

船用 大锻件的热处理

孙兴邦 孙银海 王松林 伍耀基 编著

国防工业出版社

U664.21
S96

288150

船用大锻件的热处理

孙兴邦 孙银海 编著
王松林 伍耀基



国防工业出版社

内 容 简 介

本书简要地叙述了船用大锻件生产的工艺流程、所用材料及技术要求；着重介绍了船用艉轴、中间轴、推力轴、舵轴等轴系舵系锻件及大型柴油机曲轴锻件的锻后热处理和最终热处理工艺编制和生产实践经验；提供了常用材料和不同截面的锻件热处理工艺及机械性能等实用技术资料；论述了对大锻件淬透性的理论计算和试验测定方法。

本书可供从事大锻件热处理的工人、技术人员阅读。对船用锻件的设计、制造、检验、使用以及其他有关人员也有参考价值。

0250 56

船用大锻件的热处理

孙兴邦 孙银海 编著
王松林 伍耀基

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张8⁵/₈ 189千字

1987年8月第一版 1987年8月第一次印刷 印数：001—600册

统一书号：15034·3219 定价：1.80元

前 言

船用大锻件是船舶的关键性零件，因此在船舶制造中具有重要地位。随着船舶向大型化高速化发展，设计的锻件尺寸日趋增大，对锻件的质量要求也越来越高。因此对锻件的制造工艺包括热处理工艺的要求也越来越高。

大锻件的热处理包括锻后热处理和最终热处理。两者对于锻件的质量和性能具有同等重要作用。在大气条件下生产的铸锭，锻后热处理常常是更为关键的问题。

虽然大锻件的热处理从理论上说与中小型锻件大致相同，但热处理过程还是有独特之处。

为制订船用大锻件合理的热处理工艺，在本书前两章首先讨论船用大锻件的工作条件、技术要求及其生产工艺路线，然后将详细讨论船用大锻件的锻后热处理和最终热处理的特点及其工艺制订原则，介绍工厂船用大锻件热处理生产的经验。最后，具体分析讨论一些船轴、舵轴、曲轴以及不锈钢零件的典型热处理工艺和常见的缺陷及其改进措施。

本书的内容经张如彦同志审定。

由于编者水平所限，书中不妥之处欢迎读者批评指正。

本书使用的符号和单位

σ_b —— 抗拉强度, N/mm^2

σ_s —— 屈服强度, N/mm^2

δ_5 —— 在 $5.65 \sqrt{A}$ 标距长度断裂时的延伸率, % (式

中 A 为试验长度内的横剖面面积, mm^2)

ψ —— 断裂时断面收缩率, %

α_K —— 梅氏冲击试样冲击韧性(冲击值) J/cm^2

A_K —— 梅氏冲击试样 U 型缺口平均冲击功, J

A_U —— 夏氏冲击试样(刻槽深度为 5mm) U 型缺口平均冲击功, J

A_V —— 夏氏冲击试样(刻槽深度为 2mm) V 型缺口平均冲击功, J

HB —— 布氏硬度

R —— 锻件有效截面半径, mm

T —— 钢锭冒口端部位

B —— 钢锭水口端部位

目 录

第一章	船用大锻件用钢及其技术规范	1
§ 1.1	船用锻件的类别和功用	1
§ 1.2	轴系受力情况和工作条件	2
§ 1.3	船用锻件用钢的基本要求	3
§ 1.4	船用锻件的技术要求	5
§ 1.5	船用锻件用钢	14
第二章	船用大锻件工艺路线	22
§ 2.1	锻件生产的工艺过程	22
§ 2.2	热加工工艺方法及其对质量的影响	24
§ 2.3	最终热处理前的机械加工	30
第三章	船用大锻件的锻后热处理	36
§ 3.1	锻后热处理的目的	36
§ 3.2	锻件中的白点	37
§ 3.3	防止白点的热处理	54
§ 3.4	保证机械性能的热处理	77
第四章	船用大锻件的最终热处理	89
§ 4.1	热处理设备与工装	89
§ 4.2	大锻件淬火和正火的加热	92
§ 4.3	大锻件淬火和正火的冷却	103
§ 4.4	大锻件的回火	136
第五章	船用大锻件淬透性的理论计算和试验室测定	150
§ 5.1	大锻件淬透性概念	151
§ 5.2	大锻件淬透性的理论计算	153
§ 5.3	大锻件淬透性的试验室测定和模拟试验	167
第六章	船用典型锻件的热处理	193

V

§ 6.1	推进器轴及艉轴的热处理	193
§ 6.2	中间轴的热处理	207
§ 6.3	推力轴的热处理	211
§ 6.4	舵轴的热处理	216
§ 6.5	船用柴油机曲轴的热处理	234
§ 6.6	不锈钢零件的热处理	243

第一章 船用大锻件用钢 及其技术规范

§ 1.1 船用锻件的类别和功用

船用锻件主要有五类：船体用锻件，轴系和机械用锻件，柴油机锻件，齿轮锻件，汽轮机锻件。

船体用锻件主要有舵系锻件，如舵轴(杆)、舵柱、舵柄等。轴系锻件主要有艉轴、螺旋桨轴、中间轴、推力轴、联轴节等。柴油机锻件主要有曲轴、连杆等。本书主要讨论以上三类锻件的热处理。

舵系是船体的重要零部件。它保证船舶航行的平稳性、操纵性。是使船舶正常航行和作战舰艇具有战斗力的先决条件。而舵轴(舵杆)又是舵系的主要零件，所以对其有很高的要求。

船舶轴系是船舶动力装置的重要组成部分之一。它的主要功用就是把主机发出之扭矩传递到螺旋桨，并通过推力盘将水对螺旋桨的反作用力传递到推力轴承上，从而推动船舶。根据船舶类型不同，每一轴系的组成与数量也不同，因此有单轴、双轴或多轴之分。图 1-1 是单轴船舶轴系示意图。

柴油机是船舶航行的原动机，曲轴是柴油机中最重要的大型零件，也是锻造技术最为复杂的一种锻件。因其工作任务十分繁重，故对其有极高的技术要求。

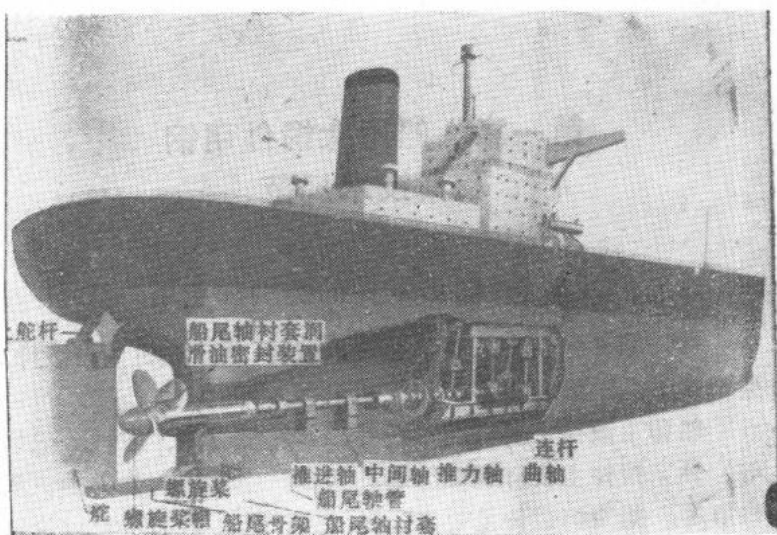


图1-1 单轴船舶轴系

§ 1.2 轴系受力情况和工作条件

船舶轴系的受力情况较为复杂。当船舶在静水中以一定航向作等速直线运动时，轴系处于正常工作状态，承受静载荷（静推力、静扭矩及静弯矩）和动载荷（即扭矩及弯矩的数值与方向均变化的脉冲载荷）。

在非正常工作条件下，还有以下的附加载荷：

1. 航向改变所引起的附加载荷。
2. 在波涛汹涌中航行所引起的附加载荷以及当螺旋桨突然出水发生飞车现象所激起的突增载荷和当螺旋桨再度入水所遇到的突然冲击载荷。
3. 螺旋桨被海生物、海中漂流物或钢索等的缠绕或螺旋桨碰撞礁石等意外事故所引起的突加载荷。

4. 对于作战舰艇, 在战争中受到的包括本舰发射武器及受到敌方攻击所引起的突然载荷。

推力轴和中间轴传递主机功率, 主要承受扭转应力。在正常情况下, 承受的应力通常并不很高。但是, 如果存在扭振等非正常情况时, 就会产生附加应力。根据实船调查, 因材料引起的各种故障比较少见。然而承受弯曲、扭转复合交变应力的艮轴却常常容易损坏。特别是由于海水造成腐蚀裂纹或在配合部位

出现摩擦损伤时, 就可能造成事故。图 1-2 是艮轴受力简图。

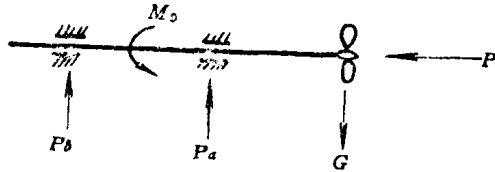


图 1-2 艮轴受力简图

艮轴所承受的载荷包括主机产生的扭矩 M_0 , 水对螺旋桨的反作用力 P , 艮轴承和最后中间轴承的支点反力 P_a 和 P_b , 以及艮轴本身自重及螺旋桨重量 G 。

由此可见, 船舶轴系受力情况是颇为复杂的, 特别是艮艇常常处于非正常工作情况。所以, 对于船舶轴系锻件在强度、塑性韧性方面均有较高的要求。尤其是艮艇要求机动灵活、高速轻巧、结构紧凑, 构件设计安全系数又较小, 因此, 对轴系锻件的综合机械性能要求就更高。

舵轴有两种类型。一种是仅承受纯扭矩的舵轴, 一种是既承受扭矩又承受弯曲力矩的舵轴。

§ 1.3 船用锻件用钢的基本要求

船用大锻件材料主要依据零件的截面大小和强度水平来选用。要求材料既能满足零件的使用性能要求, 又能满足加

工工艺要求，钢锭中的偏析，夹杂、气泡等冶金缺陷少，可锻性好以及淬透性高等。此外，还要适当考虑其经济性。

对于船轴材料的基本要求是：

一、良好的综合机械性能

上面分析了传动轴的受力情况。它所承受的载荷主要是切向载荷和疲劳载荷，要求材料的性能主要是拉伸强度和疲劳强度。同时必须考虑到往往不能准确估计的突加载荷，因此，要求材料具有足够的强度和一定的塑韧性。因为材料表面要承受最大应力，所以要求表层具有足够高的强度和高的质量。此外，还要求有一定的硬度和耐磨性。对于某些船轴材料，还要求有一定的耐蚀性。

二、足够的淬透性

由于船轴的非正常工作条件难以预测，所以，为使零件整个截面都能承受较高的应力作用，要求锻件截面上具有均匀的组织 and 优良的综合机械性能，为此材料应有良好的淬透性。由于大锻件在一般情况下整个截面甚至近表面也不容易得到马氏体组织，而下贝氏体组织高温回火后的性能与马氏体回火后的相近，所以，仅希望调质后不出现高温阶段组织。因此，对大锻件来说，有实际意义的淬透性是指锻件心部不出现自由铁素体的无铁素体淬透性。

淬透性是调质结构钢最重要的工艺性能，也是制订热处理工艺的重要依据。

三、回火脆性倾向性低

为了防止钢的回火脆性，一般回火采用快冷。而回火快冷对大锻件是不适宜的，因为快冷会使大锻件造成过高的残余应力。所以，通常在钢中加入钼或钨元素来防止钢的第二类回火脆性。这是船用合金钢锻件大都含有钼元素的主要原因。

因之一。

四、白点敏感性低

白点是锻件内不允许存在的缺陷。为了防止出现白点,必须提高冶金质量,降低钢中氢气含量和锻后采取扩氢等温退火处理。但这样的处理工艺周期很长,生产效率低,生产中较难完全避免白点的产生。在满足强度要求以及其它工艺性能要求的前提下,应该选用白点敏感性低的钢种。

§ 1.4 船用锻件的技术要求

一、船体结构用锻钢件的技术要求

对采用焊接连接和不采用焊接连接的船体结构钢锻件,其化学成分应分别符合表 1-1 的规定。

表 1-1

构件 连接 方式	化学元素成分 (%)								注	
	C	Si	Mn	S	P	残余元素③				
						Cu	Mo	Cr		Ni
焊接	≤0.23 ①	≤0.45	0.3~ 1.7②	≤0.045	≤0.045	≤0.35	≤0.08	≤0.3	≤0.3	①从锻件上取样的含碳量应 不超过0.26% ②焊后不进行热处理时,其 含锰量不小于实际含碳量 的3倍 ③残余元素总含量不超过 0.8%
非焊接	≤0.3	≤0.45	0.3~ 1.5	≤0.045	≤0.045	≤0.3	≤0.15	≤0.3	≤0.4	

锻件经退火或正火或正火加回火(回火温度不应小于550℃)处理后,锻件的拉力试验结果应符合表 1-2 的规定。

对于大型锻钢件当拉力试样从锻件两端切取时,其两端的强度差值不得超过 70 N/mm²。

锻钢件试样的数量与截取方法的规定如下:

1. 重量不超过 4000kg, 且长度不超过 3m 的锻件, 应

表 1-2

σ_b (N/mm ²)	σ_r (N/mm ²)	δ_5 不小于 (%)
215	430	24

从每个锻件的某一端截取 1 个拉力试样；如由一个钢锭分制的几个锻件并经同炉热处理者，亦可在任一锻件上截取一个拉力试样。

2. 重量超过 4000kg 且长度超过 3m 的锻件，应从每个锻件的两端各取一个拉力试样。

3. 除经验船部门特别许可外，拉力试样应沿锻件的纵向截取。

若拟采用比表 1-2 所示抗拉强度更高的碳钢，或采用合金钢时，应将其化学成分，机械性能和热处理方法等提交验船部门审核。

二、轴系和机械用锻钢件的技术要求

这里介绍的是适用于碳钢和碳锰钢的轴系和不属于柴油机曲轴、汽轮机及齿轮类锻钢件的机械用锻钢件。

如采用合金钢锻件，应经验船部门同意，并应符合下述规定：

1. 用作主推进轴时，其标定抗拉强度下限值不应超过 800 N/mm²；

2. 用作其他机械锻件时，其标定抗拉强度下限值不应超过 1100 N/mm²。

锻件用钢的化学成分应符合表 1-3 的规定。

对于两个以上的锻件用焊接装配成整体时，其含碳量不

表 1-3

钢种	化学成分 (%)								
	C	Si	Mn	S	P	残余元素			
						Ni	Cr	Mo	Cu
碳钢和碳锰钢	≤0.60	≤0.45	0.30~1.50	≤0.04	≤0.04	≤0.40	≤0.30	≤0.15	≤0.3
合金钢	≤0.45	≤0.45		≤0.035	≤0.035	注			

注：其余合金元素应经验船部门核准。此外，制造厂可根据需要加入细化晶粒元素，其结果应在化学成分报告中予以注明。

得超过 0.23%，残余元素的总含量不得超过 0.80%，并应具有良好的焊接性能。

碳钢和碳锰钢锻件经退火或正火或正火加回火或淬火加回火(回火温度应不低于 550℃)。其试样的机械性能应符合表 1-4 的规定。

如一个锻件作两次或两次以上的拉力试验时，其抗拉强度的差值应不超过下述的规定：

对标定抗拉强度下限值小于 600N/mm²，允许相差 70N/mm²；对标定抗拉强度下限值大于或等于 600N/mm²，允许相差 100N/mm²。

试样应在纵向选取，但如征得验船部门同意，也可按图 1-3 所示的部位，选取所需的试样。

试样应在试块上截取的部位，应符合下列规定：

1. 实心圆柱形试块：试样应在距表面 1/3 圆柱半径处取得；

2. 空心圆柱形试块：试样应在 1/2 厚度处取得；

3. 实心矩形试块：试样应在 1/6 对角线处取得；

表 1-4

标定抗拉强度下限值 (N/mm ²) ①②	σ_s (N/mm ²)	δ_5 (%)		ψ (%)		A_{ψ} J ③		A_{ψ} J ③		HB①
		不 小 于								
		不小于	*纵向	*横向	*纵向	*横向	*纵向	*横向	*纵向	
360	180	28	20	50	35	32	18	30	20	95~135
400	200	26	19	50	35	32	18	30	20	110~150
440	220	24	18	50	35	32	18	30	20	125~160
480	240	22	16	45	30	32	18	30	20	135~175
520	260	21	15	45	30	25	15	25	17	150~185
560	280	20	14	40	27	25	15	25	17	160~200
600	300	18	13	40	27	18	12	20	15	175~215
640	320	17	12	40	27	18	12	20	15	185~230
680	340	16	12	35	24	18	12	20	15	200~240
720	360	15	11	35	24	18	12	20	15	210~250
760	380	14	10	35	24	18	12	20	15	225~265

* 纵向或横向如图1-3所示。

- ① 标定抗拉强度下限值的中间值，其对应的 σ_s 、 δ_5 、 ψ 和平均冲击功的最小值均可用内插法求得。
- ② 对标定抗拉强度下限值小于 600 N/mm² 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均定为 120 N/mm²。对标定抗拉强度下限值大于或等于 600 N/mm² 的各强度级锻钢，其抗拉强度的范围均定为 150 N/mm²。
- ③ 冲击试验的环境温度为 18~25℃；除特别指明者外，制造厂可随意选用 V 型或 U 型缺口冲击试样。
- ④ 硬度值仅作参考。

4. 对于某些特殊锻件，取样部位可在图纸上加以规定。

需要特别指出的是，我国 1983 年颁布的“钢质海船入级与建造规范”采用了国际上通用的开槽深度为 5mm 的 U 型试样和开槽深度为 2mm(呈 45°角)的 V 型试样。新规范要求拉力试验也采用国际上通用的直径为 14mm 的比例试样。

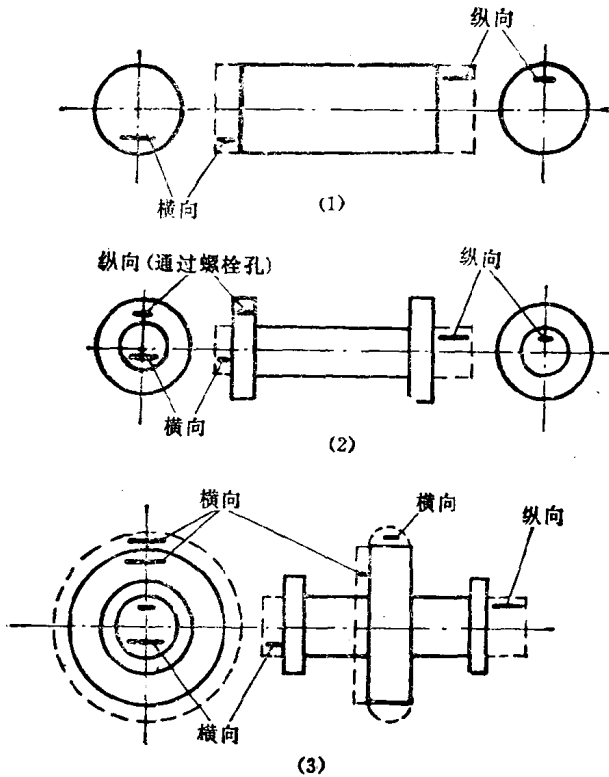


图1-3 船轴取样图

(1) 普通轴；(2) 法兰轴；(3) 带轴肩的法兰轴。

这类锻件除了做化学成份、拉力试验(试样至少为一个)和冲击试验(试样至少为一组 3 个)之外，其中中间轴、推力轴、艉轴、螺旋桨轴、连杆、活塞杆、十字头、增压器转子还要进行低倍组织检查和高倍金相分析，并符合验船部门认可的标准。

轴系和机械用的锻钢件还应按照表 1-5 的规定进行无损探伤检查，并符合验船部门认可的验收标准。

表 1-5

锻 件 名 称	无损探伤检查	
	磁粉探伤	超声波探伤
艏轴、螺旋桨轴、推力轴、中间轴和其他重要机械的轴		有要求
活塞顶、活塞杆、连杆和气缸盖	有要求	有要求
贯穿螺栓、连杆螺栓、十字头及十字头螺栓、气缸盖螺栓、主轴承螺栓以及轴系的连接螺栓等	有要求	

三、曲轴锻钢件的技术要求

采用碳钢和碳锰钢的整锻曲轴、全组合和半组合式的曲轴锻件，其化学成分应符合表 1-6。采用合金钢的曲轴锻件，其化学成分、热处理和机械性能均应提交验船部门审核。合金钢曲轴锻件的标定抗拉强度下限值不应超过 1000 N/mm²。

表 1-6

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

注：其余合金元素应经验船部门核准。

碳钢和碳锰钢曲轴经正火加回火或淬火加回火(回火温度不得小于 550℃)后，其试样经拉力、冲击和硬度试验后的机械性能应符合表 1-4 的规定。