



高职高专机电专业规划教材

机械制造基础

● 主编 肖 珑

河南科学技术出版社



高职高专机电专业规划教材

机械制造基础

主 编 肖 珑

河南科学技术出版社

·郑州·

图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造基础/肖珑主编. —郑州: 河南科学技术出版社,
2006. 9

(高职高专机电专业规划教材)

ISBN 7-5349-3462-1

I. 机… II. 肖… III. 机械制造 - 高等学校: 技术学校 -
教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 068170 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028

责任编辑: 孙 彤

责任校对: 王红艳 申卫娟

封面设计: 张 伟

版式设计: 栾亚平

印 刷: 河南第一新华印刷厂

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 19.25 字数: 438 千字

版 次: 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

印 数: 1—4 000

定 价: 29.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系。

《高职高专机电专业规划教材》编审委员会名单

主 任 李 华

副主任 (按姓氏笔画排序)

王林鸿	王朝庄	田 坤	苏海青	李学雷
杨星钊	张 勤	郝小会	侯继红	顾文明
陶 昆	彭志宏	薛培军		

委 员 (按姓氏笔画排序)

王玉中	王丽霞	王林鸿	王朝庄	田 坤
史艳红	宁玉伟	刘好增	刘静香	苏海青
李 华	李传军	李学雷	杨星钊	肖 珑
吴振亭	张 勤	张洪峰	张淑贤	苗志毅
郝小会	侯继红	顾文明	陶 昆	常家东
康宝来	梁南丁	彭志宏	熊运昌	薛培军

《机械制造基础》编委名单

主 编 肖 珑

副主编 刘 洁

编 委 (按姓氏笔画排序)

左传付 齐晓华 刘书群 刘 洁

李民潮 肖 珑 余爱香 姚瑞央

主 审 王新杰

序

高等职业技术教育是我国高等教育体系的重要组成部分。从 20 世纪 90 年代末开始,伴随我国高等教育的快速发展,高等职业技术教育也进入了快速发展时期。在短短的几年时间内,我国高等职业技术教育的规模,无论是在校生数量还是院校的数量,都接近于占高等教育总规模的半壁江山。自 2002 年 10 月以后,教育部连续召开了三次全国高等职业教育产学研合作研讨会,明确指出高等职业技术教育要“以服务为宗旨,以就业为导向,走产学研结合的发展道路”,为高等职业技术教育的发展指明了方向。2005 年 11 月,全国职业教育工作会议召开,会议提出要大力发展中国特色的职业教育,国务院印发了《关于大力发展职业教育的决定》。根据会议的精神,到 2010 年,我国高等职业教育招生规模要占高等教育招生规模的一半以上。

高等职业技术教育承担着为我国走新型工业化道路,调整经济结构和转变增长方式,提供高素质技能型人才的任務。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业急需高素质高技能的专业人才。面对这一形势,高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要,不断更新教学内容,改进教学方法;大力推进精品专业、精品课程和教材建设;高度重视实践和实训环节教学;与企业紧密联系,加强学生的生产实习和社会实践,取得了许多成功的经验。近几年来,河南省的高职高专院校抓住机遇,主动面向社会,服务经济建设与社会发展,积极推进教学改革,加强教学基本建设,探索新的人才培养模式,取得了许多在全国具有重要影响的高等职业技术教育教学成果,许多高职高专院校在全国具有较高的知名度。

但是高等职业技术教育的发展并不平衡。由于发展速度快,一部分新创办的院校对高等职业技术教育的本质规律仍在认识过程中,对专业建设、教学内容改革还在逐步探索之中。因此,总结成功的经验,把高等职业技术教育发展的成果以教材的形式固化,在更多的院校得以推广,无疑是一件非常有意义的事情。服务于地方经济建设,人才培养模式多样化是高等职业技术教育的特征之一,编写符合地方人才培养特色要求的高职高专教材也是高等职业技术教育发展的需要。教育部在《关于申报“普通高等教育‘十一五’国家级教材规划”选题的通知》中也明确提出了教材规划制定的四个原则:(1)坚持分类指导的原则。编写适应不同层次、不同类型院校的教材。(2)坚持多样性的原则。鼓励编写具有不同风格和特色的教材。(3)坚持新编与修订相结

合的原则。鼓励根据学科的发展、社会对人才的需要和人才培养的实践编写新教材。

(4) 坚持突出重点的原则。基础课、专业基础课是提高质量的关键,应当加强教材建设。根据这一精神,河南科学技术出版社抓住这一时机,组织编写高职高专机电类教材,对于高等职业技术教育将起到展示成果和实力,推动教学改革与教学基本建设,促进发展的重要作用。

这一系列教材共 16 种,涵盖了机电类专业的专业基础课和主干课,在编写过程中,贯彻了高等职业技术人才培养的基本要求,对传统的课程体系进行了有效的整合,突出了技能培养和理论知识的应用能力培养,精简了理论内容;对专业技术内容进行了及时的更新,反映了技术发展的水平,同时结合行业的特色,缩短了学生专业技术技能与生产一线要求的距离,具有鲜明的高等职业技术教育人才培养特色。参加系列教材编写的各位作者都是长期从事高职高专教学工作的教师,在教学实践中积累了丰富的经验,对高等职业技术人才的培养和机电类专业的课程体系、教学内容的改革具有深刻的理解,形成了自己的特色。这些经验和成果必定能在教材中得到反映。我们期待着有特色、高质量的高职高专机电类系列教材的诞生。相信经过不断的完善,这一系列教材将能够成为高职高专教材的精品。

李 华

2006 年 1 月 6 日

前 言

本书作为高职高专机电类专业机械制造基础课程用书，主要介绍了金属材料的力学性能及晶体结构，并讲述了钢的热处理原理及方法、金属热加工方法、金属切削加工基础、机械零件材料及毛坯的选用等内容。

本书力求语言简练，条理清晰。在编写本书过程中以实用性和指导性为原则，在理论知识够用、适用的要求下，重组课程结构，更新教学内容，突出技术应用能力的培养，加强职业技能训练，充分体现高职高专的办学特色，力求切实起到帮助学生灵活运用知识，培养学生解决实际问题的能力。

本书由肖珑主编，刘洁为副主编，王新杰为主审。

由于作者水平有限，书中难免存在缺点和不妥之处，恳请同仁和广大读者指正。

编 者

2006 年 4 月

目 录

第 1 章 金属材料的力学性能	1
1.1 强度与塑性	1
1.2 硬度	4
1.3 冲击韧性	7
1.4 疲劳强度	10
思考与练习	12
第 2 章 金属与合金的晶体结构	13
2.1 纯金属的晶体结构	13
2.2 合金的晶体结构	15
2.3 实际金属的晶体结构	18
思考与练习	20
第 3 章 金属与合金的结晶	21
3.1 纯金属的结晶	21
3.2 合金的结晶	24
思考与练习	26
第 4 章 铁碳合金	27
4.1 铁碳合金的基本相	27
4.2 铁碳合金相图	29
4.3 碳素钢	38
思考与练习	46
第 5 章 钢的热处理	48
5.1 概述	48
5.2 钢在加热时的转变	49
5.3 钢在冷却时的转变	51
5.4 钢的退火与正火	58
5.5 钢的淬火	60
5.6 淬火钢的回火	65
5.7 钢的表面热处理	69

5.8 热处理零件的结构工艺性	74
思考与练习	78
第6章 合金钢	80
6.1 合金元素在钢中的作用	80
6.2 常用合金钢	85
思考与练习	104
第7章 铸铁	105
7.1 铸铁的石墨化	105
7.2 常用铸铁	107
思考与练习	115
第8章 有色金属及其合金	117
8.1 铝及铝合金	117
8.2 铜及铜合金	123
8.3 滑动轴承合金	127
8.4 粉末冶金及硬质合金	130
思考与练习	133
第9章 非金属材料	135
9.1 高分子材料	136
9.2 陶瓷材料	141
9.3 复合材料	145
9.4 纳米材料	153
思考与练习	158
第10章 工程材料的表面处理	159
10.1 概述	159
10.2 气相沉积	161
10.3 电镀和化学镀	165
10.4 化学转化膜技术	167
10.5 涂料与涂装工艺	169
思考与练习	173
第11章 铸造	174
11.1 砂型铸造	175
11.2 合金的铸造性能	183
11.3 铸件的结构设计	189
11.4 特种铸造	196
思考与练习	200
第12章 锻压	202
12.1 概述	202
12.2 金属的塑性变形	203



12.3 锻造工艺过程	210
12.4 自由锻造	213
12.5 模锻	215
12.6 板料冲压	223
12.7 锻压新工艺简介	227
思考与练习	231
第13章 焊接	233
13.1 概述	233
13.2 熔焊冶金原理	234
13.3 常用焊接方法	236
13.4 焊接应力、变形及其防止措施	245
13.5 常用金属材料的焊接	247
13.6 焊接结构工艺性	249
13.7 焊接质量检验	252
13.8 焊接新技术简介	252
思考与练习	257
第14章 典型零件的选材及工艺路线	259
14.1 机械零件的失效形式	259
14.2 选用材料的一般原则	261
14.3 热处理的技术条件和工序位置	265
14.4 典型零件的选材及工艺分析	267
思考与练习	272
第15章 金属切削加工的基础知识	273
15.1 概述	273
15.2 切削运动与切削要素	274
15.3 金属切削过程中的物理现象	284
15.4 切削加工技术经济性分析	289
思考与练习	292
参考文献	293

第 1 章

金属材料的力学性能

学习指导

1. 金属材料的力学性能指标。
2. 力学性能指标的试验测定及其表示方式。

金属材料在机械制造行业应用广泛，起着很重要的作用。要设计具有竞争力的产品，首先要掌握金属材料的性能，主要包括使用性能（如力学性能、物理性能和化学性能）和工艺性能。金属材料的力学性能是指在各种不同性质外力作用下所表现的抵抗能力，主要有强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

1.1 强度与塑性

金属材料的强度与塑性是非常重要的力学性能指标，常采用拉伸试验方法测定。强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。塑性是指断裂前材料发生不可逆永久变形的能力。

1.1.1 拉伸试验

拉伸试验是在万能材料试验机上用静拉伸力对标准试样进行轴向拉伸，测量拉伸力和相应的伸长，并测其力学性能的试验。拉伸时一般将拉伸试样拉至断裂。

1. 拉伸试样 试验通常采用圆柱形拉伸试样，试样尺寸按国家标准制作。试样分为短试样 ($L_0 = 5d_0$) 和长试样 ($L_0 = 10d_0$) 两种。拉伸试样见图 1.1， d_0 为标准试样的原始直径， L_0 为标准试样的原始标距长度； d_1 为试样断口处的直径， L_1 为拉断试样对接后测出的标距长度。 L_0 和 d_0 有规定的标准值，一般 L_0 为 100mm 或 50mm。

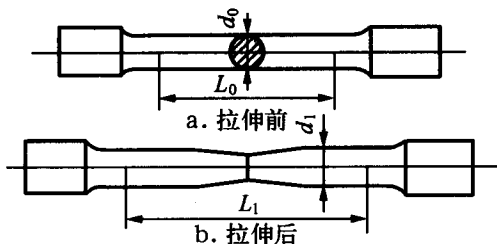


图 1.1 拉伸试样

2. 拉伸曲线 图 1.2 为拉伸试验机示意图。试验时, 将标准试样装在拉伸试验机的上下夹头上, 开动拉伸试验机, 缓慢加载拉伸, 随载荷增加, 试样逐渐伸长直至拉断。同时, 记录装置记录下拉伸过程中的力 - 伸长量 ($F - \Delta L$) 曲线, 即拉伸曲线。图 1.3 为退火低碳钢的拉伸曲线。

由拉伸曲线可知, $F = 0$ 时 $\Delta L = 0$, 载荷增大到 F_p 的过程中, 试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 之间成正比关系, 在拉伸曲线图 (图 1.3) 中为斜直线 Op 。在此范围内卸除载荷, 试样能完全恢复到原来的形状与尺寸, 符合虎克定律, 即试样处于弹性变形阶段。图 1.3 中 F_p 是试样保持弹性变形的最大拉伸力。

当载荷不断增加, 超过 F_p 时, 试样将产生塑性变形, 卸载后变形不能完全恢复, 塑性伸长将被保留下来。当载荷继续增加到 F_s 时, 拉伸曲线在 p 点后出现水平或锯齿形线段, 表示在载荷不再增加的情况下, 试样也会继续伸长, 这种现象称为“屈服”, F_s 称为屈服拉伸力。

当载荷超过屈服拉伸力 F_s 后, 试样抵抗变形的能力将会增强, 此现象为冷变形强化, 即抗力增加现象。在拉伸曲线上表现为一段上升曲线, 随着塑性变形量的增大, 试样变形抗力也逐渐增大, 即试样处于冷变形强化阶段。

当载荷增至最大值 F_b 时, 试样伸长量迅速增大而截面迅速减小, 形成“缩颈”现象。由于缩颈处截面的急剧缩小, 单位面积承载大大增加, 最后到 k 点试样被拉断, 即试样处于缩颈与断裂阶段。 F_b 是试样拉断前能承受的最大拉伸力, 称为极限拉伸力。

1.1.2 强度指标

金属材料受外力作用时, 其内部产生与外力相抗衡的内部抗力, 这种内部抗力称为内力, 单位面积上的内力称为应力, 用 σ 表示。金属的强度指标就用应力来度量。常用的强度指标有屈服强度与抗拉强度。

1. 屈服强度 屈服强度是指试样在拉伸试验过程中力不增加 (保持恒定) 试样仍然能继续伸长 (变形) 时的应力值。屈服强度也称屈服点, 用符号 σ_s 表示, 单位为 MPa。屈服强度 σ_s 的值可用下式计算:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1.1)$$

式中 F_s ——试样屈服时的拉伸力 (N);

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

工业上使用的一些金属材料, 如高碳钢、铸铁等, 在进行拉伸试验时屈服现象不

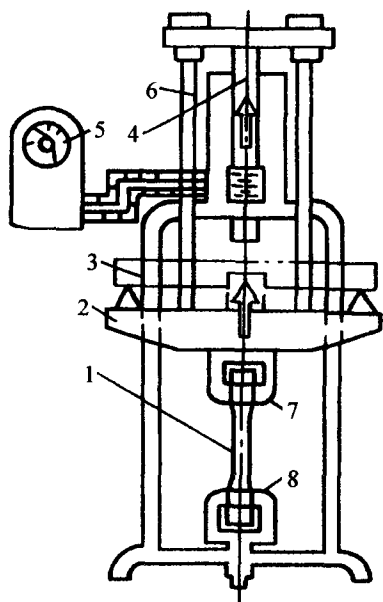


图 1.2 拉伸试验机示意图

- 1. 试样; 2. 工作台; 3. 立柱;
- 4. 工作活塞; 5. 表盘; 6. 拉杆;
- 7. 上夹头; 8. 下夹头



明显,也不会产生缩颈现象,测定很困难,因此规定一个相当于屈服强度的强度指标。国家标准规定此类材料以产生0.2%塑性变形量时的应力值为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

金属零件和结构在工作中一般是不允许产生塑性变形的,所以设计零件、结构时屈服强度 σ_s 是重要的设计依据,也是工程技术上极为重要的力学性能指标之一。

脆性材料(如灰口铸铁)拉伸时几乎不发生塑性变形,不仅没有屈服现象,也不产生缩颈,断裂是突然发生的,最大载荷即是断裂载荷。

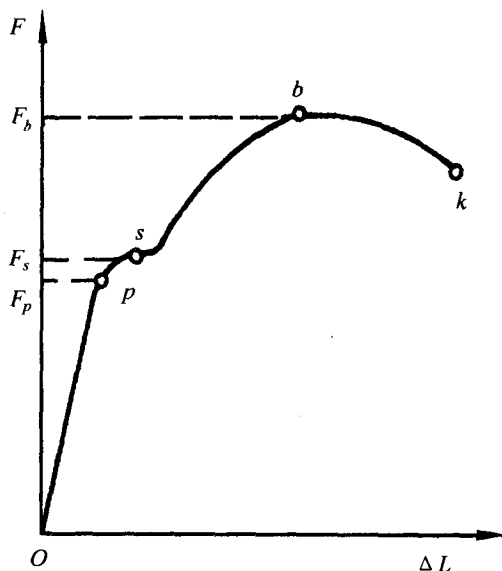


图 1.3 退火低碳钢的拉伸曲线

2. 抗拉强度(强度极限)

抗拉强度是指试样断裂前能承受的

最大应力值,用符号 σ_b 表示,单位为MPa。 σ_b 可用下式计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1.2)$$

式中 F_b ——试样承受的最大拉伸力(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

σ_b 是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值,也是金属在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属来说,拉伸试样在承受最大拉应力之前,变形是均匀一致的。但超过 σ_b 后,金属开始出现缩颈现象,即产生集中变形。

抗拉强度表示材料抵抗塑性变形和断裂的最大能力,测试数据较准确,因此,有关手册和资料提供的设计、选材的强度指标往往是抗拉强度 σ_b 。

1.1.3 塑性指标

金属的塑性指标用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示,常用断后伸长率和断面收缩率来表示。

1. 断后伸长率 拉伸试样在进行拉伸试验时,在力的作用下产生塑性变形,原始试样中的标距会不断伸长。试样拉断后的标距伸长量与原始标距的百分比称为断后伸长率,用符号 δ 表示。 δ 值可用下式计算:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1.3)$$

式中 L_1 ——拉断试样对接后测出的标距长度(mm);

L_0 ——试样原始标距(mm)。

试样分为长试样和短试样。使用长试样测定的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示, 通常写成 δ ; 使用短试样测定的断后伸长率用符号 δ_5 表示。同一种材料的断后伸长率 δ_{10} 和 δ_5 数值是不相等的, 一般短试样 δ_5 都大于长试样 δ_{10} 。不同材料进行比较时, 必须是相同标准试样测定的数值才有意义。

2. 断面收缩率 断面收缩率是指试样拉断后横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。断面收缩率用符号 ψ 表示。 ψ 值可用下式计算:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样断口处的横截面积 (mm^2)。

断后伸长率和断面收缩率的数值大, 表示金属材料的塑性变形能力大, 塑性好。金属制品进行压力加工, 应选择 δ 与 ψ 值大的金属材料。机械零件工作时突然超载, 如果材料塑性好, 就能先产生塑性变形而不会突然断裂破坏。所以, 大多数机械零件, 除要求满足强度要求外, 还必须有一定的塑性要求。但是, 铸铁、陶瓷等脆性材料, 塑性极低, 拉伸时几乎不产生明显的塑性变形, 超载时会突然断裂, 使用时必须注意。

1.2 硬度

硬度是指材料表面抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度试验和拉伸试验都是在静态力下测定材料力学性能的方法。硬度测定的设备简单, 操作方便, 试验基本上不损伤工件, 不需要制作专门试样, 而且可以直接在工件上进行测试, 从而被广泛应用于检验原材料和热处理件的质量, 以及鉴定热处理工艺的合理性。硬度是一项综合力学性能指标, 从金属表面的局部压痕即可反映出材料的强度和塑性, 因此在零件图上常常标注各种硬度指标, 以作为技术要求。

常用硬度测定方法有压入法、划痕法、回弹高度法等, 其中压入法的应用最为普遍。压入法是在规定的静态试验力作用下, 将压头压入金属材料表面层, 然后根据压痕的面积大小或深度测定其硬度值。目前, 多用压入法测材料硬度, 常用的测试方法有布氏硬度 HB、洛氏硬度 HR 和维氏硬度 HV 试验法。

1.2.1 布氏硬度 HB

布氏硬度的试验原理见图 1.4。用一定直径的淬火钢球或硬质合金球, 以规定的试验力 F 压入试样表面, 经规定的保持时间后, 去除试验力, 测量试样表面的压痕直径 d , 然后根据压痕直径 d 计算其硬度值。

布氏硬度值是指压痕球面积上所产生平均抗力。选择淬火钢球压头时,

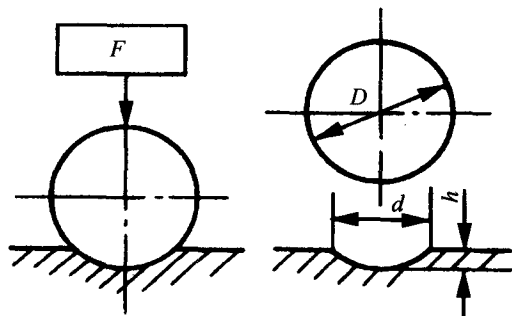


图 1.4 布氏硬度试验原理



用符号 HBS 表示；选择硬质合金球压头时，用符号 HBW 表示。布氏硬度值可用下式计算：

$$\text{HBS (HBW)} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.5)$$

式中 F ——试验力 (N，单位用 kgf 时，去掉 0.102)；

D ——球体直径 (mm)；

d ——压痕直径 (mm)。

式中只有 d 是变数，因此试验时只要测量出压痕直径，就可通过计算或查布氏硬度表得出 HBS (HBW) 值。布氏硬度计算值一般都不标出单位，只写明硬度的数值。

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现象。因此，GB 231—84《金属布氏硬度试验方法》中规定了几种 F 和 D 的选配关系，见表 1.1。在进行布氏硬度试验时，压头直径 D 、试验力 F 和保持时间应根据被测金属种类和厚度正确地进行选择。

表 1.1 布氏硬度试验规范

金属种类	布氏硬度值范围 HBS (HBW)	试样厚度/mm	$0.102F/D^2$	压头直径 D /mm	试验力/kN (kgf)	试验力 保持时间/s
黑色金属	140 ~ 150	6 ~ 3	30	10.0	29.42 (3 000)	12
		4 ~ 2		5.0	7.355 (750)	
		< 2		2.5	1.839 (187.5)	
	< 140	> 6 6 ~ 3	10	10.0 5.0	9.807 (1 000) 2.452 (250)	12
有色金属	> 130	6 ~ 3	30	10.0	29.42 (3 000)	30
		4 ~ 2		5.0	7.355 (750)	
		< 2		2.5	1.839 (187.5)	
	36 ~ 130	9 ~ 3	10	10.0	9.807 (1 000)	30
		6 ~ 3		5.0	2.452 (250)	
	8 ~ 35	> 6	2.5	10.0	2.452 (250)	60

布氏硬度的标注方法是，测定的硬度值应标注在硬度符号的前面，在硬度符号的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。在钢球直径 D 为 10mm，试验力为 29.42kN (3 000kgf)，保持时间为 10 ~ 15s 的试验条件下，试验条件可以不标明。例如，150HBS10/1 000/30 表示：用直径为 10mm 的淬火钢球，在 9.807kN (1 000kgf) 试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 150；500HBW5/750 表示：用直径为 5mm 的硬质合金球，在 7.355kN (750kgf) 试验力作用下保持 10 ~ 15s 测得的布氏硬度值为 500。

由于布氏硬度测定的压痕面积较大，可不受金属内部组成相细微不均匀性的影响，

测得的硬度值比较准确,数据重复性强。一般材料布氏硬度值小于450时选用淬火钢球压头,布氏硬度值在450~650时选用硬质合金压头。目前我国布氏硬度试验常用的压头主要是淬火钢球。由于布氏硬度压痕大,对金属表面的损伤也较大,硬度高的材料,薄壁工件和表面要求高的工件,不宜用布氏硬度测试。通常布氏硬度测定适用于有色金属、低碳钢、灰铸铁和经退火、正火和调质处理的中碳结构钢等。

1.2.2 洛氏硬度 HR

洛氏硬度也是用压入法测定的,见图1.5,其试验原理是以锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为1.588mm的淬火钢球作压头压入试样表面,先加初试验力 F_1 (98N),再加主试验力 F_2 ,压入试样表面后去除主试验力,在保留初试验力的情况下,根据试样压痕深度来衡量金属的硬度大小。

图1.5中0-0位置为金刚石压头还没有和试样接触时的原始位置;1-1为加上初试验力 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至3-3位置。

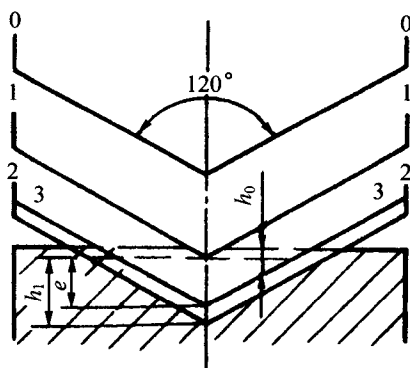


图1.5 洛氏硬度试验原理

此时压头受主试验力作用压入的深度为 e ,金属越硬, e 值越小。为适应人们习惯上数值越大硬度越高的观念,故人为地规定一常数 K 减去压痕深度 e 作为洛氏硬度指标,并规定每一个洛氏硬度试验单位为0.002mm。则洛氏硬度值为

$$\text{HRA (HRB、HRC)} = \frac{K - e}{0.002} \quad (1.6)$$

式中压痕深度 e 的单位为毫米(mm)。

使用金刚石圆锥体压头时常数 K 为0.2,使用淬火钢球压头时,常数 K 为0.26。

由压痕深度可直接得出数值,所以可从洛氏硬度计表盘上直接读出硬度值,不用计算。

洛氏硬度根据试验时选用的压头类型和试验力大小的不同分别采用不同的标尺进行标注。常采用的标尺有A、B、C,试验条件及应用范围见表1.2。根据GB 230—91规定,硬度数值写在符号的前面,HR后面写使用的标尺,如52 HRC表示用C标尺测定的洛氏硬度值为52。

表1.2 洛氏硬度试验规范

硬度符号	压头类型	总试验力 $F_{\text{总}}/\text{N (kgf)}$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120° 金刚石圆锥体	588.4 (60)	60~88	硬质合金,表面淬火、渗碳钢等
HRB	$\varnothing 1.588\text{mm}$ 淬火钢球	980.7 (100)	20~100	有色金属,退火、正火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥体	1 471.1 (150)	20~70	淬火钢,调质钢等