

机械工人职业技能培训用书

金属材料及热处理

(初、中级工适用)

高朝祥 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要讲述金属材料的基本知识、金属的晶体结构及合金的组织、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金、钢的热处理、工业用钢、铸铁、非铁金属、金属材料冶金质量缺陷及其检验、金属材料的腐蚀与防护等内容,在编写过程中,尽量注意到工人的认知特点,注重素质与能力的提高,力求做到基本概念阐述清晰,层次分明、内容精练、浅显易懂,突出实用性。

本书可作为初、中级钳工、车工、磨工、刨插工、镗工、管工、焊工、样板工、钣金工、锅炉设备安装工、锅炉操作工等职业技能鉴定培训的基础课读本,亦可作为职业技术学校各相关专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及热处理(初、中级工适用)/高朝祥主编. —北京:化学工业出版社,2007.1

(机械工人职业技能培训用书)

ISBN 978-7-5025-9971-3

I. 金… II. 高… III. ①金属材料-技术培训-教材②热处理-技术培训-教材 IV. TG1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第011624号

责任编辑:李玉晖 宋 薇

责任校对:吴 静

装帧设计:张 辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京兴顺印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张 $6\frac{3}{4}$ 字数175千字

2007年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:15.00元

版权所有 违者必究

前 言

本书根据《国家职业标准》、《职业技能鉴定规范》编写而成，主要讲述金属材料的基本知识、金属的晶体结构及合金的组织、金属的塑性变形与再结晶、铁碳合金、钢的热处理、工业用钢、铸铁、非铁金属、金属材料冶金质量缺陷及其检验、金属材料的腐蚀与防护等内容，对提高机械类工人的技术理论水平和实际操作技能有很大的帮助，适合作为初、中级钳工、车工、磨工、刨插工、镗工、管工、焊工、样板工、钣金工、锅炉设备安装工等职业技能鉴定培训的基础课读本，亦可作为职业技术学校各相关专业的教学用书。在编写过程中，尽量注意到工人的认知特点，注重素质与能力的提高，力求做到基本概念阐述清晰，层次分明、内容精练、浅显易懂，突出实用性。

本书第 1、9 章由高朝祥编写；第 2、3 章由邱红编写；第 4、5 章由蔡勇编写；第 6、10 章由周文编写；第 7、8 章由文申柳编写。全书由高朝祥担任主编，负责统稿。

由于编者水平所限，不足之处在所难免，恳请各位专家及读者批评指正。

编者

2007 年 1 月

目 录

第 1 章 金属材料的基本知识	1
1.1 金属材料的分类	1
1.1.1 钢铁材料	1
1.1.2 非铁金属材料	2
1.2 金属材料的性能	2
1.2.1 金属材料的物理性能	2
1.2.2 金属材料的化学性能	4
1.2.3 金属材料的力学性能	4
1.2.4 金属材料的工艺性能	16
1.3 钢材的规格及理论质量计算	18
1.3.1 钢材的规格及用途	18
1.3.2 钢材断面积的计算	21
1.3.3 金属理论质量的计算	22
复习思考题	23
第 2 章 金属的晶体结构及合金的组织	25
2.1 金属的晶体结构	25
2.1.1 晶体结构的基本概念	25
2.1.2 常见的金属晶格	27
2.1.3 金属的实际晶体结构	28
2.2 合金的组织	31
2.2.1 概述	31
2.2.2 合金的组织	32
2.3 金属的结晶	34
2.3.1 冷却曲线与过冷度	34
2.3.2 金属的结晶过程	35
2.3.3 晶粒大小及控制	36
2.3.4 金属铸锭（件）的组织	37

复习思考题	39
第3章 金属的塑性变形与再结晶	41
3.1 金属的塑性变形	41
3.1.1 单晶体的塑性变形	41
3.1.2 多晶体金属的塑性变形	42
3.2 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	44
3.2.1 冷塑性变形对金属组织的影响	44
3.2.2 冷塑性变形对金属性能的影响	45
3.3 冷变形金属在加热时的组织和性能的变化	46
3.3.1 回复	46
3.3.2 再结晶	47
3.3.3 晶粒长大	48
3.4 金属热加工	48
3.4.1 热加工与冷加工的区别	48
3.4.2 热加工对金属组织和性能的影响	49
复习思考题	50
第4章 铁碳合金	51
4.1 铁碳合金的组织结构	51
4.1.1 纯铁的组织结构	51
4.1.2 铁碳合金的基本组织	53
4.2 铁碳合金相图	54
4.2.1 铁碳合金相图分析	54
4.2.2 典型铁碳合金冷却过程分析	57
4.2.3 含碳量对铁碳合金平衡组织和力学性能的影响	61
4.2.4 铁碳合金相图的应用	63
复习思考题	65
第5章 钢的热处理	67
5.1 热处理基础	68
5.1.1 钢的实际相变点	68
5.1.2 钢在加热时的组织转变	68
5.1.3 奥氏体的冷却转变	71
5.2 钢的整体热处理	77
5.2.1 退火	78

5.2.2	正火	80
5.2.3	淬火	81
5.2.4	回火	85
5.3	钢的表面热处理和化学热处理	86
5.3.1	表面热处理	86
5.3.2	化学热处理	88
5.4	热处理缺陷及防止措施	90
5.4.1	过热和过烧	90
5.4.2	氧化和脱碳	90
5.4.3	变形与开裂	91
	复习思考题	91
第6章	工业用钢	93
6.1	钢中杂质元素及合金元素对其性能的影响	93
6.1.1	杂质元素对钢性能的影响	93
6.1.2	合金元素对钢性能的影响	94
6.2	钢的分类及牌号	96
6.2.1	钢的分类	97
6.2.2	钢的牌号	101
6.3	非合金钢	104
6.3.1	普通质量非合金钢	105
6.3.2	优质非合金结构钢	106
6.3.3	非合金工具钢	107
6.3.4	非合金铸钢	109
6.4	低合金钢	109
6.4.1	低合金钢与合金钢的特点	110
6.4.2	常用低合金钢	110
6.5	合金钢	114
6.5.1	机械制造用合金钢	114
6.5.2	耐磨钢	117
6.5.3	轴承钢	118
6.5.4	合金工具钢	119
6.5.5	高速工具钢	126
6.5.6	不锈钢与耐热钢	128

复习思考题	131
第 7 章 铸铁	133
7.1 铸铁的分类与铸铁的石墨化	133
7.1.1 铸铁的分类	133
7.1.2 影响铸铁石墨化的因素	134
7.2 常用铸铁	135
7.2.1 普通灰铸铁	135
7.2.2 球墨铸铁	138
7.2.3 可锻铸铁	141
7.2.4 蠕墨铸铁	143
7.3 合金铸铁	144
7.3.1 耐磨铸铁	144
7.3.2 耐热铸铁	146
7.3.3 耐蚀铸铁	147
复习思考题	148
第 8 章 非铁金属	149
8.1 铜及铜合金	150
8.1.1 工业纯铜	151
8.1.2 铜合金	151
8.2 铝及铝合金	158
8.2.1 铝材的分类及牌号表示方法	159
8.2.2 纯铝	160
8.2.3 铝合金的热处理	160
8.2.4 形变铝合金	162
8.2.5 铸造铝合金	163
8.3 钛及其合金	165
8.3.1 纯钛	165
8.3.2 钛合金	165
8.4 轴承合金	167
8.4.1 轴承合金性能要求及牌号	167
8.4.2 常用轴承合金	168
8.5 硬质合金	170
8.5.1 硬质合金的性能	170

8.5.2 常用硬质合金	170
复习思考题	171
第9章 金属材料的冶金缺陷及其检验	173
9.1 金属材料的冶金缺陷	173
9.1.1 形状缺陷	173
9.1.2 表面缺陷	174
9.1.3 内部缺陷	175
9.2 金属材料检验	179
9.2.1 检验依据及内容	179
9.2.2 检验的方法	180
复习思考题	187
第10章 金属材料的腐蚀与防护	188
10.1 金属材料腐蚀概念及类型	188
10.1.1 金属材料腐蚀的概念	188
10.1.2 腐蚀的类型	189
10.2 金属材料防护的基本措施	190
10.2.1 化学保护层	190
10.2.2 表面覆盖层	191
10.2.3 电化学保护	193
10.2.4 缓冲剂保护	194
10.3 金属材料常见的局部腐蚀	194
10.3.1 电偶腐蚀	195
10.3.2 点蚀	196
10.3.3 缝隙腐蚀	197
10.3.4 晶间腐蚀	198
10.3.5 应力腐蚀	199
复习思考题	200
参考文献	202

第 1 章

金属材料的基本知识

人类生产、生活离不开材料，材料标志着人类文明的进步和发展水平。按属性，材料可分为金属材料、非金属材料和复合材料三大类。其中的金属材料不仅来源丰富、品种多、具有优良的性能，而且还可以通过不同的加工方法（如热处理），使其某些性能获得进一步的改善，从而扩大其使用范围。因此金属材料在现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛。

1.1 金属材料的分类

金属材料可分为钢铁材料（俗称黑色金属）和非铁金属材料（俗称有色金属）两大类，如图 1-1 所示。

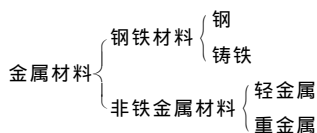


图 1-1 金属材料的分类

1.1.1 钢铁材料

钢铁材料是工程中最应用最广泛的金属材料。虽然钢铁的成分各

不相同、品种繁多，但都是以铁和碳为主要元素所组成的合金。铁碳合金中碳的最高含量可达 6.69%，其中含碳量小于 2.11% 的称为钢，含碳量大于 2.11% 的称为铸铁。由于含碳量的差异，造成它们内部组织结构有所不同，使得钢与铸铁的性能有显著的差异。

1.1.2 非铁金属材料

非铁金属材料是指钢铁以外的所有金属及其合金。按其密度，非铁金属材料可分为轻金属（铝、钛、镁、铍及其合金等）和重金属（铜、锌、镉、镍及其合金等）。其中应用最广的是铝合金，据统计，协和式超音速飞机全部结构的 71% 是用特殊的铝合金制造的；高速火车、汽车等交通工具对铝型材的用量需求不断加大；建筑装饰用的铝材越来越多，既漂亮又耐腐蚀；电力系统和家用电器中铝导线的用量超过铜导线；铝箔可用于包装食品和香烟；铝合金还可用作电容器等。

1.2 金属材料的性能

金属材料的性能包括物理性能、化学性能、力学性能及工艺性能等方面。

1.2.1 金属材料的物理性能

金属材料的物理性能是指金属材料对各种物理现象所引起的反映，是金属材料固有的属性，主要指密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性和磁性等。

（1）密度 密度是指单位体积材料的质量，其单位为 g/cm^3 或 t/m^3 。利用密度可以解决一系列实际问题，如计算材料的质量，区分轻金属和重金属以及鉴别金属材料的质量等。

常用金属材料的密度如下：铸钢为 $7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ，灰铸铁为 $7.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，铜为 $8.9\text{g}/\text{cm}^3$ ，铝为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$ 等。低密度材料对于

要求重量轻的零件具有重要意义，如航天设备应选用密度小的材料制造。

(2) 熔点 熔点是指材料由固态变为液态时的熔化温度。熔点越高，材料的高温性能就越好。常用金属熔点如下：铁为 1538°C ，铜为 1083°C ，铝为 660°C ，钨为 3380°C 等。掌握各种金属的熔点，对于材料的熔炼、铸造、焊接及配制合金等方面都很重要，如用高熔点的钨及其合金制造高温的电灯丝、电炉加热组件等，低熔点的金属及其合金用来制造焊锡、保险丝等。

(3) 导电性 导电性是指材料传导电流的能力，常用电导率来描述，电导率越大，材料的导电性越好。各种金属的导电能力不同，通常银的导电性最好，其次是铜和铝。电气工程上的导体要用导电性能好的纯金属（纯铜或纯铝）制造，而电热丝、变阻器则用导电性差的金属材料来制造。

(4) 导热性 导热性是指材料传导热量的性能，常用传热系数来描述，传热系数越大，材料的导热性越好。一般来说，金属材料的导热性良好。不同的金属具有不同的导热性，银的导热性最好，其次是铜和铝。在使用中需要大量传热或散热的零件，则要使用导热性好的材料，如热交换器中的换热管常用导热性好的铜合金来制造，以提高其换热效果。在热加工时，对导热性差的金属，应减慢其加热或冷却速度，以免在金属中产生较大的温差应力而导致工件变形甚至开裂，例如，高速钢的导热性较差，在锻造时应该用很低的速度加热，否则容易产生裂纹。

(5) 热膨胀性 热膨胀性是指材料受热时体积发生胀大的现象，常用线膨胀系数来描述，线膨胀系数越大，材料的尺寸或体积随温度变化而变化的程度就越大。在生产实际中，必须考虑热膨胀性能所产生的影响。例如，对于精密机械和精密仪器等尺寸精度要求较高的零件，要用线膨胀系数小的材料来制造；异种钢的焊接应考虑到它们的热膨胀性要接近。

(6) 耐磨性 两物体工作表面因摩擦而导致材料不断损失的现象称为磨损。一般来说磨损随载荷和工作时间的增加而增加，软材

料比硬材料磨损严重。机械零件严重磨损后，将降低机器的工作效率及可靠性，致使机器提前报废。但磨损并非全部都有害，如工程上的磨削、研磨、抛光以及跑合等，就是利用磨损原理来减小零件表面粗糙度的。

耐磨性是指材料抵抗磨损的性能，一般用磨损率来描述。磨损率是指单位时间内材料的磨损量，磨损量可用质量、体积或厚度来衡量。磨损率越小，材料的耐磨性越好。

1.2.2 金属材料的化学性能

金属材料的化学性能是指金属材料抵抗化学介质作用的能力，包括抗氧化性、耐腐蚀性等。

(1) 抗氧化性 抗氧化性是指在高温时金属材料抵抗氧化作用的能力。除铂、金等少数贵金属外，绝大多数金属在空气中，特别是在高温气体中都会发生氧化。但实践证明，氧化后若能形成致密、牢固的氧化膜，如 Al_2O_3 膜、 Cr_2O_3 膜、 SiO_2 膜等，则能防止材料继续被氧化。因此，在钢中加入少量的 Al、Cr、Si 等元素，可以提高钢的抗氧化能力。长期在高温下工作的锅炉的过热器、汽轮机，要用抗氧化性良好的材料制造。

(2) 耐腐蚀性 耐腐蚀性是指金属材料抵抗周围介质（如大气水、酸、碱、盐等）对其腐蚀的能力，常用腐蚀速度来描述，腐蚀速度越小，材料耐腐蚀性越好。一般认为介质对材料的腐蚀速度在 $0.1\text{mm}/\text{年}$ 以下时，材料对这种介质是耐腐蚀的。

1.2.3 金属材料的力学性能

任何机械零件在加工和使用时都会承受外力（即载荷）作用。材料在载荷作用下所表现出的特性称为材料的力学性能或机械性能，包括强度、塑性、冲击韧性、硬度、疲劳强度等指标。

材料在加工和使用过程中所受到的载荷，按其性质不同，可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷三种。静载荷是指大小方向不变或变化过程缓慢的载荷；冲击载荷是指在短时间内以较高速度作用在

零件上的载荷；交变载荷是指大小、方向随时间而作周期性变化的载荷。

材料在外力作用下，会引起尺寸和形状的改变，这种尺寸和形状的改变称为变形，变形一般可分为弹性变形和塑性变形。弹性变形是指随载荷消失而消失的变形；塑性变形是指载荷消失而遗留下来的变形。

(1) 强度 强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。抵抗外力的能力越大，则强度越高。

在外力作用下，材料内部将产生抵抗变形的力，这种力称为内力。内力随外力增大而增大，当内力增大到某一限度时就会引起零件破坏。但是材料的破坏不仅与内力大小有关，而且与零件的横截面尺寸有关，如两根材料相同、粗细不同的杆件，在相同拉力作用下，它们的内力是相等的，但当外力逐渐增大时，细杆必然先被拉断。这说明零件的强度不仅与内力有关，还与横截面尺寸有关。因此零件的强度需用单位截面面积上的内力来衡量。这种单位截面面积上的内力称为应力，当应力达到一定程度时零件就会破坏。应力常用符号“ σ ”表示，其常用单位为 MPa（兆帕）， $1\text{MPa} = 1\text{N/mm}^2$ 。

研究材料的力学性能，通常是做静拉伸（或压缩）试验。它能比较全面、明显地反映出材料的各种力学性能；并且可以概略地表现出材料在其它各种载荷作用时和其它变形形式的力学性能。按国家标准规定，需将材料制成标准试样，如图 1-2 所示。在试件中部，长度



图 1-2 拉伸圆试样

为 l 的等直径部分为工作段， l 称为标距。其标距有 $l=10d$ 和 $l=5d$ 两种规格。将试样装在拉伸试验机上，对试样缓慢施加拉力，试样的长度也不断增长，直到试样拉断为止。以伸长量 Δl 为横坐标，拉力 F 为纵坐标，把拉力与伸长量（变形）的关系绘在图上，即可得到拉伸曲线图。图 1-3 为低碳钢的拉伸曲线，从图上可以显

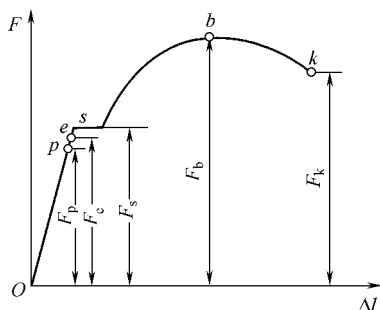


图 1-3 低碳钢拉伸曲线

示出材料的常规力学性能。

① 屈服极限 从图 1-3 可知，在拉伸的初始阶段 Oe ，试样在拉力作用下均匀伸长，解除拉力后变形将完全消失，此时材料处于弹性变形阶段。 e 点所对应的应力是产生弹性变形的最大极限值，称为弹性极限，用 σ_e 表示，其值等于试样在 e 点处所受拉力 F_e 与试样原始横

截面面积 A_0 之比。

当拉力超过 e 点后，拉伸曲线上出现一段接近水平线的小锯齿形线段，这说明变形增加很快，而拉力却在很小范围内波动，即几乎未增大，好像材料丧失了对变形的抵抗能力。这种拉力基本不变而变形显著增加，从而产生明显的塑性变形的现象称为材料屈服现象或流动，此时材料处于屈服阶段。屈服阶段对应的最低应力称为屈服极限，用 σ_s 表示，其值等于试样在 s 点处所受拉力 F_s 与试样原始横截面面积 A_0 之比，即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

当应力达到屈服极限时，材料将出现显著的塑性变形。由于零件的塑性变形将影响机器的正常工作，所以屈服极限 σ_s 是衡量材料强度的重要指标。

② 抗拉强度极限 经过屈服阶段之后，曲线开始逐渐向上凸起，这表明若要试件继续变形，必须增加拉力，材料重新产生了抵抗能力，这种现象称为强化，此时材料处于强化阶段。在强化阶段，试件的变形是均匀的。当拉力超过 F_b 时，试样在某一局部范围内出现直径明显变细的现象，即形成颈缩现象。强化阶段中的最高点 b 对应的应力，称为材料的抗拉强度极限，用 σ_b 表示，其值等于试样在 b 点处所受拉力 F_b 与试样原始横截面面积 A_0 之

比，即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

强度极限 σ_b 是试件断裂前材料能承受的最大应力值，故是衡量材料强度的另一重要指标。

(2) 塑性 塑性是材料在外力作用下产生塑性变形的能力，常用的塑性指标有两个：断后伸长率和截面收缩率。

① 断后伸长率 是指试样拉断后的标距伸长量 ($l_1 - l_0$) 和标距原始长度 l_0 比值的百分率，用 δ 表示，即

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

式中 l ——试件标距的原长；

l_1 ——试件拉断后标距的长度。

由于断后伸长率 δ 与试样尺寸有关，一般规定 $l=5d$ 时，断后伸长率用 δ_5 表示； $l=10d$ 时，断后伸长率用 δ_{10} 或 δ 表示。对同一种材料，有 $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

② 断面收缩率 是指试样拉断后，颈缩处横截面面积的最大收缩量与原始横截面面积的百分比，用 ψ 表示，即

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_0 ——试样的原始横截面面积；

A_1 ——试样拉断后颈缩处的最小横截面面积。

材料的 δ 或 ψ 值越大，材料的塑性越好，易变形。塑性直接影响到零件的成形加工及使用，例如，低碳钢的伸长率在 20%~30% 间，其塑性很好，可以进行压力加工；而灰铸铁的塑性极差，不能进行压力加工。

在工程中，经常将断后伸长率 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料，如钢、铜、铝等；断后伸长率 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料，如铸铁、砖石、玻璃等。

(3) 硬度 硬度是指金属材料抵抗其它物体压入其表面的能力，反映金属材料软硬程度的性能指标，硬度值越高，材料越硬。

常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

① 布氏硬度 如图 1-4 所示,布氏硬度的测定是在布氏硬度机上进行的。布氏硬度的试验原理是用直径为 D 的淬硬钢球或硬质合金球,在规定压力 F 作用下压入被测金属表面至规定时间后,卸除压力,金属表面留有压痕,如图 1-5 所示。此压力 F 与压痕表面积 A 的比值称为布氏硬度,用符号 HBS (压头为淬硬钢球) 或 HBW (压头为硬质合金球) 表示,即

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

式中 F ——试验压力, N;
 A ——压痕表面积, mm^2 ;
 D ——试验用钢球直径, mm;
 d ——压痕平均直径, mm。



图 1-4 布氏硬度机

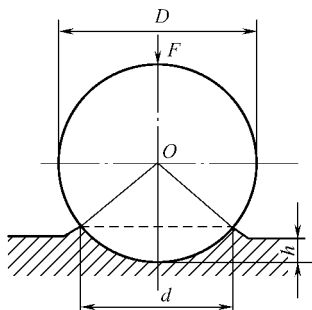


图 1-5 布氏硬度的试验原理

由此可知,压痕越小即 d 越小,布氏硬度值越高,材料越硬。

布氏硬度计算值一般都不标注单位,只写明硬度值,硬度值标注在 HBS 或 HBW 的前面。例如 120HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 钢球在 $1000\text{kg} \cdot \text{f}$ (9.807kN) 试验力作用下,保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

布氏硬度所测定的数据准确、稳定、重复性强,但压痕较大

时，对金属表面损伤大，不宜测定较硬的钢、太薄的零件及成品件的硬度，常用于测量退火、正火后的钢制零件及铸铁，以及有色金属零件等的硬度。

② 洛氏硬度 当 $HB > 450$ 或者试样过小时，不能采用布氏硬度试验而改用洛氏硬度计量。洛氏硬度的测定是在洛氏硬度试验机上进行的，如图 1-6 所示。洛氏硬度试验原理如图 1-7 所示，是用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥，或直径为 1.5875mm 的淬火钢球为压头，在一定载荷下压入被测金属材料表面，根据压痕深度来确定硬度值。试验时，先加初试验力 F_0 ，压头处于 1-1 位置，深度为 h_0 。再加主试验力 F ，压头压入试样表面，处于 2-2 位置，又压入深度为 h_1 。经规定保持时间后，卸除主试验力，压头因材料的弹性而恢复在 3-3 位置。用测量的残余压痕深度增量 e (mm) 来计算硬度值，以符号 HR 表示。其硬度值的计算式如表 1-1 所示，但实际测定时，可在洛氏硬度试验机的刻度盘上直接读出洛氏硬度值。显然，材料越硬，压痕深度越小，硬度值越大。



图 1-6 洛氏硬度试验机

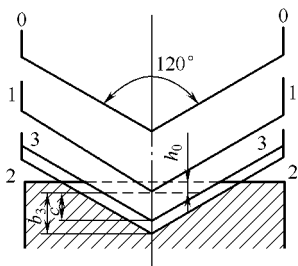


图 1-7 洛氏硬度试验原理

根据试验材料硬度的不同，所用标尺有 A、B、C、D、E、F、G、H、K 九个标尺，其中常用于钢材硬度试验的标尺一般为 A、B、C、D，即 HRA、HRB、HRC、HRD，以 HRC 应用最多。常用洛氏硬度的试验条件及应用范围如表 1-1 所示。