



普通高等教育“十二五”规划教材

PUTONG GAODENG JIAOYU "12·5" GUIHUA JIAOCAI

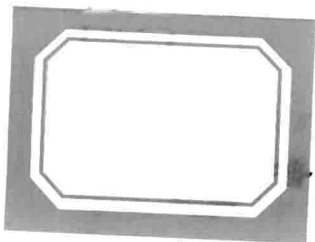
金属材料 与热处理

JIN SHU CAI LIAO YU RE CHU LI

主编◎韩喆 陈淑花 叶东南



 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



通高等教育“十二五”规划教材

金属材料与热处理

主 编 韩喆 陈淑花 叶东南

北 京

冶金工业出版社

2013

内 容 简 介

本书从培养技能型、应用型人才的目的出发,根据现阶段高等院校材料、机械专业教学实际情况,结合金属材料与热处理课程教学大纲编写。全书主要包括:金属材料的力学性能、金属学原理、热处理原理与方法、常用金属材料、非金属材料等。

本书适用于普通高等教育、高等职业技术学校和中等专业技术学校金属材料专业、机械专业以及其他相关专业学生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/韩喆,陈淑花,叶东南主编.

—北京:冶金工业出版社,2013.12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6475-2

I. ①金… II. ①韩… ②陈… ③叶… III. ①金属材料—高等学校—教材②热处理—高等学校—教材 IV.

①TG14②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 279505 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

ISBN 978-7-5024-6475-2

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京明兴印务有限公司印刷

2013 年 12 月第 1 版,2013 年 12 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 16 印张; 408 千字; 256 页

32.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

《金属材料与热处理》是高职院校冶金、材料、机械各专业的专业基础课,它主要研究金属材料的成分、组织结构与性能之间的关系及其对加工工艺的影响。通过本课程的学习,可认识金属材料的一般规律,为合理地制定加工工艺、合理选材及后续课程的学习打下基础。

本教材从培养技能型、应用型人才的目的出发,根据现阶段高职院校冶金、材料、机械专业教学实际情况,结合金属材料与热处理课程教学大纲编写。全书主要内容包括:金属材料的力学性能、金属学原理、热处理原理与方法、常用金属材料、非金属材料等。

本教材的内容具有以下几个特点:(1)以能力培养为原则,突出实用性,以实际动手能力为先机,突出理论与冶金、材料、机械生产实际相结合。(2)内容深入浅出,循序渐进,有利于学生更好地理解与掌握教学内容。(3)教材中注意贯彻有关最新的国家标准与行业标准。(4)突出综合应用能力,并在每章编入了复习思考题,有利于学习者掌握基本概念、巩固知识,提高分析、解决问题的能力。

本书的绪论、第一、二、三、四、十二章、附录由武汉船舶职业技术学院韩喆编写,第五、六、七、八、十一章由武汉城市职业学院陈淑花编写,第九、十章由武汉船舶职业技术学院叶东南编写,本书由韩喆负责统稿。

本教材编写过程中参考了各类相关资料,在此特向参考文献的各位著作者致以衷心的感谢!由于编者水平有限,书中的不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2013年8月

目 录

绪论	(1)
第一章 金属材料的性能	(5)
第一节 金属材料的力学性能	(5)
第二节 金属材料的物理和化学性能	(15)
第三节 金属材料的工艺性能	(17)
第二章 常见金属的晶体结构与结晶	(20)
第一节 金属	(20)
第二节 常见金属的晶体结构	(21)
第三节 金属的实际晶体结构	(28)
第三章 纯金属的结晶	(35)
第一节 金属结晶的现象	(35)
第二节 金属结晶的条件	(36)
第三节 金属结晶的过程	(38)
第四节 晶粒大小的控制	(45)
第五节 金属铸锭(件)组织与缺陷	(47)
第四章 金属的塑性变形与再结晶	(51)
第一节 金属材料的塑性变形	(51)
第二节 冷塑性变形对金属组织与性能的影响	(57)
第三节 回复与再结晶	(61)
第四节 金属的热加工	(66)
第五章 合金的结构与结晶	(70)
第一节 合金的相结构	(70)
第二节 二元合金相图	(74)
第三节 合金的力学性能与相图的关系	(85)
第六章 铁碳合金相图和碳钢	(87)
第一节 纯铁、铁碳合金的相结构及其性能	(88)
第二节 Fe-Fe ₃ C 相图分析	(90)
第三节 碳钢	(102)
第七章 钢的热处理	(115)
第一节 钢的热处理的原理	(116)
第二节 钢常用的热处理工艺	(125)
第三节 其他热处理工艺	(137)



第四节 金属材料热处理工艺设计及应用实例	(143)
第八章 合金结构钢	(149)
第一节 合金钢的分类和牌号	(149)
第二节 合金元素在钢中的作用	(151)
第三节 低合金结构钢	(158)
第四节 合金结构钢	(161)
第九章 特殊性能钢	(172)
第一节 不锈钢	(172)
第二节 耐热钢	(178)
第三节 耐磨钢	(181)
第四节 低温钢	(183)
第十章 工具钢	(185)
第一节 工具钢的分类及编号	(185)
第二节 刃具钢	(187)
第三节 模具钢	(192)
第四节 量具钢	(196)
第十一章 铸 铁	(198)
第一节 概述	(199)
第二节 铸铁的分类	(200)
第三节 普通灰铸铁	(201)
第四节 球墨铸铁	(206)
第五节 蠕墨铸铁及可锻铸铁	(211)
第六节 合金铸铁	(215)
第十二章 非铁金属	(219)
第一节 铝及铝合金	(219)
第二节 铜及铜合金	(225)
第三节 钛合金	(231)
附 录	(237)
金属材料及热处理实验指导书	(237)
实验一 拉伸试验	(237)
实验二 金属材料的硬度试验	(239)
实验三 铁碳合金平衡组织鉴别实验	(241)
实验四 碳钢热处理后的基本组织鉴别实验	(243)
实验五 钢的热处理	(246)
参考文献	(250)

绪论

一、材料与人类文明的发展历史

材料是人类用来制造各种产品的物质,是人类生活和生产的物质基础。人类社会的发展伴随着材料的发明和发展。人类最早使用的材料是石头、泥土、树枝、兽皮等天然材料。由于火的使用,人类发明了陶器、瓷器,其后又发明了青铜器、铁器。因此历史学家常根据材料的使用,将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。而今人类已跨进人工合成材料的新时代,金属材料以及高分子材料、陶瓷材料、复合材料等新型材料得到迅速的发展,为现代社会的发展奠定了重要的物质基础。

中华民族为材料的发展和应用作出了重大的贡献。在人类的发展史上,最先使用的工具是石器。我们的祖先用坚硬的容易纵裂成薄片的燧石和石英石等天然材料制成石刀、石斧、石锄。早在新石器时代(公元前 6000~公元前 5000 年)的磁山(河北)-裴李岗(河南)文化时期,中华民族的先人们用黏土(主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3)烧制成陶器。在仰韶(河南)文化(公元前 4000~200 年)和龙山(山东、河南等)文化时期制陶技术已经发展到能在氧化性气氛的窑中(950°C)烧制成红陶,在还原性气氛的炉中(1050°C)烧制薄胎黑陶与白陶。在 3000 多年前的殷、周时期,发明了釉陶,炉窑温度提高到了 1200°C 。马家窑(甘肃)文化时期的陶器以砂质和泥质红陶为主,表面彩绘有条带纹、波纹和舞蹈纹等(见图 0-1),制品有炊具、食具、盛储器皿等。我国在东汉时期发明了瓷器(见图 0-2),成为最早生产瓷器的国家。瓷器于 9 世纪传到非洲东部和阿拉伯国家,13 世纪传到日本,15 世纪传到欧洲。瓷器成为中国文化的象征,对世界文明产生了极大的影响。直到今天,中国瓷器仍畅销全球,名誉四海。



图 0-1 陶器

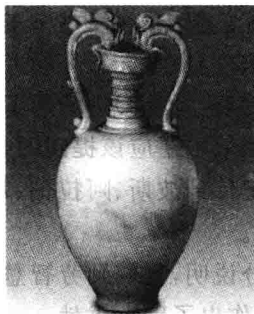


图 0-2 瓷器

我国青铜的冶炼在夏朝(公元前 2140 年始)以前就开始了,到殷、西周时期已发展到很高的水平。青铜主要用于制造各种工具、食器、兵器。从河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达 8750 N,外型尺寸为 $1.33\text{m} \times 0.78\text{m} \times 1.10\text{m}$,是迄今世界上最古老的大型青铜器(见图 0-3)。



在制造时采用了精湛的铸造技术。在泥模塑造、陶范翻制、合范、熔炼、浇注等铸造全过程中,充分体现了中国古代劳动人民的聪明才智和高超的技艺。从湖北江陵楚墓中发掘出的越王勾践的两把宝剑,长 0.557m,宽 0.046m,保存完好,基本上没有腐蚀,金光闪闪,锋利异常,剑体满饰菱形花纹,剑上铭刻八字“越王勾践,自作用剑”,是我国青铜器的杰作。在湖北大冶发现的春秋晚期的铜矿井遗址深达 50m,炼铜炉渣有 40 多万吨,实属罕见。从湖北隋县出土的战国青铜编钟是我国古代文化艺术高度发达的见证。春秋战国时期《周礼·考工记》中记载了钟鼎、斧斤等六类青铜器中的锡含量,称为“六齐(剂)”。书中写道:“六分其金而锡居一,谓之钟鼎之齐;五分其金而锡居一,谓之斧斤之齐;四分其金而锡居一,谓之戈戟之齐;三分其金而锡居一,谓之大刃之齐;五分其金而锡居二,谓之削杀矢之齐;金、锡半,谓之鉴燧之齐”。这是世界上最古老的关于青铜合金成分的文字记载,这表明我们的祖先已经认识到了青铜的性能与成分之间的密切关系。我国劳动人民创造了灿烂的青铜文化。

我国从春秋战国时期(公元前 770~公元前 221 年)已开始大量使用铁器。从兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁模,说明冶铸技术已由泥砂造型水平进入铁模铸造的高级阶段。到了西汉时期,炼铁技术又有了很大的提高,采用煤作为炼铁的燃料,这要比欧洲早 1700 多年。在河南巩县汉代冶铁遗址中,发掘出 20 多座冶铁炉和锻炉,炉型庞大,结构复杂,并有鼓风装置和铸造坑,可见当年生产规模之壮观。我国古代创造了三种炼钢方法:第一种是从矿石中直接炼出自然钢。用这种钢制作的剑在东方各国享有盛誉,东汉时传入了欧洲;第二种是西汉时期的经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;第三种是南北朝时期生产的灌钢。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术我国要比其他国家早 1600 多年,钢的热处理技术也达到了相当高的水平。西汉《史记·天官书》中有“水与火合为淬”一说,正确地说出了钢铁加热、水冷的——淬火热处理工艺要点。《汉书·王褒传》中记载有“巧冶铸干将之朴,清水淬其锋”的制剑技术。明代科学家宋应星在《天工开物》一书中对钢铁的退火、淬火、渗碳工艺作了详细的论述。钢铁生产工具的发展,对社会进步起了巨大的推动作用。



图 0-3 司母戊鼎

在材料领域中还应该提到的是丝绸。丝绸是一种天然高分子材料,它在我国有着悠久的历史,于 11 世纪传到波斯、阿拉伯、埃及,并于 1470 年传到意大利的威尼斯,进入欧洲。中国丝绸,名扬四海。

历史充分说明,我们勤劳智慧的祖先,在材料的创造和使用上有着辉煌的成就,为人类文明、世界进步作出了巨大贡献。

中华人民共和国成立以后,我国的钢铁冶炼技术有了突破性进展,目前钢产量已跃居世界首位。武汉长江大桥使用碳素结构钢 A3(即 Q235)钢制造,而我国自行设计和建造的南京长江大桥则用强度较高的合金结构钢 16Mn 制造,九江长江大桥则用强度更高的合金结构钢 16MnVN 制造。我国的原子弹、氢弹的研制成功,火箭、人造卫星的上天,都以材料的发展为坚实基础。年产 30 万吨乙烯工程的建成大大地推动了我国高分子材料工业的发展。



在当代,科学技术和生产飞跃发展。材料、能源与信息作为现代社会和现代技术的三大支柱,发展格外迅猛。

在材料中非金属材料发展神速,尤以人工合成高分子材料的发展最快。从20世纪60年代到70年代,有机合成材料每年以14%的速度增长,而金属材料的年增长率仅为4%。到70年代中期,全世界的有机合成材料和钢的体积产量已经相等,除了作为结构材料代钢铁外,目前正在研究和开发具有良好导电性能和耐高温的有机合成材料。陶瓷材料的发展同样十分引人注目,它除了具有许多特殊性能作为重要的功能材料(例如可作光导纤维、激光晶体等)以外,其脆性和抗热震性正在逐步获得改善,是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程结构已不再只使用金属材料制造了。

随着航空、航天、电子、通信等技术以及机械、化工、能源等工业的发展,对材料的性能提出越来越高、越来越多的要求。传统的单一材料已不能满足使用要求。复合材料的研究和应用引起了人们的重视。如玻璃纤维树脂复合材料(即玻璃钢)、碳纤维树脂复合材料已应用于宇航和航空工业中制造卫星壳体、宇宙飞行器外壳、飞机机身、螺旋桨、发动机叶轮等;在交通运输工业中制造汽车车身、轻型船、艇等,在石油化工工业中制造耐酸、耐碱、耐油的容器、管道等。

近几年来,我国在新材料的研究和材料加工新工艺的研究工作中取得了卓有成效的重大成果。研制成功性能优越、用途广泛的新型结构钢;研制出零电阻温度为128.7K的 $Tl-Ca-Ba-Cu-O$ 超导体(铋系超导体),我国在C60和巴基管新型碳材料的研究方面取得许多新的成果,利用巴基管作为衬底,制备出均匀、致密的金刚石薄膜,并用巴基管作为晶须增强复合材料,制作纳米复合材料。材料快速成型技术和材料表面处理技术在我国得到迅速发展。激光表面淬火、激光熔涂技术已在汽车发动机缸套、凸轮轴、石油抽油管、纺织用锭杆等零件的表面强化上得到应用。化学气相沉积(CVD)可制造出高硬度、高耐磨性的金黄色TiN薄膜,用于耐磨零件和装饰件的表面处理。

总之,材料科学和材料工程发展很快。我们需要掌握材料科学的基本理论和基本知识,研究和发明新的材料和新的工艺,合理地使用各种工程材料,为四个现代化建设事业作出应有的贡献。

二、课程的性质、任务和学习方法

(一)课程的性质

金属材料与热处理是焊接专业的一门重要专业技术基础课,是学习后续专业课程的基础。

(二)本课程的任务

- (1)掌握常用金属材料的力学性能指标、测试方法与应用;
- (2)掌握金属结晶的基本理论和基本知识;
- (3)掌握合金的基本概念,了解合金相图的表示与应用;
- (4)掌握铁碳合金的分类,铁碳合金的成分—组织—性能—应用之间关系;
- (5)掌握塑性变形对金属材料组织性能的影响规律以及如何消除;
- (6)掌握钢的热处理基本原理和工艺,以便正确选用热处理工艺方法,合理安排工艺路线;



(7)掌握常用的工业用钢(含船用结构钢)、铸铁、非铁金属的分类及其牌号表示,分析其成分、组织、性能之间的关系,以便合理选用。

(三)本课程的学习方法

本课程的学习方法具体如下:

- (1)明确学习目的和激发强烈的求知欲;
- (2)做好学习笔记,课后认真复习;
- (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 金属材料的性能



学习导航

- 掌握金属材料强度、塑性的测试方法
- 掌握金属材料硬度的测试方法
- 掌握冲击韧性、疲劳强度的正确表示及应用



案例导入

金属材料具有各种不同的使用性能,在生产上得到广泛应用。研究金属材料的根本目的是改善和提高其使用性能,金属材料的使用性能包括物理性能、化学性能、工艺性能和力学性能,对于结构材料来说,其中最重要的是力学性能。

第一节 金属材料的力学性能



学习要点

◎拉伸试样与拉伸试验;强度、塑性指标的正确表示;金属材料硬度的测试方法及应用;冲击韧性、疲劳强度的正确表示及应用。

金属材料的力学性能是指在力的作用下,所显示与变形和破坏有关的性能。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。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 ,与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。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。

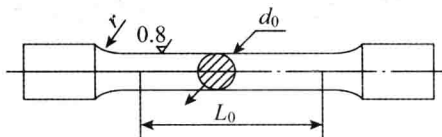


图 1-1 标准拉伸试样

从图 1-2 拉伸曲线可以看出,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)。

如果是真应力 S 和真应变 $e(\psi_e)$ 绘制曲线,则得到真实应力和应变曲线,如图 1-3 中的 OBK 曲线。

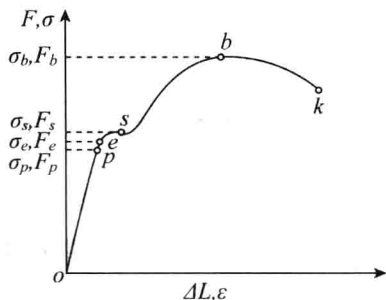


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

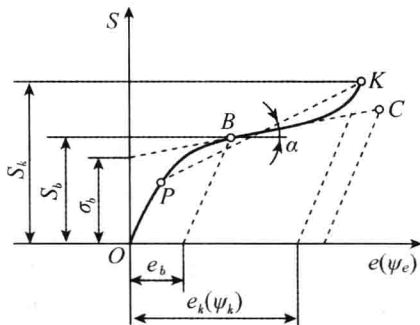


图 1-3 真实应力-应变曲线

(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规定的原始标注百分比时的应力,以 σ_p 表示,单位为 MPa(见式(1-1))。

$$\sigma_p = F_p / S_0 \quad (1-1)$$



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。

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(见式(1-2))。

$$\sigma_s = F_s / S_0 \quad (1-2)$$

式中 F_s ——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(见式(1-3))。

$$\sigma_y = F_r / S_0 \quad (1-3)$$

式中 F_r ——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(见式(1-4))。

$$\sigma_b = F_b / S_0 \quad (1-4)$$

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(见式(1-5))。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

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,长标距试样的标距公式为 $L_0=10d_0$,短试样的标距公式为 $L_0=5d_0$,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_5 表示,长试样的伸长率用符号 δ_{10} 表示,对同一材料 $\delta_5 > \delta_{10}$,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。其数值按式(1-6)计算:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 S_0 ——试样原始面积, mm^2 ;

S_1 ——试样断裂后缩颈处的最小横截面积, mm^2 。

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—1995)和低温拉伸试验方法(GB/T13239—1991)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 $F(\text{N})$,把直径为 $D(\text{mm})$ 的淬火钢球或硬质合金球压入被测金属的表面(见图 1-4),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 $d(\text{mm})$,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—1984)规定布氏硬度试验时,常用的 $0.102F/D^2$ 的比例为 30、10、2.5

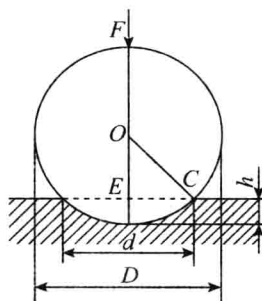


图 1-4 布氏硬度试验原理

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 的规范选择试验压头(钢球)直径 D 、试验力 F 及保持时间。

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	0.102F/D2	试验力 F/N	试验力保持时间/s	备注
钢 铸铁	≥140	10		29420	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	30	7355		
		2.5		1839		
	<140	10		9807	10~15	
		5	10	2452		
		2.5		613		
非铁金属材料	≥130	10		29420	30	
		5	30	7355		
		2.5		1839		
	35~130	10		9807	30	
		5	10	2452		
		2.5		613		
	<35	10		2452	60	
		5	2.5	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(0.102FN)、试验力保持时间(s)(10~15 s 不标注)。例如:500HBW5/750,表示用直径 5mm 硬质合金球在 7355N 试验力作用下保持 10~15s 测得的布氏硬度值为 500;120HBS10/1000/30,表示用直径 10mm 的钢球压头在 9807N 试验力作用下保持 30s 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 1-5 所示。它是用顶角为 120° 金刚石圆锥体或直径为 1.588mm ($1/16$ 英寸) 的淬火钢球作压头,先施加的初始试验力 F_1 (98N),再加上主试验力 F_2 ,其总试验力 $F=F_1+F_2$ (588N 、 980N 、 1471N)。图中 0—0 为压头没有与试样接触时的位置;1—1 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 0.002mm 为一个洛氏硬度单位,用符号 HR 表示,则洛氏硬度值见式(1-7):

$$\text{HR} = \frac{K - h}{0.002} \quad (1-7)$$

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—1991)及应用范围见表 1-2。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。

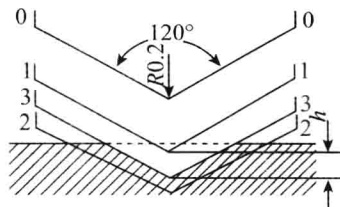


图 1-5 洛氏硬度试验原理

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,故在钢铁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制约关系的约束,并有钢球压头的变形问题;洛氏硬度各标度之间没有直接简单的对应关系。

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	0.5884	70~85HRA	硬质合金,表面淬硬层,渗碳层
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 钢球	0.9807	25~100HRB	非铁合金,退火、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥体	1.4711	20~67HRC	淬火钢,调质钢

由于洛氏硬度试验所用试验力较大,不宜用来测定极薄试样及渗氮层、金属镀层等的硬度,为此,人们应用洛氏硬度试验的原理,减小试验力,提出了表面洛氏硬度试验方法。表面洛氏硬度的标尺有六种。在表 1-3 中列出了各标尺的试验规范、测量硬度范围及应用。

表 1-3 表面洛氏硬度试验的标尺、试验规范及应用

标尺	硬度符号	压头类型	初始试验力 F^0 (N)	主试验力 F^1 (N)	总试验力 F (N)	测量硬度 范围	应用举例
15N	HR15N	金刚石圆锥	29.42	117.7	147.1	70~94	渗氮钢、渗碳钢、极薄钢板、刀刃、零件边缘部分、表面镀层
30N	HR30N			264.8	294.2	42~86	
45N	HR45N			411.9	441.3	20~77	
15T	HR15T	$\phi 1.588$ 钢球	29.42	117.7	147.1	67~93	低碳钢、铜合金、铝合金等薄板
30T	HR30T			264.8	294.2	29~82	
45T	HR45T			411.9	441.3	1~72	

洛氏硬度试验的优点是操作简便迅速,硬度值可直接读出,压痕较小,可在工件上进行试验,采用不同标尺可测定各种软硬不同的金属和厚薄不一的试样的硬度,因而广泛用于热处理质量的检验。其缺点是压痕较小,代表性差,由于材料中有偏析及组织不均匀等缺陷,致使所测硬度值重复性差,分散度大。此外,用不同标尺测得的硬度值彼此没有联系,不能直接进行比较。

(三) 维氏硬度试验

维氏硬度的试验原理与布氏硬度相同,也是根据压痕单位面积所承受的试验力来计算硬度值。所不同的是维氏硬度试验的压头不是球体,而是两对面夹角 α 为 136° 的金刚石四棱锥体,如图 1-6 所示。压头在试验力 F (N) 作用下,将试样表面压出一个四方锥形的压痕,经一定保持时间后,卸除试验力,测量出压痕对角线平均长度 d [$d = (d_1 + d_2) / 2$],用以计算压痕的表面积 A (mm^2)。维氏硬度值 (HV) 为试验力 F 除以压痕表面积 A 所得的商,并按式(1-8)计算:

$$\text{HV} = \frac{0.102F}{A} = \frac{0.204F \sin(\frac{136^\circ}{2})}{d^2} = 0.1891 \frac{F}{d^2} \quad (1-8)$$

与布氏硬度值一样,维氏硬度值也不标注单位。

维氏硬度试验之所以采用正四棱锥体压头,是为了当改变试验力时,压痕的几何形状总保持相似,而不致影响硬度值。

根据材料的软硬、厚薄及所测部位的特性不同,需要在不同试验力范围内测定维氏硬度。为此,我国制定了三个维氏硬度试验方法国家标准具体如下:

(1)《金属维氏硬度试验方法(GB 4340—84)》。试验力范围为 49.03~980.7N,共分六级。主要用于测定较大工件和较深表面层的硬度。

(2)《金属小负荷维氏硬度试验方法(GB 5030—85)》。试验力范围为 1.961~49.03 N,共分七级。主要

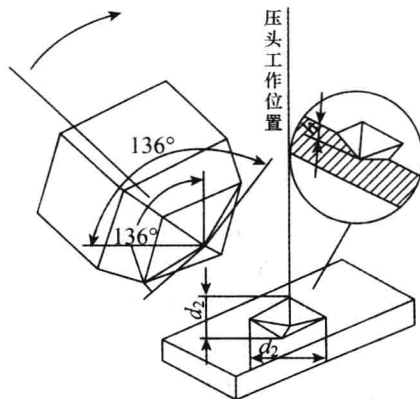


图 1-6 维氏硬度试验压头及压痕