第七篇　　材　　料

第 1 章　　一般规定

第 1 节　　通　　则

1.1.1　适用范围

1.1.1.1　渔船船体、机械、锅炉和受压容器等材料的化学成分、力学性能和热处理规程应符合本篇有关规定。

第 2 节　　试验与检验

1.2.1　化学分析

1.2.1.1　船用材料制造厂应正确测定试样的化学成分。

1.2.1.2　工厂的化学分析报告应提交船舶检验机构审查。若对材料的化学成分有疑问时，可要求复查。船用材料成分分析与炉罐取样分析之间的偏差，应符合公认的标准。

1.2.2　力学性能试验

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

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

1.2.3　复试

1.2.3.1　无冲击试验要求的材料，当任一项力学性能试验结果不符合要求时，对不合格的项目，可再取 2 倍数量的试样复试。复试结果均合格者，则该批材料可予以认可。

1.2.3.2　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。附加试验结果应与原来结果合在一起平均，新的平均值不低于规定值时方可予以认可。而在这六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 个单值低于平均值的 70%，否则仍为不合格。

1.2.3.3　本篇 1.2.3.1 和 1.2.3.2 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它能代表该铸件的部位上制取。

1.2.3.4　如按本篇 1.2.3.1 和 1.2.3.2 的规定进行的复试和附加试验结果仍不合格，则已做试验的单件为不合格。若在余下试件中任选 2 个单件做全套试验，并得到满意的结果，则该批材料的剩余部分可予以认可。但试验中有一个结果不合格，则该批材料全为不合格。

1.2.3.5　当一批材料被拒收时，该批材料中未作试验的单件仍可逐件重新提交试验，试验结果合格者，仍可逐件予以认可。制造厂可将该批不能验收的材料按本篇 1.3.1.2 的要求进行热处理后再重新提交全部项目的试验，试验合格者仍可予以认可。试验不合格者仍可按本篇 1.2.3.1 和 1.2.3.2 的规定进行复试。

复试不合格者，该批材料不能再提交检验。

1.2.4 缺陷的处理

1.2.4.1 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标准执行。

1.2.4.2 轻微的表面缺陷可以用机械方法去除，在适当的条件下，也可以采用焊接的方法修补，但应符合本篇的有关要求。同时，缺陷修整的范围和方法，应征得船舶检验机构的同意。

第 3 节 热处理

1.3.1 一般要求

1.3.1.1 船用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定，并提交船舶检验机构承认的机构认可。

1.3.1.2 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。对大型部件需要热处理时，可采用经船舶检验机构同意的替代方法。

第 2 章　力学性能试验与工艺性能试验

第 1 节　通　则

2.1.1　适用范围

2.1.1.1　本章规定适用于船用金属材料的常规力学性能试验(包括拉伸、冲击、硬度和蠕变等试验)和工艺性能试验(包括弯曲及管材的压扁、扩口、卷边和弯曲等试验)。本章规定以外的试验，可按本篇其他章节中的规定或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，所有试验材料应由船舶检验机构选定。试验材料选取应以能代表该材料的质量为原则。

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

2.1.3　试样的制备

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

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

2.1.3.3　试样在矫正或机械加工时，不可经受过分的加热或冷变形。

2.1.4　试验机

2.1.4.1　所有试验应在认可型式的试验机上由合格的人员操作。试验机应保持良好而准确的状态，并按规定时间间隔进行校验，校验应由国家承认的计量机构或其他标准组织进行。所有的校验记录应完整地保存在试验室内，以备船舶检验机构核查。

2.1.4.2　拉伸试验机和冲击试验机的量值精度误差不超过 ± 1%。

2.1.5　试样的作废

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

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

2.1.6　试验温度

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

第 2 节　拉伸试验

2.2.1　一般要求

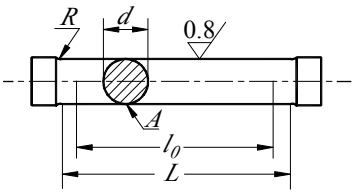
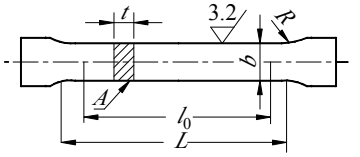
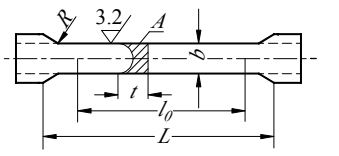
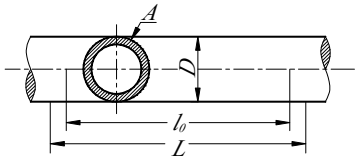
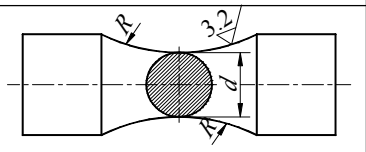
2.2.1.1　船用金属材料的抗拉强度 R_m、屈服强度 R_{eH}、伸长率 A_5 以及断面收缩率 Z 等力学性能应由拉

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。试样端部可加工成适宜于试验机夹头夹持的形状。

拉伸试样的形状和尺寸 **表 2.2.2.1**

序号	试样形式	试样尺寸/mm	使用材料
1		（1）$l_0=5d$，d≥10，$L=l_0+0.1l_0$，R≥10	轧制件，锻件，铸件（灰铸铁除外）和壁厚＞16mm 的管子
		（2）$l_0=70$，$d=14$，$L\approx 85$，R≥10 对球墨铸铁和规定伸长率小于 10%的材料：R≥20	
		（3）$l_0=5d$，d—直径，$L=l_0+d$，R≥10，对球墨铸铁和规定伸长率小于 10%的材料：R≥1.5d	
2		（1）$l_0=5.56\sqrt{A}$，t—板材厚度，$b=25$，$L\approx l_0+2\sqrt{A}$，R≥25	钢质板材、型材（本篇第 3 章）
		（2）$l_0=200$，t—板材厚度，$b=25$，$L\approx 225$，R≥25	—
		（3）$l_0=50$，t—板材厚度，$b=12.5$，$L\approx 70$，R≥25	t≤12.5mm 的铝质板材和型材（本篇第 8 章）
3		$l_0=5.65\sqrt{A}$，t—板材厚度，$b=25$，$L=2b$，R≥25 试样沿管轴纵向截取，试验长度部分不应压平，而两端头夹头部分则应压平	钢管、铜管
4		$l_0=5.65\sqrt{A}$ 或 50，$L\approx l_0+D$ 管子两端应堵住，上式中 L 是两端头间的距离	钢管、铜管
5		$b=20$，R≥25 试样应从被试验的部件中备置，直径为 30mm 的试样可以单独铸造灰口铸铁	灰口铸铁

表中：l_0——标距长度，mm；

L——试样平行段的平行长度，mm；

A——试样平行长度部分的原始横截面积，mm^2。

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

注 2：除表中所规定的试样外，亦可采用经船舶检验机构承认的机构认可的其他它试样。

2.2.2.2 拉伸试样经机械加工后，其尺寸公差应符合船舶检验机构承认的机构认可的有关标准。

2.2.3 **试验**

2.2.3.1 在室温下进行拉伸试验时：

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

.2 钢材屈服点规定如下：

碳钢、碳锰钢和合金钢产品及其焊接材料，应测定上屈服点，或负荷下的规定非比例伸长为 0.5%时所对应的应力($\sigma_{p0.5}$)；

.3 钢材上屈服点的测算应根据：

（1） 试验机标杆明显下落前的瞬时负荷；

（2） 指针退回之前的瞬时负荷或指针停滞时的负荷；

（3） 负荷—拉伸图上屈服阶段塑性变形开始处的负荷或屈服阶段的第一峰值负荷，不论该峰值负荷是否等于或小于随后出现的其他峰值负荷；

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

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

2.2.3.2 在高温(≥50℃)下进行拉伸试验时：

.1 测定高温下的下屈服点或 0.2%规定非比例伸长应力所用的试样，其标距长度 l_0 应不小于 50mm，而横剖面面积 A 应不小于 65mm^2。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 在接近下屈服点或规定非比例伸长应力时，应变速率应控制在每分钟 0.1%～0.3%原标距长度范围内；

.4 计算应变速率时，测量应变的时间间隔应不超过 6s。

2.2.4 **等效伸长率**

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

$$\delta_E = 2[\delta](\frac{\sqrt{A}}{l})^{0.4} \qquad (2.2.4.1)$$

式中:A——试样平行段的原始横截面面积，mm^2；

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

l——试样的标距长度，mm。

试验时实际测得的伸长率应不小于最小等效伸长率。

2.2.4.2 上述换算关系仅适用于热轧、退火、正火或正火加回火状态且抗拉强度不超过 700MPa 的碳钢、碳锰钢和低合金钢。其它交货状态和抗拉强度超过 700MPa 的碳钢、碳锰钢和低合金钢，以及其它材料的最小等效伸长率，应按船舶检验机构承认的机构认可的方法另行计算。

第 3 节　　弯曲试验

2.3.1　一般要求

2.3.1.1　弯曲试验一般用于检验金属材料的弯曲性能和冶金缺陷。

2.3.1.2　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，用肉眼或用五倍放大镜检查试样弯曲部分外侧有无裂纹或起层等缺陷。

2.3.2　试样

2.3.2.1　根据材料的种类，弯曲试验的尺寸应符合表 2.3.2.1 的规定。

弯曲试样尺寸　　表 2.3.2.1

序号	试样尺寸，mm	适用材料
1	试样厚度 $t=t_m$，试样宽度 $b=2t\pm2$， 试样长度 $L=5t+150$，试样边角半径 r=1～2， t_m 为试件厚度	轧制材料
2	试样厚度 $t=t_m$，试样宽度，$b=5t\pm2$， 试样长度 $L=5t+150$，试样边角半径 r=1～2， t_m 为试件厚度	
3	试样直径 $d=d_m$，试样长度，$L=5d+150$， d_m 为试件直径	
4	试样厚度 $t=20$，试样宽度，$b=25$， 试样长度 $L\geq9t+D$，试样边角半径 r=1～2， D 为压头直径	铸锻钢材料

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

第 4 节　　冲击试验

2.4.1　试样

2.4.1.1　冲击试样应为夏比 V 型缺口或夏比 U 型缺口试样，如图 2.4.1.1，其尺寸、公差应符合表 2.4.1.1 的规定。

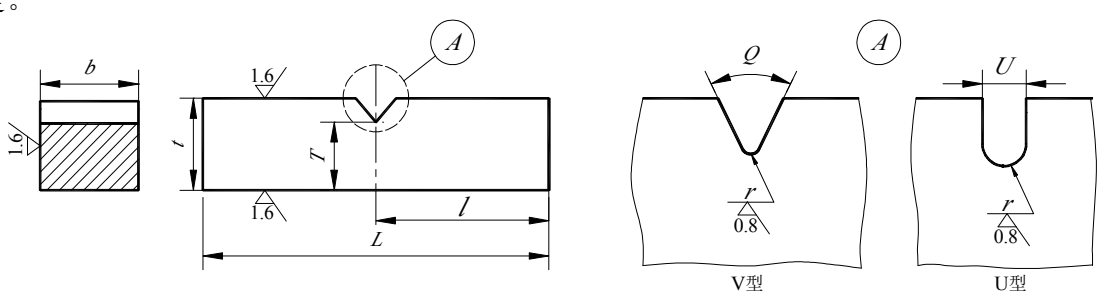


图 2.4.1.1

图 2.4.1.1 冲击试样

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

2.4.1.3 对于厚度小于 10mm 的材料，应制成尽可能大的标准辅助试样，缺口方向应垂直于轧制面。标准辅助试样的宽度及其标准试样冲击功的换算关系如表 2.4.1.3 所示。对于公称厚度在 6mm 以下的材料，一般不要求进行冲击试验。

冲击试样尺寸 表 2.4.1.1

名称		符号	夏比 V 型缺口试样		夏比 U 型缺口试样	
			公称尺寸，mm	偏差	公称尺寸	偏差
长度，mm		L	55	±0.6	55	±0.60
宽度，mm	标准试样	b	10	±0.11	10	±0.11
	标准辅助试样	b b	7.5 5	±0.11 ±0.06	—	—
厚度，mm		t	10	±0.06	10	±0.11
缺口角度，°		Q	45	±2	—	—
缺口宽度，mm		u	—	—	2	±0.14
缺口以下的厚度，mm		T	8	±0.06	5	±0.09
缺口根部半径，mm		r	0.25	±0.025	1	±0.07
试样端部至缺口中心距离，mm		l	27.5	±0.42	27.5	0.42
缺口对称面与试样纵向轴线间的角度，°		—	90	±2	90	±2

换算关系 表 2.4.1.3

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

2.4.2 试验

2.4.2.1 所有冲击试验应在经船舶检验机构承认的机构认可的摆锤式冲击试验机上进行，冲击试验机的规格应符合表 2.4.2.1 的规定。

冲击试验机的规格 表 2.4.2.1

试验机最大冲击能量，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

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

第 5 节　　管材延性试验

2.5.1　压扁试验

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

2.5.1.2　试验应在室温下沿垂直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 (压载时测量)不大于下式规定之值为止：

$$H=\frac{t(1+c)}{c+\frac{t}{D}} \qquad (2.5.1.2)$$

式中：H——两平行平板间的距离，mm；

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 7 章规定。

试验后，试样不应有破裂或裂纹，试样端部的细小裂纹可以不计。

2.5.1.3　对于焊接管，焊缝应置于与压扁施力方向成垂直的位置。

2.5.2　扩口试验

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

2.5.2.2　试验应在室温下用 45°或 60°的坚硬的圆锥形钢锥头对准管材中心线(如图 2.5.2.2 所示)压入管材，迫使管材端部扩大至本篇有关章节所规定的外径。试验时，锥头应加润滑剂，但锥头与管材在试验过程中不可相对转动。试验后，管材扩口部分不应有破裂或裂纹。

2.5.3　卷边试验

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

2.5.3.2　试验应在室温下用坚硬的圆锥形钢锥头对准管材中心线(如图 2.5.3.2 中(1)、(2)两种型式)，将管端卷边，直到试样端部增大至本篇有关章节所规定的直径。试验后，管材的筒体和卷边不应有破裂或裂纹。

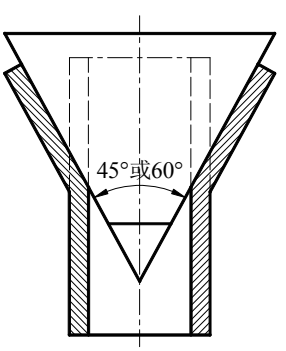


图 2.5.2.2

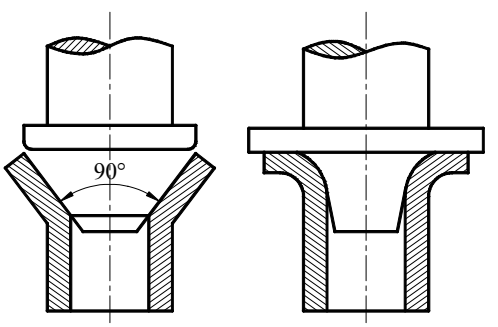


图 2.5.3.2

（1）　　（2）

图 2.5.2.2　扩口试验示意图　　图 2.5.3.2　卷边试验示意图

2.5.4　弯曲试验

2.5.4.1　钢管应沿纵向截取试样。该试样应能保证在规定的弯曲半径和弯曲角度下进行弯曲。

2.5.4.2　对外径不小于 200mm 的钢管，因试验条件限制时，应截取宽度不小于 40mm 的全厚度圆周板条作试样。管壁较厚的试样，可机加工减薄至 20mm。而试样的边缘可加工成半径为 1.6mm 的圆角。试验按本篇第 7 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°。

2.5.4.3　试验应在室温下进行。弯曲后，试样应无裂纹或分层。

第 6 节　不锈钢晶间腐蚀试验

2.6.1　一般要求

2.6.1.1　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。

2.6.2　试样制备

2.6.2.1　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。

2.6.2.2　晶间腐蚀试验的试样应为厚度或直径不大于 12mm 的矩形或圆形截面弯曲试样。对于小直径的不锈钢管可截取管段直接作为试样。试样的总表面积应在 12cm^2～35cm^2 之间。

2.6.3　试验

2.6.3.1　试验的腐蚀介质应为 100g 硫酸铜($CuSO_4$•$5H_2O$)置于 l00ml 密度为 1.84g/ml 的硫酸中，用蒸馏水稀释至 1L 溶液。

2.6.3.2　试验容器中应按每 1L 溶液加 50g 的比例，将细铜屑加入装有腐蚀介质的容器中铺成铜屑垫，同时加热介质至沸腾。

2.6.3.3　将清洁后的试样加热至 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，在沸腾的腐蚀介质中浸泡 15h～24h。试验过程中应防止溶液因蒸发而浓缩。

2.6.3.4　浸泡后的试样应在常温下，以试样直径或厚度的 2 倍的弯芯直径，弯曲 90°。小直径管段试样则可按本章第 5 节的要求进行压扁试验。

2.6.3.5　弯曲或压扁试验后，试样的受拉面应无裂纹（角裂及不伴有裂纹的滑移线、皱纹和表面粗糙不计）。

第 7 节　金属材料裂纹尖端张开位移(CTOD)试验

2.7.1　一般要求

2.7.1.1　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。

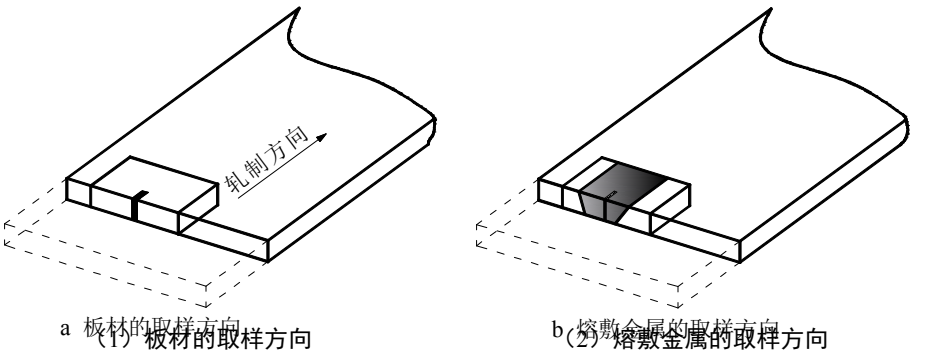
2.7.1.2　本节适用于采用三点弯曲试样进行的 CTOD 试验。

2.7.1.3　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。

2.7.1.4　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。

2.7.2　试样制备

2.7.2.1　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 2.7.2.1（1））；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 2.7.2.1（2））。



（1）板材的取样方向　　（2）熔敷金属的取样方向

图 2.7.2.1　试样的取样方向

2.7.2.2　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 2.7.2.2 和表 2.7.2.2 的规定，其他尺寸应符合公认标准的要求。

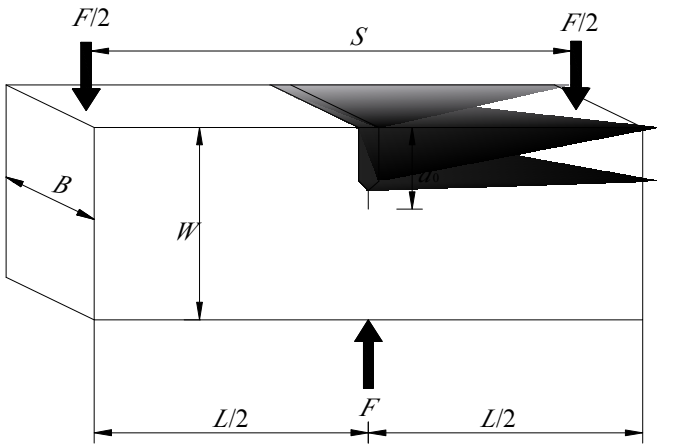


图 2.7.2.2　CTOD 试样的尺寸图

CTOD 试样的尺寸　　表 2.7.2.2

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。				

2.7.2.3　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：

$$F_{\max} = kBW(R_{p0.2} + R_m) \quad \text{N} \qquad (2.7.2.3)$$

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；

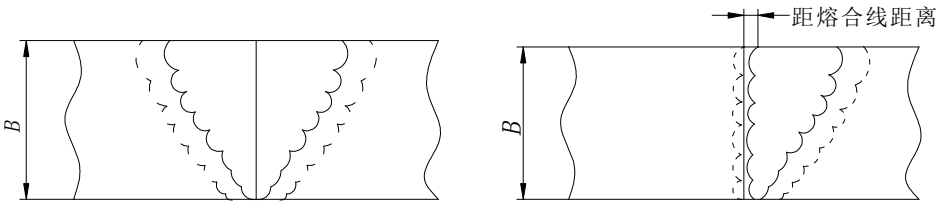
W—— 试样的高度，mm；

$R_{p0.2}$—— 试验材料的非比例延伸强度，MPa；

R_m—— 试验材料的抗拉强度，MPa。

2.7.2.4　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 型、单边 V 型或 J 型。

2.7.2.5　试样缺口的位置和取向可根据试验目的按图 2.7.2.5 选择。

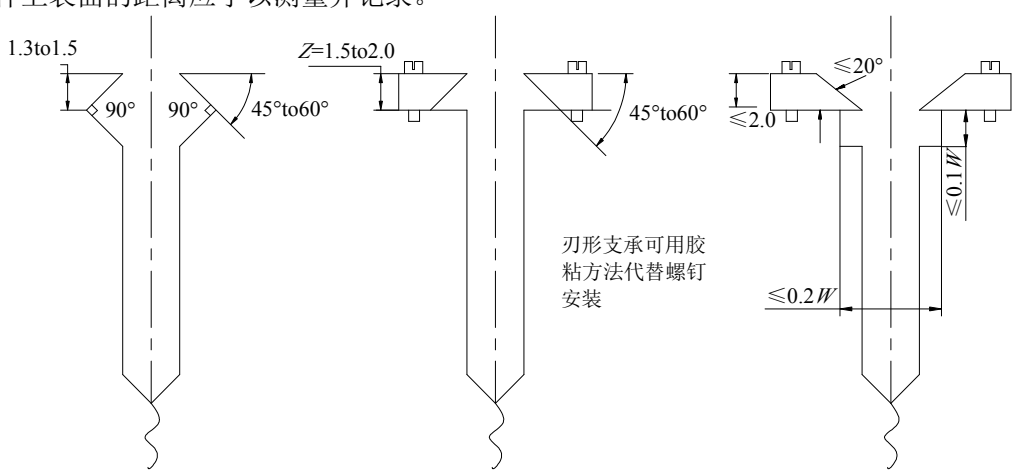


(a) 用于评定焊缝熔敷金属　　(b) 用于母材热影响区组织

(1) 用于评定焊缝熔敷金属　　(2) 用于母材热影响区组织

图 2.7.2.5　试样缺口的位置和取向

2.7.2.6　试样的缺口处可按图 2.7.2.6 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) 整形刃形支承　　(b) 缺口上安装刃形支承

(1) 整形刃形支承　　(2) 缺口上安装刃形支承

图 2.7.2.6　试样开槽与安装刃形支承

2.7.3　试验

2.7.3.1　CTOD 试验应在渔检接受的试验室进行。

2.7.3.2　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。

2.7.3.3　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。

2.7.3.4　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。

2.7.3.5　试验程序和结果评定方法应按公认标准进行。

2.7.4　试验要求

2.7.4.1　试验后应对每个试样的断面进行观察和测量，并按下列 2.7.4.2 和 2.7.4.3 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。

2.7.4.2　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 0.1 a_0。

$$a_0 = \frac{1}{8}\left(\frac{a_{01}+a_{09}}{2}+\sum_{i=2}^{8} a_{0i}\right) \qquad (2.7.4.2.4)$$

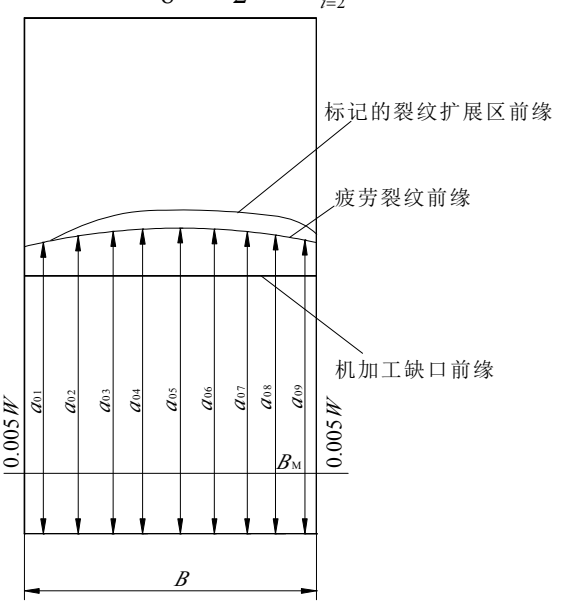


图 2.7.4.2.4　疲劳裂纹前沿的长度测量

2.7.4.3　除 2.7.4.2 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。

2.7.5 **试验报告**

2.7.5.1 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 8 节 双相不锈钢点蚀试验

2.8.1 **一般要求**

2.8.1.1 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。

2.8.2 **试样制备**

2.8.2.1 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。

2.8.2.2 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。

2.8.2.3 试样表面应用砂纸进行研磨，研磨时应避免过热。

2.8.2.4 测量试样尺寸，并计算总暴露表面积。

2.8.2.5 将试样表面清洗后，用丙酮或无水乙醇除油，并吹干。

2.8.2.6 试样称重，精确到 1mg。

2.8.3 **试验程序**

2.8.3.1 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 HCI 或 NaOH 来调整。

2.8.3.2 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 2.8.3.2。

不同双相不锈钢材料母材和焊缝的试验温度 **表 2.8.3.2**

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

2.8.3.3　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℃。

2.8.3.4　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)。

2.8.4　**试验结果**

2.8.4.1　在试样表面应无肉眼可见的点蚀。

2.8.4.2　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 10mdd。具体计算公式如下：

$$CR = \frac{W_1 - W_2}{S} \times 10^4 \qquad (2.8.4.2)$$

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 3 章　钢板、扁钢和型钢

第 1 节　　通　　则

3.1.1　适用范围

3.1.1.1　船体、机械、锅炉以及受压容器等所用的钢板、扁钢和型钢应符合本章的规定。

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船舶检验机构承认的机构认可。

3.1.2　制造

3.1.2.1　钢材的脱氧方法应符合本章各节的规定。如采用其他冶炼方法，应经船舶检验机构承认的机构认可。

3.1.2.2　钢可浇铸在锭模中或采用经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；

.3　若采用连铸方法，应在验船师在场的情况下进行规定的试验，且试验结果应经认可。

3.1.2.3　钢材可采用热轧（AR）、控轧（CR）或温度—形变控制轧制（TMCP)）等工艺进行生产。规定的试验应在验船师在场时进行，试验结果应满足试验要求。

3.1.3　尺寸偏差

3.1.3.1　对本章第 2 节所规定的各类船体结构用钢板和宽扁钢，其厚度负偏差应不超过 0.3mm。5mm 以下的钢板和宽扁钢及型钢的偏差范围应符合船舶检验机构承认的机构认可的相关标准。

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

机械结构用钢板和宽扁钢的厚度负偏差　　表 3.1.3.2

公称厚度 t，mm	负偏差，mm
$5 \le t < 8$	＜0.4
$8 \le t < 15$	＜0.5
$5 \le t < 25$	＜0.6
$25 \le t < 40$	＜0.8
$t \ge 40$	＜1.0

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

3.1.3.4　钢板和宽扁钢的厚度应在距边缘至少 10mm 处测量。

3.1.4　试样

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

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

.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；

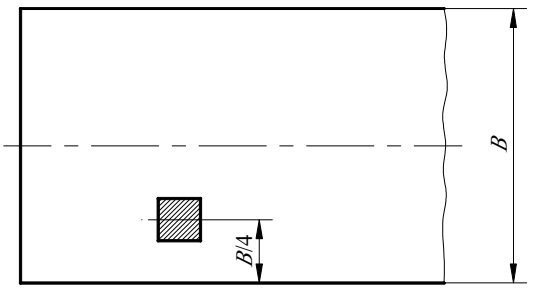


图 3.1.4.2.1 钢板试验材料取材

图 3.1.4.2(4)

.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 所示；

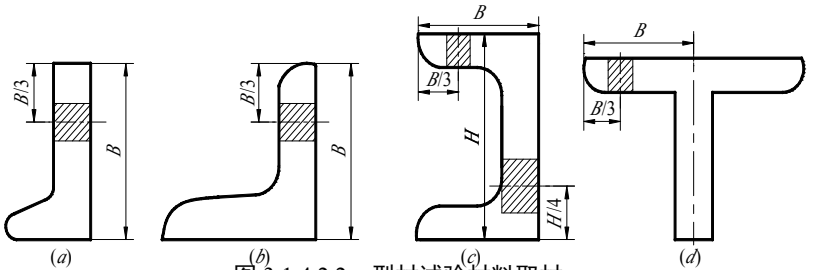


图 3.1.4.2.2 型材试验材料取材

图 3.1.4.2(2)

.3 对于本章第 2 节和第 4 节所述的圆钢或棒材，应在距外表面约 1/3 半径或 1/6 对角线长度处切取，如图 3.1.4.2.3 所示；

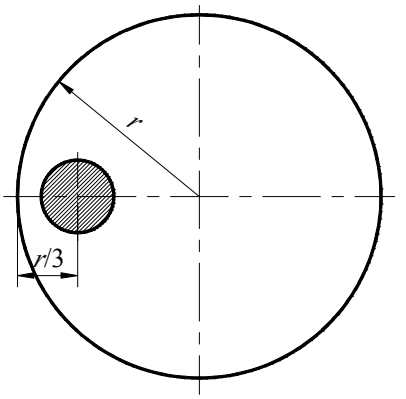


图 3.1.4.2.3 圆钢试验材料取材

图 3.1.4.2(3)

.4 对于本章第 3 节中所述的圆钢或棒材，应在距外表面约 12.5mm 处切取。若钢材尺寸较小，试样可加工成与圆钢或棒材同轴；

.5 对于厚度超过 40mm 的钢板或扁钢，可切取全厚度试验材料；但若采用圆棒形试样，应使轴线位于板厚的 1/4 处。

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

.1 拉伸试样:钢材和宽度大于或等于 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 冲击试验: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 检测

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

3.1.6 缺陷和修整

3.1.6.1 对本章第 2、3、4 和 6 节所述的结构用钢，其表面缺陷可采用局部打磨方法予以消除，但：

.1 修整后任何部位的厚度应不小于公称厚度的 93%，且减薄量应不大于 3mm；

.2 单个修磨面积不能大于 0.25m2，总修磨面积不能大于钢板总面积的 2%；

.3 修整后表面应光滑平顺。

此类修整应在验船师在场时进行。必要时船舶检验机构可要求对已修整区域进行适当的无损检测，以证明缺陷已全部消除。

3.1.6.2 不能按本篇 3.1.6.1 规定处理的表面缺陷，在征得船舶检验机构同意的情况下，可用铲削或打磨后进行焊补的方法予以修整，但应符合下列要求：

.1 在缺陷消除后和焊补之前，单件钢材任何部位的厚度减薄应不大于钢材公称厚度的 20%；

.2 单一焊补面积不能超过 0.125m2，总焊补面积不能超过表面积的 2%；

.3 两个缺陷间的距离小于它们的平均宽度时应作为单个区域处理；

.4 对已修整区域应进行适当的无损检测，以证明缺陷已全部消除；

.5 应由具有适当资格的焊工用认可的焊条按认可的焊接工艺进行焊补。焊补后，被修补部位应打磨光顺，并进行无损检测，以证明焊补质量是合格的；

.6 当船舶检验机构提出要求时，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 节和 7 节所述的材料，其表面缺陷亦可按本篇 3.1.6.1 和 3.1.6.2 的规定进行修补，但其厚度减薄应予以特殊考虑。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。

第 2 节 一般强度船体结构用钢

3.2.1 钢材等级

3.2.1.1 本节规定了 A、B、D、E 四个等级的一般强度船体结构用钢。这些规定适用于厚度不超过 100mm 的钢板和宽扁钢以及厚度不超过 50mm 的型钢和棒材。

3.2.2 脱氧与化学成分

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

一般强度船体结构用钢的脱氧方法和化学成分 表 3.2.2.1

钢材等级		A	B	D	E
脱氧方法 (厚度 t，mm)		t≤50，除沸腾钢外任何方法[注1]；t>50，镇静处理	t≤50，除沸腾钢外任何方法；t>50，镇静处理	t≤25，镇静处理；t>25，镇静和细晶处理	镇静和细晶处理
化学成	C[注2]	≤0.21[注3]	≤0.21	≤0.21	≤0.18
	Mn[注2]	≥2.5C	≥0.80[注4]	≥0.60	≥0.70
	Si	≤0.50	≤0.35	≤0.35	≤0.35

分（%）[注7、8、9]	S	≤0.035	≤0.035	≤0.035	≤0.035
	P	≤0.035	≤0.035	≤0.035	≤0.035
	Al (酸溶)	—	—	≥0.015 [注5、6]	≥0.015 [注6]

注 1：经船舶检验机构和订货方同意，对 t≤12.5mm 的 A 级型钢，可采用沸腾钢，但应在材料证书上注明。
注 2：所有等级的钢均应符合：C%+1/6Mn%≤0.40%。
注 3：对于型钢，最大含碳量可为 0.23%。
注 4：当 B 级钢作冲击试验时，其最低含锰量可降低至 0.6%。
注 5：对 t＞25mm 的 D 级钢适用。
注 6：对 t＞25mm 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%；经同意后，也可使用其他细化晶粒元素，但应将其含量提交认可。
注 7：若采用温度一形变控制轧制(TMCP)状态交货，经特别认可后，化学成分可以不同于表中规定。
注 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%。
注 9：在钢材的冶炼过程中添加的任何其它元素，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[注1、2] 厚度 t，mm				
			t≤12.5	12.5<t≤25	25<t≤35	35<t≤50	50<t≤100
A	沸腾钢	型材	A(—)	不适用			
	t≤50mm，除沸腾钢外任何方法；t>50mm，镇静处理	板材	A(—)				N(—)，TM(—) [注3]，CR(50)
		型材	A(—)				不适用
B	t≤50mm，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)
		型材	A(—)	A(50)			不适用
D	镇静处理	板材型材	A(50)	不适用			
	镇静和细晶处理	板材	A(50)	N(50)，CR(50)，TM(50)			N(50)，TM(50)，CR(25)
		型材	A(50)	N(50)，CR(50)，TM(50)			不适用
E	镇静和细晶处理	板材	N(每件)，TM(每件)				
		型材	N(50)，TM(25)				不适用

注 1： 交货状态 A：任意；
N：正火；
CR：控制轧制；
TM(TMCP)：温度－形变控制轧制。
注 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。每一批量应取一组三个夏比 V 型冲击试样。
注 3：如采用 TMCP 状态交货，应经船舶检验机构承认的机构认可。

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表 2.2.2.1 中序号 2 的板状试样；对厚度超过 40mm 者也可采用序号 1(1)项的圆棒形试样，此时试样的轴线应位于钢材 1/4 厚度处；

.2 产品厚度不大于 40mm 时，冲击试样应为近表面试样，即试样边缘距轧制面小于 2mm；当产品厚度超过 40mm 时，试样的轴线应位于 1/4 厚度处。冲击试样的缺口方向应垂直于轧制面。

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 对所交付的每批钢材，如果质量不大于 50t，应从其中最厚的一件钢材上制备一个拉伸试样；当一批钢材的质量大于 50t 时，则应从每 50t 或不足 50t 的余额中的不同单件钢材上各制备一个拉伸试样；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一个拉伸试样；对于型钢，厚度是指切取试验材料部位的厚度；单件钢材是指单个钢锭(或方坯，扁坯)轧制而成的轧件；

.2 冲击试验的取样数量应符合表 3.2.3.1 的规定。

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 MPa	抗拉强度 R_m MPa	伸长率 A_5 不小于 %	夏比 V 型缺口冲击试验钢材						
				试验温度℃	平均冲击功不小于，J					
					厚度 t，mm					
					t≤50		50<t≤70		70<t≤100	
					纵向[注2]	横向[注2]	纵向	横向	纵向	横向
A	235	400～520 [注1]	22	20	—	—	34	24	41	27
B				0	27 [注3]	20 [注3]				
D				-20						
E				-40						

注 1：经船舶检验机构同意后，A 级型钢的抗拉强度的上限可以超出表中所规定的值。

注 2：除订货方要求外，t≤50mm 时冲击试验仅做纵向试验，但钢厂应采取措施保证钢材的横向冲击性能。

注 3：对厚度不大于 25mm 的 B 级钢，经船舶检验机构同意可不做冲击试验。

注 4：厚度大于 50mm 的 A 级钢，如经过细化晶粒处理并正火状态交货，可以不做冲击试验，经船舶检验机构同意，以温度—形变控制轧制状态交货的 A 级钢亦可不做冲击试验。

注 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≤5	5<t≤10	10<t≤15	15<t≤20	20<t≤25	25<t≤30	30<t≤40	40<t≤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、F 四级。本节规定适用于厚度不超过 100mm 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。

3.3.2 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[注5、6]（%）	C	≤0.18	≤0.16
	Mn	0.90~1.60[注1]	0.90~1.60
	Si	≤0.50	≤0.50
	S	≤0.035	≤0.025
	P	≤0.035	≤0.025
	Al（酸液）	>0.015[注2、注3]	≥0.015[注2、3]
	Nb[注4]	0.02~0.05[注3]	0.02~0.05[注3]
	V[注4]	0.05~0.10[注3]	0.05~0.10[注3]
	Ti[注4]	≤0.02	≤0.02
	Cu	≤0.35	≤0.35
	Cr	≤0.20	≤0.20
	Ni	≤0.40	≤0.80
	Mo	≤0.08	≤0.08
	N	—	≤0.009（如含铝时，≤0.012）

注 1：对厚度不大于 12.5mm 的钢材，其锰含量最低可为 0.70%。
注 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%。
注 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。
注 4：铌、钒、钛的含量还应符合：Nb%+V%+Ti%≤0.12%。
注 5：若采用 TMCP 状态交货，化学成分应满足本篇 3.3.2.3 的规定。
注 6：在钢材的冶炼过程中添加的任何其他元素，应在材料证书上注明。

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

$$C_{eq}=\mathrm{C}+\frac{\mathrm{Mn}}{6}+\frac{\mathrm{Cr+Mo+V}}{5}+\frac{\mathrm{Ni+Cu}}{15}\ （\%）\qquad（3.3.2.2）$$

碳当量最大值不应超过协议允许值。

3.3.2.3　对于以温度－形变控制轧制状态交货的钢材，还应符合下列要求：

.1　应根据钢材的熔炼分析化学成分，按本篇 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：

$$P_{CM}=\mathrm{C}+\frac{\mathrm{Si}}{30}+\frac{\mathrm{Mn}}{20}+\frac{\mathrm{Cu}}{20}+\frac{\mathrm{Ni}}{60}+\frac{\mathrm{Cr}}{20}+\frac{\mathrm{Mo}}{15}+\frac{\mathrm{V}}{10}+5\mathrm{B}\ （\%）\qquad（3.3.2.3）$$

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 100mm 的温度—形变控制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[注] C_{eq}（%）	
	厚度 t（mm）	
	t≤50	50<t≤100
AH32，DH32，EH32，FH32	≤0.36	≤0.38
AH36，DH36，EH36，FH36	≤0.38	≤0.40
AH40，DH40，EH40，FH40	≤0.40	≤0.42
注：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	产品形式	交货状态（冲击试验取样批量）[注 1、2]					
			厚度 t(mm)					
			t≤12.5	12.5<t≤20	20<t≤25	25<t≤35	35<t≤50	50<t≤100
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
	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

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)：温度-形变控制轧制；QT：淬火加回火； AR*：经渔检特别认可后，可采用热轧状态交货；CR*：经渔检特别认可后，可采用控制轧制状态交货。 注 2：括号中的数值表示冲击试样的取样批量（单位为 t）。每一批量应取 1 组 3 个夏比 V 型冲击试样。				

3.3.4 力学性能

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

.1 拉伸试样应采用本篇第 2 章表 2.2.2.1 中序号 2 的板状试样，对厚度超过 40mm 者也可采用序号 1 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篇 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 (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	伸长率 A_5 不小于 (%)	夏比 V 型缺口冲击试验[注1]						
				实验温度 (°C)	平均冲击力不小于(J)					
					厚度 t(mm)					
					t≤50		50<t≤70		70<t≤100	
					纵向	横向	纵向	横向	纵向	横向
AH32	315	440~570	22	0	31[注2]	22[注2]	38	26	46	31
DH32				-20						
EH32				-40						
FH32				-60						

AH36	355	490~630	21	0	34 注2	24 注2	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：除订货方或渔检有要求外，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。 注 2：如钢厂能保证冲击试验抽查合格，经渔检同意，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	$t\leq5$	$5<t\leq10$	$10<t\leq15$	$15<t\leq20$	$20<t\leq25$	$25<t\leq30$	$30<t\leq40$	$40<t\leq50$
伸长率 A_5 (%)	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　本节规定适用于厚度不超过 70mm 的焊接结构用高强度淬火回火钢板和宽扁钢。如钢材厚度超过 70mm，应经渔检认可。本节规定亦可适用于型钢或钢管等其它型式的产品。

3.4.1.2　焊接结构用高强度淬火回火钢，按其最小屈服强度划分为 420MPa、460MPa、500MPa、550MPa、620MPa 和 690MPa 六个强度等级。每一强度等级中，又根据韧性的不同而分为 A、D、E 和 F 四个钢级。

3.4.2　脱氧方法和化学成分

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

焊接结构用高强度淬火回火钢的化学成分　　表 3.4.2.1

强度等级 (MPa)	韧性等级	化学成分(%)					
		C	Si	Mn	P	S	N
420~690	A	≤0.21	≤0.55	≤0.17	≤0.035	≤0.035	≤0.020
	D，E	≤0.20	≤0.55	≤0.17	≤0.030	≤0.030	≤0.020
	F	≤0.18	≤0.55	≤0.16	≤0.025	≤0.025	≤0.020
注：用于合金化和细化晶粒的元素应符合公认的有关标准。							

应根据熔炼分析化学成分采用下列公式计算冷裂纹敏感系数 P_{CM}，以衡量钢材的可焊性：

$$P_{CM}=\mathrm{C}+\frac{\mathrm{Si}}{30}+\frac{\mathrm{Mn}}{20}+\frac{\mathrm{Cu}}{20}+\frac{\mathrm{Ni}}{60}+\frac{\mathrm{Cr}}{20}+\frac{\mathrm{Mo}}{15}+\frac{\mathrm{V}}{10}+5\mathrm{B}\quad(\%)\qquad(3.4.2.2)$$

按上述公式计算出的 P_{CM} 值应符合公认的有关标准的要求。

3.4.3 热处理

3.4.3.1 钢材应以淬火加回火状态交货。经船舶检验机构承认的机构认可，厚度不大于 50mm 的钢材也可采用温度—形变控制轧制状态交货。

3.4.4 力学性能

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

3.4.4.2 拉伸试样的轴线应垂直于最终轧制方向，但对型钢和完工宽度不超过 600mm 的轧制扁钢可取纵向试样。对其他形式的产品，渔检可要求沿纵向或横向截取拉伸试样。拉伸试样应采用本篇第 2 章表 2.2.2.1 中矩形截面比例试样，且至少在一个侧面上保留有原轧制面。公称厚度超过 40mm 者，可采用圆形截面比例试样，试样轴线应位于距轧材表面 1/4 厚度处或尽可能靠近这一位置。

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

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

焊接结构用高强度淬火回火钢的力学性能 **表 3.4.4.4**

钢材等级	屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$[注1] 不小于 (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	伸长率[注1] A_5（横向）不小于 (%)	夏比 V 型缺口冲击试验[注2]		
				实验温度 (℃)	平均冲击力不小于(J)	
					纵向	横向
A420	420	530~680	18	0	42	28
D420				-20		
E420				-40		
F420				-60		
A460	460	570~720	17	0	46	31
D460				-20		
E460				-40		
F460				-60		
A500	500	610~770	16	0	50	33
D500				-20		
E500				-40		
F500				-60		
A550	550	670~830	16	0	55	37

D550				-20		
E550				-40		
F550				-60		
A620	620	720~890	15	0	62	41
D620				-20		
E620				-40		
F620				-60		
A690	690	770~940	14	0	69	46
D690				-20		
E690				-40		
F690				-60		

注 1：当拉伸试验时屈服应力 R_{eH} 不明显时，则取非比例延伸强度 $R_{p0.2}$。
对于纵向试样，其伸长率（纵向）应较表中伸长率（横向）高 2%。

注 2：如制厂能保证冲击试验抽查合格，经须经船舶检验机构承认的机构认可，A 级高强度淬火回火钢在验收耐冲击试验的批量可予以放宽。

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

全厚度板状试样的最小伸长率　　表 3.4.4.5

厚度 t (mm)	强度等级	t≤10	10<t≤15	15<t≤20	20<t≤25	25<t≤40	40<t≤50	50<t≤70
伸长率 A_5 (%)	420	11	13	14	15	16	17	18
	460	11	12	13	14	15	16	17
	500	10	11	12	13	14	15	16
	550	10	11	12	13	14	15	16
	620	9	11	12	12	13	14	15
	690	9	10	11	11	12	13	14

第 5 节　锅炉与受压容器用钢

3.5.1　适用范围

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

3.5.1.2　当采用本节规定以外的碳钢、碳锰钢和合金钢时，应提交资料并经船舶检验机构承认的机构认可，对抗拉强度大于 490MPa 但不大于 520MPa 的碳钢和碳锰钢以及抗拉强度不大于 600MPa 的合金钢，可予以认可。

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桶样化学成分应符合表 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	其它元素
360A	镇静	≤0.17	0.10～0.35	0.40～1.20	≤0.04	注 2	—	—	Cr≤0.25 Cu≤0.30 Ni≤0.30 Mo≤0.1. 总量≤0.70
360B	镇静并细化晶粒	≤0.17	0.15～0.35	0.40～1.20	≤0.04	0.015～0.065	—	—	
410A	镇静	≤0.20	0.10～0.35	0.50～1.30	≤0.04	注 2	—	—	
410B	镇静并细化晶粒	≤0.20	0.15～0.35	0.50～1.30	≤0.04	0.015～0.065	—	—	
460A	镇静	≤0.20 注 1	0.10～0.40	0.80～1.40	≤0.04	注 2	—	—	
460B	镇静并细化晶粒	≤0.20 注 1	0.15～0.40	0.80～1.40	≤0.04	0.015～0.065	—	—	
490A	镇静	≤0.20 注 1	0.15～0.50	0.90～1.60	≤0.04	注 2	—	—	
490B	镇静并细化晶粒	≤0.20 注 1	0.15～0.50	0.90～1.60	≤0.04	0.015～0.065	—	—	
1Cr0.5Mo	镇静	0.10～0.18	0.10～0.35	0.40～0.8	≤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	≤0.020	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%。 注 2：钢材可以采用铝脱氧。									

3.5.3 **热处理**

3.5.3.1 锅炉和受压容器用钢，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 360MPa～490MPa 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，当每个轧制件质量不超过 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；当质量大于 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一个拉伸试样和一组三个冲击试样；

.3 对于型钢和棒材，可按批取样提交检验。每批钢材应不超过 50 根，且质量不超过 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一个拉伸试样和 1 组 3 个冲击试样。如果一批的质量超过 10t 时，应从每 10t 或不足 10t 的余额中的不同单件钢材上各切取 1 个拉伸试样和 1 组 3 个冲击试样。

3.5.4.2 试样的取样部位应符合本篇 3.1.4.2 规定，对于矩形空心型材，可在任一边的中心部位取样 (如图 3.5.4.2 所示)；对于环型空心型材，可在圆周任一部位上取样。

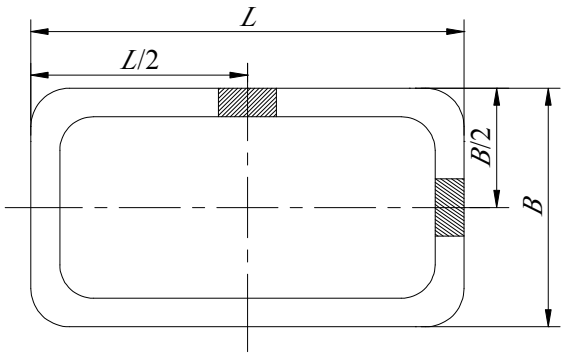


图 3.5.4.2 矩形空心型材取样图

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 MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa			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≤16	16<t≤40	40<t≤60	t≤40	40<t≤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大于或等于 50℃的钢材，应采用高温拉伸试验来测得其高温屈服点 R_{eH}^T 值，高温屈服点 R_{eH}^T 值见表 3.5.5.1。这些数值在锅炉钢板纳入有关标准时或新钢种初始认可时验证，以供设计用，不作为日常验收试验。如果没有这方面资料或使用温度高于表中所列温度，则对每炉钢至少应取一个试样(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)，在设计温度或其它商定的温度下进行试验。

高温屈服点 R_{eH}^T　　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
			屈服点 R_{eH}^T 不小于，MPa											
360	A	t≤16	183	175	172	168	150	124	117	115	113			
		16<t≤40	173	171	169	162	144	124	117	115	113			
		40<t≤60	166	162	158	152	141	124	117	115	113			
	B	t≤16	214	204	185	165	145	127	116	110	106			
		16<t≤40	200	196	183	164	145	127	116	110	106			
		40<t≤60	183	179	172	159	145	127	116	110	106			

410		t≤16	220	211	208	201	180	150	142	138	136			
	A	16<t≤40	204	201	198	191	171	150	142	138	136			
		40<t≤60	196	192	188	181	168	150	142	138	136			
	B	t≤16	248	235	216	194	171	152	141	134	130			
		16<t≤40	235	228	213	192	171	152	141	134	130			
		40<t≤60	222	215	204	188	171	152	141	134	130			
460	A	t≤16	260	248	243	235	210	176	168	162	158			
		16<t≤40	235	230	227	220	198	176	168	162	158			
		40<t≤60	227	222	218	210	194	176	168	162	158			
	B	t≤16	276	262	247	223	198	177	167	158	153			
		16<t≤40	271	260	242	220	198	177	167	158	153			
		40<t≤60	262	251	236	217	198	177	167	158	153			
490	A	t≤16	280	270	264	255	228	192	183	177	172			
		16<t≤40	255	248	245	237	214	192	183	177	172			
		40<t≤60	245	240	236	227	210	192	183	177	172			
	B	t≤16	297	284	265	240	213	192	182	173	168			
		16<t≤40	293	279	260	237	213	192	182	173	168			
		40<t≤60	283	272	256	234	213	192	182	173	168			
1Cr0.5Mo		t≤60	284	270	265	248	236	216	205	199	194	188	181	174
2.25Cr1Mo		t≤60	255	249	241	233	226	219	212	207	194	180	160	137

3.5.5.2　高温下承受负荷的结构所用钢材，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。

高温破断平均应力 $R^T_{m100000}$　　表 3.5.5.2

温度，℃	钢级		温度，℃	钢级	
	360A	460A		1Cr0.5Mo	2.25Cr1Mo
	360B	460B			
	410A	490A			
	410B	490B			
	$R^T_{m100000}$，MPa			$R^T_{m100000}$，MPa	
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　若选用任何等级的一般强度船体结构用钢或高强度船体结构用钢作机械结构用钢时，应符合本章第 2 节或第三节的有关规定。

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篇 3.2.4.2 的规定。

3.6.1.4　对于工作温度高于 50℃的重要机械构件，应将设计温度的力学性能资料提交船舶检验机构承认的机构备查。

第 7 节　　奥氏体不锈钢和双相不锈钢

3.7.1　适用范围

3.7.1.1　本节规定适用于渔船 LNG 液罐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）。

3.7.2　一般要求

3.7.2.1　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。

3.7.2.2　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。

3.7.2.3　奥氏体不锈钢也可供高温条件下使用，但应向船舶检验机构承认的机构提交化学成分、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。

3.7.3　化学成分

3.7.3.1　奥氏体不锈钢的熔炼分析化学成分应符合表 3.7.3.1 的规定。

奥氏体不锈钢的成分　　表 3.7.3.1

钢号	统一数字代号	化学成分（%）									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	其他
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	–
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	–
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

3.7.3.2　双相不锈钢的熔炼分析化学成分应符合表 3.7.3.2 的规定。

双相不锈钢的化学成分　　表 3.7.3.2

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	1.0≤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

3.7.4　**热处理**

3.7.4.1　所有奥氏体不锈钢和双相不锈钢均应以固溶状态交货。

3.7.5　**力学性能**

3.7.5.1　试样按本篇 3.5.4.1 的规定切取。

3.7.5.2　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)。

3.7.5.3　奥氏体不锈钢的力学性能应符合表 3.7.5.3 的规定。

奥氏体不锈钢的力学性能　　表 3.7.5.3

钢号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$[注1] 不小于（MPa）	规定非比例延伸强度 $R_{p1.0}$[注1] 不小于（MPa）	抗拉强度 R_m[注2] 不小于（MPa）	伸长率 A_5 不小于（%）
022Cr19Ni10	175	215	480	40
022Cr19Ni10N	245	285	550	40
022Cr17Ni12Mo2	175	215	480	40
022Cr17Ni12Mo2N	245	285	550	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。 注 2：奥氏体不锈钢的抗拉强度上限应不超过表列值加 200 MPa。				

3.7.5.4　双相不锈钢的力学性能应符合表 3.7.5.4 的规定。

双相不锈钢的力学性能　　表 3.7.5.4

钢号	规定非比例延伸强度 $R_{p0.2}$ 不小于（MPa）	抗拉强度 R_m 不小于（MPa）	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

3.7.6　晶间腐蚀试验

3.7.6.1　当要求进行不锈钢晶间腐蚀试验时，应按本篇 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。

3.7.6.2　晶间腐蚀试验的试样制备和试验应按本篇第 2 章第 6 节的要求进行。

第 4 章　锻钢件

第 1 节　通　则

4.1.1　适用范围

4.1.1.1　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 的规定。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船舶检验机构审核，经同意后，可按船舶检验机构承认的机构认可的有关标准验收。

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

4.1.2　化学成分

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

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

4.1.3　锻制要求

4.1.3.1　所有锻钢件应采用镇静钢锻制。

4.1.3.2　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。

4.1.3.3　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。

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

4.1.3.5　所有锻钢件的心部区域应能达到足够的塑性变形量。对主要呈纵向纤维的锻钢件，其变形比应不小于表 4.1.3.5 的规定。盘形锻钢件(如齿轮)应采用镦粗法锻制，如钢坯经变形比不低于 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变形比低于 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。

锻钢件的变形比　　**表** 4.1.3.5

锻制方法	总变形比[注 1、2]
直接由钢锭锻制或由钢锭锻成的钢坯锻制	$L>D$ 时，3:1；$L\leq D$，1.5:1
由轧制产品锻制[注 3]	$L>D$ 时，4:1；$L\leq D$，2:1
注 1：变形比系指钢锭平均横截面积与锻钢件截面积(毛坯)之比，如果钢锭经过初锻，则可取初锻后的平均横截面面积作为计算变形比的基准。 注 2：L 和 D 系指成品锻钢件的长度和直径。 注 3：作为替代锻钢件的轧制钢棒，其总变形比应不小于 6:1。	

4.1.3.6　环形锻钢件和其它类型的空心锻钢件，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。

4.1.3.7　对使用时要求具有一定的纤维方向的锻钢件，如曲轴，其制造工艺应提交船舶检验机构承认的机构认可。

4.1.4　热处理

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

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

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

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

4.1.4.5　对需要作表面硬化处理的锻钢件应将其工艺规程提交船舶检验机构审核，且制造厂应通过试验证实该锻钢件表面硬化层的硬度和深度确能达到要求的质量而又不致损害锻钢件本体的性能。

4.1.5　试验材料和试验

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

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

4.1.5.3　试样的制备应符合本篇第 2 章和本章各节的有关规定。拉伸和冲击试样的纵轴线应与锻钢件的主轴平行（纵向试样）或相切（切向试样）。

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

4.1.5.5　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，并应征得船舶检验机构的同意。除另有规定外，制造厂可自行决定选用夏比 V 型缺口或 U 型缺口的冲击试样。

4.1.5.6　拉伸试验和冲击试验应符合本篇第 2 章的要求。凡本章中有硬度要求时，应进行硬度试验。

4.1.6　目测和无损检测

4.1.6.1　所有锻钢件应提交船舶检验机构作内、外表面的外观检查。

4.1.6.2　钢坯或锻钢件应按本章各节的有关要求作低倍组织检查，并应符合船舶检验机构承认的机构认可的有关标准。

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

4.1.6.4　锻钢件在完成机加工后，应按本章各节的有关要求进行磁粉或着色检测，检测方法与判定标准应经船舶检验机构承认的机构认可。

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

4.1.6.6　除船舶检验机构同意外，上述无损检测应有验船师在场进行。

4.1.7 缺陷的修整

4.1.7.1 锻钢件表面的轻微缺陷可用批凿或修磨的方法去除，錾凿或修磨的宽度应不小于深度的 3 倍，且边缘处有足够大的过渡圆角。必要时可采用磁粉或着色检测以证实缺陷已被完全清除。

4.1.7.2 锻钢件表面一般不允许用焊补方法修整缺陷。除曲轴锻钢件外，对低应力区域的细小缺陷，经船舶检验机构同意可以焊补，但应将焊补及焊后热处理的详细资料及检查程序提交船舶检验机构审核。

第 2 节 船体结构用锻钢件

4.2.1 适用范围

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

若采用抗拉强度高于本篇 4.2.4.2 规定的碳钢、碳锰钢，或采用合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等提交船舶检验机构审核。

4.2.2 化学成分

4.2.2.1 采用焊接连接和非焊接连接的船体结构用锻钢件，其桶样化学成分应符合表 4.2.2.1 的规定。

船体结构用锻钢件的化学成分 表 4.2.2.1

连接方式	化学成分，%								
	C	Si	Mn	S	P	残余元素			
						Cu	Mo	Cr	Ni
焊接[注3]	≤0.23[注1]	≤0.45	0.30～1.70[注2]	≤0.040	≤0.040	—			
非焊接	≤0.30	≤0.45	0.30～1.50	≤0.040	≤0.040	≤0.30	≤0.15	≤0.30	≤0.40

注 1：从锻钢件上取样时，含碳量应不超过 0.26%。
注 2：焊后不进行热处理时，其含锰量应不小于实际含碳量的三倍。
注 3：残余元素总含量应不超过 0.80%。

4.2.3 热处理

4.2.3.1 锻钢件应采用下列热处理方法:

.1 完全退火；或

.2 正火；或

.3 正火加回火，回火温度应不低于 550℃。

4.2.4 力学性能

4.2.4.1 锻钢件试样的截取方法如下:

.1 应从每个锻钢件的一端截取一个拉伸试样。如由一个钢锭锻制成几个锻钢件并经同一炉热处理者，选其中任一锻钢件，截取一个拉伸试样；

.2 对质量超过 4000kg 且长度超过 3m 的锻钢件，应从其两端各截取一个拉伸试样；

.3 除经船舶检验机构同意外，拉伸试样应沿锻钢件的纵向截取。

4.2.4.2 锻钢件的拉伸试验结果应符合表 4.2.4.2 的规定。对于大型锻钢件，当拉伸试样从锻钢件两端截取时，其两端的抗拉强度差值应不超过 70MPa。

船体结构用锻钢件的力学性能　　表 4.2.4.2

抗拉强度 R_m 不小于，MPa	屈服点 R_{eH} 不小于，MPa	伸长率 A_5 不小于，%	
		纵向	切向
430	215	24	18

4.2.5　无损检测

4.2.5.1　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

4.3.1　适用范围

4.3.1.1　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、第 5 节范围内的机械用锻钢件。对用作主推进机械的轴系锻钢件，其抗拉强度范围应为 400MPa～600MPa。

4.3.1.2　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船舶检验机构审核并应符合下列规定:

.1　用作主推进轴时，其抗拉强度一般应不超过 800MPa；

.2　用作其他机械锻钢件时，其抗拉强度一般应不超过 1100MPa。

4.3.2　化学成分

4.3.2.1　锻钢件的熔炼分析化学成分应符合表 4.3.2.1 的规定。

轴系与机械用锻钢件的化学成分　　表 4.3.2.1

钢种	化学成分，%									
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Ni	Cu 注 2	残余元素总量
碳钢和碳锰钢	≤0.65 注 1	≤0.45	0.30～1.50	≤0.035	≤0.035	≤0.30 注 2	≤0.15 注 2	≤0.40 注 2	≤0.30	≤0.85
合金钢 注 3	≤0.45	≤0.45	0.30～1.00	≤0.035	≤0.035	≥0.40 注 4	≥0.15 注 4	≥0.40 注 4	≤0.30	——

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

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (\%) \qquad (4.3.2.1)$$

注 2：除有最少量限制外，这些元素作为残余元素考虑。

注 3：用于焊接结构的合金钢锻件，化学成分应提交船检或船检认可的机构认可。

注 4：这些元素的一项或多项应符合最低要求。

4.3.3　热处理

4.3.3.1　碳钢和碳锰钢锻钢件应采用下列热处理方法:

.1　完全退火；或

.2　正火；或

.3　正火加回火；或

.4　淬火加回火。

其中回火的温度应不低于 550℃。对抗拉强度大于 700MPa 的锻钢件，应作淬火加回火处理。

4.3.3.2　合金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。

4.3.4　试样和试验

4.3.4.1　每一锻钢件至少应在其一端(即相当于钢锭的冒口端)留有制备各种试验的试件一套；对于由一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，应至少选取其中一个锻钢件作为试件。

4.3.4.2　对于质量超过 4000kg 且长度超过 3m 的锻钢件，应在其两端各取试件一个。

4.3.4.3　各种锻钢件的试验项目和试样数量应符合表 4.3.4.3 的要求。

轴系与机械用锻钢件的试验项目和试样数量　　表 4.3.4.3

锻钢件名称	试验项目和试样数量	
	碳钢和碳锰钢	合金钢
中间轴、推力轴、尾管轴、螺旋桨轴、连杆、活塞杆、十字头、增压器转子、轴类锻钢件、柴油机气缸头螺栓、贯穿螺栓、主轴承螺栓、轴系法兰螺栓、连杆上下端螺栓、凸轮轴、进排气阀、轴系传动机械的重要锻钢件。	1、化学成分分析； 2、拉伸试验，应至少取一个试样。	1、化学成分分析； 2、拉伸试验，应至少取一个试样； 3、冲击试验，应至少取一组三个试样。

4.3.4.4　试件一般应沿锻钢件纵向截取，但经同意也可按图 4.3.4.4(1)、(2)和(3)所示的部位选取所需的试样。

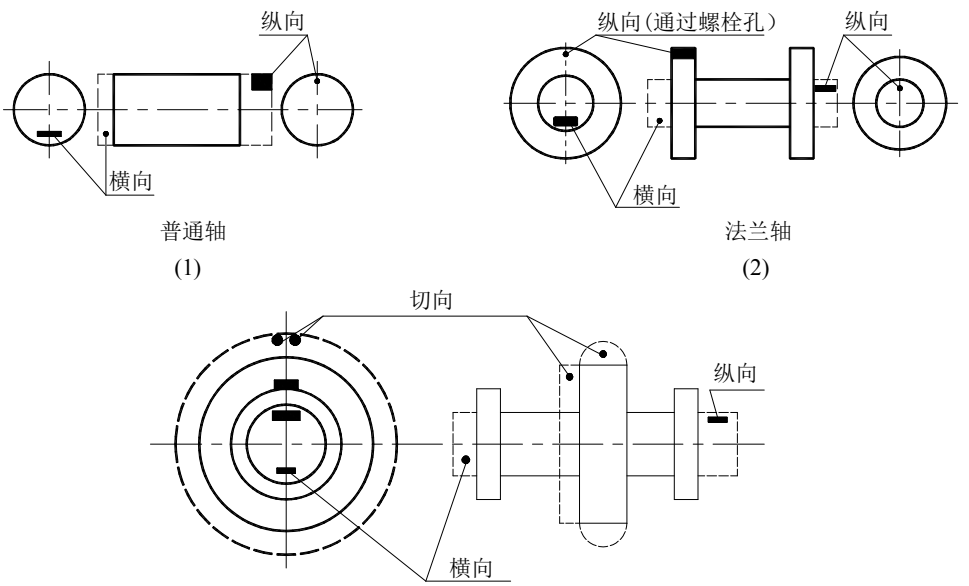


图 4.3.4.4

4.3.4.4　锻钢件试件截取图

4.3.5 **力学性能**

4.3.5.1 碳钢和碳锰钢铸钢件的力学性能应符合表 4.3.5.1 的规定。

4.3.5.2 合金钢锻钢件经正火加回火或淬火加回火处理后的力学性能应符合本篇表 4.4.6.2 的规定。

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

抗拉强度<600MPa 者，允许相差不超过 70MPa；

抗拉强度≥600MPa 者，允许相差不超过 100MPa。

轴系与机械用碳钢和碳锰钢锻钢件的力学性能 表 4.3.5.1

抗拉强度 R_m 不小于[注2]，MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于[注1]，MPa	伸长率 A_5 不小于，%			硬度[注3] HB
		纵向	切向	横向	
360	180	28	23	20	95～125
400	200	26	22	19	110～150
440	220	24	21	18	125～160
480	240	22	19	16	135～175
520	260	21	18	15	150～185
560	280	20	17	14	160～200
600	300	18	15	13	175～215
640	320	17	14	12	185～230
680	340	16	14	12	200～240
720	360	15	13	11	210～250
760	380	14	12	10	225～265

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

注 2：抗拉强度<600MPa 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 120MPa；抗拉强度≥600MPa 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 150MPa。

注 3：硬度值仅作参考用。

4.3.6 **无损检测**

4.3.6.1 下列锻钢件应按本篇 4.1.6 的规定进行磁粉检测：

.1 所有连杆用的锻钢件；

.2 缸径超过 400mm 的柴油机的下述部件：

气缸盖；活塞顶；活塞杆；

贯穿螺栓；凸轮轴的驱动齿轮；

气缸盖、十字头、主轴承及连杆轴承用的螺栓和螺柱。

4.3.6.2 下列锻钢件应按本篇 4.1.6 的规定进行超声波检测:

.1 成品直径等于或大于 250mm 的尾管轴、螺旋桨轴、推力轴、中间轴和其他重要用途的轴；

.2 所有活塞顶和气缸盖；

.3 柴油机缸径大于 400mm 的活塞和连杆。

4.3.6.3 其余锻钢件可按审批的图纸的要求，进行无损检测。

第 4 节 曲轴锻钢件

4.4.1 **适用范围**

4.4.1.1　本节规定适用于碳钢和碳锰钢制造的整体曲轴以及全组合或半组合式的曲轴锻钢件。

4.4.1.2　曲轴锻钢件若采用合金钢，应将其化学成分、力学性能和热处理规程提交船舶检验机构承认。其抗拉强度应不超过 1000MPa。

4.4.2　制造

4.4.2.1　整体曲轴可采用模锻或其他可以保证曲轴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船舶检验机构审核。必要时，制造厂还应提交锻造后的曲轴的试验报告，以证实该锻钢件纤维组织的连续性是否良好。

4.4.2.2　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，应提交验船部审核。

4.4.2.3　如曲柄臂采用热切割从锻制或轧制的扁坯上切割而成时，应符合本篇 4.1.4.3 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。

4.4.3　化学成分

4.4.3.1　曲轴锻钢件的熔炼化学成分应符合本篇表 4.3.2.1 的规定。

4.4.4　热处理

4.4.4.1　锻钢曲轴应采用下列之一的热处理方法:

.1　正火加回火；

.2　淬火加回火。

其中，回火温度应不低于 550℃。

4.4.4.2　锻钢曲轴若采用渗碳、渗氮或高频淬火等方法进行表面硬化处理时，应符合本篇 4.1.4.5 的规定。

4.4.5　试样和试验

4.4.5.1　锻钢曲轴的每个锻钢件均应进行下列的试验:

.1　拉伸试验；

.2　冲击试验；

.3　硬度试验；

.4　低倍组织检查(仅适用于由钢锭直接锻制的且直径不大于 250mm 的锻钢件)。

4.4.5.2　曲轴锻钢件的试样数量应符合下列规定：

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

若曲柄采用机加工或热切割的方法成型时，其第二套试样应从距联轴器端最远的一个曲柄上所切割下来的材料中沿横向截取，如图 4.4.5.2.1 所示；

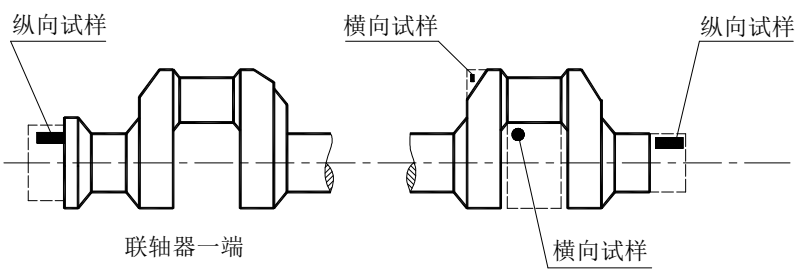


图 4.4.5.2.1　曲轴锻钢件试样截取图

.2　组合式曲轴的试样数量和取样部位应按船舶检验机构承认的机构认可的方法选取；

.3 一套试样应包括:

碳钢和碳锰钢曲轴锻钢件取 1 个拉伸试样;

合金钢曲轴锻钢件取一个拉伸试样和 1 组 3 个冲击试样。

4.4.6 力学性能

4.4.6.1 碳钢和碳锰钢的曲轴锻钢件，其拉伸试验的结果应符合本篇表 4.3.5.1 的规定。

4.4.6.2 合金钢曲轴锻钢件的力学性能应符合表 4.4.6.2 的规定。

合金钢曲轴锻钢件的力学性能 表 4.4.6.2

抗拉强度 R_m 不小于, MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于, MPa		伸长率 A_5 不小于, %			夏比 V 型缺口试验平均冲击功不小于，J						夏比 U 型缺口试验平均冲击功不小于，J						硬 度 HB
						正火加回火			淬火加回火			正火加回火			淬火加回火			
	正火加回火	淬火加回火	纵向	切向	横向	纵向	切向	横向	纵向	切向	横向	纵向	切向	横向	纵向	切向	横向	
600	330	420	18	16	14	25	20	15	41	31	24	25	22	17	35	29	24	175～215
650	355	450	17	15	13	25	15	13	32	24	22	22	17	15	30	24	23	190～235
700	380	480	16	14	12	20	15	12	32	24	22	22	17	15	30	24	23	205～245
750	405	530	15	13	11	18	14	11	32	24	20	20	16	14	30	24	22	215～260
800	430	590	14	12	10	15	12	9	32	24	20	17	15	12	30	24	22	235～275
850	455	640	13	11	9	15	12	9	27	22	18	17	15	12	26	23	20	245～290
900	—	690	13	11	9	—	—	—	27	22	18	—	—	—	26	23	20	260～310
950	—	750	12	10	8	—	—	—	25	19	16	—	—	—	25	21	18	275～330
1000	—	810	12	10	8	—	—	—	25	19	16	—	—	—	25	21	18	290～340
1050	—	870	11	9	7	—	—	—	21	15	13	—	—	—	23	17	15	310～365

注 1：取样方向应按本章各节图示所规定的方向。

注 2：对于抗拉强度的中间值，其所对应的 R_{eH} 、 A_5 和平均冲击功的最小值均可用内插法求得。

注 3：对抗拉强度<900MPa 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 150MPa；对抗拉强度≥900MPa 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均为 200MPa;

注 4：冲击试验在室温(18℃～25℃)下进行。平均冲击功仅适用于直径≤250mm 的锻钢件，对于直径更大的锻钢件，其平均冲击功应符合船舶检验机构承认的机构认可的其它标准。

4.4.6.3 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 4.4.6.3 的规定。

抗拉强度允许差值 表 4.4.6.3

抗拉强度 R_m，MPa	抗拉强度允许差值≤，MPa
≥600 而<900	100
≥900	120

4.4.6.4 对按批试验的小型曲轴锻钢件，每个锻钢件应进行硬度试验，且硬度值应不低于本篇表 4.3.5.1 和表 4.4.6.2 中的规定值。

4.4.7 无损检测

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

.1 对整体曲轴，应注意曲柄销和主轴颈与曲柄臂相连的圆角半径处;

.2 对半组合曲轴，应注意曲柄销以及曲柄销和曲柄臂相连的圆角半径处。

4.4.7.2 应对所有曲轴锻钢件进行超声波检测。

第 5 节　　齿轮用锻钢件

4.5.1　适用范围

4.5.1.1　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。其它较小功率的齿轮传动装置，可参照执行。

4.5.1.2　碳钢和碳锰钢锻造齿轮，其抗拉强度应不小于 400MPa，且应不超过 760MPa。凡抗拉强度超过 760MPa 的齿轮、齿圈和齿轮套锻钢件，均应采用合金钢锻造，并应将有关技术资料提交船舶检验机构审核。

4.5.1.3　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。

4.5.2　制造

4.5.2.1　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。

4.5.3　化学成分

4.5.3.1　碳钢和碳锰钢齿轮锻钢件的桶样化学成分应符合本篇 4.3.2.1 的规定。

4.5.4　热处理

4.5.4.1　除本篇 4.5.4.2 至 4.5.4.5 的规定外，齿轮锻钢件应采用下列之一的热处理方法:

.1　正火加回火；

.2　淬火加回火。

其中，回火温度应不低于 550℃。

4.5.4.2　碳钢和碳锰钢锻钢件的抗拉强度大于 700MPa 时，只允许作淬火加回火处理。

4.5.4.3　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船舶检验机构审核。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，而不损害本体的质量。

4.5.4.4　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，并为其以后的齿面硬化处理作好准备。

4.5.4.5　需要在最后机加工完毕后进行渗碳的齿轮锻钢件，应先作完全退火或正火加回火的热处理。

4.5.5　试样

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

.1　成品齿轮直径超过 200mm 的小齿轮锻钢件，应靠近齿部截取切向试样，如图 4.5.5.1.1 中部位 B 所示。若受尺寸限制无法在部位 B 取样时，则应按图中部位 C 所示，在轴颈末端截取横向试样;

当该轴颈直径不超过 200mm 时，应在图中部位 A 截取纵向试样；

当有齿部分的成品长度超过 1.25m 时，应从锻钢件的两端截取试样；

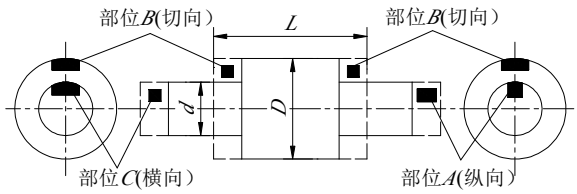


图 4.5.5.1.1 齿轮锻钢件试样截取

.2 成品齿轮直径不超过 200mm 的小齿轮锻钢件，可按图 4.5.5.1.1 在部位 A 截取纵向试样；

.3 大齿轮锻钢件的取样部位，应按图 4.5.5.1.3 所示，在任一 B 部位截取切向试样；

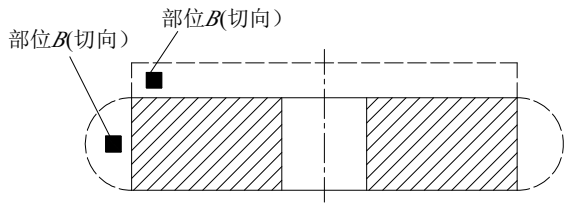


图 4.5.5.1.3 大齿轮锻钢件试样截取

.4 大齿圈的取样部位，应按图 4.5.5.1.4 所示，在任一 B 部位截取周向试样(相当于切向试样)，当成品大齿圈直径超过 2.5m 或质量(热处理状态，不包括试验材料)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 4.5.5.1.4 中部位 B 所示；

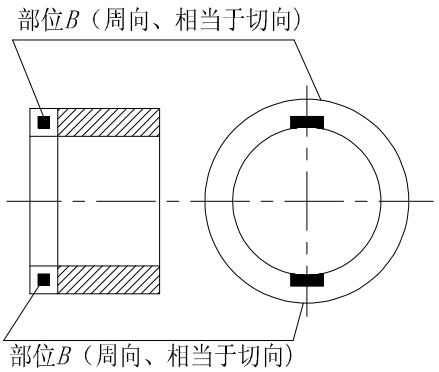


图 4.5.5.1.4 大齿圈锻钢件试样截取

.5 小齿套锻钢件的取样部位，应按图 4.5.5.1.5 所示，在任一 C 部位截取横向或切向试样，当小齿套成品长度超过 1.25m 时，试样应从两端截取。

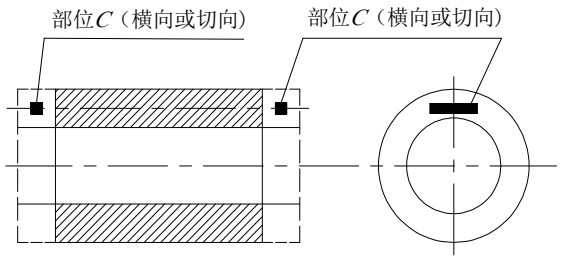


图 4.5.5.1.5 小齿套锻钢件试样截取

4.5.5.2 对于渗碳处理的锻钢件和随后端部将被封闭的铸钢件，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。

4.5.5.3 对渗碳处理的锻钢件，应在 4.5.5.1 规定的一个位置（不必考虑锻钢件的重量和尺寸）截取两个

试件，一个试件用于模拟随后进行的热处理工艺进行伪渗碳和热处理，另一个试件则随锻件一起进行伪渗碳和热处理。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。此外还取一个直径约 30mm 的式样与工件一起进行渗碳处理，以测定淬硬层的深度。锻件制造厂或齿轮制造厂可决定大截面式样是否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。

4.5.6 力学性能

4.5.6.1 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篇表 4.3.5.1 和表 4.4.6.2 的规定。

4.5.6.2 如一个锻钢件作 2 次或 2 次以上的拉伸试验，其抗拉强度的允许差值应符合表 4.5.6.2 的规定。

抗拉强度允许差值 **表** 4.5.6.2

抗拉强度 R_m，MPa	抗拉强度允许差值≤，MPa
R_m<600	70
600≤ R_m<900	100
R_m≥900	120

4.5.6.3 经同意，小齿轮锻钢件可按本篇 4.1.5.2 规定进行批量试验。但每一锻钢件应进行硬度试验。

4.5.7 表面硬化处理

4.5.7.1 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 800MPa。

渗碳的齿轮锻钢件，应将其渗碳工艺规程，试样的制取以及试验规程等详细资料提交船舶检验机构审核。其抗拉强度应不低于 750MPa，而且拉伸和冲击试验的结果均应符合表 4.4.6.2 中对淬火加回火合金钢锻件的规定，但表中最低屈服点和最高抗拉强度不适用。

4.5.7.2 所有齿轮锻钢件均应在热处理后和齿加工前进行硬度试验，并在拟作齿加工的圆周表面上的四个等分点上进行硬度测定，若加工后的齿轮直径超过 2.5m，则应在锻钢件的两端八个等分点上进行硬度测定。

4.5.7.3 所有硬度试验的结果应符合本篇表 4.3.5.1 和表 4.4.6.2 的规定。任一齿轮锻钢件经硬度试验后，所测得的最高和最低硬度的差值应符合表 4.5.7.3 的规定。

硬度允许差值 **表** 4.5.7.3

抗拉强度 R_m，MPa	硬度允许差值不大于，HB
R_m<600	25
600≤ R_m<900	35
R_m≥900	42

4.5.7.4 渗氮和高频淬火的锻钢件还应在表面硬化和机加工完成后对齿轮进行硬度试验，试验的方法和结果应符合船舶检验机构承认的机构认可的有关标准。

4.5.7.5 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。

4.5.8 无损检测

4.5.8.1 所有齿轮锻钢件包括经氮化、渗碳或高频淬火进行表面硬化处理的齿轮锻钢件，均应进行磁粉

检测或着色检验，检测的结果应符合公认的有关标准。

4.5.8.2　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标准。

4.5.8.3　若有必要，船舶检验机构可要求进行硬化层深度的测定。

第 6 节　　锅炉、受压容器与管系用锻钢件

4.6.1　适用范围

4.6.1.1　本节规定适用于制造锅炉、受压容器和受压管系的碳钢、碳锰钢和低合金钢的锻钢件。若采用本节规定以外的碳钢、碳锰钢或合金钢时，应将详细技术资料提交船舶检验机构承认。

4.6.1.2　若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船舶检验机构承认的机构认可。

4.6.2　化学成分

4.6.2.1　碳钢、碳锰钢和低合金钢锻钢件的桶样化学成分应符合表 4.6.2.1 的规定。

锅炉、受压容器与管系用锻钢件的化学成分　　表 4.6.2.1

钢种	抗拉强度 R_m	化学成分，%							
	不小于，MPa	C	Si	Mn	S	P	Al	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	注 1	Ni≤0.40，Cu≤0.30 Mo≤0.10，Cr≤0.25 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	0.10～0.40	0.40～0.70	≤0.04	≤0.04	≤0.02 注 2	Cr	Mo
								0.85～1.15	0.45～0.65
2.25Cr1Mo	490	≤0.15	0.10～0.40	0.40～0.70	≤0.04	≤0.04	≤0.02 注 2	2.0～2.50	0.90～1.20
注 1：细化晶粒钢的酸溶铝含量应≥0.015%，或总铝含量≥0.018%。 注 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。									

4.6.3　热处理

4.6.3.1　碳钢和碳锰钢锻钢件应采取下列热处理办法:

.1　正火；或

.2　正火加回火；或

.3　淬火加回火。

4.6.3.2　合金钢锻钢件应采用下列热处理方法:

.1　正火加回火；或

.2　淬火加回火。

4.6.4　试样

4.6.4.1　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，每个锻钢件至少取一个拉伸试样。除锻钢件的尺度和形状受限制外，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　单件质量不超过 1t，每批质量不超过 10t 的小型锻钢件，可按本篇 4.1.5.2 的规定进行批量试验，但应逐个进行锻钢件硬度试验；

.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。

4.6.5　力学性能

4.6.5.1　碳钢、碳锰钢和合金钢的锻钢件的力学性能应符合表 4.6.5.1 的规定。

4.6.5.2　拟用于温度高于 200℃的锻钢件，应做高温拉伸试验，试样应取自与常温试验所取试件相邻的材料。试验程序和结果应符合公认的有关标准。

4.6.6　无损检测

4.6.6.1　对锻造的筒体和联箱铸钢件，应进行超声波检测；对盆形端部的筒体和鼓筒锻钢件应在其盆形端部进行磁粉检测或着色检测。

4.6.6.2　对壁厚小于 100mm 的锻钢件，可不要求进行上述检测。

4.6.7　压力试验

4.6.7.1　空心锻钢件应作压力试验。

锅炉、受压容器与管系用锻钢件的力学性能　　表 4.6.5.1

钢种	直径或等效厚度 t，mm	抗拉强度 R_m 不小于，MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa	伸长率 A_5 不小于，%	硬度 HB
碳钢和碳锰钢	t≤63	410	215	20	110～115
	63<i≤250		205		
	t≤63	460	245	18	130～170
	63<t≤250		235		
	t≤63	490	265	16	140～180
	63<t≤250		255		
细晶粒碳钢和碳锰钢	t≤63	410	235	20	110～155
	63<t≤250		220		
	t≤63	460	275	18	130～170
	63<t≤250		255		
	t≤63	490	305	16	140～180
	63<t≤250		280		
1Cr0.5Mo	t≤100	410	255	18	110～160
2.25Cr1Mo	t≤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。

注 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 120MPa；合金钢的抗拉强度范围均为 150MPa。

注 3：取自锻钢件两端的拉伸试样，其抗拉强度的差值应不超过 70MPa。

注 4：仅对按批试验的小型锻钢件有硬度试验的要求。

第 5 章　　铸钢件

第 1 节　　通　　则

5.1.1　适用范围

5.1.1.1　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。

5.1.1.2　采用本章规定以外的碳钢、碳锰钢或合金钢时，其化学成分、热处理规程和力学性能应经船舶检验机构同意。

5.1.2　制造加工

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

5.1.2.2　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船舶检验机构审核。必要时，应进行焊接工艺试验。

5.1.3　质量

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

5.1.3.2　铸钢件应按批准图纸的要求，加工到规定的表面粗糙度。

5.1.3.3　铸钢件表面不可进行敲打和锤击，也不可以任何方式来掩盖其表面缺陷。

5.1.4　化学成分

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

5.1.4.2　铸造厂选用的细化晶粒元素及其含量，应在化学成分报告中说明。

5.1.5　热处理

5.1.5.1　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。

5.1.5.2　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。

5.1.6　试样

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

5.1.6.2　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。

5.1.6.3　提交批量检验的小型铸钢件，其试件可单独浇铸，但应与其所代表的铸钢件一起作热处理，并标上其所代表的批量的标记。

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

5.1.7　力学性能

5.1.7.1　铸钢件的力学性能应符合本章各节的有关要求。

5.1.8 **目测和无损检测**

5.1.8.1 检验前，铸钢件表面应采用酸洗、局部打磨、喷丸、喷砂、钢丝刷清理等方法处理。不宜采用锤击等可能掩盖缺陷的方法清理铸件表面。

5.1.8.2 所有铸钢件均应提交船舶检验机构进行目检，在可能的情况下，应包括对内表面的检验。

5.1.8.3 经精加工的铸钢件表面按本章各节规定进行磁粉检测，检测部位应符合下列规定:

.1 经批准的图纸上所指明的部位；

.2 所有填角和截面突变处；

.3 用气割或碳弧气刨加工过的部位；

.4 组装时焊接过的部位；

.5 在使用中有可能承受高应力的区域。

上述检测不可采用干粉法进行磁粉检测，且一般应在验船师在场时进行。

5.1.8.4 对铸钢件的下列部位应进行超声波检测:

.1 图纸上所指明的部位；

.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。

检测结果应符合经批准的图纸要求或公认的有关标准要求。

5.1.8.5 铸钢件的 X 射线检测，可按本篇 5.1.8.4 规定的部位进行。X 射线检测的技术细节、全部射线照片以及验收标准，均应提交船舶检验机构审核。

5.1.9 **压力试验**

5.1.9.1 当有要求时，铸钢件还应在验船师在场的情况下进行压力试验。

5.1.10 **缺陷的修补**

5.1.10.1 铸钢件如有影响验收的缺陷，应采用下列方法之一予以去除:

.1 机加工；

.2 批凿；

.3 打磨；

.4 气割或碳弧气刨。

5.1.10.2 铸钢件缺陷铲除后，应进行无损检测以证实缺陷已被完全消除。如铲除缺陷所产生的浅槽或凹坑，对铸钢件的使用无不良影响，可将其打磨成光滑的圆弧表面，但应经船舶检验机构检查和验收。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。

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

5.1.10.4 凡拟采用焊补方法对铸钢件的缺陷进行修补时，应将所探明缺陷的数量、大小和部位的草图以及焊补工艺规程，提交船舶检验机构审核。

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

5.1.10.6 铸钢件缺陷的焊补应采用经认可的低氢型焊接材料，其焊缝的熔敷金属应具有不低于铸钢件母材的力学性能。焊补之前，应进行焊接工艺认可试验，以证明所采用的焊接工艺能保证预期的焊接性能。

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

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

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

5.1.10.10　铸钢曲轴缺陷的焊补，应符合本章第 4 节的规定。

第 2 节　船体结构用铸钢件

5.2.1　适用范围

5.2.1.1　本节规定适用于建造船体结构用的碳钢或碳锰钢铸钢件。如采用比本篇 5.2.4.2 所述抗拉强度更高的碳钢或碳锰钢，或采用合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等提交船舶检验机构承认的机构认可。

5.2.2　化学成分

5.2.2.1　铸钢件的桶样化学成分应符合表 5.2.2.1 的规定。

船体结构用铸钢件的桶样化学成分　　表 5.2.2.1

化学成分，%								
C	Si	Mn 注 1	P	S	残余元素注 2			
					Ni	Cr	Mo	Cu
≤0.23	≤0.60	≤1.60	≤0.04	≤0.04	≤0.40	≤0.30	≤0.15	≤0.30

注 1：锰的含量应不宜小于实际含碳量的 3 倍。

注 2：残余元素的总含量应不大于 0.80%。

注 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。

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (\%) \qquad (5.2.2.1)$$

5.2.3　热处理

5.2.3.1　铸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，回火温度应不低于 550℃。

5.2.4　力学性能

5.2.4.1　铸钢件试样的制备规定如下:

.1　铸钢件的拉伸试样应以与铸钢件同炉的钢水铸成，可以从铸钢件本体上截取或与铸钢件附带一起浇铸。一起浇铸时，试样与铸钢件本体之间应有明显的间隔；

.2　每一铸钢件或每批铸钢件应至少制备 1 个拉伸试样；

.3　当铸钢件的质量超过 10t 或形状复杂时，应制备 2 个拉伸试样。若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拉伸试件。并且这些试件在整个铸件中的位置应尽可能地互相远离。

5.2.4.2　铸钢件的力学性能应符合表 5.2.4.2 的规定。

船体结构用铸钢件的力学性能　　表 5.2.4.2

抗拉强度 R_m 不小于，MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa	伸长率 A_5 不小于，%	断面收缩率 Z 不小于，%
400	200	25	40

5.2.5　无损检测

5.2.5.1　凡用作尾柱、舵和螺旋桨轴架的铸钢件均应做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要求进行。

第 3 节　　机械结构用铸钢件

5.3.1　适用范围

5.3.1.1　本节规定适用于机械结构用碳钢或碳锰钢铸钢件。若用含碳量高于本篇表 5.3.2.1 规定的碳钢或碳锰钢，或采用合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交船舶检验机构承认的机构审核。

5.3.2　化学成分

5.3.2.1　铸钢件的桶样化学成分应符合表 5.3.2.1 的规定。

机械结构用铸钢件桶样化学成分　　表 5.3.2.1

应用	化学成分，%								
	C	Mn	Si	P	S	残余元素[注]			
						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
注：残余元素的总含量应不大于 0.80%。									

5.3.2.2　当 2 个或以上的铸钢件，以焊接方式连接成整体时，其含碳量应不超过 0.23%，并应具有良好的可焊性。若使用更高含碳量的碳钢、碳锰钢或合金钢的焊接结构，应经船舶检验机构承认的机构特批。

5.3.3　热处理

5.3.3.1　铸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，回火温度应不低于 550℃。

5.3.3.2　主机底座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，均应按之一的方法规定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。

5.3.4　力学性能

5.3.4.1　每一铸钢件或同炉浇铸的每批铸钢件至少应截取 1 个拉伸试样。

5.3.4.2　如铸钢件形状复杂或质量超过 10t，则应制备 2 个拉伸试样。当采用 2 炉或以上的钢水浇铸成一个大型铸钢件，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拉伸试样。这些试验材料均应与铸钢件铸成一体，且彼此之间应尽量远离。

5.3.4.3　碳钢和碳锰钢铸钢件的力学性能应符合表 5.3.4.3 的规定。

机械结构用铸钢件的力学性能　　表 5.3.4.3

抗拉强度 R_m 不小于[注2]，MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于[注1]，MPa	伸长率 A_5 [注1] 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，其对应的 R_m、A_5、Z 的最小值，均可用内插法求得。 注 2：表中各强度级铸钢的抗拉强度范围均为 150MPa。			

5.3.5　**无损检测**

5.3.5.1　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，均应做磁粉检测和超声波检测；

.2　在批准图纸上有所规定或船舶检验机构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

5.4.1　**适用范围**

5.4.1.1　本节规定适用于半组合和全组合式的碳钢和碳锰钢曲轴铸钢件。如拟采用高于本节规定含碳量的碳钢或采用合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交船舶检验机构承认的机构审核。对合金钢，其抗拉强度应不大于 700MPa。

5.4.2　**制造**

5.4.2.1　半组合式曲轴铸钢件的铸造方法应提交船舶检验机构审核。制造厂应进行必要的工艺认可试验，以验证拟采用的铸造方法是否能保证铸钢件的质量以及铸钢件重要部位符合要求。

5.4.3　**化学成分**

5.4.3.1　曲轴铸钢件的熔炼化学成分应符合本篇表 5.3.2.1 的规定。

5.4.4　**热处理**

5.4.4.1　曲轴铸钢件应按下列规定之一进行热处理；

.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。

5.4.5　**力学性能**

5.4.5.1　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船舶检验机构承认的机构审核。

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

5.4.5.3　碳钢和碳锰钢曲轴铸钢件的力学性能应符合表 5.4.5.3 的规定。

曲轴铸钢件的力学性能　　表 5.4.5.3

抗拉强度 R_m 不小于[注2]，MPa	屈服强度 R_{eH}[注1] 不小于，MPa	伸长率 A_5[注1] 不小于，%	断面收缩率 Z[注1] 不小于，%	夏比 V 型缺口冲击试验平均冲击功不小于，J	夏比 U 型缺口冲击试验平均冲击功不小于，J
400	200	28	45	32	30
440	220	26	45	28	27
480	240	24	40	25	25
520	260	22	40	20	22
550	275	20	35	18	20
注 1：抗拉强度为中间值时，其对应的 R_m、A_5、Z 和平均冲击功的最小值，均可用内插法求得。 注 2：表中各强度级铸钢的抗拉强度范围均为 120MPa。 注 3：冲击试验的温度为室温(18℃～25℃)。除另有规定外，可由制造厂任选 V 型或 U 型缺口冲击试样。					

5.4.6　**无损检测**

5.4.6.1　每个曲轴铸钢件均应进行超声波检测。

5.4.6.2　曲轴铸钢件的所有表面均应进行磁粉检测。

5.4.7　**缺陷的修补**

5.4.7.1　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。

5.4.7.2　一般仅允许对偶然和意外出现的表面缺陷进行焊补，但事先应经船舶检验机构同意。

5.4.7.3　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：

$$C_{eq}=\mathrm{C}+\frac{\mathrm{Mn}}{6}+\frac{\mathrm{Cr+Mo+V}}{5}+\frac{\mathrm{Ni+Cu}}{15}\quad\%\qquad(5.4.7.3.4)$$

5.4.7.4　若确有必要，经船舶检验机构承认的机构同意，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：

.1.1 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 5.4.7.4.1-1 和 5.4.7.4.1-2 所示；

.1.2　对全组合和半组合曲轴，如图 5.4.7.4.1-1 和 5.4.7.4.1-2 所示，标有交叉阴影线的部位不能进行焊补；

.1.3　如不影响曲臂的强度，且在重力平衡的范围之内，焊补范围可适当放宽。

.2　对曲臂套合孔内的表面：

.2.1　各焊补区域的间距应不小于 125mm；

.2.2　如图 5.4.7.4.1-1 和 5.4.7.4.1-2 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；

.2.3　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三处。

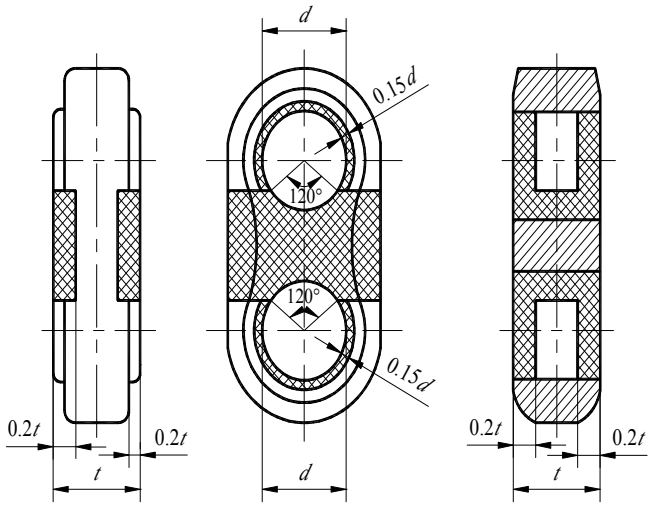


图 5.4.7.4(1)

图 5.4.7.4.1-1　全组合曲轴不能进行焊补部位

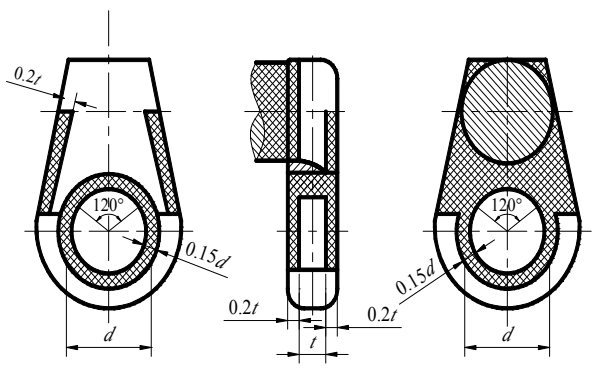


图 5.4.7.4(2)

图 5.4.7.4.1-2　半组合曲轴不能进行焊补部位

5.4.7.5　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。

5.4.7.6　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。

5.4.7.7　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。

5.4.8　焊后热处理及检查

5.4.8.1　焊补完毕， 曲轴铸钢件应进行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点，可允许再次补焊，但随后应进行不低于 550℃的焊后处理。

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

第 5 节 锅炉、受压容器与管系用铸钢件

5.5.1 适用范围

5.5.1.1 本节规定适用于锅炉、受压容器和管系用的碳钢或合金钢铸钢件。若采用抗拉强度大于 490MPa 而小于 520MPa 的碳钢和碳锰钢或采用本节规定范围之外的合金钢时，应将其化学成分、力学性能和热处理规程等资料提交船舶检验机构承认的机构审核。

5.5.2 化学成分

5.5.2.1 铸钢件的桶样化学成分应符合表 5.5.2.1 的规定。

锅炉、受压容器与管系用铸钢件的桶样化学成分 表 5.5.2.1

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	≤0.40	≤0.40	≤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	≤0.40	≤0.40	—	0.35～0.65	—	≤0.25	≤0.30	≤0.40
1Cr0.5Mo	≤0.23	≤0.60	0.50～0.80	≤0.40	≤0.40	1.0～1.50	0.45～0.65	—	—	≤0.30	≤0.40
2.25Cr1Mo	≤0.20	≤0.60	0.40～0.80	≤0.40	≤0.40	2.0～2.75	0.90～0.20	—	—	≤0.30	≤0.40
0.5Cr0.5Mo0.25v	≤0.20	≤0.45	0.40～0.80	≤0.40	≤0.40	0.30～0.50	0.40～0.60	0.20～0.30	—	≤0.30	≤0.40

5.5.3 热处理

5.5.3.1 铸钢件应进行下列之一的热处理:

.1 完全退火；

.2 正火；

.3 正火加回火；

.4 淬火加回火。

5.5.4 力学性能

5.5.4.1 每个铸钢件至少应制备 1 个拉伸试样，对形状复杂的铸钢件或质量超过 2.5t 的单件成品铸钢件，至少应制备 2 个拉伸试样。试件应与铸钢件要求一起整体浇铸，且位置应尽量远离。

5.5.4.2 经船舶检验机构同意，小型铸钢件可按本章的规定进行批量试验。

5.5.4.3 铸钢件的力学性能应符合表 5.5.4.3 的规定。

5.5.5 无损检测

5.5.5.1 铸钢件应按批准的图纸的要求进行无损检测。

锅炉、受压容器与管系用铸钢件的力学性能 表 5.5.4.3

钢种	抗拉强度 R_m 不小于，MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa	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
0.5Mo	440	245	21	30
1Cr0.5Mo	480	280	17	20
2.25Cr1Mo	480	280	17	20
0.5Cr0.5Mo0.25V	510	295	17	20
注：表中各强度级铸钢件的抗拉强度范围均为 150MPa。				

5.5.6 高温力学性能

5.5.6.1 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船舶检验机构承认的机构认可。

第 6 节 螺旋桨铸钢件

5.6.1 适用范围

5.6.1.1 本节规定适用于碳钢、碳锰钢和不锈钢的螺旋桨和桨叶的铸钢件。如采用合金钢，应将其化学成分、力学性能和热处理规程提交船舶检验机构承认的机构认可。

5.6.2 化学成分

5.6.2.1 碳钢和碳锰钢螺旋桨铸钢件的桶样化学成分，应符合本篇表 5.3.2.1 的规定，但其碳含量了应不大于 0.25%。

5.6.2.2 不锈钢螺旋桨铸钢件的化学成份应符合本篇表 5.6.2.2 的规定。

不锈钢螺旋桨铸钢件的化学成份　　表 5.6.2.2

钢　种	类型	化学成份(%)							
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
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：M—马氏体、F—铁素体、A—奥氏体。									

5.6.3 热处理

5.6.3.1 碳钢及碳锰钢的螺旋桨及其桨叶的铸钢件，均应采用下列之一的热处理，

.1 完全退火；

.2 正火；

.3 正火加回火，回火温度应不低于 550℃。

5.6.3.2 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。

5.6.4 力学性能

5.6.4.1　试件应与螺旋桨的桨毂或桨叶法兰的铸钢件本体一起浇铸。

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

5.6.4.3　螺旋桨铸钢件的力学性能应符合表 5.6.4.3 规定。

螺旋桨铸钢件的力学性能　　**表** 5.6.4.3

钢种		抗拉强度 R_m 不小于 (MPa)	屈服强度 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 不小于 (MPa)	伸长率 A_5 不小于 (%)	断面收缩率 Z 不小于 (%)	夏比 V 缺口冲击试验 平均冲击功[注 1] 不小于 (J)
碳钢和碳锰钢		400	200	25	40	20
低合金钢		400	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	180[注 2]	30	40	—

注 1：奥氏体不锈钢铸钢件可不作冲击试验。

注 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 205MPa。

5.6.5　**无损检测**

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

第 6 章　　铸铁件

第 1 节　　通　　则

6.1.1　适用范围

6.1.1.1　本章规定适用于建造船舶结构、机械、锅炉、受压容器和管系的灰铸铁、球墨铸铁或其他高强度铸铁。凡采用本章规定以外的铸铁，经船舶检验机构承认的机构同意，可按认可的有关标准检验。

6.1.1.2　铸铁件应按本篇第 1 章、第 2 章以及本章的有关规定进行制造和试验。

6.1.2　制造加工

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

6.1.3　质量

6.1.3.1　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。

6.1.3.2　铸铁件应按已批准图纸的要求，加工到规定的粗糙度。

6.1.4　化学成分

6.1.4.1　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。

6.1.5　热处理

6.1.5.1　除另有规定外，铸铁件可以铸态或适当的热处理状态交货。

6.1.6　试样

6.1.6.1　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 2 炉(罐)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。

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

6.1.6.3　应对所有的铸铁件试件做好标记，清楚地标明它所代表的铸铁件。

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

6.1.6.5　所有试样的制备和试验方法应符合本篇第 2 章的规定。

6.1.7　力学性能

6.1.7.1　铸铁件的力学性能应符合本章的有关规定。

6.1.8　目检和无损检测

6.1.8.1　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、喷丸或其他有可能掩盖缺陷的方法进行清理。

6.1.8.2　除批准图纸另有要求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。

6.1.8.3　制造厂应保证铸铁件的尺寸具有足够的精度。

6.1.8.4　如有必要，在最后验收前可要求对铸铁件进行压力试验。

6.1.9　缺陷的修补

6.1.9.1　铸铁件表面的轻微缺陷，可采用适当的方法予以清除。

6.1.9.2　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，经船舶检验机构同意后，方可焊补。

6.1.9.3　凡不承受内压力的铸铁件，其局部疏松，经船舶检验机构同意后，可采用适当的塑性填充物进行填充。

第 2 节　　灰铸铁件

6.2.1　适用范围

6.2.1.1　本节规定适用于机械、管路零件和螺旋桨用的灰铸铁件。

6.2.2　试样

6.2.2.1　试件形状为直径 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，每一圆棒之间至少有 50mm 的间距。

6.2.2.2　当铸铁件厚度超过 20mm 时，质量超过 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。

6.2.2.3　对于清理后单件质量不超过 1t 的铸铁件，可进行批量试验。同一批铸铁件应具有相同的类型和尺寸，并用同一炉铁水浇铸。每批铸铁件(经清理后)为每 2t 取一个试样。

6.2.2.4　对于大批量连续浇铸的同一类型的铸铁件，每批质量可增加到 2h 浇铸的产量。

6.2.2.5　如果大批量连续浇铸的同一类型的铸铁件，并且整个生产过程通过系统检查，若激冷试验、化学分析、热值分析等受到严格的监控，经船舶检验机构同意后，可以延长取样时间间隔。

6.2.2.6　对于整体浇铸的试件，应与该铸铁件一起进行热处理。

6.2.2.7　每个试件加工一个拉伸试样，试样直径为 20mm。

6.2.3　热处理

6.2.3.1　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。

6.2.4　力学性能

6.2.4.1　灰铸铁件的力学性能应符合表 6.2.4.1 的规定。

灰铸铁件的力学性能　　表 6.2.4.1

灰铸铁牌号	抗拉强度 R_m 不小于[注1]，MPa	布氏硬度[注2]，HB
HT200	200	150～225
HT250	250	168～251
HT300	300	185～278
HT350	350	203～304
注 1：表列各强度级铸铁件的抗拉强度范围均为 100MPa。		

注 2：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。
注 3：当采用附连试样时，灰铸铁件的力学性能可按公认的国家或国际标准进行验收。

6.2.4.2　铸铁件的抗拉强度应不小于 200MPa。所有拉伸试样的断口应成均匀的灰色结晶状外观。

第 3 节　　球墨铸铁件

6.3.1　适用范围

6.3.1.1　本节规定适用于机械和管路零件用的球墨铸铁件。

6.3.1.2　本节规定适用于常温下使用的球墨铸铁件。若用于低温或高温环境，应经船舶检验机构承认的机构特别许可。

6.3.2　热处理

6.3.2.1　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的要求时，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的应力。对抗拉强度为 350MPa 和 400MPa 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。

6.3.2.2　若需对铸铁件表面进行硬化处理，其有关工艺应提交船舶检验机构承认的机构认可。

6.3.3　试样

6.3.3.1　试件形状一般分为 U 型和 Y 型两种，应分别按图 6.3.3.1(1)和 6.3.3.1(2)的规定单独或整体浇铸，也可按船舶检验机构同意的其他形状浇铸。

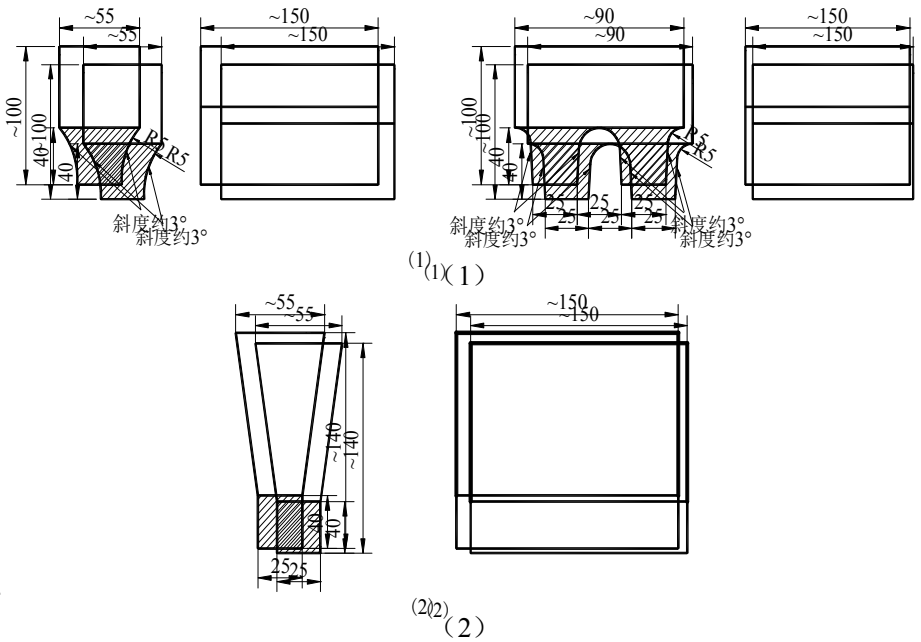


图 6.3.3.1　冲击试验试件形状

6.3.3.2　取样方法规定如下:

.1　对整体浇铸的试件:每个或每批质量为 2t 的铸铁件，至少应提供一个试件，试件应取自铸铁件浇口附近；

.2 对分开单独浇铸的试件:每个或每批质量不超过 1t 的铸铁件，至少应提供一个试件；质量超过 1t 时，则每 2t 应分别浇铸试件；

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

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

6.3.3.3 每个试件应加工 1 个拉伸试样。

6.3.4 力学性能

6.3.4.1 球墨铸铁件的力学性能应符合表 6.3.4.1 的规定。

球墨铸铁件的力学性能　　表 6.3.4.1

抗拉强度 R_m 不小于，MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa	伸长率 A_5 不小于，%	硬度，HB	金相组织
400	250	12	130～180	铁素体
500	320	7	170～230	铁素体+珠光体
600	370	3	190～270	铁素体+珠光体
700	420	2	225～305	珠光体
800	480	2	245～335	珠光体或回火组织
900	600	2	280～360	贝氏体或回火马氏体
注：中间值可以用内插法计算，表中的力学性能以试样的抗拉强度和伸长率为验收依据，如在设计图纸中有要求时，屈服点和硬度亦可作验收依据；对整体浇铸的试件，其伸长率可降低 2%。				

6.3.4.2 如果一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二个试样复试。如果这二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。

6.3.4.3 如有必要，船舶检验机构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 型缺口冲击试样进行试验，试样的尺寸和试验程序应符合本篇第 2 章的有关规定。

6.3.5 金相检查

6.3.5.1 金相试样应从每一炉铸铁件中截取，也可从拉伸试样上切取。

6.3.5.2 金相试验应表明至少有 90%的石墨呈分散性的球状或团絮状。典型的金相组织列于表 6.3.4.1 内。

第 4 节　曲轴铸铁件

6.4.1 适用范围

6.4.1.1 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。

6.4.2 热处理

6.4.2.1 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。

6.4.2.2 若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船舶检验机构承认的机构认可。曲轴在进行这种处理前，应进行验证试验，并应征得船舶检验机构承认的机构同意。

6.4.3 试验材料

6.4.3.1 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。

6.4.3.2 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。

6.4.3.3 对于每个质量不超过 100kg，批量生产的小型曲轴铸铁件，可按本篇 6.3.3 的规定浇铸试件。

6.4.4 力学性能

6.4.4.1 灰铸铁曲轴的抗拉强度应不小于 300MPa。球墨铸铁曲轴的抗拉强度应不小于 490MPa，其力学性能应符合本篇表 6.3.4.1 的要求。

6.4.4.2 除进行抗拉强度试验外，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篇表 6.3.4.1 的规定，灰铸铁曲轴的硬度值应符合船舶检验机构承认的机构认可的有关标准。

6.4.5 缺陷的修补

6.4.5.1 铸铁曲轴的缺陷不允许焊补，瑕疵不能用填充物填充。

6.4.6 无损检测

6.4.6.1 曲轴铸铁件在最终机加工后应进行磁粉检测。磁粉检测的结果应提交船舶检验机构审核。

第 7 章　钢管

第 1 节　通　则

7.1.1　适用范围

7.1.1.1　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、船舶和机械的压力管系所用的钢管。

7.1.1.2　在高温下工作的钢管，应将其高温力学性能资料提交船舶检验机构承认的机构审核。

7.1.1.3　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。

7.1.1.4　本章涉及的管系的分级见第 3 篇第 2 章的有关规定。

7.1.2　制造

7.1.2.1　所用钢材应采用碱性吹氧转炉、电炉或平炉冶炼的镇静钢，并应采用模铸或经船舶检验机构承认的机构认可的连铸工艺。

7.1.2.2　钢管可采用下列方法制造：

.1　热轧无缝钢管工艺；

.2　冷拔无缝钢管工艺；

.3　电阻焊或高频电流焊的焊接管工艺；

.4　电弧焊的焊接管工艺。

7.1.2.3　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。

7.1.3　质量

7.1.3.1　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。若有上述缺陷则应清除，但被清除部位的壁厚应不小于最小壁厚。

7.1.3.2　焊接钢管的内、外表面不允许存在裂缝、结疤、错位、毛刺、烧伤、压痕和深的划道等缺陷。但允许存在深度不超过壁厚允许偏差范围的小压痕、轻微的错位、辊印线、薄的氧化铁皮以及打磨与清除外毛刺的痕迹等缺陷。

7.1.3.3　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

7.1.3.4　。钢管的品种规格和尺寸公差应符合公认的有关标准。

7.1.4　化学成分

7.1.4.1　钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合本章各节的有关规定。

7.1.5　热处理

7.1.5.1　所有规格的钢管应进行热处理，并应按本章各节的有关规定以相应的热处理交货。

7.1.6　试验与试样

7.1.6.1　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。

7.1.6.2　对于Ⅰ级压力管系的钢管、锅炉管和过热器管，应从每批钢管中任选至少 2%根数的钢管制备

所需的试样。

7.1.6.3　对于Ⅱ级压力管系用的钢管取样批量应不超过表 7.1.6.3 的规定。试样应从每批或不足一批的钢管中任选至少 1 根管子制备。

Ⅱ级钢管取样批量　　表 7.1.6.3

钢管外径 D，mm	每批数量，根
D≤325	200
D>325	100

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

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

7.1.7　无损检测

7.1.7.1　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。

7.1.8　液压试验

7.1.8.1　每根钢管均应在制造厂进行液压试验。经同意，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。

7.1.8.2　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，亦可按合同的试验压力进行试验，但应将有关资料提交船舶检验机构审核；

.2　本条.1 中所述的试验压力不必超过按下列确定的值:

$$P=\frac{2\sigma_t t}{D} \quad \text{MPa} \qquad (7.1.8.2.2)$$

式中: P—— 试验压力，MPa；

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%；对奥氏体不锈钢钢管，为规定非比例延伸强度（Rp0.2）的 80%。

.3　在试验压力下应保持足够的时间，以便进行检查。

7.1.9　缺陷的修补

7.1.9.1　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。

7.1.9.2　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船舶检验机构审核。焊补后，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，应进行渗透检查。

第 2 节　　无缝压力管

7.2.1　适用范围

7.2.1.1　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。

7.2.2 制造与化学成分

7.2.2.1 无缝压力管应采用热轧或冷拔工艺进行制造。

7.2.2.2 钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合表 7.2.2.2 的规定。

无缝压力管钢材的脱氧方法和桶样化学成分 表 7.2.2.2

钢种	强度级 MPa	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 残余元素总含量≤0.7						
	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

7.2.3 热处理

7.2.3.1 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，但热轧的终轧温度足以使钢管软化时，则可采用热轧状态交货；

.2 对合金钢无缝压力管应按表 7.2.3.1.2 进行热处理。

合金钢无缝压力管的热处理 表 7.2.3.1.2

合金钢		热处理工艺
1Cr0.5Mo		正火加回火
2.25Cr1Mo	410 强度级	完全退火
	490 强度级	正火加回火(回火温度 650℃～780℃或 650℃～750℃)
0.5Cr0.5Mo0.25V		正火加回火

无缝压力管的力学性能和工艺性能 表 7.2.4.1

钢种	强度级 MPa	抗拉强度 R_m 不小于，MPa	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa	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，表中的各强度级钢管的抗拉强度范围均为 120MPa。 注 2：对合金钢，表中的各强度级钢管的抗拉强度范围均为 150MPa。						

7.2.4 力学性能和工艺性能

7.2.4.1 钢管可按批验收，取样数量应符合本篇 7.1.6 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 7.2.4.1 的规定。

7.2.4.2 供设计用的无缝压力管的高温力学性能见表 7.2.4.2-1 和 7.2.4.2-2。

无缝压力管的高温力学性能 表 7.2.4.2-1

钢种	强度级 MPa	高温屈服点 σ_{eH}^{T} 不小于，MPa											
		温度，℃											
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
碳钢和碳锰钢	320	172	168	158	147	125	100	91	88	87	—	—	—
	360	192	187	176	165	145	122	111	109	107	—	—	—
	410	217	210	199	188	170	149	137	134	132	—	—	—
	460	241	234	223	212	195	177	162	159	156	—	—	—
	490	256	249	237	226	210	193	177	174	171	—	—	—
1Cr0.5Mo	440	254	240	230	220	210	183	169	164	161	156	151	—
2.25Cr1Mo	410 [1)]	121	108	99	92	85	80	76	72	69	66	64	62
	490 [2)]	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。
注 2：正火加回火状态。

无缝压力管的高温破断平均应力 表 7.2.4.2-2

钢种	强度级 MPa	100 000h 下破断强度 $\sigma_{m100000}^{T}$ 参考值，MPa																				
		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	14	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	—	—	—	—	—	—	—	196	182	168	154	141	127	115	102	90	78	69	59	51	44
	490 [1)]	—	—	—	—	—	—	—	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：正火加回火，若回火温度大于 750℃时，应参考 410 强度级的数值。

第 3 节 焊接压力管

7.3.1 适用范围

7.3.1.1 本节规定适用于碳钢、碳锰钢和合金钢制成的铁素体钢焊接压力管。

7.3.1.2 若采用纵向埋弧焊焊制钢管时，应将其详细资料提交船舶检验机构承认的机构审核。

7.3.2 **制造和化学成分**

7.3.2.1 焊接管采用电阻焊或高频焊工艺制造。

7.3.2.2 钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合本篇表 7.2.2.2 的规定，但其中 490MPa 强度级的碳钢、碳锰钢和 2.25Cr1Mo、0.5Cr0.5Mo0.25V 合金钢除外。

7.3.3 **热处理**

7.3.3.1 对碳钢及碳锰钢管，应作正火处理。制造厂也可自行决定进行正火加回火处理；对合金钢钢管，应作正火加回火处理。

7.3.4 **力学性能和工艺性能**

7.3.4.1 钢管应按本篇 7.1.6 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，凡位于焊缝标距范围内的加强焊缝应予以去除。

7.3.4.2 进行试验的每根耐压管应进行拉伸和压扁或弯曲试验，试验结果应符合本篇表 7.2.4.1 的规定，但其中 490MPa 强度级的碳钢和碳锰钢、2.25Cr1Mo 和 0.5Cr0.5Mo0.25V 合金钢除外。

7.3.4.3 320MPa～460MPa 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篇表 7.2.4.2-1 和 7.2.4.2-2。

第 4 节 锅炉管与过热器管

7.4.1 **适用范围**

7.4.1.1 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。

7.4.2 **制造及化学成分**

7.4.2.1 锅炉管与过热器管应为无缝钢管或焊接管，并符合本章第 2 节和第 3 节的有关规定。所用钢材的脱氧方法和桶样化学成分应符合本篇表 7.2.2.2 的规定，但其中 490MPa 强度级的碳钢、碳锰钢和 0.5Cr0.5Mo0.25V 合金钢除外。

7.4.3 **热处理**

7.4.3.1 锅炉管与过热器管均应进行热处理，并应符合表 7.4.3.1 的规定。

锅炉管与过热器管的热处理 **表 7.4.3.1**

钢种		热处理
碳钢和碳锰钢		正火或正火加回火[注1]
1Cr0.5Mo		正火加回火[注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与过热器管，当终轧温度足以使钢管软化时，可采用热轧状态处理。 注 2：含碳量>0.15% 的 1Cr0.5Mo 合金钢可采用正火状态处理。		

7.4.4 **力学性能和工艺性能**

7.4.4.1 钢管可按批验收并应符合本篇 7.1.6 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 7.4.4.1 的规定。

锅炉管与过热器管的力学性能和工艺性能　　表 7.4.4.1

钢种	强度级 MPa	抗拉强度 R_m 不小于，MPa [注1]	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa [注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 120MPa。
注 2：对合金钢，表中各强度级钢管的抗拉强度范围均为 150MPa。

7.4.4.2　320 MPa～460MPa 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篇表 7.2.4.2-1 和 7.2.4.2-2。

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。

8.1.1.2　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　铝合金可采用经船舶检验机构承认的机构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。

8.1.3　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，船舶检验机构承认的机构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，应经船舶检验机构承认的机构同意后，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船舶检验机构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，在征得船舶检验机构同意后，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，所有的修整均应在验船师的在场下进行。

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

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和上层建筑建造用厚度为 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船舶检验机构承认的机构审核，经同意后，可用于渔船结构。

8.2.2　一般要求

8.2.2.1　铝合金应具有良好的耐海水腐蚀性和焊接性。

8.2.2.2　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　应从每一批铝合金产品中取样测定化学成分，并提交一份证书。铝合金的化学成分应符合表 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[注1]	
										每种	总量
5A01	Si +Fe≤0.4		≤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	≤0.05[注4]	≤0.15[注4]
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	≤0.05[注5]	≤0.15[注5]
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	≤0.50[注2]	2.6~3.6	≤0.30[注2]	≤0.20	≤0.15	余量	≤0.05	≤0.15
6005A	0.50~0.90	≤0.35	≤0.30	≤0.50[注3]	0.4~0.7	≤0.30[注3]	≤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。
注 2：0.10%≤Mn+Cr≤0.60%。
注 3：0.12%≤Mn+Cr≤0.50%。
注 4：Zr≤0.20，其它元素的总量中不包括锆(Zr)。
注 5：0.05%≤Zr≤0.25%，其他元素的总量中不包括锆(Zr)。

8.2.3.2　当铝合金冶炼厂以生产半成品交货时，应向船舶检验机构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处理（如矫正等）

H112—热加工成形的状态

H116—对 Mg 超过 4.0%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至 1/4 硬度

H321—加工硬化后进行稳定化处理至稍低于 H32 的硬度

H34 —加工硬化后进行稳定化处理至 1/2 硬度

T5 —高温成形冷却后进行人工时效处理

T6 —固溶热处理后进行时效处理

8.2.4.3　轧制铝镁系合金一般以 H111、H112、H116、H32、H321、H34 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篇 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公差。铝合金轧制产品的厚度负公差应符合表 8.2.5.3 的规定，挤压产品的厚度负公差应满足承认的国家标准或国际标准。除厚度外的其他尺寸公差应符合承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)	小于 1500	1500~2000	2000~3500
$3\le t<4$	0.10	0.15	0.15
$4\le t<8$	0.20	0.20	0.25
$8\le t<12$	0.25	0.25	0.35
$12\le t<20$	0.35	0.40	0.50

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　轧制产品每批的重量应不超过 2000kg。每批制取 1 个试件。若单件重量大于 2000kg，则仅取 1 个试件。

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
1~5 kg/m	2000kg 和不足 2000kg 的余额	1 个试件
>5 kg/m	3000kg 和不足 3000kg 的余额	1 个试件

8.2.5.7　压焊焊合的闭合型挤压型材，除 8.2.5.6 外，工厂还应以公认的方法证明其焊缝熔合良好。

8.2.5.8　试验应按本篇第 2 章的有关规定进行。试验结果应符合本篇 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 或 H321 状态交货，用于船体外板或长期与海水直接接触场合的铝镁系合金，每批尚应制取一个试件，进行与材料抗剥蚀和晶间腐蚀性能相关的检查或试验。每批重量应符合 8.2.5.5 的规定。

8.2.5.11　铝合金抗剥蚀和晶间腐蚀性能试验应按船舶检验机构承认的机构接受的国际或国家标准进行。

8.2.5.12　当制造厂已建立经船舶检验机构承认的机构认可的与生产工艺相联系的铝合金抗剥蚀和晶间腐蚀性能试验合格参考金相照片体系时，腐蚀试验可用金相照片比对法替代。

8.2.5.13　当采用金相照片比对检查时，取样和比较应在验船师在场时进行。

8.2.5.14　若金相检查显示在晶界处有超过参考合格样片的连续性铝镁网状析出物的证据时，该批材料就应判废或经船舶检验机构同意进行剥蚀试验和晶间腐蚀试验。如果试验结果符合验收标准，该批材料可以验收，否则就应判废。

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，试样的长度方向垂直于材料的轧制方向：

.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。

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。

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。

轧制成形铝合金板和带材的力学性能　　表 8.2.7.1

牌号	状态	厚度 t (mm)	规定非比例伸长强度 $R_{p0.2}$ (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	最低断后伸长率 A[注1] (%)	
					50mm	$5d$
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
	H112	3≤t≤50	≥125	≥275	12	10
	H116	3≤t≤50	≥215	≥305	10	
	H321	3≤t≤50	215~295	305~385	12	10
5383	O	3≤t≤50	≥145	≥290	—	17
	H116	3≤t≤50	≥220	≥305	10	
	H321	3≤t≤50	≥220	≥305	10	
5059	O	3≤t≤50	≥160	≥330	—	24
	H116	3≤t≤20	≥270	≥370	10	
		20<t≤50	≥260	≥360	10	
	H321	3≤t≤20	≥270	≥370	10	
		20<t≤50	≥260	≥360	10	
5086	O	3≤t≤50	≥95	240~305	16	14
	H112	3≤t≤12.5	≥125	≥250	8	—
		12.5<t≤50	≥105	≥240	—	9
	H116	3≤t≤50	≥195	≥275	10[注2]	9
5456	O	3≤t≤6.3	130~205	290~365	16	—
		6.3<t≤50	125~205	285~360	16	14
	H116	3≤t≤30	≥230	≥315	10	
		30<t≤40	≥215	≥305	—	10
		40<t≤50	≥200	≥285	—	10
	H321	3≤t≤12.5	230~315	315~405	12	—
		12.5<t≤40	215~305	305~385	—	10
		40<t≤50	200~295	285~370	—	10

5754	O	3≤t≤50	≥80	190~270	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。

注 2：对厚度小于及等于 6.3mm 的材料，为 8%。

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 $R_{p0.2}$ (MPa)	抗拉强度 R_m (MPa)	最低断后伸长率 A 注 1、2 (%)	
					50mm	5d
5A01	H112	3≤t≤50	≥170	≥230	10	
5454	H112	3≤t≤50	≥100	—	10	
5083	O	3≤t≤50	≥110	270~350	14	12
	H111	3≤t≤50	≥165	≥275	12	10
	H112	3≤t≤50	≥110	≥270	12	10
5383	O	3≤t≤50	≥145	≥290	17	17
	H111	3≤t≤50	≥145	≥290	17	17
	H112	3≤t≤50	≥190	≥310	—	13
5059	H112	3≤t≤50	≥200	≥330	—	10
5086	O	3≤t≤50	≥95	240~315	14	12
	H111	3≤t≤50	≥145	≥250	12	10
	H112	3≤t≤50	≥95	≥240	12	10
5456	H112	3≤t≤50	≥130	≥300	10	
5754	H112	3≤t≤50	≥80	≥180	10	
6005A	T5	3≤t≤50	≥215	≥260	9	8
	T6	3≤t≤10	≥215	≥260	8	6
		10<t≤50	≥200	≥250	8	6
6061	T6	3≤t≤50	≥240	≥260	10	8
6082	T5	3≤t≤50	≥230	≥270	8	6
	T6	3≤t≤5	≥250	≥290	6	—
		5<t≤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。

注 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。

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。

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	Ti [注1]	Al	其他元素	杂质元素[注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	每种
5754	AlMg3	≤0.40	≤0.40	≤0.10	≤0.50 [注2]	2.6~3.6	≤0.30 [注2]	≤0.20	≤0.15	余量	—	≤0.05
5154A	AlMg3.5	≤0.50	≤0.50	≤0.10	≤0.50 [注3]	3.14~3.9	≤0.25 [注3]	≤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	—	总重
6082	AlSilMg	0.7~1.3	≤0.50	≤0.10	0.40~1.0	0.6~1.2	≤0.25	≤0.20	≤0.10	余量	—	≤0.15

注 1：Ti 可以全部或部分由其他细化晶粒元素代替。
注 2：0.10%≤Mn 十 Cr≤0.60%
注 3：0.10%≤Mn+ Cr≤0.50%

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，应符合本篇 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	规定非比例伸长强度 $R_{p0.2}$ 不小于 (MPa)	抗拉强度 R_m 不小于 (MPa)	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，按本篇 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，并提交船舶检验机构承认的机构备查。

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 和 8.4.3.1-2 的规定。

铝合金活塞的化学成分 表 8.4.3.1-1

牌号	化学成分(%)				
	Si	Cu	Mn	Mg	A1
ZL108	11~13	1~2	0.3~0.9	0.4~1.0	余量
ZL110	4~6	5~8	-	0.2~0.5	余量

铝合金活塞的力学性能 表 8.4.3.1-2

牌号	抗拉强度 R_m 不小于 (MPa)	硬度 不小于 (HB)	热处理
ZL108	200	85	人工时效
	260	90	淬火加完全时效
ZL110	170	90	人工时效

8.4.4 宏观检查

8.4.4.1 铸件表面不应有气孔、裂纹等有害缺陷。

第 5 节　钢-铝过渡接头

8.5.1　适用范围

8.5.1.1　本节规定适用于渔船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。

8.5.2.2　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。

8.5.2.3　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。

8.5.2.4　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

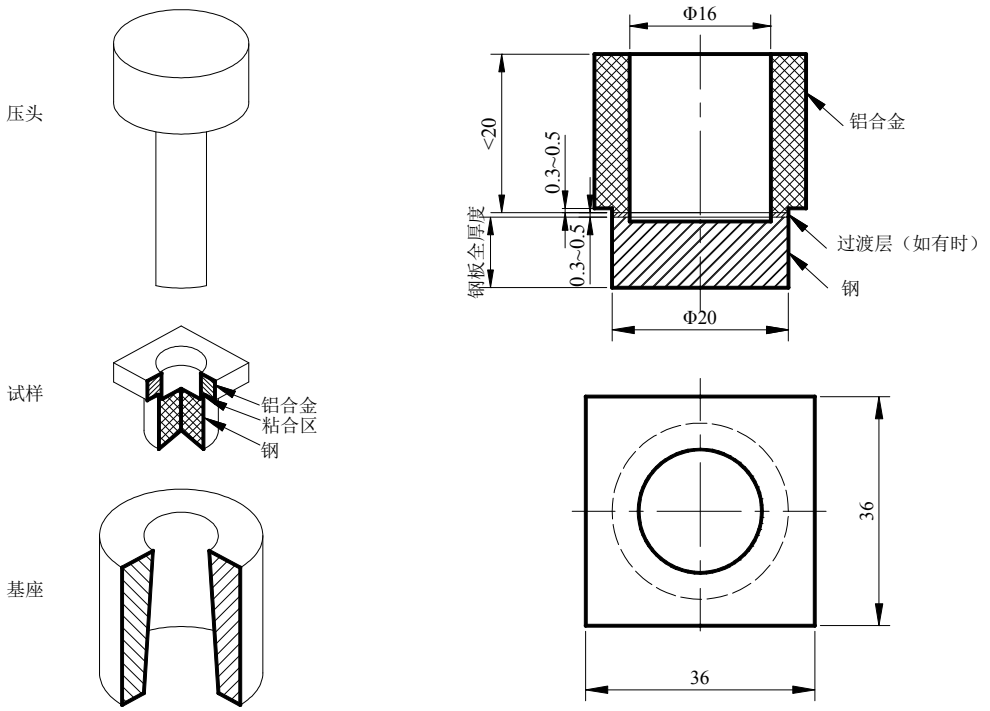
8.5.5.1　按批取样提交检验。每批由 3 张或 3 张以下同时生产且具有相同的材质、相同尺寸和相同的爆炸焊工艺的复合板组成。在其中的 1 张板两对角处各取 1 组试样进行试验。

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 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 $6t$（t 为试样厚度），弯曲角度为 90°。



（1）粘结试验示意图
(a)粘结试验示意图

（2）粘结试验试样推荐尺寸
(b)粘结试验试样推荐尺寸

图 8.5.5.2　厚度方向粘结试验图

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　其它有色金属

第 1 节　　螺旋桨铜铸件

9.1.1　适用范围

9.1.1.1　本节规定适用于制造螺旋桨(包括桨毂和桨叶)的铜合金铸件。

9.1.1.2　铸件按本篇第 1 章和第 2 章及本节的规定进行制造和检验。

9.1.2　制造

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

9.1.3　质量

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

9.1.4　化学成分

9.1.4.1　铸件的桶样化学成分一般应符合表 9.1.4.1 的规定。如采用 9.1.4.1 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）经船舶检验机构承认的机构认可，按公认的标准验收。

螺旋桨铜铸件桶样的化学成分　　表 9.1.4.1

铜合金种类	化学成分，%							
	Cu	Al	Mn	Zn	Fe	Ni	Sn	Pb
1 级锰青铜(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	2.5～8.0	≤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

9.1.4.2　Cu1 和 Cu2 铜合金应按下式确定其锌当量，锌当量应不超过 45%。

$$\text{锌当量，}\ \% = 100 - \frac{100 \times \text{Cu}\%}{100 + A} \qquad (9.1.4.2)$$

式中: A 为下列各项的代数和: 1×Sn%；

5×Al%；

－0.5×Mn%；

－0.1×Fe%；

－2.3×Ni%。

9.1.4.3　若铸件是用同一种铜合金的铸锭熔化浇铸，则可采用铸锭生产厂提供的化学成分报告。

9.1.5　热处理

9.1.5.1　铸件可以铸态或适当的热处理状态交货。

9.1.6　力学性能

9.1.6.1　铸件应按下列要求制备试样:

.1　试件应采用与螺旋桨铸件的铸型相同的铸型材料，并应在同样的冷却条件下单独浇铸，如图

9.1.6.1.1 所示的吉尔型试件；若一个铸件由几炉铜水合浇而成，则每炉或每包铜水都要取样；

.2 若仅需一个试件时，应在浇铸过程即将结束时浇铸试件；若需要几个试件时，则应在浇铸过程开始和结束时分别浇铸；

.3 拉伸试样的尺寸应符合本篇表 2.2.2.1 中序号 I(B)的规定。

9.1.6.2 拉伸试验结果应符合表 9.1.6.2 的规定。

螺旋桨铜铸件的力学性能 **表** 9.1.6.2

铜合金种类	抗拉强度 R_m 不小于 MPa	规定非比例伸长应力 $R_{p0.2}$ 不小于， MPa	伸长率 A_5 不小于， %
1 级锰青铜	440	175	20
2 级镍锰青铜	440	175	20
3 级镍铝青铜	590	245	16
4 级锰铝青铜	630	275	18
注：除特殊规定外，表中的规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.2}$ 仅供参考。			

9.1.7 目检和无损检测

9.1.7.1 所有的成品铸件应提交船舶检验机构进行内外表面检查。

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

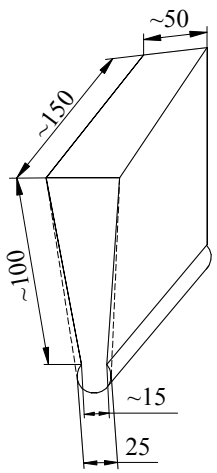


图 9.1.6.1.1 吉尔型试件

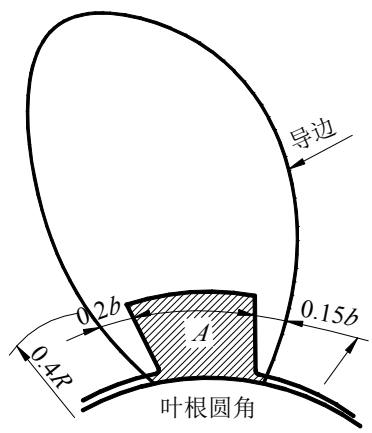


图 9.1.7.2 A 区和叶根圆角示意区

9.1.7.3 着色检测的结果，应符合公认的其他标准。

9.1.8 金相组织检验

9.1.8.1 1 级锰青铜和 2 级镍锰青铜应逐炉检验金相组织，试样可由拉伸试样的一端截取。为保证足够的韧性，由五个读数计算出的平均值至少应含有 25%的α相组织。

9.1.9 缺陷的修补

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

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

9.1.9.3　螺旋桨一般不应焊补，若确有必要，应按第八篇第 6 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。

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 章及本节有关规定进行制造和试验。

9.2.2　制造

9.2.2.1　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　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、夹杂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，%								建议应用范围
	Cu	Sn	Zn	Pb	Ni	Mn	P	Fe	
铜锡磷青铜 90/10	余量	9.0~11.0	≤0.50	≤0.75	≤0.5	—	≤0.50	—	轴套、衬套、阀体、泵壳体和配件
炮铜 88/10/2	余量	8.5~11.0	1.0~3.0	≤1.5	≤1.0	—	—	—	轴套、阀体、和 配件
炮铜 83/7/4/6	余量	6.0~8.0	3.0~5.0	5.0~7.0	≤2.0	—	—	—	轴套和衬套
铅炮铜 85/5/5/5	余量	4.0~6.0	4.0~6.0	4.0~6.0	≤2.0	—	—	—	衬套、阀体和配件
铜镍铁合金 90/10	余量	—	—	—	9.0~11.0	0.5~1.0	—	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	0.5~1.5	—	0.4~1.0	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船舶检验机构承认的机构认可的范围之内。									

9.2.4.2　生产厂所提供的铸锭化学成分应符合本篇 9.1.4.2 的规定。

9.2.5　热处理

9.2.5.1　铸件可以铸态或适当的热处理状态交货。

9.2.6　力学性能

9.2.6.1　试件可按本篇图 9.1.6.1.1 吉尔型试件逐炉单独浇铸。轴套和衬套的试件也可从铸件端部截取。

9.2.6.2　若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　每一试件上应制备一个拉伸试样，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　　表 9.2.6.4

合金牌号	抗拉强度 R_m 不小于，MPa	规定非比例伸长应力 $R_{p0.2}$ 不小于，MPa	伸长率 A_5 不小于，%

铜锡磷青铜 90/10	250	120	15
炮铜 88/10/2	270	130	13
炮铜 83/7/4/6	270	130	16
铅炮铜 85/5/5/5	200	100	16
铜镍铁合金 90/10	320	160	20
铜镍铁合金 70/30	420	220	20

9.2.7 外观检查及缺陷的修整

9.2.7.1 所有铸件应经清理后提交船舶检验机构进行内、外表面检查。

9.2.7.2 对有局部气孔的铸件，若孔隙对铸件强度无有害影响，经船舶检验机构同意，可采用适当的塑性填充物加以填充。

9.2.7.3 若确有必要用焊补方法修整缺陷时，应事先征得船舶检验机构同意，并将缺陷的数量、大小、部位和焊补工艺提交船舶检验机构审核。对铅含量大于 0.5%的铜合金轴瓦，不允许焊补。

9.2.8 压力试验

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

第 3 节 铜管

9.3.1 适用范围

9.3.1.1 本节规定适用于冷凝器、热交换器和压力管系用的铜合金管材。若采用本节规定以外的铜合金，经船舶检验机构承认的机构同意，可按认可的有关标准进行验收。

9.3.2 制造

9.3.2.1 管子一般应采用无缝工艺制造。若采用焊接管，应将其性能和制造方法提交船舶检验机构承认的机构认可。

9.3.3 质量

9.3.3.1 管子的质量应符合本篇第 7 章的有关要求。

9.3.4 化学成分

9.3.4.1 管子的化学成分应符合表 9.3.4.1 的规定。

铜管的化学成分 表 9.3.4.1

牌号	化学成分，%							
	Cu	As	Fe	Pb	Ni	Al	Mn	Zn
铝黄铜	76.0～79.0	0.02～0.06	≤0.06	≤0.07	—	1.8～2.5	—	余量
铜镍铁合金 90/10	余量	—	1.0～2.0	—	9.0～11.0	—	0.5～1.0	—
铜镍铁合金 70/30	余量	—	0.4～1.0	—	29.0～33.0	—	0.5～1.5	—
注：除表中的主要元素外，制造厂应保证其他元素的含量在船舶检验机构承认的机构认可的范围之内。								

9.3.5 热处理

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

9.3.6 力学性能和工艺性能

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

9.3.6.2　每批管子的试验项目和取样数量如下:

.1　拉伸试验:每批至少取一个试样；

.2　压扁试验:每批至少取一个试样；

.3　扩口试验:每批至少取一个试样。

若管子以盘卷交货时，则每批至少应任取一卷，每 10 圈或不足 10 圈的余量应截取一个试样。

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 45°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，MPa	规定非比例伸长应力 $R_{p0.2}$ 不小于，MPa	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 倍～10 倍的放大镜观察其内外表面，应无裂痕出现；

.4　若试样出现裂纹，则该试样代表的所有管子应全部拒收。但经消除内应力后，仍可重新提交试验。

9.3.8　液压试验

9.3.8.1　每根管子均应进行液压试验，试验压力应为管子设计压力的 1.5 倍或 7.0MPa，取大值。经船舶检验机构同意可用涡流检测代替液压试验。

9.3.9　目测和缺陷修整

9.3.9.1　应对所有的管子进行内外表面的目测和尺寸校核。管子表面应光滑清洁，不应有针孔、裂纹、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。

第 4 节　　轴承合金

9.4.1　适用范围

9.4.1.1　船舶机械用的轴承，可采用锡基轴承合金、铅基轴承合金、铝基轴承合金及铜铅合金。若采用其它轴承合金，其化学成分应符合设计要求，并提交船舶检验机构审核。

9.4.2 **检验项目及要求**

9.4.2.1 轴承合金的检验项目及要求如下:

.1 化学分析:按炉取样，并符合表 9.4.3.1 的要求；

.2 宏观检查:每件检验，且每件轴承合金的表面应光滑、整洁，无熔渣和非金属夹杂物；

.3 粘结检查:每件检验，且轴承合金应与轴承壳牢固地粘结在一起；

.4 显微分析和硬度检查:必要时对柴油机的主轴承、连杆上下端的轴承和推力轴承的白合金作显微分析(放大 100 倍)和硬度检查；

.5 金相组织检查:仅对铜铅合金作检查。在金相组织中，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。

9.4.3 **化学成分**

9.4.3.1 轴承合金的化学成分应符合表 9.4.3.1 的规定。

轴承合金的化学成分 **表 9.4.3.1**

牌号	化学成分，%				
	Sn	Cu	Sb	Fb	Al
ChSnSb11－6	余量	5.5～6.5	10～12	—	—
ChSnSb7.5－3	余量	3～4	7～8	—	—
ChSnSb16－16－1.8	15～17	1.5～2	15～17	余量	—
ChSnSb15－5.5－2.8	5～6	2.5～3	14～16	余量	—
QPb30	—	余量	—	27～33	—
(210)锡铜铝－钢双金属板	20	1	—	—	余量

9.4.4 **其他要求**

9.4.4.1 每块轴承合金的表面应光滑、整洁，应无熔渣和非金属夹杂物存在。

9.4.4.2 轴承合金应能与轴承壳牢固地粘结在一起。

9.4.4.3 铜铅合金在金相组织检查中，铅应以中等粒度、呈圆粒状或断续网状均匀分布于铜基体中，无块状析出。

第 10 章　塑料管与配件

第1节　一般规定

10.1.1　适用范围

10.1.1.1　本章规定适用于渔船中拟使用的塑料管与配件。

10.1.1.2　本章不适用于塑料挠性管、软管及其接头。

10.1.2　定义与术语

10.1.2.1　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。

10.1.2.2　管子/管系：系指管子、配件、管子接头、连接方法以及要求符合性能标准的任何内外衬、护层与涂层。

10.1.2.3　配件：系指用塑料制成的弯头、肘型弯管、变径管、组装分支管。

10.1.2.4　接头：系指使用粘接剂、铺敷、焊接等连接管道。

10.1.2.5　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。

10.1.3　一般要求

10.1.3.1　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船舶检验机构承认。

10.1.3.2　塑料管应根据其化学成份、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。

10.1.3.3　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。

10.1.3.4　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。

10.1.3.5　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。

10.1.3.6　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。

10.1.3.7　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

10.2.1　材料

10.2.1.1　制造塑料管与配件的主要原材料应采用船舶检验机构承认的材料。

10.2.1.2　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提供足以证明该材料的性能与特性符合管子制造技术条件。

10.2.1.3　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。制造厂应进行下列项目测试：

.1 熔点

.2 熔融流动指数

.3 体积密度或比容

.4 挤塑体密度

.5 填充剂或颜料含量(如有)

.6 挤塑体热变形温度、硬度

.7 拉伸强度和断裂伸长率

10.2.1.4 热固性塑料管与配件可采用不饱和聚酯树脂、环氧树脂和酚醛树脂等制造，制造厂应进行下列项目测试：

.1 不饱和聚酯树脂(间苯、邻苯、双酚 A 型及乙烯基酯)

.1.1 密度

.1.2 粘度

.1.3 凝胶时间

.1.4 酸值

.1.5 固体含量

.1.6 热稳定性

.1.7 浇铸体热变形温度、硬度

.2 环氧树脂

.2.1 密度

.2.2 粘度

.2.3 凝胶时间

.2.4 环氧值

.2.5 有机氯值，无机氯值

.2.6 浇铸体热变形温度、硬度

.3 酚醛树脂

.3.1 密度

.3.2 粘度

.3.3 游离酚含量

.3.4 游离甲醛含量

.3.5 浇铸体热变形温度、硬度

10.2.1.5 玻璃纤维增强材料可采用无碱玻璃纤维、中碱玻璃纤维、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。制造厂应进行下列适用项目的测试：

.1 纤维类型；

.2 纱或粗纱的线密度(Tex 值)；

.3 编织类型、织物密度(经、纬向)；

.4 纤维、粗纱或织物的拉伸强度和弹性模数；

.5 单位面积重量；

.6 胶结剂类型及含量；

.7 表面处理剂类型及含量；

.8 制成层板的热变形温度、硬度；

.9 其他必要的指标。

10.2.1.6 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。

10.2.1.7 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。

10.2.2 **设计**

10.2.2.1 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。

10.2.2.2 塑料管与配件的强度设计应经船舶检验机构审核，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

10.2.2.3 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。

10.2.2.4 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船舶检验机构，必要时应重新认可。

10.2.2.5 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。

10.2.2.6 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。

10.2.2.7 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。

10.2.2.8 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。

10.2.2.9 提交设计认可的资料，除了管的结构(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。

10.2.3 **制造**

10.2.3.1 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。

10.2.3.2 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。

10.2.3.3 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；

.2.1 对挤出成型法至少应有料筒加热温度、挤出速度和牵引速度；

.2.2 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)；

.2.3 轻微表面缺陷的修整程序。

10.2.3.4 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。

10.2.4 强度试验

10.2.4.1 认可时，制造厂应对管子的实际强度进行试验验证。

10.2.4.2 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 100 mm 直径管子试样的跨距中点，施加 100 kg集中载荷，管子不产生破裂损坏。试验跨距一般为 6 m，保持时间至少 5min。

10.2.4.3 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

10.3.1 外观

10.3.1.1 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。

10.3.1.2 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。

10.3.1.3 管体应相当平直、承插口规整、沟漕光顺；两端面应与管的轴线垂直、无毛刺。

10.3.2 尺度与公差

10.3.2.1 管子与配件的尺寸、公差应符合制造技术条件的规定。

10.3.2.2 每根管子应测量直径、长度、壁厚和内衬厚度(如有)。

10.3.2.3 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决定。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。

10.3.3 管材性能

10.3.3.1　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。

10.3.3.2　管材的最低热变形温度应大于 80℃。

10.3.3.3　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 65%～75%范围内。

10.3.4　**液压试验**

10.3.4.1　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。

10.3.4.2　经液压试验的管子不应有滴漏、渗漏、鼓胀或裂纹出现。

10.3.5　**缺陷修整**

10.3.5.1　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。

10.3.5.2　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。

10.3.5.3　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，只要修整后尺度可接受且在该范围内证实无结构性缺陷存在。

第 11 章　设备

第 1 节　　锚

11.1.1　适用范围

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

11.1.2　制造和力学性能

11.1.2.1　铸造的锚头、锚杆和锚卸扣应按本篇第 5 章第 1 节和第 2 节的有关规定进行制造和试验。铸造锚可按同一炉钢水、同一规格、同一热处理规程且总质量不超过 3t 的铸件为一批，每批至少取一个试样进行拉伸试验。

11.1.2.2　锻造的锚头、锚杆和锚卸扣应按本篇第 4 章第 1 节和第 2 节的有关规定进行制造和试验。当单个锻件的质量超过 3t 时，应进行热处理。

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

11.1.3　锚的拉力试验

11.1.3.1　名义质量(包括锚杆在内)大于或等于 75kg 的锚、大抓力锚为大于或等于 56kg 应进行拉力试验。拉力试验机应经校准并经认可。

11.1.3.2　锚的拉力试验方法规定如下:

.1　拉力作用点，一端在锚卸扣处，另一端在距锚爪尖 1/3 处，如图 11.1.3.2.1 所示；

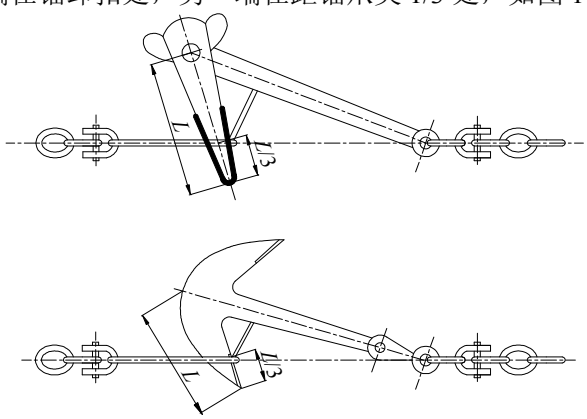


图 11.1.3.2.1　拉力作用点示意图

.2　无杆锚应同时拉其两爪，先在一面拉试后，再转到另一面做同样的试验；

.3　有杆锚的两个锚爪，应分别进行拉力试验；

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

11.1.3.3　锚的拉力试验负荷应符合表 11.1.3.3 的规定。表中锚的质量按下列规定计算:

.1 对于无杆锚，为锚的实际总质量；

.2 对于有杆锚，为不包括横杆的锚的实际质量；

.3 对于大抓力锚，名义质量等于锚的实际质量的 1.33 倍。除非另有协议，否则系泊锚的质量也同样计算。

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

锚的拉力试验负荷 **表** 11.1.3.3

锚的质量 m_a kg	拉力试验负荷 Q kN	锚的质量 m_a kg	拉力试验负荷 Q kN	锚的质量 m_a kg	拉力试验负荷 Q kN
50	23.2	500	116.0	1800	335.0
55	25.2	550	125.0	2000	349.0
60	27.1	600	132.0	2100	362.0
65	28.9	650	140.0	2200	376.0
70	30.7	700	149.0	2300	388.0
75	32.4	750	158.0	2400	401.0
80	33.9	800	166.0	2500	414.0
90	36.3	850	175.0	2600	427.0
100	39.1	900	182.0	2700	438.0
120	44.3	950	191.0	2800	450.0
140	49.0	1000	199.0	2900	462.0
160	53.3	1000	199.0	3000	474.0
180	57.4	1050	208.0	3100	484.0
200	61.3	1100	216.0	3200	495.0
225	65.8	1150	224.0	3300	506.0
250	70.4	1200	231.0	3400	517.0
275	79.5	1250	239.0	3500	528.0
300	84.1	1300	247.0	3600	537.0
350	88.8	1350	255.0	3700	547.0
375	93.4	1400	262.0	3800	557.0
400	97.9	1450	270.0	3900	567.0
425	103.0	1500	278.0	4000	577.0
450	107.0	1600	292.0	4100	586.0
475	112.0	1700	307.0	4200	595.0
注：如锚的质量为中间值时，其拉力试验负荷可由内插法确定。					

11.1.4 **抓力试验**

11.1.4.1 新设计的锚，凡申请认可作为大抓力锚，应在海上进行试验，以证实该锚的拉力为其质量相同的无杆锚抓力的 2 倍以上；

11.1.4.2 如果设计大抓力锚系列，至少应选取两种规格的锚在海上进行抓力试验；

11.1.4.3 试验应在不少于三种不同类型的海底进行。通常应为软泥或淤泥、砂或砾石、坚硬的粘土或类似坚实的底质；

11.1.4.4 试验通常可由拖轮进行拖拉，并以测力计测定抓力。试验时，被试验的锚和用于比较的无杆锚应采用相同长度的锚链。锚链的长度应不小于锚链筒口至海底垂直距离的六倍，但建议锚链长度为锚链筒口至海底垂直距离的 10 倍。试验时亦可用钢丝绳代替锚链。

11.1.4.5　大抓力锚的设计应保证当锚从普通型式锚链筒中抛落时，无论其落在海底的原始角度或位置如何，都能在短时间内使锚爪有效地抓住海底，且抓力达到本篇 11.1.4.1 的要求。对此如有怀疑时，可要求验证。

第 2 节　　锚链及其附件

11.2.1　适用范围

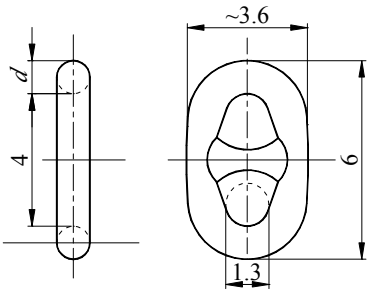
11.2.1.1　本节规定适用于轧制的圆钢、锻钢和铸钢制成的有档锚链及其附件。如采用无档短环链，可按船舶检验机构承认的机构认可的有关标准。

11.2.1.2　锚链根据其抗拉强度，分 AM1、AM2、AM3 三个等级。

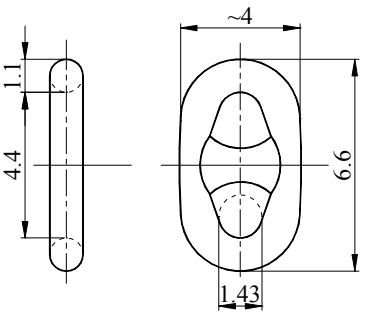
11.2.2　制造

11.2.2.1　所有用于制造锚链及其附件的材料应由船舶检验机构承认的机构认可的制造厂提供。

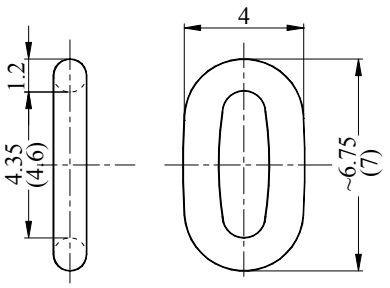
11.2.2.2　锚链及其附件应按公认的标准制造，其典型的结构见图 11.2.2.2(1)～11.2.2.2(7)，图中数字为链径 d 的倍数。每节锚链的链环数应为奇数。对不同于上述图中所规定结构和焊接方法的附件，应将其尺寸、制造方法及热处理规程的全部图纸及工艺提交船舶检验机构承认的机构认可。



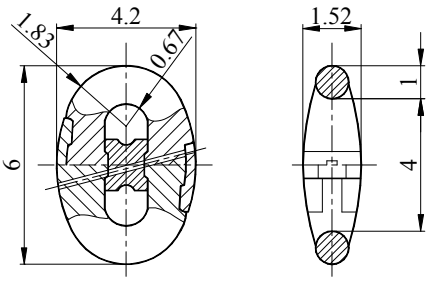
(1)普通链环



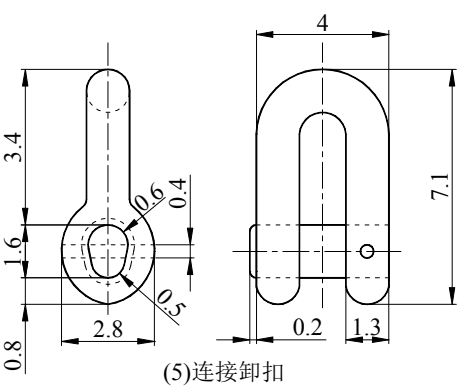
(2)加大链环



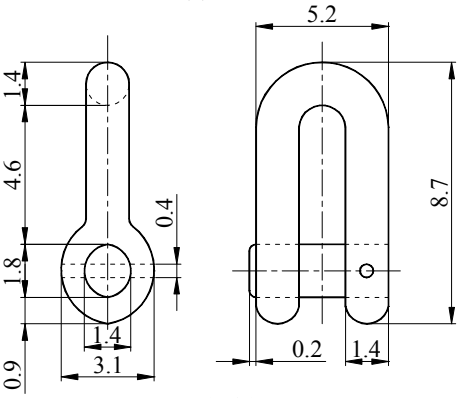
(3)末端链环



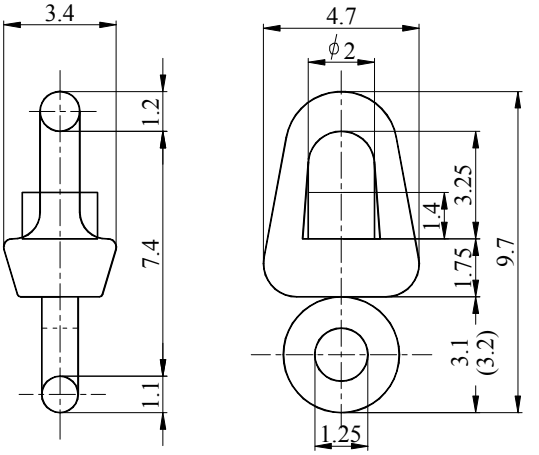
(4)肯特卸扣



(5)连接卸扣



(6)末端卸扣



(7)转环

图 11.2.2.2　锚链及其附件图

11.2.2.3　有档锚链应尽量采用闪光对接焊制造，锚链允许用落锻或浇铸的方法制造。对公称直径小于或等于 26mm 的无档链，根据要求也可采用电阻对接焊。

11.2.2.4　锚链附件，如卸扣、转环和转动卸扣等至少应采用不低于 AM2 级锚链所用的钢材，采用锻造或铸造方法制造。如采用焊接方法制造，应经船舶检验机构特别认可。

11.2.2.5　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，横档的两端与链环之间应无肉眼可见的缝隙；

.2　应尽量在平焊位置，由合格的焊工用合适的材料进行焊接；

.3　所有的焊接作业应在锚链最后热处理前进行；

.4　焊后应无影响锚链使用性能的缺陷。对咬边、端部弧坑和类似的缺陷应采用打磨的方法予以去除；

.5　对横档的焊接，可要求进行焊接方法的试验。

11.2.3　表面质量

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

11.2.3.2　小的表面缺陷，可采用打磨方法予以清除，但打磨后的链径应不小于按公差范围所允许的尺寸(见本篇 11.2.4.2)，且打磨部位与其周围的表面应平顺过渡，同时对远离链冠部位的打磨深度允许放宽，但不应超过公称链径的 5%。

11.2.3.3　如需对缺陷进行焊补，应将有关焊补工艺规程提交船舶检验机构承认的机构认可。链冠处不允许焊补。

11.2.4　尺寸和公差范围

11.2.4.1　锚链及其附件的结构尺寸，应符合认可的有关标准，典型的结构尺寸见本篇图 11.2.2.2(1)～11.2.2.2(7)。

11.2.4.2　链环应符合下列尺寸公差:

.1　链径的尺寸公差(d为公称链径):

$d \leq 40$mm:　　－1mm

40mm＜$d \leq 84$mm:　　－2mm

84mm＜$d \leq 122$mm:　　－3mm

$d > 122$mm:　　－4mm

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

.2　每五个链环组成的长度的制造公差为 0%～+2.5%(在锚链的拉力试验后测量)；

.3　在锚链的所有零件相互适配的情况下，锚链的其它所有尺寸的制造公差均为±2.5%；

.4　横档应处于链环的中心位置，并与链环的两侧保持垂直。若横档具有良好的配合，且横档两端与链环内侧没有间隙(按图 9.2.4.2.4 进行测量)，则允许存在不超过下列要求的制造公差:

（1）　相对中心位置的最大偏差 X=(A－a)/2 为公称尺寸的 10%；

（2）　相对 90°位置的角度偏差≤4°。

为了便于拆装连接卸扣，每节锚链两端的加大链环的横档可不位于链环的中心位置。

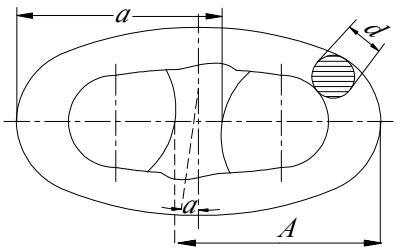


图 11.2.4.2.4　锚链横档位置图

11.2.4.3　锚链附件尺寸公差应不超过下列值：

公称直径:(0～+5)%；

其它直径:±2.5%。

11.2.5　焊接锚链用材料

11.2.5.1　拟制造锚链的锚链圆钢应符合本篇第 3 章第 1 节的有关规定。

11.2.5.2　圆钢的脱氧方法和桶样化学成分应符合表 11.2.5.2 的规定。

锚链圆钢的脱氧方法和桶样化学成分　　表 11.2.5.2

锚链等级	锚链圆钢等级	脱氧方法	化学成分，%					
			C	Si	Mn	P	S	Al[注2]
AM1	一级锚链钢	镇静	≤0.20	0.15～0.35	≥0.40	≤0.040	≤0.040	—
AM2[注1]	二级锚链钢	镇静细晶处理	≤0.24	0.15～0.55	≤1.6	≤0.035	≤0.035	≥0.020
AM3	三级锚链钢	镇静细晶处理	应符合船舶检验机构接受的标准					
注 1：经船舶检验机构同意，可添加合金元素。 注 2：系指铝的总含量。铝可部分由其他细精粒元素代替。								

11.2.5.3　圆钢应以同一炉号、同一直径，质量为 40t 或不足 40t 为一批，按批提交试验。从每批提交试验的圆钢中，任意截取一段长度适当的试件。取样前，试件应进行与成品锚链相同的热处理。

11.2.5.4　对所有等级的锚链钢均应从所选定的试件上切取一个拉伸试样，对二级锚链钢还应从同一试件上切取一组三个夏比 V 型缺口冲击试样。拉伸和冲击试验的试样应沿圆钢的纵向截取，且位于距圆钢表面 1/6 直径处，对直径较小的圆钢应尽可能靠近这个位置，如图 11.2.5.4 所示。

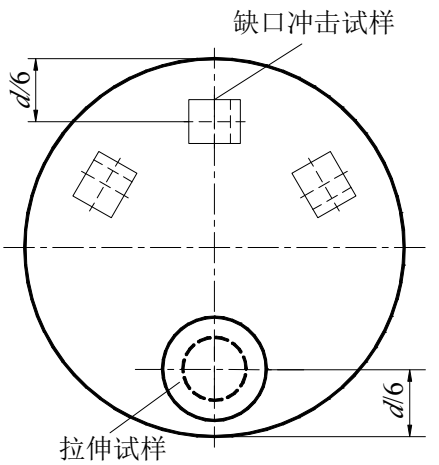


图 11.2.5.4　锚链钢拉伸和冲击试验试样

11.2.5.5　试样的制备和尺寸应符合本篇第 2 章的有关规定，拉伸试验和冲击试验的结果应符合表

11.2.5.5 的规定。

锚链、附件及锚链材料的力学性能 **表 11.2.5.5**

锚链或附件等级	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa	抗拉强度 R_m 不小于，MPa	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，J
AM1	—	370～490	≥25	—	—	— —
AM2	≥295	490～690	≥22	—	0	≥27 注 1
AM3	≥410	≥690	≥17	≥40	0（-20）注 2	≥60（35）

注 1：若 AM2 级锚链或附件以热处理状态交货，其冲击试验可予免除。
注 2：AM3 级锚链钢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。

11.2.6 锻造锚链用材料

11.2.6.1 除本节另有规定外，用于锻造锚链和附件的锻钢材料，应符合本篇第 4 章第 1 节的有关规定。

11.2.6.2 锻钢的化学成分应符合船舶检验机构承认的机构认可的技术条件，制造厂应测定每炉钢的化学成分，并出具相应的证明书。

11.2.6.3 锻件应根据相应锚链和附件的等级进行正火或淬火加回火处理。

11.2.6.4 具有同一炉罐号、同一热处理规程和尺寸相近的锻件，可进行批量试验。批量试验时，可取其中一个锻件试件或采用单独锻成的锻件作为试件，至少应从每批锻件中取一个拉伸试样和一组三个夏比 V 型缺口冲击试样进行拉伸和冲击试验。从试件上截取试样的部位，应符合本篇图 11.2.5.4 的规定。

11.2.6.5 锻钢件的拉伸试验和冲击试验结果应符合本篇表 11.2.5.5 中对锚链或附件的规定。

11.2.7 铸造锚链用材料

11.2.7.1 除本节另有规定外，用于铸造锚链和附件的铸钢的制造和试验，应符合本篇第 5 章第 1 节的有关规定。

11.2.7.2 铸钢的化学成分应符合认可的条件，制造厂应测定每炉钢的化学成分，并出具相应的证明书。

11.2.7.3 所有铸钢件应根据相应锚链和附件的等级进行正火或淬火加回火处理。

11.2.7.4 具有同一炉罐号、同一热处理规程和尺寸相近的铸件，可进行批量试验。批量试验时，可取其中一个铸件作为试件或采用同样造型材料与铸件同时浇铸出铸件作为试件。从每批铸件中至少应取一个拉伸试样和一组三个夏比 V 型缺口冲击试样进行拉伸和冲击试验。从试件上截取试样的部位，应符合本篇图 11.2.5.4 的规定。

11.2.7.5 铸钢件的拉伸试验和冲击试验的结果应符合本篇表 11.2.5.5 中对 AM2 锚链或附件的规定。

11.2.8 链档材料

11.2.8.1 链档应采用相当于锚链钢的材料制成(如低含碳量的轧制钢、铸钢或锻钢)。不允许采用灰铸铁或球墨铸铁等材料。

11.2.9 成品锚链和附件的交货状态

11.2.9.1 锚链或附件应根据其等级按表 11.2.9.1 规定的热处理状态交货。热处理应在锚链或附件制造完工后且未进行拉力试验和拉断试验之前进行。

锚链的交货状态 **表 11.2.9.1**

锚链或附件等级	锚链	附件
AM1	焊态或正火	不适用
AM2	焊态或正火[注]	正火
AM3	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：当 AM2 锚链以锻的方法制造时，则应进行正火处理。		

11.2.10 **成品锚链的试验**

11.2.10.1 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拉断试验。为此不可在锚链上涂油漆或防腐涂料。

11.2.10.2 拉力试验:每节锚链(27.5m)应在经认可的试验机上按表 11.2.10.2 中相应等级锚链所规定的拉力负荷进行试验。当卸除负荷后，应对每节锚链包括其尺寸进行试验，不应有明显的缺陷，且永久伸长应不超过原始长度的 5%。

11.2.10.3 破断试验: 验船师应从每批不超过四节的锚链中选取任一节锚链，割取不少于 3 个链环的试样，并按本篇表 11.2.10.2 规定的拉断负荷进行试验。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。试验链环应在验船师在场的情况下从锚链上取下。如果试验机的拉力不足以供大链径的锚链作拉断试验，则应与船舶检验机构协商采用其它等效的方法进行试验。如果施加所规定的负荷之后，试样未出现破断现象，则认为试样已通过该项试验。

锚链的拉力和破断试验负荷 **表 11.2.10.2**

试验载荷	AM1	AM2	AM3
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	$0.00981d^2(44-0.08d)$	$0.01373d^2(44-0.08d)$	$0.01961d^2(44-0.08d)$

11.2.10.4 复试:如果拉断试验不符合要求，则可以在同一节锚链上再取一个试样进行试验，如能符合要求，则认为试验合格。如果复试仍不合格，则该节锚链应判为不合格。但可根据制造厂的要求，将其余三节锚链分别作拉断试验，如果其中一个试验结果不符合要求，则三节锚链全部不合格。如果拉力试验不符合要求，可用经热处理的新链环换下有缺陷的链环，再重新作拉力试验。此外，还应找出试验失败的原因。

11.2.10.5 AM2 和 AM3 级锚链应以每 4 节焊接锚链为一批；对铸造或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 11.2.8.5-1 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。为了取样，在一节锚链上应有一个附加的链环(如链环较小，应准备几个附加链环)，该节锚链不再截取拉断试验试样。试验链环应与该节锚链一起制造和热处理。

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篇表 11.2.8.5-2 的规定。

完工锚链和附件的力学性能试验取样数量 **表11.2.10.5-1**

锚链等级	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

AM1	闪光对接焊	焊接、正火	不要求	不要求	不要求
AM2	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	3 注	不适用
AM3	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： 仅适用于附件。					

完工锚链、附件及锚链材料的力学性能　　表 11.2.10.5-2

锚链或附件等级	屈服强度 R_{eH} 不小于，MPa	抗拉强度 R_m 不小于，MPa	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，J	
						母材	焊缝
AM2	≥295	490～690	≥22	—	0	≥27	≥27
AM3	≥410	≥690	≥17	≥40	0（-20）注1	≥60（35）	≥50（27）
注 1：AM3 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。							

链环力学性能不合格者，可在进行热处理后重新取样，复试一次后，如仍不合格，则该节锚链应判为不合格。

11.2.11　**锚链附件的试验**

11.2.11.1　拉力试验：所有的附件应按本篇表 11.2.10.2 规定的相应锚链的拉力负荷进行拉力试验。

11.2.11.2　拉断试验:对由 25 个或不足 25 个卸扣、转环、旋转卸扣、加大链环和末端链环组成的每个制造批量(炉罐号、链径和热处理相同)应取一个附件作拉断试验试样；而对由 50 个或不足 50 个连接链环组成的每个制造批量应取一个链环作为试样，按本篇表 11.2.10.2 所规定的拉断负荷进行拉断试验。凡做过试验的附件不可再使用。

11.2.11.3　凡同时符合下列条件者，可同意免作拉断试验:

.1　对相同结构附件进行认可试验时，其拉断负荷已被验证者；

.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。

11.2.11.4　凡按规定的拉断负荷作过试验合格的附件，如果其所用材料的抗拉强度高于规定的等级，或附件的尺寸足以承受试验时拉断负荷 1.4 倍的拉断负荷，则可同意该附件继续使用。

第 3 节　　钢丝绳

11.3.1　**适用范围**

11.3.1.1　本节规定适用于作系船索、拖索和尾锚索的钢丝绳。

11.3.2　**制造**

11.3.2.1　钢丝绳的结构型式一般应符合表 11.3.2.1 的规定，但亦可采用船舶检验机构承认的机构认可的

其它标准，或采用破断负荷相当、与用途相适应的其它结构型式。

钢丝绳的结构型式　　表 11.3.2.1

用途	钢丝绳规格			钢丝绳结构					
	股数	钢丝数	股芯	股芯	内芯丝	内层	中层	外层	分层记号
尾锚索 拖索 系船索	6	24	纤维	纤维	0	—	9	15	6(0+9+15)
	6	37	纤维	钢丝	1	6	12	18	6(1+6+12+18)
	6	26	纤维	钢丝	1	5	(5+5)	10	$6(1+5+\frac{5}{5}+10)$
	6	31	纤维	钢丝	1	6	(6+6)	12	$6(1+5+\frac{6}{6}+10)$
	6	36	纤维	钢丝	1	7	(7+7)	14	$6(1+5+\frac{7}{7}+10)$
	6	41	纤维	钢丝	1	8	(8+8)	16	$6(1+5+\frac{8}{8}+10)$
	6	30	纤维	纤维	0	—	12	18	6(0+12+18)
与绞车配合的拖索和系船索	6	31	钢丝	钢丝	1	6	6+6	12	$6(1+6+\frac{6}{6}+12)$
	6	36	钢丝	钢丝	1	7	7+7	14	$6(1+7+\frac{7}{7}+14)$
	6	41	钢丝	钢丝	1	8	8+8	16	$6(1+8+\frac{8}{8}+16)$

11.3.3　钢丝

11.3.3.1　制造钢丝绳用的钢丝，应采用优质碳素结构钢，其磷、硫含量应不大于 0.035%，其它元素的含量应符合认可的有关标准。由钢材冷拔拉制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绳性能的缺陷。

11.3.3.2　钢丝的抗拉强度一般应在 1420MPa～1570MPa 或 1770MPa～1960MPa 的范围内。

11.3.3.3　钢丝绳应采用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。镀层可分为下列三级：

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。

11.3.4　试样与试验

11.3.4.1　应从成品钢丝绳中截下适当的长度并将其捻开和校直后，从中任选六根钢丝作为试样，进行扭转和卷绕试验，用以检验钢丝镀锌层的粘着程度。此外，还应对镀锌层的含锌质量和均匀性进行试验。以上试验也可以在钢丝绳捻成之前的钢丝中，选取所需数量进行试验。

11.3.4.2　扭转试验应符合下述规定:

.1　试样在夹头间的长度应为钢丝直径的 100 倍或 300mm，取较小者；

.2　钢丝在扭转试验机上，用夹具夹住两端，使其扭转，直至断裂为止。为了保持钢丝始终呈伸展状态，可在夹具上施加不超过 2%的钢丝破断负荷的拉力；

.3　试验机的转速和扭转次数应分别符合表 11.3.4.2.3-1 和 11.3.4.2.3-2 的规定。

钢丝扭转试验的最大扭转速度　　表 11.3.4.2.3-1

蹬锌钢丝直径 d，mm	最大扭转速度，次/min
d<1.5	90
1.5≤d<3.0	60

3.0≤d<4.0	30

钢丝扭转试验的最小扭转次数 **表 11.3.4.2.3-2**

镀锌钢丝直径 d，mm	最小扭转次数			
	2 级镀锌层		1 级或 3 级镀锌层	
	捻制前试验	捻制后试验	捻制前试验	捻制后试验
d<1.3	15	13	27	24
1.3≤d<2.3	15	13	26	23
2.3≤d<3.0	14	12	23	20
3.0≤d<4.0	12	10	21	18

11.3.4.3 镀层试验

钢丝绳应镀锌。锌的镀层厚度是按每单位面积上的镀锌层质量测定的，其最小值应不低于表 11.3.4.3 的规定，镀锌层质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，测定脱锌后钢丝的质量损失量来确定镀锌层的质量。镀锌层的均匀性应按公认的标准采用浸液试验来测定。

钢丝镀锌层质量 **表 11.3.4.3**

镀锌钢丝直径 d，mm	单位面积镀锌层的质量最小值，g/mm^2	
	1 级或 2 级	3 级
0.4≤d<0.5	75	40
0.5≤d<0.6	90	50
0.6≤d<0.8	110	60
0.8≤d<1.0	130	70
1.0≤d<1.2	150	80
1.2≤d<1.5	165	90
1.5≤d<1.9	180	100
1.9≤d<2.5	205	110
2.5≤d<3.2	230	125
3.2≤d<4.0	250	135

11.3.4.4 卷绕试验

镀锌层的粘着力应通过卷绕试验予以检验。将钢丝在圆柱体上卷绕 10 整圈后，镀层如不出现起皮、剥落和开裂现象，即为合格。每种规格的钢丝至少要取五根进行试验，且钢丝直径与圆柱体直径之比应符合表 11.3.4.4 的规定。

钢丝卷绕试验规定 **表 11.3.4.4**

镀锌层	镀锌钢丝直径，mm	钢丝直径与圆柱体直径之比
1 级或 2 级	<1.5	1:4
	≥1.5	1:6
3 级	<1.5	1:2
	≥1.5	1:3

11.3.4.5 成品钢丝绳的破断试验

.1 凡是制造长度在 10 000m 以下的钢丝绳，应从每根钢丝绳的端头截取一段作破断试验。试样在夹头间的净试验长度至少应为索径的 36 倍。如果制造长度超过 10 000m 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负荷增加的速度。开始可快速加载，当试验负荷达到钢丝绳公称破断负荷的 4/5 时，试验负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负荷。若钢丝绳破断时，其破断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负荷小于公认的标准所规定的最小值，则该试验结果应判为不合格；

.3 若因设备条件的限制不能以完整钢丝绳进行试验时，可采用单根钢丝试验，则钢丝绳破断负荷为单根钢丝的破断拉力乘以钢丝的总数，再乘以表 11.3.4.5.3 中所列换算系数而求得。

单根钢丝试验换算系数 **表** 11.3.4.5.3

钢丝绳规格	换算系数
6×24	0.87
6×37	0.825
注：其他规格钢丝绳的换算系数可参照认可的其他标准中的有关规定。	

第 4 节 纤维绳

11.4.1 适用范围

11.4.1.1 本节规定适用于系船索和拖船用的植物纤维绳和合成纤维绳。

11.4.2 制造

11.4.2.1 纤维绳可用植物纤维(椰子壳纤维、大麻、马尼拉麻或龙舌兰麻)制成，也可用化学合成(人造)纤维(聚酰胺、聚酯和聚丙烯)制成。若采用其它材料，应经船舶检验机构同意。

11.4.2.2 船用纤维绳的结构形式应符合船舶检验机构承认的机构认可的有关标准。根据纤维绳的材料和类型，其结构形式可以为 3 股、4 股、6 股、8 股和 12 股，也可以考虑其它结构形式。

11.4.3 材料

11.4.3.1 制造纤维绳的材料应质地良好，材质均匀，耐腐蚀，并应符合认可的有关标准。索内不应加入任何填料和增加其质量的物质。植物纤维中任何浸渍润滑剂的用量应减至最小值，任何防腐和防水措施均不应对植物纤维造成危害。上述各种措施，均不可造成增加索的质量，降低其强度和缩短其使用寿命。

11.4.4 破断试验

11.4.4.1 在成品纤维绳中截取试样，其试验长度和初始负荷可按表 11.4.4.2 的规定。施加初始负荷后，校验试样的直径是否符合名义尺寸和搓捻均匀度，然后将试样按表 11.4.4.2 所规定的应变率，均匀增加负荷，直至断裂。其实际破断拉力，应不小于船舶检验机构承认的机构认可的有关标准中所规定的值。11.4.4.2 试验时，若索的断裂位置在距夹具 150mm 范围之内，可重新取样复试，但每卷纤维绳的破断试验应不超过两次。若试样在被夹持部位或捻接部位发生断裂，而其试验结果已达到对纤维绳规定的最大破断负荷的 90%以上时，则可认为该试验是合格的。

纤维破断试验参数 **表** 11.4.4.2

材料	试样在夹具间的最小自由长度，mm	初始负荷/最小破断负荷，%	应变率，mm/min
植物纤维	1800	2	150±50

合成纤维	900	1	75±25