

船用材料

方新康 孙以森 编

哈尔滨船舶工程学院出版社

049003

船用材料

方新康 孙以森 编



哈尔滨船舶工程学院出版社

DU27/16
内 容 提 要

本书共分为十章。包括船用金属材料的检验及机械性能、金属学基础、钢的热处理、碳素钢与合金钢、铸铁、船用有色金属材料、金属材料的失效分析及材料的代用、金属的腐蚀与防腐、船用塑料、船用涂料。书后附有国内外钢号对照表、船舶漆新旧名称对照表等。

本书为全日制中等专业学校、职工中专船舶制造专业教材，也可供职工大学选用，并可为从事船舶制造的工程技术人员参考。



哈尔滨船舶工程学院出版社出版

新华书店首都发行所发行

绥化县印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张18.75 字数432千字

1991年3月第1版 1991年3月第1次印刷

印数：1—1100册

ISBN 7-81007-109-2/U·20

定价：3.35元

前 言

本书是列入中国船舶工业总公司中等专业学校教材（1986—1990年）编审出版规划的统编教材，是根据1986年6月在杭州审查通过的教学大纲编写的。

全书介绍了材料的机械性能及其检验；金属晶体结构及合金相图；钢的热处理；船舶常用金属材料；船用塑料与涂料；金属的腐蚀及防腐等主要内容。

从中专造船专业的实际需要出发，本书扼要讲授金属学、钢的热处理方面的基本内容，着重阐述船用材料、塑料及涂料知识。在选材方面，既注意了必要的基础知识，又加强了理论联系实际及反映船用材料的发展状况。

本书第一、四、五、六、七、九、十章由方新康编写，第二、三、八章由孙以森编写。镇江船舶工程学院李平副教授主审，他对本书提出了许多宝贵意见，使编者受益匪浅。在编写过程中，船舶总公司教材编审室李堃、王传伟同志给予了大力支持和帮助。另外，曾得到渤海船舶工业学校陈秀娟同志、张永江和王贵斗老师的热情支持和帮助，谨致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足和错误之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪 论	1
第一章 船用金属材料的检验及其机械性能	3
第一节 船用金属材料的检验	3
第二节 强度与塑性	4
第三节 硬 度	8
第四节 冲击韧性及缺口敏感性试验	13
第五节 疲劳与蠕变	17
第六节 主要的工艺性能试验	19
第二章 金属学基础	21
第一节 金属的晶体结构	21
第二节 金属的结晶	29
第三节 合金的结构与二元合金	36
第四节 铁碳合金相图	47
第五节 金属的塑性变形与再结晶	60
第三章 钢的热处理	72
第一节 概 述	72
第二节 钢在加热时组织的转变	73
第三节 钢在冷却时组织的转变	76
第四节 钢的退火与正火	86
第五节 钢的淬火	89
第六节 淬火钢的回火	96
第七节 钢的淬透性	99
第八节 表面热处理	103
第四章 碳素钢与合金钢	110
第一节 钢铁的冶炼	110
第二节 钢的分类及牌号表示方法	117
第三节 合金元素在钢中的作用	122
第四节 船体结构用碳素钢	129
第五节 船体结构用低合金高强度钢	131
第六节 优质结构钢	143

第七节	工具钢	152
第八节	特殊性能钢	159
第五章	铸 铁	165
第一节	铸铁的石墨化及其影响因素	166
第二节	灰口铸铁	168
第三节	球墨铸铁	172
第四节	可锻铸铁	176
第五节	铸铁的热处理	177
第六章	船用有色金属材料	180
第一节	船用铝合金	180
第二节	船用钛合金	190
第三节	船用铜合金	193
第四节	轴承合金	201
第七章	金属材料的失效分析及材料的选用	207
第一节	脆性断裂	207
第二节	疲劳断裂	212
第三节	焊接结构钢的层状撕裂	215
第四节	穴 蚀	216
第五节	材料的选用	217
第八章	金属的腐蚀与防腐	231
第一节	腐蚀的种类及其破坏形式	231
第二节	金属的电化学腐蚀	232
第三节	海洋环境腐蚀的特征	236
第四节	钢质船体的防腐	238
第九章	船用塑料	243
第一节	塑料的组成和分类	244
第二节	树脂的合成	246
第三节	常用塑料及其成型	248
第四节	复合材料	255
第五节	胶粘剂	261
第十章	船用涂料	264
第一节	概 述	264
第二节	涂料的组成及涂料的性能	266
第三节	涂料型号的表示方法	272
第四节	船舶漆的种类、性能及用途	273
第五节	船舶涂料的选择和配套	282

附 录.....	286
一、国内外常用钢号对照表.....	286
二、有色金属及合金产品状态及其代号 (GB340-64)	289
三、船舶漆新、旧名称对照表.....	289
主要参考文献.....	292

绪 论

材料是生产的物质基础。生产中使用的材料的性质既为人类生产力发展的水平所决定,又直接反映了人类社会文明的水平。人类文化进展的阶段就是根据不同历史时期制造生产工具的材料而划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。而今人类正跨进人工合成材料的新时代。

我国是一个具有悠久历史、创造过灿烂古代文明的国家,在材料的开发、制造方面对人类的进步,作出过许多重大的贡献。

我国的青铜冶炼技术,开始于四千年前的夏朝,虽然晚于古埃及和西亚,但发展迅速,应用普遍。河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎,花纹精巧,造型精美,重达875kg,是迄今世界上最古老的大青铜器;江陵楚墓中发掘出的两把越王勾践的宝剑,至今仍寒光熠熠,异常锋利,春秋战国时期《周礼·考工记》中关于青铜成分配比科学论述,反映我们的祖先对青铜成分和性能的关系已有所认识。这些事实证明了我国高度发达的青铜技术已达到当时世界的高峰。

铁器大量使用,在我国开始于春秋战国时期,许多重要的铜铁冶炼技术,例如先炼铁、后炼钢的两步炼钢工艺等,都是我国率先发明的。因而,从西汉到明朝1600年间,我国钢铁生产的技术曾远远超过世界各国。

在非金属材料方面,东汉出现的瓷器,15世纪传至欧洲,瓷器已成为中国文化的象征。在天然高分子材料的利用方面,丝绸曾在早期东西方交流中扮演了十分重要的角色,是有重大影响的中国产品。生漆是我国著名的特产,有几千年的使用经验,并从汉朝开始人工培植漆树。大量出土的战国时代的精致漆器,虽历经数千年,至今不朽。由于生漆质量上佳,世人誉为“中国漆”。

在造船材料方面,我国古代也达到了很高的水平,明朝郑和七下西洋,所使用的远洋帆船,船长137米,重载远航。没有发生意外的海损事件,可见船只制造之精良,同时也说明了各种造船材料质地的优良。

事实充分证明,我们中华民族,在材料的创造和使用上,有过辉煌的成就,为人类作出过巨大的贡献。

由于近代历史的原因,目前我国在材料科学和技术上,与世界先进国家相比,有相当的差距。为振兴中华,我们必须努力学习,积极工作,赶超世界先进水平。

船舶是一个要经受各种恶劣的气候条件和严峻的海洋条件考验的复杂的水上建筑物。一艘大型船舶就如一座海上城市。因而,当代的造船工业是一个复杂的综合性工业,采用的材料,要求高、品种多、数量大。造船材料的改进,极大地影响着造船技术的发展。所谓“制造材料就是制造技术”,造船技术的演变,船舶性能的提高、工艺的改革,往往借助于新材料的使用或者本身就是材料替代演变的结果。这一切说明,对一个造船工程技术人员,了解材料,掌握造船材料的正确选择和使用的知识是多么重要。

造船中所采用的材料可分为金属材料与非金属材料两大类。

金属材料包括钢铁材料和有色金属材料两个类别。

钢铁材料是指铁及其合金，这是最先被用来建造船体的金属材料。至今，无论在使用数量和重要性方面，钢铁材料在造船中仍然是最重要的材料。船舶建造中应用的钢铁品种很多，大致可分为造船用钢和铸铁两类。造船用钢，目前大多用平炉或氧气顶吹转炉冶炼，主要品种有普通碳素钢，一般强度船体结构用钢，高强度船体结构用钢以及各种合金结构钢和特殊性能钢。其中使用最广，消耗量最大的是碳素钢。造船用钢主要是型材和板材，经焊接工艺加工成为结构。但也有一些结构，零件的毛坯是锻钢件或铸钢件。

铸铁也是在造船，尤其是船舶机械制造中大量使用的钢铁材料。

钢铁材料在工业中被广泛应用，主要是由于它的使用性能良好，具备优良的工艺性能，而且成本较低。

钢铁材料以外的所有金属均称为有色金属。其中铝、铜及它们的合金在造船中应用最为广泛。铝合金材料由于重量轻、防磁以及低温性能好等独特的优点，使它成为船舶建造中使用量仅次于钢的重要金属结构材料，从几百吨的水翼艇、气垫船到几千吨的远洋货船；从水面舰艇到深潜器；从船体结构到上层建筑都广泛应用铝合金。

铜及其合金在耐蚀性、导电性方面有优越的性能，强度也很好，船舶管系附件、螺旋桨等许多船舶机器零件是采用铜与铜合金制造的。

钛及其合金是一种大有发展前途的新的有色金属材料，它具有良好的综合性能和许多突出优点，在飞机、导弹、宇宙飞船等方面已得到广泛的应用。钛合金具有极好的耐海水腐蚀能力，是一种较理想的造船材料。将来，随着钛合金成本的降低，加工工艺性能的改善，它在船舶上的应用必将显著增加。

船舶上使用到的非金属材料有木材、塑料、涂料、水泥、橡胶、玻璃等。

塑料是一种发展迅速的材料，已成为重要的新型工程结构材料。在造船工业中塑料的应用范围很广，可以用它代替一些金属材料，且可以简化安装工艺，实现无切削或少切削，减轻劳动强度，并可改进船舶的技术性能，提高产品质量。

船舶航行在江河湖海，要受到大气、盐雾、海水的腐蚀、海洋附着物的侵害，船舶上金属或非金属（如木材、水泥等）都需要采取防腐措施以防止被腐蚀而缩短使用年限，防止海生物的附着，以免航速下降、增加燃料消耗。目前船体防腐均采用阴极保护和涂刷油漆的综合防腐法。因此，油漆（即涂料）是造船上不可缺少的重要材料。

总之，由于现代科学技术和生产的迅速发展，船用材料品种愈来愈多，已形成一个包括各种金属、非金属材料的庞大体系。为了能够正确地选用材料，合理地确定材料的加工方法，充分发挥材料的潜力，生产出经久耐用的产品，造船工程技术人员必须掌握材料科学的基本知识，即船用材料成分、组织结构和性能之间的关系，材料中各种组织结构的形式、变化规律等。本课程将着重讨论以金属材料（尤其是钢）为主的各种材料的成分、处理条件、组织、结构和性能之间的关系及变化规律，并在此基本理论的基础上，介绍各种材料的用途，使读者初步具有合理选择各种船用材料，正确处理和解决所碰到的有关船用材料方面的一般问题的能力。

第一章 船用金属材料的检验 及其机械性能

第一节 船用金属材料的检验

船舶是一个巨大而复杂的金属结构，造船施工的顺利，船舶的坚实、可靠，均取决于造船材料的性能。

金属材料的性能一般分为工艺性能和使用性能两类。所谓工艺性能是指结构、零件在加工制造过程中，金属材料在所采用的冷、热加工条件下表现出来的性能。金属材料的工艺性能决定了它在制造过程中加工成形的适应能力。加工条件不同，要求的工艺性能也不同，如可焊性、可锻性、铸造性能、热处理性能、切削加工性等。所谓使用性能是指结构、零件在使用条件下，金属材料表现出来的性能，它包括机械性能、物理性能、化学性能等。金属材料的使用性能决定了它的使用范围与使用寿命。

金属材料的性能、尤其是机械性能即材料在载荷作用下抵抗破坏的性能是设计人员与工艺人员最为关心的一个问题。首先，掌握材料的机械性能是设计结构、零件、选用材料时的重要依据。其次，材料的性能指标是控制材料质量的依据。每种金属材料，对其化学成分范围、机械性能指标都有详细的规定。

为了保证船用金属材料的质量能符合技术规范 and 订货合同的要求，必须细致地对材料（或制品）进行检验工作。

海船船体、锅炉、受压容器等所用材料与产品的制造、试验和检查，应符合我国船舶检验局颁布的钢质海船入级与建造规定（以下简称ZC83）的有关规定。检验后，制造工厂应出具完整的合格证件。

验船部门有权到工厂各有关生产部门进行检查，所有经验船部门认可或检验合格的材料或产品，均应打上验船部门的检验合格印记，印记式样如图1-1。凡具有验船部门合格印记的材料和产品，船厂一般不需要进行复核试验。凡不具有验船部门印记的材料与产品，未经验船部门同意，不得装船使用。

一、船用金属材料检验的内容

金属材料检验的内容和性质决定于它的用途和使用的重要性。ZC83规范规定了要求的标准和检验的内容。主要规定为：

（一）化学成分分析

金属材料的化学成分是决定它性能的关键因素。技术规范中对金属的成分和它的测试方法均有规定。为保证化学成分分析的可靠和准确，验船部门可以不定期地进行抽查。在船厂生产过程中，也经常要进行金属材料的复查性化学分析。

（二）机械性能试验

除了分析化学成分外，机械性能也是金属材料最重要的检验。对于船用金属材料主



图1-1 验船部门合格印记式样

要有拉力试验、弯曲试验、冲击试验、硬度试验及某些工艺试验等。本章以后各节将分别叙述各种机械性能试验的方法及有关性能指标。

(三) 缺陷的处理

在金属制造和加工过程中,常常不可避免地要出现一些降低零件质量的内外缺陷,如铸体表面的结疤、裂缝,钢材内部的分层、偏析、气泡等,这些内外缺陷,常常是引起钢材报废的原因。为保证质量,必须对制品进行内、外部缺陷的检查。

一般用肉眼、放大镜或显微镜来观察制品的外部缺陷,对一些经精加工的表面,可采用磁粉探伤或着色法进行检查。

内部缺陷可用金相方法或物理方法来检查。金相法根据检查的对象和方式的不同,分为断口分析、粗视分析和显微分析三类。断口分析用肉眼、放大镜或双筒显微镜来检查折断后的金属材料的断口,根据断口组织能判断金属的性能和质量,粗视分析是用肉眼或放大镜观察磨光后经酸浸过的试样表面,可以显示出材料的缺陷以及物理的和化学的不均匀性;显微分析是利用金相显微镜(放大50~3000倍)来研究金属的显微组织和缺陷的方法。物理方法,目前常采用的方法有:磁力探伤法、超声波探伤法及 x 、 γ 射线探伤法。

经检验如发现钢材有缺陷,应根据规定作出处理。轻微的表面缺陷可以用机械方法去除,在适当的条件下,也可以允许用焊接方法修正缺陷。例如钢板如有明显的局部表面缺陷,钢厂可用细砂轮修磨去除,修磨后应保证修磨处的钢板表面光洁平顺,磨削去掉的厚度,在任何情况下,都不得超过公称厚度的7%,且不得超过3mm。缺陷修整的范围和方法,应征得验船部门同意。

二、金属材料检验的取样

通常金属材料(或制品)都有某种程度的化学成分及物理性能的不均匀性。例如在距离锻造钢质轴中心不同位置上取样,我们会得到不同的机械性能数据;从轧制钢板的平行于轧制方向取样的机械性能经常要比垂直于轧制方向取样的来得稍微高一些。因此,选取材料中提供加工成试样以进行各种试验的试料时,取样的位置及其数量具有极重要的意义。选择的试料应尽可能对材料的质量具有代表性,反映出制品最坏性能或其平均性能。在造船规范中对这些都有明确、严格的规定。

如果某些处理(如热处理)会影响材料性能时,应使选取的试料与其所取自的原材料经受完全相同的处理。

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

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

在进行机械试验时,由于试样上有意外缺陷或因试验机操作不当而造成试验结果不合格时,可将该试样报废,并在截取试样附近的同一材料上,重新截取试样。

第二节 强度与塑性

材料受载荷(外力)作用后会产生变形。去掉载荷后,能完全消失的变形,称为弹

性变形。去掉载荷后，仍然保留下来的变形，称为塑性变形，又称永久变形。

所谓塑性，就是材料在载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力。强度是指材料在载荷作用下抵抗变形和破坏的能力。

零件和结构件在工作时，承受拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等类型的载荷作用。载荷类型不同，金属的强度指标也不相同。但各种强度指标间常有一定的联系。测定金属强度指标最普遍、最简单的方法是拉伸试验法。

一、拉伸试验及拉伸曲线

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验时，在试样两端缓慢地施加载荷，使试样在工作部分受轴向拉力并沿轴向伸长，一般拉到断裂为止。

为了能够比较在不同试验条件下所测得的试验结果，拉伸试样的形状、尺寸和加工，必须有统一规定。拉伸试样应遵照国标GB228-63的要求制造。

常用拉伸试样有圆形和板状两类， d_0 称为试样的直径； l_0 称为标距长度。拉伸试样有长试样和短试样之分。对圆形试样、长试样的标距长度 l_0 与试样直径 d_0 的关系为

$$d_0 = 20\text{mm} \begin{cases} l_0 = 200\text{mm} & l_0 = 11.3\sqrt{F_u} \\ \text{(长试样)} & \text{(长试样)} \\ \text{或} & \\ l_0 = 100\text{mm} & l_0 = 5.65\sqrt{F_u} \\ \text{(短试样)} & \text{(短试样)} \end{cases}$$

在试样拉伸变形时，可以将载荷与试样伸长量之间的关系用曲线表达出来。一般拉伸试验机都带有自动记录装置，能把作用在试样上的力和所引起的伸长自动记录下来，绘出载荷-伸长曲线，这种曲线叫做拉伸图或拉伸曲线。

图1-2是退火低碳钢的拉伸图，图的纵坐标表示载荷 P ，单位是牛顿(N)，横坐标表示伸长量 Δl ，单位是毫米(mm)。

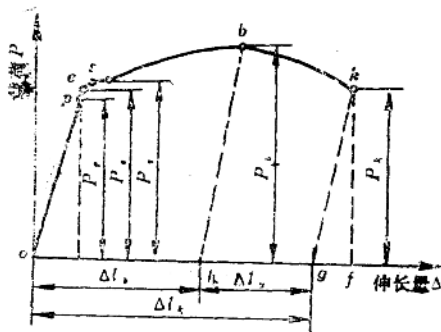


图1-2 低碳钢的拉伸图

载荷增加到一定值时，测力计刻度盘的指针停止转动或开始往回转，拉伸图上出现了平台或锯齿，这表明在载荷不增加或减小的情况下，试样却继续变形，这种现象称为“屈服”。屈服现象是金属发生显著塑性变形的标志。引起试样屈服的载荷称为屈服载荷。

由图可见，载荷比较小时，试样伸长随载荷成正比地增加，保持直线关系。载荷超过 P_p 后，拉伸曲线开始偏离直线。 P_p 是能符合虎克定律的最大载荷。

变形开始阶段，卸荷后试样立刻恢复原状，这种变形是弹性变形，当载荷大于 P_0 再卸荷时，试样的伸长只能部分地恢复，而保留一部分残余变形。卸荷后的残余变形叫做塑性变形。开始产生微量塑性变形的载荷是弹性极限的载荷 P_e 。一般说来， P_p 与 P_e 是很接近的。

当载荷超过 P_0 后, 试样的伸长量与载荷又将成曲线关系上升, 载荷增加到某一最大值 P_b 时, 变形显著地集中在材料最薄弱的部分, 试样局部截面缩小, 产生所谓“颈缩”现象。由于试样局部截面的逐渐减小, 故载荷也逐渐降低, 当达到拉伸曲线上 k 点时, 试样随即断裂。 P_k 为试样断裂时的载荷。

工业上使用的金属材料, 多数是没有屈服现象的, 其拉伸图如图1-4所示。

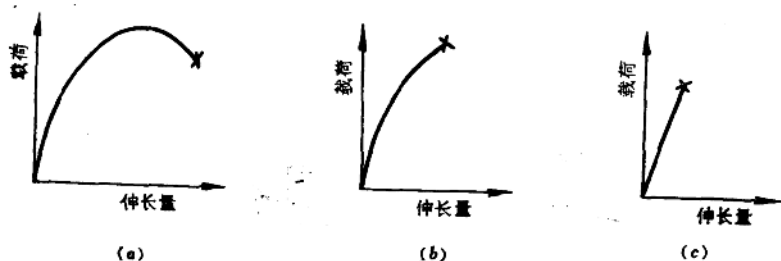


图1-3 塑性材料及低塑性材料的拉伸图

(a) 塑性材料; (b) 低塑性材料; (c) 脆性材料(在断裂时未发生塑性变形)

图1-3(a)是塑性材料的拉伸图, 如退火铝合金, 调质处理的合金钢等。图1-3(b)是低塑性材料的拉伸图, 它不仅没有屈服现象, 而且也不产生颈缩, 最大载荷就是断裂载荷, 如球墨铸铁等。

二、拉伸试验测定的各项指标及其意义

试样在载荷 P 作用下, 材料内部产生其大小与外力相等的抵抗力叫内力。单位横断面上的内力称为应力, 用符号 σ 表示之; 其计算公式为

$$\sigma = P/F_0 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

式中 P ——载荷 (N);

F_0 ——试样原横截面积 (m^2)。

把试样的伸长量 Δl 除以试样的原始标距长度 l_0 , 得到试样的相对伸长, 即应变 ϵ , 即

$$\epsilon = \Delta l/l_0$$

以 σ 与 ϵ 为坐标绘出应力-应变的关系曲线, 叫做应力-应变图。其形状与拉伸图完全相似, 只是坐标与数值不同。

(一) 弹性模量

弹性模量 E 是指金属材料在弹性状态下的应力与应变的比值, 即

$$E = \sigma/\epsilon$$

在应力-应变图上, 弹性模量就是试样在弹性变形阶段应力-应变线段的斜率, 即引起单位弹性变形时所需的应力, 因此, 弹性模量 E 值愈大, 则材料抵抗弹性变形的能力就愈大, 材料的刚度亦愈大。

绝大多数结构构件和零件是在弹性状态下工作的, 在工作过程中一般不允许有过多的弹性变形, 因此, 对其刚度都有一定的要求。提高零件刚度的办法, 除了增加零件的横截面或改变截面形状外, 就材料性能上考虑, 就是增加弹性模量 E 。弹性模量 E 是原

子间键合力的度量。主要取决于材料的本性，各种热处理、微量合金化、塑性变性等对它影响很小。一般钢在室温下的 E 值在 $1.9 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^5 \text{ MN/m}^2$ 范围内。

(二) 弹性极限

弹性极限是材料保持弹性变形的最大应力。用符号 σ_e 表示，可按下式计算：

$$\sigma_e = P_e / F_0 \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中 P_e ——弹性极限载荷 (N)；

F_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

工作条件不允许产生微量塑性变形的零件（如精密弹性元件），设计时应该根据弹性极限来选材。

(三) 屈服极限

屈服极限是材料产生屈服现象时的应力，用符号 σ_s 表示，可按下式计算

$$\sigma_s = P_s / F_0 \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中 P_s ——试样发生屈服时的载荷，即屈服载荷 (N)；

F_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

工业上使用的某些金属材料（如高碳钢和某些经热处理后的钢等）的屈服现象极不明显，故无法测定其 σ_s 。在这种情况下，其屈服极限一般规定按试样产生塑性变形为试样标距长0.2%（ZC83船规规定对碳钢、碳锰钢、合金钢为0.5%；奥氏体不锈钢为1%）塑性变形的应力值，称为条件屈服极限，即

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中 $P_{0.2}$ ——试样标距部分产生0.2%塑性变形时的载荷 (N)；

F_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

屈服极限 Δ_s 的高低代表材料对小量塑性变形的抗力。一般构件、机械零件一旦塑性变形，就会影响正常工作，所以大多数结构（包括船体结构）和零件都以在工作中不产生塑性变形为原则作为设计计算时的主要依据，因此屈服极限是工程技术中重要的机械性能指标之一。

(四) 强度极限

强度极限又称抗拉强度，是材料在破断前所承受的最大应力值。用 σ_b 表示。可按下式计算：

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中 P_b ——试样在破断前所承受的最大载荷 (N)；

F_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

强度极限 σ_b 表示材料抵抗大量均匀塑性变形的能力。对不产生颈缩现象的低塑性材料，强度极限 σ_b 就是材料的断裂强度，表示材料抵抗断裂的能力。它也是零件设计时的重要依据。同时也是评定金属材料的强度的重要指标之一。

强度极限与屈服极限之比可衡量材料的安全储备。重要的结构和零件，不但需要材

料具有较高的屈服极限,而且要有一定的屈强比(σ_s/σ_b)。屈强比愈小,则结构、零件的可靠性愈高,即使万一超载荷,也不致立即发生损坏。但是屈强比太小,影响材料的利用率,不能充分发挥材料的最高性能,不符合经济原则。应该根据不同的使用要求,选择不同屈强比的材料。

(五) 伸长率与断面收缩率

伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 是表示金属材料塑性好坏的指标。

1. 伸长率 伸长率是指试样拉断后标距增长量与原始标距长度之比,即

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_k ——试样断裂后的标距长度;

l_0 ——试样原始的标距长度。

用长试样($l_0 = 10d_0$)测定出的伸长率,用符号 δ_{10} 表示,通常可简写成 δ ;用短试样($l_0 = 5d_0$)测定出的伸长率,以符号 δ_5 表示。

材料的伸长率是随试样标距长度增加而减小的,所以同一材料的短试样伸长率大于长试样的伸长率,即 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。一般 $\delta_5 = (1.2 - 1.5)\delta_{10}$ 。目前各国标准中有优先选取短试样的趋势,ZC83规范中选用的也是短试样。

2. 断面收缩率、断面收缩率是指试样断裂处横截面积的缩减量与原始横截面积之比,即

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_k ——试样拉断处的最小横截面积;

F_0 ——试样的原始横截面积。

ψ 与试样尺寸无关,它能准确而灵敏地反映材料的塑性,因而,它是比伸长率更为合理的塑性指标,但现有的材料塑性指标往往仍较多地采用伸长率。

材料塑性的好坏,对零件、构件的加工和使用都有十分重要的意义。例如,塑性好的金属材料,冷、热压力加工工艺过程简单,质量容易保证;塑性好的构件、零件,在使用时若偶然过载了,由于能发生一定的塑性变形而可避免突然断裂。

工程上常按伸长率大小把材料分成两大类,即 $\delta > 5\%$ 的材料为塑性材料,如钢、铝和铜等; $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料,如铸铁等。

第三节 硬 度

硬度是衡量材料软硬程度的性能指标。硬度的试验方法很多,生产上压入法应用最广。它是用一定形状的压头压在金属表面上,然后,测定压痕的面积或深度来测定硬度值。凡压痕越大或越深者,硬度越低。因此,压入法所确定的硬度表示材料表面抵抗更硬物体压入的能力,或者说是材料对局部塑性变形的抗力。

由于硬度试验设备简单,操作迅速方便,基本上又属无损检验,并且还可根据测得的硬度值估计出材料的近似强度极限和耐磨性,它与材料的各种工艺性能也有一定联系,可作为选择加工工艺时的参考。所以,无论是在工厂企业,还是科研部门应用极为

普遍。在产品图纸的技术条件中，硬度常列为一项主要技术指标。

常用的硬度试验方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度三种试验法。

一、布氏硬度试验法

布氏硬度的测定方法是用一定直径的钢球或硬质合金球，在规定载荷 P 的作用下压入被测试金属的表面（如图1-4所示），保持一定时间后，卸除载荷，测量试样表面的压痕直径。

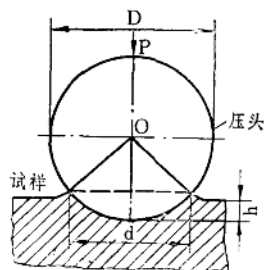


图1-4 布氏硬度试验原理示意图

布氏硬度值就是所加载荷与压痕面积的比值。

$$\text{布氏硬度值} = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 D ——球体直径(mm)；

P ——载荷(kgf)；

d ——压痕平均直径(mm)。

试验时测量出压痕的平均直径 d ，经计算或查金属布氏硬度数值表即可求得布氏硬度值。

布氏硬度的符号是，当压头为钢球时用HBS，适于布氏硬度在450以下的材料；当压头为硬质合金时用HBW，适于布氏硬度为450~50的材料。符号HBS或HBW之前为硬度值，符号后面按球体直径，试验力及试验载荷保持时间（10~15秒不标注）的顺序用数值表示试验条件。

例如：150HBS10/1000/30表示用直径10mm钢球在1000kgf(9.807kN)试验载荷力作用下保持30秒测得的布氏硬度值为150。

500HBW5/750表示用直径5mm硬质合金球在750kgf试验载荷作用下保持10~15秒测得的布氏硬度值为500。

布氏硬度试验时，球体的直径 D 和试验力 P 根据被测试金属的种类、性质和厚度，按国标GB231-84选择。表1-1列出了布氏硬度试验规定选用的试验力。根据材料和布氏硬度范围选择 P/D^2 值，见表1-2。当采用不同大小的载荷和不同直径球体进行布氏硬度试验时，只要能保持 P/D^2 为常数，则同一材料测得的布氏硬度值相同，不同材料测得的布氏硬度值具有可比性。

施加试验力时间为2~8秒，黑色金属的试验力保持时间为10~15秒；有色金属为30±2秒；布氏硬度等于或小于35时为60±2秒。

布氏硬度试验法的优点：因压痕面积较大，能反映出较大范围内金属各组成相综合影响的平均硬度，试验结果精确、稳定，数据重复性强。因此，可以测定组织比较粗大且不均匀材料的硬度。根据布氏硬度值，可以近似地估算出金属的抗拉强度，换算的经验公式如下：

低碳钢

$$\sigma_b \approx 0.36 \text{HBS}$$

高碳钢

$$\sigma_b \approx 0.34 \text{HBS}$$

调质合金钢

$$\sigma_b \approx 0.325 \text{HBS}$$

灰口铸铁

$$\sigma_b \approx \frac{\text{HBS} - 40}{6}$$

布氏硬度试验法的缺点：压痕较大易损坏成品的表面，不能测定太薄的试样。同洛氏硬度试验法相比，它操作缓慢，测定方法也较麻烦。

布氏硬度试验法主要用于测定铸铁、有色金属，低合金结构钢等原材料以及结构钢调质件的硬度。

表 1-1 布氏硬度试验的试验力

硬 度 符 号	球的直径 (mm)	P/D^2 ($0.102F/D^2$)	试 验 力 kgf (N)
HBS(HBW) _{10/3000}	10	30	3000(29.42kN)
HBS(HBW) _{10/1500}	10	15	1500(14.71kN)
HBS(HBW) _{10/1000}	10	10	1000(9.807kN)
HBS(HBW) _{10/500}	10	5	500(4.903kN)
HBS(HBW) _{10/250}	10	2.5	250(2.452kN)
HBS(HBW) _{10/125}	10	1.25	125(1.226kN)
HBS(HBW) _{10/100}	10	1	100(980.7N)
HBS(HBW) _{5/750}	5	30	750(7.355kN)
HBS(HBW) _{5/250}	5	10	250(2.452kN)
HBS(HBW) _{5/125}	5	5	125(1.226kN)
HBS(HBW) _{5/62.5}	5	2.5	62.5(612.9N)
HBS(HBW) _{5/31.25}	5	1.25	31.25(306.5N)
HBS(HBW) _{5/25}	5	1	25(245.2N)
HBS(HBW) _{2.5/187.5}	2.5	30	187.5(1.839kN)
HBS(HBW) _{2.5/62.5}	2.5	10	62.5(612.9N)
HBS(HBW) _{2.5/31.25}	2.5	5	31.25(306.5N)
HBS(HBW) _{2.5/15.625}	2.5	2.5	15.625(153.2N)
HBS(HBW) _{2.5/7.8125}	2.5	1.25	7.8125(76.61N)
HBS(HBW) _{2.5/6.25}	2.5	1	6.25(61.29N)

注：本表列出一部分试验力，详见GB23-84《金属布氏硬度试验方法》

表 1-2 P/D^2 值的选择

材 料	布 氏 硬 度 值	P/D^2
钢及铸铁	<140	10
	≥140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及合金	<35	2.5(1.25)
	35~80	10(5或15)
	>80	10(15)
铅、锡		1.25(1)

注：1. 当试验条件允许时，应尽量选用10mm的球；

2. 当有关标准中没有明确规定时，应使用无括号的 P/D^2 值。