面应无：

超过 1.6mm 的横向线性显示；

超过 3.2mm 的纵向线性显示；

超过 4.8mm 的非线性显示。

(4)　当 CCS 有要求时，应对铸造或锻造的附件进行 100% 超声波检测，结果应满足设计定下的验收标准。

(5)　检验合格后制造厂应提供一份合格证书，该证书中应包括与检测方法和操作者资质的主要信息。

10.3.11.13　成品附件不允许进行焊接修补。

10.3.11.14　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。

10.3.12　附件的标记、证书和文件

10.3.12.1　每一经 CCS 检验合格的附件，均应打系泊链的等级标记。

10.3.12.2　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。

10.3.12.3　制造厂应对每一份订单提供 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、元部件装炉位置示例照片以及任何不合格、矫正和修整的记录。

10.3.12.4　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。

10.3.12.5　制造厂应以安全、可检索的方式，负责任地保存所有有关文件至少 10 年。

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锚泊、系泊和拖曳用的钢丝绳。

10.4.1.2　起重设备和货物系固用的钢丝绳的制造也可参照应用。

10.4.2　一般要求

10.4.2.1　钢丝绳应由 CCS 认可的工厂制造。

10.4.2.2　系船索、拖索和尾锚索用钢丝绳的结构型式一般应符合表 10.4.2.2 的规定。亦可采用公认的其他标准，或采用破断载荷相当、与用途相适应的其他结构型式。

10.4.2.3　吊艇索应是防旋转结构型式及耐腐蚀的钢丝索。

钢丝绳的结构型式　　**表 10.4.2.2**

用途	钢丝绳规格			股结构					
	股数	钢丝数	绳芯	股芯	中心丝	内层	中层	外层	股结构型式
尾锚索 拖索 系船索	6	24	纤维	纤维	0	—	9	15	(0+9+15)
	6	37	纤维	钢丝	1	6	12	18	(1+6+12+18)
	6	26	纤维	钢丝	1	5	(5+5)	10	$(1+5+\frac{5}{5}+10)$
	6	31	纤维	钢丝	1	6	(6+6)	12	$(1+6+\frac{6}{6}+10)$
	6	36	纤维	钢丝	1	7	(7+7)	14	$(1+7+\frac{7}{7}+10)$
	6	41	纤维	钢丝	1	8	(8+8)	16	$(1+8+\frac{8}{8}+10)$
	6	30	纤维	纤维	0	—	12	18	(0+12+18)
与绞车配合的拖索和系船索	6	31	钢芯	钢丝	1	6	(6+6)	12	$(1+6+\frac{6}{6}+12)$
	6	36	钢芯	钢丝	1	7	(7+7)	14	$(1+7+\frac{7}{7}+14)$
	6	41	钢芯	钢丝	1	8	(8+8)	16	$(1+8+\frac{8}{8}+16)$

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 CCS 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　钢丝的等级根据其规定最小抗拉强度一般分为 1420N/mm^2、1570N/mm^2、1670N/mm^2、1770N/mm^2、1870N/mm^2、1960N/mm^2 六级。除合同另有规定外，钢丝的实际抗拉强度应不超过规定最小抗拉强度的 1.2 倍。

10.4.3.3　除合同另有规定外，钢丝绳应一般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。

10.4.3.4　单根钢丝在整根钢丝绳长度中应尽可能无接头。如制造工艺无法避免接头时，应使各接头尽量互相远离。在任一股内，每 10 米长度仅允许存在一个钢丝的接头。

10.4.4　试样与试验

10.4.4.1　应从成品钢丝绳中截取适当的长度，并将其捻开和校直后，对钢丝进行外观检查。钢丝应平滑、光洁，无裂纹、起刺、伤痕和锈蚀等对使用有害的缺陷。镀锌钢丝的锌层应连续、均匀。

10.4.4.2　从上述捻开的钢丝绳中每一规格的钢丝任选 6 根作为试样 (中心钢丝和钢芯除外)，进行扭转和卷绕试验，用以检验钢丝镀锌层的粘着程度。也可根据具体情况，要求在制绳前进行钢丝的外观检查和扭转试验。此外，还应对镀锌层的锌重量进行测试。

10.4.4.3　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。为了保持试验时钢丝始终呈伸展状态，可在钢丝上施加不超过 2% 的钢丝公称破断载荷的拉力 ；

(3)　试验机的转速应符合公认的标准和扭转次数满足表 10.4.4.3(3) 的规定。

钢丝扭转试验的最小扭转次数　　**表 10.4.4.3(3)**

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			
	1570	1670/1770	1420	1570	1670/1770	1870/1960
<1.3	19	17	31	29	27	23
1.3 ≤ d<2.3	17	16	28	26	24	21
2.3 ≤ d<3.0	14	12	26	24	22	19
3.0 ≤ d<3.5	11	10	24	22	20	16
3.5 ≤ d<4.0	9	8	22	20	18	13

10.4.4.4　镀层试验 ：锌的镀层厚度按每单位面积上的镀锌层重量测定，其最小值应不低于表 10.4.4.4 的规定。镀锌层重量的测定应按公认的标准进行。一般应从钢丝绳中截取不同直径的钢丝分别进行试验，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。制造厂应证明镀锌层连续、均匀、适于使用目的。

钢丝镀锌层重量　　**表 10.4.4.4**

镀锌钢丝直径 d(mm)	单位面积镀锌层的重量最小值 (g/m^2)		
	1 级	2 级	3 级
0.20 ≤ d<0.25	—	30	20
0.25 ≤ d<0.33	—	45	30
0.33 ≤ d<0.40	—	60	30
0.40 ≤ d<0.50	60	75	40
0.50 ≤ d<0.60	70	90	50
0.60 ≤ d<0.80	85	110	60
0.80 ≤ d<1.00	95	130	70
1.00 ≤ d<1.20	110	150	80
1.20 ≤ d<1.50	120	165	90
1.50 ≤ d<1.90	130	180	100

镀锌钢丝直径 d(mm)	单位面积镀锌层的重量最小值 (g/m²)		
	1 级	2 级	3 级
1.90 ≤ d<2.50	150	205	110
2.50 ≤ d<3.20	165	230	125
3.20 ≤ d<4.00	190	250	135

10.4.4.5　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 10.4.4.5 的规定：

钢丝卷绕试验规定　　**表 10.4.4.5**

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

10.4.4.6　成品钢丝绳的破断试验应按下列要求进行：

(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绳径的 30 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 CCS 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，可采用拆股单根钢丝进行试验。这种情况下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，再除以相应的换算系数而求得。相应的换算系数按公认的标准确定。

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明易见处系上标明钢丝绳结构、强度、长度及厂名的标签，并应打上 CCS 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 CCS 接受的有关标准试验或检验。

1.1.1.3　经 CCS 认可或检验合格的非金属材料或产品，均应标上 CCS 的标志。船舶或海上设施建造厂应优先订购经 CCS 认可和检验的非金属材料或产品，凡不具有 CCS 标志的非金属材料或产品应经 CCS 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 CCS 规定的程序申请进行型式认可或工厂认可。

1.1.2.2　拟在 CCS 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 CCS 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 CCS 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和反映生产过程控制的必要资料，以便验船师确认其是按 CCS 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 CCS 给定标准或其他等效标准进行，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　任一组试样的试验不合格时，可在原试板 (或试件) 上或同一批材料以同样的工艺重新制作的试板 (或试件) 上，对不合格项目取双倍试样进行复试。复试结果应全部合格。

1.2.2.3　若复试结果仍不合格，经 CCS 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 CCS 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 塑 料 材 料

第 1 节 一 般 规 定

2.1.1 适用范围

2.1.1.1 本章规定适用于拟入级的船舶与海上设施中使用的或在设计、制造中明确要求具有 CCS 证书的塑料材料或其制品。

2.1.1.2 船舶及海上设施用塑料材料，包括热塑性聚合物、热固性树脂、增强材料及与之相关的材料应按本章规定制造、试验和检查。

2.1.1.3 对用于船体结构件、复合材料壳体或管道等塑料制品的塑料材料还应分别满足第 3 章或第 4 章的规定。

2.1.2 定义与术语

2.1.2.1 塑料：是一种有机高分子物质。分为热塑性的或热固性的，其完工产品可以含有增强材料或添加剂。

2.1.2.2 添加剂：为改善或调整聚合物 (或树脂) 的某些性能所添加的物质，包括填料、触变剂、增稠剂、颜料等。

2.1.2.3 模塑料：采用模塑方法成型的预混料或预浸渍料，包括热塑性模塑料和热固性模塑料。前者以热塑性聚合物为基体，加热软化直至熔融，冷却变硬；后者以热固性树脂为基体，借助加热或其他方法 (如辐射或催化剂) 固化成不溶不熔的模塑料。

2.1.2.4 预混料：塑料制品成型前预先制备的由树脂、增强材料、填料 (如有) 等组成的混合料。

2.1.2.5 预浸渍料：用于制造增强塑料制品的浸渍树脂的纤维或其制品 (无捻粗纱、毡、织物)，经烘干或预聚的一种中间材料。能在热压条件下模塑或层压。

2.1.2.6 纤维粒料：纤维增强热塑性塑料制品成型前预先制备的定长颗粒状模塑料。有短纤维粒料和长纤维粒料，前者由聚合物与一定长度的纤维经挤出机塑化、挤出、切粒而成；后者是连续纤维束通过挤出机角状机头时，被熔融的聚合物均匀包覆后，经冷却由切粒机切成一定长度的粒状料。可用于模压、挤出或注射成型。

2.1.2.7 片状模塑料：由树脂、短切或未经短切的增强纤维以及细粒状填料 (有时不加填料)，经充分混合而制成一种厚度一般为 1~25mm 的薄片状中间制品，能在热压条件下进行模塑或层压。

2.1.2.8 块状模塑料：由树脂、短切的增强纤维和特定的填料 (或不加填料) 经充分混合而成的块状半成品。它可以在热压条件下模压或注射成型。

2.1.3 一般要求

2.1.3.1 作为产品形式供应的塑料材料 (如机座垫片浇注料)，应在 CCS 认可的工厂制造。

2.1.3.2 塑料制品应在 CCS 认可的工厂中采用认可或检验的原材料和工艺制造。

2.1.3.3 对不要求由认可工厂生产的原材料 (如填料、添加剂等)，根据本章节中有关规定，其质量和技术规定应是可接受的。

2.1.3.4 对拟入级的塑料制品，制造厂有责任向材料生产厂提出必要的技术条件 (包括材料的各种检验要求等)，以保证所使用的原材料符合入级的要求和产品的技术条件。

2.1.3.5 塑料制品制造厂应有证据说明其具备生产和试验所需的设备和能力，并由合格人员管理。规定的试验项目应在验船师在场情况下进行，试验结果符合 CCS 规范或接受的技术标准。

2.1.3.6 任何材料在后续的加工、切割或装配等施工时，如被证实不合格，即使事前持有 CCS 证书也应予以报废。

2.1.4 标记

2.1.4.1 凡经检验合格的材料外包装或产品上应至少在一处位置上，清晰标上 CCS 标志。

2.1.4.2 认可材料的生产厂应在每批材料 (或外包装) 上以独有的编号 (如批号) 作出标记。

2.1.4.3 塑料制品制造厂应采用一套标识体系，使所有竣工产品可以追溯至基本材料的原始批次。

2.1.4.4 材料和产品制造厂还应提供由验船师 (或验船师代理人) 签署的，具有合适内容的合格证书。

第 2 节 原 材 料

2. 2. 1 热塑性聚合物

2.2.1.1 制造厂应对所使用的每种热塑性聚合物提供下列适用项目的数据：

(1) 外观；
(2) 熔点；
(3) 熔融指数；
(4) 密度；
(5) 体积密度或比容；
(6) 水份及挥发物含量；
(7) 成型收缩率；
(8) 填料 / 增强材料含量 (如有时)。

2.2.1.2 制造厂应根据聚合物生产厂建议的工艺技术条件，采用适用的模塑或挤塑的方法制备试件。

2.2.1.3 对所制备的试件应进行下列适用项目的试验：

(1) 屈服或断裂时拉伸应力；
(2) 屈服或断裂时拉伸弹性模量；
(3) 断裂伸长率；
(4) 压缩强度；
(5) 弯曲强度；
(6) 载荷下变形温度 (马丁耐热性、维卡软化点或热变形温度)；
(7) 密度；
(8) 吸水量 (如需要)。

2. 2. 2 热固性树脂

2.2.2.1 常用热固性树脂主要有不饱和聚酯树脂 (间苯型、邻苯型)、乙烯基树脂、环氧树脂。

2.2.2.2 对根据产品或加工性能需要事先加入树脂的触变剂、填料、颜料等无机物应予以适当说明。

2.2.2.3 制造厂应对所使用的每种热固性树脂分别提供相应的数据。

(1) 不饱和聚酯树脂 (间苯型、邻苯型、双酚 A 型) 及乙烯基树脂；
    ① 外观；
    ② 密度或相对密度；
    ③ 粘度；
    ④ 凝胶时间；
    ⑤ 固体含量或挥发物含量；
    ⑥ 酸值；
    ⑦ 热稳定性；
    ⑧ 无机物含量 (如有，包括触变剂、填料、颜料等)。
(2) 环氧树脂：
    ① 外观；
    ② 密度或相对密度；
    ③ 粘度；
    ④ 凝胶时间；
    ⑤ 挥发物含量；
    ⑥ 环氧值；
    ⑦ 有机氯值、无机氯值；

⑧ 无机物含量 (如有)。

2.2.2.4 制造厂应对所使用的每种热固性树脂，按照树脂生产厂提供的建议制备浇铸体试件。固化所采用的固化剂 (或催化剂 / 促进剂) 类型和与树脂的比例及固化工艺 (固化 / 后固化的温度、时间) 应与拟采用树脂一致，并作记录。

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

(1) 密度或相对密度；
(2) 固化后体积收缩率；
(3) 巴柯尔硬度；
(4) 拉伸强度；
(5) 断裂伸长率；
(6) 吸水量 (如需要)；
(7) 热变形温度。

铺敷用树脂浇铸体性能 **表 2.2.2.5**

项目	试验标准	不饱和聚酯 / 乙烯基树脂	胶衣树脂 / 罩面树脂 / 环氧树脂
拉伸强度 (N/mm^2)	ISO 527-2	≥ 45	≥ 55
拉伸断裂伸长率 (%)	ISO 527-2	≥ 1.5	≥ 2.5
弯曲弹性模量 (N/mm^2)	ISO 178	≥ 2700	≥ 2700
弯曲强度 (N/mm^2)	ISO 178	≥ 80	≥ 100
热变形温度 (℃)	ISO 75-2	≥ 75	≥ 75
巴柯尔硬度	ASTM D2583	≥ 35	≥ 35
吸水量 (mg)	ISO 62	≤ 80(船体) ≤ 100(非船体)	≤ 70
注 1：试验所用试样应经 50℃后固化 24h 制备。 注 2：吸水性测试试样尺寸为 50mm*50mm*4mm, 试验条件为在 23±2℃下浸泡 672h。			

2.2.2.6 树脂应使用玻璃纤维短切毡作为增强材料 (玻璃纤维含量不超过 30%)，按树脂生产厂建议的固化工艺制备层含板，层合板厚度应不低于 4mm，其最低力学性能要求如下：

试板的性能指标 **表 2.2.2.6**

项目	试验标准	衡准
拉伸强度 (N/mm^2)	ISO 527-4	≥ 80
拉伸模量 (N/mm^2)	ISO 527-4	≥ 6350
弯曲强度 (N/mm^2)	ISO 14125	≥ 135
弯曲模量 (N/mm^2)	ISO 14125	≥ 5200
玻璃纤维含量 (%，重量)	ISO 1172	≤ 30

2. 2. 3 增强材料

2.2.3.1 增强材料一般为纤维状物质或织物，应无杂质、污染、霉变等缺陷或瑕疵，它们应与拟增强的聚合物、树脂有良好的相容性，且应严格按照材料生产厂的建议贮存在干燥、通风、无尘、温度较为稳定的场所。

2.2.3.2 生产厂应对所使用的每种增强材料提供下列适用项目的数据：

(1) 增强材料的类型；
(2) 每一方向的纤维类型；

(3) 纤维或纱线的线密度 (Tex 值)；
(4) 纤维表面精整和 / 或处理剂；
(5) 纤维材料密度；
(6) 纤维、粗纱或织物的拉伸断裂强力和断裂伸长率；
(7) 可燃物含量；
(8) 含水率；
(9) 浸润剂和 / 或处理剂类型及含量；
(10) 编织类型；
(11) 织物或毡片单位面积重量；
(12) 织物或毡片的宽度、厚度；
(13) 相容性 (适用于何种聚合物或树脂)；
(14) 其他必要的项目。

2.2.3.3 对由多层不同类型增强材料毡片、布、织物组合成的组合增强材料，还应列出其详细的结构组成数据：如纱 / 线密度、类型、重复频度及排列方向等。

2.2.3.4 应按树脂生产厂建议的固化工艺制备包括增强材料在内的层合板 (对无捻粗纱可按有关标准制成棒状) 试件，进行各种必要的力学性能试验，层合板的制备应按下列要求进行：

(1) 采用合适类型的认可树脂 (聚合物)。
(2) 增强材料至少平行铺敷 3 层，保证层合板厚度不小于 4mm。
(3) 应记录所采用树脂、增强材料的重量和单位面积重量以及制成层合板厚度。
(4) 对不同类型的玻璃纤维增强材料，其名义玻璃纤维含量如下：

手糊与真空成型的名义玻璃纤维含量 (重量百分比) **表 2.2.3.4(4)**

	手糊成型 (%)	真空成型 (%)
短切毡	30	36
无捻粗纱及无捻粗纱正交布 (方格布)	48	58
复合毡 (毡 + 布)	46−18*R*	56−22*R*
多轴向布 (3 轴向、4 轴向)	50	60
单向布	55	66
注：*R*= 复合毡中毡的总重量 /(复合毡中毡 + 布的重量之和)		

层合板的总名义玻璃纤维含量 *G* 可用如下公式进行计算：

$$G=\frac{W}{\frac{W_1}{G_1}+\frac{W_2}{G_2}+\cdots+\frac{W_n}{G_n}}$$

式中：W_1，W_2，$\cdots W_n$ 为铺层单位面积中不同增强材料的各自总重量，g；

$W=W_1+W_2+\cdots+W_n$，为铺层单位面积中增强材料的总重量，g；

G_1，G_2，$\cdots G_n$ 为铺层单位面积中不同增强材料的名义玻纤含量，从表 2.2.3.4(4) 中得到。

(5) 对采用非玻璃类增强材料可按生产厂建议的体积百分含量进行。

2.2.3.5 对使用纤维缠绕方法成型的玻璃纤维无捻粗纱可视为单向增强材料，建议采用玻璃纤维重量含量 70±5% 进行试验。

2.2.3.6 应对按 2.2.3.4 制备的层合板试件进行下列适用项目的性能测定：

(1) 树脂含量或纤维含量；
(2) 密度；
(3) 吸水性；

(4) 硬度 (邵氏、洛氏、布氏 - 对热塑性塑料、或巴柯尔 – 对热固性塑料) ;
(5) 载荷下变形温度 (马丁耐热性、维卡软化点或热变形温度) ;
(6) 拉伸强度、模量、延伸率 ;
(7) 压缩强度、模量 ;
(8) 弯曲强度、模量 ;
(9) 层间剪切强度 (对层合板) ;
(10) 冲击强度。

2.2.3.7 如用于对玻璃纤维无捻粗纱、毡、布认可，弯曲强度尚应进行潮湿状态的试验，试验前试件应在蒸馏水中煮沸 2h。

2.2.3.8 试验时，应根据纤维增强材料在层合板中的排列方向取样。一般喷射无捻粗纱和短切原丝毡取任一方向 ; 单向材料取 0° 方向 ; 无捻粗纱、无捻粗纱布取 0° 和 90° 方向 ; 多层组合增强材料按需要取 0°，45°，90°，-45° 方向。

2.2.4 增强热塑性聚合物

2.2.4.1 拟采用增强材料的热塑性聚合物，应按本节 2.2.1.3 规定进行试验。

2.2.4.2 如采用外购供货的增强纤维粒料，则需按本节 2.2.1.1 中的 (3)、(6)、(7)、(8) 项进行试验。

2.2.4.3 若采用热塑性聚合物和增强材料，或采用增强粒料制作增强热塑性聚合物，均应按照制造技术要求制备层合板试件。

2.2.4.4 层合板试件应按本节 2.2.3.6 有关要求取样进行试验，试验只需取一个方向。

2.2.5 增强热固性树脂

2.2.5.1 拟采用增强材料的热固性树脂应按本节 2.2.2.5 规定进行试验。

2.2.5.2 如采用外购的热固性模塑料，包括块状、片状模塑料和预浸渍料，则至少应对这些预混料进行流动性、成型收缩率、压缩比、水份和挥发物含量、树脂含量等工艺性试验，并按制造技术要求制备层合板。

2.2.5.3 层合板试验应按本节 2.2.3.6 有关要求进行，试验仅需选取一个方向。

2.2.6 芯层材料

2.2.6.1 夹层板的芯层材料常用于纤维增强塑料船的建造，如使用硬质泡沫塑料、轻木、胶合板或松木，制造厂一般应提供下列项目的数据 :

(1) 材料类型 ;
(2) 密度 ;
(3) 规格 (块体、粘有稀网布、有否沟槽) ;
(4) 厚度 ;
(5) 片材 / 块体的尺寸 ;
(6) 表面处理 (如有)。
(7) 拉伸强度及拉伸弹性模量 ;
(8) 剪切强度及剪切弹性模量 ;
(9) 压缩强度及压缩弹性模量 ;
(10) 含水率 (木材) ;
(11) 吸水率 (硬质泡沫材料) ;
(11) 其他必要的说明 (如使用温度等)。

2.2.6.2 硬质泡沫塑料芯材应经认可并满足下列要求 :

(1) 闭孔型、防水、防油 ;
(2) 与树脂系统相适应 ;
(3) 良好的抗老化性能 ;
(4) 在 60℃应保持良好的强度 ;
(5) 为适于模塑，如芯材制成粘贴在大网眼纱布背衬材料上的薄片状小块，则其背衬材料和粘结剂应分别与铺敷树脂兼容并可溶 ;

(6) 如需要，泡沫芯材应按芯材生产厂的建议进行调整处理。处理温度可略高于使用温度，以保证清除泡孔中滞留的残余发泡剂气体；

2.2.6.3 对每种泡沫塑料芯材应提供下列适用项目的试验数据：

(1) 密度；
(2) 吸水率；
(3) 压缩强度；
(4) 压缩弹性模量；
(5) 拉伸强度；
(6) 拉伸弹性模量；
(7) 剪切强度；
(8) 剪切弹性模量；
(9) 建议的最高使用温度；
(10) 线收缩率 (尺寸稳定性)。

2.2.6.4 用作夹层板芯材的 PVC(聚氧乙烯) 及 SAN(苯乙烯 - 丙烯腈共聚物) 泡沫材料，其密度应不低于 60kg/m³，其常温下基本力学性能应不低于表 2.2.6.4 的要求，其他泡沫材料可参照执行。对表中未提及的项目其结果应满足标准或制造厂制定的极限值。

硬质泡沫塑料芯材基本力学性能 **表 2.2.6.4**

拉伸强度 (N/mm^2)	压缩强度 (N/mm^2)	压缩模量 (N/mm^2)	剪切强度 (N/mm^2)	剪切模量 (N/mm^2)	吸水率 (%)	耐水性 (%)	耐温性 (%)
ISO 1926	ISO 844	ISO 844	ISO 1922	ISO 1922	ISO 2896	ISO 2896	ISO 844
≥ 0.6	≥ 0.6	≥ 40	≥ 0.4	≥ 9	≤ 1.5	≥ 70	≥ 50

注：
1. 拉伸与压缩测试的测试速度 (mm/min) 为 10% 的测试样品初始厚度 mm。
2. 拉伸与压缩测试的样品尺寸为 50mm×50mm× 制品厚度，mm，测试方向为厚度方向。
3. 压缩测试的试样两个受压面应用玻纤含量为 (50±5)% 的玻璃纤维增强材料予以封闭 (推荐短切毡 + 方格布的增强形式)，每一受压面的封闭层厚度不大于泡沫厚度的 10% 。
4. 吸水性测试为在 40℃下浸泡 1 周后的体积变化率。
5. 耐水性测试为在 23℃的水中浸泡 4 周后，其拉伸及压缩强度应不小于浸泡前室温下测试结果的 70%
6. 耐温性测试为在 45℃下的压缩强度与压缩模量的测试结果应不小于室温下测试结果的 50%

2.2.6.5 制造厂应提供完善的使用方法、施工说明以及注意事项等技术文件，以保证芯材被正确使用。

2.2.6.6 压缩强度和压缩弹性模量应至少有 5 个相应温度试验值，即从环境温度至建议的最高使用温度或 70℃ (选较大者) 范围内 5 个点。

2.2.6.7 轻木芯材应经认可并应为：

(1) 横切竖放的端纹形式；
(2) 砍伐后立即进行化学防霉、杀虫处理并窑内烘干；
(3) 灭菌处理；
(4) 均质化；
(5) 含水率不大于 12%；
(6) 为适于模塑，如芯材制成粘贴在大网眼纱布背衬材料上的薄片状小块，则背衬材料和粘结剂应分别与铺敷树脂兼容并可溶。

2.2.6.8 应对轻木进行下列试验，结果应满足表 2.2.6.8 的要求。对表中未提及的项目其结果应满足标准或制造厂制定的极限值。

(1) 密度；
(2) 含水率；
(3) 拉伸强度 (顺纹和横纹)；
(4) 压缩强度 (顺纹和横纹)；
(5) 压缩弹性模量 (顺纹和横纹)；

(6) 剪切强度 (顺纹)。

轻木芯材基本力学性能 **表 2.2.6.8**

密度 (kg/m^3)	强度 (N/mm^2)					压缩弹性模量 (N/mm^2)		剪切弹性模量 (N/mm^2)
	压缩		拉伸		剪切	ISO 844		ISO 1922
	ISO 844		ASTM C297		ISO 1922			
ISO 845	应力方向					应力方向		
	平行木纹	垂直木纹	平行木纹	垂直木纹		平行木纹	垂直木纹	
96	5.00	0.35	9.00	0.44	1.10	2300	35.20	105
144	10.60	0.57	14.60	0.70	1.64	3900	67.80	129
176	12.80	0.68	20.50	0.80	2.00	5300	98.60	145

2.2.6.9 如轻木块是粘结在一载体织物 (如稀网布) 上，应采用与建议的树脂体系相适应的粘结剂来粘结。

2.2.6.10 泡沫芯材和轻木作为夹层结构的结构芯层，尚应制成两种典型厚度 (15mm 和 30mm) 的夹层结构板，进行四点弯曲剪切性能试验 (ASTM C393)。夹层结构板制备要求如下：

(1) 采用认可的增强材料和合适类型的认可树脂；

(2) 两侧面板厚度相同，并应采用相同铺敷顺序的短切原丝毡和无捻粗纱方格布交替铺成，单面厚度不应大于正常芯材厚度的 1/10；

(3) 玻璃纤维含量：(50±5)%；

(4) 无捻粗纱方格布的经向纤维与试样长度方向一致；

(5) 制备时尚应考虑芯材生产厂建议的使用规程，如涂敷粘结膏糊、表面底漆等；

(6) 固化系统应与所采用树脂的要求相同；

(7) 如采用真空袋压成型方法制作，则另行考虑。

2.2.6.11 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%，并涂底漆。

2. 2. 7 环氧基座等垫片浇注料

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

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

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

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

2.2.7.5 固化后的浇注型环氧机座垫片应测定下列性能：

(1) 巴柯尔硬度；

(2) 压缩强度和弹性模量；

(3) 缺口悬臂梁 (Izod) 冲击强度；

(4) 固化线性收缩；

(5) 热变形温度；

(6) 吸水率 (在人造海水、蒸馏水中浸泡 7 天)；

(7) 吸油率 (在柴油、润滑油中浸泡 7 天)；

(8) 可燃性。

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

2.2.7.7 拟认可的环氧机座垫片的使用条件为：在使用过程中由设备本身自重产生的静载荷通常应不大于 0.7N/mm²，环氧垫片承受的最大静载荷 (设备自重加螺栓紧固力) 通常应不大于 4.5N/mm²，使用温度不超过 80℃。浇注体的性能要求见表 2.2.7.7。对表中未提及的项目其结果应满足标准或制造厂制定的极限值。

环氧机座垫片浇注体性能要求 **表 2.2.7.7**

压缩强度 (N/mm²)	压缩模量 (N/mm²)	巴柯尔硬度	热变形温度 (℃)	可燃性	吸水率① (%)	吸油率① (%)
ASTM D695	ASTM D695	ASTM D2583	ISO 75-2	ASTM D635	ISO 62	ISO 62
≥ 120	≥ 5000	≥ 35	≥ 80	自熄	≤ 0.9	≤ 0.9

注：① 吸水率及吸油率测试的样品尺寸为 50mm × 50mm × 4mm。

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

2. 2. 8 舵杆、舵销、舵轴及尾轴的轴承用高分子材料

2.2.8.1 本要求适用于制造舵杆、舵销、舵轴及尾轴的轴承所采用的尼龙 (聚酰胺) 及改性尼龙材料，其他种类的轴承材料应将相关技术资料提交 CCS 审核。

2.2.8.2 舵杆、舵销、舵轴及尾轴的轴承用高分子材料在使用前应经 CCS 认可。

2.2.8.3 舵杆、舵销、舵轴及尾轴的轴承用高分子材料通常可加工成圆筒形、板条形或 half 型。

2.2.8.4 应对轴承材料的以下物理性能进行检验：

(1) 压缩应力和压缩弹性模量；
(2) 拉伸强度；
(3) 耐温性 (50℃时的压缩应力及模量)；
(4) 海水中 (20℃及 80℃下，4 周 /672h) 的体积膨胀率；
(5) 油中 (20℃下，4 周 /672h) 的体积膨胀率；
(6) 耐海水性 (在海水中浸泡 4 周 /672h 后的压缩应力及模量)；
(7) 线性热膨胀系数 (垂直于受压面方向)；
(8) 磨损率 (体积)；
(9) 硬度；
(10) 冲击强度；
(11) 摩擦系数 (20℃及 80℃下，材料的干态及湿态条件下的动、静态摩擦系数)；
(12) 极限 PV 值 (轴承承受压强与轴在轴承表面相对滑动的线速度的乘积)；
(13) 密度。

2.2.8.5 舵杆、舵销、舵轴、尾轴的轴承用高分子材料的物理性能应满足表 2.2.8.5 的要求，对表中未提及的项目其结果应满足标准或制造厂制定的极限值。

高分子轴承材料物理性能要求 **表 2.2.8.5**

压缩应力 (N/mm²)	压缩模量 (N/mm²)	摩擦系数	耐温性及耐海水性	润滑介质中的体积膨胀率③ (%)	拉伸强度 (N/mm²)
ISO 604	ISO 604	–	–	ISO 175	ISO 527–2
≥ 120① ≥ 85②	≥ 1500①	≤ 0.25	不小于 2.2.8.4(1) 试验值的 80%	≤ 3	≥ 70

注：① 垂直于轴承受压面方向。
② 平行于轴承受压面，仅针对板条形轴承。
③ 润滑介质中的体积膨胀率测试，样品尺寸为 50mm×50mm×t，t 一般为 4mm，也可采用最小产品厚度。

2.2.8.6 舵杆、舵销、舵轴、尾轴的轴承用高分子材料的最大许用表面压力一般为不大于 5.5N/mm^2；如需认可大于 5.5N/mm^2 的许用表面压力，则除满足 2.2.8.4 及 2.2.8.5 的要求外，还需进行材料在干、湿交替条件下的浸泡试验，其体积膨胀率应不大于 3%。

2.2.8.7 对于每批产品出厂检验时应进行以下项目的检验：

(1) 压缩应力和模量；

(2) 硬度；

(3) 拉伸强度；

(4) 密度。

2.2.9 低温液罐用浇注型环氧腻子

2.2.9.1 用于 LEG、LPG、LNG 等低温液化气罐鞍座与支承架填充粘接的双组分热固性环氧腻子在使用前应取得 CCS 认可。

2.2.9.2 产品生产厂应提供完整的施工技术文件，包括建议的设计原则、施工操作方法和要求等供备查。

2.2.9.3 应按施工工艺浇注样品，固化后测定下列性能：

(1) 巴柯尔硬度；

(2) 密度；

(3) 压缩强度和压缩弹性模量 (在 20℃，-50℃，-110℃，-195℃温度下进行测试)；

(4) 剪切强度 (在 20℃，-50℃，-110℃，-195℃温度下进行测试)；

(5) 线膨胀系数 (-30℃ ~+30℃)；

(6) 蠕变 (70℃，2000h 条件下，分别测定 2.5MPa 和 7MPa 负荷的蠕变量)；

(7) 压缩变形 (20℃，-195℃)；

(8) 压缩屈服强度 (20℃，-195℃)。

第 3 节 试样与试验

2.3.1 适用范围

2.3.1.1 本节规定适用于本章提出的塑料材料的检验和试验所需试样制备。

2.3.1.2 塑料制品可参照使用。

2.3.2 一般要求

2.3.2.1 试验通常应在有资格的独立试验室进行，必要时验船师应到场见证。

2.3.2.2 如制造厂的试验条件和能力完善，也可在验船师在场情况下，由制造厂自行进行试验。

2.3.2.3 所有试验均应由合格的试验人员，按规定的程序在合格的试验设备上实施。

2.3.2.4 除另有规定外，试验应按公认的国际或国家标准进行。制造厂提供的书面试验大纲应经验船师审核同意。

2.3.2.5 所有原材料的试件应在尽可能接近产品制造的条件下制备。

2.3.2.6 试验材料 (原材料或产品的试验样品材料) 应由验船师或其指定人员选定，并加以标识。在试件制造过程中，标识应保持完好。如需转移，应取得验船师同意。

2.3.3 试件的制备

2.3.3.1 材料生产厂或产品制造厂应提供充裕的试验材料，以确保验船师抽取足够样本供试样制作。

2.3.3.2 热塑性聚合物试件应采用聚合物生产厂建议的模塑法来制备。制备时的工艺条件也应按所建议的压力、温度、时间等实施。对于成品，试件应按照生产厂的质量管理程序在生产过程中从产品上直接选取，如不可行，则可以产品实际相同的方式另行制备单独的试件。

2.3.3.3 热固性树脂试件应根据成品的生产条件按树脂生产厂建议的固化系统 (包括固化剂 (或催化剂 / 促进剂) 及用量比例)、固化时间、温度等制备。

2.3.3.4 如有后固化要求的热固性树脂试件，应按树脂生产厂的建议确定后固化条件。

2.3.3.5 后固化推荐使用加热炉进行，加热炉应能均匀加热、有效保温，有适当温控措施和记录显示。如产品体积过大可考虑采用验船师同意的替代方法后固化。

2.3.3.6 机座垫片浇注料的固化试件应在室温条件下制备，然后在上节 2.2.7.4 确定的发热温度下后固化。

2.3.3.7 如采用增强材料，增强材料和树脂之比一般应和成品相同，或按第 2 节 2.2.3.4(4) 的建议选取。

2.3.3.8 对采用热固性模塑料或预浸渍料的固化试件应按材料生产厂的建议或与成品制造相同的技术条件制备。

2.3.3.9 如层合板试件是专为认可试验而制作，则增强材料一般应平行铺敷。

2.3.3.10 增强热固性树脂层合板和夹层结构板的制备，可按材料生产厂的建议或分别按第 2 节 2.2.3.4 和 2.2.6.10 要求制备。

2.3.4 试样的制备

2.3.4.1 试样的尺寸、数量和取向应符合公认的国际或国家标准的规定。

2.3.4.2 取样用的试件可用模塑法直接制备，也可由制备好的层合板 (或夹层结构板) 上截取。

2.3.4.3 试样在层合板试件上的取样区应距板边 20~30mm，取样区应无气泡、分层、树脂积聚、皱褶、翘曲等缺陷。

2.3.4.4 试样如有方向性要求，应按纤维主排列方向取样，并应严格保证纤维方向和铺层方向与试验要求相一致。

2.3.4.5 采用机加工方法制备试样，加工过程中应有适当措施确保试样的温升不影响试样的性能。加工中禁止用油冷却，同时防止试样分层、刻痕或局部受挤压。

2.3.4.6 尽量避免加工试样的成型表面。必须加工时，应保留一个成型表面。

2.3.5 试验操作

2.3.5.1 试验环境条件和试验前试样的状态调节应符合公认的国际或国家标准的规定。

2.3.5.2 力学性能测定用的试验机应由 CCS 承认的机构或组织，按公认的标准至少每年校准一次。物理性能测定用的试验设备应符合该项试验方法的有关规定。

2.3.5.3 变形测量应使用合适的延伸仪或应变仪。

2.3.5.4 从每一待测试件中所切取的试样数应符合公认的标准。应保证每项力学性能试验的同批有效试样数在 5 个以上。

2.3.5.5 如试样由于制备不当或因试验机误操作失效，则应将其判废，并用新试样替代。

2.3.5.6 5 个一组试样中有一个试验结果单值超过或低于平均值 2 个以上的标准差，此结果应予判废，并应对另一试样进行试验。对任一组试验中仅允许有这样一个被判废。

2.3.6 试验

2.3.6.1 非增强热塑性聚合物试样应按 2.2.1.3 规定的有关项目进行试验。

2.3.6.2 非增强热固性树脂及其浇铸体试样应按 2.2.2.5 规定的有关项目进行试验。

2.3.6.3 增强材料试样应按 2.2.3.2 规定的有关项目进行试验。

2.3.6.4 任何类型层合板试样应按 2.2.3.6 规定的有关项目进行试验。

2.3.6.5 泡沫芯材和轻木应分别按 2.2.6.3 和 2.2.6.8 规定的有关项目进行试验。

2.3.6.6 制成夹层合板试样的表观剪切性能可按 4 点弯曲试验方法进行环境温度和 70℃下试验，试验跨距不少于 400mm。

2.3.6.7 机座垫片试样应按 2.2.7.5 的规定进行试验，并满足 2.2.7.7 的要求。

2.3.6.8 舵杆、舵销、舵轴、尾轴的轴承用高分子材料其试样应按 2.2.8.4 的要求进行试验，结果应满足 2.2.8.5 及 2.2.8.6 的要求、

2.3.6.9 试验结果应符合公认的有关产品标准或制造厂的产品技术条件。

2.3.7 试验报告

2.3.7.1 应列表记录每个试样的性能测定值、算术平均值及标准差、必要时尚应有试样的破坏情

况说明。

2.3.7.2 试样和试件的制备情况，包括 (如适用) ：

(1) 催化剂 / 促进剂或固化剂的类型及混合比 ；

(2) 树脂重量和 / 或所有采用的增强材料 ；

(3) 采用增强材料的层数 ；

(4) 浇铸体 / 层合板试件的尺寸、形状及外观质量 ；

(5) 固化 / 后固化情况 ；

(6) 其他认为必要的项目，如试验环境温、湿度、试样状态调节等。

第 3 章　纤维增强塑料船体材料

第 1 节　一 般 规 定

3.1.1　适用范围

3.1.1.1　本章规定适用于建造各类船艇用的纤维增强塑料的制造、试验和检验。

3.1.1.2　船用纤维增强塑料制品也可参照应用。

3.1.2　一般要求

3.1.2.1　制造厂应按有关规范规定提供制品的结构设计图纸及必要的技术文件等，包括有关纤维增强塑料的全部资料。

3.1.2.2　设计时应注意优先采用经认可或检验的材料。不排除使用新型树脂、增强材料及相关材料，但应有充分数据证明与规范规定的性能相当，并使验船师满意。

3.1.2.3　制造纤维增强塑料用的原材料 (如纤维增强材料、树脂、芯材等) 应符合本篇第 2 章的有关规定。

3.1.2.4　使用纤维增强塑料建造船艇或制品的制造厂应具有完善的质量保证证体系。如制造厂已有质量保证体系，则它应包括本章的要求。

3.1.3　工艺认可

3.1.3.1　纤维增强塑料船应在 CCS 认可的工厂建造。在船舶建造开工前应制定必要的成型工艺规程，并提交审核。

3.1.3.2　提交的纤维增强塑料船成型工艺规程至少应包括下列内容：

(1)　建造条件说明，包括环境控制、材料贮存和管理；

(2)　树脂、增强材料、芯材技术规格，包括生产厂的建议与说明；

(3)　各种原材料的配合比例 (相当于纯树脂重量的百分比)；

(4)　铺敷方法，包括增强材料类型、排列方向和顺序、铺敷层数、树脂混合方法和树脂适用期；

(5)　脱模方式和脱模的技术参数；

(6)　部件和构件的连接方式 (包括分段合拢、二次粘接、金属与非金属构件的连接、芯材粘接工艺等)；

(7)　铺敷设备种类、型号及特征参数；

(8)　固化条件与说明；

(9)　检查要求和依据。

3.1.3.3　纤维增强塑料船成型工艺认可试验：

(1)　对于采用新的建造工艺或新的铺层方式或新的树脂及增强材料建造的纤维增强塑料船，开工前，建造厂应在与成型车间条件相同的施工条件下，由铺敷人员按送审的工艺规程制作一块试板，用于玻璃钢船体设计的验证。试板厚度应为船体 (船壳) 最薄处的厚度。

(2)　试板应表面平整、均匀、无气泡、无分层和纤维裸露等缺陷。

(3)　层板试件的数量和规格按接受的有关标准进行加工，供进行拉伸、压缩、弯曲、层间剪切等力学性能试验。同时测定其密度（满足制造厂制定的极限值）、巴柯尔硬度、玻璃纤维含量等项目。

(4)　对于夹层板试板，应按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，还应制作夹层面板试板，供其他性能试验。试验要求、方法和结果与层板试板相同。

(5)　以玻璃纤维作为增强材料制造的船体，上述性能试验结果应不低于表 3.1.3.3(5) 的要求；以芳纶纤维或碳纤维作为增强材料制造的船体，应进行上述性能试验，且各项测试结果应不低于强度计算书的要求，层间剪切强度应不小于 17MPa，并提交验船师确认。

(6)　推荐使用以短切原丝毡和无捻粗纱正交布交替铺敷成型的层板。

试板的性能指标　　表 3.1.3.3(5)

项目	标准	短切毡与无捻粗纱正交布交替 / 无捻粗纱正交布型复合毡 / 短切毡与无捻粗纱正交布型复合毡交替
拉伸强度 (N/mm^2)	ISO 527–4	$800\ G^2 - 80\ G + 37$
拉伸模量 (N/mm^2)	ISO 527–4	$38000\ G - 5000$
弯曲强度 (N/mm^2)	ISO 14125	$502\ G^2 + 107$
弯曲模量 (N/mm^2)	ISO 14125	38000G–6500
压缩强度 (N/mm^2)	ISO 604	150 G + 72
压缩模量 (N/mm^2)	ISO 604	7000
层间剪切强度 (N/mm^2)	ISO 14130	玻璃纤维 ≥ 20 碳纤维及芳纶纤维≥ 17
纤维含量 (%，重量)	ISO 1172(玻璃纤维) ASTM D3171（碳纤维 / 芳纶纤维）	G
巴柯尔硬度	ASTM D2583	40

注：① 表中拉伸、压缩性能指面内性能，不得使用面外压缩代替面内性能试验。
② 表中 G 为总名义玻璃纤维含量，应四舍五入至小数点后一位，其计算公式可采用 2.2.3.4(4) 中 G 的计算公式。也可采用 2.2.3.4(4) 中复合毡一栏的公式作为简化公式计算，将层板简化为一个大的复合毡，其中的毡与布分别予以计算，如铺层结构中本身含有复合毡，则将复合毡简化为单独的毡与布的结构进行计算。

第 2 节 原 材 料

3.2.1 适用范围

3.2.1.1 本节对采用手工铺敷、喷射成型或真空袋压成型法建造的纤维增强塑料船体的材料作了规定。

3.2.1.2 所提出的材料适用于单层板或夹层板，或两者组合的船体及结构铺敷成型。

3.2.1.3 使用玻璃纤维以外的其他增强材料，其质量应满足预期目的。

3.2.2 一般要求

3.2.2.1 制造厂应持有材料生产厂提供的每批供货材料标明本篇 2.2.2.3、2.2.3.2 和 2.2.6.1 中规定的有关项目的合格证书，以备验船师追溯或必要时抽检。

3.2.2.2 如树脂生产厂因某些原因需要混合不同批次的树脂，则混合后的树脂应按本篇 2.2.2.3 进行性能测试。混合后的合格树脂应另授批号。

3.2.2.3 制造厂在收到任何材料时应进行下列核查：

(1) 材料有相应的批号，每批附有相应标签；

(2) 每批材料应作外观检查，检查其批号、外观质量和有效期；

(3) 同一批中的每一单元都应有批号和出厂日期；

(4) 如发现不合格品应采取措施立即隔离；

(5) 上述检查结果应记录，并与材料合格证和 / 或制造厂本身验收结果相对照并保存。

3.2.3 树脂

3.2.3.1 铺敷用的树脂应为认可的船用不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂或环氧树脂等。如采用碳纤维材料进行船体制造，则不应使用不饱和聚酯树脂进行船体制造。

3.2.3.2 树脂性能应是实际用在产品中的含有添加剂 (如有，包括填充剂) 的最终形式树脂的性能。二氧化硅或其他触变剂的添加量应是防止流挂的最小需要量。

3.2.3.3 胶衣树脂、铺敷用树脂、罩面层树脂（如有时）应满足 2.2.2 的要求。

3.2.3.4 对于救生艇及救助艇等有耐火要求的船艇，应采用阻燃级的树脂进行船艇的建造。

3.2.3.5 胶衣树脂应为船用耐水型不饱和聚酯树脂。胶衣树脂与纤维增强材料间的附着性能应良好，断裂伸长率应大于铺层树脂，其差值一般不大于 1%。

3.2.4 添加剂

3.2.4.1 加入树脂中的各种固化剂或催化剂 / 促进剂、颜料、填料、阻燃剂、触变剂等添加剂的用量应有限制，种类应为树脂生产厂推荐的，且应不明显改变树脂的各项性能 (如粘度等)，也不应影响层板的所有强度性能。各类添加剂的详细资料应提交评估。

3.2.4.2 添加剂一般应由树脂生产厂按照约定的工艺程序添加，并进行相应试验。当树脂含有一种能在树脂系统中沉析的组分时，制造厂有责任在使用前履行树脂生产厂关于搅拌和调整的建议。

3.2.4.3 所有由施工人员添加的填充剂和颜料应为一种分散在与基体树脂相同或相似的树脂中的糊状物。所用的填充剂的种类和用量应为树脂生产厂的推荐值。船壳板的树脂不应添加任何填充剂。

3.2.4.4 如填充剂用量超过基体树脂重量 13%，需经专门试验并认可。颜料、触变剂和阻燃剂应视为填充剂，按总填充剂含量计算。

3.2.4.5 填充剂应仔细充分混合进基体树脂中，随后静置一段时间，以保证卷进的空气逸出。混合方法应遵循树脂生产厂的建议，搅拌时间和速率应适当。

3.2.4.6 所用固化剂 (或催化剂 / 促进剂) 的种类和用量应符合树脂生产厂的规定，可以根据操作条件和环境条件作适当调节。在确保树脂完全固化的同时，凝胶时间应满足在模具铺敷层板的各种需要。

3.2.5 增强材料

3.2.5.1 船用纤维增强塑料除满足 2.2.3 的要求所用的增强材料应为认可的无碱玻璃纤维、高强 / 高弹玻璃纤维或其他特种纤维，以及上述纤维的织物或制品。可以是无捻粗纱、无捻粗纱布、短切原丝毡或它们的组合。不应使用中碱玻璃纤维及其织物作为玻璃钢船建造所用增强材料。

3.2.6 芯材

3.2.6.1 芯材一般采用硬质泡沫塑料、轻木、胶合板或松木等，应满足 2.2.6 的要求。

3.2.6.2 与芯材配套使用的芯材粘结剂应为芯材生产厂建议的类型并按照其施工说明书使用。同时应在材料数据表和施工图上标明。

3.2.6.3 对于使用松木类木材，应注意木质纤维的方向对力学性能的影响。芯材使用前应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。

3.2.7 预埋材料

3.2.7.1 因结构需要，被封进内部或粘结固定于层板上的预埋材料或组件应耐腐蚀，且不影响树脂系统的固化。

3.2.7.2 预埋件材料在使用前应进行适当的表面处理，使其与树脂具有良好的粘接性。

3.2.7.3 使用木质材料作预埋件时，应充分干燥，无明显的节疤、边材、横纤维、开裂、腐烂等缺陷。

3.2.7.4 木材表面应适当处理并涂以稀释剂稀释的树脂涂料。

3.2.8 结构粘结剂

3.2.8.1 用于纤维增强塑料船建造的结构用粘结剂应经 CCS 认可。

3.2.8.2 结构用粘结剂的种类和用量应按照粘结剂厂家的推荐，且应与待粘合部位所用树脂相容。

3.2.8.3 结构用粘结剂不可用于船壳合拢的连接。

3.2.8.4 在进行结构粘结剂施工之前，应将待粘合处清理干净，去除灰尘、油脂、树脂或增强纤维的残渣。

3.2.8.5 结构用粘结剂的施工方法、最大粘结厚度、蠕变及耐水性等数据应提交 CCS 备查。

3.2.8.6 结构用粘结剂应能在环境温度至 60℃范围内保证其最小剪切强度不小于 7N/mm^2(ISO 4587)。

第 3 节 铺敷成型工艺

3. 3. 1 适用范围

3.3.1.1 本节规定适用于以纤维增强材料和不饱和聚酯树脂、乙烯基树脂为主要原料，用湿法手工铺敷或辅以喷射成型、真空袋压成型制造层合板的一般工艺。

3.3.1.2 使用其他独特的成型工艺方法，将另行考虑。

3. 3. 2 一般要求

3.3.2.1 每道工序或每层增强材料敷设的时间间隔应尽量缩短，以保证树脂仍有反应活性，减少形成不必要的二次粘结。如需搁置一定时间，应采取措施 (如覆盖一层薄布，成型时撕去) 保持清洁，排除灰尘等污染，使后续敷层与前层能牢固粘结。

3.3.2.2 在铺敷成型期间，应同时制作供验证用的试板。试板最好从船体开口或船体外延部位选取，如不可行，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)，由一般作业人员在约 45° 角放置的平板模具上模拟制作。固化后取样，按照 3.4.3.5 的要求测定各项性能，并应满足 3.4.3.6 的规定。对凡用同一图纸型号、同一工艺规程、同一生产条件成批生产的小艇，允许每 10 条艇进行一次试板测试。

3.3.2.3 为了提高层板或构件的层间粘结强度，除使用环氧树脂外，无论中断的铺敷成型、二次粘结或修理，应尽量做到铺敷的第一层材料以短切原丝毡开始。

3. 3. 3 生产条件

3.3.3.1 制造厂应设有能满足材料生产厂建议的贮存条件的仓库。一般应具备下列存放和管理条件：

(1) 仓库应密闭、防日晒、清洁、干燥、按需要通风、足够无尘、以使材料不受到污染或变质。剩余材料应按生产厂建议密封贮存。

(2) 树脂、催化剂、固化剂和促进剂应贮存在通风良好的处所以使其处于生产厂建议的温度范围内。贮存周期不应超过其自身的活性期。填充剂和添加剂应贮存在密封的不透湿无灰尘的容器内；

(3) 纤维增强材料使用前应在相似于铺敷成型车间的温度和湿度下存放 48h；

(4) 芯材应贮存在干燥的处所并加以保护，防止损伤，直至使用前应装在其保护箱中；

(5) 对被认为彼此间是危险的材料，应分开存放。催化剂应按防火规则贮存在远离车间的阴凉干燥处所。

3.3.3.2 铺敷成型车间应满足下列基本条件：

(1) 车间应完全密闭、干燥、清洁、防尘、有充分通风和良好照明，并有适当保护措施，避免任何光线或人造光源影响树脂的正常固化；

(2) 成型车间的温度应在 15~32℃之间，相对湿度应小于 80%，并保持稳定，防止结露或冷凝。喷射成型区域的湿度一般不小于 40%，；

(3) 车间应设有湿度和温度监控装置，随时调整并记录。

3.3.3.3 用于铺敷成型的模具应满足下列要求：

(1) 成型模具应具有足够的刚度和强度，不易变形。模具尺寸、光洁度应满足产品的要求，型线和形状顺畅；

(2) 模具应用合适材料制造，不应受树脂及辅助材料侵蚀，也不应影响树脂的固化。

(3) 施用脱模剂应不影响树脂固化，涂敷应均匀，不遗漏。使用前模具应调节至车间温度。

3.3.3.4 从事铺敷成型工作的管理和作业人员至少应具备下列能力：

(1) 作业人员应经专门培训，了解增强材料和树脂的特点，熟练掌握铺敷成型工艺，具有缺陷判断和排除的能力；

(2) 质量管理人员应具有对工艺和施工质量进行判断的能力，负有对整个成型过程进行严格监测的责任。

3.3.3.5 生产、计量和试验设备应经校验，定期检定，并由合格人员操作管理。

3.3.4 树脂液配制

3.3.4.1 应根据车间环境条件、制品厚度、铺敷面积、成型方法和用胶量来确定胶衣树脂液和铺敷用树脂液的配制。树脂液应有适当的粘度、合适的凝胶时间和预期要求的固化度。

3.3.4.2 树脂液的粘度应适度，以利于涂敷操作和浸透增强材料层，避免流胶引起的缺胶或树脂积聚。

3.3.4.3 凝胶时间应能够适应车间内部温度变化的各种需要。它的长短应以单体不过度挥发损失，垂面无流挂、能浸透增强材料为依据。

3.3.4.4 成型施工前应进行树脂液的凝胶试验，以确定树脂的最佳配料比。对大型或厚度较大的室温固化制品，树脂需用量大，一般可采用多次小量配制的原则，以延长可用时间。不饱和聚酯树脂和乙烯基酯树脂大多采用变化促进剂用量，而不通过变化催化剂来调整凝胶时间。这个凝胶时间应为在模具铺敷层板的凝胶时间，即该树脂的工作寿命。

3.3.4.5 应按配方比例配制树脂液，一般先将催化剂 (包括各种添加剂) 和树脂充分混合搅拌均匀。使用前再添加促进剂搅拌均匀。搅拌时间和速度应适当，避免空气卷入。已加入催化剂的树脂液存放期不能过长。

3.3.5 开工准备

3.3.5.1 铺敷前，所有材料应调节至铺敷车间温度。

3.3.5.2 树脂和胶衣树脂、添加剂、催化剂、促进剂已按配比和施加顺序充分搅拌混合，静置去除气泡。

3.3.5.3 模具已涂敷足够脱模剂，表面干燥清洁，模具温度与铺敷车间温度相同。

3.3.6 施涂胶衣

3.3.6.1 用刷子、辊筒或喷涂设备涂布含催化剂 / 促进剂的胶衣树脂。

3.3.6.2 胶衣施涂应厚薄均匀光整，厚度在 0.3~0.6mm 之间。可以采用多道涂敷的方法，每道之间应有适当的时间间隔 (15~30s)。

3.3.6.3 胶衣外露表面应采取保护措施，保持清洁、无灰尘和污染物。

3.3.7 罩面层铺敷

3.3.7.1 罩面层铺敷应在胶衣树脂初步凝胶但未完全固化时进行。这段时间间隔越短越有效。

3.3.7.2 用刷子、辊筒或喷涂设备，把含催化剂 / 促进剂的树脂施涂至整个胶衣表面。

3.3.7.3 按图纸要求在湿树脂上铺放 300g/m² 短切原丝毡或其他罩面材料，并施足树脂以完全浸透增强材料，使树脂完全包裹每根增强材料纤维。

3.3.7.4 用带沟槽压辊轻轻滚压罩面层。确保浸透纤维并清除层中的空气和孔隙。留意不损伤胶衣。

3.3.8 单层板铺敷成型

3.3.8.1 单层板铺敷成型时应注意下列原则 ：

(1) 增强材料布置应尽可能连续，层板厚度不应有突变，以保持铺层强度的连续性 ；

(2) 推荐使用以短切原丝毡和无捻粗纱正交布交替铺敷成型 ；

(3) 相邻的同一层增强材料层片间一般都应顺着其边缘和端部搭接。搭接宽度不小于 50mm。如采用对接，5 层以内不应有接缝重叠，且应有试验证明强度等效。

(4) 层板中的接缝位置 (无论同一层或相邻层) 都应至少错开 150mm。

(5) 层板厚度变化应缓慢，过渡区的宽度至少为厚度差的 30 倍。渐变过渡区内的增强材料排列方向应保持介于双向和单向层板之间。

3.3.8.2 用浇淋、刷涂或喷涂方法把含催化剂 / 促进剂的树脂施涂至整个罩面层 (或胶衣层) 表面，按要求铺放一道增强材料层并施足树脂液直至增强材料完全浸透，辊压铺层，清除卷入的空气和孔隙。

3.3.8.3 铺敷成型时应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 3.1.3.3(5) 要求的范围内。

3.3.8.4 铺放增强材料层时应按原定要求注意层片类型、重量、纤维取向、交替顺序、边缘和端部的搭接、铺放的时间间隔、凝胶时间。保证完全浸透，竖直表面无流挂、单体无过度损失等。

3.3.8.5　应避免厚层结构产生过热的现象。铺敷厚层板时，单次成型的板厚一般不应超过 10mm，对超出该厚度的铺层，应分多次成型。

3.3.8.6　铺敷应尽可能按连续方法安排，若采用分次成型时，逐次层间的时间间隔应最小，并且界面所用树脂应选择无蜡树脂。如用有蜡树脂则再次成型前应做打毛等处理。

3.3.8.7　当中断铺敷时，成型界面尚应采取措施保持清洁，后续的增强材料层第一层应为短切原丝毡。

3.3.8.8　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。

3.3.8.9　喷射设备在使用前应进行校准，以保证喷出的树脂和纤维的百分比符合预定要求。喷射厚度要求均匀，结构层用短切纤维长度不应小于 35mm。

3.3.8.10　当喷射纤维量达 600g/m² 或 2~3mm 厚度，应使用辊压法或其他方法压实并消除气泡。

3.3.9　夹层板铺敷成型

3.3.9.1　夹层板可用有抗弯曲、拉伸、压缩、剪切和挠曲能力 (例如胶合板)，或者基本上无抗弯曲、拉伸、压缩、剪切和挠曲能力，但有传递剪切载荷能力 (例如轻木、和泡沫塑料) 的芯材铺敷。

3.3.9.2　对夹层板铺敷成型，如合适，应尽量遵循单层板的铺敷成型要求。

3.3.9.3　芯材前的层片应为短切原丝毡，毡应施足树脂浸透，也可以使用合适的粘结膏糊或混合物替代。按要求铺放芯材后应把足够的树脂或膏糊施涂至芯材和后续的层片 (通常也为短切原丝毡) 上，让其浸透并辊压。随后把芯材真空袋压至面板上。

3.3.9.4　如把芯材铺设至已预模制的面板上，则应在铺层固化发热过后尽快实施。

3.3.9.5　如把芯材铺设至不平的铺层表面，应修整铺层表面或芯材外廓，以保证取得均匀的粘结。

3.3.9.6　除使用环氧树脂之外，紧靠着芯材两侧的增强材料应为短切原丝毡，铺敷前的泡沫芯材不再浇涂另外的漆料。

3.3.9.7　粘结前，芯材应保持清洁，并按要求涂以密封底漆。底漆应固化且不妨碍后续所使用粘结方法中所含材料的正常固化。

3.3.9.8　芯材的热成型加工应慎重，不应超过允许的最高温度。

3.3.9.9　对使用硬质芯材的板材，应采用真空袋压工艺。芯材应预先准备“透气孔”，以保证有效清除芯材下面的空气。真空袋压成型后，应在这种“透气孔”上看到粘结膏糊。这种“透气孔”的大小、数量和分布应符合施工规程和材料生产厂的要求。

3.3.9.10　初凝和固化期间施加的真空度应适当，避免可能发生汽化沸腾和单体过度损失。

3.3.9.11　芯材的接头应斜嵌接并粘牢或采用类似的有效方法连接，若相邻芯材的厚度不同，则过渡区的宽度至少应为厚度差的 3 倍。

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

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

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

3.3.10　真空成型工艺

3.3.10.1　真空成型工艺分为以下两种方式：

(1)　干法成型：先将各种纤维增强材料按铺层设计的要求在模具上全部铺放好，并将抽真空所需敷料全部铺放好，然后抽真空。

(2)　湿法成型：与手糊成型法类似，铺设纤维增强材料的同时涂敷基体树脂，铺层完成后再进行抽真空操作。

3.3.10.2　干法成型时，对于铺敷于立面或舷侧等部位的增强材料应采用合适的方式固定，如使用粘结剂则应与成型用树脂有良好的相容性。

3.3.10.3　脱模布的布放应考虑脱模方便，在模具翻边处应越出纤维铺层，之后在其上铺设导流布。

3.3.10.4　导流管应沿艇的纵向方向布设，并采用合适的方式与导流布固定。导流管的数量及布设形式应视铺层的面积大小及形状而定，以保证成型过程中树脂的浸润，避免出现干区。

3.3.10.5　真空成型前应确保真空袋膜与模具之间的密封，如真空袋膜的宽度不够需要拼接时，应

采用合适的措施确保拼接处密封良好。

3.3.10.6 真空度的确定与所用树脂的粘度有关，应按照船厂的工艺规程或树脂厂家的推荐选择。抽真空之后、导入树脂前应对整个真空袋进行检漏，发现泄漏应及时采取措施进行密封，之后进行树脂导入。

3.3.10.7 树脂导入之后待放热完成，固化冷却之后可以撤去真空袋。

3. 3. 11 脱模与固化

3.3.11.1 铺敷竣工后，模制件应在模具中搁置一段时间让树脂固化，搁置时间不应低于 24h。

3.3.11.2 模制件应在其巴柯尔硬度大于或等于 40 后才可脱模。对大型制品，脱模还应在其内部构件安装后进行。

3.3.11.3 脱模后，应采取必要的措施加以支撑，避免制品产生变形。并且通常应在铺敷环境中再放置 24h。

3. 3. 12 二次粘结

3.3.12.1 二次粘结是把湿树脂层片铺敷至已固化的表面上的施工方法。通常只有在整体成型不能实现或内部构件粘结至船体或修理时采用。

3.3.12.2 铺敷应尽可能按连续方法实施。逐层铺敷的时间间隔应最小而切实可行。如应进行二次粘结应按树脂生产厂建议进行。并应将其施工细节纳入质量管理文件中。

3.3.12.3 准备二次粘结时，应尽量遵循下列原则：

(1) 粘结区域应清洁无外来粉粒。如蜡、油脂、灰尘和污物；

(2) 要求打磨时 (尤其高受力区域)，应不损伤任何结构的玻璃纤维，避免造成层板减薄；

(3) 二次粘结铺敷上去的第一层应为短切原丝毡；

(4) 经打磨或撕去皮层的表面，铺敷前应用溶剂擦拭并干燥；

3. 3. 13 缺陷修整

3.3.13.1 经外观检查产品应无表面缺陷及瑕疵。允许对较小的表面瑕疵进行修整。其修整程序应包括在成型工艺规程中。

3.3.13.2 对可能影响强度的缺陷修补，制造厂应提供切实可行的书面修补技术文件 (包括修理区域、使用材料和修理工艺程序等)，证明可达到规定的强度，并经审核同意，方可实施。

第 4 节 检查与试验

3. 4. 1 检查

3.4.1.1 制造厂在铺敷成型过程中应经常进行外观检查。如发现层板固化不当、起泡、空洞、分层、皱褶、树脂流挂或堆积，应采取合适的补救措施予以修复。应进行下列项目检查：

(1) 检查模具的工作面，确保其清洁，且脱模剂已完全均匀覆盖到整个工作面；

(2) 铺敷树脂涂敷到第一层增强材料前的胶衣检查，包括厚度、均匀度和固化情况；

(3) 检查树脂和混合情况。检查和记录基体树脂、催化剂 / 促进剂 / 固化剂、添加剂和填充料的用量；

(4) 检查增强材料是否均匀浸渍并湿透、压实，检查是否按原定要求的顺序、方向铺放并搭接；

(5) 检查和记录树脂 / 纤维比；

(6) 检查固化程序，如发现固化不恰当或起泡、空洞，应采取合适的弥补措施予以纠正；

(7) 监测并记录室内温度、湿度和凝胶时间。

3.4.1.2 铺敷竣工后应进行外观的全面检查。对轻微缺陷可以在脱模前矫正，铺敷部位应无开口、孔隙、凹槽、裂纹或纤维外露。

3.4.1.3 脱模前，检查记录固化制品的厚度及其他必要的尺寸。

3. 4. 2 试样

3.4.2.1 在铺敷成型期间应按本章第 3 节 3.3.2.2 规定同时制作供验证的试板。

3.4.2.2 试样的截取按本篇第 2 章 2.3.4 有关规定加工制备。

3.4.3 试验

3.4.3.1 在铺敷成型过程中，应按规定时间间隔测量凝胶时间，至少每班两次。当树脂、催化剂 / 促进剂或其用量比发生变化，则每次变化应测定凝胶时间两次。凝胶时间测量可按接受的有关标准进行，测得的凝胶时间应为生产中预定期望的数值或为树脂生产厂建议的上下限之间。

3.4.3.2 脱模前，应用巴柯尔硬度测试仪在适当数目测点处测量固化程度，除胶衣外，在表面测量的巴柯尔硬度值应不低于 40。

3.4.3.3 在成型过程中应随时按接受的有关标准测定层板的纤维 / 树脂含量 (重量)。通常采用灼烧法，对特别增强材料 (碳纤维等) 可用酸蚀法。如纤维含量与层板厚度相关，试样在制品上取样的位置应相同，至少应相近。

3.4.3.4 层合板厚度测量通常应不少于 10 点，测量点应均匀分布。对大型制品在长度距离最大 2m 的整个宽度范围内，至少应均布取 10 个测量点。如采用电子测量的方法，则应有相同结构的对照板。测得的厚度应不低于原定图纸要求的厚度。

3.4.3.5 层合板性能应进行下列项目的测试：

(1) 纤维含量 (玻璃纤维：ISO 1172；碳纤维 / 芳纶纤维：ASTM D3171)；
(2) 拉伸强度和模量 (ISO 527-4)；
(3) 弯曲强度和模量 (ISO 14125)；
(4) 压缩强度和模量 (ISO 604)；
(5) 剪切强度和模量 (ISO 14129)；
(6) 层间剪切强度 (ISO 14130)；
(7) 芯材剪切强度和模量 (ISO 1922)；
(8) 芯材与面板胶缝平拉试验 (ASTM C297)。

3.4.3.6 试验结果应按本篇第 2 章 2.3.7 有关规定编制试验报告。各项性能试验的测试结果不应低于层板的设计性能。

第 5 节 纤维增强塑料船直接计算用材料属性

3.5.1 一般要求

3.5.1.1 纤维增强塑料船如要进行直接计算，提交的材料属性数据应满足本节要求。

3.5.1.2 提交的所有材料属性数据应有对应的检测报告，对芯材等成品可接受产品说明书的性能数据，对泊松比可接受文献数据。

3.5.1.3 纤维增强塑料船进行直接计算时，可对构件整体赋予力学性能进行计算也可对构件采用分层的方式赋予材料属性进行层合计算。

3.5.2 定义与术语

3.5.2.1 单层材料：系指由 1 层增强材料 (毡或布) 与树脂复合而成的材料。

3.5.2.2 纤维增强塑料层合板：系指由多个单层材料组成的纤维增强塑料板。

3.5.2.3 1 方向：系指面内纤维主承力方向。

3.5.2.4 2 方向：系指面内垂直于纤维主承力方向的方向。

3.5.2.5 3 方向：系指垂直于 1、2 方向的方向。

3.5.3 构件整体计算所需材料属性

3.5.3.1 对纤维增强塑料层合板应提交其在 1 和 2 方向上的拉伸模量 (E_t)、压缩模量 (E_c) 和剪切模量 (G)、泊松比。

3.5.3.2 对夹层结构材料可提交整体的力学性能属性；也可以按 3.5.3.1 规定提交纤维增强塑料层合板和芯材的材料属性，对非各向同性的芯材还应提交其 3 方向的以上数据。

3. 5. 4 层合计算所需材料属性

3.5.4.1 应提交单层材料在 1 和 2 方向上的拉伸模量 (E_t)、压缩模量 (E_c) 和剪切模量 (G)、泊松比。

3.5.4.2 对夹层结构的芯材应提交 3.5.4.1 规定的数据。对非各向同性的芯材还应提交其 3 方向的以上数据。

3.5.4.3 以上单层材料性能推荐采用测试方法取得。测试方法如下：

单层材料属性 **表 3.5.4.3**

项目	试验方法
拉伸强度及模量	ISO 527-4, ISO 527-5
压缩强度	ISO 14126
剪切强度及模量	ISO 14129

3.5.4.4 如采用应力衡准进行直接计算则除提供 3.5.3.1 或 3.5.4.1 要求的材料性能外，还需提交整体构件或单层纤维增强材料的拉伸强度、压缩强度和剪切强度。

第 4 章　塑料管与配件

第 1 节　一 般 规 定

4.1.1　适用范围

4.1.1.1　本章规定适用于船舶与海上设施中拟使用的塑料管与配件。

4.1.1.2　本章不适用于塑料挠性管、软管及其接头。

4.1.2　定义与术语

4.1.2.1　**塑料**：系指经增强的或未经增强的热塑性聚合物和热固性树脂。

4.1.2.2　**管子 / 管系**：系指管子、配件、管子接头，以及符合性能标准的任何内外衬、护层与涂层的连接形式。

4.1.2.3　**配件**：系指用塑料制成的弯头、肘型弯管、变径管、组装分支管。

4.1.2.4　**接头**：系指使用粘接剂、铺敷、焊接等连接管道。

4.1.2.5　**耐火性**：系指管子遇到火灾时，在一预先设定的时间内保持其强度与完整性 (能够起到其应起的作用) 的能力。

4.1.3　一般要求

4.1.3.1　塑料管与配件所用的主要原材料、管体的组成结构和强度设计、制造工艺、接头的连接方法应经 CCS 认可。

4.1.3.2　塑料管应根据其化学成分、耐温极限、机械物理性能、运送介质的化学性能和压力情况选取。

4.1.3.3　如无可靠数据证实，塑料管及其配件一般不用于介质温度高于 60℃或低于 0℃的管系。

4.1.3.4　塑料管的配件、接头及连接方法的性能应与管子的性能相当。

4.1.3.5　运送能够在管内产生静电荷的液体以及在有害区域使用的塑料管与配件应具有导电性。

4.1.3.6　根据其应用范围及部位要求具有耐火性和低播焰性，除应按本章要求设计制造外，还应分别具备国际海事组织 IMO.A753(18) 和经修订的 IMO.A653(16) 决议规定的试验程序规定的耐火等级和低播焰性。

4.1.3.7　本章涉及的材料性能、成品管子组批、样本采集、试件制作、试验程序、测量方法和结果判别均可按照公认的国际或国家标准进行。

第 2 节　材料、设计、制造与强度试验

4.2.1　材料

4.2.1.1　制造塑料管与配件的主要原材料应采用 CCS 认可的材料。

4.2.1.2　如采用其他未经认可的主要原材料，在使用前管子与配件制造厂应证明该材料的性能与特性符合管子制造的技术条件。必要时验船师可以进行部分或全部的试验。

4.2.1.3　热塑性塑料管一般用聚氯乙烯 (PVC)、聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP) 和丙烯腈－丁二烯－苯乙烯 (ABS) 等非增强聚合物制造；配件还可用玻璃纤维增强上述聚合物制造。所采用的热塑性塑料应满足本篇 2.2.1 的要求。

4.2.1.4　热固性塑料管与配件可采用不饱和聚酯树脂、环氧树脂等制造，所采用的热固性树脂应满足本篇 2.2.2 的要求。

4.2.1.5　玻璃纤维增强材料可采用无碱玻璃纤维、高强纤维及其织物或制品，如连续无捻粗纱、表面毡、短切纤维毡和网格布。禁止采用中碱玻璃纤维制造管材。上述材料应满足本篇 2.2.3 的要求。

4.2.1.6　挤塑体、浇铸体或层板试样的制作，应在尽可能接近成品制造的条件下制备。

4.2.1.7　上述聚合物、树脂和增强材料所测得性能数值，应符合塑料管与配件的制造技术条件和

设计认可的规定要求。

4.2.2 设计

4.2.2.1 塑料管的强度设计，可按照公认的国际或国家标准规定的设计基准和技术条件，同时还应符合本节有关强度的评估要求。

4.2.2.2 塑料管与配件的强度设计应经 CCS 审核，提交资料中应有一份使用材料表，并确认所列材料性能和特性符合设计送审所采用的数据。材料表中至少应包括下列内容：

(1) 树脂
(2) 促进剂 (类型、浓度)
(3) 催化剂 / 固化剂 (类型、浓度)
(4) 固化 / 后固化条件 (如适用)
(5) 树脂 / 增强材料之比
(6) 增强材料 (规格、品种)
(7) 缠绕规律 (或铺层次序)、缠绕角和取向
(8) 尺寸与公差

4.2.2.3 认可时，如能预期可能使用其他材料，则应在认可时列表说明，并证明改用此材料对产品技术性能无影响。

4.2.2.4 认可后，如所用原材料和制造工艺有所更改，则应将更改的情况通知 CCS，必要时应重新认可。

4.2.2.5 塑料管的强度根据标准条件，即大气压力 0.1MPa，相对湿度 30%，环境与充装介质温度 298°K(25℃) 下，管子试样的液压试验失效压力确定。

4.2.2.6 应采用公认的试验方法对液压试验失效压力和压溃试验失稳压力进行实验验证。

4.2.2.7 以短期液压失效压力试验测定的塑料管周向强度为管的内压失效周向应力时，安全系数不小于 6.0。

4.2.2.8 轴向强度应满足下列要求：

(1) 由压力、重量和其他负荷引起的纵向应力的总和应不超过纵向的许用应力。
(2) 对纤维缠绕增强塑料管，其纵向应力之和应不超过由最大内压力作用下引起的最大周向应力的一半。

4.2.2.9 提交设计认可的资料，除了管子的结构 (对热固性塑料管) 和强度计算书外，还应包括配件以及配件与管子连接方法的详图与说明。

4.2.3 制造

4.2.3.1 塑料管与配件应由 CCS 认可的工厂制造。

4.2.3.2 制造厂应具备生产塑料管必需的生产、试验设备和制造能力，以及完善的质量体系，以确保所生产的管子与配件具有均匀一致的机械和物理性能。

4.2.3.3 塑料管可以采用塑料挤出机拉制 (对热塑性塑料管) 或纤维缠绕成型机绕制 (对热固性塑料管)。配件可以采用模压、纤维缠绕、斜切对接及接触模塑 (对热固性塑料管配件) 或注射、模压 (对热塑性塑料管配件) 等工艺方法制造。

4.2.3.4 制造厂应提交必要的工艺技术规程，包括下列内容：

(1) 全部的组成材料；
(2) 制造工艺及主要参数；
    ① 对挤出成型法至少应有料筒加热温度、机头各分段温度挤出速度和牵引速度；
    ② 对纤维缠绕成型法应有内衬层铺敷顺序、结构层缠绕程序或缠绕角度、缠绕张力、固化剂和树脂、增强材料和树脂之比、铺层材料厚度、型芯停绕时间 (初固化)、固化与后固化条件 (如适用)；
    ③ 轻微表面缺陷的修整程序。

4.2.3.5 制造过程中应有足够的质量控制点，随时确保所有原材料使用次序、用量比例及其他工艺要素，如缠绕角、凝胶时间、铺层厚度、固化度等在制造技术条件和设计要求的范围之内。

4.2.4 强度试验

4.2.4.1 认可时，制造厂应对管子的实际强度进行试验验证。

4.2.4.2 强度试验包括下列项目：

(1) 短期液压爆破试验：爆破压力作用下引起的管子失效周向应力应大于公认标准规定的相应最小失效周向应力；

(2) 轴向拉伸强度：试样可以采用实样、比例缩小样或手糊层板，试验结果应大于公认标准规定的相应最小轴向拉伸强度；

(3) 耐冲击性：按接受的标准经受规定程序的冲击后，管子试样还应进行不少于 1h 的 2.5 倍设计压力液压试验，不产生分层与渗漏；

(4) 平行板外载性能试验：5% 径向挠曲时的最小刚度应大于公认标准规定的相应最小平行板外载刚度；

(5) 外部负荷试验：在 100mm 直径管子试样的跨距中点，施加 100kg 集中载荷，管子不产生破裂损坏。试验跨距一般为 6m，保持时间至少 5min。

4.2.4.3 上述试验按照公认的国际或国家标准规定的程序取样、测量和结果评判。

第 3 节 管子成品的质量与缺陷修整

4.3.1 外观

4.3.1.1 所有管子与配件均应进行目视外观检查，应无表面缺陷和瑕疵。

4.3.1.2 管材内表面应光滑平整，无对使用性能有影响的龟裂、分层、针孔、杂质、气泡及缺胶。

4.3.1.3 管体应平直、承插口规整、沟槽光顺；两端面应与管的轴线垂直、无毛刺。

4.3.2 尺寸与公差

4.3.2.1 管子与配件的尺寸、公差应符合制造技术条件的规定。

4.3.2.2 每根管子应测量直径、长度、壁厚和内衬厚度 (如有)。

4.3.2.3 管子的壁厚可在管端垂直管轴线的圆周上测量。测点均布，最少测 7 点，取其平均值。如采用电子测厚仪测量，则绕圆周垂直管轴线并沿长度方向每隔一定距离测量一次，测点数量和分布可按接受的标准确定。最小厚度应在公称厚度的 90% 以上，平均厚度不应小于公称厚度，对纤维增强塑料管，公称厚度为内衬层厚度与结构层厚度之和。

4.3.3 管材性能

4.3.3.1 对有导电要求的塑料管与配件的电阻值应不大于 0.1 MΩ/m。

4.3.3.2 管材的最低热变形温度应大于 80℃。

4.3.3.3 纤维增强热固性塑料管的固化度应在巴柯尔硬度 40 以上；推荐结构层的树脂含量和玻璃纤维含量分别控制在 30±5% 和 70±5% 范围内。

4.3.4 液压试验

4.3.4.1 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。管子应在试验压力下至少保持 5min，以便检查验证。

4.3.4.2 经液压试验的管子不应有滴漏、渗漏、鼓胀或裂纹出现。

4.3.5 缺陷修整

4.3.5.1 较大的缺陷，如碎裂、深度划伤一般不允许作修整。如果修整，应事先提交其修复程序，修整后应有合适的试验证实其质量合格。

4.3.5.2 对不影响管子力学性能的微小表面缺陷，允许进行修整，但修整程序应包括在制造技术条件内。

4.3.5.3 微小表面缺陷可用机加工打磨方法去除和 / 或用同类树脂及薄玻璃毡或织物修复，只要修整后尺寸可接受且在该范围内证实无结构性缺陷存在。

第 4 节 标 志

4. 4. 1 标记

4.4.1.1 所有管子与配件均应用一种可保证追溯制造过程中使用的所有组成材料的方法作标记。

4.4.1.2 凡经 CCS 检验合格的塑料管与配件，制造厂应用模塑、热喷或其他合适的方法如印字，至少在每根管子与配件的一处清晰位置上，标上 CCS 标志及下列标记：

(1) 管子型号或规格
(2) 制造厂名称或商标
(3) 额定压力等级
(4) 制造管子的主体材料
(5) 采用的标准
(6) 建议使用温度
(7) 批号或生产编号
(8) 耐火性和 / 或低播焰性 (如有时)

4. 4. 2 合格证书

4.4.2.1 制造厂应提供每批管子与配件具有下列内容的合格证书：

(1) 订货方名称和合同号 (如已知)
(2) 所用材料的技术规格或等级
(3) 产品名称或型号
(4) 尺寸规格
(5) 批号或生产编号
(6) 必需的性能和液压试验结果报告

第 5 章　围裙材料及其连接件

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。

5.1.2　一般要求

5.1.2.1　围裙裙布应由 CCS 认可的工厂制造。

5.1.2.2　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 CCS 认可。

第 2 节　裙布材料与连接件

5.2.1　裙布材料

5.2.1.1　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公认的技术条件。

5.2.1.2　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。

5.2.2　围裙连接件

5.2.2.1　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。

5.2.2.2　围裙连接件的连接强度应至少与裙布扯断强度相当。

5.2.2.3　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

5.3.1　试验与试样

5.3.1.1　裙布应按公认的标准进行扯断、撕裂、剥离、搭接接头拉伸强度以及拍打试验。

5.3.1.2　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 5.3.1.2(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。

(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，CCS 可要求进行裙布的拍打试验。试样尺寸为 200mm×400mm，每批裙布至少应沿裙布的经向和纬向各取 3 个试样，按公认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 CCS 认可。

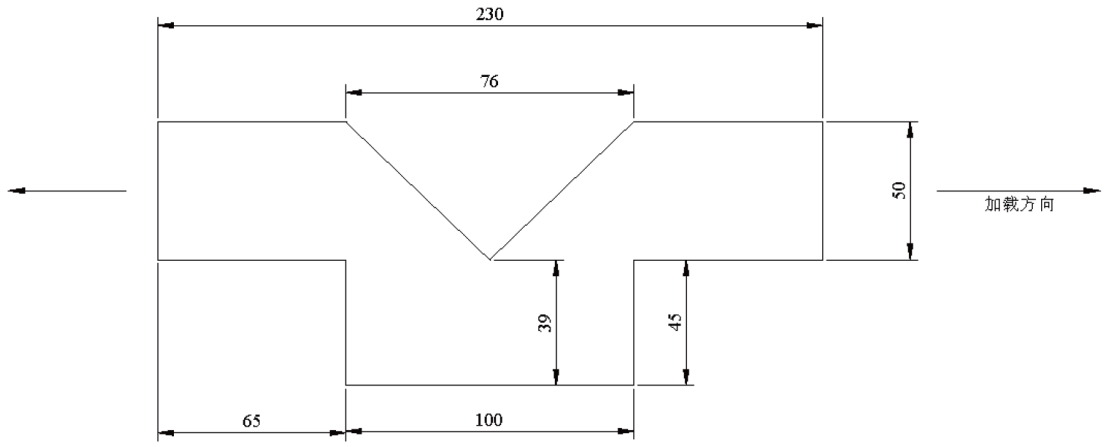


图 5. 3. 1. 2(2)

5. 3. 2 裙布的力学性能

5.3.2.1 裙布的力学性能应符合表 5.3.2.1 的规定。

围裙裙布的力学性能 **表 5.3.2.1**

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)
	ISO 1421		–		ISO 2411	ISO 1421
	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 6 章　混 凝 土

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。

6.1.2　一般要求

6.1.2.1　材料在使用前，应提交 CCS 承认的试验室签发的试验合格证书或鉴定证书。

6.1.2.2　有关材料的试验方法、内容和结果应符合 CCS 接受的有关标准。

6.1.2.3　新材料、新产品应有足够的试验数据，并经评估后方可使用。

第 2 节　原 材 料

6.2.1　水泥

6.2.1.1　水泥的质量应符合公认的有关标准。

6.2.1.2　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或受硫酸盐、冻融、干湿交替等条件的影响。

6.2.1.3　水泥成分中铝酸三钙 ($3CaO{\cdot}A1_2O_3$) 的含量 (以重量计) 应控制在 4%~10% 以内。

6.2.2　骨料

6.2.2.1　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普遍采用的材料，并应有足够的强度和耐久性。

6.2.2.2　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。

6.2.2.3　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。

6.2.2.4　对重质骨料的使用将予以专门考虑。

6.2.3　钢筋和管套

6.2.3.1　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 CCS 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书。必要时，对其握裹性提供说明。

6.2.3.2　预应力钢筋可采用高强钢筋、钢绞线和钢丝束等，其要求和 6.2.3.1 相同，且应特别注意断裂强度和断裂韧性。

6.2.3.3　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。

6.2.4　拌和用水和外加剂

6.2.4.1　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。

6.2.4.2　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 CCS 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。

6.2.4.3　禁止使用氯化钙。

第 3 节 钢筋混凝土

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 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。

6.3.1.2 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，并符合公认的有关标准。

6.3.1.3 对钢筋混凝土结构还应提交配筋图和必要的计算书。

6.3.2 混凝土强度等级

6.3.2.1 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。

6.3.2.2 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。

6.3.2.3 对预应力混凝土，混凝土的强度等级不宜低于 C40。

6.3.3 混凝土的设计强度

6.3.3.1 混凝土的设计强度按表 6.3.3.1 选用。

混凝土的设计强度 **表 6.3.3.1**

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

6.3.4 混凝土的特性

6.3.4.1 混凝土在受拉或受压时，其弹性模量一般可按表 6.3.4.1 选用。

混凝土的弹性模量 **表 6.3.4.1**

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

6.3.4.2 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　　2.3~2.4 t/m^3

钢筋混凝土　　2.4~2.5 t/m^3

6.3.4.3 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　　γ =1/6

线膨胀系数　　$a=1.0*10^{-5}/℃$

6.3.5 钢筋

6.3.5.1 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。

6.3.5.2 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。

6.3.5.3 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公认标准的计算值。

6.3.6 钢筋的混凝土保护层

6.3.6.1 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 40mm

其他部分 50mm

此外，保护层的厚度应不小于骨料直径的 1.5 倍。

6.3.6.2 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。

6.3.6.3 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。

6.3.7 施工

6.3.7.1 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。

6.3.7.2 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较大动力载荷的结构，应进行受力分析，保证有足够的强度。

6.3.7.3 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。

6.3.7.4 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校核，并处于有效的使用期限内。

6.3.7.5 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主要环节进行检查，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。

6.3.7.6 混凝土的配合设计应符合下列要求：

(1) 拌和混凝土的水灰比 (W/C) 应不大于 0.45；

(2) 在不掺和减水剂的情况下，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

6.3.7.7 钢筋应符合下列要求：

(1) 普通钢筋应无浮锈、无油脂、无盐沉积物和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。

6.3.7.8 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。

6.3.7.9 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。

6.3.8 漂浮和临时坐底时的施工

6.3.8.1 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。

6.3.8.2 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。

6.3.9 养护

6.3.9.1 注意混凝土的养护以保证耐久性，使裂缝趋于最小。

6.3.9.2 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

6.4.1 一般要求

6.4.1.1 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在管道铺设、安装和运行期间遭到机械损伤。

6.4.1.2 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。

6.4.1.3 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。

6.4.1.4 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。

6.4.1.5 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。

6.4.2 混凝土性能

6.4.2.1 加重层的混凝土应具有足够的强度、密实度和耐久性。

6.4.2.2 加重层强度要求由设计确定，一般混凝土等级为 C30。

6.4.2.3 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质量。

6.4.3 钢筋

6.4.3.1 混凝土加重层用的钢筋，应采用公认的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，应加以说明。

6.4.3.2 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发展。

6.4.3.3 加强筋的型式和施工方法，应保证环向筋的连续性。

6.4.3.4 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极有电气连通。

6.4.4 施工

6.4.4.1 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。

6.4.5 养护

6.4.5.1 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。

6.4.5.2 对在不利的气候和环境条件下的养护措施，应向 CCS 提交适用于该条件的养护方法的证明文件。

6.4.6 试验和检查

6.4.6.1 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、检查等方法应事先说明并提供资料数据。

6.4.6.2 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。

6.4.6.3 在混凝土浇注前，应按公认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。

6.4.7 修理

6.4.7.1 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。

6.4.7.2 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 7 章 纤 维 绳

第 1 节 船用纤维绳

7.1.1 一般要求

7.1.1.1 本节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。

7.1.1.2 纤维绳所用的原料、结构型式、线密度及额定破断强度应符合公认的有关标准。

7.1.1.3 定义与术语

(1) 线密度：纤维绳在预加载荷下，其单位长度的质量。

(2) 预加载荷：为测定纤维绳公称直径及线密度而按照公认的标准所施加的载荷。

(3) 额定破断载荷：破断试验时必须达到或超过的标称值，也用于对纤维绳公称直径的校验。

(4) 实际破断载荷：破断试验中纤维绳破断载荷的实测值。

7.1.2 材料

7.1.2.1 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) 或化学合成纤维 (聚酰胺、聚酯、聚丙烯、超高分子量聚乙烯或以上材料混编) 制成，如采用其他材料，应有足够的数据证明其性能满足要求。

7.1.2.2 用于制造纤维绳的材料应质地良好，材质均匀，耐腐蚀，耐老化。

7.1.2.3 用于制造纤维绳的纤维应至少进行下列项目的检验：

(1) 纤维破断载荷；

(2) 纤维断裂伸长率；

(3) 纤维线密度。

7.1.3 制造

7.1.3.1 纤维绳应由 CCS 认可的工厂制造。

7.1.3.2 植物纤维绳中任何浸渍润滑剂的用量应减至最小，任何防腐或防水措施均不应对植物纤维造成危害。

7.1.3.3 根据纤维绳的材料和类型，其结构形式一般为 3 股、4 股、6 股、8 股和 12 股，也可考虑其他结构形式。

7.1.4 试验

7.1.4.1 成品纤维绳通常应进行破断试验和线密度测量。

7.1.4.2 样品应从同批号原材料、同一结构、同一尺寸，按相同工艺制造的纤维绳中抽取。除另有协议外，应从上述纤维绳中随机抽取 S 个样品进行试验。S 由下式计算：

$$S = 0.4 \times \sqrt{N} \quad \text{个}$$

式中：S —— 样品数，个；

N —— 组成一批的纤维绳卷数，卷。

计算值 S 为非整数时，所求得的数值应取整为最为接近得整数。当 S<1 时，取一个样品。

7.1.4.3 破断试验应按下列要求进行：

(1) 破断试验试样的取样长度和预加载荷应符合表 7.1.4.3(1) 的规定。

纤维绳破断试验参数　　表 7.1.4.3(1)

材料	试样在夹具间的最小自由长度 (mm)	载荷比 *(%)	试验速度 (mm/min)
植物纤维	1800	2	150±50
合成纤维	900	1	75±25

注：载荷比为预加载荷与额定破断载荷之比。

(2)　施加预加载荷后，校验试样的直径和搓捻均匀度，然后将试样按表 7.1.4.3(1) 所规定的试验速度均匀增加载荷，直至断裂。

(3)　试验结果应满足下列要求：

①　试样的实际破断载荷，应不小于公认有关标准中所规定的额定破断载荷；

②　试验时，若纤维绳的断裂位置在距夹具 150mm 范围之内，可重新取样复试；

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额定破断载荷的 90% 以上时，则可以认为该试验是合格的。

7.1.4.4　线密度测量应满足下列要求

(1)　线密度的检测是按公认的标准对试样进行温、湿度调节后，以试样的总质量除以其在预加张力下的长度来计算得到。应按下列公式进行计算：

$$\rho_x = m_0 / L \qquad \text{ktex}$$

式中：ρ_x —— 线密度，ktex；

m_0 —— 试样质量，g；

L —— 试样在预加张力下的长度，m，$L = D_p \times L_0 / D_0$。

其中：L_0 —— 试样在装上试验机前，用手展直后的初始长度，m；

D_0 —— 试样在展平状态下两标距间的初始距离 (至少为 0.5m)，m；

D_p —— 在预加张力下测得的两标距间的距离，m。

(2)　线密度的测量值应予以记录。

7.1.5　标志和证书

7.1.5.1　经验收合格的每卷成品纤维绳均应在绳卷的明显易见处系上标明产品名称、编号、材料、结构、规格、制造厂名和 CCS 标志的标签。

7.1.5.2　制造厂应对合格的纤维绳提供至少具有下列内容的合格证书：

(1)　产品名称、型号及编号；

(2)　用于制造纤维绳的材料；

(3)　纤维绳的线密度；

(4)　纤维绳的整卷长度和直径；

(5)　纤维绳的结构型式；

(6)　纤维绳的额定破断载荷 (必要时加注实际破断载荷)。

第 2 节　海工用纤维绳

7.2.1　适用范围

7.2.1.1　本节规定适用于作为海上设施结构系泊用的合成纤维绳。

7.2.2　原材料

7.2.2.1　海上设施系泊用纤维绳的制绳的原料通常采用聚对苯二甲酸乙二醇酯 (聚酯，PET)、聚芳酰胺 (芳纶，Aramid)、超高分子量聚乙烯 (UHMWPE) 及聚酰胺 (尼龙，Nylon) 材料。如采用其他材

料，应有足够的数据证明其性能满足要求。

7.2.2.2 用于制造海上设施系泊用纤维绳的原材料应质地良好、材质均匀、耐腐蚀、耐老化。

7.2.2.3 原材料制造厂应为每批制绳的纤维原材料提供附有如下性能参数的原材料质量保证书：

(1) 纤维类型和牌号；

(2) 线密度；

(3) 干态破断强力及伸长率；

(4) 湿态破断强力及伸长率 (仅针对尼龙)；

(5) 湿态纱线间摩擦性能；

(6) 干态蠕变性能；

(7) 加入的整理剂种类及相关说明书 (TDS)(如有时)；

(8) 整理剂含量及水溶性说明。

7.2.2.4 纤维绳制造厂在收到每批用于制造纤维绳的纤维后应进行下列项目的进厂检验，试验方法及抽样要求见下表，检验的结果应符合纤维生产厂所标明的相关技术要求：

检验项目表 表 7.2.2.4

检验项目	标准	抽样方法及数量
干态破断强力及伸长率	ASTM D885	每 5000kg 纤维材料中至少抽取 1 个样品。
湿态纱线间摩擦性能	ISO 18692	每 20000kg 纤维原材料抽取 1 个样品，每个纤维绳订单至少进行一次抽样试验。
线密度	ISO 18692	每 5000kg 纤维原材料中抽取 1 个样品
整理剂含量	ASTM D2257	每 20000kg 纤维原材料抽取 1 个样品，每个纤维绳订单至少进行一次抽样试验。

7.2.2.5 制绳用整理剂应符合以下要求：

(1) 海上纤维绳用整理剂对纤维或成品纤维绳的性能无损伤，且处理后的纤维可降低各绳股纱线间的摩擦，延长合成纤维绳的使用寿命；

(2) 海上纤维绳用整理剂应能在纤维绳的规定寿命期内长期有效。纤维生产商应提供相关的证明以说明其采用的整理剂的长效性。

7.2.2.6 制绳用护套材料应符合以下要求：

(1) 用于制造护套的材料应足够柔软，以使合成纤维绳能够在设计载荷下通过滚轮或一定直径的滑轮布放时不致损伤纤维绳本体；

(2) 对于纤维绳短时或长时间的弯曲 (例如，安装或缠绕在卷盘上的运输) 应根据纤维绳及护套的材料和尺寸对最小弯曲半径分别予以限制；

(3) 选取的护套材料应有良好的耐受低温的性能，以保证其在低温下仍能对纤维绳提供足够的保护。

7.2.2.7 制绳用原材料的储存和使用应遵循以下原则：

(1) 制绳用所有原材料应注意避光、防水保存；

(2) 每个纤维材料的包装都应清楚地进行标记。

7. 2. 3 结构设计

7.2.3.1 常用海上设施用纤维绳的典型结构型式有：平行纤维 (平行纱线)，平行加捻股 (多股绳)，平行编织股 (多股绳)，6 股 (有非承重芯)，7 股 (有承重芯的 6 股绳)，18 股 (6+12)，36 股 (6+12+18)，编绞绳 (8 股绳)，单编织绳 (12 股绳) 及双编织绳。

7.2.3.2 护套设计应符合以下要求：

(1) 护套应能保证在运输、安装及使用过程中对纤维绳提供足够的保护；

(2) 护套的设计形式应能对合成纤维绳提供足够的防护，以防止在使用过程中海水中漂浮沙粒或其他外来坚硬杂质进入绳股间对纤维绳造成损害；

(3) 在有可能发生鱼类咬伤纤维绳的区域，可采用加硬护套的方式；

(4) 护套的型式可以是编织式、挤出式、缠绕式或其他型式；

(5) 纤维绳护套应牢固固定在端头区域，以避免护套在端头部位发生滑动。

7.2.3.3 端头设计应符合以下要求：

(1) 对用于深水系泊系统的合成纤维缆绳来说，典型的端头型式为捻接式。

(2) 纤维绳生产厂所标明的最小破断强力应为包括纤维绳和其上所有端头部分的强度。样品实验所用的纤维绳应与实际使用的纤维绳在材料、端头类型、结构型式方面一致。

7.2.4 制造

7.2.4.1 海工用纤维绳应由 CCS 认可的工厂制造。

7.2.4.2 制造厂应具备生产纤维绳所必需的生产、试验设备和制造能力，以及完善的质量保证体系，以确保所生产的纤维绳具有均匀一致的物理和机械性能。

7.2.4.3 纤维绳生产前，制造厂应提交相应的生产工艺技术规程供船级社认可，此技术规程应至少包括如下内容：

(1) 纤维组合工艺；

(2) 纱线组合工艺；

(3) 合股制绳工艺；

(4) 缆绳护套加工工艺 (如适用)；

(5) 端头处理工艺。

7.2.4.4 生产过程应严格按照认可的生产技术说明书进行，当工艺发生改变时，应提交 CCS 重新进行认可。

7.2.5 纤维绳检验

7.2.5.1 对于海工用纤维绳成品，应目视检查其外观无损伤，校验其绳体结构与设计相符并应检查其搓捻均匀度。

7.2.5.2 成品纤维绳应每卷抽取一个样品进行线密度、湿态破断载荷及公称直径的检验。

7.2.5.3 湿态破断试验与公称直径检验应取 5 个试样，按以下程序进行：

(1) 试样的端头型式应与实际使用情况相同。试样在端头间的长度应至少为 40 倍的纤维绳直径；

(2) 试样制作过程中不应被超过 5% 额定破断载荷的力预拉伸；

(3) 测试前试样应整体在水温为 15~25℃的淡水中浸没 22~26h。试样从水中取出后应尽快进行测试。如从水中取出的时间超出 12h，应对纤维绳进行补浸。每 24h 补浸 2h，但不必超出 24h；

(4) 对纤维绳施加 1% 额定破断载荷的预载荷，测量其公称直径；

(5) 对试验纤维绳继续加载至 50% 额定破断载荷，然后卸载至 1% 额定破断载荷。随后继续同样的加载和卸载，连续 10 个循环。第 11 次开始对纤维绳施加连续加载直到断裂；

(6) 在加载和卸载过程中，夹具移动的速度应满足如下要求：纤维绳从 1% 额定破断载荷加力到 20% 额定破断载荷的时间在 2~30s 间；

(7) 记录每个试样的破断载荷 (施加在纤维绳上的最大载荷) 及断裂位置；

(8) 计算平均湿态破断载荷及标准偏差。

7.2.5.4 纤维绳的线密度试验应按本章第 1 节 7.1.4.4 的规定进行。

7.2.6 纤维绳储存及运输

7.2.6.1 海工用合成纤维绳在储存和运输过程中应采取必要措施以防止阳光照射及纤维绳受潮。且环境温度不应超过相应纤维绳的许用温度。

7.2.6.2 海工用合成纤维绳一般用滚筒缠绕的方式进行储存和运输，在纤维绳缠绕到滚筒的过程中及运输过程中应采取必要措施以防止纤维绳与滚筒发生摩擦而损坏纤维绳。

7.2.6.3 应注意端头处的弯曲半径不应小于厂商规定的最小允许弯曲半径。

7.2.6.4 金属的端头配件应单独缠绕或单独保存以避免损坏纤维绳。

7.2.7 标记和证书

7.2.7.1 每卷成品纤维绳均应在绳体的明显易见处 (例如护套) 印刷上标明产品名称、规格、制

造厂名 (或商标) 的信息。

7.2.7.2 经验收合格的纤维绳应在每根绳的端头处，以牢固的方式 (建议以铅封方式) 系上至少含有纤维绳编号、材料、结构和 CCS 标志的标签。

7.2.7.3 制造厂应对合格的纤维绳提供至少具有下列内容的合格证书：

(1) 产品名称、型号及编号；
(2) 用于制造纤维绳的材料；
(3) 纤维绳的线密度；
(4) 纤维绳的整卷长度和直径；
(5) 纤维绳的结构型式；
(6) 纤维绳的额定破断载荷及实测的湿态破断载荷；
(7) 制造和检验日期；
(8) 许用温度；
(9) 产品储存期。

第 3 篇　焊　接

第 1 章 通 则

第 1 节 一般规定

1.1.1 适用范围

1.1.1.1 本篇适用于船体结构、海上设施结构、锅炉、受压容器、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。若选用其他方法应提供相应的适用性证明材料，经 CCS 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 CCS 批准后方可采用。

1.1.1.4 大型集装箱船用厚度为 50mm~100mm，屈服强度不小于 460N/mm² 的高强度船用结构钢的焊接，除应符合本篇相关规定外，还应满足 CCS《船用高强度钢厚板检验指南》的要求。

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 CCS 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 CCS 颁发或承认的《焊工资格证书》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 CCS 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 CCS 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。

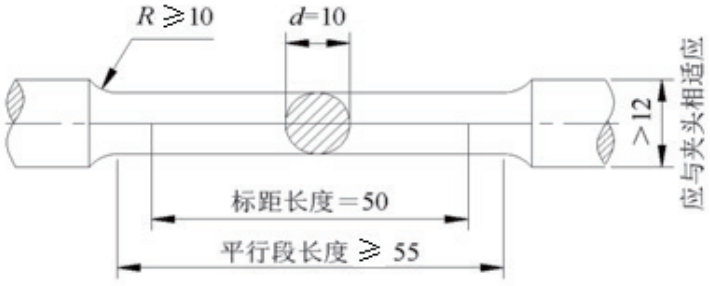
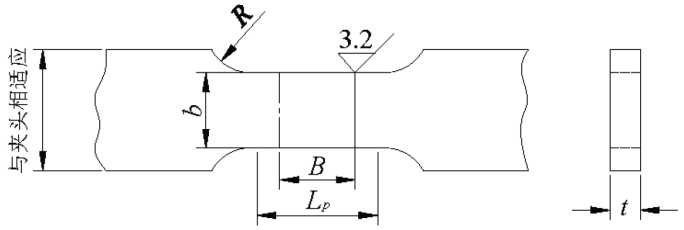


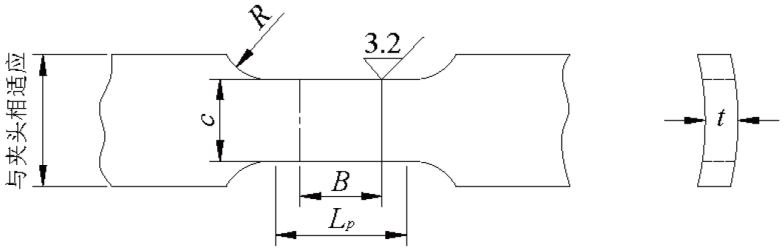
图 1.2.3.1

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。



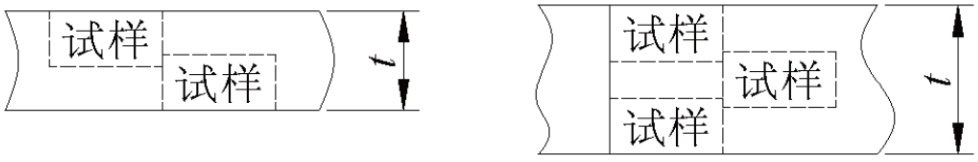
a) 平板试样



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(对 *t*>2mm) 或 12mm(对 *t* ≤ 2mm) ；*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 ；*Lp* – 试样平行段长度，取 *B*+60mm ；*R* – 过渡圆弧半径，大于 25mm。

图 1.2.3.2(1)



a) 25< *t* ≤ 50　　b) *t* >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 1~2mm。管试样可将受压表面机加工成为一个平面。



a)平板弯曲试样

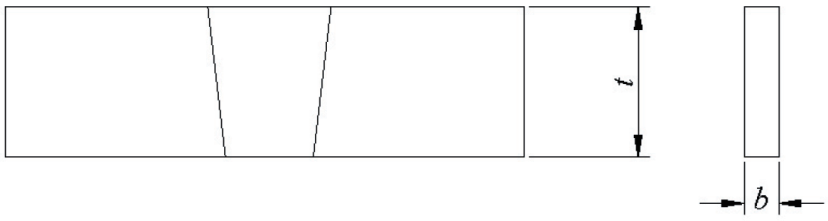


b)圆管弯曲试样

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*+0.1*d*，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 对接焊纵向正反弯曲试样的形状和尺寸应按图 1.2.3.5 和表 1.2.3.5 所示。试样上下表面的焊缝应机加工至与母材表面平齐；如果接头厚度超过 20mm 时或试验机能力不够时，可在试样受压面一侧加工至 20mm。试样的受拉表面允许两侧边缘有半径为 1~2mm 的圆角。弯芯半径应按母材强度高的要求。

纵向弯曲试样的尺寸 **表 1.2.3.5**

a	*b*	*L*
$a \leqslant 6$	20	180
$6 < a \leqslant 10$	30	200
$10 < a \leqslant 20$	50	250

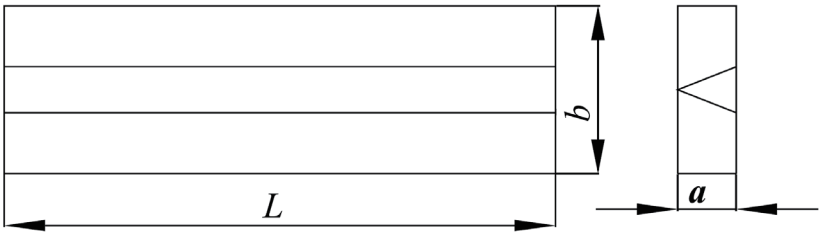


图 1.2.3.5 纵向弯曲试样

1.2.3.6 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。除另有规定外，试样的缺口应位于垂直于试板表面，且垂直于焊缝轴线。

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

1.2.3.8 硬度试验的试样可按本节 1.2.3.7 宏观检查试样截取的方法截取，并将接头处断面磨平并抛光，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，通过该压头使试样弯曲。对焊缝与母材、或两种母材的屈服强度相差较大的情况 (如铝合金、异种钢接头) 推荐使用如图 1.2.4.2 所示的辊筒弯曲试验方法。正、反或侧弯试验是将焊缝的正、反或侧面分别置于受拉位置进行试验。除另有规定外，焊缝弯曲试验的压头直径和试样的弯曲角度规定如下：

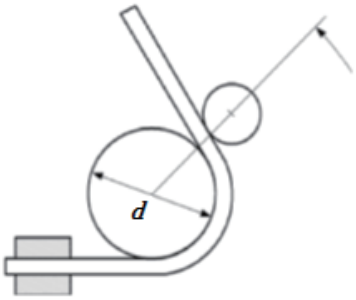


图 1.2.4.2 辊筒弯曲试验方法

(1) 结构钢焊缝弯曲试验应符合表 1.2.4.2(1) 要求。

结构钢焊缝弯曲试验要求 表 1.2.4.2(1)

试验类别	试样材料最小屈服强度规定值 (N/mm^2)	压头直径 d	弯曲角度 a
焊接材料认可试验	$R_{eH} \leqslant 400$ $400 < R_{eH} \leqslant 500$ $500 < R_{eH} \leqslant 690$	$3t$ $4t$ $5t$	120°
焊接工艺认可试验	$R_{eH} \leqslant 400$ $400 < R_{eH} \leqslant 500$ $500 < R_{eH} \leqslant 690$	$4t$ $5t$ $6t$	180°

注：① 表中 t 为试样的厚度。
② 锅炉与受压容器的焊接工艺认可试验时，试验压头直径应符合本篇表 7.2.3.4 的规定。

(2) 铝合金焊缝弯曲试验应符合下列要求：

a、 焊接材料认可试验应符合本篇表 2.9.3.7 要求。

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

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

其中：d— 最大压头直径，mm；

t_s— 弯曲试样厚度 (包括侧弯试样)，mm；

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

(3) 奥氏体不锈钢和双相不锈钢焊缝弯曲试验应符合下列要求：

a、 焊接材料认可试验应符合本篇表 2.8.4.3 要求。

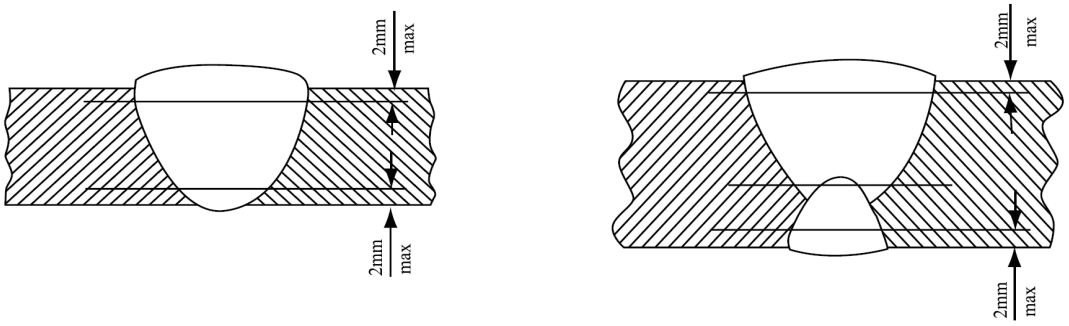
b、 焊接工艺认可弯曲试验应符合表 1.2.4.2(3) 要求。

奥氏体不锈钢和双相不锈钢焊缝弯曲试验要求 **表 1.2.4.2(3)**

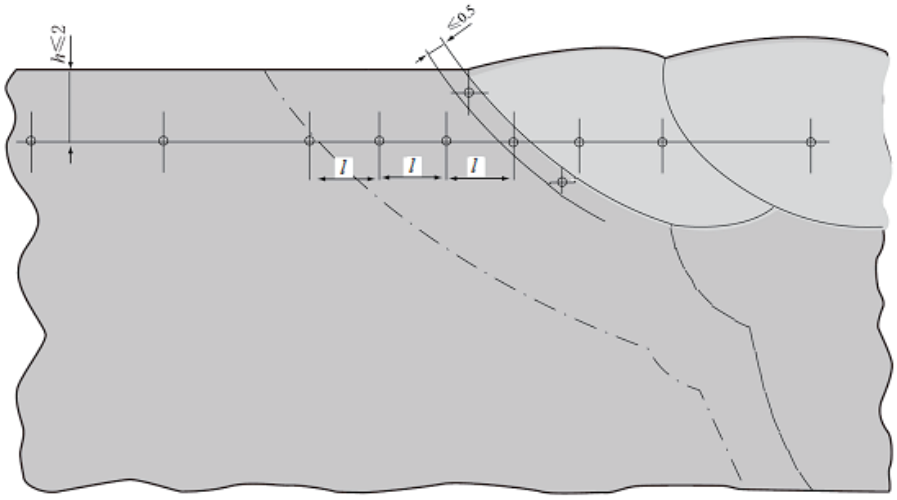
试验材料		压头直径 d	弯曲角度 a
奥氏体不锈钢		4t	180°
双相不锈钢	S22253 S22053	4t	180°
	S25554 S25073	6t	180°

注：t 为试样厚度

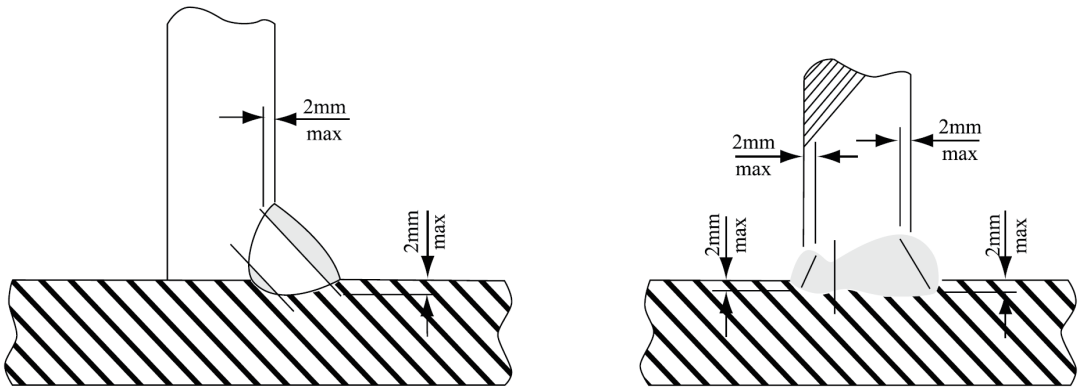
1.2.4.3 除本篇另有规定外，硬度试验是用维氏硬度计，通常施加 98N 力，沿图 1.2.4.3 所示的测试线测量。在焊缝、熔合线、热影响区和母材中的每个区域至少测 3 个点，测点的间距应使两测点间互不干扰 (推荐热影响区内测点的间距 l 为 1mm)。



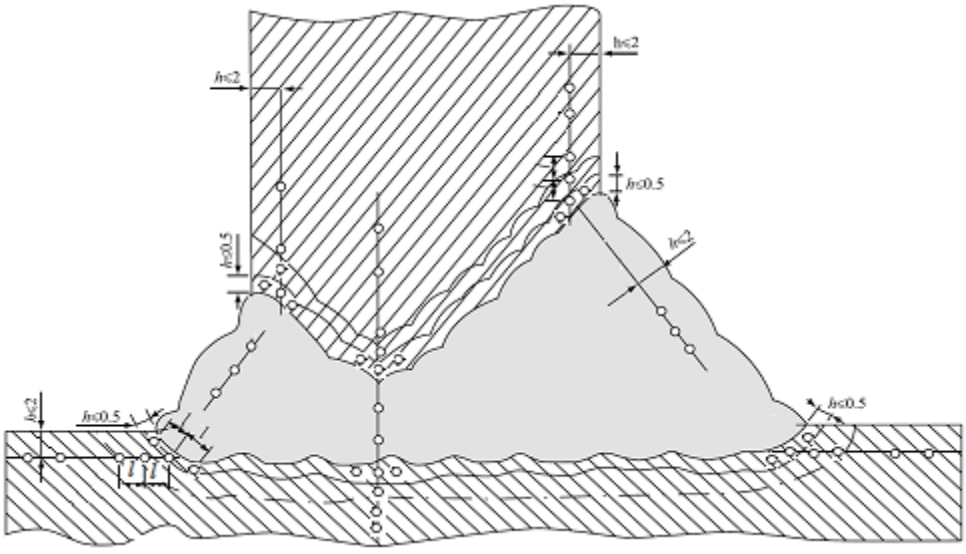
(1) 对接焊缝的硬度测试线



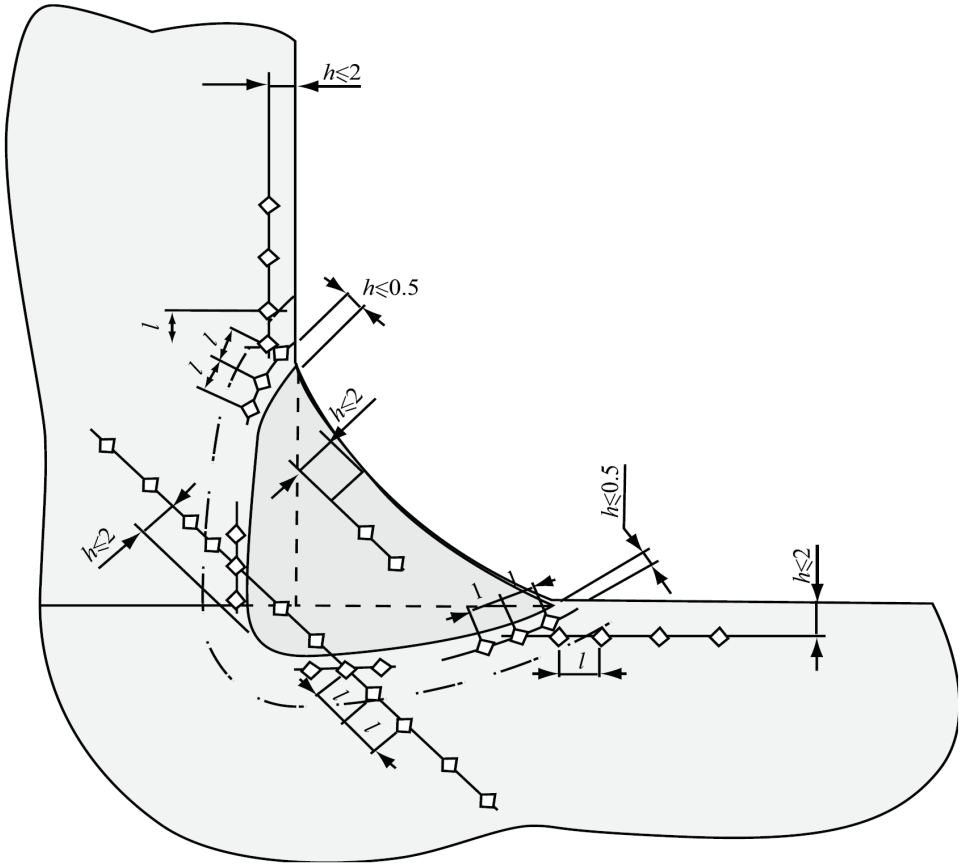
(2) 对接焊每个区域的测点布置示例



(3) 角焊缝硬度测试线



(4) 全熔透角接焊每个区域的测点布置示例



(5) 填角接焊每个区域的测点布置示例

图 1. 2. 4. 3 焊缝硬度测试

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

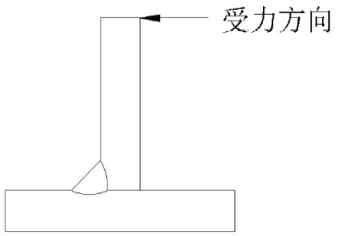


图 1. 2. 4. 4

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。对接接头拉伸试验结果还应记录断裂位置。

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，对不合格试样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。

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

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

1.2.5.6　所有试验结果应全部记录在试验报告内。

第 2 章 焊 接 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 本章第 1 至第 7 节主要适用于结构钢焊接材料，第 8 节适用于不锈钢焊接材料，第 9 节适用于铝合金焊接材料。

2.1.1.3 本章规定以外的焊接材料，应将有关的技术资料提交 CCS，经相关试验验证后方可使用。

2.1.2 工厂认可

2.1.2.1 焊接材料应由 CCS 认可的工厂进行制造，其制造焊接材料所用的金属材料亦应由 CCS 认可的制造厂提供。

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 船舶和海上设施及产品制造厂应采用 CCS 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，CCS 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 CCS 验船师在场时进行。试件焊后建议进行射线检测，以确定焊缝中不存在影响试验结果准确性的缺陷。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。低氢焊接材料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 CCS 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) 试板材料 (牌号)、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、保护气体成分；

(6) 各项试验的结果。

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

认可试验用钢材级别 **表 2.1.3.5**

焊接材料等级	试验用钢级别	焊接材料等级	试验用钢级别	焊接材料等级	试验用钢级别
1	A	3Y42	D420	5Y55	F550
2	B、D	4Y42	E420	3Y62	D620
3	E	5Y42	F420	4Y62	E620

焊接材料等级	试验用钢级别	焊接材料等级	试验用钢级别	焊接材料等级	试验用钢级别
1Y	AH32、AH36	3Y46	D460	5Y62	F620
2Y	DH32、DH36	4Y46	E460	3Y69	D690
3Y	EH32、EH36	5Y46	F460	4Y69	E690
4Y	FH32、FH36	3Y50	D500	5Y69	F690
2Y40	DH40	4Y50	E500	1.5Ni	1.5Ni
3Y40	EH40	5Y50	F500	3.5Ni	3.5Ni
4Y40	FH40	3Y55	D550	5Ni	5Ni
5Y40	FH40	4Y55	E550	9Ni	9Ni

2.1.3.6 试板边缘一般应采用机加工或等离子切割的方法加工。钢材还可采用氧－乙炔及其他合适的自动切割方法加工。当采用热加工方法时应清除在坡口处的氧化物。

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。

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 CCS。CCS 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，CCS 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 CCS 认可的焊接材料，应在每盒或每包上明显地标上 CCS 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强度可以分为 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；若焊接材料的屈服强度大于或等于 400N/mm^2，则在字母 Y 后接以数字 40 至 69。镍合金钢用焊接材料则以其母材中镍的含量分为 1.5Ni、3.5Ni、5Ni 和 9Ni 共 4 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	1Y、2Y 3Y、4Y①	2Y40 3Y40 4Y40 5Y40	3Y42 4Y42 5Y42	3Y46 4Y46 5Y46	3Y50 4Y50 5Y50	3Y55 4Y55 5Y55	3Y62 4Y62 5Y62	3Y69 4Y69 5Y69	1.5Ni	3.5Ni	5Ni	9Ni
熔敷金属试验	屈服强度⑦ R_{eH} (N/mm²)		≥ 305	≥ 375	≥ 400	≥ 420	≥ 460	≥ 500	≥ 550	≥ 620	≥ 690	≥ 375			
	抗拉强度⑧ R_m (N/mm²)		400-560	490-660	510-690	530-680	570-720	610-770	670-830	720-890	770-940	≥ 460	≥ 420	≥ 500	≥ 600
	伸长率 A(%)		≥ 22			≥ 20		≥ 18			≥ 17	≥ 22	≥ 25		
	夏比 V 型缺口冲击试验	试验温度 (℃)	②									-80	-100	-120	-196
		平均冲击功⑥ (J)	≥ 47③			≥ 47		≥ 50	≥ 55	≥ 62	≥ 69	≥ 34			
对接焊试验	接头抗拉强度 (N/mm²)		≥ 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 (℃)	②									-80	-100	-120	-196
		平均冲击功⑥ (J)	≥ 47④			≥ 47		≥ 50	≥ 55	≥ 62	≥ 69	≥ 34			
	弯曲试验		试验后，试样表面上任何方向应不出现长度超过 3mm 的开口缺陷。⑤												

注：① 手工焊条应符合 2Y 级及以上要求。

② 1、1Y 级焊接材料的冲击试验温度为 20℃；
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℃；
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 R_{eH}<400N/mm² 的焊接材料应不低于 34J；对 R_{eH} ≥ 400N/mm² 的焊接材料应不低于 39J。

④ 立焊及自动焊对接接头冲击试验的平均冲击功，对 R_{eH}<400N/mm² 的焊接材料应不低于 34J；对 R_{eH} ≥ 400N/mm² 的焊接材料应不低于 39J。

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

⑥ 冲击试验的单个值应不低于规定值的 70%。

⑦ 当材料无明显屈服点时，则应为规定非比例伸长应力 $R_{P0.2}$。

⑧ 当抗拉强度超过上限时，由 CCS 另行考虑。

2.2.2.4 对屈服强度大于或等于 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 L_0 内的伸长率符合熔敷金属试验的伸长率要求时，可认为试验合格。弯曲试样的标距 L_0 见图 2.2.2.4 所示。

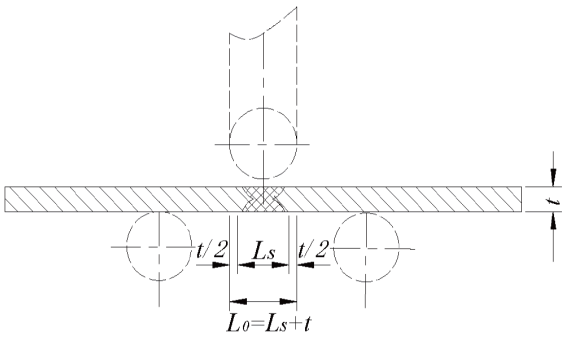


图 2. 2. 2. 4

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 2.3.6.3 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、1Y、2Y、3Y	不作强制要求
4Y、2Y40、3Y40、4Y40	H15
3Y42、4Y42、5Y42、3Y46、4Y46、5Y46、3Y50、4Y50、5Y50	H10
3Y55、4Y55、5Y55、3Y62、4Y62、5Y62、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。

2.3.2.6　对仅用于自动重力式工具或类似焊接工具的焊条，应根据焊条制造厂推荐的方法，进行类似于普通手工焊条的熔敷金属试验、角焊缝试验以及对接焊试验 (如适用时)。对兼用于普通手工焊和自动重力式工具或类似焊接工具的焊条，除按普通焊条试验外，还应使用制造厂推荐的重力式工具或类似焊接工具进行角接焊试验以及对接焊试验 (如适用时)。

当利用自动重力式工具或类似焊接工具进行角接焊试验时，应使用制造厂生产的最长焊条和推荐的焊接工艺。生产厂对各种尺寸焊条推荐的电流范围应予以报告。

当认可的焊条同时适用于一般强度钢和高强度钢时，试件应采用高强度钢来制备。

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 10º 的斜角。垫板的厚度为 10mm，宽度为 30mm，且与试板等长。

2.3.3.3　试件应按图 2.3.3.3 组装。按常规工艺以每层单道焊或多道焊的方法在平焊位置焊接。每一层焊道的焊接方向应在试件端部改变，每一焊道的厚度应为 2mm~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。

2.3.3.5　除本节 2.3.3.4 规定外，还应对每一试件进行熔敷金属化学成分分析。分析报告应提交 CCS。报告中应包括所有重要的合金元素的含量，其结果应不超过标准规定或制造厂指定的极限值。

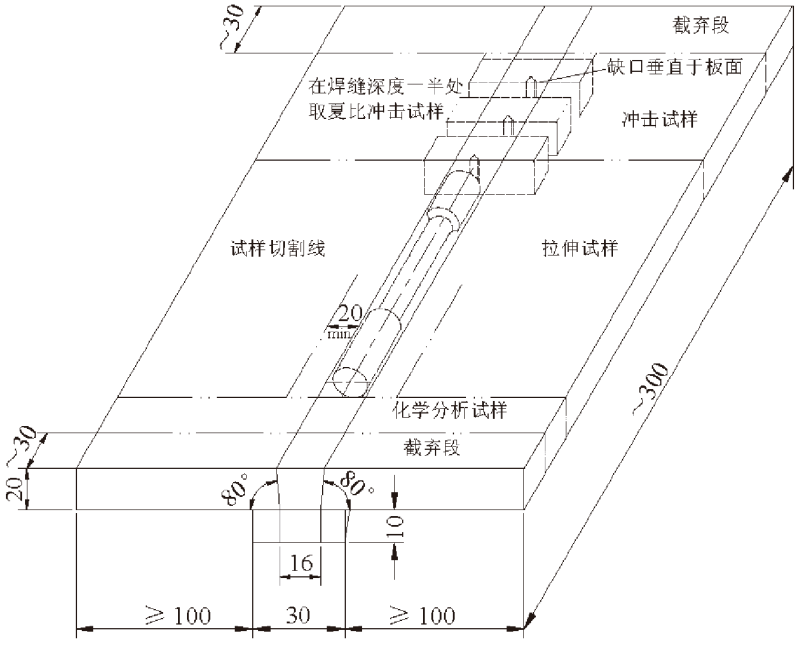


图 2. 3. 3. 3

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，最后两层用制造厂申请认可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，其余各道以制造厂申请认可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，然后用直径为 4mm 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，进行拉伸、正反弯曲和冲击试验 (试样轴线位于板厚中心)。试验结果应符合本章第 2 节的有关要求。

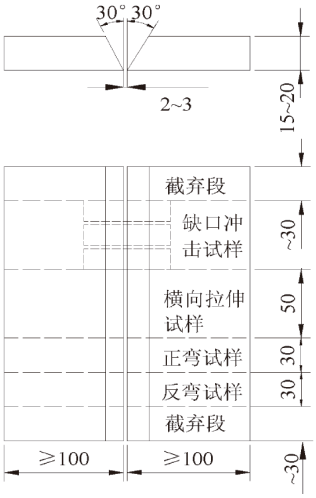


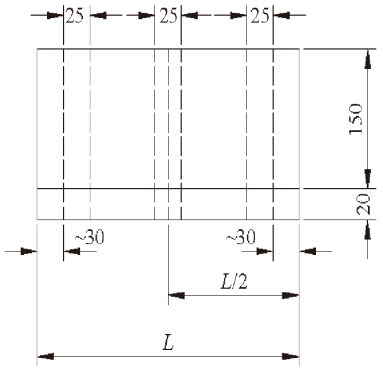
图 2. 3. 4. 4

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。

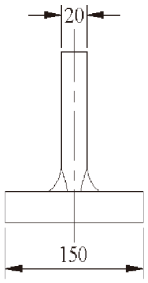
2.3.5.2 每一角接焊试件应制备 2 块试板，试板的厚度为 20mm，宽度为 150mm，长度应能保证充分焊完直径最大焊条的全部长度。

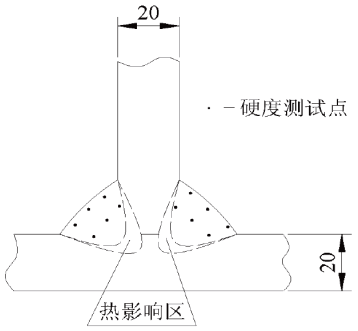
2.3.5.3 按图 2.3.5.3(1) 所示，截取 3 个长度为 25mm 的断面宏观检查试样。检验焊缝的熔合情况，是否存在裂纹、过多的气孔和夹渣等缺陷。并将此 3 个断面宏观检查试样的端面磨光，按图 2.3.5.3(2) 所示作硬度测试，以测定焊接接头的硬度。在余下的 2 个分段中，取 1 个分段将第 1 侧的角焊缝凿槽或刨尽，另 1 个分段将第 2 侧的角焊缝凿槽或刨尽，然后按本篇 1.2.4.4 进行角焊缝破断试验。其断面应显示出熔合良好，无裂纹和疏松等缺陷。



a)

图 2.3.5.3(1)





b)

图 2.3.5.3(2)

2.3.6 测氢试验

2.3.6.1 扩散氢试验应使用 ISO 3690 规定的水银法或热导法。每组应制备 4 个焊接试件。对热导法，不同试验温度下扩散氢最短收集时间应符合表 2.3.6.1 的规定。对含氢量等级为 H10 和 H15 的焊接材料，也可使用 2.3.6.2 规定的甘油法。

热导法试验温度与扩散氢最短收集时间关系 **表 2.3.6.1**

测氢方法		试验温度 (℃)	扩散氢最短收集时间 (h)
热导法①	气相色谱法 (集氢法)	45	72
		150	6

① 热导法包括气相色谱法 (集氢法) 和载气热提取法。对于载气热提取法，若证明其试验程序能保证持续收集和测定扩散氢直到所有扩散氢被测出，则可考虑使用。

2.3.6.2 甘油法测氢程序如下：

(1) 制备 4 块任何等级的船体结构用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) 焊前，试板应予以清洁并秤重，重量精确到 0.1g。

(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)。

(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。

(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，待干燥后秤重 (精确到 0.1g)，以确定熔敷金属的重量。

应仔细测定被收集的氢气的体积，精度应达到 0.05cm^3，然后将测得的体积换算成标准状态 (0℃，101.325kPa) 下的体积。

2.3.6.3 测得的 4 个试样扩散氢含量单独值和平均值应予以报告。每 100 克熔敷金属的扩散氢平均含量应不超过表 2.3.6.3 的规定值：

扩散氢平均含量 **表 2.3.6.3**

含氢量等级	扩散氢含量	测量方法
H15	15cm³ ①	水银法 热导法 甘油法③
H10	10cm³ ②	
H5	5cm³	水银法 热导法

注 ① 使用甘油法时为 10cm³。
② 使用甘油法时为 5cm³。
③ 甘油法不应用于含氢量等级为 H5 的焊接材料。

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 (试样轴线位于板厚中心)。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 1.2.3.7 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。

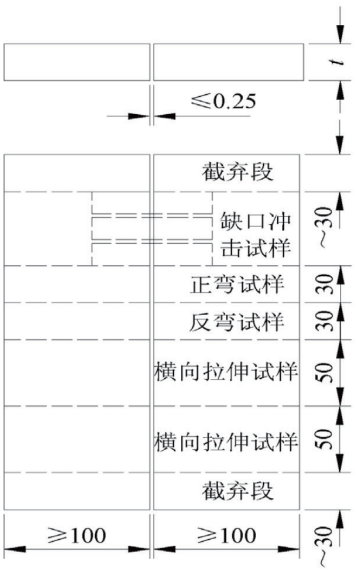


图 2.3.7.3

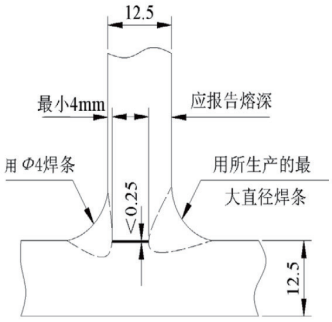


图 2.3.8.2

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，其熔深应记入报告。

2.3.9 年度检查

2.3.9.1 凡得到 CCS 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) 凡认可仅可用于重力焊的焊条，至少应以焊条生产厂推荐的重力式工具或类似焊接工具焊制一个熔敷金属试件，进行各项试验。如果该焊条同时也认可作普通焊条时，应按本条 (1) 要求进行。

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 对用于屈服强度大于或等于 420N/mm^2 焊接结构用高强度钢的焊接材料，应按 CCS 接受的方法进行测氢试验。其结果应符合本章第 3 节表 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，并用申请认可的最大直径的焊丝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 (当同时认可为双面单道焊工艺的焊丝 - 焊剂时，仅需 1 个纵向拉伸试样) 和 1 组 3 个 V 型冲击试样，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 2.3.3.4 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 CCS 审查，其结果应不超过标准规定或制造厂指定的极限值。

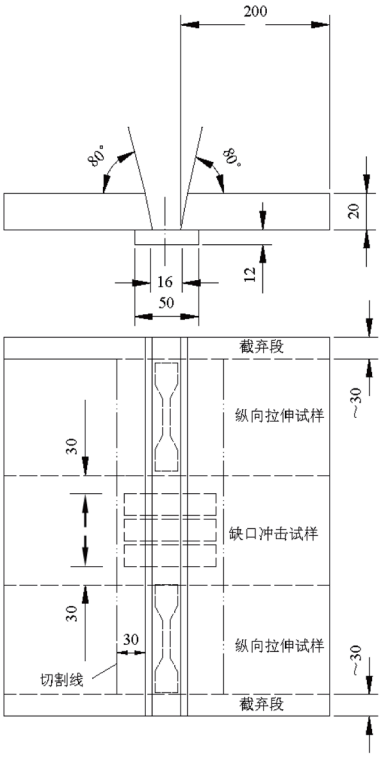


图 2.4.3.2

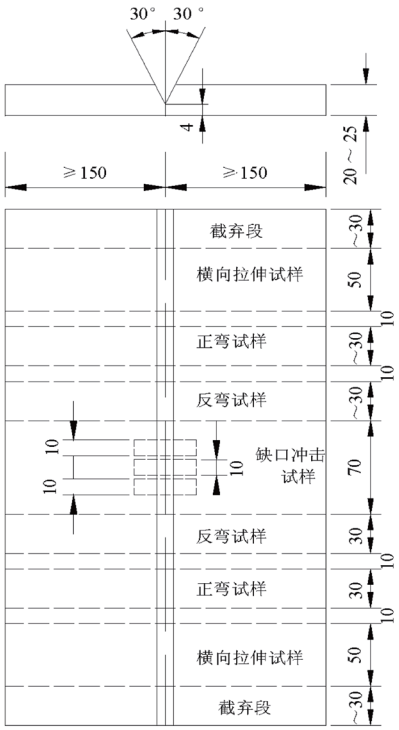


图 2.4.4.3

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 30º 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 (试样轴线位于板厚中心)，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。试板的厚度见表 2.4.5.1。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。

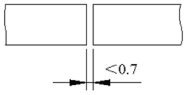
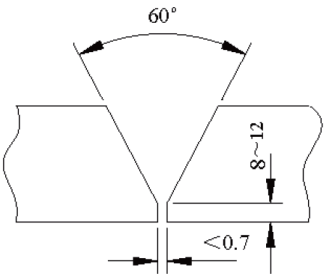
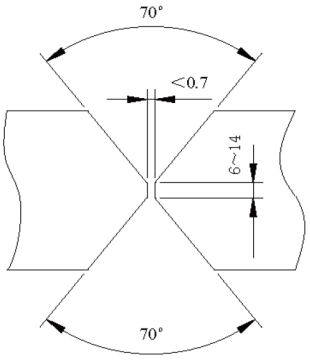
不同焊接材料等级对双面单道焊对接试板厚度的要求 **表 2.4.5.1**

焊接材料等级	较薄试板厚度 (mm)	较厚试板厚度 (mm)
1, 1Y	12~15	20~25
2, 2Y, 3, 3Y, 4Y, 2Y40, 3Y40, 4Y40	20~25①	30~35①

注：① 经 CCS 同意，可对认可的范围 (最大适用板厚) 进行限制。这种情况下不论焊接材料等级均用 12~15mm 和 20~25mm 两副试件进行焊接。此情况仅适用于 25mm 及以下板厚。

2.4.5.2 制作不同厚度试件可采用的最大焊丝直径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 型冲击试样，并在较厚的试件中截取 1 个纵向拉伸试样。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熔敷金属化学成分分析试样，进行化学成分分析。化学成分分析报告中应包括所有重要合金元素的成分，其结果应不超过标准规定或制造厂指定的极限值。

2. 4. 6 年度检查

2.4.6.1 凡得到 CCS 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 (厚度不小于 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。

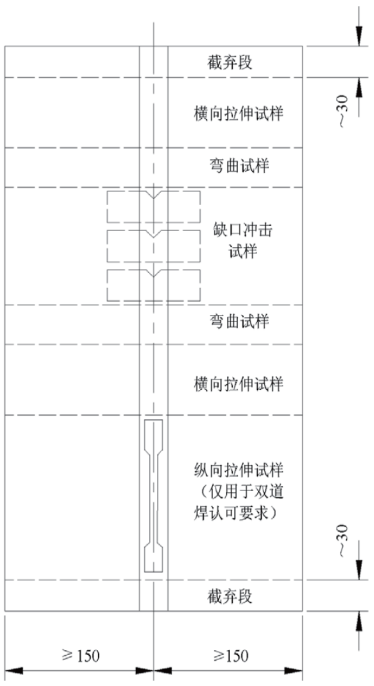


图 2.4.5.4(1)

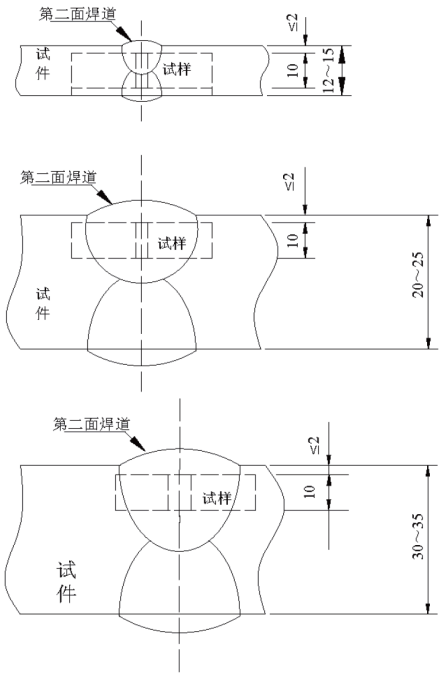


图 2.4.5.4(2)

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(包括气保护焊丝和自保护焊丝)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 药芯焊丝应按 CCS 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 2.3.6.3 的要求。符合低氢要求的焊接材料可在其等级符号后再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组分应在试验报告中列出。保护气体的分组及组分限值见表 2.5.1.3。一种焊丝与不同组别的保护气体配合使用时，应各自分别进行认可试验。

保护气体种类及混合物分组的组分限值 **表 2.5.1.3**

组别	气体组分 (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	—

组别	气体组分 (体积含量 %)			
	氩气 (Ar)	二氧化碳 (CO_2)	氧气 (O_2)	氢气 (H_2)
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气的含量。

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。

2.5.2.4 对兼用于多道半自动和多道自动焊的焊丝与焊丝－气体配合，若两者具有相同焊接电流和热输入条件，可按 2.5.2.1 要求进行试验，不必增加多道自动焊试验项目。

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 多道半自动焊的角接焊试验应在平角焊位置进行。除试板长度不小于 300mm，且两侧焊缝应分别以制造厂申请认可的最小和最大直径焊丝焊制以外，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 双面单道自动焊对接焊试验

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 20~25mm 各 1 副 (每副 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 副。

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。

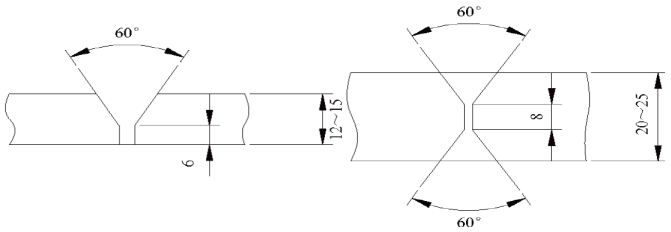


图 2.5.7.3

2.5.8 年度检查

2.5.8.1 凡得到 CCS 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，应使用认可范围内直径焊丝按本章 2.5.3 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。若需要同时对一般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 CCS 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 250mm，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。试板的化学成分 (包括细化晶粒元素的含量) 也应报告。

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、2 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。

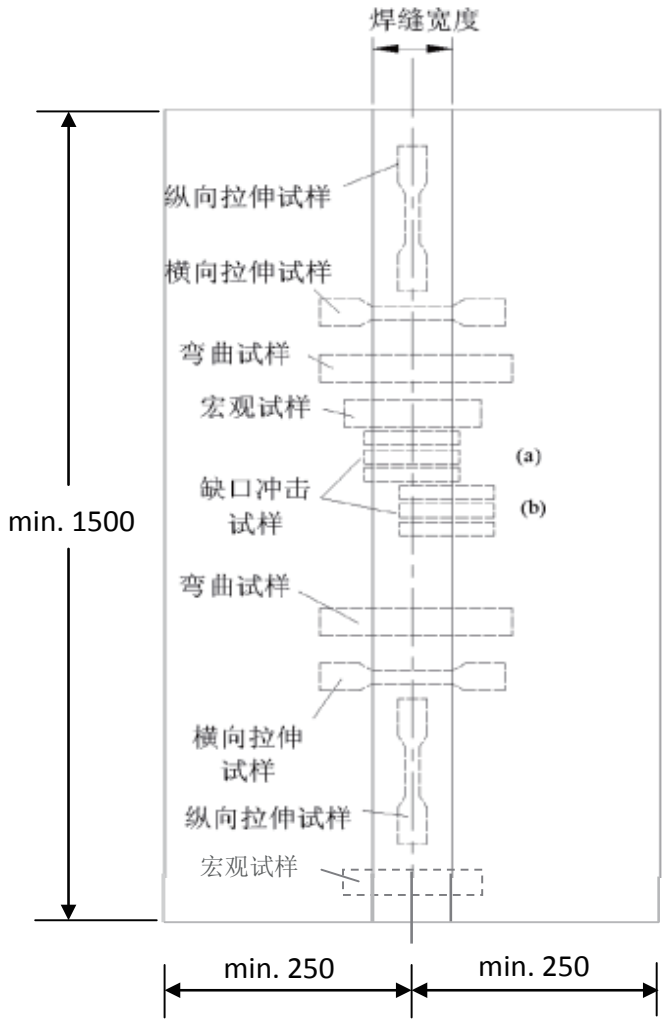
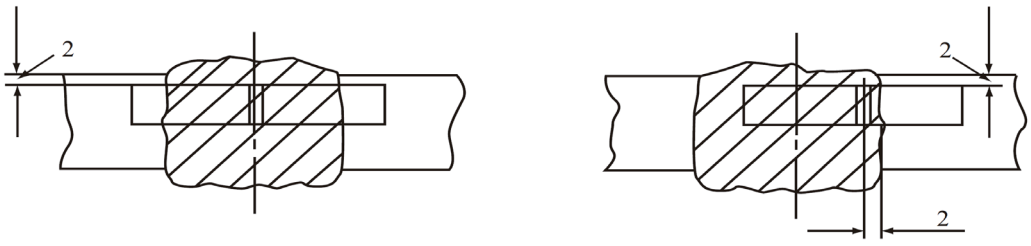


图 2. 6. 2. 3(1)



a) 缺口在焊缝中心线上　　b) 缺口在熔合线以内 2mm

图 2. 6. 2. 3(2)

2. 6. 3　年度检查

2.6.3.1　凡得到 CCS 认可的电渣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 1 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、2 组冲击试样 (V 型缺口分别位于焊缝中心和距熔合线 2mm 的焊缝金属上) 和 1 个宏观试样，分别进行拉伸、弯曲、冲击试验和宏观检验。

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 节的规定及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，CCS 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 30~35mm。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。

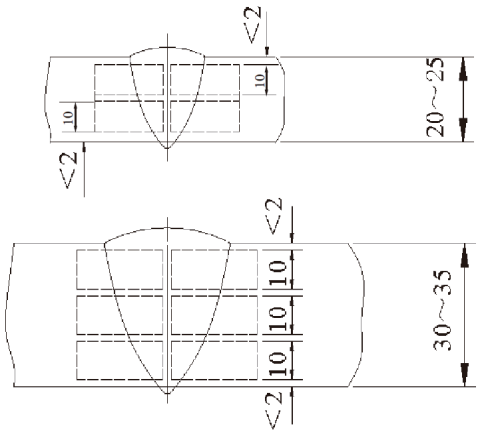


图 2.7.2.3

2.7.3 年度检查

2.7.3.1 凡得到 CCS 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 8 节 不锈钢焊接材料

2.8.1 适用范围

2.8.1.1 本节规定适用于本规范第 1 篇第 3 章第 8 节和第 4 章第 6 节所规定的奥氏体不锈钢和奥氏体－铁素体双相不锈钢 (以下除专门指明外，两者均简称“不锈钢”) 用焊接材料。

2.8.2 一般要求

2.8.2.1 不锈钢焊接材料根据其适用的不锈钢母材进行分级。具体分级符号如下：304、304L、304LN、316、316L、316LN、317、317L、317LN、309、309L、347、2205、2550、2750。

2.8.2.2 适应不同焊接工艺的不锈钢焊接材料应分别按本章 2.4.1 或 2.5.1 在等级符号后加上表示其工艺适用性的后缀。

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

2.8.3 熔敷金属试验

2.8.3.1 不锈钢熔敷金属试验试件用的试板可采用与焊接材料相适应的不锈钢；也可采用普通强度碳钢或碳锰钢，但应以低热输入的方法在坡口表面用待试验的焊接材料堆焊二层隔离层。隔离层的厚度在加工后应不少于 3mm。

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

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

2.8.3.4 熔敷金属的力学性能应符合表 2.8.3.4 所列的相应要求。

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

不锈钢焊接材料熔敷金属的力学性能 **表 2.8.3.4**

焊接材料级别		奥氏体不锈钢			奥氏体 - 铁素体双相不锈钢		
		304L 316L 317L 309L	304LN 316LN 317LN 347	304 316 317 309	2205	2550	2750
规定非比例延伸强度 (N/mm²)	$R_{p0.2}$	≥ 270	≥ 290	≥ 290	≥ 450	≥ 550	≥ 550
	$R_{p1.0}$ ①	≥ 310	≥ 330	≥ 330	≥ 490	≥ 590	≥ 590
抗拉强度 R_m(N/mm²)		≥ 500	≥ 550	≥ 550	≥ 620	≥ 690	≥ 790
伸长率 A_5(%)		≥ 25	≥ 22	≥ 25	≥ 25	≥ 15	≥ 15
夏比 V 型缺口冲击试验	试验温度 (℃)	-20/-196 ②			-20		
	平均冲击功 (J)	≥ 29					

注：① 表中规定非比例延伸强度 $R_{p1.0}$ 值，除另有协议外，一般不作验收依据；
② 奥氏体不锈钢应在 -20℃条件下进行冲击试验；当奥氏体不锈钢用于深冷条件时，应在 -196℃条件下进行冲击试验。当协议有要求时，也可按协议的规定进行冲击试验。

2.8.4 对接焊试验

2.8.4.1 不锈钢对接焊试验用的试板应为与焊接材料相适应的不锈钢。

2.8.4.2 对接接头应进行力学性能试验和晶间腐蚀试验。

2.8.4.3 对接接头的力学性能应符合本节表 2.8.4.3 的相应规定。

2.8.4.4　不锈钢对接接头应参照本规范第 1 篇第 2 章第 7 节取样进行焊接接头的晶间腐蚀试验。

2.8.4.5　对双相不锈钢，除上述要求外，还应参照本规范第 1 篇第 2 章第 9 节取样进行焊接接头的点蚀试验。

不锈钢焊接材料对接接头的力学性能　　表 2.8.4.3

焊接材料级别		奥氏体不锈钢			奥氏体 - 铁素体双相不锈钢		
		304L 316L 317L 309L	304LN 316LN 317LN 347	304 316 317 309	2205	2550	2750
接头抗拉强度 R_m(N/mm²)		≥ 480	≥ 550	≥ 520	≥ 620	≥ 690	≥ 790
夏比 V 型缺口冲击试验	试验温度 (℃)	-20/-196①			-20		
	平均冲击功 (J)	≥ 27					
弯曲试验	弯心直径	3*t*			6*t*		
	弯曲角度	120°					
	要求	试样弯曲后。表面上出现的开口缺陷长度应不大于 3mm。					

注：① 奥氏体不锈钢应在 -20℃条件下进行冲击试验；当奥氏体不锈钢用于深冷条件时，应在 -196℃条件下进行冲击试验。当协议有要求时，也可按协议的规定进行冲击试验。

2.8.5　年度检查

2.8.5.1　不锈钢焊接材料的年度试验应按焊接材料的形式，根据本章 2.3.9、2.4.6 或 2.5.8 的规定进行。

2.8.5.2　所有试验结果应符合表 2.8.3 和 2.8.4 的相应要求。

第 9 节　铝合金焊接材料

2.9.1　适用范围

2.9.1.1　本节规定适用于本规范第 1 篇第 8 章所规定的船体建造和海上设施用铝合金的焊接材料。

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

2.9.2　一般要求

2.9.2.1　铝合金焊接材料根据对应的母材种类和强度级别分为 A、B、C、D4 个等级。

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

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

2.9.2.4　铝合金焊丝或填充焊条应与按表 2.9.2.4 规定的保护气，或带“S”符号的“特定”纯的或混合的保护气一并进行认可。保护气体的组分应予以报告。经同意，经认可的焊丝或填充焊丝与某一保护气体组合一般可覆盖该焊丝或填充焊丝与表 2.9.2.4 中同组其他保护气体的组合。

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

使用的保护气体和混合物的组分限值 表 2.9.2.4

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

2.9.3 试验要求

2.9.3.1 铝合金焊接材料认可一般应进行熔敷金属试验和对接焊试验。

2.9.3.2 熔敷金属试件可按图 2.9.3.2 所示制备 1 个试件。所用的母材在化学成分上应与焊缝金属相适应。试件尺寸根据焊接材料的种类 (和焊接方法) 而定，并应保证能提供足够的纯焊缝熔敷金属供化学分析。

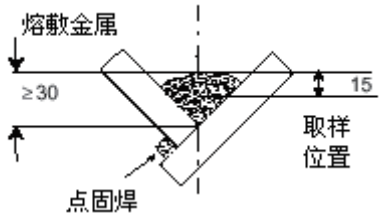
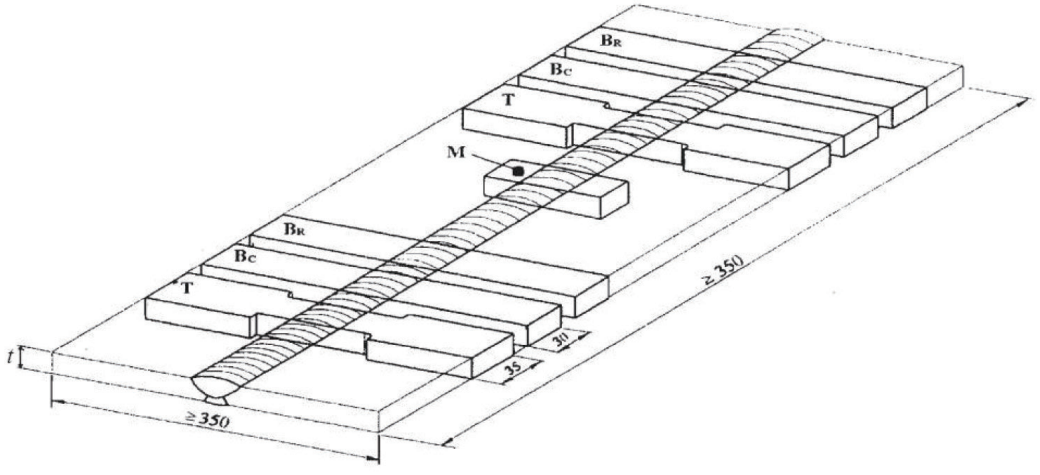


图 2.9.3.2 熔敷金属试件

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



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

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

图 2.9.3.4 对接焊试件和试样位置

2.9.3.4　对接焊试验应根据焊接材料制造厂推荐的各种位置 (平、横、立向上和仰)，按图 2.9.3.4 所示，每个位置制备 1 个板厚为 10~12mm 的试件。经同意，平焊和立向上焊试验满足要求可免除横焊试验。此外还应参照图 2.9.3.4 制备 1 个板厚为 20~25mm 的仅用于平位置对接焊的试件 (坡口为 70° 的单 V 型坡口)。

2.9.3.5　试件焊接可按本章 2.5.4 或 2.5.6 的要求进行。焊后自然冷却至室温。试件或试样均不能进行任何热处理。D 级焊接材料的试件允许焊后搁置不少于 72 小时进行自然时效，而后取样进行试验。

2.9.3.6　按图 2.9.3.4 所示，每个试件应截取 2 个横向拉伸试样、4 个弯曲试样 (正、反弯各 2 个) 和 1 个宏观断面试样分别进行试验。

2.9.3.7　拉伸试验和弯曲试验结果应符合表 2.9.3.7 的有关规定。拉伸试样的断裂位置应予以记录。宏观断面检查应无可见的裂纹、未焊透、气孔和夹杂等缺陷。

铝合金焊接材料的力学性能　　**表 2.9.3.7**

焊接材料等级		A		B	C				D
试验用母材牌号		5754	5454	5086	5083	5383 5456	5A01	5059	6061、6005A、 6082
拉力试验	抗拉强度 N/mm^2	190	215	240	275	290	325	330	170
弯曲试验	弯心直径	3*t*	4*t*	6*t*					
	最小弯曲角度	180°							
	试验要求	试验后，试样表面上出现的开口缺陷长度应不大于 3mm。角部开裂可以在评定时不计，除非证明该裂纹是由未熔合等缺陷所导致的。							

2.9.4　年度检查

2.9.4.1　铝合金焊接材料的年度检查应根据焊接材料的形式焊制一个熔敷金属试件和一个平位置对接焊试件，进行熔敷金属的化学成分分析和对接接头的力学性能试验。

2.9.4.2　所有试验结果应符合 2.9.3.3 和表 2.9.3.7 的相应要求。

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常用可焊接钢材和铝合金材料的焊接结构生产前的焊接工艺认可。

3.1.1.2　本章关于铝合金焊接工艺认可的要求仅适用于铝合金熔化极惰性气体保护焊 (MIG)、钨极惰性气体保护焊 (TIG) 和等离子焊等焊接方法。

3.1.1.3　本章未作规定的其他材料的焊接工艺，应由工厂提供相关的资料，经 CCS 评定 (必要时进行认可试验) 后认可。相应的认可范围由 CCS 根据具体情况予以考虑。

3.1.1.4　液化气船液货舱和处理用压力容器的焊接工艺认可应满足 CCS《散装运输液化气体船舶结构与设备规范》的第 6 章的相关要求。

3.1.2　焊接工艺文件

3.1.2.1　焊接工艺计划书 (PWPS) 是由船厂或产品制造厂在焊接工艺认可试验前编制，用以指导完成焊接工艺认可试验的技术文件。焊接工艺计划书应包括焊接工艺规程中所有的技术参数。在认可试验中，可根据试验的结果对相关的技术参数进行修改和完善。

3.1.2.2　焊接工艺试验报告 (WPQR) 是准确描述和详细记录焊接工艺认可试验中实际使用和得到的技术参数的技术文件，用作焊接工艺规程认可的依据。报告中涉及的每项试验结果 (包括复试结果) 均应予以评价。

3.1.2.3　焊接工艺规程 (WPS) 是工厂根据合格的焊接工艺试验报告，对焊接工艺计划书修改完善后并经 CCS 正式批准的技术文件，用以指导产品生产焊接。

3.1.3　认可

3.1.3.1　建立并证明一项焊接工艺规程是否对某一具体用途的适用性是制造者的责任。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汇总表交验船师认可。汇总表中应针对建造中焊缝出现于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。

3.1.3.2　通常在采用新材料、新工艺时，应进行工艺认可试验，以验证制造厂具备使用该工艺进行焊接作业的适当资质。工厂应制定详细的焊接工艺计划书。提交认可的焊接工艺计划书应包括下列内容：

(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、加工要求及衬垫材料 (如有时)；
(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。

3.1.3.3　试件的焊接和试样的试验应由验船师在场见证。

3.1.3.4　试验过程中应将试验用的参数和结果记入焊接工艺试验报告，见证验船师应在试验报告上签署。

3.1.3.5　工厂应根据试验结果，编写完整的焊接工艺规程，并附以试验报告一起提交 CCS 认可。

3.1.3.6　当试验结果不满足相关要求，且按本篇第 1 章 1.2.5.2 ～ 1.2.5.4 进行复验仍不合格时，制

造厂应调整焊接工艺计划书，并按更新内容重新进行焊接试验。

3.1.3.7　当工厂对已批准的焊接工艺规程进行改动时，应将所有改动的内容提交 CCS 审核。CCS 根据改动的具体内容决定是否重做焊接工艺认可试验。

3.1.3.8　一个制造厂取得的合格的焊接工艺规程适用于具有相同的技术和质量管理条件的车间。

3.1.4　认可焊接工艺的适用范围

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

3.1.4.2　焊接方法的认可范围通常仅限于认可试验所用的方法。认可的多道焊工艺不能应用于单道焊，并且在铝合金焊接中认可的单道焊工艺也不能应用于多道焊。对于多种焊接方法组合的焊接工艺认可，一般应采用组合焊试验，认可后仅适用于与试验相同顺序的组合焊工艺。对船体结构用钢，也可采用各种独立焊接方法分别进行工艺认可。

3.1.4.3　焊接工艺规程对钢材的适用范围规定如下：

(1)　对相同强度级别的钢材，适用于与试验母材韧性等级相同或较低的钢材。

(2)　对除上述 (1) 以外，规定屈服强度最小值小于或等于 390N/mm^2 的钢，适用于与试验母材强度级别相同或低两个级别的钢材；对高强度淬火回火钢，适用于与试验母材强度级别相同或低一个级别的钢材。

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

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

(5)　对交货态与认可试验母材不同的钢材，除下列规定者外，CCS 将根据情况提出试验要求：

①　淬火回火钢与其他交货状态钢材认可的焊接工艺不能相互覆盖；

②　一般情况下正火、热轧、控轧交货状态钢材认可的焊接工艺可覆盖 TMCP 钢。但反之不能覆盖。

3.1.4.4　焊接工艺规程对铝合金材料的适用范围应符合下列要求：

(1)　铝合金焊接工艺认可按母材化学成分分组如下：

A 组：Mg<4% 的铝 - 镁系铝合金 (5754、5454)

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

C 组：铝 - 硅 - 镁系铝合金 (6005A, 6061, 6082)

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

3.1.4.5　焊接工艺对厚度的适用范围应符合下列规定：

(1)　钢材和铝合金厚度适用范围分别应符合表 3.1.4.5a、3.1.4.5b 的规定。

钢材厚度的适用范围　　**表 3.1.4.5a**

试件厚度① t (mm)	认可范围	
	单面单道焊或双面单道焊的对接接头和 T 型接头	多道焊的对接接头和 T 型接头以及填角接焊②
$t \leqslant 3$	(0.7~1.1) t	(1~2) t
$3 < t \leqslant 12$	(0.7~1.1) t	3mm~2t
$12 < t \leqslant 100$	(0.7~1.1) t③	(0.5 ~2) t(最大 150mm)
$t > 100$	不适用	50mm~2t

注：①　对组合焊工艺，记录的每种方法所涉及厚度可作为确定各独立焊接方法厚度认可范围的基础。

②　对填角焊缝，认可范围适用于两个母材金属的厚度。

③　对热输入超过 50kJ/cm 的焊接方法，认可的厚度上限是 1.0×t。

铝合金厚度的适用范围 表 3.1.4.5b

试件厚度①② t(mm)	认可范围③
$t \leqslant 3$	(0.5~2) t
$3 < t \leqslant 20$	3mm~2t
$t > 20$	$\geqslant 0.8\,t$

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

(2) 除 (1) 外，填角焊缝的焊喉厚度适用范围应符合如下规定：
钢材： 单道焊时，为试验焊缝焊喉厚度的 0.75~1.5 倍；多道焊时，为试验焊缝焊喉厚度的 0.5 倍 ~2 倍。
铝合金：一般为试验焊缝焊喉厚度的 0.75~1.5 倍，但当试验焊缝的焊喉厚度大于或等于 10mm 时，适用于焊喉厚度不小于 7.5mm 的焊缝。

(3) 对于下行立焊，试板的厚度即为认可厚度的上限。

(4) 对于不等厚板材对接焊，表 3.1.4.5 中适用厚度范围按较薄板计算。

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

3.1.4.6 焊接工艺对管材外径的适用范围应符合表 3.1.4.6 的规定。

焊接工艺对管材外径的适用范围 表 3.1.4.6

试件管子外径 D(mm)	适用范围 d(mm)
$D \leqslant 25$	$0.5D \leqslant d \leqslant 2D$
$D > 25$	$d \geqslant 0.5D$(最小 25mm)

3.1.4.7 焊接材料和辅助材料的适用范围如下：

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

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

(3) 保护气体成分或混合气体的混合比变化不超过本篇表 2.5.1.3 或表 2.9.2.4 分组范围。

3.1.4.8 焊接位置的适用范围一般仅限于认可试验的焊接位置。但当考核最高热输入焊接位置 (通常是立向上焊) 和最低热输入焊接位置 (通常是横焊) 合格后，可适用于除立向下外的其他焊接位置。管子外径大于 25mm 的管对接适用于相应焊接位置的板对接。

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

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

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

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

3.1.4.13 接头型式的认可范围应按表 3.1.4.13 的规定。通常对接焊合格的焊接工艺也适用于相应

厚度的角接焊，但对铝合金及屈服强度大于或等于 355N/mm² 的钢材应按结构要求进行角接焊试验。

焊接接头型式的适用范围 **表 3.1.4.13**

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

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

3.1.4.15　除上述规定外的其他变量的认可范围，经 CCS 同意，可参照有关公认标准的要求。

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符合焊接工艺计划书的要求。

3.2.2.2　轧制钢材的试板取向一般应根据冲击试验的需要而定 (见图 3.2.2.2 所示)。除一般强度和高强度船体结构钢试板的取向应使焊缝垂直于试板的轧制方向外 (纵向冲击)，其他轧制板材试板的取向均应使焊缝平行于板材的轧制方向 (横向冲击)。

铝合金试板的取向应使焊缝平行于试板的轧制方向。

3.2.2.3　试板的尺寸应保证能够取到足够数量的试样，且至少满足下列要求：

(1)　平板对接焊试板的尺寸按表 3.2.2.3 的规定。

平板对接焊试板尺寸 **表 3.2.2.3**

焊接方法	试板尺寸 (mm)	
	长度 L	宽度 b
手工焊、半自动焊	≥ 350(6t)①	≥ 150(3t)①
自动焊	≥ 1000	≥ 200(4t)①

注：① 两者中取大者 (t —试板厚度，mm)。当试板厚度超过 100mm 时，经 CCS 同意可适当减小试板尺寸。

(2)　管子对接焊试管的长度 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。

3.2.2.4　试板准备、焊缝坡口形式、装配、焊接及热处理工艺等均应符合焊接工艺计划书中的规定。

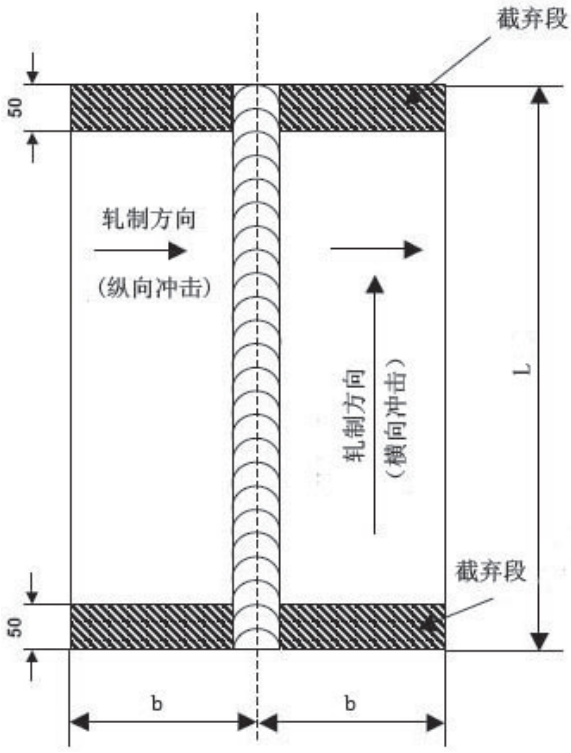


图 3. 2. 2. 2　对接焊试板的取样方向

3.2.2.5　在焊接过程中，如果定位焊缝和 / 或熄弧 / 引弧点是焊接工艺的一个条件，则在试件中应包括这些要求，使其熔入成形接头中。

3. 2. 3　取样

3.2.3.1　试件切割前应进行 100% 外观检查、100% 表面和内部无损检测。如果要求进行焊后热处理或时效处理，则无损检测应在热处理或时效处理后进行。对规定最小屈服强度大于或等于 420N/mm^2 的高强度淬火回火钢，除非焊后热处理已经完成，否则无损检测应延迟至少 48 小时。无损检测工艺应经 CCS 同意。

3.2.3.2　钢和铝合金试件的外观和无损检测结果应分别满足 ISO 5817 和 ISO 10042 的 B 级 (焊缝超高、凸度过大和根部下塌可接受 C 级) 或其他相当标准的要求。

3.2.3.3　如果试件不满足外观检查或无损试验的要求，则可再焊制一个试件并作同样的检验。如果附加试件仍不满足相关要求，则应修改焊接工艺计划书，然后再进行相应的认可试验。

3. 2. 4　对接焊工艺试验项目

3.2.4.1　钢材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：试样尺寸应符合本篇第 1 章第 2 节的有关规定。

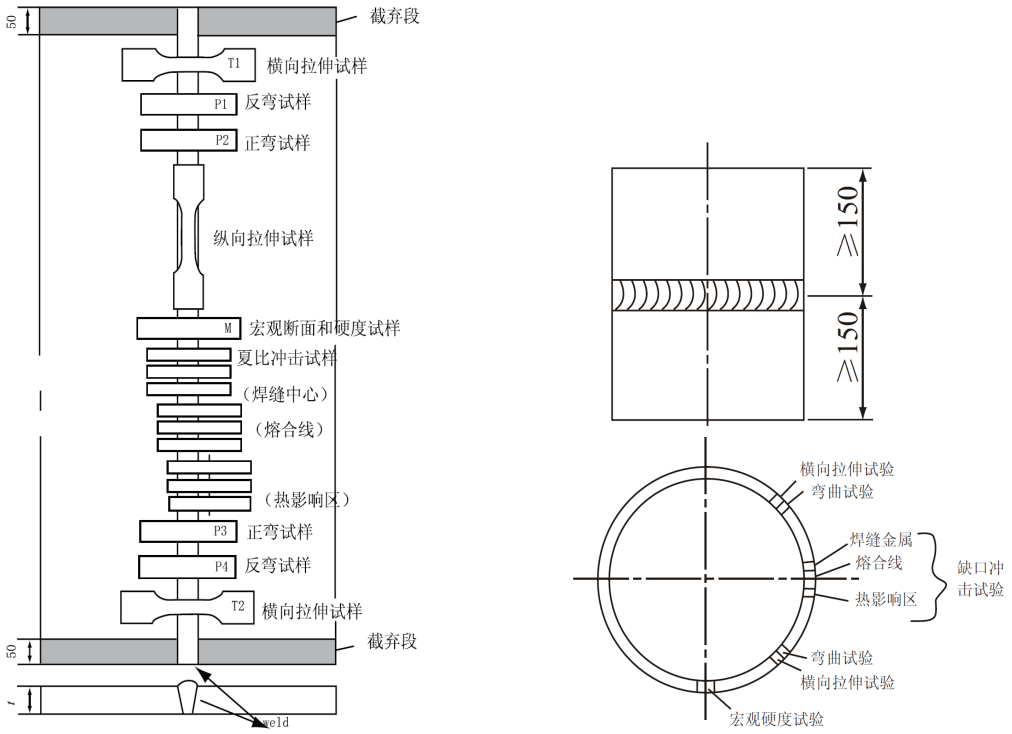
(1)　焊缝横向拉伸试样 2 个；

(2)　焊缝横向正反弯试样各 2 个。若试件厚度大于或等于 12mm 时，可改取侧弯试样 4 个；若对接焊的两块试板材料不相同，允许将横向正反弯曲试样改为纵向正反弯曲试样进行试验；

(3)　应根据热输入范围、焊接工艺和试件板厚，按表 3.2.4.1(3) 要求，在图 3.2.4.1(3) 所示位置制取冲击试样若干组 (每组 3 个试样)；

(4)　焊缝断面宏观检查与硬度测试试样各 1 个 (一般应在有焊道接头处截取)。母材规定最小屈服强度低于 355N/mm^2 的钢材可免做硬度试验；

(5)　焊缝金属纵向拉伸试样 1 个 (仅在焊接材料尚未认可时)；若采用一种以上焊接方法或使用多种焊接材料制作试验焊缝，其试样的截取应从除去第一焊道或根部焊缝金属所用的焊接方法或焊材以外的每个焊接区域截取。



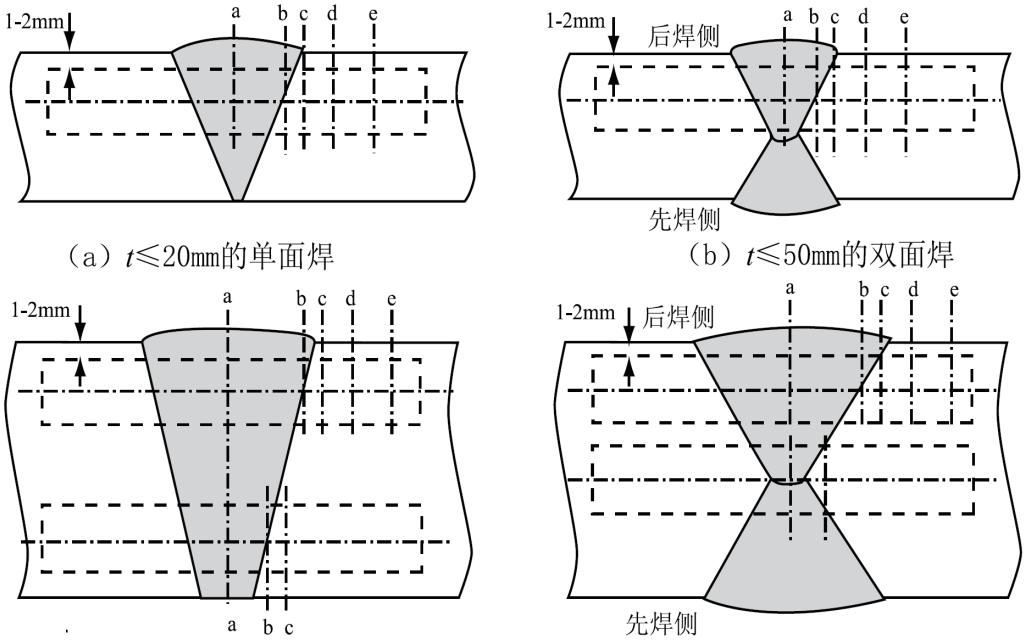
平板试件的取样位置　　圆管试件的取样位置

图 3.2.4.1　试件取样位置

冲击试样取样位置　　**表 3.2.4.1(3)**

热输入范围 (kJ/cm)	焊接工艺	试件厚度 (mm)	冲击试样取样位置	
			表面①	根部
≤ 50②	单面焊	$t \leqslant 20$	a, b, c, d	—
		$20 < t \leqslant 50$	a, b, c, d	a
		$t > 50$	a, b, c, d	a, b
	双面焊	$t \leqslant 50$	a, b, c, d	—
		$t > 50$	a, b, c, d	a
>50③	单面焊	$t \leqslant 20$	a, b, c, d, e	—
		$t > 20$	a, b, c, d, e	a, b, c
	双面焊	$t \leqslant 50$	a, b, c, d, e	—
		$t > 50$	a, b, c, d, e	a, c

注：① 双面焊时为后焊侧表面。
② 仅当认可的工艺将用于海洋工程设施重要构件的连接时，增加 d 位置的试样。
③ 仅在热输入大于 200kJ/cm 时增加 e 位置的试样。
④ 由两种不同钢级 (不同类型) 的钢组成的对接接头，从具有较低韧性钢的一侧切取试样。其试验温度和冲击功应符合较低韧性钢材所规定的要求。
⑤ 若采用一种以上焊接方法或使用多种焊接材料制作试验焊缝 (打底焊除外)，冲击试样应对每一种焊接方法 (或焊接材料) 所应用的部位分别取样。
⑥ 当试件厚度或管径尺寸过小无法制备 5mm 冲击试样时，免做冲击试验。



图中 a、b、c、d 和 e 是指冲击试样的缺口所处位置。其中 a— 焊缝中心、b— 熔合线、c— 距熔合线 2mm 的热影响区、d— 距熔合线 5mm 的热影响区、e— 距熔合线 7~10mm 的热影响区 (根据热输入量而定)。

图 3. 2. 4. 1(3)　冲击试样的取样位置

3.2.4.2　铝合金结构的对接焊工艺试验一般应按图 3.2.4.2 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)。若试件厚度大于或等于 12mm 时，可改取侧弯试样 4 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)。

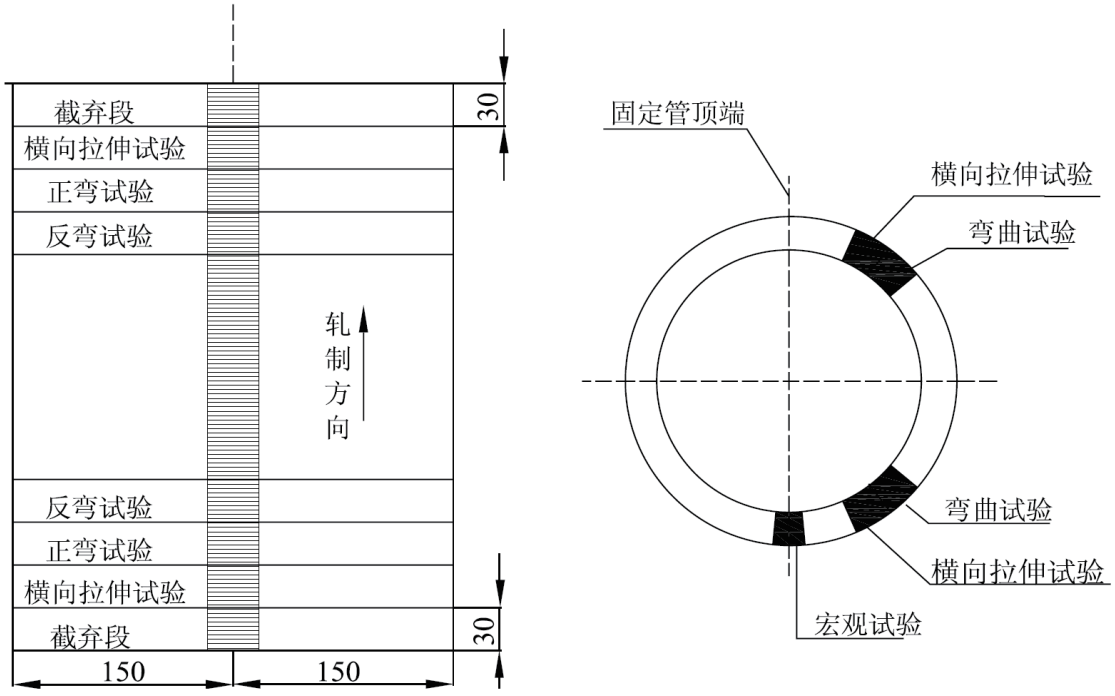


图 3. 2. 4. 2

3.2.4.3　除上述 3.2.4.1 和 3.2.4.2 中的试验外，如验船师认为有必要，可根据实际情况要求进行下列检查和试验项目，如：

(1)　焊缝金属的化学成分；

(2)　试件母材的化学成分；

(3)　焊接接头微观金相组织。

3.2.4.4　试样应按本篇第 1 章第 2 节的规定制备，试验按本规范第 1 篇第 1 章第 2 节要求进行。

3. 2. 5　钢结构焊接工艺试验结果要求

3.2.5.1　接头的抗拉强度应不低于母材规定的最小抗拉强度。当两种不同级别的板组成对接接头，其抗拉强度应符合较低强度母材的最小抗拉强度要求。

3.2.5.2　焊缝金属纵向拉伸试验结果一般应满足本篇第 2 章所规定的适用的焊接材料认可级别的最低要求。若使用的焊接材料不在第 2 章规定范围内，其性能指标应不低于所用母材规定的最小值。

3.2.5.3　弯曲试验后，试样的受拉表面上任何方向应不出现长度超过 3mm 的开口缺陷。

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

冲击试验的温度要求　　**表 3.2.5.4(a)**

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

冲击试验的韧性要求①　　**表 3.2.5.4(b)**

试验材料等级	A、B② D、E	AH32、DH32 EH32、FH32	AH36、DH36 EH36、FH36	AH40、DH40、EH40、FH40	AH420、DH420、EH420、FH420	AH460、DH460、EH460、FH460	AH500、DH500、EH500、FH500	AH550、DH550、EH550、FH550	AH620、DH620、EH620、FH620	AH690、DH690、EH690、FH690	AH890、DH890、EH890	AH960、DH960、EH960
平均冲击功不小于 (J)	47③			47④	28	31	33	37	41	46		

注：① 板厚大于 50mm 的试验要求应由 CCS 同意。

② A 级和 B 级钢在熔合线和热影响区的平均吸收功最小值为 27J。

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

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

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

3.2.5.5　焊缝断面宏观检验应显示焊缝成形良好，焊缝完全焊透，无裂纹和未熔合缺陷。

3.2.5.6　硬度测试的结果要求见表 3.2.5.6。

焊接接头的硬度测试结果要求　　**表 3.2.5.6**

钢材的规定最小屈服强度 R_{eH}（N/mm²）	焊接接头允许硬度最大值
$R_{eH} \leqslant 420$	HV350
$420 < R_{eH} \leqslant 690$	HV420
$690 < R_{eH} \leqslant 960$	HV450

3. 2. 6 铝合金焊接工艺试验结果要求

3.2.6.1 接头的抗拉强度应符合表 3.2.6.1 的要求。

铝合金对接接头抗拉强度要求 **表 3.2.6.1**

牌号	抗拉强度 R_m 不小于 (N/mm^2)
5754	190
5454	215
5086	240
5083	275
5383 5456	290
5059	330
5A01	325
6005A 6061 6082	170

3.2.6.2 弯曲试验后，试样的受拉表面应不出现长度超过 3mm 的开口缺陷。

3.2.6.3 焊缝断面宏观检验应显示焊缝成形良好，焊缝完全焊透，无裂纹和未熔合缺陷。

3. 2. 7 不锈钢焊接工艺认可试验的附加要求

3.2.7.1 对奥氏体不锈钢，除上述 3.2.4.1、3.2.5 相关要求外，还应满足下列规定：

(1) 冲击试验一般仅做焊缝中心 (试验温度为 -20℃)。当用于深冷条件时，应在焊缝中心、熔合线和距熔合线 2mm 的热影响区各做 1 组冲击试验 (试验温度为 -196℃)。冲击能量应不小于 27J；

(2) 硬度试验可免除；

(3) 焊缝晶间腐蚀试验 (使用于非腐蚀性介质条件下的奥氏体不锈钢可以免除)，按本规范第 1 篇第 2 章第 7 节要求进行。

3.2.7.2 对双相不锈钢，除上述 3.2.4.1、3.2.5 相关要求外，还应满足下列规定：

(1) 冲击试验取焊缝中心、熔合线和距熔合线 2mm 的热影响区各 1 组 (试验温度为 -20℃)，冲击能量应不小于 27J；

(2) 硬度试验结果应不超过 HV420；

(3) 焊缝点蚀试验 (与其它不锈钢或碳钢之间的焊缝除外), 按本规范第 1 篇第 2 章第 9 节要求进行；

(4) 焊缝及热影响区微观检验，应无晶间碳化物和金属间化合物的析出物；

(5) 对最后焊道和根部焊道的焊缝和热影响区分别测定铁素体含量。其铁素体含量应在 30 ～ 70% 范围内。

第 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角接焊工艺认可试验。

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

3.3.2　试件

3.3.2.1　试件所选用的母材和焊接材料应符合焊接工艺计划书的要求。

3.3.2.2　试板要有足够的尺寸以保证合理的散热，通常应符合表 3.3.2.2 的要求：

平板角接焊试板尺寸　　**表 3.3.2.2**

试板尺寸 / 焊接方法	长度 L	宽度 b
手工焊、半自动焊	≥ 350(6t)①	150(3t)①
自动焊	≥ 1000	150(3t)①

注：① 两者中取大者 (t — 试板厚度，mm)。

管板试件的平板边长至少比试管外径大 100mm。

管板试件的管段长度应大于 150mm。

3.3.2.3　试板准备、装配与焊接等要求均应与焊接工艺计划书的规定相同。

3.3.2.4　每一个试件仅焊一侧。对单道手工焊和半自动焊，焊缝中应包括至少一次熄弧和引弧的接头点，并在该相应位置加以标示，以便作宏观断面检查。如生产工艺中将保留定位焊，则试验时应保留定位焊缝，使其熔入成形接头中。

3.3.3　试验项目

3.3.3.1　试件焊毕后应进行外观检查和表面进行渗透或磁粉检测。如试板规定最小屈服强度大于或等于 420N/mm²，且焊后不进行热处理时，无损检测应延迟 48 小时进行。

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 50mm 的截弃段，然后取出两个长度约 25mm 的焊缝断面宏观试样，一个位于试件长度中间处，另一个位于含有熄弧 / 引弧点处。对规定最小屈服强度大于或等于 355N/mm² 的钢材（含双相不锈钢），有熄弧 / 引弧点的试样又用作硬度测试试样。剩余试件中取较长一段作为角焊缝破断试样。

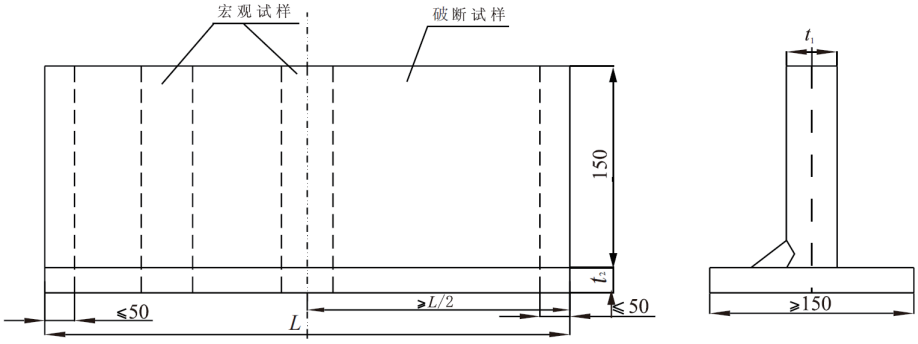
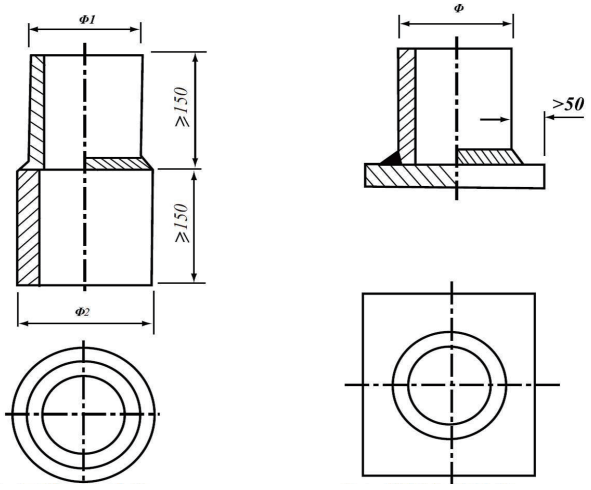


图 3.3.3.2

3.3.3.3　除另有规定外，管子角接和管板角接的试样一般应按图 3.3.3.3(1) 或 (2) 所示四等分截取。对每个焊缝断面作宏观检查 (至少其中一个断面应包含熄弧 / 引弧点)。对规定最小屈服强度大于或等于 355N/mm² 的钢材，有熄弧 / 引弧点的试样又用作硬度测试试样。



(1) 圆管角接试件　　(2) 管板角接试件

图 3. 3. 3. 3

3.3.3.4　硬度试验和角焊缝破断试验应按本篇第 1 章第 2 节的有关规定进行。

3. 3. 4　试验结果要求

3.3.4.1　焊缝断面宏观检验应显示焊缝成形良好，有足够的熔深，无裂纹和未熔合缺陷。

3.3.4.2　破断试样的破断面应显示出焊缝无裂纹和未熔合，对夹渣和气孔应符合 ISO 5817 和 ISO 10042 中 B 级或其他相当标准的要求。

3.3.4.3　钢质结构硬度测定的结果要求见本章第 2 节表 3.2.5.6。

3.3.4.4　钢和铝合金试件的外观和无损检测结果应分别满足 ISO 5817 和 ISO 10042 的 B 级 (焊缝超高、凸度过大和根部下塌可接受 C 级) 或其他相当标准的要求。

第 4 节 倾斜或 T 形管节点全焊透工艺认可试验

3. 4. 1　一般要求

3.4.1.1　钢质海上设施的倾斜或 T 形管节点全焊透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。

3.4.1.2　除本节规定的试验项目外，还应按本章第 2 节要求进行相同焊接条件下的对接焊试验。

3. 4. 2　试件

3.4.2.1　除另有规定外，倾斜或 T 形管节点焊接试件一般应按图 3.4.2.1 布置。

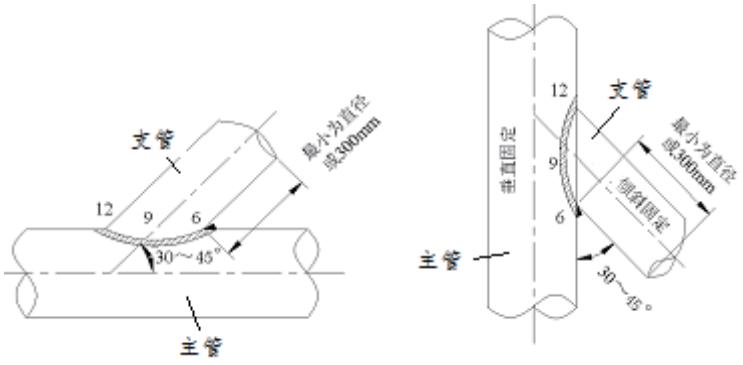


图 3. 4. 2. 1

3.4.2.2　管节点主管及支管的直径、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°~45°，或选用结构可能出现的最小倾角。支管的最小长度取其直径值，但不必超过 300mm。坡口设计、加工、装配及焊接工艺应符合实际结构的要求。

3.4.2.3　若管节点主管直径大于 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。

3.4.2.4　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. 4. 3　试验项目

3.4.3.1　焊缝应作磁粉或渗透及超声波检测。

3.4.3.2　冲击试验 4 组 (每组 3 个)(当主管壁厚允许时)。如图 3.4.2.1 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 型缺口垂直于支管管壁。

3.4.3.3　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。若钢材规定最小屈服强度大于或等于 355N/mm^2，还应在该 2 个部位断面上进行硬度测试。

3. 4. 4　试验结果要求

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

3.4.4.2　焊缝断面宏观检查应显示焊缝成形良好，焊缝完全焊透，无裂纹和未熔合缺陷。

3.4.4.3　硬度测试的结果要求见本章第 2 节表 3.2.5.6。

3.4.4.4　无损检测结果应满足 ISO 5817 B 级 (焊缝超高、凸度过大和根部下塌可接受 C 级) 或其他相当标准的要求。

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舶及海上设施的结构、机械、锅炉与受压容器及管系等的碳钢、碳锰钢、合金钢及铝合金的熔化焊 (包括焊条电弧焊、半自动焊和 TIG 焊) 焊工考试。注

注：① 本章要求适用于 2018 年 1 月 1 日及以后焊工或焊接操作者资格考试 (初次或复证)。

② 在 2018 年 1 月 1 日前 CCS 颁发和接受的焊工资格证书在有效期内仍有效，但有效期满 (最迟不超过 2020 年 12 月 31 日) 的焊工应按本章要求重新考试。

③ 2018 年 1 月 1 日后期满的证书应按本章要求更新。

④ 对 2018 年前无证书要求的焊工或焊接操作者，最迟至 2020 年 12 月 31 日应按本章要求初次考试和发证。

4.1.1.2　本章的规定不适用于氧 - 乙炔气焊焊工考试。

4.1.1.3　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 CCS 认可。

4.1.1.4　对从事专门产品焊接的焊工考试方法，由 CCS 另行考虑。

4.1.1.5　负责对全机械化和自动化焊接设备 (如埋弧焊、重力焊、气电焊和带有自动行走装置的 MAG 焊等) 进行参数设置和 / 或调节的焊接操作者，不论其是否操作设备均应考试。但只操作设备而不进行参数设置和 / 或调节的焊接操作者，如果具有相关焊接工作经历且产品焊缝符合质量要求，则可不必考试。

焊接操作者的资格考试和认可范围参照 ISO 14732 要求。

4.1.2　一般要求

4.1.2.1　在船厂和制造厂从事上述 4.1.1.1 所涉及范围焊接工作的焊工均应按本章要求进行考试并取得由 CCS 颁发的资格证书。

4.1.2.2　本章要求同时适用于新造船和修船中的焊接。

4.1.2.3　焊工的培训、资质控制和技能保持是船厂和制造厂的责任。验船师应核实并确认焊工具有合适的资质。

4.1.2.4　根据国家标准或国际标准考试合格的焊工或焊接操作工，如果考试项目、适用范围和相关要求等同于本章要求，经 CCS 同意，也可以从事船体结构和相关产品的焊接工作。

4.1.2.5　有关工厂 / 培训机构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。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、有经验的技术工人等人组成，并经 CCS 认可。

4.1.3　报考条件

4.1.3.1　具备下列条件之一者，可向考委会提出申请。报考人经审查批准，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。

4.1.4　考试科目分类

4.1.4.1　根据产品类型，焊工资格分为船舶与海上设施焊工 (S)、船用锅炉压力容器焊工 (B) 两大类。

4.1.4.2　焊工可根据从事焊接作业的实际要求确定进行对接焊和 / 或填角焊考试。

4.1.4.3　对船用锅炉压力容器焊工，需要时还应进行管板角接焊的专门考试。

4.1.5 复试与重新考试

4.1.5.1 当一个焊工未通过全部试验项目时，应按下列方法处理：

(1) 当部分试验未满足要求时，复试可立即进行，针对不合格的每种焊接接头和位置重新焊接试件。这种情况下，对每个不合格项应取双倍试样进行试验。所有复试结果均应满足规定的要求。

(2) 当所有试验项目结果均未满足要求，或按 4.1.5.1(1) 规定进行复试未满足要求时，焊工应进一步培训和实践后重新申请考试。

4.1.5.2 当有特定的理由对焊工的能力表示怀疑，或焊工资格已超过有效期，焊工应按本章第 2 节的考试要求重新进行资格考试。

4.1.5.3 由于加工不当造成任何试样不符合尺寸规定时，应重新焊接试件后进行试验。

4.1.6 证书

4.1.6.1 当焊工通过资格考试后，通常由 CCS 颁发资格证书。各船厂和制造厂应对焊工证书的有效期和适用范围负责。

4.1.6.2 焊工资格证书应包含下列项目：

(1) 母材、焊接方法、填充金属类型、焊接接头类型、板厚 (管子包括壁厚和管径) 和焊接位置的覆盖范围，工作水深 (仅对水下焊工)；

(2) 有效期满日期；

(3) 焊工姓名、出生日期、身份证号及照片；

(4) 船厂 / 制造厂名称。

4.1.6.3 证书颁发时，相关文件 (如试验报告和 / 或延证的验证记录) 应作为证书复印件的附件存档。

4.1.6.4 每位焊工的资格认可状态，在有要求时，均应能被 CCS 验证。

4.1.7 有效期

4.1.7.1 初次进行焊工考试时，所有试验通过后，焊工资格有效期通常从证书颁发之日开始。

4.1.7.2 在满足下列所有条件下，每隔 6 个月应由船厂 / 制造厂负责生产焊接质量的人员 (如质检部门负责人) 在证书上签字：

(1) 焊工在现有认可范围内连续从事焊接工作，间断时间不超过 6 个月；

(2) 焊工的工作通常与考试的技术条件相一致；

(3) 有效期内未发生因焊工的知识和 / 或技能欠缺而导致的重大质量问题。

4.1.7.3 如果上述条件中任何一条不满足，应通知 CCS，取消焊工资格证书。经 CCS 同意，如用 4.1.7.4 方法之一进行重新验证并通过，焊工资格证书有效性可延续。

4.1.7.4 除定位焊工资格证书长期有效外，所有焊工应由 CCS 定期进行重新验证。焊工技能应由下列之一方法进行周期性验证：

(1) 每 3 年焊工进行考试；

(2) 每 2 年进行验证：在 2 年有效期的最后 6 个月期间，对焊工焊接的 2 条焊缝进行射线检测或超声波检测或破坏性试验并作记录。该焊缝应重现初次考试条件 (除板厚)。这些试验通过后可使焊工资格延期 2 年。

4.1.7.5 CCS 应核实符合上述条件，并在焊工资格证书上签字确认其资格的延续。

第 2 节 焊工考试与评定

4.2.1 一般要求

4.2.1.1 试件的焊接和试样的试验应由验船师见证。

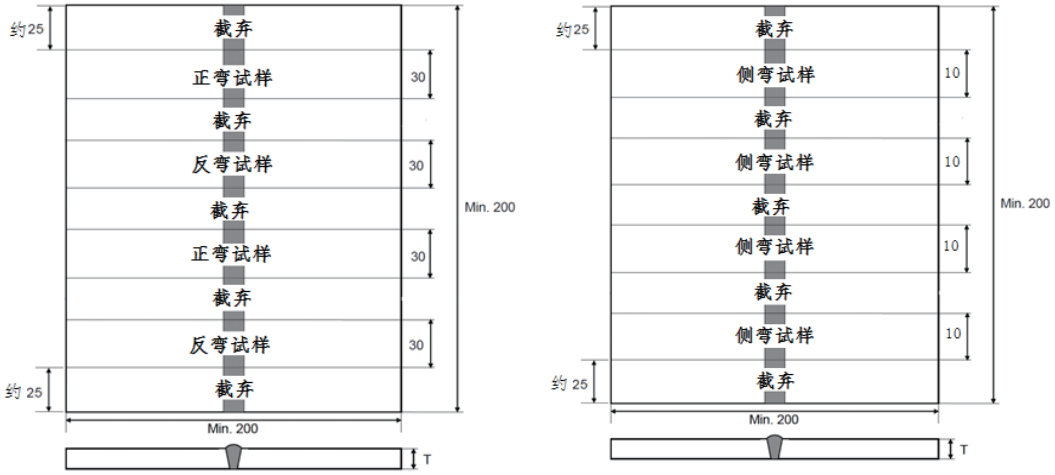
4.2.1.2 焊工考试前，考试委员会应将拟考的焊接位置、材料组别、试件厚度 (管径)、接头型式和坡口尺寸报 CCS 确认。

4.2.1.3 焊工考试时，主考人员应填写焊工考试现场记录并由验船师确认。考试委员会应填写考试评定汇总表上报 CCS。

4.2.1.4 考试所用的板材、管材和焊接材料应符合本章 4.2.3 的有关规定。

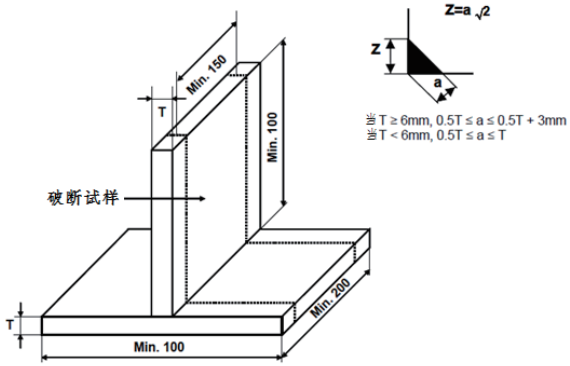
4. 2. 2 试件形式与尺寸

4.2.2.1 板对接、角接、管对接、管板角接头试件尺寸分别见图 4.3.2.1(a)、(b)、(c)、(d)。

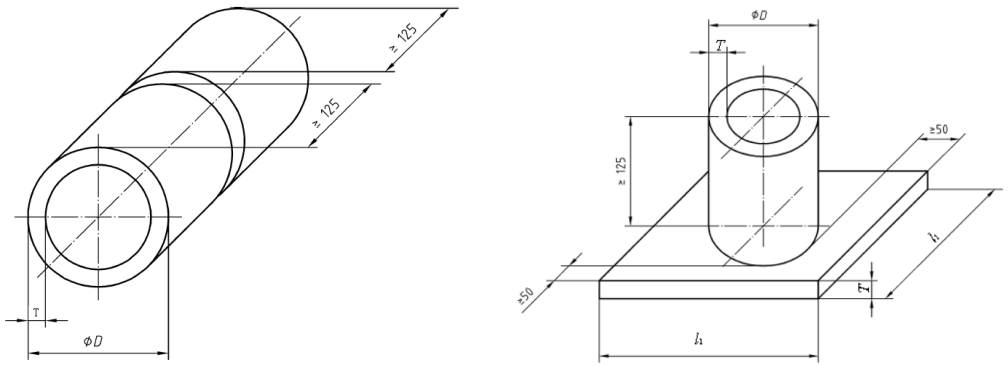


T ＜ 12mm　　T ≥ 12mm

(a) 板对接



(b) 板角接



(c) 管对接　　(d) 管板角接 (插入式)

单位 ：mm

图 4. 2. 2. 1 试件尺寸

4.2.2.2 管对接的焊缝长度应不小于 150 mm，若管子周长未达到该长度时应增加试件数量。

4.2.2.3　对接的具体接头型式 (双面焊、单面焊、有无衬垫) 和坡口尺寸 (坡口角度、钝边、间隙) 可由制造厂根据生产实际确定。

4.2.2.4　6GR 管对接试件尺寸的特殊要求见图 4.2.2.4。

4.2.2.5　管板角接头应采用插入式，接头型式见图 4.2.2.5。

4.2.2.6　板角接焊采用填角焊，焊喉厚度见图 4.2.2.1(b) 。

4.2.2.7　对接定位焊和角接定位焊的试件尺寸分别见图 4.2.2.7(a) 和 (b)。

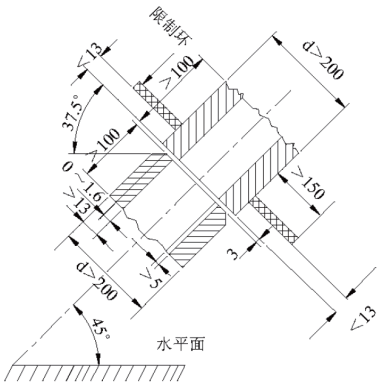


图 4.2.2.4　6GR 管对接试件尺寸

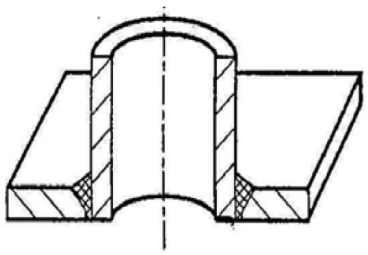
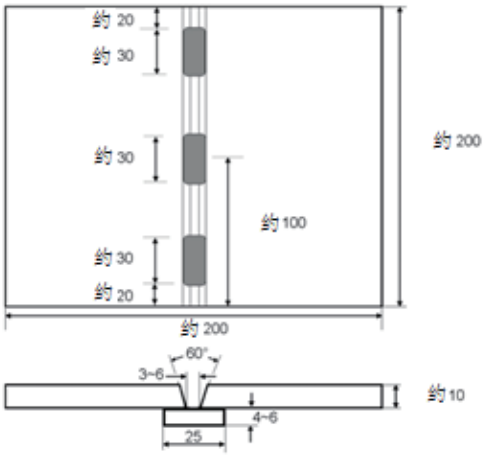
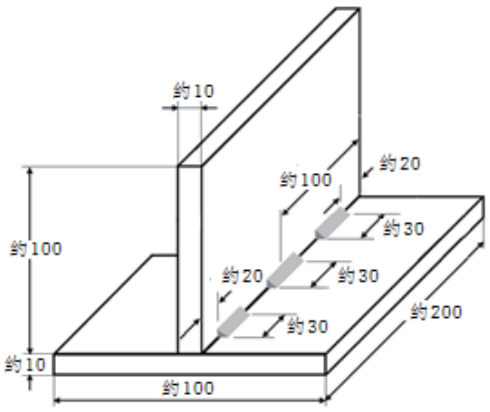


图 4.2.2.5　管板角接试件接头型式



(a) 对接定位焊



(b) 角接定位焊

图 4.2.2.7　对接定位焊和角接定位焊的试件尺寸

4.2.3　试件制作

4.2.3.1　试件母材应符合本规范第 1 篇的有关规定。其中，船体结构用钢应满足下列要求之一或具有 CCS 认可的相当等级：

(1)　本规范第 1 篇第 3 章第 2、3 节规定的船体结构用钢板；

(2)　本规范第 1 篇第 5 章第 2 节规定的船体结构用锻钢件；

(3)　本规范第 1 篇第 6 章第 2 节规定的船体结构用铸钢件；

(4)　CCS《船用高强度钢厚板检验指南》规定的最小规定屈服强度 460N/mm^2 的船体结构用钢。

4.2.3.2　焊接材料应与母材的性能相匹配。其中，船体结构用钢的焊接材料应满足下列要求之一：

(1)　本篇第 2 章第 1 节至第 7 节规定的船体结构钢用焊接材料；

(2)　CCS《船用高强度钢厚板检验指南》规定的 H47 钢用焊接材料。

4.2.3.3　焊工考试试件应根据尽可能模拟生产条件的 WPS(或 pWPS) 进行坡口制备、试件装配、焊前清理和焊接。

4.2.3.4 每付试件上应有焊工代号和焊接位置记号钢印，并保持至试验的所有阶段。水平固定和 45° 固定的管子应有焊接位置的钟点记号。

4.2.3.5 试件一经施焊，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。

4.2.3.6 根部焊道和盖面焊道各需至少有一个熄弧和重新起弧点。焊工在重新开始焊接前仅在熄弧处可用打磨方式消除较小的焊接缺陷。接头位置应予以标识。

4.2.3.7 焊完后焊缝表面不得打磨或修补。

4. 2. 4 试验或检验

4.2.4.1 不同形式试件应进行的试验、检验项目见表 4.2.4.1。

检验和试验项目 **表 4.2.4.1**

试件形式	试验或检验项目④
板对接焊	1、目视检验 2、弯曲试验①②
管对接焊	1、目视检验 2、弯曲试验①②
板填角焊	1、目视检验 2、破断试验③
管板角接头	1、目视检验 2、宏观检验
定位焊	1、目视检验 2、破断试验

注：① 除钢材实芯焊丝或金属粉芯焊丝熔化极气体保护焊及铝合金焊接外，射线检验或破断试验可替代弯曲试验。
② 对船用锅炉压力容器焊工为射线检测 + 弯曲试验。
③ 2 个宏观断面检验可以替代破断试验。
④ 必要时，CCS 可要求附加试验。

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

(1) 焊缝表面应为焊后原始状态，不应进行任何加工。检验结果应显示无裂纹或其他严重缺陷。

(2) 钢材和铝合金焊缝检测到的表面缺陷应分别按 ISO5817 和 ISO10042 的 B 级 (焊缝超高、根部下塌、凸度过大和焊喉厚度过大可接受 C 级) 要求进行评定，其主要指标合格标准见表 4.2.4.2。

焊缝外观目检的合格标准 **表 4.2.4.2**

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

缺陷名称	合格标准	
	钢	铝合金
根部下塌	高度≤ 1+0.6b②，最大 4.0 mm	高度≤ 4.0 mm
焊喉厚度过大	高度≤ 1+0.2a③，最大 4.0 mm	--
焊喉厚度不足	不允许	高度≤ 0.1a③
角接焊脚不对称	焊脚长度差≤ 1.5+0.15a③	焊脚长度差≤ 1.5+0.2a③

注：① t—— 对接焊时为板厚，角接焊时为焊喉厚度，mm
② b—— 对应焊缝的宽度 (根部下塌时为根部焊缝宽度)，mm
③ a—— 焊喉厚度，mm

4.2.4.3　对接焊弯曲试验应满足下列条件：

(1)　横向弯曲试验试样尺寸和要求见本篇第 1 章图 1.2.3.3 和图 1.2.3.4；

(2)　压头直径按本篇第 1 章 1.2.4.2 对焊接工艺认可试验的规定；

(3)　对板对接，初次焊工考试应进行 2 个正弯和 2 个反弯试验；对有效期满进行复证考试者，应进行 1 个正弯和 1 个反弯试验。当试件厚度大于或等于 12mm 时可用 4 个厚度为 10mm 的侧弯代替 (复证考试时为 2 个)。初次焊工考试弯曲试样取样位置见本节图 4.2.2.1(a)；

(4)　对管对接，1G、2G 位置考试要求同上述 (3)，但 5G、6G、6GR 位置考试者，不论是初次焊工考试还是复证考试，均应进行 4 个弯曲试验。弯曲试样取样位置见图 4.2.4.3(a) 和 (b)；

(5)　至少有一个弯曲试样的弯曲部分应包含一个熄弧和重新起弧点 (根部焊道或盖面焊道)；

(6)　试样应弯曲到 180°。试验后试样应在任何方向不出现长度大于 3mm 的任何开口缺陷。试验中试样的棱角开口缺陷应具体分析。

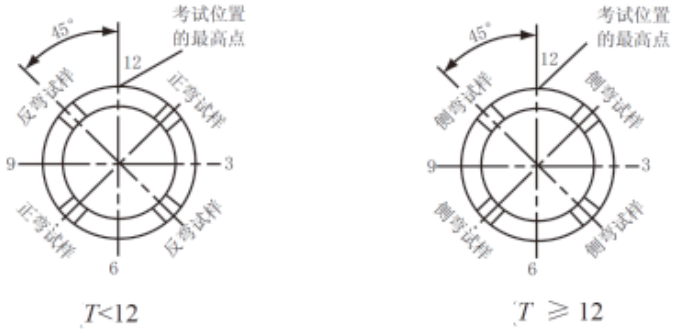


图 4.2.4.3(a)　管对接弯曲试样取样位置（初次考试）

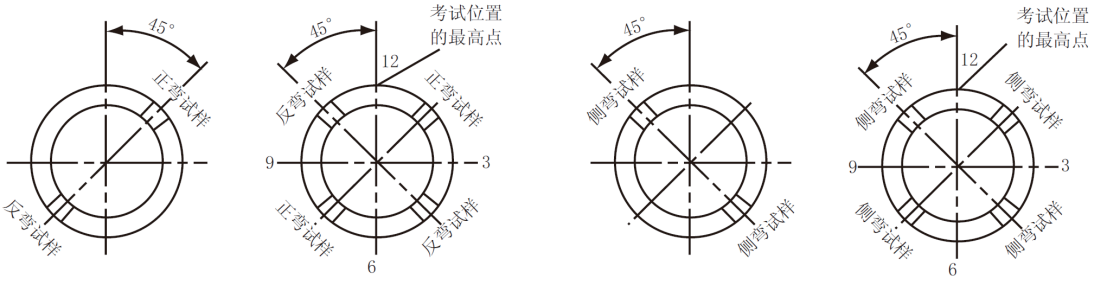


图 4.2.4.3(b)　管对接弯曲试样取样位置（复证考试）

4.2.4.4　当对接焊采用射线检验时，钢材和铝合金焊缝检测到的缺陷应分别按 ISO 5817 和 ISO 10042 中 B 级要求进行评定。

4.2.4.5　当对接焊采用破断试验时，按 ISO 9017 进行全长度的试验。钢材和铝合金焊缝检测到的缺陷分别应按 ISO 5817 和 ISO 10042 中 B 级要求进行评定。

4.2.4.6　当板角接焊采用破断试验时，试验方法见本篇第 1 章 1.2.4.4。评定时关注裂纹、气孔、夹渣、未熔合和未焊透。检测到的缺陷分别应按 ISO 5817 和 ISO 10042 中 B 级要求进行评定。

4.2.4.7　当板角接焊采用宏观检验时，从不同切割位置制备 2 个宏观试样，其中至少 1 个试样切割在根部焊道或盖面焊道中的一个熄弧和重新起弧点。按本篇第 1 章 1.2.3.7 要求进行试样加工，对每个试样一侧进行酸洗，以清晰显示焊缝金属、熔合线、根部熔深及热影响区。宏观断面应包含至少 10mm 的非热影响区母材金属。宏观检验应显示焊缝成形良好，焊缝相邻焊道间以及与母材之间完全熔合，无裂纹、未熔合缺陷。

4.2.4.8　对管板角接头，如图 4.2.4.8 所示用机械方法将试件四等分，取其中 2 块，对 A、B 面进行宏观断面检查 (其中 B 为接头处)。试样加工和酸洗要求同 4.2.4.7。宏观断面应显示焊缝成形良好，根部焊透，无裂纹、未熔合缺陷。

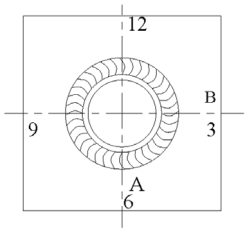


图 4. 2. 4. 8　管板角接头宏观断面截取位置

4.2.4.9　定位焊破断试样压断后，每个定位焊全长的断面上，不应出现与垫板或坡口边缘的未熔合，也不应有大于 2mm 的夹渣或气孔。

第 3 节 焊工资格适用范围

4. 3. 1　一般要求

4.3.1.1　焊工通过的资格认可与下列焊接变量有关：焊接方法、焊接接头型式、母材材质、板厚 (管子包括壁厚和管径)、焊接材料类型及焊接位置。

4.3.1.2　当上述焊接变量相同时，锅炉压力容器焊工资格可覆盖船舶与海上设施焊工资格。

4. 3. 2　焊接方法

4.3.2.1　焊工考试的焊接方法见表 4.3.2.1。通常每种考试只能获得对应焊接方法的焊工资格。焊接方法改变，需重新参加对应焊接方法考试。

焊工考试焊接方法　　表 4.3.2.1

符号	实际焊接工作中的焊接方法		ISO 4063 中数字代码
M	手工焊	焊条电弧焊 (SMAW)	111
S	半自动焊 / 部分机械化焊	熔化极惰性气体保护焊 (MIG)	131
		熔化极活性气体保护焊 (MAG) 药芯焊丝焊 (FCAW)	135, 138① 136②
T	钨极氩弧焊	钨极氩弧焊 (TIG)	141

注：对实心焊丝、金属粉芯焊丝和药芯焊丝，覆盖范围分别如下：

① 实心焊丝 MAG(135) 可覆盖金属粉芯焊丝 MAG(138)，反之亦然。

② 由实心焊丝或金属粉芯焊丝 (135/138) 改为药芯焊丝 (136) 需重新进行考试，反之亦然。

4.3.2.2　若采用两种焊接方法组合焊 (如 TIG 焊打底) 的考试合格，可获得该两种焊接方法的焊工资格，分别适用于打底层焊接方法的单面焊和盖面层焊接方法的双面焊，其厚度适用范围与试件中各自的焊缝厚度相适应。

4. 3. 3　焊接接头型式

4.3.3.1　根据考试试件的焊接接头形式，焊工资格考试可覆盖的范围分类如表 4.3.3.1。

焊工考试焊接接头形式　　**表 4.3.3.1**

考试时试件的焊接接头形式				覆盖的焊接接头形式
对接焊	单面焊	有衬垫	A	A, C, F
		无衬垫	B	A, B, C, D, F
	双面焊	清根	C	A, C, F
		不清根	D	A, C, D, F
填角焊	----	----	F	F

注：从事全熔透或部分熔透 T 型焊缝的焊工应进行与所焊接头相应的焊接方法和焊接位置的对接焊考试。

4.3.3.2　对填角焊，多道焊可以覆盖单道焊，反之则不可。

4.3.3.3　外径大于 25mm 的管对接可以覆盖相应位置的板对接。

4.3.3.4　板对接可以覆盖相应位置的外径不小于 600mm 的管对接，以及水平滚动焊位置的外径不小于 150mm 的管对接。

4. 3. 4　母材

4.3.4.1　钢材的分组见表 4.3.4.1。用一个组别中任何一种金属焊接的焊工或焊接操作者的资格可以覆盖相同组别中所有其他金属的焊接。

钢材的分组　　**表 4.3.4.1**

材料组别	钢材类型
W01①	碳钢 / 碳锰钢和最小屈服强度规定值 R_{eH} ≤ 390N/mm² 的低合金高强度钢
W02	CrMo 钢及抗蠕变 CrMoV 钢
W03	最小屈服强度规定值 R_{eH}>390N/mm² 的高强度钢，以及 Ni 含量 <5% 的镍钢②
W04	Cr 含量为 12%~20% 的铁素体或马氏体不锈钢
W05	Ni 含量≥ 5% 的低温镍钢
W11	奥氏体或双相不锈钢

注：① 《船用高强度钢厚板检验指南》中规定的最小规定屈服强度为 460 N/mm² 的船体结构用钢可归入 W01 组。
② W01 中包含的除外。

4.3.4.2　钢材焊工资格对其他组别的覆盖范围见表 4.3.4.2。

钢材焊工资格适用范围　　**表 4.3.4.2**

试件的材料组别①	适用范围					
	W01	W02	W03	W04	W05	W11
W01	*	—	—	—	—	—
W02	×	*	—	—	—	—
W03	×	×	*	—	—	—
W04	×	×	×	*	—	—

试件的材料组别①	适用范围					
	W01	W02	W03	W04	W05	W11
W05	—	—	—	—	*	—
W11	—②	—②	—②	—②	—	*

注：① 除 W05 外，试件用的焊接材料应与母材的材料组别相同。
② 当使用 W11 组别焊接材料可覆盖。
符号说明：
* 表示进行考试的材料组
× 表示考试对其同样适用的材料组
— 表示考试对其不适用的材料组

4.3.4.3 任一型号铝－镁系 (5000 系列) 或铝－硅－镁系 (6000 系列) 铝合金焊工考核合格后，可覆盖该两系列中所有铝合金。

4.3.4.4 当使用的母材或焊接材料的材质超出 4.3.4.1 和 4.3.4.3 的范围，应进行专门考试。

4. 3. 5 焊接材料

4.3.5.1 在焊条电弧焊中，考试可以使用碱性焊条、酸性焊条或纤维素型焊条。使用碱性焊条考试合格者同时也具有酸性焊条焊接的资格，反之则不可。纤维素型焊条不能覆盖其他药皮类型焊条焊接的资格。

4.3.5.2 带填充焊丝考试合格者同时也具有不带填充焊丝焊接的资格，反之则不可。

4. 3. 6 厚度和管径

4.3.6.1 对于板对接、板角接和管对接，钢材和铝合金的厚度适用范围分别见表 4.3.6.1(a) 和表 4.3.6.1(b)。

钢材的厚度适用范围 **表 4.3.6.1(a)**

试件厚度① T (mm)	适用厚度范围 t (mm)
$T < 3$	$T \leqslant t \leqslant 2T$
$3 \leqslant T < 12$	$3 \leqslant t \leqslant 2T$
$T \geqslant 12$	$t \geqslant 3$

注：① 对组合焊，T 是每种焊接方法对应的熔敷金属的厚度。

铝合金的厚度适用范围 **表 4.3.6.1(b)**

试件厚度① T (mm)	适用厚度范围 t (mm)
$T \leqslant 6$	$0.5T \leqslant t \leqslant 2T$
$T > 6$	$t \geqslant 6$

注：① 对组合焊，T 是每种焊接方法对应的熔敷金属的厚度。

4.3.6.2 管对接的管径适用范围见表 4.3.6.2。

钢材和铝合金的管径适用范围 **表 4.3.6.2**

试件管子外径 D(mm)	适用范围 d(mm)
$D \leqslant 25$	$D \leqslant d \leqslant 2D$
$D>25$	$d \geqslant 0.5D$(最小 25)

4.3.6.3　管板角接的适用范围如下：

(1)　板厚范围按表 4.3.6.1(a) 和表 4.3.6.1(b)，管壁厚度不限。

(2)　管径范围按表 4.3.6.2。

4.3.7　焊接位置

4.3.7.1　根据焊工考试的实际焊接位置，认可的焊接位置分别见表 4.3.7.1a、表 4.3.7.1b 和 4.3.7.1c(用于表中的焊接位置定义见图 4.3.7.1 和表 4.3.7.1d)。

仅从事填角焊工作的焊工可进行填角焊考试。但需从事部分熔透或全熔透 T 形接头的焊工应进行对接焊考试。

板对接焊焊工考试焊接位置覆盖范围　　**表 4.3.7.1a**

板对接考试焊接位置	适用于焊接生产中的实际焊接位置	
	板对接焊	板填角焊
F	F	FF、FH
H	F、H	FF、FH、FHa
Vu	F、Vu	FF、FH、FVu
Vd	Vd	FVd
O	F、H 、O	FF、FH、FHa、FO、FOa

填角焊焊工考试焊接位置覆盖范围　　**表 4.3.7.1b**

填角焊考试焊接位置	适用于焊接生产中的实际填角焊位置
FF	FF
FH	FF、FH
FHa	FF、FH、FHa
FVd	FVd
FVu	FF、FH、FVu
FO	FF、FH、FHa、FO、FOa
FOa	FF、FH、FHa、FO、FOa

管对接焊焊工考试焊接位置覆盖范围　　**表 4.3.7.1c**

管对接考试焊接位置	适用于焊接生产中的实际焊接位置			
	板对接①	管对接	板角接①	管板角接②
1G	F	1G	FF、FH	–
2G	F、H	1G、2G	FF、FH、FHa	2FG
5G	F、Vu、O	1G、5G	FF、FH、FVu、FO、FOa	2FG、4FG、5FG
2G+5G	F、H、Vu、O	1G、2G、5G、6G	FF、FH、FHa、FVu、FO、FOa	2FG、4FG、5FG、6FG
6G	F、H、Vu、O	1G、2G、5G、6G	FF、FH、FHa、FVu、FO、FOa	2FG、4FG、5FG、6FG
6GR	F、H、Vu、O	1G、2G、5G、6G	FF、FH、FHa、FVu、FO、FOa	2FG、4FG、5FG、6FG

注：① 管对接覆盖相应焊接位置的板对接和板角接仅限于管子外径大于 25mm 的情况。

② 对锅炉压力容器专用插入式管板角接不适用。

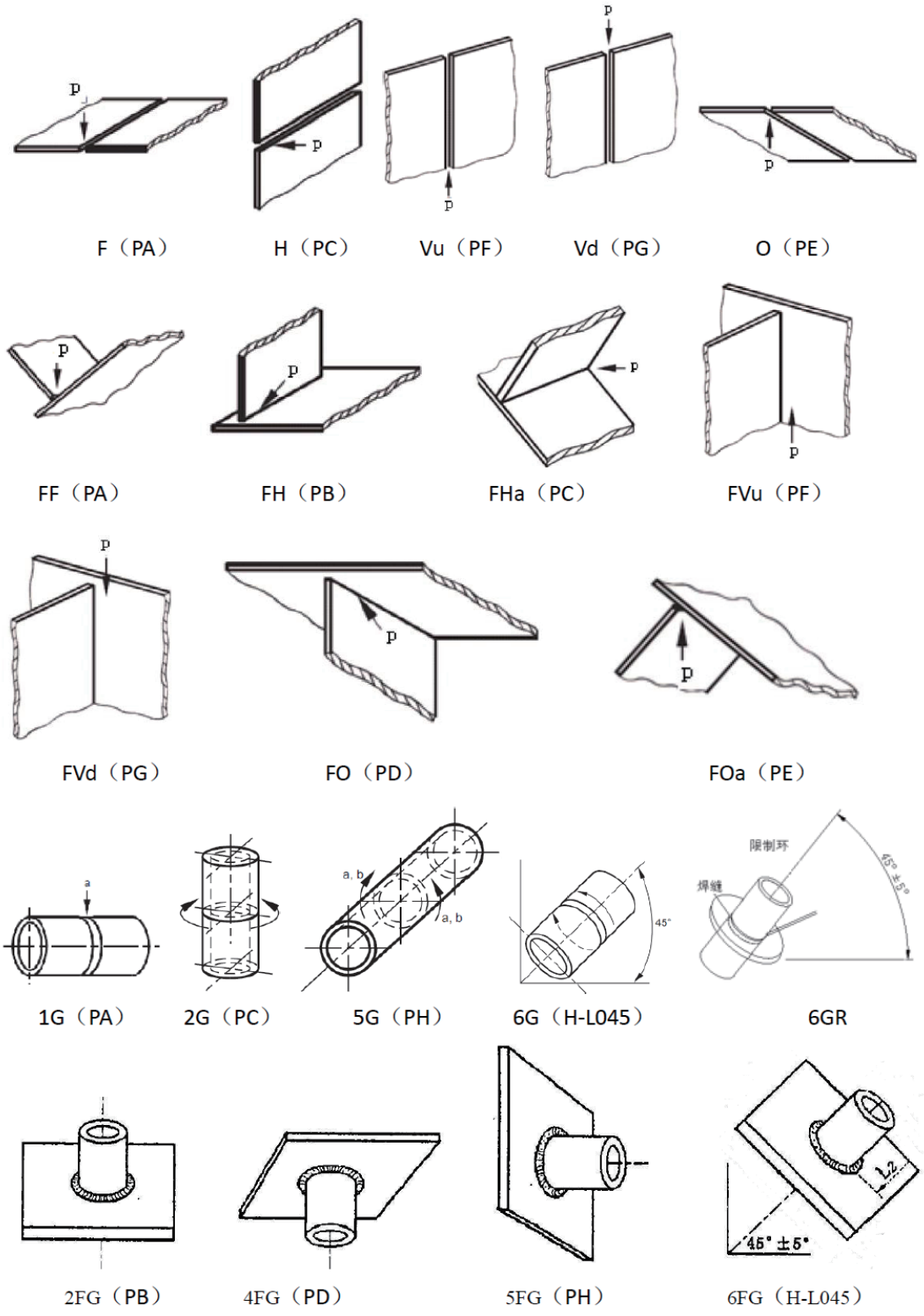


图 4. 3. 7. 1　焊接位置示意图

焊接位置代号　　表 4.3.7.1d

试件形式	焊接位置代号	焊接位置	ISO 6947 的对应代号
板材对接焊	F	平焊	PA
	Vu	立向上焊	PF
	Vd	立向下焊	PG
	H	横焊	PC
	O	仰焊	PE
管子对接焊	1G	管子水平滚动焊	PA
	2G	管子垂直固定焊	PC
	5G	管子水平固定焊	PH
	6G	管子倾斜 45° 固定焊	H-L045
	6GR	带有限制环的管子倾斜 45° 固定焊	-
板填角焊	FF	平角焊	PA
	FH	横角焊	PB
	FHa	横角焊	PC
	FVu	立向上角焊	PF
	FVd	立向下角焊	PG
	FO	仰角焊	PD
	FOa	仰角焊	PE
管板角接焊	2FG	垂直固定平焊	PB
	4FG	垂直固定仰焊	PD
	5FG	水平固定焊	PH
	6FG	倾斜 45° 固定焊	H-L045

4.3.8　定位焊

4.3.8.1　按本章第 2 节要求进行对接或角接焊考试合格的焊工可以从事与证书允许的焊接方法和焊接位置相符的定位焊工作。

仅从事定位焊的焊工也可选择按图 4.2.2.7(a) 或图 4.2.2.7(b) 所示的对接定位焊或角接定位焊试件进行考试。

第 4 节　水下焊工考试与评定

4.4.1　一般要求

4.4.1.1　水下焊工应按本节规定参加考试，试件的焊接和试样的试验应由验船师见证。

4.4.1.2　考试前，考试委员会应将拟考的焊接位置、材料组别、试件厚度 (管径)、接头型式和坡口尺寸报 CCS 确认。

4.4.1.3　水下焊工考试分为湿法和局部干法两种。

水下湿法焊接是指在水下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。

4.4.1.4　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。

4.4.1.5　考试所用的焊接材料应与母材相适应。

4.4.1.6　应考者可根据实际工作条件自行选择考试水深。

4.4.2　试件形式和尺寸

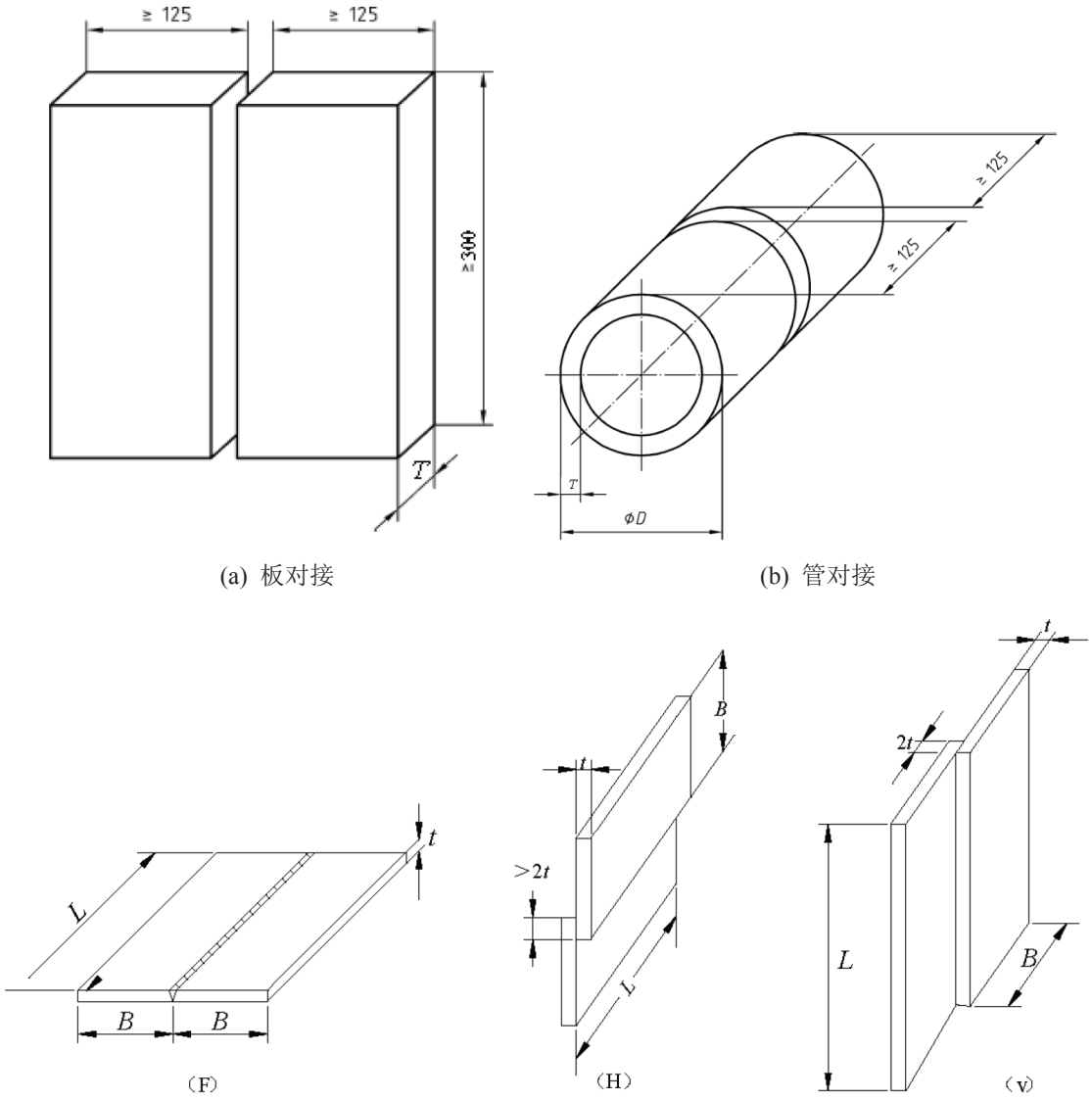
4.4.2.1 各种类型试件的形状和尺寸规定如下 (见图 4.4.2.1) :

(1) 板材对接 : 长度 $L \geqslant 300$mm，宽度 $B \geqslant 125$ mm ;

(2) 管子对接 : 长度 $L \geqslant 125$mm×2 ;

(3) T 类 (水下湿法点固焊) : 长度 $L \geqslant 400$mm，宽度 $B \geqslant 100$ mm。

T 类试件的板厚为 6 mm，其他对接试件的板厚可由报考单位根据生产实际确定。



(a) 板对接 (b) 管对接

(c) T 类试件

单位 : mm

图 4. 4. 2. 1 试件尺寸

4.4.2.2 对接一般采用单面焊，分带垫板和不带垫板两种，具体接头型式和坡口尺寸可由报考单位根据生产实际确定。

4. 4. 3 试件制作

4.4.3.1 考试应在所报考的水深范围或在相当的模拟环境中进行。

4.4.3.2 湿法 T 类考试只要求按图 4.4.2.1(c) 规定的接头型式焊一道焊缝。

4.4.3.3 除上述要求外，还应符合本章 4.2.3.1~4.2.3.8 的要求。

4.4.4 试验或检验

4.4.4.1 不同形式试件应进行的试验、检验项目和试样数量见表 4.4.4.1。

水下焊工考试试验、检验项目和试样数量 **表 4.4.4.1**

试件形式	试验或检验项目	试样数量
板对接焊	1. 目视检验 2. 射线检测 3. 弯曲试验 4. 宏观检验	焊缝全长 被检焊缝全长① 正、反弯各 2② 1 个
管对接焊	1. 目视检验 2. 射线检测 3. 弯曲试验 4. 宏观检验	焊缝全长 焊缝全长 正、反弯各 2② 1 个
湿法 T 类	目视检验	焊缝全长

注：① 被检焊缝全长指试件两端各去除 25mm 后的长度。
② 当试件厚度大于或等于 12mm 时可用两个侧弯试样代替。

4.4.4.2 外观目检时，焊缝表面应为焊后原始状态，不应进行任何加工。

4.4.4.3 试样的截取方法一般采用机械加工方法。若采用气割方法，则每侧应留有不少于 5mm 的机加工余量。

4.4.4.4 制备弯曲试样时，焊缝余高和垫板 (如有时) 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。弯曲试样具体取样位置参见图 4.2.4.5(a) 和 (b)。试样尺寸和要求见本篇第 1 章图 1.2.3.3 和图 1.2.3.4。

4.4.4.5 宏观试样制备应符合本篇第 1 章 1.2.3.7 要求。

4.4.5 试件的评定

4.4.5.1 外观目检应满足下列条件：

(1) 焊缝表面成形良好，焊缝边缘应平顺过渡到母材，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) 无衬垫的试件焊接后，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的 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) 无衬垫的试件，焊后其根部焊瘤应不大于 3mm。

4.4.5.2 射线检测应符合 ISO 5817 中 B 级或其他相当的标准的要求。

4.4.5.3 弯曲试验应满足下列条件：

(1) 压头直径为 4t(t 为试样厚度)，弯曲角度为 120°；

(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 的开口缺陷。

4.4.5.4 宏观检验应显示出焊缝成形良好，无裂纹、未熔合缺陷。

4.4.6 适用范围

4.4.6.1 母材适用范围仅限于同组别的材料 (钢材分组参见本章第 3 节表 4.3.4.1)。

4.4.6.2 对接焊材料规格适用范围见表 4.4.6.2(a) 和表 4.4.6.2(b)。

材料厚度适用范围 **表 4.4.6.2(a)**

试件厚度 T (mm)	适用厚度范围 t (mm)
$T \leqslant 6$	$T \leqslant t \leqslant 6$
$T > 6$	$0.5\,T < t \leqslant 2T$ (最小 6mm)

管径适用范围 **表 4.4.6.2(b)**

试件管子外径 D(mm)	适用管子外径范围 d(mm)
$D \leqslant 100$	$0.7D \leqslant d \leqslant 2D$
$100 < D \leqslant 300$	$0.5D \leqslant d \leqslant 2D$(最小 75)
$D > 300$	$d > 0.5D$

4.4.6.3 当焊接材料有如下变化时应重新进行考试：

(1) 改变焊条 / 焊丝的型号 (牌号) 或焊条的防水涂层；

(2) 改变焊条 / 焊丝直径；

(3) 改变保护气体的成分。

4.4.6.4 焊接位置的覆盖范围同本章表 4.3.7.1a 和 4.3.7.1c。

4.4.6.5 管对接可以覆盖相应位置的板对接。

4.4.6.6 板对接可以覆盖相应位置的外径不小于 600mm 的管对接。

4.4.6.7 不带垫板考试合格者可从事相应等级的带垫板焊接。

4.4.6.8 水深的覆盖范围见表 4.4.6.8。

水深的覆盖范围 **表 4.4.6.8**

焊接材料	适用最大水深① (m)
碳钢及低合金钢	X+10
奥氏体不锈钢	X+3

注：① X 为考试时水深。

4.4.6.9 湿法 T 类焊工资格仅适用于定位焊和应急性修补。

第 5 章　船体结构的焊接

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结构钢、奥氏体和双相不锈钢及其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 CCS 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 CCS 认可的图纸、工艺规程和检验标准进行。

5.1.3　船用结构钢的切割和成形

5.1.3.1　钢材的切割根据板厚的不同可采用机械剪切或热切割 (如火焰切割、等离子切割和激光切割) 的方式。切割表面应无边缘过烧、较深的沟槽和缺口等切割缺陷，如有时应使用机械方法去除。

5.1.3.2　对冷成形的船体结构用板材，应控制其内缘弯曲半径，一般内缘弯曲半径应不小于板厚的 4.5 倍。但对承受高应力的特殊构件，其内缘弯曲半径应不小于板厚的 10 倍。当不能满足上述要求时，应进行热处理，或进行相应应变条件下的时效冲击试验以证明其未影响材料的冲击性能，且经表面检验确认其无表面裂纹等缺陷。

5.1.3.3　当钢板的成形温度超过 650℃ (线加热或点加热除外) 时，应进行力学性能试验，以证明该成形温度未影响钢材的拉伸性能和冲击性能。

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

钢板表面线加热或点加热时最高加热温度　　**表 5.1.3.4**

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

5.1.4　焊接材料选用

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

焊接材料选用表　　**表 5.1.4.1**

船体结构钢级 / 焊接材料级别	A	B	D	E	AH32 AH36	DH32 DH36	EH32 EH36	FH32 FH36	AH40	DH40	EH40	FH40
1	×											
2	×	×	×									

船体结构钢级 / 焊接材料级别	A	B	D	E	AH32 AH36	DH32 DH36	EH32 EH36	FH32 FH36	AH40	DH40	EH40	FH40
3	×	×	×	×								
1Y	×				×②							
2Y	×	×	×		×	×						
3Y	×	×	×	×	×	×	×					
4Y	×	×	×	×	×	×	×	×				
2Y40	①	①	①		×	×			×	×		
3Y40	①	①	①	①	×	×	×		×	×	×	
4Y40	①	①	①	①	×	×	×	×	×	×	×	×
5 Y40	①	①	①	①	×	×	×	×	×	×	×	×

注：“×”为适用的钢级；

① 在普通强度结构钢焊接中不宜采用过高强度级别的焊接材料。

② 当采用 1Y 级焊接材料焊接时，母材的厚度不大于 25mm。

5.1.4.2 当不同强度的母材被焊接连接时，除在结构不连续处或应力集中区域内应选用较高强度等级的焊接材料外，一般可选用与较低强度级别的母材相适应的焊接材料。当母材的连接强度相同，韧性级别不同时，除结构受力情况复杂或施工条件恶劣者外，一般可选用与较低韧性级别相适应的焊接材料。

5.1.4.3 除另有规定外，下列情况一般应使用低氢焊接材料：

(1) 高强度钢或碳当量大于 0.41% 的钢材与相同强度或较低强度钢之间焊接；

(2) 重要结构件的焊接。

5.1.5 焊前准备

5.1.5.1 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，其修正方法应征得验船师的同意。

5.1.5.2 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。

5.1.5.3 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，相关资料应交 CCS 备查。

5.1.5.4 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；

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

(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，除进行预热外，还应考虑进行焊后热处理。

5.1.6 焊接工艺

5.1.6.1 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。

5.1.6.2 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。

5.1.6.3　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。

5.1.6.4　除 CCS 特别同意外，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。

5.1.6.5　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 CCS 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熔敷金属与垫板能完全熔合。

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，可按下列形式进行焊接：

(1)　内底边板与舷侧外板的角接焊缝，其坡口角度应不小于 45°，如图 5.2.2.1(1) 所示。若小于 45°，则可将内底边板的边缘开坡口。在该坡口处进行多道连续角焊后完成背面连续角焊。必要时可使用单面焊双面成型工艺；

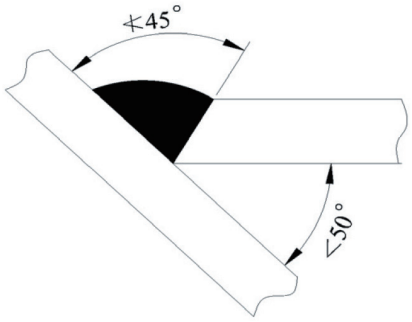


图 5.2.2.1（1）

(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 CCS 认可的低氢型高强度焊接材料。焊接时，应考虑预热并注意控制线能量和道间温度。

5.2.3.2　在船体结构中采用高强度钢时，其焊缝的外形应光顺，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、CO_2 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。采用电渣焊方法焊接而成的首柱、尾柱和舵杆，在焊后应进行正火 - 回火处理。

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

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边板角接时，当板厚大于或等于 15mm 时，至少应采用部分熔透焊，在强力甲板的边缘开单面或双面坡口，钝边应不大于 $t/3$，并留有一定装配间隙，以保证有较深的熔深。

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，其焊喉厚度应满足 CCS《钢质海船入级规范》第 2 篇第 1 章第 4 节的相关要求。

5.2.7 起重桅（柱）和起重机基座的焊接

5.2.7.1 支持吊杆的起重桅 (柱)，以及起重机基座，其焊缝应符合下列要求：

(1) 由钢板弯制成的起重桅 (柱) 和起重机基座，其柱体的纵向接缝和横向接缝均应为对接焊缝，且应完全焊透；

(2) 当桅 (柱) 或基座贯穿强力甲板时，连接处的强力甲板应开单面或双面坡口，并保证完全焊透；

(3) 当桅 (柱) 或基座的根部不贯穿甲板，且直接焊于强力甲板上时，则根部边缘应开单面坡口，并保证完全焊透。

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 CCS 批准后方可执行。

5.3.1.2 散装运输液化气体船舶的焊缝检验，除应符合本篇相关规定外，还应满足 CCS《散装运输液化气体船舶结构与设备规范》第 4 章和第 6 章的相关要求。

5.3.2 焊缝质量检验

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、平顺地向母材过渡，无过大的余高，不应有裂纹、未熔合、单面焊根部未焊透等缺陷存在。表面气孔和咬边等应在允许范围以内。

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。必要时有些焊缝还应增加适当数量的磁粉或渗透检测。无损检测通常应满足 CCS《船舶焊接检验指南》第 7 章或公认的检测方法和验收标准的要求。

5.3.2.3 船体焊缝无损检测的数量和位置可由船厂和 CCS 验船师之间根据工厂的船型、采用焊接

方法和往日建造质量记录商定。必要时，验船师可要求增加无损检测的数量。

5.3.2.4 对于在船中 0.6*L* 范围内的船体强力甲板和外板 (除 5.3.2.6 规定加强检验者外)，无损检测点的数量 (*n*) 可以按下式计算：

$$n = 0.16k(i + 0.1W_T) + 0.04W_L$$

式中：*n* —— 船中 0.6*L* 内的无损检测点，个；

k —— 船中 0.6*L* 内板列的平均宽度，m，可按下式计算：

$$k = \frac{\text{船中横剖面处的周长（开口除外）}}{\text{横剖面处见到的板列数}}$$

i —— 船中 0.6*L* 内的纵、横向对接焊缝交叉处的总数；

W_T —— 船中 0.6*L* 内的横向对接焊缝的总长，m；

W_L —— 船中 0.6*L* 内的分段合拢的纵向对接焊缝的总长，m。

上述 *L* 系指沿夏季载重水线，由首柱前缘量至舵柱后缘的长度；对无舵柱的船舶，由柱前缘量至舵杆中心线的长度；但均不应小于夏季载重水线总长的 96%，且不必大于 97%。对于箱形船体，*L* 为沿夏季载重线自船首端壁前缘量至船尾端壁后缘的长度。对于无舵杆的船舶，为夏季载重水线总长的 97%。

无损检测点的布置密度应按结构的重要性和受力大小从高到低递减。

纵横向对接焊缝交叉处的检测方向应平行于横向对接焊缝。

检测点一般应采用射线方法进行检测。

5.3.2.5 在船中 0.6*L* 以外船体强力甲板和外板，拍片数量约为 5.3.2.4 规定区域数量的 10%~20%，且允许采用适量的超声波检测方法进行检测。

其中，关键区域 (如轴包板、艏艉柱区域、艏部波浪抨击区和冰区加强区域等) 的检测密度应大于其他区域。

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

(1) 液舱水密舱壁、内底板、底边舱斜板上的对接焊缝交叉点，每 4 个检测 1 个。

(2) 位于船底、舷侧以及甲板上的纵骨和纵桁对接接头，在船中 0.4*L* 范围内每 10 个检测 1 个，0.4*L* 范围外每 20 个检测 1 个。

(3) 强力甲板舱口角隅嵌补板周界对接焊缝，每一角隅转角处至少进行 2 处无损检测，如图 5.3.2.6(3)。

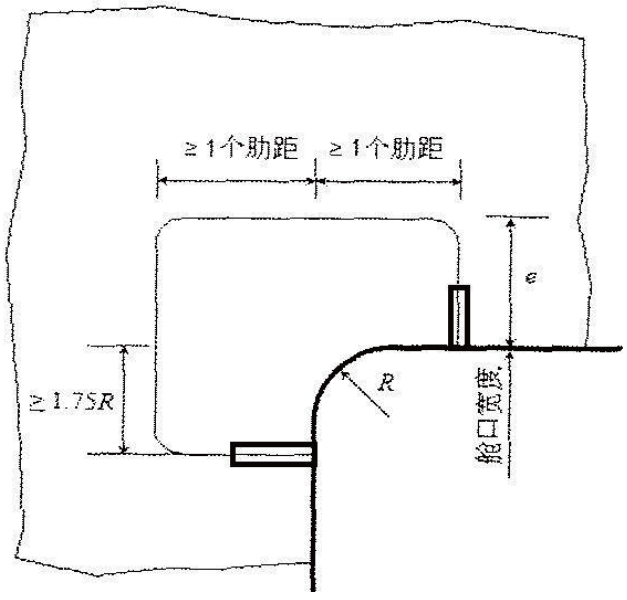


图 5.3.2.6(3)

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

(5) 以下部位当使用全焊透角焊缝时，应按下列要求进行无损检测：

a. 主机座面板与腹板连接：100%；

b. 挂舵臂和尾轴架对船体结构外板：100%；

c. 舵封板对舵铸件的连接区域：100%；

d. 当开口尺寸超过 300 mm 时，船中 0.6*L* 以内的强力甲板、舷顶列板和船底板上的开口边缘补强部位或管道贯穿处：100%；

e. 纵向舱口围板端部肘板与甲板板的趾端连接：在船中 0.6*L* 内，100% 检测；船中 0.6*L* 外，每 2 处检测 1 处；

f. 内底与横舱壁、底墩或横向肋板间连接，或底墩与横舱壁间连接：35%；

g. 底边舱斜板与内底或内壳间连接：25%；

h. 横向槽形舱壁与顶边舱连接：35%；

i. 甲板边板和舷顶列板连接：10%，另在船中 0.6*L* 内每一合拢焊缝处增加检测 1m。

(6) 对大截面的焊缝，特别是铸钢件和锻钢件的焊缝，以及在应力下或低温下焊接的焊缝，应进行 100% 表面裂纹检测；其他大截面单面坡口或双面坡口焊缝 (板厚约为 30mm 或以上者) 和厚的角接焊缝，例如艉柱、焊接的桅和舱壁墩座上的焊缝，应进行 100% 表面裂纹检测。

5.3.2.7 下列部位应抽样进行无损检测：

(1) 自动焊对接焊缝 (电渣焊、气电焊、埋弧焊等) 的引 / 熄弧接头处；

(2) 舭龙骨的对接接头；

(3) 油船的内壳、水密舱壁上的对接焊缝；

(4) 集装箱船纵向连续舱口围板、顶板上的对接焊缝；

(5) 除集装箱船外，长度超过 0.15*L* 的纵向连续舱口围板、顶板上的对接焊缝；

(6) 邻近上层建筑结构突变处的对接焊缝；

(7) 由结构强度直接计算或疲劳强度评估确定的关键部位的焊缝；

(8) 营运检验不可达的熔透焊缝 (如船舶球鼻首内尖角处焊缝等)；

(9) 其他重要的、承受高应力的或失效后可能影响重大的受力焊缝。

5.3.2.8 除本节 5.3.2.3~5.3.2.7 的规定外，对于散装运输危险化学品船的液货舱尚应对下列部位进行无损检测：

(1) 液货舱舱壁板上所有的焊缝十字交叉处；

(2) 液货舱周界焊缝应探测表面裂纹，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表面裂纹。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在液货舱内并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表面裂纹。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表面裂纹。探测的焊缝长度至少为总长度的 10%。

5.3.2.9 船体结构与起重机基座 (起重柱) 直接相连的节点无损检测要求如下：

(1) 对全焊透的角焊，应进行 100% 超声波检测及 100% 磁粉 (或渗透) 检测；

(2) 对部分焊透角焊或填角焊，应进行 100% 磁粉 (或渗透) 检测。

5.3.2.10 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，直至达到延伸缺陷完全终止为止。

5.3.2.11 当实际检测过程中发现合格率低于 80% 或对个别部位的焊缝质量存疑时，验船师应根据具体情况，适当增加检测数量。

5.3.2.12 无损检测的位置和结果应记入报告，并应提交 CCS 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。

第 4 节 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、奥氏体 / 铁素体双相不锈钢 (除另有明文指定外，以下统称为“不锈钢”) 及其复合钢板的焊接。其他复层金属材料的复合钢板的焊接将由 CCS 另行考虑。

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

5.4.1.3　从事不锈钢及其复合钢板焊接的焊工，应经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其熔敷金属的化学成分与母材基本相当的焊接材料。

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

5.4.2.3　不锈钢复合钢板的焊接材料应分别适用于相应的基材和复层材。

5.4.2.4　当焊接含氮不锈钢时，可考虑采用含有适量氮气的惰性保护气体。

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。加工后应检查坡口表面 (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　不锈钢宜采用能量集中的焊接方法进行焊接 (如熔化极惰性气体保护焊、非熔化极惰性气体保护焊、等离子弧焊等)。

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

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

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

5.4.4.5　不应在面向腐蚀介质的钢板表面引弧或随意焊接安装临时构件。

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 CCS 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 CCS 验船师同意。

第 5 节 镍合金钢的焊接

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 3 章第 7 节镍合金钢中 5Ni 钢和 9Ni 钢的焊接。

5.5.1.2 镍合金钢构件的设计应保持结构的连续性和焊接接头的平滑过渡，应避免出现应力集中。

5.5.1.3 镍合金钢的焊接应按相应的焊接工艺规程执行。

5.5.1.4 从事镍合金钢焊接的焊工应经镍合金钢焊接的操作技能培训和考试，并应取得相应的合格证书。

5.5.1.5 从事焊接质量检验人员应经技术培训，能正确掌握操作技术和质量评判标准。

5.5.2 焊接材料

5.5.2.1 为保证焊接接头的低温韧性，一般选用比母材含镍量较高的焊接材料，如常选 Ni 基或 Fe-Ni 基两种类型。

5.5.2.2 采用钨极氩弧焊时，可选用与镍合金钢成分类似的铁素体型镍合金钢焊接材料。

5.5.2.3 为保证焊接接头的质量，可选用焊缝金属热膨胀系数与母材热膨胀系数相近的焊接材料。

5.5.2.4 镍合金钢与船体结构钢相焊时，应选择与镍合金钢相匹配的焊接材料。

5.5.2.5 严格控制焊接材料中 S、P 等杂质元素，同时保证焊接材料有足够的脱氧元素。

5.5.2.6 焊接材料应保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材规定的限值。或符合设计文件规定的技术要求。

5.5.3 焊前准备

5.5.3.1 镍合金钢板的下料和坡口制备应采用机械加工或热切割 (如等离子、激光和火焰切割)，坡口边缘应用砂轮进行打磨。

5.5.3.2 焊前坡口两侧及边缘 20mm 范围内的水和油污等杂质必须清理干净。

5.5.3.3 根据所采用的焊接方法，选择不同型式的坡口。用钨极氩弧焊焊接时，采用较小的坡口角度和间隙。

5.5.3.4 除低氢真空包装的焊条外，焊接前焊条应按工艺认可程序文件要求进行烘干，以降低扩散氢水平，防止产生冷裂纹。

5.5.3.5 镍合金钢含碳量低，其淬硬性倾向小，因此焊前一般不预热。当板厚超过 25mm 且刚性较大时要进行焊前预热，预热温度根据焊接方法、环境温度及结构拘束度等因素确定，一般为 50℃ ~100℃。

5.5.4 焊接

5.5.4.1 镍合金钢的常用焊接方法有手工电弧焊、埋弧自动焊、钨极氩弧焊及熔化极气体保护焊。

5.5.4.2 为避免在焊接时发生磁偏吹，宜选用交流电源及能适应交流电的电焊条或焊丝焊剂进行焊接。

5.5.4.3 选择的焊接工艺参数应能保证足够的熔透深度，并尽量采用热输入小的焊接规范进行焊接。焊条不宜摆动过大，收弧时应填满弧坑，避免产生裂纹，且层间温度应控制在 150℃以下。

5.5.4.4 应采用合理的焊接顺序、施焊方法或刚性固定，以减少焊接变形与应力。

5.5.4.5　施焊时应保持焊缝的连续性。若有中断，重新焊接时焊缝应重叠 10mm~20mm。多道焊接时，应注意前后道焊缝之间的清洁和道间温度，弧坑应填满，接弧处应熔合焊透。

5.5.4.6　钨极氩弧焊焊接过程中应避免钨极触碰到焊缝金属，否则要去除污染层，须修磨钨极尖端后再焊。

5.5.4.7　采用氩弧焊时，氩气纯度不应低于 99.99%，同时底层焊时应对焊缝正反两面进行可靠的氩气保护。

5.5.4.8　采用交流电源的碳弧气刨进行焊缝清根。清根之后适当增加渗透检验，能有效的消除、防止弧坑裂纹的扩展。

5.5.4.9　采用不锈钢丝刷清理每道焊缝，防止产生夹渣；如发现弧坑处存在裂纹或缩孔，应打磨消除。

5.5.5　焊后处理

5.5.5.1　焊后应清除焊件表面的焊渣、焊瘤、飞溅物以及其他污物。必要时应采用砂轮对焊缝进行局部修整。

5.5.5.2　为防止出现冷裂纹，对于厚壁或重要构件应进行焊后消除应力处理。

5.5.6　焊缝检查与修补

5.5.6.1　完工焊缝应进行外观检查和无损检测，检测的方法和验收标准应经 CCS 同意。

5.5.6.2　焊缝内部质量一般应经无损检测方法检查 (射线检测或超声波检测)。焊缝无损检测的范围、数量及其所采用的工艺和标准应符合 CCS 接受的标准。

5.5.6.3　焊缝表面应均匀、致密、平滑地向母材过渡，不应有裂纹、未焊透、焊瘤以及超出规定的咬边、气孔、夹渣、弧坑等缺陷。

5.5.6.4　镍合金钢焊缝内部不允许存在裂纹、收缩孔、铜夹杂物、未熔合和未焊透缺陷。

5.5.6.5　镍合金钢焊缝补焊应采用与原焊缝相同等级的焊接材料。同一部位返修次数不应超过 2 次，超过 2 次的焊补应经 CCS 同意；修补后的焊缝应重新进行表面渗透探伤检测和射线或超声波检测。

5.5.6.6　用于临时固定连接焊缝的工夹具，拆除后的焊痕表面也应进行表面渗透探伤检测。

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和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 型冲击试验和断裂韧性试验来选用，并经 CCS 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 CCS 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试验。

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认可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 CCS 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试验的结果确定。

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 CCS 同意。

6.2.5 焊接

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，并应平顺地过渡到母材。

6.2.5.2 角接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 对重要的角接焊缝以及可能出现疲劳现象的强受力构件的角接焊缝应完全焊透。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 > 50mm) 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规程。

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渗透检测方法进行检查。

6.2.8.3 当进行浅层和局部修补时，预热温度和道间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 CCS 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 CCS 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 CCS 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 CCS 同意。

6.3.1.5 建造厂应向 CCS 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，并通过考核取得无损检测人员资格证书后方可进行检测。检验员和无损检测人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测应根据不同部位，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 CCS 同意。

6.3.1.10 对于最小屈服强度大于或等于 420N/mm^2 的淬火回火钢，焊缝的无损检测应在焊后 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 经无损检测评为不合格的焊缝，应在两端邻接部位增加无损检测范围。

6.3.1.13 焊缝修补后应进行无损检测，并将修补前后的检验报告送交 CCS 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 CCS 同意可免予修补。

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；

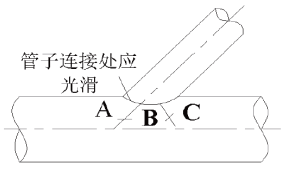
④ 密封焊缝的所有搭接表面均应为连续的角焊缝，其焊脚高度除另有规定外，一般应不超过 5mm。

(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。

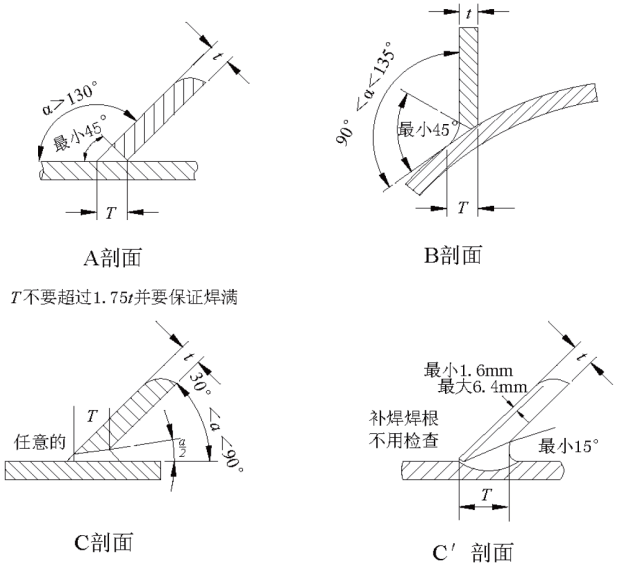
典型接头 α 与 T 的关系 **表 6.3.2.1(1)**

α	T
≤ 35°	1.75t
35° < α ≤ 50°	1.50t
50° < α ≤ 135°	1.25t
>135°	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

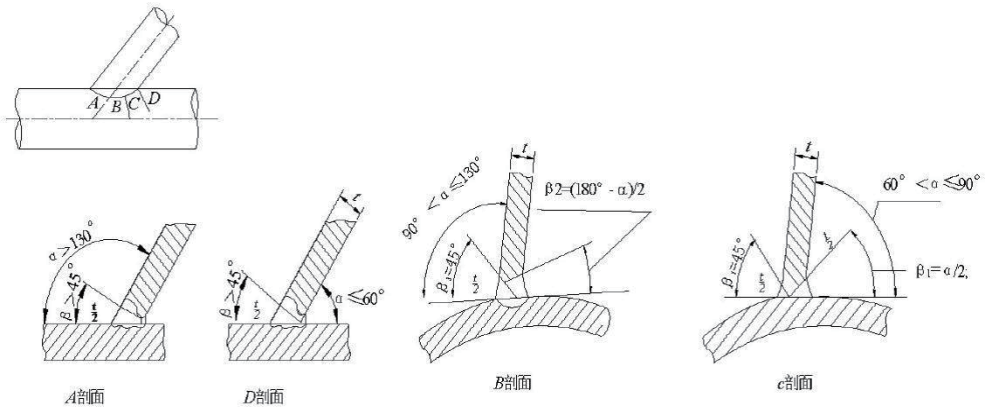


图 6.3.2.1（1）②

6.3.2.2 焊缝无损检测：

(1) 对接焊构件的无损检测规定如下：

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 CCS 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 CCS 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 CCS 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测规定如下：

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。CCS 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 CCS 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 CCS 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。CCS 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 CCS 同意。

② 射线灵敏度的测定应符合下列要求：

(a) 射线拍片时，应将金属丝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 (*S*) 应按下式计算：

$$S = \frac{d \times 100}{t} \qquad \%$$

式中：*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。

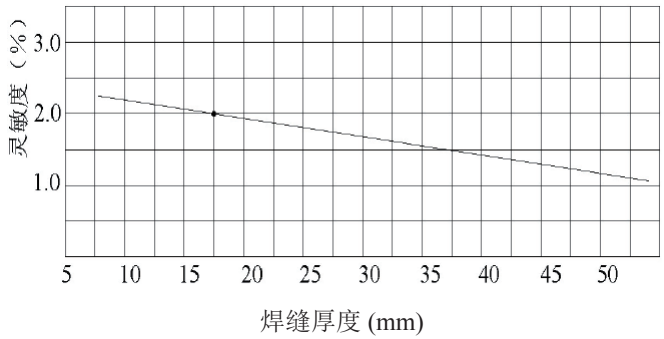


图 6.3.2.2(4) ②

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。同时根据本条 (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制检测程序，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。

根据本条 (6) 的要求评定焊缝质量并提出返修部位。

(6) 焊缝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(6) 的要求。如采用其他标准，应经 CCS 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 CCS 同意可免予修补。

焊缝内部质量标准 **表 6.3.2.2(6)①**

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)	≤ t/2	≤ 2t/3
	点状夹渣 (每点尺寸)	≤ t/4	≤ t/3
气孔	管状气孔 (长度)	≤ t/2	≤ 2t/3
	分散点状气孔 (每点尺寸)	≤ t/4	≤ t/3
	一群密集气孔的孔径总和	≤ t/2	≤ 2t/3
在任何 6t 焊缝长度范围内，各缺陷长度的总和		≤ 3t/4	≤ t
大于 2.4mm 缺陷之间的最小间隔		≥ 2.2t	≥ 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焊喉厚度，对对接焊缝为板厚，mm。

③ 点状夹渣或气孔在 t ≤ 51mm 时，最大值为 4mm，t>51mm 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　本章适用于锅炉与受压容器、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和检验。散装运输液化气体船舶 C 型独立液货舱及处理用受压容器的焊接和检验，应符合 CCS《散装运输液化气体船舶结构与设备规范》第 4 章和第 6 章的相关规定。

7.1.1.2　本章规定仅适用于碳钢、低合金钢、奥氏体不锈钢和双相不锈钢钢质容器以手工、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 CCS 同意。

7.1.1.3　当使用除 7.1.1.2 规定以外的材料，其试验、制造和检验应满足公认标准要求。

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 CCS 认可。

7.1.3　认可

7.1.3.1　除 CCS《钢质海船入级规范》第 1 篇第 3 章附录另有规定者外，制造受压壳体的工厂应向 CCS 申请工厂认可。

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。

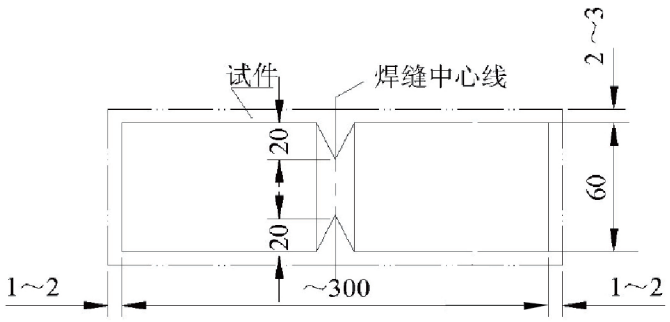


图 7.1.3.4

7.1.4　图纸与标准

7.1.4.1　受压壳体的焊接、施工和检验应按经 CCS 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 CCS《钢质海船入级规范》第 3 篇第 6 章有关规定。潜水系统与潜水器的受压壳体，除 CCS 专门批准外，应作为 I 级受压壳体处理。

7.2.2　试件

7.2.2.1　通常每个受压壳体应焊制 2 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　在同一工厂，用相同的焊接方法同时制作一批 II 级锅炉或压力容器，且其板厚的变动不超过 5mm 时，可每 35m 长度焊缝焊制 1 个试件，其厚度应等于结构中最厚壳板的厚度。且至少每批焊制 1 个试件。

7.2.2.3　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板相连接，使两试板间的焊缝成为筒体壳板纵向焊缝的延续和模拟。

7.2.2.4　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。

7.2.2.5　焊接试件所用的方法、工艺和热处理等均应与筒体所采用的方法、工艺和热处理等相同。试件应与筒体一起热处理。

7.2.2.6　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。

7.2.2.7　在割下试件之前，应由 CCS 验船师或由其指定的代理人员打上 CCS 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。

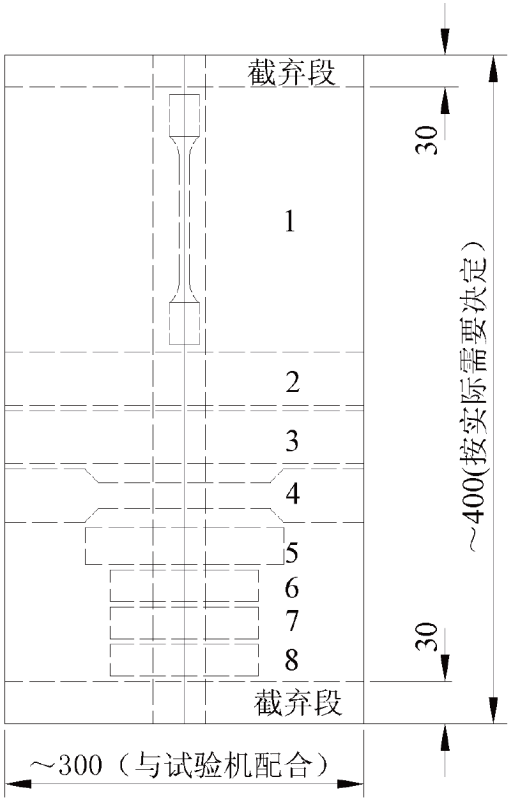


图 7.2.3.1

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	要求	要求
2	正弯①	要求	要求
3	反弯①	要求	要求
4	接头横向拉伸	要求	要求
5	断面宏观检查	要求	要求
6~8	焊缝中心冲击试验②	要求	

注：① 当试板厚度超过 20mm 时，改取侧弯试样，进行侧弯试验。
② 下列情况应增加 1 组 3 个缺口位于熔合线上的冲击试样：
a. 潜水系统和潜水器受压壳体；
b. 所有设计温度在 0℃及以下的受压壳体；
c. 使用合金钢制造的受压壳体 (奥氏体不锈钢除外)。

7.2.3.2 除本节 7.2.3.3 和 7.2.3.4 的规定外，试样的制备和试验均应符合本篇第 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 10mm 时，则应尽可能取大的直径，其标距长度为直径的 5 倍。对板厚小于 16mm 的钢板，可免做熔敷金属拉伸试验。

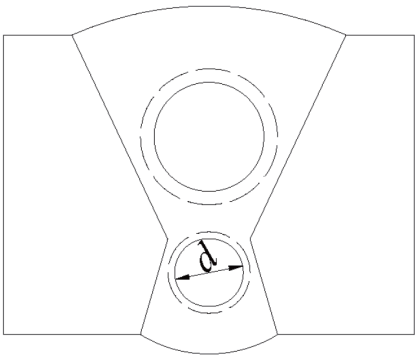


图 7. 2. 3. 3

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**

母材最小规定伸长率 A_5(%)	压头直径 (mm)	支辊边内间距 (mm)
$A_5 \geqslant 20$	$4t$①	$6t+3$①
$A_5 < 20$	d②	$d+2t+3$①②

注：① t 为弯曲试样的厚度，mm。

② $d = \dfrac{(100 \times t)}{A_5} - t$，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：不小于母材规定的最小抗拉强度，或符合设计文件规定的技术要求。 (2) 伸长率：不小于下列两项数值中的较小值：20%；4820/R_m +10（R_m 为母材规定的最小抗拉强度）。	
弯曲试验	按本节表 7.2.3.4 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开口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，或符合设计文件规定的技术要求。	
断面宏观检查	不应有裂纹、未焊透、未熔合、较大的夹渣或其他缺陷。	
冲击试验	冲击功应不低于母材要求。①	不要求冲击试验。

注：① 锅炉与一般常温受压容器用试样的冲击试验温度为常温，不锈钢受压容器冲击试验温度见本篇第 3 章 3.2.7，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，并在原试件上另行截取试样进行复试，具体试样数量应满足本篇第 1 章 1.2.5.2 和 1.2.5.3 要求。

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。

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。坡口可采用火焰切割、等离子切割、机加工、凿削或打磨的方法来加工。当采用火焰切割方法时，切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。对奥氏体不锈钢和双相不锈钢，应避免使用火焰切割方法。

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。使用前应严格按规定加以干燥。

7.3.4.4 受压壳体上的对接焊缝一般应采用双面焊，其上的受力角焊缝一般也应全焊透。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，可允许使用单面焊 (包括氩弧焊打底、临时衬垫和钢垫板焊)。如安装垫板进行焊接，则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 CCS 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。

7.3.4.13 当受压壳体使用奥氏体不锈钢或双相不锈钢时，除上述要求外还应满足本篇第 5 章第 4 节的相关要求。

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件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) 采用碳钢或碳锰钢制造的锅炉，其焊接构件的厚度小于 20mm 时 ；
(2) 采用碳钢或碳锰钢制造的 I、II 级一般受压容器，其焊接构件的厚度不大于 30mm 时（对具有低温 V 缺口冲击韧性要求的钢种，经 CCS 同意，此厚度可以增加）；
(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 时应进行焊后热处理。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。

7.4.1.4 除设计文件另有规定，奥氏体不锈钢、双相不锈钢焊接接头可不进行热处理。

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 CCS 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。

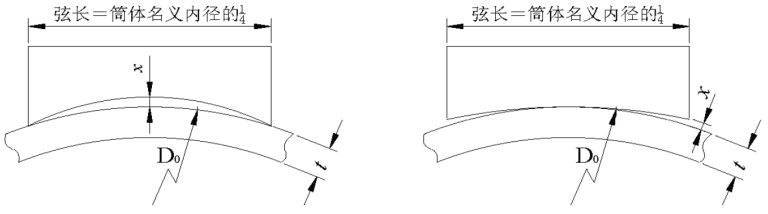
7.5.1.2　受压壳体的液压试验应根据不同产品的要求进行。

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筒体不圆度和外形尺寸等局部偏差。筒体不圆度是指在同一截面上所测得的最大和最小的内径相差值。

7.5.2.2　在测量筒体不圆度时，允许将筒体平放或竖放。平放测量时，应将筒体绕其纵轴转动，每 90° 测量直径一次，每一直径两次测得的值应加以平均，然后求得该筒体的不圆度数值。

7.5.2.3　筒体外形轮廓偏差 (局部不圆度) 是以具有理论轮廓的设计型线量规测得的筒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)) 测量与筒体实际轮廓的差值 X。



a)　　b)

D_0 —筒体名义外径；t —筒体壳板厚度；　x —筒体外形轮廓的最大偏差

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筒体名义内径的 1/4。锅炉与受压容器外形轮廓偏差 X 和筒体不圆度 $\Delta\varphi$ 均应符合表 7.5.2.4 的规定。

锅炉与一般受压容器筒体不圆度偏差 表 7.5.2.4

受压壳体的名义内径 Di(mm)	筒体不圆度允差值 $\Delta\varphi$ (mm)	外形轮廓的最大偏差 X(mm)
$Di \leqslant 300$	$\leqslant 0.1Di$	1.2
$300<Di \leqslant 460$		1.6
$460<Di \leqslant 600$		2.4
$600<Di \leqslant 900$		3.2
$900<Di \leqslant 1220$		4.0
$1220<Di \leqslant 1520$		4.8
$1520<Di \leqslant 1900$		5.6
$1900<Di \leqslant 2300$	$\leqslant 19$	6.4
$2300<Di \leqslant 2670$		7.2
$2670<Di \leqslant 3950$		8.0
$3950<Di \leqslant 4650$	$\leqslant 19$	$0.002Di$
$Di>4650$	$\leqslant 0.004Di$	$0.002Di$

7.5.2.5 锅炉与受压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	$\leqslant \pm 5$
>600	$\leqslant \pm 0.25\%$ 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 $\Delta\varphi$ 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：$L_a = 4\sqrt{R_0 t}$，mm

(2) 圆柱壳体：$L_a = \sqrt{l\sqrt{R_0 t}}$ 或 $L_a = 0.5\pi R_0$，mm

式中：L_a —— 样板弧长，mm；
R_0 —— 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：

$$X = \frac{0.01L_a}{1+\frac{L_a}{R_0}} \quad \text{mm}$$

式中：L_a —— 样板弧长，mm；
R_0 —— 壳体名义内半径，mm。

7.5.2.9 当承受外压的圆柱壳体的 $l / R_0 < 2.25\sqrt{t / R}$ 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%。

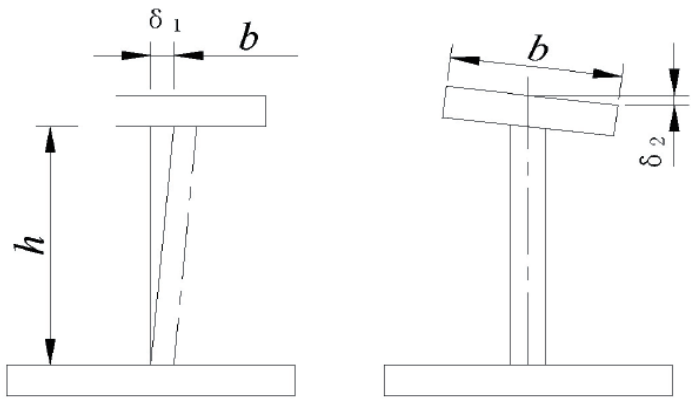


图 7.5.2.9

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 受压壳体的焊缝应进行无损检测。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 CCS 同意。

受压容器检测要求 **表 7.5.4.1**

检测类别	锅炉与一般受压容器②		潜水系统与潜水器
	I 级	II 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 100% 检测。	试板应 100% 检测；对接缝应至少 10% 抽查。	壳体对接缝应 100% 检测。
	锅炉炉胆、燃室以及其他类似的受压部件应局部抽查。		
超声波检测	板厚超过 50mm，经 CCS 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 100% 超声波检测。
磁粉或渗透检测③	管柱、复板、短管和支管等焊缝未经射线检测者，应 10% 磁粉或渗透检测抽查。必要时，验船师可要求增加检测的部位和数量。		抽查全部焊缝的 10%；在开孔处或接管处的加强焊缝 100% 检测。

注：① 对外径≤ 170mm 的筒形构件，联箱对接环缝应 25% 射线检测，其他管对接环缝应 10% 射线检测抽查。
② III级受压容器可由验船师根据实际用途确定是否需要进行无损检测。
③ 对低温压力容器壳体上外径≤ 57mm 的接管的全焊透角焊缝，应 100% 磁粉或渗透检测。

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渗透检测。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 焊缝的无损检测应考虑延时裂纹的影响因素。对规定最小屈服强度大于 395N/mm² 的高强度钢，无损检测应在焊后 48h 后进行。

7.5.4.5 射线检测和超声波检测技术等级应满足公认标准的适用等级的要求。其中射线检测灵敏度、黑度和几何不清晰度应符合下列规定：

(1) 当使用阶梯孔型像质计时，射线照相的灵敏度要求见表 7.5.4.5(1)。

阶梯孔型像质计照相的灵敏度要求 **表 7.5.4.5(1)**

检测工件的名义厚度 (mm)	照片上可见的孔号 (孔径 ,mm)
$3.5 < t \leqslant 6$	H5(0.320)
$6 < t \leqslant 10$	H6(0.400)
$10 < t \leqslant 15$	H7(0.500)
$15 < t \leqslant 24$	H8(0.630)
$24 < t \leqslant 30$	H9(0.800)
$30 < t \leqslant 40$	H10(1.000)
$40 < t \leqslant 60$	H11(1.250)
$60 < t \leqslant 100$	H12(1.600)
$100 < t \leqslant 150$	H13(2.000)

线型像质计照相的灵敏度要求 **表 7.5.4.5(2)**

检测工件的名义厚度 (mm)	照片上可见的丝号 (丝径 ,mm)
$3.5 < t \leqslant 5$	W15(0.125)
$5 < t \leqslant 7$	W14(0.16)
$7 < t \leqslant 10$	W13(0.20)
$10 < t \leqslant 15$	W12(0.25)
$15 < t \leqslant 25$	W11(0.32)
$25 < t \leqslant 32$	W10(0.40)
$32 < t \leqslant 40$	W9(0.50)
$40 < t \leqslant 55$	W8(0.63)
$55 < t \leqslant 85$	W7(0.80)
$85 < t \leqslant 150$	W6(1.00)

(2) 当使用线型像质计时，射线照相的灵敏度要求见表 7.5.4.5(2) 。

(3) 除有专门规定外，底片的黑度通常应在 2.0 ~ 4.5 之间。

(4) 几何不清晰度 $f \geqslant 10d \cdot b^{2/3}$

式中，f —— 射线源到工件表面距离；

d —— 有效焦点尺寸；

b —— 工件表面到胶片距离。

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 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 CCS 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 CCS 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部长度铲除干净，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件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 CCS 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 2 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 CCS 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　焊接材料

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 CCS 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 $C_{eq}=\mathrm{C}+\frac{\mathrm{Mn}}{6}+\frac{\mathrm{Cr+Mo+V}}{5}+\frac{\mathrm{Ni+Cu}}{15}$ 大于 0.41% 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　施焊前应按经 CCS 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 CCS 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 CCS 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 CCS 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 CCS 同意的无损检测方法进行检查；

(4) 其他重要机件的接缝，如 CCS 验船师认为有必要时，也可要求作无损检测。

第 4 节 螺旋桨的无损检测与焊补

8.4.1 一般规定

8.4.1.1 本节适用于本规范规定的螺旋桨、桨叶和桨毂的检验、修理和焊补。

8.4.1.2 本节亦可适用于营运船舶螺旋桨损坏后的修理和检验。

8.4.1.3 螺旋桨的焊补除本节规定外，应符合本篇第 1 章的有关规定。

8.4.2 螺旋桨的侧斜角及其危险区域划分

8.4.2.1 螺旋桨的侧斜由螺旋桨桨叶的侧斜角来描述。螺旋桨的最大侧斜角为：在桨叶的正投影图上，从叶尖到桨轴中线的直线和从轴中线作出与螺旋桨的桨叶截面弦长中点连线相切的直线的夹角 (见图 8.4.2.1)。高侧斜螺旋桨的侧斜角大于 25°，低侧斜螺旋桨的侧斜角不大于 25°。

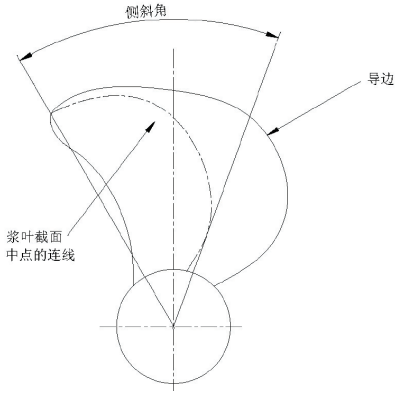


图 8.4.2.1 螺旋角的定义

8.4.2.2 为将检测要求与桨叶中的缺陷极限相联系并减少修补后疲劳裂纹的风险，将桨叶划分为 A、B、C 三个危险区域：

(1) A 区是承受最大应力的区域，因此检测要求最高。一般在该区域桨叶的厚度最大，其对修补焊缝的约束度最大，反过来也导致在修补焊缝内部和周围的残余应力最大。高的残余拉应力在以后的服役中经常导致疲劳裂纹，因此在该区域的任何焊接修补后必须经过消除应力热处理。

(2) B 区是可能有高工作应力的区域。

(3) C 区是工作应力低并且桨叶厚度相对较薄的区域。

8.4.2.3 低侧斜螺旋桨的危险区域划分应符合下列规定：

(1) A 区位于叶片的压力面，其范围为叶根至 0.4R 处并介于距导边 0.15 倍弦长 (*Cr*) 的界限及距随边 0.2 倍弦长 (*Cr*) 的界限之间的区域 (见图 8.4.2.3(1)a)。当桨毂半径 (R_b) 超过 0.27*R*(*R* 为螺旋桨的半径) 时，A 区为从叶根圆角至 1.5R_b 之间的区域。

A 区还应包括分体浇铸桨毂镗孔处的区域 (见图 8.4.2.3(1)b) 及可调螺距组装螺旋桨桨叶的法兰及根部 (如图 8.4.2.3(1)c 所示)。

(2) B 区为压力面至 0.7*R* 范围内除 A 区以外的区域及吸力面从叶根至 0.7*R* 的区域 (见图 4.2.3.1(1)a)。

(3) C 区为叶片两面位于 0.7*R* 以外的所有区域。整体浇铸螺旋桨桨毂的所有表面，及可调螺距螺旋桨桨毂除定义为 A 区以外的所有表面均作为 C 区。

8.4.2.4 高侧斜螺旋桨的危险区域划分应符合下列规定：

(1) 压力面 A 区的范围为叶根与随边及从导边与叶根相交处至随边 0.9*R* 处，并与 0.4*R* 弦线交于距导边 0.3*Cr* 处，与 0.7*R* 弦线交于距导边 0.5*Cr* 处的弧线所围成的区域。位于 0.4*R* 弦线以内的其余区域也属于 A 区。吸力面 A 区的范围为沿随边，始于叶根止于 0.9*R*，宽度为距随边 0.15*Cr* 的区域 (见图 8.4.2.4(1))。

(2) B 区范围为叶片表面除 A 区以外的所有表面 (见图 8.4.2.4(1))。

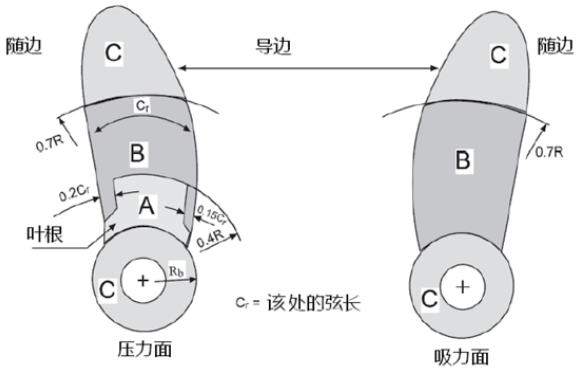


图 8.4.2.3(1)(a) 整体铸造低侧斜螺旋桨的危险区域划分

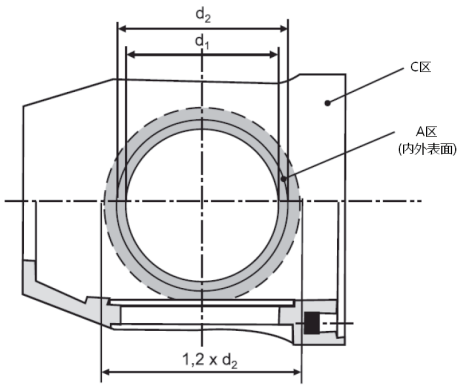


图 8.4.2.3(1)(b) 分体浇铸桨毂的危险区域划分

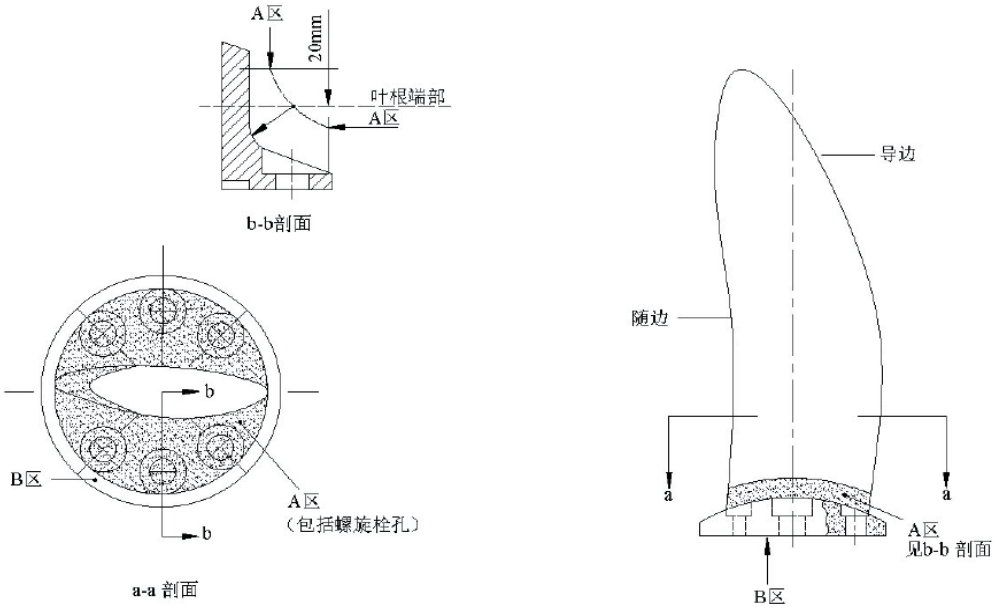


图 8.4.2.3(1)(c) 可调螺距桨桨叶法兰及根部的危险区域划分

注：桨叶的剩余表面危险区域划分应按整体浇铸螺旋桨所示的危险区域划分，参见图 8.4.2.3(1)a、图 8.4.2.4(1)。

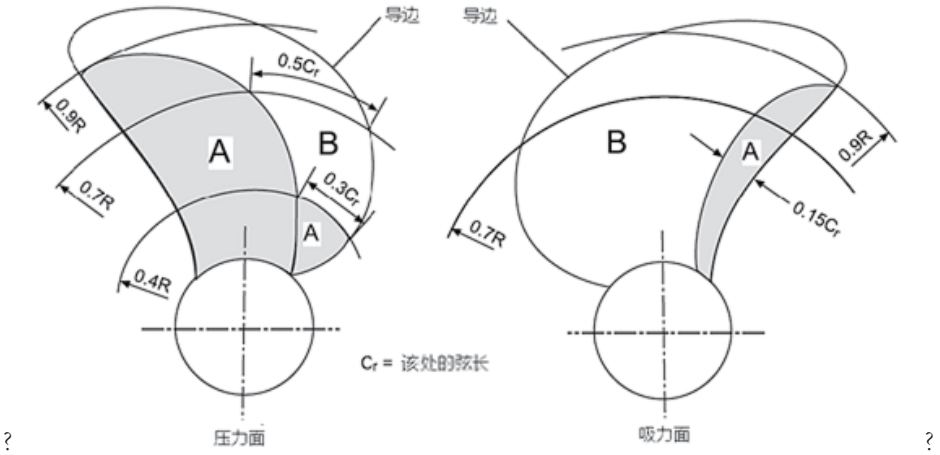


图 8.4.2.4(1) 高侧斜螺旋桨的危险区域划分

8.4.3 无损检测

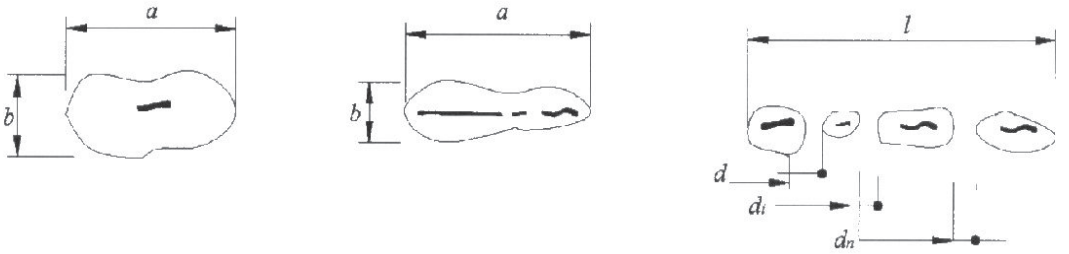
8.4.3.1 所有螺旋桨成品铸件均应按 8.4.2.3 和 8.4.2.4 规定分为三个区进行表面无损检测。通常 A 区检测应在验船师在场下进行，对 B 和 C 区进行检测时验船师可要求在场。

8.4.3.2 螺旋桨的表面检测通常用着色渗透检测方法进行。着色渗透检测应按 CCS 认可的标准或规则进行。磁粉检测方法不适用于铜质螺旋桨和奥氏体不锈钢螺旋桨。

8.4.3.3 着色渗透检测的显影时间应符合渗透剂生产厂的建议值或不少于 10min。

8.4.3.4 对显示进行评定时应以 100cm² 大小的正方形或长方形 (长边不超过 250mm) 作为评定区。评定区应选在显示最密集的部位。

8.4.3.5 渗透剂显示按图 8.4.3.5 划分为圆形、线形和连续形等三种。不同区域内的缺陷大小和数量应不超过表 8.4.3.5 所示之值。



$a/b<3$　$a/b \geqslant 3$ 显示数≥ 3 个，且 $0<d_i \leqslant 2$mm

圆型　　线型　　连续型

图 8.4.3.5 显示的类型

着色渗透检测判定区内显示的判定　　表 8.4.3.5

区域	显示的最大数量	显示类型	每类缺陷的最大数量	缺陷显示的最大尺寸 (mm)
A	7	圆型	5	4
		线型	2	3
		连续	2	3
B	14	圆型	10	6
		线型	4	6
		连续	4	6
C	20	圆型	14	8
		线型	6	6
		连续	6	6

注：① A 区内小于 2mm 的单个圆形显示及其他区域内小于 3mm 的单个圆形显示可以忽略。

② 如线形或连续形显示较少或不存在，圆形显示的总数最多可达到所有显示的最大许可数量，只要保证各种显示的数量之和不超过最大许可数量。

8.4.3.6 当怀疑铸件存在内部缺陷时，验船师可要求进行射线检测和 / 或超声波检测。射线或超声波检测的验收标准应由厂方与 CCS 商定。采用射线和 / 或超声波检测时应注意：

(1) 由于射线检测的厚度限制和其他实际因素，射线检测一般不宜用来检查大型螺旋桨的最厚部分；

(2) 由于材料的高吸收性能，一般对不锈钢、Cu1 和 Cu2 铜合金等材料不采用超声波方法进行检测；但超声波检测可对 Cu3 和 Cu4 铜合金材料进行检测。

8.4.3.7 如果铸件经过修磨或焊补，修补区域不论其所处的位置和 / 或位于的区域均应进行渗透检测。焊缝修补处，不论其所处的位置，均应按 A 区域要求进行检测。

8.4.3.8 制造厂应保持可追溯每一炉次的检验报告和产品的无损检测报告，并经验船师确认。

8.4.4 缺陷修补的一般要求

8.4.4.1 对于检查中发现的不影响强度的细小缺陷，一般可不修补。对桨毂端面或中部减轻孔表面的局部气孔，经适当处理后，可采用适当的塑性填料进行填充。

8.4.4.2 发现超过表 8.4.3.5 验收标准的显示 (如裂纹、缩孔、夹砂、夹渣、非金属夹杂、气孔以及其他可能削弱螺旋桨安全使用的缺陷) 的螺旋桨，应进行必要的修整或焊补。

8.4.4.3 缺陷修补一般应采用如磨、削、铣等的机械方法，而不宜采用焊接的方法。若确有焊补的必要，应事先提交详细的修补资料 (包括显示待焊接坡口位置和主要尺寸的草图或照片) 及检验程序，并经 CCS 同意。

8.4.4.4 不采用焊接修补的缺陷，在削、铣处理后应进行打磨。并应使打磨出的凹陷轮廓尽可能光滑过渡，以避免应力集中和减轻空泡剥蚀。

8.4.4.5 各区域可焊补的总面积和允许焊补的单个缺陷大小可参照 CCS 接受的有关标准，但应避免面积小于 5cm^2 的焊接修补。

8.4.4.6 螺旋桨 A 区域的修补一般应遵循下列原则：

(1) A 区一般不允许焊接修补，焊接修补只有经 CCS 同意才能进行。如果同意采用焊接修补，则焊后应进行消应力热处理，热处理工艺应经 CCS 验船师同意；

(2) 打磨后桨叶的厚度应保持图纸上批准的桨叶厚度；

(3) 当缺陷的深度大于本条 (2) 允许修补范围时，其修补应经 CCS 另行考虑。

8.4.4.7 螺旋桨 B 区域的修补一般应遵循下列原则：

(1) 经 CCS 的事先批准，B 区一般允许焊接修补，但最好能够避免。每次批准均应提交缺陷 / 损坏和预期修补工艺的全部详细资料；

(2) 对深度不大于 $\frac{t}{40}$ mm(t，批准图纸上缺陷所在处的最小局部厚度) 或 2mm 的缺陷 (取大者) 应打磨去除；

(3) 对深度超出上述 (2) 范围的缺陷可用焊接方法修补。

8.4.4.8 螺旋桨 C 区域一般可按已认可的工艺进行焊接修补。

8.4.4.9 对每一作过修补的铸件，制造厂应保留一份记录挖修、焊补、热处理和最终检测结果的报告，该报告应经验船师确认。

8.4.5 焊接修补

8.4.5.1 螺旋桨修造厂在实施焊接修补之前应向验船师证明其具有实施焊接修补必要的场地、安装设备、焊接设备、热处理设备、检测仪器以及有经验的焊工和焊接检验人员。

8.4.5.2 焊接修补之前，修造厂应制定并提交一份详细的焊接工艺规程，其中应包括焊前准备、焊接工艺、填充金属、预热和焊后热处理及检测工艺。

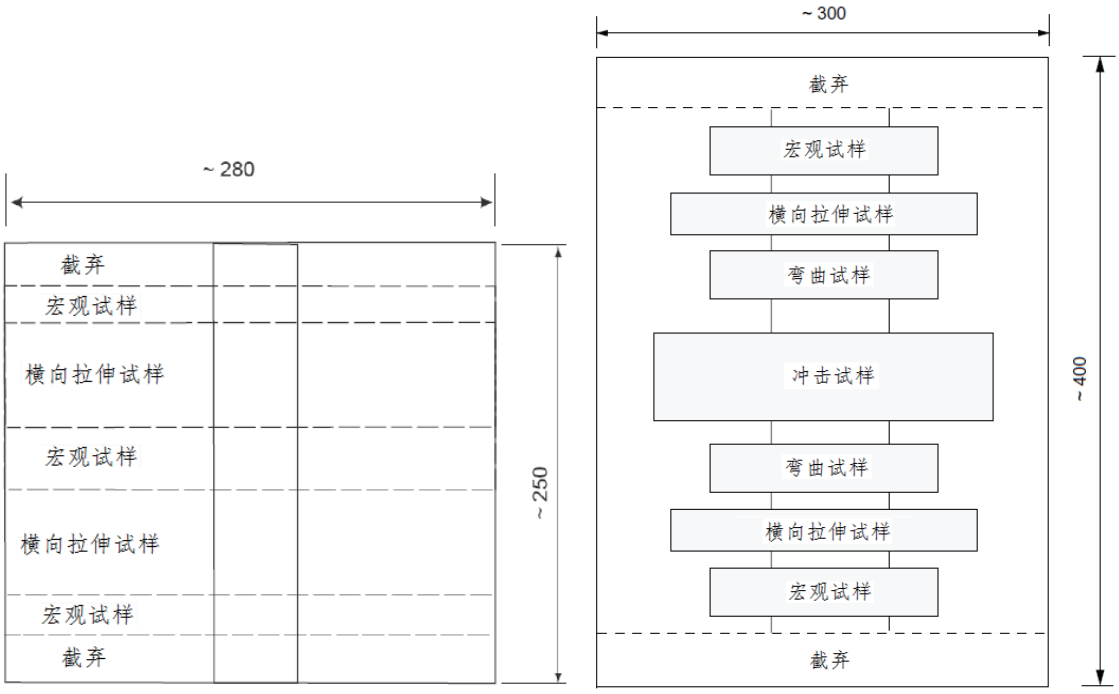
8.4.5.3 未经认可的焊接工艺应在验船师在场的情况下进行焊接工艺认可试验 (具体试验要求见表 8.4.5.3)，该试验所使用的母材、焊接方法、填充金属、预热和焊后热处理等应与实际焊补时相同。试验合格方能用于螺旋桨的焊补。焊接修补应严格按照已认可的工艺，由持证的焊工施焊。

螺旋桨焊补工艺认可试验要求① **表 8.4.5.3**

螺旋桨材料	最小试件厚度② (mm)	试验项目③	试验结果要求
铸铜合金螺旋桨	30	目视及表面渗透检测：焊缝全长	无表面裂纹
		射线检测：焊缝全长	符合公认标准
		横向拉伸：2 个	Cu1：$R_m \geqslant 370$N/mm^2 Cu2：$R_m \geqslant 410$N/mm^2 Cu3：$R_m \geqslant 500$N/mm^2 Cu4：$R_m \geqslant 550$N/mm^2
		宏观：3 个	无裂纹和直径大于 3mm 的气孔

螺旋桨材料	最小试件厚度②(mm)	试验项目③	试验结果要求
铸钢螺旋桨	30	目视及表面渗透检测：焊缝全长	满足表 8.4.3.5 中对 A 区域的要求
		射线检测：焊缝全长	符合公认标准
		横向拉伸：2 个	R_m 满足母材规定最低要求
		侧弯：2 个	弯芯直径：奥氏体不锈钢 $3t$，其他材料 $4t$； 试样弯曲后，表面不应有超过 2mm 的开裂
		宏观：2 个	无裂纹或类似裂纹缺陷、夹渣和直径大于 3mm 的气孔
		冲击：当母材有冲击要求时，焊缝中心和熔合线处各 1 组	冲击温度和冲击功满足母材要求

注 ① 对于铸铜合金螺旋桨修补，表中规定的试验项目和要求同样适用于焊工考试。
② 坡口为 V 型坡口，允许背面封底焊。焊接位置一般为平焊。
③ 试件尺寸和具体取样位置见图 8.4.5.3。



(1) 铸铜合金螺旋桨试件　　(2) 铸钢螺旋桨试件

图 8.4.5.3 螺旋桨修补焊接工艺认可试件取样位置

8.4.5.4 需用焊接方法修补时，应将缺陷清除干净，直到呈现良好的材料。为保证完全去除缺陷，打磨区域应在验船师在场情况下进行着色渗透检测。

8.4.5.5 焊接坡口的制备应保证能够焊透并保持干净和干燥。

8.4.5.6 焊补用的焊接材料应与母材相适应。铜合金桨的焊接材料可按表 8.4.7.3 所建议的选用。药皮焊条在使用前应按焊条制造厂的说明进行贮存和烘干。

8.4.5.7 所有焊接工作应在不受大风和天气影响的条件下进行。

8.4.5.8 制造厂可根据自身经验，采用药皮焊条电弧焊或气体保护电弧焊进行螺旋桨焊补。气体保护钨极氩弧焊应谨慎使用。

推荐使用熔化极电弧焊对铜质螺旋桨进行各类修补。

对 Cu1、Cu2 合金铜质螺旋桨可使用气焊，但应限制在对螺旋桨外缘 1/3 半径范围内且厚度小于 30mm 处缺陷的修补。

8.4.5.9　预热应采用天然气、石油液化气等柔火气炬或电热丝加热器，避免使用集中火焰加热，并防止局部过热。

8.4.5.10　螺旋桨的焊补一般应在平位置进行。不能平焊时，应进行熔化极气体保护焊焊接。

8.4.5.11　为减轻扭曲和产生裂纹的危险，应保持较低的道间温度，特别是 Cu3 合金。

8.4.5.12　在焊下一道前应清除熔渣、咬边及其他缺陷。

8.4.6　矫正

8.4.6.1　螺旋桨少量的变形可采用加热或不加热进行矫正。冷矫正应仅用于对端部或边缘的微小修补。热矫正和冷矫正只能采用静载荷。

8.4.6.2　对弯曲桨叶的矫正或对桨距的修正，应在对弯曲区域及其每边各 500mm 宽的区域加热到表 8.4.7.3 给出的温度后进行。

8.4.6.3　加热应缓慢均匀，不应使用氧 - 乙炔焰等集中火焰。应有足够的时间使得桨叶截面全厚度的温度达到相当一致。矫正的全过程中，温度应保持在工艺规定的范围内。应采用热电偶仪或温度指示笔等仪器测量温度。

8.4.6.4　矫正修整后，一般应用保温毯包裹或其他方法使螺旋桨缓慢冷却到室温。

8.4.7　热处理

8.4.7.1　除非制造厂能证明没有必要外，Cu1、Cu2 和 Cu4 铜材料冷矫正或焊补后都应进行消应力热处理。Cu3 合金的螺旋桨铸件在进行 B 区域的修补 (和经特别认可的 A 区域的焊接修补) 或使用了易引起应力腐蚀裂纹的焊接材料后，可要求进行消应力热处理。

8.4.7.2　马氏体不锈钢焊补后应进行回火处理。对很小的焊补，经事先同意可考虑进行局部消除应力处理。

8.4.7.3　铜合金桨推荐的消应力热处理温度列于表 8.4.7.3 中。保温时间应符合第 1 篇第 9 章表 9.1.4.4。

推荐的填充金属、预热和热处理温度　　**表 8.4.7.3**

合金类型	填充金属	最低预热温度 ℃	最大道间温度 ℃	消应力热处理温度 ℃	热矫正温度 ℃
Cu1	铝青铜 ① 锰青铜	150	300	350~500	500~800
Cu2	铝青铜 镍锰青铜	150	300	350~550	500~800
Cu3	铝青铜 镍铝青铜 ② 锰铝青铜	100	250	450~500	700~900
Cu4	锰铝青铜	100	300	450~600	700~850

注：① 镍铝青铜和锰铝青铜均可接受。
② 如使用镍铝青铜不要求消应力。

8.4.7.4　在整个热处理过程中，应对工件提供足够的支承以减小工件的变形。

8.4.7.5　加热和冷却应有控制地缓慢进行。通常加热速度不大于 100℃/h，冷却速度在温度大于 200℃时应不超过 50℃/h。

8.4.8　修补检验

8.4.8.1　焊接修补和热处理 (如采用) 后，焊缝和相邻材料应打磨光顺，且应按本节 8.4.3 的有关要求重新进行检验。

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 CCS 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－乙炔气焊仅限用于焊接直径不超过 100mm 或壁厚不超过 9.5mm 的管子对接接头。

9.1.2　材料

9.1.2.1　常温或高温下工作的 I、II 级管系制造中适用的钢种分别如下：

(1)　最小抗拉强度为 320、360、410、460 和 490N/mm^2 的碳钢和碳锰钢；

(2)　0.3Mo、1Cr0.5Mo、2.25CrMo 和 0.5Cr0.5Mo0.25V 低合金钢。

9.1.2.2　以上材料也可用于III级管系制造和管系的修理。

9.1.2.3　对于使用温度低于 -40℃的管系材料，CCS 将另行考虑。

9.1.3　焊接工艺认可

9.1.3.1　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 CCS 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。

9.1.3.2　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。

9.1.3.3　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。

9.1.3.4　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，CCS 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。

9.2.1.3　坡口制备一般宜采用机械加工方法。若采用火焰切割，应用砂轮打磨以清除氧化皮和切割造成的缺口。

9.2.1.4　管系的焊接应根据适用的要求进行。焊缝准备和焊接接头的检验可要求在制造过程中和焊后热处理完成后进行。

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度确定。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 (℃)
碳钢及碳锰钢 (C ＋ Mn/6 ≤ 0.4)	≥ 20②	50
碳钢及碳锰钢 (C ＋ Mn/6>0.4)	≥ 20②	100
0.3Mo	>13②	100
1Cr0.5Mo	<13	100
	≥ 13	150
2.25CrMo 及 0.5Cr0.5Mo0.25V①	<13	150
	≥ 13	200

注：① 对该类材料，如 CCS 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℃时，不论厚度如何，均应按最小预热温度进行预热。特别情况 CCS 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 定位焊应使用与母材相适应的焊接材料和认可的焊接方法。当母材需要预热时，定位焊也应采用相同的预热温度。

9.2.2.5 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 CCS《钢质海船入级规范》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 在 I 级管系中，外径大于 75mm 的管子的对接焊接头，应全部经 X 射线或 γ 射线检测。

9.3.3.2 在 II 级管系中，外径大于 100mm 的管子的对接焊接头，以及 I 级管系中外径等于或小于 75mm 的管子的对接焊接头，应以 10% 抽样进行 X 射线或 γ 射线检测。

9.3.3.3 在保证可达到相当焊接质量水平的条件下，允许用认可的超声波检测工艺代替射线检测。

9.3.3.4 在 I 级管系中，法兰接头的角焊缝应进行磁粉检查或其他合适的无损检测。根据材料类型、管壁厚度、外径尺寸以及流体性质等不同情况，可要求对其他等级的管系中的角焊缝进行磁粉检测或等效检测。

9.3.3.5 除上述的无损检测外，可根据个别的特殊情况附加提出超声波检测要求。

9.3.3.6 X 射线、γ 射线及超声波检测，应由 CCS 发证的 II 级人员按合适的工艺进行。必要时，X 射线、γ 射线及超声波检测的完整工艺应提交审查。

9.3.3.7 磁粉检测应由适当的设备和工艺，且磁通量应足够探测出缺陷，必要时，设备应以标准试块进行校准。

9.3.3.8 焊缝质量应符合可接受的标准，焊缝中不可接受的缺陷应予去除，并按规定要求修补。

第 4 节 热 处 理

9.4.1 一般要求

9.4.1.1 压力管根据材料种类和加工条件的不同，在成型或焊接后可要求进行必要的热处理。其热处理应符合本节的要求。

9.4.1.2 管子经热处理后不应降低材料规定的性能指标。必要时可要求验证。

9.4.1.3 热处理一般应在具有温度记录设备的炉子内进行。对焊接接头，允许用认可的工艺在管子的足够长度范围内进行局部热处理。

9.4.2 消除应力热处理

9.4.2.1 钢管和组合分支管，在下列情况下，应按表 9.4.2.1 要求进行消除应力热处理：

(1) 对 Cr-Mo、Cr-Mo-V 钢管，在 850~1000℃范围内进行热成型的；

(2) 除抗拉强度不大于 410N/mm² 的碳钢 / 碳锰钢管外，经冷弯成型的各级钢管；

(3) 用电弧焊工艺连接的。

消除应力热处理要求 **表 9.4.2.1**

钢管种类	较厚部分的厚度 (mm)	消除应力热处理温度 (℃)
碳钢及碳锰钢	≥ 15①③	550~620
0.3Mo	≥ 15①	580~640
1Cr0.5Mo	>8	620~680
2.25CrMo 及 0.5Cr0.5Mo0.25V	所有②	650~720

注：① 当使用具有规定低温 V 缺口冲击韧性要求的钢种时，经 CCS 同意，需焊后热处理的厚度可以增加。
② 对厚度不大于 8mm，直径不大于 100mm，且使用温度不低于 450℃的管子，可免除消除应力热处理。
③ 对厚度不大于 30mm 的碳钢及碳锰钢管，经 CCS 同意可免除消除应力热处理。

9.4.2.2 消除应力热处理应缓慢均匀地加热和冷却，保温时间按每 25mm 管壁厚度 1h 选取 (但至少为 0.5h)。随炉冷却到 400℃后置于静止的空气中冷却。

9.4.2.3 在任何情况下，消除应力热处理温度应至少比材料的最终回火处理温度低 20℃。

9.4.3 其他热处理

9.4.3.1 对所有级别的钢管和组合分支管，在下列情况下，应按表 9.4.3.1 要求进行正火或正火加回火热处理：

(1) 当热成型温度超出 9.4.2.1(1) 规定的温度范围的；

(2) 冷弯成型而弯曲半径小于 4 倍管子外径的；

(3) 用氧 - 乙炔气焊工艺连接的。

不同钢种的热处理要求 **表 9.4.3.1**

钢管种类	热处理工艺及其温度 (℃)
碳钢及碳锰钢	正火 880~940
0.3Mo	正火 900~940
1Cr0.5Mo	正火 900~960 回火 640~720
2.25CrMo	正火 900~960 回火 650~780
0.5Cr0.5Mo0.25V	正火 930~980 回火 670~720

9.4.3.2 由于冷弯而硬化的铜和铜合金管，在制造完工后进行液压试验之前，应进行适当的热处理，铜管应进行退火，铜合金管应进行退火或消除应力热处理。具体要求根据成分决定。

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 CCS 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 500N/mm^2，且应经 CCS 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进行焊接工艺认可。

10.1.3.2　海底管系海上安装的水下焊接工艺应经 CCS 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 CCS 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 水下焊接工艺

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 CCS 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 CCS 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顺过渡。

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 CCS 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、焊区清理及修补后的无损检测工艺；

(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≤ $t/2$，宽度≤ $t/4$，最大为 4mm。 成线状夹渣：长度≤ $2t$，最大为 50mm，宽度≤ 2mm。 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≤ $2t$，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 ≤ 12.5mm，最大为 3mm(外) 和 2mm(内)。 对 t>12.5mm，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 300mm 焊缝长度内不应大于： 对深度≤ $t/10$，最大为 0.8nnn。最长为 50mm； 对深度≤ $t/20$，最大为 0.4mm，最长为 100mm。 对深度≤ 0.3mm 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≤ 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，适当地控制预热和道间温度。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 在同一区域内焊接修补的次数，除经 CCS 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。

第 11 章　有色金属的焊接和铆接

第 1 节　一 般 规 定

11.1.1　适用范围

11.1.1.1　本章规定适用于船体和海洋工程用铝合金、钛合金和铜合金的焊接，以及铝合金的铆接。

11.1.2　焊接材料

11.1.2.1　铝合金结构焊接所选用的焊接材料应满足本篇第 2 章的有关要求。

11.1.2.2　钛及钛合金材质焊接和铜及铜合金管焊接，选用焊接材料的原则应分别满足本章第 3 节和第 5 节的有关要求。

11.1.3　工艺规程与检验标准

11.1.3.1　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 CCS 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 CCS 认可的图纸、工艺规程和检验标准进行。

11.1.3.2　钛及钛合金的焊接工艺认可试验参照 CCS《船舶焊接检验指南》相关要求执行。

第 2 节　铝合金的焊接

11.2.1　一般要求

11.2.1.1　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。

11.2.1.2　铝合金的焊接工艺规程应提交 CCS 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。

11.2.1.3　铝合金焊接工艺认可试验应按本篇第 3 章有关规定进行。

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

11.2.2　焊前准备

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

11.2.2.2　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 CCS 验船师同意。

11.2.2.3　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。

11.2.2.4　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火焰加热的方法。

铝镁系合金的预热温度通常为 50℃ ±10℃。

11.2.2.5　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。

11.2.3　焊接

11.2.3.1　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。

11.2.3.2　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。

11.2.3.3　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。

11.2.3.4 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。

11.2.3.5 清理焊缝根部和清除焊缝缺陷应采用铲、刨等机加工方法。

11.2.3.6 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。

11.2.3.7 多道焊时，在后续焊道进行焊接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。

11.2.3.8 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。

11.2.3.9 当焊接钢铝过渡接头时，应严格控制焊接的热输入量，防止对过渡接头产生不良影响。

11.2.3.10 对主要结构的小角度相交部位，一般应在反面开坡口进行焊接，并保证角焊缝的焊脚高度符合设计规定。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。

11.2.4 焊缝检查与修补

11.2.4.1 完工焊缝应进行外观检查和无损检测，检测的方法和验收标准应经 CCS 同意。

11.2.4.2 主要船体结构的焊缝无损检测范围由工厂与验船师商定。主船体焊缝射线检测范围建议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 CCS 所接受标准的规定。

11.2.4.3 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。

11.2.4.4 铝合金的焊补不应超过 2 次，超过 2 次的焊补应经 CCS 同意。

11.2.4.5 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 3 节 钛及钛合金的焊接

11.3.1 一般要求

11.3.1.1 本节适用于本规范第 1 篇第 9 章中可焊钛合金的焊接。

11.3.1.2 钛合金构件的设计应保持结构的连续性和焊接接头的平滑过渡，应避免出现应力集中。

11.3.1.3 钛及钛合金的焊接应按相应的焊接工艺规程执行。

11.3.1.4 从事钛及钛合金焊接的焊工应经钛合金焊接的操作技能培训和考试，并应取得相应的合格证书。

11.3.1.5 从事焊接质量检验人员应经技术培训，能正确掌握质量评判标准。

11.3.2 焊接材料

11.3.2.1 钛及钛合金氩弧焊焊丝，通常选用与母材同质的材料。

11.3.2.2 为改善焊接接头塑性，可选用比母材合金化程度稍低的焊丝。

11.3.2.3 不同牌号的钛材焊接时，应按耐腐蚀性能较好和强度级别较低的母材选择焊丝材料，或按设计规定选取。

11.3.3 焊前准备

11.3.3.1 应根据接头型式、母材厚度、焊接位置，焊接方法，有无衬垫及使用条件等综合因素确定焊接坡口形式和尺寸，尽可能采用填充金属少的焊接坡口。

11.3.3.2 钛合金材料及焊接坡口可采用机械、火焰切割、水刀或等离子方法等进行切割，其中火焰切割和等离子切割应避免火花溅落在钛合金材料表面，且切割边缘和坡口仍应用机械方法加工和去除污染层。已用于钢切割的砂轮、锯条、锉刀不能再用于钛合金的切割。加工后的坡口表面应光滑、平整，不得有影响质量的表面缺陷和杂质。坡口表面应呈银白色金属光泽。

11.3.3.3 焊丝表面、坡口表面及其两侧 20mm~50mm 范围内的油污、水分和灰尘等污物及氧化皮应清除。可根据表面污染程度和氧化皮厚度选用脱脂、机械清理或化学清洗法。

11.3.3.4 清理干净的焊丝和焊件应保持清洁、干燥，避免再次受到污染，端部已被氧化的部分应切除，焊丝表面如有氧化应进行化学清洗。清理后应尽快施焊，如 4h 未施焊，焊前应重新清洗。

11.3.3.5 焊接钛合金应在如下环境中施焊：

(1) 钛材一般应在独立场所进行焊接。如在钢铁作业的车间内施焊，应与钢铁作业区隔开，形成一个独立、封闭的钛材焊接区；

(2) 焊接应远离通风口和敞开的门窗，场地应铺设橡胶等软垫；

(3) 工作环境温度大于等于 5℃ . 相对湿度不大于 80%；

(4) 施工时的风速应小于 1.5m/s。

11. 3. 4 装配与定位

11.3.4.1 应采用铜制或其他无磁性材料作为焊接接头的定位或用来冷却焊道的邻近区域的夹具。

11.3.4.2 装配时必须保持所用工夹具及焊接坡口的清洁。定位焊所采用的工艺应与正式焊缝相同。定位焊缝不得有裂纹，气孔、夹渣等缺陷，否则应及时清除并重焊，重焊应在附近区域进行。

11.3.4.3 定位焊缝应清除其表面的氧化层 (只允许银白色和黄色) 等，并使焊缝两端平滑过渡以便于接弧，否则应予修整。

11. 3. 5 焊接

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

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

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

11.3.5.4 应采用合理的焊接顺序、焊接方法或刚性固定，以减少焊接变形与应力。

11.3.5.5 钨极氩弧焊焊接过程中应避免钨极触碰到焊缝金属。如有触碰，应去除污染层，并修磨钨极尖端后再焊。

11.3.5.6 施焊时应保持焊缝的连续性。若有中断，重新焊接时焊缝应重叠 10mm~20mm。多道焊接时，应注意前后道焊缝之间的清洁和道间温度，弧坑应填满，接弧处应熔合焊透。

11.3.5.7 采用氩弧焊时，氩气纯度不应低于 99.99%，同时应对焊缝正反两面进行可靠的氩气保护，焊缝正面保护应同时采用焊炬保护和附加拖尾保护。焊缝反面保护可根据焊件形状尺寸，采用夹具垫板槽内通保护气、背面保护气罩或焊件内腔充氩保护等方法。

11.3.5.8 焊接过程应提前送气、滞后停气，滞后停气时间以确保熄弧处的焊缝冷却后为银白色和浅黄色来确定。

11.3.5.9 多层多道焊时，每层焊缝金属表面都应按要求进行检查和清理，以保证每道焊缝的质量。对于淡黄和浅蓝色的氧化皮，应使用不锈钢钢丝刷清除，同时用洁净白绸布加丙酮 (或酒精) 除去残余杂物；对焊接过程中产生的夹钨、裂纹等缺陷，应及时使用电动硬质合金刀清理。对接焊缝和全焊透角接焊缝为双面连续焊接时，在焊接第二面焊缝前应进行清根，清根后的坡口形状应符合焊接工艺要求。钛合金焊缝不能采用碳弧气刨方式而应采用铲、刨、磨等方式进行清根处理。

11.3.5.10 焊后应清除焊件表面的焊渣、焊瘤、飞溅物以及其他污物。必要时应对焊缝进行局部修整。

11.3.5.11 为防止出现延迟裂纹，焊接过程应严格控制焊接气氛中氢含量。对于厚壁或重要构件应进行焊后消除应力处理。

11.3.6 焊缝检查与修补

11.3.6.1 完工焊缝应进行外观检查和无损检测，检测的方法和验收标准应经 CCS 同意。

11.3.6.2 应对所有的钛焊缝和热影响区原始状态的表面颜色进行检验，焊缝和近缝区颜色应为银白色或黄色，其他颜色应去除氧化色或进行返修。

11.3.6.3 焊缝内部质量一般应经无损检测方法检查 (射线探伤或超声波检测)。焊缝无损检测的范围、数量及其所采用的工艺和标准应符合 CCS 接受的标准的要求 (如：JB/T 4730。)

11.3.6.4 焊缝表面应均匀、致密、平滑地向母材过渡，不应有裂纹、未熔合以及超出规定的咬边、气孔、夹渣、弧坑等缺陷。

11.3.6.5 钛合金焊缝表面不允许存在深度大于等于 0.5mm 的划伤。若有大于等于 0.5mm 的划伤应清除。清除后的焊缝表面不应低于母材表面。

11.3.6.6 钛合金焊缝补焊应采用与原焊缝相同的焊接材料和焊接工艺参数。同一部位返修次数不应超过 2 次，超过 2 次的焊补应经 CCS 同意；修补后的焊缝应重新进行表面渗透探伤检测。

11.3.6.7 用于临时固定连接焊缝的工夹具，拆除后的焊痕表面也应进行表面渗透探伤检测。

第 4 节 铆 接

11.4.1 一般要求

11.4.1.1 本节仅用于铝合金船体结构的铆接。

11.4.1.2 铆接施工应按认可的工艺规程进行。

11.4.1.3 生产厂应制定详细的铆接工艺规程并提交 CCS 认可。

11.4.1.4 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。

11.4.2 铆钉孔的加工

11.4.2.1 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。

11.4.2.2 采用沉头或半沉头铆钉而需对构件进行锪孔时，锪孔的锥角应与铆钉相配合。当板厚与锪孔深度相同时，孔深可减小 0.5mm。

11.4.2.3 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。

11.4.2.4 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。

11.4.3 铆前准备

11.4.3.1 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。

11.4.3.2 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。

11.4.3.3 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。

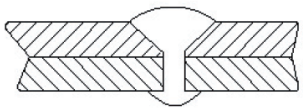
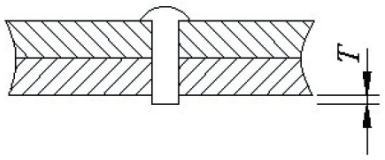
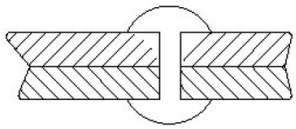
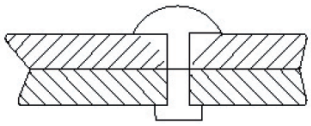
11.4.3.4 铆接前，应对铆钉、铆钉孔、锪孔等进行检查。符合规定要求后才能进行铆接作业。

11.4.4 结构铆接

11.4.4.1 铆接应由中央向前后对称进行。

11.4.4.2 铆钉的钉杆露出长度应符合表 11.4.4.2 的有关规定。

铆钉钉杆露出长度 表 11.4.4.2

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~1.2 d	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		1.5 d~1.7 d	
3~13	平头		1.3 d~1.4 d	

11.4.4.3 使用的气锤及顶铁应与铆钉的直径相匹配。

11.4.4.4 平墩头铆钉的平墩头方向应按下列规定施工，若有特殊情况应经验船师同意：

(1) 板材与型材铆接时，平墩头位于型材一侧；

(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。

11.4.4.5 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。

11.4.4.6 铆接时应尽可能一次成形，不宜重复修整。

11.4.5 铆接缝检验

11.4.5.1 铆接的各铆钉间距、排距及铆钉直径应符合图纸的要求。

11.4.5.2 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。

11.4.5.3 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 5 节 船用铜及铜合金管的焊接

11.5.1 一般要求

11.5.1.1 本节适用于船舶中常用紫铜管、黄铜管和铜镍合金管以钨极惰性气体保护焊、熔化极惰性气体保护焊及等离子弧焊方法进行的焊接。当根据产品情况需使用其他焊接方法（如手工电弧焊和气焊等）时，可参照本节的相关要求。

11.5.1.2 铜和铜合金管的焊接工艺规程应提交 CCS 认可。焊接工艺认可试验参照 CCS《船舶焊接检验指南》相关要求执行。

11.5.1.3 从事铜和铜合金管焊接的焊工应经铜合金焊接的操作技能培训和考试，并应取得相应的资格证书。具体考试要求参照 CCS《船舶焊接检验指南》。

11.5.2 焊接材料选用原则

11.5.2.1 焊接材料应与母材相匹配，保证焊缝金属的力学性能高于或等于母材规定的限值，当有耐腐蚀要求时，其耐腐蚀性能不应低于母材相应要求。

11.5.2.2 应严格控制焊缝金属中氧、铅、铋、硫等杂质元素，同时应保证焊接材料中有足够的脱氧元素。

11.5.2.3 紫铜和铜镍合金一般采用与母材成分相近并加入脱氧元素的焊接材料，而黄铜焊接时应尽可能选用无锌的青铜焊丝，以减少焊接过程中的锌蒸发。

11.5.3 焊前准备

11.5.3.1 铜及铜合金管焊接场地应有防潮、防尘、防寒和防风设施。工作环境温度不低于 0℃，相对湿度不大于 80%。

11.5.3.2 管对接焊根据壁厚的不同，可采用 I 形坡口或 V 形坡口。具体坡口尺寸和装配精度应满足相应焊接工艺的要求。

11.5.3.3 铜及铜合金管切割和坡口加工应采用机械方法或等离子方法。

11.5.3.4 焊丝、焊缝坡口及内外表面坡口两侧不小于 20mm 范围内用机械或化学方法进行清理，去除表面的氧化物、油污及其他污物，并保持干燥。通常清洁部位应在 24h 内施焊，否则焊前应重新清理。

11.5.3.5 定位焊所采用的焊接材料、焊接工艺应与正式焊接时相同。定位焊缝不得有裂纹，气孔、焊穿等缺陷，否则应及时清除并重新进行定位焊。

11.5.3.6 预热温度的确定应综合考虑合金种类、焊接方法、壁厚等因素。通常情况下铜镍合金管焊前可不预热。

11.5.4 焊接

11.5.4.1 打底焊通常使用钨极惰性气体保护焊，且管内应充保护气体以防止背面焊缝氧化。用氩气作为保护气体时，氩气纯度不应低于 99.99%。

11.5.4.2 选择焊接工艺参数应保证足够的熔深和良好的焊缝成形，避免产生缺陷。

11.5.4.3 多道焊时，在后续焊道进行前，应使用不锈钢丝刷清理焊缝表面氧化物。

11.5.4.4 对铜镍合金管，道间温度应不超过 150℃。

11.5.5 焊后处理

11.5.5.1 焊后应清除表面焊瘤、飞溅及其他污物。

11.5.5.2 对黄铜管，必要时进行消除应力热处理，以避免应力腐蚀开裂的产生。

11.5.6 焊缝检验和缺陷修补

11.5.6.1 完工焊缝应进行外观检查和无损检测，检测的方法和验收标准应经 CCS 同意。

11.5.6.2 焊缝表面不应有裂纹、气孔、未熔合、夹钨等缺陷。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。

11.5.6.3 焊缝内部质量一般应经无损检测，缺陷的评定应符合 CCS 接受标准的要求。

11.5.6.4 凡经外观检查或无损检测不合格的焊缝，应进行返修。对表面或内部缺陷应使用机械工具打磨，待缺陷完全消除后采用与原焊缝相同的焊接材料和工艺进行补焊。

11.5.6.5 同一部位焊补不应超过 2 次。超过 2 次的焊补应经 CCS 同意。

11.5.6.6 对有热处理要求的焊缝，修补后应重新进行热处理。

11.5.6.7 修补后的焊缝应按原规定重新进行检验。