



21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶工程专业

船舶材料与焊接

CHUANBO CAILIAO YU
HANJIE

主编 曾 平
主审 许小平



哈尔滨工程大学出版社



21世纪高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XILIE JIAOCAI

船舶工程专业

船舶材料与焊接

**CHUANBO CAILIAO YU
HANJIE**

主 编 曾 平

副主编 蔡志伟 叶东南

主 审 许小平

江苏工业学院图书馆
藏书章

哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书内容包括金属材料的力学性能、内部组织结构及其变化规律;重点介绍船用金属材料的分类与牌号、性能要求及正确选用;适当介绍船用非铁金属材料及其它材料;重点介绍电弧焊基本理论、船舶焊接方法及船舶结构焊接工艺,简要介绍船用金属材料的焊接和焊接质量检验;并对当今船舶焊接的新技术、新工艺、新材料作适当介绍。

本书可以作为船舶工程技术专业的高职高专学生教材,也可供船舶与海洋工程专业的本科学生及相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶材料与焊接/曾平主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006

ISBN 7-81073-878-X

I. 船… II. 曾… III. ①船舶-工程材料②造船-焊接工艺 IV. ①U668②U671.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 088047 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 14.25
字 数 300 千字
版 次 2006 年 9 月第 1 版
印 次 2006 年 9 月第 1 次印刷
印 数 1—2 000 册
定 价 23.00 元

高等职业教育系列教材编委会

(按姓氏笔画排序)

主 任	孙元政			
副主任	刘 义	刘 勇	罗东明	季永清
	施祝斌	康 捷		
委 员	丛培亭	刘 义	刘 勇	孙元政
	陈良政	肖锦清	罗东明	季永清
	俞舟平	胡适军	施祝斌	徐立华
	康 捷	蔡厚平		

前言

船舶材料 >>>

CHUANBO CAILIAO YU HANJIE

高等职业技术教育是我国高等教育的重要组成部分,其目标是培养既有较强实际操作技能,又掌握一定理论基础的高级技术应用型人才;强调对理论知识以够用为度,重点突出实际应用。本书在编写过程中力求深入浅出,理论联系实际,做到学用结合,使教材内容更具有科学性和实用性;同时注意了船舶建造中新材料、新工艺、新技术的吸收,使教材内容更具有先进性。本教材还全面采用了新的技术标准、名词术语和法定计量单位。

本书是分工合作编写而成,各章分工为武汉船舶职业技术学院曾平负责编写第四章的第1~4节、第五章,蔡志伟负责编写绪论、第四章的第5节、第六章、第八章,叶东南负责编写第一章、第二章,周飞霓负责编写第三章,长航集团青山船厂韩少云负责编写第七章。本书由曾平负责统稿,最后由武汉船舶职业技术学院许小平主审。

在本书的编写过程中,武汉船舶职业技术学院的陈长江教授对全书提出了宝贵的修改意见,陈彬副教授审阅了第七章,同时参阅了高校有关教材及国内出版资料,在此一并表示衷心感谢!

由于编者经验不足、水平有限,本教材必有疏漏和欠妥之处,敬请读者批评指正!

编 者

2006年4月

目 录

21世纪
高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHI CHUANBO XULIE JIAOCAI

船舶制造与焊接

▪ 绪论	1
▪ 第一章 船舶材料基础	5
第一节 金属的力学性能	5
第二节 金属的晶体结构与结晶	12
第三节 铁碳合金相图	20
第四节 钢的热处理基本原理与工艺	25
▪ 第二章 船舶用钢	29
第一节 钢的分类和牌号	29
第二节 杂质元素和合金元素在钢中的作用	32
第三节 船体结构钢的性能要求	35
第四节 船体结构钢	38
第五节 特殊性能钢	43
第六节 船用结构钢的选用与代用	45
▪ 第三章 船用非铁金属材料及其它材料	49
第一节 船用铝合金	49
第二节 船用铜合金	54
第三节 船用钛合金	57
第四节 船用工程塑料	62
▪ 第四章 电弧焊的基本理论	67
第一节 概述	67
第二节 焊接电弧	68
第三节 电弧焊的熔滴过渡	70
第四节 焊接接头的组织及力学性能	71
第五节 焊接应力与变形	74
▪ 第五章 船舶焊接方法	93
第一节 焊条电弧焊	93
第二节 埋弧自动焊	105
第三节 气体保护焊	116
第四节 其它焊接方法	132
第五节 常用焊接方法的比较和选用	140
第六节 焊缝符号	141
▪ 第六章 船用金属材料的焊接	146
第一节 金属材料的焊接性	146
第二节 一般强度船用结构钢的焊接	149
第三节 高强度船用结构钢的焊接	151

目 录

21世纪
高职船舶系列教材
SHIJI GAOZHIGUANBO XILIE JIAOCAI

船舶材料与焊接

第四节	不锈钢的焊接	155
第五节	非铁金属材料的焊接	157
第七章	船舶结构的焊接工艺	164
第一节	船体结构焊接工艺规程的编制	164
第二节	船体结构焊接特点及焊接工艺基本原则	167
第三节	整体造船的焊接工艺	171
第四节	分段造船中的焊接工艺	172
第五节	艏总段的焊接	180
第六节	船台的焊接	183
第七节	船体主要部件与舾装件的焊接	189
第八节	船体维修的焊接工艺	198
第八章	船舶焊接检验	201
第一节	船舶焊接检验及其重要性	201
第二节	常见船舶焊接缺陷	205
第三节	常用船舶焊接质量的检验方法	206
参考文献		217



绪 论

现代文明和科技的进步极大地促进了造船业的发展,同时也增大了造船业的用钢量,扩大了钢材品种以及非铁金属材料的应用,尤其是钢材的强度级别出现明显增高的趋势,船舶材料的发展与更新直接推动了船舶焊接技术的发展,使焊接技术成为现代船舶工业的基础工程技术之一。焊接技术早在 20 世纪 20 年代就开始应用于造船,如今已日益显示出是现代船舶建造工程的关键工艺技术。船舶焊接质量是评价造船质量的重要指标,焊接生产效率是影响造船产量与生产成本的主要因素之一。因此,船舶焊接技术的进步对推动造船生产的发展具有十分重要的意义。

一、我国船舶焊接技术的发展概况

20 世纪 80 年代初期,我国实行改革开放政策,船舶工业遇上了建造出口船的机遇,所建造的船舶产品进入了国际船舶市场。到目前为止,我国造船吨位以进入世界三强之列。

(一) 船舶焊接技术在造船中的巨大作用

1. 焊接技术的发展促进了船舶建造的大型化,多样化

目前我国的主要骨干船厂其焊接技术已能基本满足建造散装货船、集装箱船、液化石油气船(LPG)、液化天然气船(LNG)等各类船舶的建造的需要。一批具有代表性的外高桥型、江南型、沪东型、大连型船舶的出口获得各国船东的好评。图 0-1 为 30 万吨载重油轮。



图 0-1 30 万吨载重油轮

2. 焊接技术的发展为我国海洋开发和建设提供了技术支持

我国海洋石油钻井平台都是依靠先进的焊接技术建造的。图 0-2 为 40 米自升式钻井



平台。

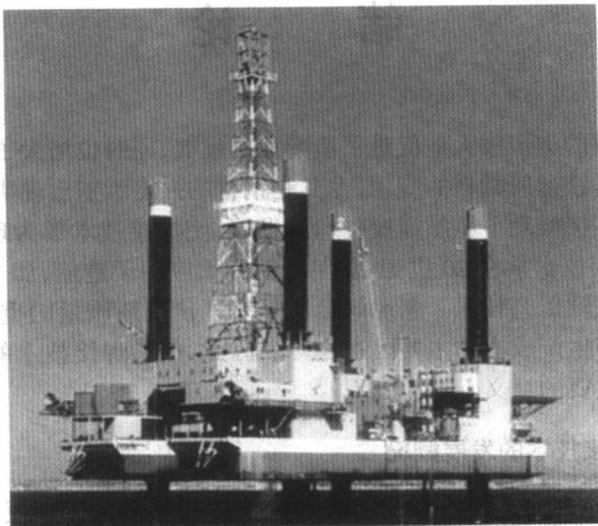


图 0-2 40 米自升式钻井平台

3. 焊接技术的发展拓展了船厂的经营范围

船厂不仅建造船舶,而且还能建造高层建筑钢结构、大型桥梁及市政设施等。图0-3为全焊钢结构的上海卢浦大桥。

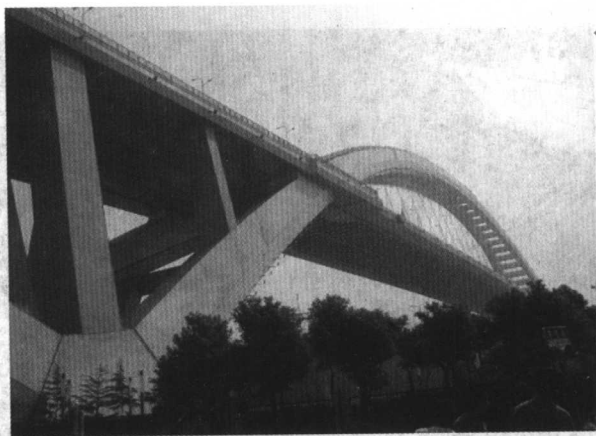


图 0-3 上海卢浦大桥(全焊钢结构)

(二) 船舶焊接技术的最新发展

1. 新材料、新钢种,尤其是高强度钢在船舶建造中的不断应用,促进了焊接新工艺的发展。
2. 推广应用了 CO_2 气体保护自动、半自动、气电垂直自动焊,以及各种衬垫单面焊等高效焊接技术。



3. 提高了船舶分段制造的焊接自动化、半自动化率和焊接生产流水线作业水平。
4. 缩短了造船周期,在船台等现场焊接中全面推广应用衬垫单面焊技术。
5. 在新建的平面分段流水线上全面应用 CO_2 气体保护焊接技术。
6. 加强了军品焊接技术研究,提高军品焊接自动化率,改善军品焊接质量。

目前我国的造船焊接技术与世界上造船第一、第二大国,即韩国与日本之间的差距仍然较大。近年来我国经济快速发展,这种差距正在缩小,但仍需做出艰苦的努力。

二、船舶焊接技术的特点

在 20 世纪以前所建造的船舶多用铆接,从 20 世纪 30 年代开始逐步采用了焊接,如果说用钢材代替木材来建造船舶是造船业的第一次技术革命,那么在船舶建造工艺上用焊接代替铆接则是第二次技术革命。在造船业中,焊接之所以能迅速取代铆接,而成为世界上广泛用于船舶建造的主要加工方法,就是因为它有着与铆接无法比拟的巨大优越性。

1. 船舶焊接结构性能优良,结构合理,承载能力高,接头连续,密封性好,焊接接头没有铆接的铆钉和间距,而是无缝的永久接头。

2. 船舶焊接结构节省材料,增加效益,焊接接头的熔敷金属量约占整个船舶结构的 1% ~ 1.5%,而铆接接头的双层搭接量或连接板及铆钉占到 10% ~ 15%,比焊接接头多消耗材料 10% 以上。

3. 船舶焊接技术适应性强,用焊接方法其被连接件的板厚不受限制,焊接技术可以实现现代船舶上的各种金属材料的连接,还特别适合船舶结构的复杂性,对于现代特大型结构采用焊接技术更是具有其它加工技术无法比拟的优越性。

4. 船舶焊接工艺生产率高,设备投资少,传统的焊接工艺,一般只需要焊机就可以了,而自动化程度较高的焊接设备,相对投入较大,但其带来的效益远远大于投入,因而缩短了船舶建造周期,实现了分段造船,流水作业和预舾装工艺及“壳舾涂”一体化。

5. 船舶焊接结构劳动条件较好,与铆接相比大大地降低了劳动强度和生产场地的噪声,特别是随着焊接技术的发展,焊接自动化程度的提高,焊接生产流水线的应用,使得生产环境大为改观,也使得劳动者由体能型向技能型转变。

6. 焊接结构的刚性大,整体性强,结构中存在应力集中区,往往诱发裂纹,一旦裂纹扩展,就会导致船舶破损、开裂,从而造成海损事故。

因此在建造船舶时,也要根据船舶的特点,采用合理的焊接方法,焊接工艺,以减少焊接应力和变形以及焊接缺陷。所以确定先进的船舶焊接工艺,必须首先熟悉各种焊接材料和焊接方法及其特点,才能真正发挥焊接技术的优越性,建造更多的优质船舶。

三、本课程的学习内容及方法

本教材主要介绍我国船舶行业目前正在应用的焊接技术,由于船舶焊接技术的发展是建立在船舶材料发展的基础之上的,因此在介绍船舶焊接技术之前,有必要介绍一下船舶材料的一些基本知识,为进一步学习打下基础。

(一)本课程的学习内容

1. 船舶材料知识

- (1) 船舶材料基础,包括金属的晶体结构与结晶、铁碳合金相图和钢的热处理基础;
- (2) 船舶金属材料,包括一般强度船用结构钢、高强度船用结构钢和非铁船用金属材料,



即铝、铜、钛及其合金等；

(3)船用工程塑料。

2. 船舶焊接技术

(1)焊接基本理论,包括焊接电弧、焊缝的形成过程和焊接接头的金相组织及性能；

(2)船厂常用的焊接方法,包括焊条电弧焊、埋弧自动焊、气体保护焊(主要介绍 CO_2 气体保护焊和氩弧焊)和其它焊接加工方法；

(3)船舶金属材料的焊接,包括船用结构钢、船用非铁金属材料的焊接知识；

(4)船舶结构焊接工艺,包括甲板结构、船底结构、船侧结构、艏艉结构、上层建筑以及船舶舾装件的焊接工艺；

(5)船舶焊接质量检验,主要介绍船舶焊接质量检验的意义和作用及在质量体系中的地位,常见焊接缺陷的判别方法,船厂常用焊接质量检测方法。

(二)本课程的学习方法

在我国造船业快速发展的今天,焊接技术的进步日新月异,学好现代船舶焊接技术,应从以下几个方面着手：

- 1.明确的学习目的和激发强烈的求知欲；
- 2.做好学习笔记,寻求焊接技术在造船中应用的知识点；
- 3.认真阅读教材,抓住各章节的重点,积极参加教学讨论、答疑等活动；
- 4.广泛阅读课外参考书和相关科技杂志及专业网站,扩大知识面。



第一章 船舶材料基础

材料是造船工业的基础。在造船生产中使用材料特别是金属材料主要是由于其具有满足船舶结构所需的力学性能与工艺性能要求,而这些性能与金属内部原子结构及合金化有着密切的关系。

第一节 金属的力学性能

金属的力学性能是指在力的作用下,所显示与变形与破坏有关的性能。常用的力学性能指标有强度、塑性、硬度、冲击吸收功、疲劳极限等。

一、强度和塑性

(一)拉伸试验及拉伸曲线

静载荷拉伸试验是工业上最常用的力学性能试验方法之一。试验时在试样两端缓慢地施加试验力,使试样的标距部分受轴向拉力,沿轴向伸长,直至试样拉断为止。测定试样对外加试验力的抗力,可以求出材料的强度值;测定试样在断裂后塑性变形的大小,可以求出材料的塑性值。

试验前,将材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样。如图 1-1 所示为常用的圆形拉伸试样。若设试样从开始加载直到断裂前所受的拉力为 F ,将其所对应的试样原始标距长度 L_0 的伸长量 ΔL 绘成曲线,便得到拉伸曲线。如图 1-2 所示为退火状态的低碳钢拉伸曲线。用试样原始截面积 S_0 去除拉力 F 得到应力,以试样原始标距 L_0 去除绝对伸长量 ΔL 得到应变 ϵ ,即 $\sigma = F/S_0$, $\epsilon = \Delta L/L_0$,则力-伸长($F-\Delta L$)曲线就成了工程上的应力-应变($\sigma-\epsilon$)曲线。

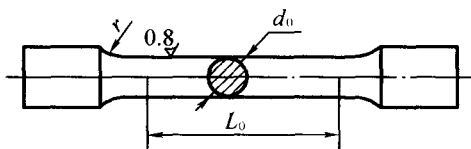


图 1-1 标准拉伸试样

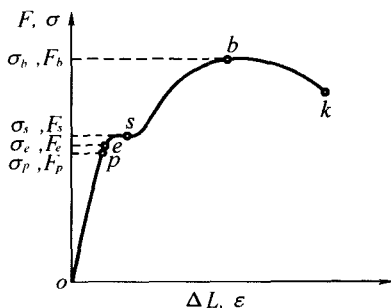


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

从图 1-2 拉伸曲线可看出,低碳钢在拉伸过程中明显地表现出不同的变形阶段,所以通常将低碳钢的应力-应变($\sigma-\epsilon$)曲线当作典型情况来说明材料的力学性能。整个曲线可分为弹性变形、塑性变形及断裂三个阶段。在弹性变形阶段(oe 段)中,若卸除试验力,试样能完全恢复到原来的形状和尺寸;其中在 op 阶段,应力与应变呈正比关系,即符合虎克定律。当应力超过 σ_e ,塑性变形便进入屈服阶段(es 段),应力应变曲线出现平台或锯齿,应力不增加或只有微小增加,试样却



继续伸长。屈服之后材料进入均匀塑性变形阶段(sb 段),均匀变形的原因是冷变形强化(加工硬化)所致,变形与硬化交替进行,变形量越大,为使材料变形所需的应力越大。当试样变形达到最高点 b 时,变形强化跟不上变形的变化,不能再使变形转移,致使某处截面开始减小。在断裂阶段(bk 段),应力增加、变形加剧,形成缩颈。此时,施加于试样的力减小,而变形继续增加,直至断裂(k 点)。

(二)常用强度性能指标

强度是材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。工程上常用的强度指标有规定非比例伸长应力、屈服强度、抗拉强度等。

1. 规定非比例伸长应力

金属材料在载荷作用下,试样标注部分的非比例伸长达到规定的原始标注百分比时的应力,以 σ_p 表示,单位为MPa。

$$\sigma_p = \frac{F_p}{S_0}$$

式中 F_p ——试样非比例伸长为规定量时的拉力,N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

弹性极限是理论上的概念,一般难以用实验直接测定。在实际工程上,常以屈服点或规定残余伸长应力代替之。

规定非比例伸长应力是弹性元件设计和选材的主要依据。

2. 屈服强度

金属材料在载荷作用下,产生屈服时的最低应力称为材料的屈服强度,以 σ_s 表示,单位为MPa。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s 为材料屈服时的拉伸力。

屈服点是具有屈服现象的材料特有的强度指标。除退火或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服点外,大多数合金都没有屈服现象,因此提出“规定残余伸长应力”作为相应的强度指标。国家标准规定:当试样卸除拉伸力后,其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比的应力,作为规定残余伸长应力 σ_r 。表示此应力的符号应附以角标说明,例如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为0.2%时的应力。

$$\sigma_y = \frac{F_r}{S_0}$$

式中 F_r 为产生规定残余伸长时的拉力,N。

国标曾将产生0.2%残余伸长率的规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 称为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。目前一些技术资料仍沿用这一术语。

屈服强度是金属工程结构设计和选材的主要依据。

3. 抗拉强度

金属材料在载荷作用下,断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度(曾称强度极限),以 σ_b 表示,单位为MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$



抗拉强度的物理意义是表征材料在载荷作用下,对最大均匀变形的抗力,表征材料在拉伸条件下所能承受最大力的应力值,它是设计和选材的主要依据之一,是工程技术上的主要强度指标。

(三)塑性性能指标

金属材料在载荷作用下,断裂前发生不可逆永久变形的能力就是塑性。常用的塑性指标是材料断裂时最大相对塑性变形,如拉伸时的断后伸长率和断面收缩率。

1. 断后伸长率

试样拉断后,标距的伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率,以 δ 表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_1 ——试样拉断后的标距,mm;

L_0 ——试样原始标距,mm。

试样的长度和截面尺寸对 δ 是有影响的。按直径的尺寸分为标准试样和比例试样两种。标准试样的直径为 20 mm,而比例试样直径是任意的。因采用标距的不同,又有长、短试样之分。国家标准规定:长标距试样的标距以公式 $L_0 = 10d_0$,短试样的标距以公式 $L_0 = 5d_0$,式中的 d_0 和 S_0 分别为试样原始直径和原始截面积。短试样的伸长率用符号 δ_s 表示,长试样的伸长率用符号 δ_{10} 表示,对同一材料 $\delta_s > \delta_{10}$,通常试验优先选取短的比例试样。

2. 断面收缩率

试样拉断后,缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率,以 ψ 表示。其数值按下式计算

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样原始面积,mm²;

S_1 ——试样断裂后缩颈处的最小横截面积,mm²。

δ 或 ψ 数值越大,则材料的塑性越好。

除常温试验之外,还有金属材料高温拉伸试验方法(GB/T4338-95)和低温拉伸试验方法(GB/T13239-91)供选用。

二、硬度

硬度能够反映出金属材料在化学成分、金相组织和热处理状态上的差异,是检验产品质量、研制新材料和确定合理的加工工艺所不可缺少的快速检测性能之一;同时硬度试验是金属力学性能试验中最简便、最迅速的一种方法。

硬度实际是指一个小的金属表面或小的体积内抵抗弹性变形、塑性变形或抵抗破裂的一种抗力,因此硬度不是一个单纯的确定的物理量,不是基本的力学性能指标,而是一个由材料的弹性、强度、塑性、韧性等一系列不同力学性能组成的综合性能指标,所以硬度所表示的量不仅决定于材料本身,而且还取决于试验方法和试验条件。

硬度试验方法一般采用压入法,常用的硬度性能指标有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

(一)布氏硬度

布氏硬度的测定原理是用一定大小的试验力 $F(N)$,把直径为 $D(mm)$ 的淬火钢球或硬



质合金球压入被测金属的表面,如图 1-3 所示,保持规定的时
间后卸除试验力,用读数显微镜测出压痕平均直径 d (mm),然
后按公式求出布氏硬度 HB 值,或者根据 d 值从有关的布氏硬
度表中查出 HB 值。

$$HBS(HBW) = 0.102 \frac{F}{\pi D h} = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

由于金属材料有硬有软,被测工件有厚有薄,有大有小,如
果只采用一种标准的试验力 F 和压头直径 D ,就会出现对某些
材料和工件不适应的现象。因此,在生产中进行布氏硬度试验
时,要求能使用不同大小的试验力和压头直径,对同一种材料
采用不同的 F 和 D 进行试验时,能否得到同一的布氏硬度值,
关键在于压痕几何形状的相似,即可建立 F 和 D 的某种选配关系,以保证布氏硬度的不变
性。

国家标准(GB231-84)规定布氏硬度试验时,常用的 $0.102 F/D^2$ 的比例为 30, 10, 2.5 三
种,根据金属材料种类、试样硬度范围和厚度的不同,按照表 1-1 所示的规范选择试验压头
(钢球)直径 D 、试验力 F 及保持时间。

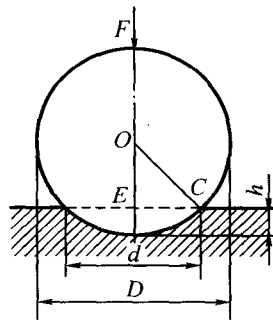


图 1-3 布氏硬度试验原理

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料 种类	布氏硬度使用 范围/HBS	球直径 D/mm	$0.102 F/D^2$	试验力 F/N	试验力保 持时间/s	备 注
钢 铸 铁	≥ 140	10	30	29 420	10	压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍 试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。试验后,试样支撑面应无可见变形痕迹
		5		7 355		
		2.5		1 839		
	< 140	10	10	9 807	10 ~ 15	
		5		2 452		
		2.5		613		
非铁 金属 材料	≥ 130	10	30	29 420	30	
		5		7 355		
		2.5		1 839		
	35 ~ 130	10	10	9 807	30	
		5		2 452		
		2.5		613		
	< 35	10	2.5	2 452	60	
		5		613		
		2.5		153		

淬火钢球作压头测得的硬度值以符号 HBS 表示,用硬质合金球作压头测得的硬度值以
符号 HBW 表示。符号 HBS 和 HBW 之前的数字为硬度值,符号后面依次用相应数值注明压
头直径 (mm)、试验力 $[0.102 F (N)]$ 、试验力保持时间 (s) (10 ~ 15 s 不标注)。例如
500HBW5/750,表示用直径 5 mm 硬质合金球在 7 355 N 试验力作用下保持 10 ~ 15 s 测得的
布氏硬度值为 500;120HBS10/1000/30,表示用直径 10 mm 的钢球压头在 9 807 N 试验力作用下



保持30 s测得的布氏硬度值为 120。

目前,布氏硬度主要用于铸铁、非铁金属以及经退火、正火和调质处理的钢材的硬度测试。

(二)洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用最广的性能试验方法,它是采用直接测量压痕深度来确定硬度值的。

洛氏硬度试验原理如图 1-4 所示。它是用顶角为 120° 金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm ($1/16$ 英寸) 的淬火钢球作压头,先施加的初始试验力 F_1 (98 N),再加上主试验力 F_2 ,其总试验力 $F = F_1 + F_2$ (588 N 、 980 N 、 $1\,471\text{ N}$)。图中 0-0 为压头没有与试样接触时的位置;1-1

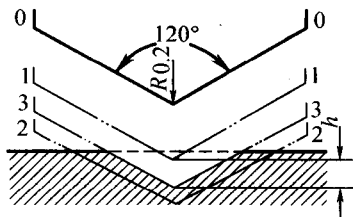


图 1-4 洛氏硬度试验原理

为压头受到初试验力 F_1 后压入试样的位置;2-2 为压头受到总试验力 F 后压入试样的位置经规定的保持时间,卸除主试验力 F_2 ,仍保留初试验力 F_1 ,试样弹性变形的恢复使压头上升到 3-3 的位置。此时压头受主试验力作用压入的深度为 h ,即 1-1 位置至 3-3 的位置。金属越硬, h 值越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念,故人为的规定一常数 K 减去压痕深度 h 的值作为洛氏硬度指标,并规定每 0.002 mm 为一个洛氏硬度单位,用符号 HR 表示,则洛氏硬度值为

$$\text{HR} = \frac{K - h}{0.002}$$

由此可见,洛氏硬度值是一无量纲的材料性能指标,使用金刚石压头时,常数 K 为 0.2,使用钢球压头时,常数 K 为 0.26。

为了能用一种硬度计测定从软到硬的材料硬度,采用了不同的压头和总负荷组成几种不同的洛氏硬度标度,每一个标度用一个字母在洛氏硬度符号 HR 后加以注明,我国常用的是 HRA、HRB、HRC 三种,试验条件(GB230-91)及应用范围见表 1-2 所示。洛氏硬度值标注方法为硬度符号前面注明硬度数值,例如 52HRC、70HRA 等。

表 1-2 常用的三种洛氏硬度的试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	总实验力 F/kN	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120° 金刚石圆锥体	0.588 4	70 ~ 85	硬质合金,表面淬硬层,渗碳层
HRB	$\phi 1.588\text{ mm}$ 钢球	0.980 7	25 ~ 100	非铁合金,退火、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥体	1.471 1	20 ~ 67	淬火钢,调质钢

洛氏硬度 HRC 可以用于硬度很高的材料,操作简便迅速,而且压痕很小,几乎不损伤工作表面,故在钢件热处理质量检查中应用最多。但由于压痕小,硬度值代表性就差些。如果材料有偏析或组织不均匀的情况,则所测硬度值的重复性差,故需在试样不同部位测定三点,取其算术平均值。

上述硬度试验方法中,布氏硬度试验力与压头直径受约束关系的约束,并有钢球压头的



变形问题;洛氏硬度各标度之间没有直接的简单的对应关系。维氏硬度(用符号 HV 表示)克服了上述二种硬度试验的缺点,其优点是试验力可以任意选择,特别适用于表面强化处理(如化学热处理)的零件和很薄的试样,但维氏硬度试验的生产率不如洛氏硬度试验高,不宜用于成批生产的常规检验。维氏硬度的测定原理与布氏硬度相类似,其试验方法和技术条件可参阅有关国家标准。

三、冲击吸收功

机械零部件在工作过程中不仅受到静载荷或交变载荷作用,而且受到不同程度的冲击载荷作用,如锻锤、冲床、铆钉枪等。在设计和制造受冲击载荷的零件和工具时,必须考虑所用材料的冲击吸收功或冲击韧性。

目前最常见的冲击试验方法是摆锤式一次冲击试验,其试验原理如图 1-5 所示。

将被测定的材料先加工成标准试样,然后放在试验机的机架上,试样缺口背向摆锤冲击方向,如图 1-5 所示。将具有一定重力 F 的摆锤举至一定高度 H_1 ,使其具有势能(FH_1),然后摆锤落下冲击试样;试样断裂后摆锤上摆到 H_2 高度,在忽略摩擦和阻尼等条件下,摆锤冲断试样所做的功,称为冲击吸收功,以 A_K 表示,单位为 J,则有 $A_K = FH_1 - FH_2 = F(H_1 - H_2)$ 。在 GB/T229-94 中,仅规定了冲击吸收功的概念。若用试样的断口处截面积 S_N 去除 A_K 即得到冲击韧性,用 a_K 表示,单位为 J/cm^2 。

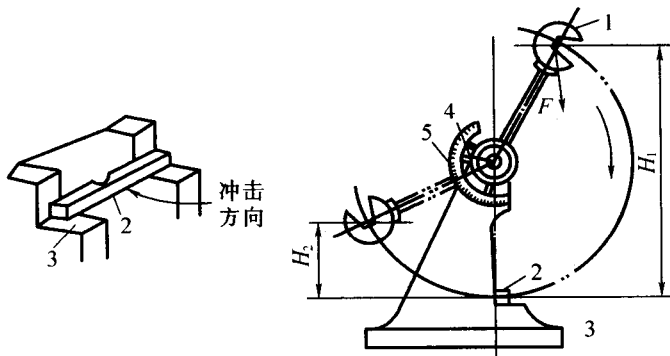


图 1-5 冲击实验原理图

1—摆锤;2—试样;3—机架;4—指针;5—刻度盘

$$a_K = \frac{A_K}{S_N}$$

对一般常用钢材来说,所测冲击吸收功 A_K 越大,材料的韧性越好。但由于测出的冲击吸收功的 A_K 组成比较复杂,所以有时测得的 A_K 值及计算出来的 a_K 值不能真正反映材料的韧脆性质。

长期生产实践证明 A_K 、 a_K 值对材料的组织缺陷十分敏感,能灵敏地反映材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化,因而冲击试验是生产上用来检验冶炼和热加工质量的有效办法之一。由于温度对一些材料的韧脆程度影响较大,为了确定出材料由塑性状态向脆性状态转化趋势,可分别在一系列不同温度下进行冲击试验,测定出 A_K 值随试验温度的