

全国工人中级技术
考核培训教材



金属热处理工

■ | 人力资源和社会保障部教材办公室 组织编写 | ■



中国劳动社会保障出版社

全国工人中级技术考核培训教材

金属热处理工

人力资源和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属热处理工/人力资源和社会保障部教材办公室组织编写。—北京：中国劳动社会保障出版社，2011

全国工人中级技术考核培训教材

ISBN 978 - 7 - 5045 - 8954 - 5

I. ①金… II. ①人… III. ①热处理-技术培训-教材

IV. ①TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 071442 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码：100029)

出 版 人：张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

880 毫米×1230 毫米 32 开本 12.875 印张 362 千字

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

定价：28.00 元

读者服务部电话：010 - 64929211/64921644/84643933

发行部电话：010 - 64961894

出版社网址：<http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话：010 - 64954652

如有印装差错，请与本社联系调换：010 - 80497374

前 言

通过改革开放 30 多年的努力,我国制造业取得了令人瞩目的成就,我国制造业增加值占世界的份额已经达到一成以上,中国制造业大国地位初步确立。但是,我国仍不是制造业强国。从产业结构上看,中低端、低水平产品多,低端产能过剩,高端产品研发能力不足,产能不足。要实现由制造业大国向制造业强国的转变,调整经济结构,提升制造业核心竞争力,是“十二五”规划对我国制造业发展提出的新要求。建设制造业强国,离不开高素质的劳动者。为此,国务院先后颁发了《国家中长期人才发展规划纲要(2010—2020 年)》和《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》,全面提高劳动者职业技能水平,加快技能人才队伍建设。为了适应这一技能人才培养的新形势需要,我们组织编写了《全国工人中级技术考核培训教材》,首批涉及车工、钳工、装配钳工、工具钳工、机修钳工、冷作钣金工、铣工、焊工、数控车工、数控铣工、加工中心操作工、涂装工、金属热处理工、电工、维修电工、电气设备安装工、汽车修理工、起重工等十几种职业工种。

在教材内容编排上,我们从工人岗位生产技术的实际出发,一方面加强工人相关理论知识的学习,提高工人的理论水平,为促进其更好地掌握和应用技术打下坚实的理论基础。另一方面着重阐明本工种中级技术的生产工艺、设备调整与维修等操作技能,强化操作的规范性,通过技术培训力求打造优质、高效、低耗、安全文明的生产技术力量。同时,教材及时反映行业发展的新技术、新工艺、新材料、新标准等方面的内容,使广大工人始终能把握技术发展的新动向。

为了满足工人进行国家职业鉴定考核训练的需要,根据国家职业标准,本套教材还专门编写了试题库,在试题库中安排了理论知识试题和技能考核试题,并配套编写了理论知识试题答案和技能考核试题的评分标准。

在本套教材的组织编写过程中,我们得到了来自北京、安徽、湖南、江苏、浙江、四川、内蒙古等地人力资源和社会保障厅(局)、职业技能鉴定中心的大力支持,来自北京市职工技术协会、中国南车株洲电力机车有限公司、马鞍山钢铁股份有限公司、航天科技集团、航天科工集团等企业的许多工程技术专家、技师、高级技师以及许多职业技术学院都参与了本套教材的编审工作,付出了辛勤的劳动,在此我们表示衷心的感谢。

本套教材可作为企业工人中级技术培训教材,也可作为各级职业学校、培训机构开展中级工国家鉴定考核培训用书,还可作为技术工人参考工具书。衷心欢迎广大读者对教材中存在的不足提出宝贵意见和建议。

人力资源和社会保障部教材办公室

内 容 简 介

本书主要介绍了中级金属热处理工应掌握的相关理论知识和操作技能，具体包括：金属材料基础知识，金属学基础知识，钢的热处理，合金钢的热处理，铸铁的热处理，铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金等非铁金属的热处理，以及常用热处理设备等内容。此外，本书还增加了对真空热处理、可控气氛热处理等先进热处理技术的介绍。

本书专门编写了试题库，在试题库中安排了理论知识试题和技能考核试题，并配套编写了理论知识试题答案和技能考核试题的评分标准，可供工人鉴定考核练习使用。

本书由陈晓红、于冰编写，陈晓红主编。

目 录

第一章 金属材料基础知识.....	1
§ 1—1 金属材料的性能.....	1
§ 1—2 金属材料的分类.....	13
第二章 金属学基础知识.....	23
§ 2—1 金属的晶体结构.....	23
§ 2—2 二元合金相图.....	28
§ 2—3 铁碳合金相图的应用.....	37
第三章 钢的热处理.....	45
§ 3—1 钢的加热.....	45
§ 3—2 钢的冷却.....	54
§ 3—3 钢的退火和正火.....	65
§ 3—4 钢的淬火.....	73
§ 3—5 钢的回火.....	88
§ 3—6 常见淬火、回火缺陷及预防消除措施.....	92
§ 3—7 钢的表面热处理.....	103
§ 3—8 化学热处理.....	118
§ 3—9 真空热处理.....	138
§ 3—10 可控气氛热处理简介	150
第四章 合金钢的热处理.....	157
§ 4—1 合金元素在钢中的作用.....	157
§ 4—2 合金结构钢的热处理.....	163

§ 4—3	工具钢的热处理	177
§ 4—4	特殊钢的热处理	196
§ 4—5	钢的火花鉴别	200
第五章 铸铁的热处理		211
§ 5—1	铸铁分类及石墨化	211
§ 5—2	灰铸铁的热处理	216
§ 5—3	可锻铸铁的热处理	221
§ 5—4	球墨铸铁的热处理	226
第六章 非铁金属及其热处理		234
§ 6—1	铝及铝合金	234
§ 6—2	铜及铜合金	250
§ 6—3	钛及钛合金	263
第七章 常用热处理设备		271
§ 7—1	筑炉材料	271
§ 7—2	电热材料	276
§ 7—3	加热设备	278
§ 7—4	工装夹具	302
§ 7—5	仪表	306
试题库		
理论考核试题		312
技能考核试题		365
试题答案		372

第一章

金属材料基础知识

金属材料是现代工业的重要物质基础。机械、化工、电气、原子能、航空航天等行业的发展,都离不开金属材料科学的发展。金属材料之所以能在生产中得到广泛的应用,主要是因为金属材料不仅具有优良的物理性能、化学性能和力学性能,能满足各种零件的使用要求,而且具有良好的工艺性能,适合制造各种产品,尤其是通过热处理工艺能改变金属材料表面和内部的组织结构与性能,可满足不同的使用要求。下面就从金属材料的性能入手,学习金属材料基础知识。

§ 1—1 金属材料的性能

金属材料的性能可分为使用性能和工艺性能。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能,包括物理性能(如密度、熔点、导热性、导电性、磁性等)、化学性能(如耐腐蚀性、抗氧化性)、力学性能等;工艺性能是指金属材料在制造工艺过程中适应加工的性能,包括铸造性能、锻造性能、切削性能、焊接性能、热处理性能等。在机械制造中选用金属材料时,大多以其力学性能为主要依据,因此了解和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

金属材料必须具有一种承受机械载荷而不超过许可变形量或不致破坏的能力,这种能力就是材料的力学性能。金属表现出来的强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度等特征就是用来衡量金属材料力学性能的指标。

一、拉伸性能

拉伸试验是应用最广泛的力学性能试验方法，可以测定材料的弹性与刚度、强度、塑性和韧性等许多重要的力学性能指标，这些力学性能指标统称为拉伸性能，它是材料的基本力学性能。如不特别说明，拉伸试验是指在室温大气中，光滑试件在缓慢施加的单向拉伸载荷作用下，测定材料力学性能的方法。按国家标准规定，拉伸试样的形状与尺寸取决于被测金属产品的形状和尺寸，图 1—1 为常用的圆柱形拉伸试样。试样做成圆柱形是为了便于测量径向应变，试件的加工也比较简便。当测定板材和带材的拉伸性能时，可采用板状试件。

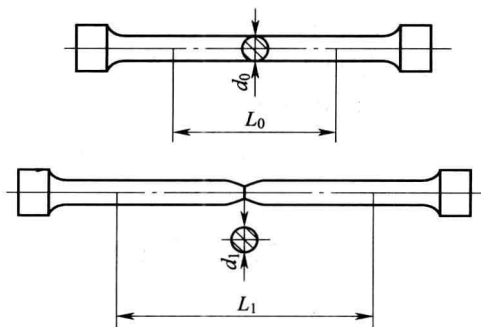


图 1—1 圆柱形拉伸试样

将拉伸试样安放在拉伸试验机上进行拉伸试验，随着拉力增加，试样将发生变形直至断裂，把拉力（ F ）和试样变形（ Δl ）之间的关系画成曲线，称为拉伸曲线，如图 1—2 所示。

试样的变形量取决于试样单位横截面积（ A ）上受力的大小，这种单位横截面积上所受的力叫作应力。应力值越大，试样的变形量也越大。应力公式为

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

利用拉伸曲线可以确定材料以下性能指标。

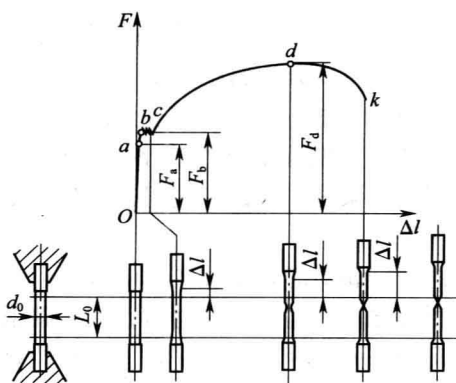


图 1—2 低碳钢拉伸曲线

1. 弹性与刚度

弹性是指在外力作用下产生变形，当外力去除后能恢复原状的性能。拉伸曲线中 Oa 段为弹性变形阶段。金属材料能保持弹性变形的最大应力称为弹性极限，用 σ_e 表示，当应力超过弹性极限时，金属便开始发生塑性变形。弹性极限是由试验得到的，其值受测量精度影响很大，通常取变形量为 $0.005\% \sim 0.03\%$ 时的应力为弹性极限。

刚度是指材料受力时抵抗弹性变形的能力，表征材料刚度大小的指标是弹性模量。弹性模量是指材料在弹性极限范围内，应力与应变的比值。

应变 ε 为单位长度的变形量，有

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

弹性模量为

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

由图 1—2 可以看出， E 是拉伸曲线 Oa 段的斜率。弹性模量越大，材料的刚度越大，在一定应力作用下产生的弹性变形越小。在设计机械零件时，要求刚度大的零件，应选用具有高弹性模量的材料。

2. 强度

金属材料在外力作用下，抵抗变形和破坏的能力称为强度。根据所受外力的性质不同，可以分为屈服强度、抗拉强度等。

金属试样在拉伸过程中，当应力超过弹性极限时，虽然应力不再增加，而试样仍继续发生明显的塑性变形，这种现象叫作“屈服”。当金属材料呈现屈服现象时，在试验期间达到塑性变形发生但力不增加的应力点称为屈服强度。

屈服强度标志着金属对起始塑性变形的抗力，是工程技术上最为重要的力学性能指标之一。塑性好的材料，如低碳钢，拉伸曲线上都有明显的屈服点出现，并出现一个小平台。但塑性差的材料，如合金钢、铜合金以及铝合金的拉伸曲线不出现平台。脆性材料，如普通铸铁，甚至断裂之前不发生塑性变形。因此工程上规定将试样发生某一微量塑性变形量（0.2%）时的应力作为该材料的屈服强度指标，称为条件屈服强度。

材料在外力作用下能抵抗破坏的最大应力称为强度极限。当外力是拉力时称为抗拉强度，代表金属材料抵抗大量塑性变形的能力，用 R_m 表示，计算公式为

$$R_m = \frac{F_d}{A_0}$$

R_m 越大，表示该材料抵抗断裂的能力越强，即强度越高，当外力达到最大值后（ d 点处的力），其变形则不再是均匀的，而是明显地集中在某一处，导致该部分试样截面在局部显著缩小，出现缩颈现象，使应力增加，试样将很快发生断裂，如图 1—2 上的 dk 段。

3. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生变形而不破坏的能力。试样在发生断裂前产生的变形量越大，材料的塑性越好。评定材料塑性的指标通常是断后伸长率和断面收缩率。断后伸长率的计算公式为

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

式中 L_0 ——试样原始标距长度，mm；

L_1 ——拉断后试样标距长度（见图 1—1）。

常见的两种符号 A_5 和 A_{10} 分别表示用 $L_0 = 5d_0$ 和 $L_0 = 10d_0$ 两种不同长度试样测定的断后伸长率。同一种材料测得的值是不同的， A_5 值较大， A_{10} 值较小，所以相同符号的断后伸长率才能进行相互比较。

断面收缩率的计算公式为

$$Z = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$$

对于需承受强烈变形的材料，塑性指标具有重要的意义。塑性好的材料冷压成形性能好；重要的受力零件也要求具有一定的塑性，以防止超载时发生脆断，造成恶性事故。

二、硬度

金属材料的硬度是指金属材料抵抗硬物压入或划伤的能力，即抵抗局部塑性变形和破坏的能力。硬度是金属材料的一个综合性能指标，和其他性能指标之间有一定内在联系。通过硬度值可以概略地估计出材料的其他力学性能。因此，在设计图样的技术要求中，大多规定材料的硬度值。又因为硬度试验简单迅速，所以在测试金属材料力学性能时广泛应用。

测定硬度的方法很多，在机械制造业中主要采用压入法测定材料的硬度。用压入法测定材料的硬度，又分布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等不同的测定方法。用不同的方法在不同的条件下测量的硬度值其含义是不同的。因此，一般不能直接进行比较，应通过查表换算后比较。

1. 布氏硬度

布氏硬度是采用直径为 D 的硬质合金球，以规定的试验力 F 压入材料表面，如图 1—3a 所示，保持规定时间后卸除试验力，布氏硬度值就是所加载荷与压痕球形表面积之比。

$$HB = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi D h} = \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

生产中，用读数显微镜测量残余压痕平均直径 d ，如图 1—3b 所示，测出 d 值后直接查表获得硬度值。

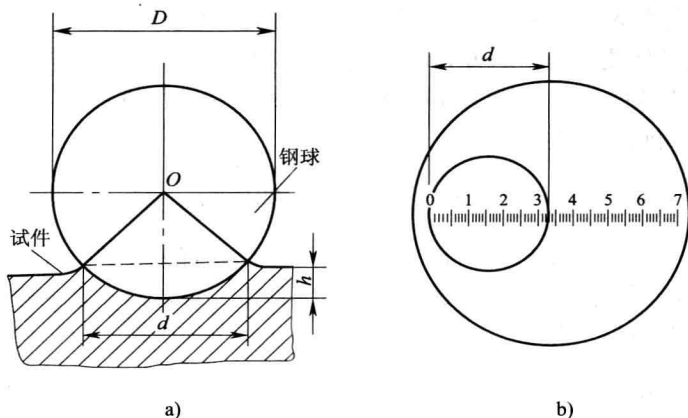


图 1—3 布氏硬度测量原理

由于测定布氏硬度时采用较大直径的压头和压力，因而压痕球形表面积大，能反映出较大范围内材料各组成相的综合平均性能，适合于测定灰铸铁和轴承合金这样具有粗大晶粒或粗大组成相的材料硬度。布氏硬度值的测量误差较小，硬度值比较准确，但压痕较大，不适宜用于成品零件或薄件。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度测定原理与布氏硬度相似，不同的是它不是测量压痕球形表面积大小，而是用残余压痕深度来表示硬度值。洛氏硬度测定时采用顶角为 120° 的金刚石圆锥压头或直径为 1.588 mm 的淬火钢球压头，根据材料的软硬选用不同的试验力。因此，洛氏硬度可用于测定各种不同材料的硬度。视被测材料的软硬，采用不同的压头并施加不同的压力，可以组成不同的洛氏硬度标尺，生产上常用 A、B、C 三种标尺，其中又以 C 标尺最普遍。洛氏硬度试验法原理如图 1—4 所示。

由于压痕小，洛氏硬度对材料组织不均匀性很敏感，测试结果比较分散，不适用具有粗大、不均匀组织材料的硬度测定。表 1—1 为常用洛氏硬度的试验条件及应用范围。

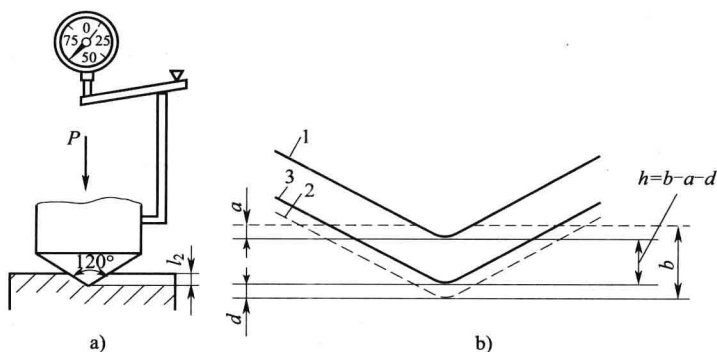


图 1—4 洛氏硬度试验法原理

表 1—1 常用洛氏硬度的试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	初试验力 (N)	主试验力 (N)	总试验力 (N)	硬度范围	应用范围
HRA	120°金刚石圆锥	98.07	490.3	588.4	20 ~ 88HRA	硬金属及硬质合金
HRB	φ1.588 mm 淬火钢球	98.07	882.6	980.7	20 ~ 100HRB	有色金属及软金属
HRC	120°金刚石圆锥	98.7	1 373	1 471	20 ~ 70HRC	热处理结构钢、工具钢

由图 1—4 可知, 进行洛氏硬度试验时, 将被测工件放在载物台上, 使被测表面和压头垂直。先加初试验力, 压头压入表面深度为 a , 压头在 1 位置, 然后加主试验力 P , 压头压入深度为 d , 压头在 2 位置, 最后卸掉主试验力, 由于试样弹性恢复, 使压痕深度稍减小, 压头处于 3 位置。压头实际压入试样深度为 b 。在主试验力作用下, 压头压入工件的深度 $h = b - a - d$, 用深度 h 就可以表示材料硬度。 h 越大则表示材料硬度越高。按照习惯, 用一个选定的常数 K 减去 h 所得的差即洛氏硬度的指标, 公式为

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

式中 K ——常数。当用金刚石作压头时, $K = 100$; 当用淬火钢球作

压头时, $K = 130$ 。

规定每 0.002 mm 压痕深度为 1 洛氏单位。实际测量时, 数值可直接由硬度计刻度盘上读出, 不需查表换算, 非常方便。

洛氏硬度测量方法简单迅速, 试验时压痕小, 可以测量成品及较薄的工件, 因此得到广泛应用。但由于其压痕小, 测量面积小, 使其结果不够准确, 所以需要在工件不同部位测量数次 (不少于 3 次), 取其平均值代表被测金属的硬度。

3. 维氏硬度

维氏硬度特别适用于表面硬化层和薄片材料的硬度测定。维氏硬度的试验原理与布氏硬度相同。但其压头是采用正四棱锥的金刚石锥体, 如图 1—5 所示。

采用相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥压头, 以规定试验力压入材料的表面, 保持规定时间后卸除试验力, 然后根据压痕对角线长度的算术平均值来计算硬度, 用正四棱锥压痕单位面积上所受的平均压力表示硬度值。实际测量时, 只需测出压痕对角线长度的算术平均值, 然后查表获得维氏硬度值。

4. 显微硬度

显微硬度试验一般指测试载荷小于 0.2 kgf 的硬度试验, 常用的有维氏显微硬度和努氏硬度两种。

前面介绍的布氏、洛氏、维氏三种硬度试验法由于测定载荷较大, 只能测得材料组织的平均硬度值。但是如果测定极小范围内物质的硬度, 或者研究扩散层组织、硬化层深度及极薄件等, 这三种硬度法就不能胜任。显微硬度试验为这些领域的硬度测试创造了条件, 它在工业生产及科研中得到了越来越广泛的应用。

维氏显微硬度试验实质上就是小

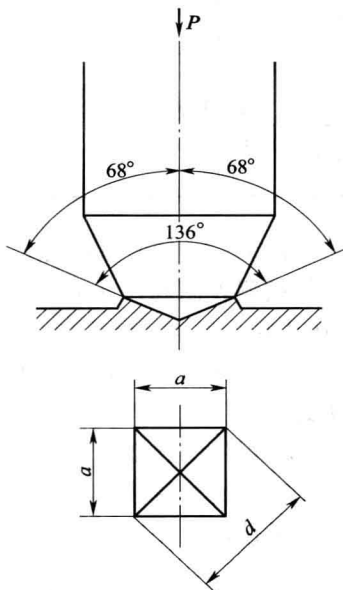


图 1—5 维氏硬度测定原理

载荷的维氏硬度试验，其测试原理和维氏硬度试验相同。测试结果需注明载荷大小，如 340HV0.1 表示用 0.1 kgf 的载荷测得的维氏显微硬度为 340。努氏法适于测定极薄层或极薄零件以及硬脆材料的硬度。

显微硬度试验的最大特点是载荷小、产生的压痕极小、对试件几乎不损坏，便于测定微小区域内的硬度值。

5. 肖氏硬度

肖氏硬度又叫回跳硬度，以 HS 表示。其测定原理是将一定质量的具有金刚石圆头或钢球的标准冲头从一定高度 h_0 自由落到试样表面，然后由于试样的弹性变形使其回跳到某一高度 h ，用这两个高度的比值来计算肖氏硬度值，即

$$HS = K \frac{h}{h_0}$$

式中 K ——肖氏硬度系数，对于 C 型肖氏硬度计， K 取 $10^4/65$ ；D 型肖氏硬度计， K 取 140。

肖氏硬度计使用方便，可携带到生产现场测定大型工件的硬度，操作简便，压痕小，但测定结果精度较低，重复性差。

6. 锤击硬度试验及锉刀硬度试验

在生产中，有时由于条件的限制以及一些特殊工件无法使用布氏、洛氏、维氏硬度计，可以采用锤击硬度试验和锉刀硬度试验方法。

对于大型铸锻体和钢材，可采用便携的锤击式简易布氏硬度计。这种硬度计的构造和使用示意图如图 1—6 所示，其主要部分为钢球 3、锤击杆 4 及标准硬度杆 6。试验时，将试验器垂直地抵在试样表面上，用锤子击打锤击杆顶端一次，此时冲击力传到钢球上，钢球会同时在标准硬度杆和试样上留下压痕，测出压痕直径 $d_{\text{标}}$ 、 $d_{\text{试}}$ ，比较两个压痕即可测出工件硬度。其近似公式为

$$HB = HB_{\text{标}} \frac{d_{\text{标}}^2}{d_{\text{试}}^2}$$

式中 $HB_{\text{标}}$ ——标准布氏硬度值；

$d_{\text{试}}$ ——试样上的压痕直径，mm；

$d_{\text{标}}$ ——标准硬度杆上的压痕直径，mm。