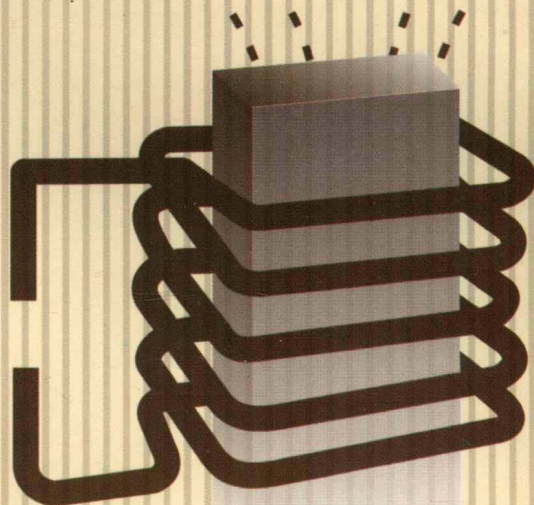




中等职业教育通用教材



主编 ◆ 杨大君 吴振荣

金属材料与热处理



西南交通大学出版社
<http://press.swjtu.edu.cn>

图书在版编目 (CIP) 数据

金属材料與熱處理 / 楊大君, 吳振榮主編. — 成都: 西南交通大學出版社, 2006.12
中等職業教育通用教材
ISBN 7-81104-292-4

I. 金... II. ①楊... ②吳... III. ①金属材料 - 專業學校 - 教材 ②熱處理 - 專業學校 - 教材 IV. TG1

中國版本圖書館 CIP 數據核字 (2006) 第 050211 號

金属材料与热处理

杨大君 吴振荣 主编

*

责任编辑 万 方

特邀编辑 李 彬 叶 凡

封面设计 本格设计

西南交通大學出版社出版發行

(成都二環路北一段 111 號 郵政編碼: 610031 發行部電話: 028-87600564)

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

重慶市鵬程印務有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印張: 9.75

字數: 243 千字 印數: 1—20 000 冊

2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-292-4

定價: 15.50 元

版權所有 盜版必究 舉報電話: 028-87600562

前 言

进入 21 世纪以来,为了贯彻落实中共中央、国务院《关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定》和国务院《关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,适应新世纪社会主义市场经济和职业教育快速发展的需要,培养大批具有综合素质的建设小康社会的技能型人才,在上级领导的热情关心和全力支持下,我们结合社会主义市场经济发展和西部大开发及劳动力市场的现状,中等职业学校专业技能基础课教学的实际情况,编写了中等职业教育通用教材《金属材料与热处理》。本教材以马克思主义、毛泽东思想、邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导方针,以国家颁发的《职业技能等级标准》和有关最新标准为依据,结合中等职业学校学生的知识基础和年龄特点等实际情况,并根据中职学校的培养目标,贯彻理论教学为专业技能实践服务的原则,突出了金属材料的分类、牌号、用途和热处理的分类,避免了复杂的理论分析,着眼于应用,力求概念清楚、内容精选,图文并茂,通俗易懂;因此,本教材的内容具有一定的科学性、专业性、针对性、实践性、时代性、可读性、通俗性和实用性等特点,适合机械类专业中等职业学校二年制(教材内容第一章至第六章和第十章)、三年制(教材内容第一章至第十章)的学生使用,也可以供职工培训的学员使用。

在编写本教材的同时,为了便于教师教学安排与因材施教、利于学生复习巩固,也编写了与其相配套的《金属材料与热处理(教学大纲)》、《金属材料与热处理(习题册)》、《金属材料与热处理(教学参考)》,以供各校师生在具体的教学实践中参考。

本教材由杨大君、吴振荣主编与统稿,张宏申主审。

参加本教材的编写人员是:杨大君、张宏申、兰敏(绪论、第一章、第二章、第三章、第四章、第五章、第六章)、吴振荣(第七章、第八章)、刘家莉(第九章)、刘连社(第十章)。

这本《金属材料与热处理》教材的成型经过了几年的努力,由于职教形势发展的需要,本着与时俱进的精神,在这次正式出版之际,我们在广泛听取意见的基础上,将教材中的有关内容进行了必要的修改与调整。

这次修改与调整由原主编、主审、参编人员承担。

在本教材的编写、修改、调整和正式出版的过程中,得到了各中、高等职业学校的领导、老师和企业界大量专业人士的热情关心和支持;得到了承担本书编写任务的同志所在学校领导和老师的大力支持;也听取了社会各界许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,缺点和错误在所难免,恳切期盼各学校在使用教材中继续提出批评和改进意见。

编 者
2006 年 7 月

目 录

绪 论	1
第一章 金属的力学性能及工艺性能	3
概 述	3
第一节 金属的力学性能	4
第二节 金属的工艺性能	17
第二章 碳素钢	20
第一节 钢铁的来源	20
第二节 碳和常存元素对钢的力学性能的影响	23
第三节 碳素钢的分类	25
第四节 碳素钢的牌号及用途	26
第三章 合金钢	33
第一节 合金元素在钢中的作用	33
第二节 合金钢的分类和编号	34
第三节 合金结构钢	36
第四节 合金工具钢	42
第五节 特殊性能钢	46
第四章 铸 铁	50
第一节 铸铁的分类	50
第二节 灰口铸铁	51
第三节 可锻铸铁	53
第四节 球墨铸铁	55
第五章 钢铁的火花鉴别	57
第一节 火花鉴别的原理及火花名称	57
第二节 火花鉴别法	59
第六章 有色金属及硬质合金	63
第一节 铜及铜合金	63
第二节 铝及铝合金	67
第三节 滑动轴承合金	72
第四节 硬质合金	75

第七章 金属的结构与结晶	78
第一节 金属的晶体结构	78
第二节 纯金属的结晶	80
第三节 金属的同素异构转变	84
第四节 金属的晶体缺陷	85
第八章 金属的塑性变形与再结晶	88
第一节 金属的塑性变形	88
第二节 冷塑性变形对金属性能与组织结构的影响	91
第三节 回复与再结晶	92
第四节 金属的热塑性变形	94
第九章 合 金	97
第一节 合金的组织结构	97
第二节 铁碳合金的基本组织	99
第三节 铁碳合金状态图	102
第十章 钢铁材料的热处理	117
第一节 钢在加热时的转变	117
第二节 钢在冷却时的转变	120
第三节 退火与正火	124
第四节 钢的淬火	126
第五节 钢的回火	132
第六节 钢的表面热处理	135
第七节 零件的热处理分析	140
第八节 铸铁材料的热处理	143
附 录	147
附录 1 金属热处理工艺的分类及代号	147
附录 2 常用钢的临界点	150

绪 论

《金属材料与热处理》是培养机械类专业中级技术工人所必需的一门技术基础课。本课程的任务是研究金属材料的成分、组织与性能之间关系和变化规律。学习本课程的目的在于使学生获得与机械工业有关的材料的基本理论和基础知识,掌握常用金属材料的分类方法和认识其牌号,初步掌握选择材料的基本方法,使学生具有一定的选择、使用金属材料的能力和正确运用热处理的一般方法,能安排简易的加工工艺路线等方面的初步能力,为学习其他技术基础课、各门工艺学课程和从事生产技术工作打下必要的基础。

机械工业广泛使用金属材料,是由于金属材料具有优良的物理性能、化学性能和力学性能,并能满足各种设计和使用的要求,而且金属材料还具有优良的工艺性能,易采用各种加工方法制成各种形状的零件和工具。不但如此,采用热处理还可改变金属材料表面的化学成分和内部结构,以满足各种不同的使用要求。在机械制造业中,正确运用热处理方法,能够发挥材料的内在潜力、提高产品质量、减轻重量、降低成本、延长寿命,因而热处理在机器制造业中占有十分重要的地位。

《金属材料与热处理》的基本内容有:金属的力学性能;常用金属材料(如碳钢、合金钢、铸铁、有色金属、硬质合金)的牌号、成分、性能及应用;金属学基础知识,如金属的晶体结构与结晶、金属的塑性变形、铁碳合金组织、铁碳合金相图;钢的热处理基本原理(加热、保温、冷却)和常见的热处理工艺,如退火、正火、淬火、回火和表面热处理的方法、目的及应用;常用金属材料的火花鉴别。

人类使用金属材料制造生产工具和生活用具已有悠久的历史。我国古代劳动人民勤劳又聪明,他们在生产和使用金属材料方面,创造并积累了许多宝贵而又丰富的经验。

在金属材料方面,我国甘肃的齐家文化遗址中发现了许多铜和青铜器物。这说明早在四千多年前,我们的祖先就会冶炼紫铜、青铜,并且将天然存在的铜锻打成器或熔铸成小件器物。从河南安阳西北岗的晚商(距今三千多年)遗址出土的司母戊大鼎,鼎重 875 kg,呈长方形,两耳、四足,外形尺寸为 133 cm×78 cm×110 cm。鼎的花纹和造型十分精美,是迄今世界上发现的最古老的大型青铜器。

在冶炼方面,湖北大冶发现的春秋晚期的铜矿井遗址深达 50 m,炼铜炉渣有 40 多万吨。河南巩县汉代冶铁遗址中,发掘出 20 多座冶铁炉和锻炉,其炉型庞大,结构复杂,并且有鼓风装置和铸造坑。可见当时冶铸技术已进入成熟阶段,其生产规模已相当壮观。

在热处理方面,我国古代人民也作出了很大的贡献,如西汉刘胜佩剑和书刀,不仅整体经过调质处理,而且在刃部进行了局部淬火。《汉书·王褒传》中说:“巧冶铸于将之朴、清水淬其锋”。这正与前述的淬火剑和刀相印证。明朝宋应星所著《天工开物》一书,内有冶铁、炼钢、锻铁、淬火等各种金属加工方法,是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,

充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

上述历史说明我国古代在金属冶炼、金属材料、金属加工工艺及热处理方面的科学技术远远超过同时代的欧洲，在世界上占有过遥遥领先的地位，对世界科学文明和促进生产力的发展作出过重大贡献。但由于历代封建制度的束缚和近代帝国主义的侵略，使我国的科学技术在很大程度上受到压抑，严重地阻碍了我国生产力的发展。

新中国成立后，我国在金属材料和热处理方面取得了巨大成就，建立了符合我国实际资源的合金钢冶炼系统，研制出具有世界水平的稀土镁球墨铸铁，许多热处理新工艺、新技术正在应用和逐步推广，各种有色金属和特殊性能合金在质量和品种上已经逐步满足了国防和科学技术的需要。

金属材料与热处理是一门从生产实践中发展起来，而又直接为生产服务的技术基础学科，具有丰富的理论性和实践性，对我们学好其他专业基础课和专业技能课是十分有益的。金属材料种类繁多，性能又千变万化，而且本课程术语多、概念多，又抽象，入门比较困难。因此，在学习本门课程时，要结合日常生活和生产实例，重视参观、实验和实习，坚持理论与实践相结合，将知识运用到生产实践中去。在学习中只要弄清重要的名词解释、概念和基本理论，按成分、牌号、性能、用途、组织这一规律进行学习和记忆，是不难学好这门课程的。

第一章 金属的力学性能及工艺性能

概 述

金属材料在现代工业、农业、国防、科学技术及日常生活中都得到广泛应用，是制造机械设备和工具的最主要原料。其主要原因是它不仅具有良好的力学性能和物理、化学性能，而且可用较简便的方法加工成所需要的各种零、部件，即具有良好的工艺性能。

金属的物理性能是金属的固有属性，包括密度、熔点、导电性、热膨胀性和磁性等。

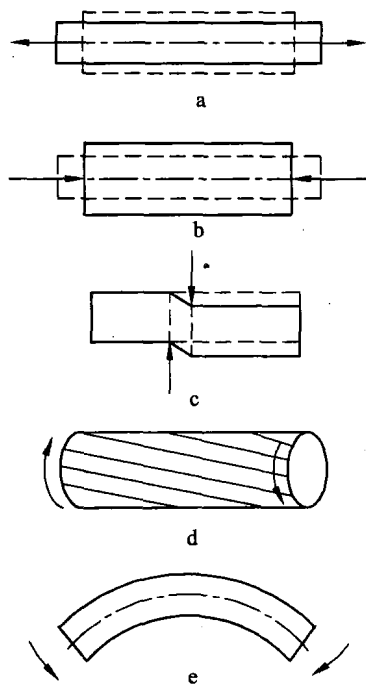
金属的化学性能是金属在化学作用下所表现出的性能，如耐腐蚀性、抗氧化性和化学稳定性等。

金属的力学性能是金属材料在不同外力作用下所表现出的抵抗能力。力学性能的基本指标有强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度（极限）等。由于绝大多数机械设备、工具在选材和用材时，是以力学性能指标作为主要依据，因此，必须首先了解金属的力学性能。

金属材料在加工及使用过程中所受外力叫载荷。根据载荷作用性质的不同，可分为静载荷、冲击载荷及交变载荷三种。凡大小不变或变动缓慢的载荷称静载荷，如起重机钢绳在正常工作中所受载荷，普通联接螺栓工作时所载荷，拉伸试验及硬度试验中施加的载荷等。突然增加的载荷称冲击载荷，如錾子、活塞销、冲模、锻模工作时所受的载荷。大小、方向分别或大小和方向同时随时间发生周期性变化的载荷称交变载荷，如齿轮、轴、轴承、弹簧工作时所受的载荷。

金属材料受载荷作用后发生尺寸和几何形状的变化称变形。根据载荷作用方式不同，可分为拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲等五种基本变形形式，如图 1-1 所示。

金属材料受外力作用时，其内部相应产生与外力相平衡时的抵抗力称内力（内力大小 = 外力大小）。内力是材料内部各分子之间因相对位置改变而产生的相互作用力。金属材料在单位横截面积上的内力称应力。表示方法为：



a-拉伸变形；b-压缩变形；c-剪切变形
d-扭转变形；e-弯曲变形

图 1-1 变形形式

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中： σ ——应力，单位为帕斯卡，简称帕（Pa）， $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。当面积为 mm^2 时，则应力可用 MPa 为单位。 $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10^6 \text{ Pa}$ ，工程上多用兆帕（MPa）。

F ——外力，简单受力状态下，内力与外力大小相等，方向相反，单位为牛顿（N）。

S ——横截面积，受力截面的截面面积，单位为平方米（ m^2 ）或平方毫米（ mm^2 ）。

第一节 金属的力学性能

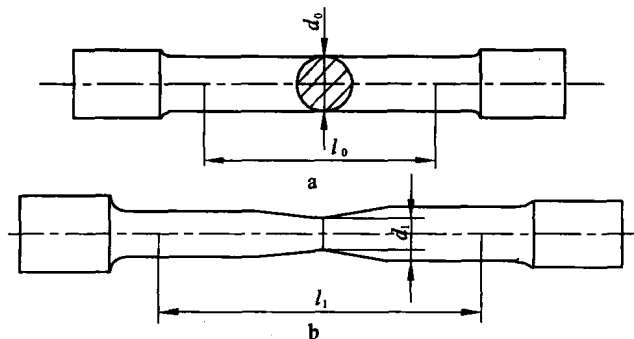
鉴于各种机械零件和构件的尺寸、形状、受力状况、工作环境的不同，不可能找到一个能满足各种不同条件下的力学性能指标。因此，只能根据载荷性质，工作时的外界环境（即温度的高低、介质的性质等）对材料在特定条件下进行试验，取得一定的性能指标，作为鉴定材料质量及选材的依据。测定金属材料力学性能最简便、最通用的方法有拉伸试验、压入法硬度试验、冲击韧性试验、对称弯曲疲劳试验等。常用于衡量金属材料力学性能的指标有强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

一、强 度

金属在静载荷作用下，抵抗变形和破坏的能力称强度。按载荷作用方式不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等。一般情况下多以抗拉强度作为衡量材料强度高低的指标。抗拉强度的测定通常用拉伸试验法。

1. 拉伸试验

拉伸试验是将试样安放在拉伸试验机上，施加一定载荷进行的。拉伸试样有圆形、矩形、管形三种。常用的是圆形拉伸试样，如图 1-2 所示。按国家标准（GB6397—86），拉伸试样分长试样（ $l_0 = 10d_0$ ）和短试样（ $l_0 = 5d_0$ ）两种。



a-拉伸前；b-拉伸后

图 1-2 圆形拉伸试样

试验时, 将钢材制成标准试样, 安放在拉伸试验机上, 缓慢加载, 试样长度随载荷的增加而增加, 随时记录载荷与伸长量的数值, 直至拉断为止。将试验过程中的外加载荷 (F) 与试样的绝对伸长量 ($\Delta l = l_1 - l_0$) 描绘在以载荷 F 为纵坐标, 绝对伸长量 Δl 为横坐标的坐标系中, 连接各点所得曲线即是载荷—变形量关系曲线, 常称拉伸曲线。

2. 拉伸曲线的各个阶段

由图 1-3 可见低碳钢试样在拉伸过程中, 其拉伸曲线有以下几个阶段:

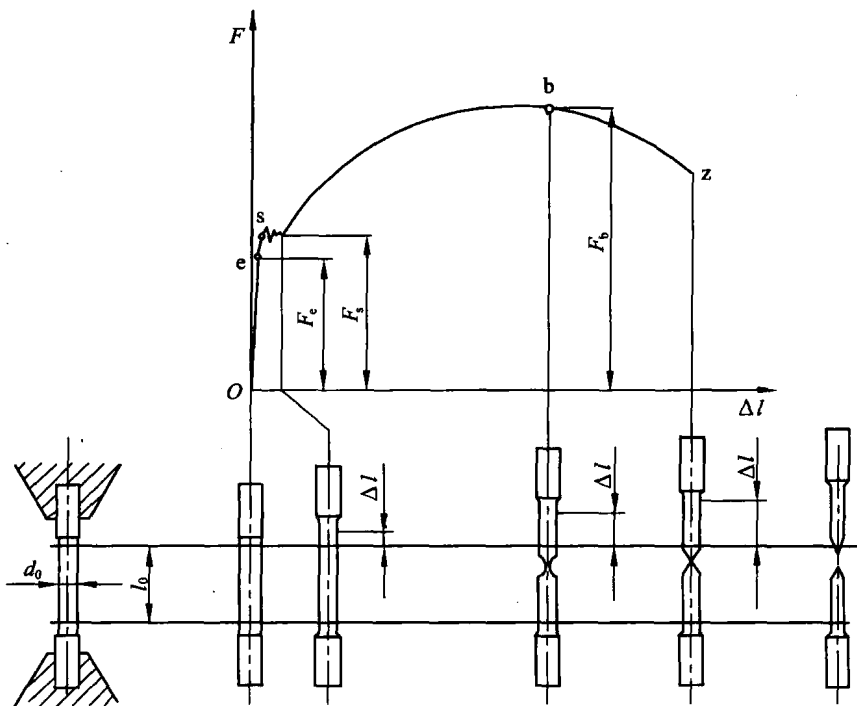


图 1-3 低碳钢的拉伸曲线

弹性变形阶段 (oe 线段) 当载荷 F 为零时, Δl 也为零。当载荷由零增大到 F_e 时, 试样发生均匀伸长。在此阶段中若去除载荷, 试样能完全恢复至原来的形状和尺寸。此种能随载荷的作用而产生变形, 随载荷的去除而消失的变形称弹性变形。这个阶段称弹性变形阶段。

微量塑性变形阶段 (es 线段) 载荷超过 F_e 后, 试样继续变形。此阶段中若去除载荷, 试样不能完全恢复到原来尺寸, 而保留一部分残余 (微量) 变形。这种随载荷的去除而不能消失的变形称为塑性变形, 或称永久变形。这个阶段称微量塑性变形阶段。

屈服阶段 (s 点后的水平线段) 当载荷增加到 F_s 时, 图上出现近似的水平线段 (或锯齿形线)。这表明在载荷没有增加甚至略为下降情况下, 变形仍在继续增加。这种现象称为屈服, 这个阶段称屈服阶段。

均匀变形阶段 (强化阶段, $F_s \sim F_b$ 之间的线段) 屈服现象过后, 试样的变形又随载荷的增加而增大, 一直到 b 点。该过程的变形是沿试样标距长度均匀发生的。称为均匀变形阶段。在此阶段, 载荷增加, 试样标距长度明显增长, 试样横截面积均匀缩小。经过塑性变形, 使材料能承受更大的载荷, 这就是加工硬化现象。

颈缩阶段 (b 点以后的线段) 载荷增加到 F_b 时, 变形显著地集中在试样最薄弱部分, 试样出现局部直径收缩, 这个现象称为颈缩现象。然后, 试样变形局限在颈缩部分。由于试样断面局部缩小, 试样变形所需载荷逐渐减小, 直至 Z 点, 试样在颈缩处被拉断。

3. 强度指标

(1) 弹性极限 材料不产生塑性变形所承受的最大应力, 用符号 σ_e 表示。计算公式为:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 σ_e —— 弹性极限 (MPa);

S_0 —— 试样的原始横截面积 (mm^2);

F_e —— 材料不产生塑性变形时所能承受的最大载荷 (N)。

(2) 屈服极限 材料产生屈服现象时的最小应力, 又称屈服点, 用符号 σ_s 表示。计算公式为:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 σ_s —— 屈服极限 (MPa);

F_s —— 材料产生屈服现象时的最小载荷 (N)。

S_0 —— 试样的原始横截面积 (mm^2)。

值得注意的是, 除低碳钢和中碳钢等合金有屈服现象外, 多数金属材料在拉伸时, 没有明显的屈服现象, 测定 σ_s 很困难。因此, 国家标准规定试样产生 $0.2\% l_0$ 塑性变形时的应力为条件屈服极限 (或条件屈服强度), 用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。图 1-4 所示为条件屈服极限示意图。条件屈服极限的计算公式为:

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 $\sigma_{0.2}$ —— 条件屈服极限 (MPa);

$F_{0.2}$ —— 材料产生 $0.2\% l_0$ 塑性变形时的载荷 (N);

S_0 —— 试样原始横截面积 (mm^2)。

(3) 抗拉强度 (强度极限) 材料在拉断前能承受的最大应力, 用符号 σ_b 表示。计算公式为:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 σ_b —— 抗拉强度 (MPa);

F_b —— 材料在拉断前能承受的最大载荷 (N);

S_0 —— 试样原始横截面积 (mm^2)。

机械零件或构件在工作中虽有不同形式或不同程度的变形, 但要求的严格程度不一样。对不允许产生微量塑性变形的零件, 以弹性极限为设计和选材的主要依据。对不允许产生明

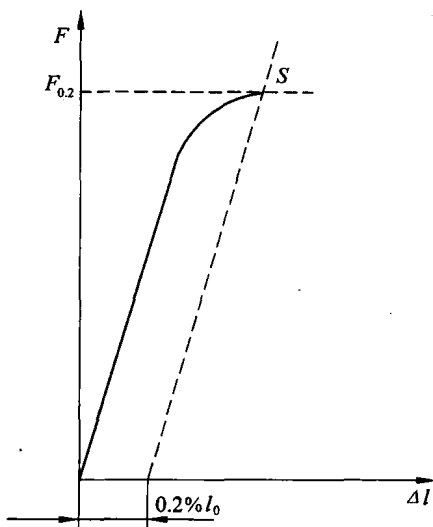


图 1-4 条件屈服极限示意图

显的塑性变形零件，以屈服极限为设计和选材的主要依据。对塑性差的材料（如灰口铸铁），在拉伸时基本上不发生塑性变形，不仅没有屈服现象，而且无颈缩现象，其断裂是突然发生的，在设计和选材时，以抗拉强度为主要依据。所以屈服极限和抗拉强度是设计、选材和评定金属材料质量的重要依据。

二、塑 性

金属材料在外力作用下，产生永久变形而不被破坏的能力称为塑性。塑性的衡量指标是延伸率和断面收缩率。

1. 延伸率

试样被拉断后，其标距长度的伸长量与原标距长度比值的百分率称为延伸率。用符号 δ 表示。计算公式为：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 δ —— 延伸率（%）；

l_0 —— 试样原来的标距长度（mm）；

l_1 —— 试样拉断后的标距长度（mm）。

长试样测出的延伸率用 δ_{10} 表示，通常写为 δ ；短试样测出的延伸率用 δ_5 表示，对同一塑性材料， δ_{10} 与 δ_5 数值不相等，不能直接进行比较。实验表明短试样的延伸率大于长试样的延伸率， $\delta_5 > \delta_{10}$ 。由于短试样具有节约试样材料和加工较方便等优点，目前各国标准中有优先选取短试样的趋势，我国也逐渐向这方面求得统一。

2. 断面收缩率

试样在拉断之处，横截面积的缩减量与原始横截面积比值的百分率称为断面收缩率。用符号 ψ 表示。计算公式为：

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

式中 ψ —— 断面收缩率（%）；

S_0 —— 试样原始横截面积（mm²）

S_1 —— 试样断裂处的横截面积（mm²）。

塑性也是金属材料的重要力学性能指标。一般说来，金属材料的延伸率（ δ ）与断面收缩率（ ψ ）数值愈大，塑性愈好。金属材料塑性的好坏，对零件的加工和使用具有十分重要的意义。塑性好的金属可以产生大量塑性变形而不被破坏，以利于塑性变形加工。如塑性好的材料容易进行轧制、锻压、冲压和焊接等。塑性好的零件在使用时遇到超载现象，由于产生明显的塑性变形而使材料承受载荷的能力增强，从而避免突然断裂，比较安全。

例 有一根直径为 10 mm 的碳钢短试样做拉伸试验，当静拉伸载荷增加到 21 980 N 时，出现屈服现象，载荷增加到 36 110 N 时产生缩颈，随后试样被拉断。断裂后的标距长度是

61.5 mm, 断裂处的直径是 7.07 mm。求此钢的屈服极限 (σ_s); 强度极限 (σ_b)、延伸率 (δ) 和断面收缩率 (ψ)。

已知: $d_0 = 10 \text{ mm}$ 、 $d_1 = 7.07 \text{ mm}$ 、 $l_1 = 61.5 \text{ mm}$ 、 $F_s = 21\,980 \text{ N}$ 、 $F_b = 36\,110 \text{ N}$

解: 由于是短试样 $l_0 = 5 d_0 = 5 \times 10 = 50 \text{ (mm)}$

(1) 计算 S_0 , S_1 :

$$S_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3.14 \times 10^2}{4} = 78.5 \text{ (mm}^2\text{)}$$

(2) 计算 σ_b , σ_s :

$$S_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3.14 \times (7.071)^2}{4} = 39.25 \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} = \frac{21\,980}{78.5} = 280 \text{ (MPa)}$$

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} = \frac{36\,110}{78.5} = 460 \text{ (MPa)}$$

(3) 计算 δ , ψ :

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% = \frac{61.5 - 50}{50} \times 100\% = 23\%$$

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% = \frac{78.5 - 39.25}{78.5} \times 100\% = 50\%$$

三、硬 度

硬度通常是指金属材料抵抗比它更硬物体压入其表面的能力。

硬度是衡量金属材料软硬程度的重要力学性能指标。硬度值的物理意义随试验方法的不同, 其含义不同。常用硬度试验方法有压入法、刻划法和回跳法。按加载速度不同, 压入法分静载荷压入法和动载荷压入法。生产上广泛使用的是静载荷压入法。布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度试验法采用的是静载荷压入法。

硬度试验与拉伸试验相比, 测试简便、迅速, 不破坏试件。可测原材料、厚或薄型的半成品或成品零件。根据测出的压痕尺寸经查表或从刻度盘上可得硬度值。其中布氏硬度值与抗拉强度有一定对应关系。因此在生产中, 硬度试验应用相当广泛。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 1-5 所示。用一个直径为 D 的淬硬钢球或硬质合金球作压头, 在规定载荷作用下, 压入被测金属表面, 保持一段时间后卸除载荷, 此时金属表面留下一个压痕。用压痕单位面积上所承受的载荷大小来确定被测金属材料的硬度值。

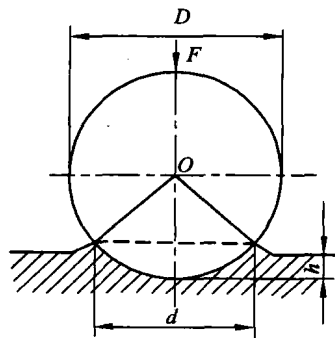


图 1-5 布氏硬度试验原理

布氏硬度值用符号 HB 表示。计算公式为:

$$HB = 0.102 \frac{F}{S} \quad (\text{kgf/mm}^{2\text{①}})$$

式中 F —— 试验载荷 (N);

S —— 压痕球冠表面积 (mm^2)。

由于 $S = \pi Dh$, 实际测量时, 压痕深度 h 的测量比较困难, 而测量压痕直径 d 比较方便。因此, 从图 1-5 中, 可将 h 换算成 d 的关系, 从直角三角形的关系可求出 h 。

$$h = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2} \quad (\text{mm})$$

式中 h —— 压痕深度 (mm);

D —— 压头直径 (mm);

d —— 压痕直径 (mm)。

则:

$$HB = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{kgf/mm}^2)$$

式中 d 随材料的软、硬而变。材料愈硬, d 愈小, HB 愈大。试验时需要用专门的刻度放大镜测出压痕直径 d 的大小。实际应用中, 不需要将 d 代入公式计算, 不标 HB 的单位, 而是从压痕直径与布氏硬度对照表中查出相应的布氏硬度值 (见表 1-1)。

表 1-1 压痕直径与布氏硬度对照表

压痕直径 d / mm	HBS 或 HBW $D = 10 \text{ mm}$ $F = 29.42 \text{ kN}$	压痕直径 d / mm	HBS 或 HBW $D = 10 \text{ mm}$ $F = 29.42 \text{ kN}$	压痕直径 d / mm	HBS 或 HBW $D = 10 \text{ mm}$ $F = 29.42 \text{ kN}$
2.40	653	2.80	477	3.20	363
2.42	643	2.82	471	3.22	359
2.44	632	2.84	464	3.24	354
2.46	621	2.86	457	3.26	350
2.48	611	2.88	451	3.28	345
2.50	601	2.90	444	3.30	341
2.52	592	2.92	438	3.32	337
2.54	582	2.94	432	3.34	333
2.56	573	2.96	426	3.36	329
2.58	564	2.98	420	3.38	325
2.60	555	3.00	415	3.40	321
2.62	547	3.02	409	3.42	317
2.64	538	3.04	404	3.44	313
2.66	530	3.06	398	3.46	309
2.68	522	3.08	393	3.48	306
2.70	514	3.10	388	3.50	302
2.72	507	3.12	383	3.52	298
2.74	499	3.14	378	3.54	295
2.76	492	3.16	373	3.56	292
2.78	485	3.18	368		

① $1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$

若试验机载荷为 kgf, 公式应为 F/S 。

续表 1-1

压痕直径 d / mm	HBS 或 HBW $D = 10 \text{ mm}$ $F = 29.42 \text{ kN}$	压痕直径 d / mm	HBS 或 HBW $D = 10 \text{ mm}$ $F = 29.42 \text{ kN}$	压痕直径 d / mm	HBS 或 HBW $D = 10 \text{ mm}$ $F = 29.42 \text{ kN}$
3.58	288	4.40	187	5.22	130
3.60	285	4.42	185	5.24	129
3.62	282	4.44	184	5.26	128
3.64	278	4.46	182	5.28	127
3.66	275	4.48	180	5.30	126
3.68	272	4.50	179	5.32	125
3.70	269	4.52	177	5.34	124
3.72	266	4.54	175	5.36	123
3.74	263	4.56	174	5.38	122
3.76	260	4.58	172	5.40	121
3.78	257	4.60	170	5.42	120
3.80	255	4.62	169	5.44	119
3.82	252	4.64	167	5.46	118
3.84	249	4.66	166	5.48	117
3.86	246	4.68	164	5.50	116
3.88	244	4.70	163	5.52	115
3.90	241	4.72	161	5.54	114
3.92	239	4.74	160	5.56	113
3.94	236	4.76	158	5.58	112
3.96	234	4.78	157	5.60	111
3.98	231	4.80	156	5.62	110
4.00	229	4.82	154	5.64	110
4.02	226	4.84	153	5.66	109
4.04	224	4.86	152	5.68	108
4.06	222	4.88	150	5.70	107
4.08	219	4.90	149	5.72	106
4.10	217	4.92	148	5.74	105
4.12	215	4.94	146	5.76	105
4.14	213	4.96	145	5.78	104
4.16	211	4.98	144	5.80	103
4.18	209	5.00	143	5.82	102
4.20	207	5.02	141	5.84	101
4.22	204	5.04	140	5.86	101
4.24	202	5.06	139	5.88	99.9
4.26	200	5.08	138	5.90	99.2
4.28	198	5.10	137	5.92	98.4
4.30	197	5.12	135	5.94	97.7
4.32	195	5.14	134	5.96	96.9
4.34	193	5.16	133	5.98	96.2
4.36	191	5.18	132	6.00	95.5
4.38	189	5.20	131		

图 1-6 为布氏硬度试验机结构原理图。硬度计由负荷机构、加卸负荷控制机构、试样支承机构和机架等部分组成。

布氏硬度符号为 HB。当试验压头为淬硬钢球时,用符号 HBS 表示;当试验压头为硬质合金球时,用符号 HBW 表示。前者用于测定布氏硬度值在 450 以下的材料,后者用于测定布氏硬度值在 650 以下的材料。

布氏硬度表示方法规定在符号 HBS 或 HBW 前的数字为硬度值,符号后面按以下顺序为试验条件:压头直径;试验载荷;试验载荷保持时间(10~15 秒不标注)。

例如:170 HBS10/1000/30 表示用直径为 10 mm 的钢球受到 1 000 kgf (9 807 N) 的试验载荷作用并保持 30 秒测得布氏硬度值为 170。
530 HBW5/750 表示直径为 5 mm 的硬质合金球,受到 750 kgf (7 355 N) 的试验载荷作用,保持 10~15 秒时测得的布氏硬度值为 530。

试验条件的选择 根据被测试金属材料的种类、硬度值范围、试验压力及金属的厚度选择。常用压头球体直径有 1, 2, 2.5, 5 和 10 mm 五种。试验载荷在 1 kgf~3 000 kgf (9.807 N~29.42 kN) 的范围。二者之间的关系见表 1-2。保持载荷的时间,一般黑色金属为 10~15 秒;有色金属为 30 秒;布氏硬度值小于 35 时为 60 秒。

表 1-2 材料硬度与试样厚度、钢球直径、试验力的关系

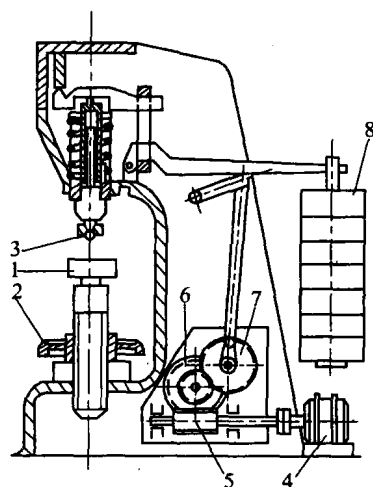
材 料	布 氏 硬 度	试验力 F 与钢球直径 D 的关系
钢及铸铁	<140	$F = 10 D^2$
	>140	$F = 30 D^2$
铜及其合金	<35	$F = 5 D^2$
	$35 \sim 130$	$F = 10 D^2$
	>130	$F = 30 D^2$
轻金属及其合金	<35	$F = 2.5 D^2$ (或 $1.25 D^2$)
	$35 \sim 80$	$F = 10 D^2$ (或 $5 D^2$)
	>80	$F = 10 D^2$ (或 $15 D^2$)
铅、锡		$F = 1.25 D^2$ (或 $1 D^2$)

布氏硬度试验法的优缺点 布氏硬度试验时使用的钢球直径较大,压痕较大,测值较准确。但不宜测量成品零件、薄片零件和高硬度材料的布氏硬度。由于材料的强度愈高,塑性变形抗力愈大,硬度也愈高。实践表明,硬度值与抗拉强度有一定的内在联系。这种内在联系可用经验公式表示出来,即 $\sigma_b \approx KHB$, 公式中 σ_b 的单位为 MPa, HB 的单位为 kgf/mm², K 为系数(低碳钢 $K \approx 3.6$ 、高碳钢 $K \approx 3.4$ 、铸铁 $K \approx 1$)。

布氏硬度主要用于测定铸铁、有色金属及其合金、各种退火及调质钢材的硬度等。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度测试原理 洛氏硬度试验也是压入法硬度试验的一种。试验压头有两种:一种



1-试验台; 2-手轮; 3-压头; 4-电机
5-蜗杆; 6-蜗轮; 7-齿轮; 8-负荷

图 1-6 布氏硬度试验机结构图

是顶角为 120° 的金刚石圆锥体；另一种是直径为 1.588 mm 的淬硬钢球。前者用于测定淬火钢等较硬金属材料的硬度，后者多用于退火钢、有色金属等较软金属材料硬度的测定。

黑色金属硬度及强度换算见表 1-3。

表 1-3 黑色金属硬度及强度换算表

洛氏硬度		布氏硬度 HB	维氏硬度 HV	近似 强度值 σ_b /MPa	洛氏硬度		布氏硬度 HB	维氏硬度 HV	近似 强度值 σ_b /MPa
HRC	HRA				HRC	HRA			
70	(86.6)		(1037)		43	72.1	401	411	1389
69	(86.1)		997		42	71.6	391	399	1347
68	(85.5)		959		41	71.1	380	388	1307
67	85.0		923		40	70.5	370	377	1268
66	84.4		889		39	70.0	360	367	1232
65	83.9		856		38		350	357	1197
64	83.3		825		37		341	347	1163
63	82.8		795		36		332	338	1131
62	82.2		766		35		323	329	1100
61	81.7		739		34		314	320	1070
60	81.2		713	2607	33		306	312	1042
59	80.6		688	2496	32		298	304	1015
58	80.1		664	2391	31		291	296	989
57	79.5		642	2293	30		283	289	964
56	79.0		620	2201	29		276	281	940
55	78.5		599	2115	28		269	274	917
54	77.9		579	2034	27		263	268	895
53	77.4		561	1957	26		257	261	874
52	76.9		543	1885	25		251	255	854
51	76.3	(501)	525	1817	24		245	249	835
50	75.8	(488)	509	1753	23		240	243	816
49	75.3	(474)	493	1692	22		234	237	799
48	74.7	(461)	478	1635	21		229	231	782
47	74.2	499	463	1581	20		225	226	767
46	73.7	436	449	1529	19		220	221	752
45	73.2	424	436	1480	18		216	216	737
44	72.6	413	423	1434	17		211	211	724

洛氏硬度试验是在先后两次加载条件下进行的。先加初载荷 F_0 ，然后加主载荷 F_1 。压入试件表面后，卸除主载荷 F_1 ，保留初载荷 F_0 ，然后根据试件表面的压痕深度，确定被测金属的硬度值。图 1-7 为洛氏硬度试验原理图。0—0 为金刚石压头的初始位置；1—1 为初载荷 F_0 作用下压头压入深度为 h_1 时的位置；2—2 为总载荷 F ($F_0 + F_1$) 作用下压头压入深度为 h_2 时的位置；3—3 是卸除主载荷 F_1 ，保留初载荷 F_0 时，压头由于试件弹性变形恢复而略有提高的位置，此时压头实际压入试件深度为 h_3 。在主载荷作用下，压头压入试件的深度为 $h = h_3 - h_1$ 。 h 值反映了材料硬度的高低， h 愈大，硬度愈低，反之愈高。

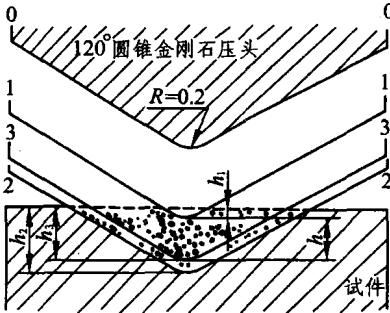


图 1-7 洛氏硬度试验原理图