

中国造船工程学会

人才与教育学术委员会教材建设学组推荐

船舶工人培训丛书

CHUANBO GONGREN PEIXUN CONGSHU

船体冷加工工艺学 (中级)

主编 刁玉峰

船舶工业教材编审室审

哈尔滨工程大学出版社



中国造船工程学会
人才与教育学术委员会教材建设学组推荐

船体冷加工工艺学

(中 级)

主编 刁玉峰

船舶工业教材编审室审

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书主要介绍钢质船舶体材料,型钢的矫正,钢材的断截,型钢的冷弯曲,钢板的矫正,船体板材的冷加工机械设备,钢板的压制与辊制,船壳板的加工、薄板壳体的加工,搬运及整理的一般知识,搬运作业,整理作业等内容。

本书作为船厂中级冷加工的技能培训教材,亦可供船厂的技术人员和技术工人在修造各类船舶时参考。

图书在版编目(CIP)数据

船体冷加工工艺学:中级/刁玉峰主编.—哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2006.10
ISBN 7-81073-807-0

I.船… II.刁… III.船体-冷加工-工艺学
IV.U671.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 122175 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451-82519328
传 真 0451-82519699
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
开 本 787mm×1 092mm 1/16
印 张 6.5
字 数 151 千字
版 次 2006 年 10 月第 1 版
印 次 2006 年 10 月第 1 次印刷
印 数 1—2 000 册
定 价 13.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

本教材的编写是以国际、国内和行业的法规、规则及标准为依据,以职业岗位的需要为出发点,始终围绕职业教育的特点,具有较强的针对性和实用性。教材较好地贯彻了“以全面素质为基础,以能力为本位”的教育教学指导思想,结合培养受教育者的创新精神、职业道德等方面的要求,提出教学目标组织教学内容。在内容的编写上以“必须和够用”为原则,紧扣大纲,深度广度适中,体现了理论和实践的结合,强化了技能训练的力度。

本教材是船舶制造专业船体冷加工中级工的培训教材,也适用于船厂船体专业职工的自学。

参加本书编写工作的有:渤海船舶职业学院刁玉峰(编写第二、三、四章)、刘旭(编写第一章)。全书由刁玉峰担任主编,渤海船舶职业学院彭辉教授担任主审。

限于编者的经历及水平,教材内容很难覆盖全国各地的实际情况,希望广大读者提出修改意见和建议,以便再版修订时改正。

编 者

2005 年 12 月

目 录

第一章 型钢的冷加工	1
第一节 钢质船船体材料	1
第二节 型钢的矫正	11
第三节 钢材的断截	20
第四节 型钢的冷弯曲	32
第二章 板材的冷加工	40
第一节 钢板的矫正	40
第二节 船体板材的冷加工机械设备	43
第三节 钢板的轧制与辊制	49
第四节 船壳板的加工	60
第五节 双曲度船壳板的加工	66
第六节 薄板壳体的加工	72
第三章 搬运及整理	74
第一节 搬运及整理的一般知识	74
第二节 搬运作业	76
第三节 整理作业	86
附录 船体常用型钢的规格和质量	89
参考文献	97

第一章 型钢的冷加工

船体构件的加工方法,按加工时钢材的温度情况可分为冷加工和热加工两大类。冷加工是常温下利用外力作用于钢材上,使之产生断裂或塑性变形而达到加工工件的目的。

冷加工相对于热加工具有三个优点:

- 1.改善劳动强度、操作条件和环境污染;
- 2.加快加工速度,提高劳动生产率;
- 3.减少辅助设备与燃料,降低生产成本。

第一节 钢质船船体材料

船舶按船体材料可分为钢质船、木质船、水泥船、玻璃钢船、铝合金船等。这些船中,数量最多、吨位最大的是钢质船。

一、船体结构钢的性能简介

船体材料的主要性能有强度与塑性、冲击韧性、耐海水腐蚀性能、冷热弯曲工艺性能、可焊性等。由于材料合金成分不同,主要性能也不相同。以下主要叙述船体结构钢的各种主要性能。

1. 强度与塑性

强度是指屈服强度 σ_s 或条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$, 及抗拉强度 σ_b ; 塑性是指伸长率 δ 及断面收缩率 ψ 。屈服强度表征钢材对微量宏观变形的抗力。当有明显物理屈服现象时,一般指下屈服点或屈服平台。如果没有明显屈服现象,则指条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 。抗拉强度标志钢材对最大均匀塑性变形的抗力。由于抗拉强度是试样所承受的最大载荷与试样原始截面积的比值,所以它并不是钢材可以承受的最大真实应力。在一般情况下,测定钢材的抗拉强度比测定屈服强度更方便、准确,特别是对物理屈服现象不明显的钢材。但在目前的使用方面,屈服强度还是比抗拉强度更为广泛。因为从设计角度并不希望结构在使用时产生塑性变形或较大的变形。但随着弹塑性理论的发展,将来抗拉强度在设计中的地位可能会提高。

屈强比 σ_s/σ_b 与钢的屈服强度及形变强化性能有关。随着钢材的屈服强度的提高,屈强比也逐渐增加。当钢的屈服强度超过 980 N/mm^2 时,有的屈强比竟高达 0.95 以上。由于目前结构设计的应力水平都处于弹性应力范围,因此,在一般使用条件下,可以不必考虑屈强比对船体安全的影响。但是屈强比在船舶结构承受塑性过载的情况下,还是有意义的。塑性过载是指船体因冲撞触礁或战时遭受爆炸冲击波的攻击而发生部分结构的过载现象,这时,结构和材料将发生较大的塑性变形。钢材的屈强比越小,延缓结构损坏过程的潜力越大。

伸长率和断面收缩率表征钢材的宏观塑性,并显示钢材的冶金质量,是钢材加工工艺性能的重要指标。一般塑性良好的钢材能顺利地进行冷弯、折边等冷加工成形,对减缓船体结构在建造和使用过程中产生的高应力集中有重要的意义,它通过钢材的塑性变形使结构应

力重新分布,从而消除或减低结构的应力集中。

2. 冲击韧性

冲击韧性是指钢材抗冲击荷载的能力。钢材发生脆性破坏时的名义应力通常接近或低于钢材的屈服强度,甚至低于结构的设计应力,因此只满足强度和塑性要求的钢材还不能防止脆性破坏。钢板的脆性断口大致与钢板表面垂直,断口表面齐平,可以看到断口两边有很薄的剪断缘,中间呈清晰的鱼骨状花纹。借助花纹的方向可以查到发生破坏的起源点。在小型试样上的脆性破坏断口是结晶颗粒状的,并能反射出耀眼的光泽,因此也称为晶状断口。

影响钢材韧性的因素很多,有冶金因素、温度、缺口、载荷速度、尺寸效应等。冶金因素中主要的是化学成分,此外冷热变形、热处理等都有影响。较低的温度、尖锐的缺口、高速度载荷都会降低钢材的韧性。

3. 耐海水腐蚀性能

一切钢质船舶的船体以及接触海水的钢制设备都会遭到海水的腐蚀。到目前为止,船体的防腐主要不是依靠钢材本身的耐海水腐蚀性能,而是依靠涂层保护、电化学保护(包括牺牲阳极保护、外加电流阴极保护)等方法。但这并不意味着钢材本身的耐腐蚀性能无足轻重,用耐海水腐蚀性能好的材料建造的船体,使用、维修保养都比较方便,所以寻找耐腐蚀性能好的钢材也还是一项有意义的工作。

船体钢材的耐海水腐蚀性能试验方法分室内试验、海港试验和实船试验三大类。室内试验的特点是腐蚀速度快,试验周期短,影响因素容易控制,重现性较好。主要方法有盐雾试验、全浸试验及间浸试验。海港试验在海港的天然海洋条件下进行,试验结果比室内试验可靠,但其试验周期长,所以多用于鉴定已定型的钢种和实际构件的耐海水腐蚀性能。海港试验有浮筏试验、深海试验、流动海水腐蚀试验、海洋大气腐蚀试验等。实船试验即在船舶航行条件下进行的各种防腐防污性能试验。这时的试验样品是用被试验钢材制成的小船或模型,也可以作挂片试验。实船试验能比较全面地反映钢材在使用条件下的耐海水腐蚀性能。

4. 冷热弯曲工艺性能

冷热弯曲是船体建造中使用最普遍的钢材加工方法之一。冷弯工艺是指钢材再结晶温度以下进行的弯曲工艺。要求钢材具有适应冷弯工艺的性能,即在弯曲后构件的表面不产生裂纹,钢材的力学性能也不允许有大幅度的下降。冷弯试验的目的是检验钢材在弯曲加工时发生较大塑性变形的能力,并检查钢的冶金质量(如有无夹层、严重夹杂)和钢材表面质量。冷弯试样宽度与厚度之比(b/a)影响试样弯曲时的力学约束条件,从而影响试验结果。试验表明, $b/a = 7$ 的大宽厚比试样中央部分呈三向应力即平面应变状态,在变形最大最易产生裂纹的拉伸区,三个主应力中有两个拉应力,一个压应力。二个主应变为一个拉应变,一个压应变。因此条件比小宽厚比试样严格得多。船厂弯制构件的钢板都比较宽大,因此,只有大宽厚比试样($b/a = 7$)的试验结果才能较正确地反映钢材的冷弯工艺性能。热弯工艺性能是要求钢材适应火工矫正、水火矫正、水火弯板等工艺的性能,也可以说怎样的工艺参数对该种钢材是最适合的。

5. 可焊性

可焊性是指材料在一定结构和焊接条件下,获得优质焊接接头的可能性。因为焊接接头性能中包含焊接材料的因素,所以解决某种材料的可焊性问题,除了鉴定材料经焊接后各种性能的变化程度以外,还有选用或研究焊接材料的问题。由于新的焊接方法的发展,使可

焊性的含义也有了改变,即由原来的可不可以焊接改变为现在的含义,因为不作结构和焊接条件的规定,实际上几乎任何材料都是可焊的。船体结构零件成千上万,它们之间的连接都是焊接,工作量很大,工作条件也比较差,为了提高造船质量、缩短建造周期,必须推广拼板用单面焊双面成型技术,曲面分段外板对接推广使用黏贴式单面衬垫焊技术,增加 SG—2 垂直自动焊数量。

二、对船体材料的要求

对船体材料的要求,主要是在保证获得船舶的各种使用性能方面、在现代造船生产条件下船舶顺利建造方面、保证船舶使用安全可靠方面,从材料角度应该进一步努力提高的地方。例如前述的强度、塑性、韧性、耐疲劳性能、耐海水及海洋大气腐蚀性能、可焊性、冷热加工工艺性能等。此外由于船体材料用量较大,材料的供应应立足国内,且有较便宜的价格。

1. 强度

目前强度一般是以 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 为准,但对 σ_b 也有要求,即屈强比。

提高船体材料的屈服强度可以减小船体构件的横断面积,减轻船体质量,有利于提高船舶的使用性能,但对一定种类的船舶来说,并不是被选用材料的强度越高越好。首先是材料本身的特性,往往是强度高了会引起其他性能的降低。这些其他性能虽然不直接参加设计计算,但它们的重要性是不可忽视的。其次是选用过高强度的材料也是一种浪费。

对船体材料的强度不但有不低于某个数值的要求,还有不高于某个数值的要求,这就是要求强度应该处于某一范围内。

2. 塑性

塑性是材料的塑性变形能力,以伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。从某种意义上说,塑性可以反映材料的冶金质量。在满足强度要求的前提下,塑性越高越好。

3. 韧性

韧性是材料抗脆性破坏能力,一般是以破坏时试样吸收的功、试样断口纤维量等与温度变化的关系曲线来表示。由于船舶的脆性破坏事故经常发生,所以自第二次世界大战以来对材料韧性的重视程度越来越高,特别是船舶向大型化、超大型化发展,用做船体结构的钢板越来越厚,从而更显得韧性的重要。它的重要性并不亚于强度。

4. 耐疲劳性能

对于潜艇与大部分水面船舶的壳体材料来说,主要是要求高应力低频率的低周疲劳性能;而对快艇材料来说,则主要是要求低应力高频疲劳性能。耐疲劳性能当然是越高越好。

5. 耐海水及海洋大气的腐蚀性能

海水及海洋大气是船体材料接触到的重要腐蚀介质。虽然船体防腐问题主要不是靠船体材料的耐腐蚀性能来解决,但材料的耐腐蚀性是不可忽视的。

6. 可焊性

自从采用焊接造船以后,就提出可焊性的要求:使用可行的焊接工艺方法,能获得质量良好的焊接接头。

7. 冷热加工工艺性能

船体材料在制造过程中需要经受各种形式的冷热加工,如冷弯、热弯、火工矫正、水火矫正、水火弯板、气割、电弧气刨等等。

综上所述,对船体材料的要求,除强度外,其他要求都是相对的,因此往往出现“不低于

某种材料的某种性能”这样的要求。

三、船体钢

1. 碳素船体结构钢

造船用的碳素钢均为镇静钢,通常以热轧状态供应。其化学成分要求及力学性能要求见表 1-1、1-2。2C、3C、4C 钢化学成分相同,只是所要求的冲击韧性值不同,5C 钢具有更高低温抗冲击值。

表 1-1 船用碳素钢化学成分

钢号		元素含量/%				
牌号	代号	C	Mn	Si	S	P
2 船	2C	≤0.22	0.35 ~ 0.80	0.12 ~ 0.35	≤0.050	≤0.045
3 船	3C	≤0.22	0.35 ~ 0.80	0.12 ~ 0.35	≤0.050	≤0.045
4 船	4C	≤0.22	0.35 ~ 0.80	0.12 ~ 0.35	≤0.050	≤0.045

表 1-2 船用碳素钢力学性能

钢号	σ_s /(N/mm ²)	σ_b /(N/mm ²)	δ_5 /%	α_k /(J/cm ²)	断口纤维 量/%	冷弯	
						b = 2a d = 2a	b = 5a d = 2a
2C	≥23.5	≥411.6	≥23	—	—	180°不裂	—
3C	≥23.5	≥411.6	≥23	≥29.4 (-20℃)	—	180°不裂	120°不裂
4C	≥23.5	≥411.6	≥23	≥29.4 (-20℃)	≥30	180°不裂	120°不裂

碳素船体结构钢的可焊性很好,对焊接工艺的适应性较强,冷热加工也非常方便,但强度较低,韧性也低,故多用于民用船及部分军辅船。

2. 普通低合金钢

用于军用舰艇的普通低合金钢 901、902、903 按专用标准生产供应。

(1)901 钢是以 Mn 为主要合金元素的船体结构钢, $\sigma_s \geq 343 \text{ N/mm}^2$ 。它的化学成分与 16MnC(船)近似。901 钢化学成分及力学性能要求见表 1-3、1-4。

表 1-3 901 钢化学成分

元素	C	Mn	Si	S	P
含量/%	0.12 ~ 0.20	1.30 ~ 1.60	0.40 ~ 0.60	≤0.040	≤0.040

表 1-4 901 钢性能

板 厚 /mm	σ_s /(N/mm ²)	σ_b /(N/mm ²)	δ_5 /%	$\alpha_k(40\text{ }^\circ\text{C})$ /(J/cm ²)	冷 弯 $b=7a$ $d=2a$
4~10	≥ 343	≥ 509.6	≥ 22	—	120°不裂
11~20	≥ 343	≥ 509.6	≥ 22	≥ 29.4	120°不裂
21~32	≥ 333.2	≥ 509.6	≥ 22	≥ 29.4	120°不裂
型钢	≥ 343	≥ 509.6	≥ 22	≥ 29.4	$b=2a$ $d=2a$ 180°不裂

901 钢的热处理状态为热轧或正火。冷热加工工艺性能与焊接性能均良好。在刚性较大的十字接头设计时,应尽量避免采取厚板断焊在薄板上的形式,而采取薄板断焊在厚板上的接头。

(2)902 钢的热处理状态为正火。它以锰钛为主要合金元素,具有良好的韧性和可焊性。与它同一强度等级的有 15MnTiC。

902 钢的化学成分和力学性能要求见表 1-5、1-6。

表 1-5 902 钢化学成分

元素	C	Mn	Si	Ti	S	P
含量/%	0.12~0.18	1.35~1.50	0.30~0.60	0.12~0.20	≤ 0.040	≤ 0.040

表 1-6 902 钢性能

品 种	板厚 /mm	σ_s /(N/mm ²)	σ_b /(N/mm ²)	δ_5 /%	ψ /%	$\alpha_k(40\text{ }^\circ\text{C})$ /(J/cm ²)	断 口	冷 弯 $b=7a$ $d=2a$
钢板	≤ 10	≥ 392	533.5~753	≥ 22	—	—	1) 断口纤维量 $\geq 50\%$	120°不裂
	11~15	≥ 392	533.5~646.8	≥ 22	—	39.2	2) 折断面上不允许有贯穿断面的裂开流线,长度不大于折断面的鲜明开线不得多于四条	120°不裂
	16~32	≥ 392	533.5~646.8	≥ 22	≥ 50	49		120°不裂
型钢	≤ 8	≥ 392	533.5~735	≥ 22	≥ 50	29.4	—	$b=7a$ $d=2a$
	> 8	≥ 392	535.5~646.8	≥ 22	≥ 50	29.4		180°不裂

902 钢的室内腐蚀试验结果见表 1-7。从试验结果看,其耐腐蚀性能不比 4C 钢差。

表 1-7 902 钢的室内腐蚀试验结果

钢 种	腐蚀 方法	平均腐蚀速度/($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)				平均腐蚀深度/(mm/a)			
		48 h	96 h	144 h	192 h	48 h	96 h	144 h	192 h
902	间浸	0.624 4	0.736 7	0.525 6	0.507 6	0.701 3	0.827 4	0.590 3	0.570 1
	全浸	0.125 3	0.122 9	0.130 4	0.138 6	0.138 1	0.146 5	0.155 3	0.155 3
4C	间浸	1.242 1	1.247 1	0.836 6	0.702 1	1.393 4	1.401 4	0.939 1	0.787 5
	全浸	0.136 7	0.122 8	0.130 2	0.144 2	0.153 4	0.137 9	0.146 3	0.162 1

(3)903 钢是锰钒稀土系普通低合金船体结构钢,以正火状态供应。对不超过 5 mm 厚的连轧板,也可以高温回火状态供应。正火的 903 钢具有较高的低温冲击值。钢的冷弯性能与可焊性均良好。903 钢的化学成分及力学性能要求见表 1-8、1-9。

表 1-8 903 钢化学成分

品种及规格	元 素 含 量 /%							
	C	Si	Mn	Ti	V	Re	S	P
连轧板,厚 3~5 mm	0.10~ 0.15	0.30~ 0.60	1.20~ 1.60	0.07~ 0.16	0.03~ 0.09	0.10~ 0.15	≤ 0.030	≤ 0.035
钢板,厚 6~16 mm	0.13~ 0.18	0.30~ 0.60	1.25~ 1.60	0.07~ 0.16	0.03~ 0.09	0.10~ 0.15	≤ 0.030	≤ 0.035
型 钢	0.13~ 0.18	0.30~ 0.60	1.25~ 1.60	0.07~ 0.16	0.03~ 0.09	0.10~ 0.15	≤ 0.030	≤ 0.035

表 1-9 903 钢性能

品 种 及 规 格	σ_s /(N/mm^2)	σ_b /(N/mm^2)	δ_5 /%	$\alpha_k(40^\circ\text{C})$ /(J/cm^2)	断口纤维 量/%	冷 弯 $b=7a$ $d=2a$
钢板,厚 < 10 mm	≥ 441	548.8~686	≥ 20	—	—	120°不裂
钢板,厚 10 mm	≥ 441	548.8~686	≥ 20	—	—	120°不裂
钢板,厚 11~16 mm	≥ 441	548.8~686	≥ 20	34.3	≥ 50	120°不裂
型 钢	≥ 441	548.8~686	≥ 22	≥ 49	≥ 50	$b=2a$ $d=2a$ 180°不裂

以上介绍的 901、902、903 钢,强度比碳素钢高,由于它们属于合金钢的范畴,所以在使用时应该比碳素钢更加注意。例如,在焊马时,如果不遵守有关规定,就会引起马脚裂缝。在水火矫正或水火成形时,如不注意控制温度,就会产生裂缝等等。

这一类的普通低合金钢在我国造船工业中使用较多。军用战斗舰艇都是使用这些钢材制造的。

3. 屈服强度 588 N/mm² 级船体结构钢

这一类钢有 921、904, 是我国潜艇耐压壳体的主要用钢。供应时的热处理状态为调质状态, 即经淬火和高温回火处理。调质结构钢具有较高的屈服强度及优良的综合性能, 这些性能在经过焊接以后还能否保持呢? 经过很多研究以后证明, 只要采取适当的工艺措施, 调质钢的优良性能经焊接后是可以保持的。

(1) 921 钢实际上包括一个完整的系统, 即 921 钢板和球扁钢, 922 钢(厚板)和 923 钢(薄板), 以及与 921 配套使用的 925 锻钢、604 铸钢和 607 铸钢, 当然, 还有相应的焊接材料。

921、922、923 钢的化学成分见表 1-10。

表 1-10 921、922、923 钢的化学成分

钢种	元素含量/%								
	C	Si	Mn	Ni	Mo	V	Cu	S	P
921	0.09 ~ 0.14	0.17 ~ 0.37	0.30 ~ 0.60	2.60 ~ 3.00	0.20 ~ 0.27	0.04 ~ 0.10	—	≤0.030	≤0.035
922	0.09 ~ 0.14	0.17 ~ 0.37	0.30 ~ 0.70	2.20 ~ 2.50	0.20 ~ 0.27	—	0.80 ~ 1.10	≤0.030	≤0.035
923	0.09 ~ 0.14	0.17 ~ 0.37	0.30 ~ 0.70	2.00 ~ 2.30	0.17 ~ 0.25	—	0.80 ~ 1.10	≤0.030	≤0.035

921、922、923 钢板及球扁钢的力学性能见表 1-11、1-12。球扁钢为热轧状态供应, 其性能要求指船厂加工成型并调质热处理后之要求。

表 1-11 921、922、923 钢力学性能

钢种	品种	规格	σ_s /(N/mm ²)	σ_b /(N/mm ²)	δ_5 /%	ψ /%	冷弯 $b=7a$ $d=2a$
921	钢板	厚度 10 ~ 35 mm	≥588	656.6 ~ 833	≥16	≥50	—
	球扁钢	各型号	≥588	656.6 ~ 833	≥16	≥50	—
922	钢板	厚度 36 ~ 70 mm	≥509.6	607.6 ~ 803.6	≥16	≥50	—
923	钢板	厚度 5 ~ 9 mm	≥509.6	607.6 ~ 803.6	≥16	—	120°不裂

表 1-12

品 种	规 格	$\alpha_k/(J/cm^2)$
钢 板	厚度 10~35 mm	≥ 78.4
	厚度 10~35 mm	≥ 107.8
球 扁 钢	各型号	≥ 88.2

与 921 钢配套使用的 925 锻钢、604 铸钢和 607 铸钢的化学成分及力学性能见表 1-13 和表 1-14。

表 1-13 925 锻钢、604 铸钢和 607 铸钢的化学成分

钢种	元素含量/%									
	Cr	C	Si	Mn	Ni	Mo	V	Cu	S	P
925	0.90~ 1.20	0.13~ 0.18	0.17~ 0.37	0.30~ 0.60	2.60~ 3.00	0.20~ 0.27	0.03~ 0.08	—	≤ 0.030	≤ 0.035
604	≤ 0.30	≤ 0.10	0.15~ 0.40	0.60~ 1.00	1.15~ 1.55	—	≤ 0.10	0.80~ 1.20	≤ 0.040	≤ 0.040
607	0.90~ 1.20	0.13~ 0.18	0.17~ 0.35	0.30~ 0.50	2.60~ 3.00	0.20~ 0.27	0.05~ 0.08	—	≤ 0.030	≤ 0.030

表 1-14 925 锻钢、604 铸钢和 607 铸钢力学性能

钢种	最大使用壁厚/mm	供应状态	σ_s $/(N/mm^2)$	σ_b $/(N/mm^2)$	δ_5 /%	ψ /%	α_k $/(J/cm^2)$	断口纤维量/%	冷弯 $b=7a$ $d=2a$
925	120	正火+调质	≥ 509.6	≥ 578.2	—	≥ 40	室温 ≥ 88.2	≥ 80	—
604	250	正火+回火	≥ 327.4	≥ 490	≥ 20	≥ 40	$-40^\circ C \geq 29.4$	—	不裂
		调质	≥ 392	≥ 490	≥ 20	≥ 40	$-40^\circ C \geq 29.4$	—	不裂
607	130	正火+调质	≥ 509.6	≥ 578.2	—	≥ 40	$-40^\circ C \geq 58.8$	≥ 80	—

(2) 904 钢是我国研制的屈服强度 $\geq 588 N/mm^2$ 的钢。904 钢的化学成分和力学性能见表 1-15、1-16, 其力学性能与 921 相同。

表 1-15 904 钢的化学成分

钢种	Cr	C	Si	Mn	Ni	Mo	V	Cu	S	P
含量/%	0.40 ~ 0.80	0.09 ~ 0.14	0.15 ~ 0.35	0.60 ~ 1.00	0.70 ~ 1.00	0.40 ~ 0.60	0.03 ~ 0.08	0.15 ~ 0.50	≤0.030	≤0.030

表 1-16 904 钢力学性能

904	规格	σ_s /(N/mm ²)	σ_b /(N/mm ²)	δ_5 /%	ψ /%	α_k /(J/cm ²)
钢板	厚度 10 ~ 32 mm	≥588	656.6 ~ 803.6	≥16	≥50	≥78.4
球扁钢	各型号	≥588	656.6 ~ 833	≥16	≥50	≥88.2

和 904 钢配套使用的铸钢为 606 铸钢,最大使用厚度为 120 mm。与 607 铸钢相比,606 钢的强度较高,屈服强度 ≥588 N/mm²。Ni 也用得少。606 铸钢的化学成分及力学性能见表 1-17、1-18。

表 1-17 606 铸钢的化学成分

元素	Cr	Re	C	Si	Mn	Ni	Mo	V	Cu	S	P
含量/%	0.9 ~ 1.1	0.50	0.09 ~ 0.4	<0.50	1.20 ~ 1.45	0.70 ~ 1.0	0.40 ~ 0.60	0.03 ~ 0.08	0.05 ~ 0.1	≤0.025	≤0.025

表 1-18 606 铸钢力学性能

钢 种	σ_s /(N/mm ²)	σ_b /(N/mm ²)	$\alpha_k(40\text{ }^\circ\text{C})$ /(J/cm ²)	ψ /%	断口纤维量 /%
606	≥588	≥656.6	≥58.8	≥40	≥80

904D 锻钢(606 锻钢)也是 904 钢的配套材料,它的 Ni、Cr 元素含量较 925 锻钢低,但其使用性能与工艺性能和 925 相当。904D 锻钢的化学成分见表 1-19。部分力学性能数据见表 1-20。

表 1-19 904D 锻钢的化学成分

元素	Cr	C	Si	Mn	Ni	Mo	V	Cu	S	P
含量/%	0.8 ~ 1.2	0.12 ~ 0.17	0.17 ~ 0.37	1.20 ~ 1.50	0.70 ~ 1.00	0.40 ~ 0.60	0.05 ~ 0.10	0.15 ~ 0.50	≤0.030	≤0.030

表 1-20 904D 锻钢力学性能

锻件名称		σ_s /(N/mm ²)	σ_b /(N/mm ²)	δ_5 /%	ψ /%	α_k /(J/cm ²)		大断口纤维量/%
						室温	-40℃	
120×120 mm 方坯		627.2~ 744.8	739.9~ 813.4	14.0~17.0	46.0~75.0	100~245	184.2~241.1	100
150×150 mm 方坯		548.8~ 705.4	705.6~ 793.8	11.0~16.5	46.0~65.0	129.4~175.4	125.4	100
环形锻件	纵向	637~656.6	735~744.8	18.5~21.0	51.5~70.5	134.3~196	160.7~204.8	—
	横向	646.8~ 666.4	739.9~ 749.7	18.5~21.0	58.0~71.5	153.9~260.7	156.8~222.5	—
	切向	646.8~ 661.5	739.9~ 744.8	19.0~23.0	57.0~69.5	183.3~205.8	196~225.4	—

4. 特殊用途的船体结构钢

这类钢有两种,一是为提高军用舰艇技术性能而使用的低磁钢,另一种是为抵抗某些枪弹、炮弹以及水中兵器等的攻击而使用的防弹钢。这类钢的化学成分设计主要是保证特殊性能,作为船体结构钢,其他某些性能相对要差一些。

(1)917 钢是铁—锰—铝系奥氏体低磁性钢。主要特点是导磁率低,磁稳定性好,其低磁性和各项性能不低于含 20% 镍的同类型的低磁钢。917 钢的化学成分和力学性能见表 1-21、1-22。

表 1-21 917 钢的化学成分

元素	C	Si	Mn	Al	S	P
含量/%	0.40~0.50	0.60	16.0~18.0	2.40~3.60	≤0.030	≤0.040

表 1-22 917 钢力学性能

品种及规格	状态	σ_s /(N/mm ²)	σ_b /(N/mm ²)	δ_5 /%	α_k /(J/cm ²)	冷弯 $b=7a$ $d=2a$
钢板,厚≤10 mm	退火	294~441	≥588	≥25	≥58.8	120°不裂
钢板,厚 10~20 mm	热轧	≥441	≥588	≥25	—	120°不裂

由于 917 钢形变强化效应大,给冷加工带来一定的困难,需要用特殊的刀具和规定的加工工艺。917 钢属于高合金钢,它的焊接比普通低合金钢困难得多,必须严格按照焊接工艺规程进行。

(2)F-1 防弹钢以硅、锰为主要合金元素,用来建造舰艇上层建筑、甲板等防弹结构,能

有效地抵抗多种枪弹、炮弹的攻击。F-1 钢的化学成分见表 1-23。

表 1-23 F-1 钢的化学成分

钢 号	元素含量/%				
	C	Mn	Si	S	P
F-1G	0.19~0.24	1.40~1.80	1.40~1.80	≤0.030	≤0.030
F-1Z	0.18~0.23	1.40~8.80	1.40~1.80	≤0.030	≤0.030

F-1G 钢供应状态为淬火 + 低温回火, F-1Z 钢为淬火 + 中温回火。钢板厚度为 4~20 mm。F-1 钢的加工与焊接均应按特殊工艺规程进行。

四、钢材的断裂韧性及低周疲劳

1. 断裂韧性

防断问题的研究集中于裂纹尺寸为中心的力学研究方面,即以热力学、弹性力学为基础,研究带宏观裂纹的固体材料的强度,这种宏观固体力学就是断裂力学。断裂力学的基本原理给了传统的结构强度设计方法以新的概念。传统结构强度设计方法可归结为确定构件应力和选取安全系数。但构件材料在出现裂纹后的强度值并不等于用传统方法所得的强度值。断裂力学的基本原理是:构件的实际强度决定于构件的宏观裂纹在外载荷作用下产生扩展的临界应力。断裂力学的研究方法就是用弹性理论来分析和求解受力构件中裂纹顶端附近区域的应力场和位移场,根据理论计算和实际验证,引入一个对材料断裂过程起主要影响作用的计算指标。当受力构件的裂纹开始扩展时,该计算指标的值系表示材料在某种条件下抵抗脆性破坏能力,通常称之为断裂韧度。

2. 低周疲劳

国外有人对第二次世界大战后建造的部分船舶的低周疲劳断裂事故作过调查,在外板和甲板破裂的 66 艘油船中,有 65 艘是由于疲劳引起的。而外壳板和甲板破裂的 55 艘货船中,有 53 艘是疲劳所致。这说明,低周疲劳威胁着船舶的安全和寿命。船体结构的低周疲劳的特点是:应力高,最大能达到材料的屈服强度,循环频率低疲劳寿命低,结构破坏时的循环周数一般在 10^5 周以内。

低周疲劳的破坏过程也是由初始裂纹逐步扩展到临界裂纹,然后发生断裂。在交变载荷作用下,初始裂纹顶端的最大应力会超过材料的屈服强度,使裂纹不断扩展。当裂纹扩展到临界尺寸时,结构不能承受外载而发生断裂。因为高强度钢和超高强度钢的屈强比要比一般中低强度钢高,塑性和断裂韧性也不同,但是它们的疲劳抗力却变化不大。

第二节 型钢的矫正

一、常用型钢的画法及尺寸注法

型钢是断面具有特定几何形状的钢材,有轧制和焊接组合两种,用来制造船体结构中的

各种骨架。

在小比例的图样中,型钢采用简化画法,如扁钢、槽钢和工字钢的内边缘倾斜及转折处小圆角可省略不画,其厚度的投影用两条间隔为粗实线宽度的细实线表示,剖面可用粗实线表示,见图 1-1。对于 T 形钢和工字钢的腹板(垂直板)厚度的不可见投影可用粗虚线表示。型钢断裂处用波浪线表示。

型钢的尺寸采用集中标注,尺寸数字前标注型钢符号。对于轧制的球扁钢、槽钢、工字钢、T 形钢等也可用其型号表示,如“20a”,即表示球扁钢的高度为 20 cm。通常,型钢的型号数即是型钢的高度尺寸(单位为 cm)。型钢其他部分的有关尺寸可按其型号查型钢规格表而得,见附录中附表 1~附表 5。

常见型钢的画法和尺寸注法见表 1-24。

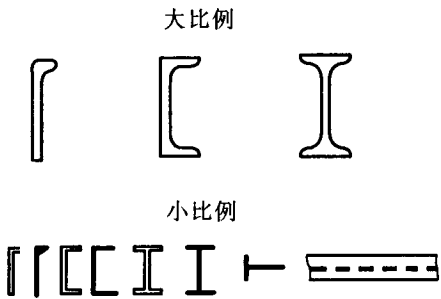
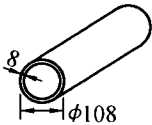
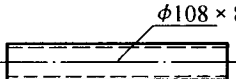
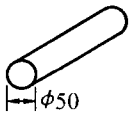
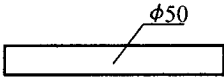
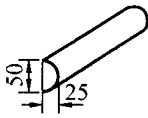
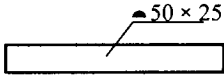
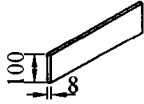
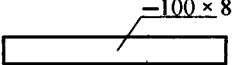
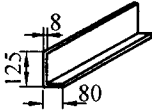
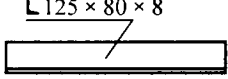


图 1-1 型钢的简化画法

表 1-24 常用型材的画法和尺寸注法		单位: mm	
型 材 名 称	符 号	尺 寸 注 法	
管子		$\varnothing$	
圆钢		$\varnothing$	
半圆钢			
扁钢		—	
角钢		L	
球扁钢	