

中等专业学校
教学用书

ZHONGDENG

ZHUANYE

XUEXIAO

JIAOXUE

YONGSHU

金属学及热处理

冶金工业出版社

4
03

中等专业学校教学用书

金属学及热处理

鞍山钢铁学校 李方连 主编

冶金工业出版社

(京)新登字036号

图书在版编目(CIP)数据

金属学及热处理/李方连主编.-北京:冶金工业出版社, 1995.5

中等专业学校教学用书

ISBN 7-5024-1592-0

I.金… II.李… III.①金属学-专业学校-教材②热处理-专业学校-教材 IV.①TG1②TG15

中国版本图书馆CIP数据核字 (95) 第11014号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷39号, 邮编 100009)

三河市印刷厂印刷, 冶金工业出版社发行, 各地新华书店经销

1995年5月第1版, 1995年5月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16, 15.75印张, 365千字, 239页, 1-8000册

9.30元

前 言

本书是根据中等专业学校冶金、金属压力加工专业教学计划编写的。

“金属学及热处理”是冶金、压力加工等专业的一门技术基础课，本书作为该课程的教材，着重阐述金属材料的化学成分、组织结构与性能之间的相互关系和变化规律，以及提高金属材料性能、充分发挥材料潜力的途径。

由于冶金、压力加工等专业对本课程内容的要求和教学时数不同，在使用本教材时可根据教学大纲的要求作适当的增删。

本书采用法定计量单位制，如强度 (σ_s 、 σ_b 等) 指标的单位用Pa (或MPa) 表示，它同 kgf/mm^2 的关系是 $1\text{MPa} \approx 0.1\text{kgf}/\text{mm}^2$ ；冲击功 A_K 的单位用J (焦耳)，冲击值 a_K 的单位为 J/cm^2 ，与 $\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ 的关系是 $1\text{J}/\text{cm}^2 \approx 0.1\text{kgf}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ 。钢铁材料的分类、牌号等采用国家最新标准。

参加本书编写工作的有鞍山钢铁学校李方连 (绪论和第一、五、六、八、九、十一章) 和北京钢铁学校曲培江 (第二、三、四、七、十章)。全书由李方连担任主编，鞍山钢铁学院胡占元担任主审。

本溪冶金高等专科学校刘天佑、株洲冶金工业学校卓海宇、山东省冶金工业学校朱怀忠、鞍山钢铁学校石丽杰参加了本书的审稿会议；北京钢铁学校翟湘为本书提供了部分金相照片，在此向他们表示衷心地感谢。

由于编者水平有限，经验不多，不当与错误之处在所难免，恳切希望读者批评指正。

编者

1994年5月

目 录

结论	1
第一章 金属材料的性能	3
第一节 金属材料的力学性能	3
一、强度和塑性	3
二、硬度	9
三、冲击韧性	9
四、断裂韧性的概念	11
五、金属疲劳的概念	12
第二节 金属材料的物理和化学性能	13
一、金属材料的物理性能	13
二、金属材料的化学性能	14
第三节 金属材料的工艺性能	14
一、铸造性能	15
二、压力加工性能	15
三、可焊性能	15
四、切削加工性能	15
五、热处理性能	15
第二章 金属的晶体结构与结晶	17
第一节 金属的晶体结构	17
一、金属	17
二、金属的晶体结构	18
三、三种常见的金属晶格	18
四、晶体学的几个重要概念	19
五、晶面指数和晶向指数	21
第二节 纯金属的显微组织和实际金属的晶体缺陷	24
一、纯金属的显微组织	24
二、单晶体和多晶体	24
三、实际金属的晶体缺陷	25
第三节 金属的结晶	27
一、液态金属的结构特点	27
二、热分析实验和冷却曲线	28
三、过冷现象和过冷度	28
四、结晶的热力学条件	29
五、金属的结晶过程	29
六、晶粒大小控制	31
第四节 金属的同素异构转变	32
第三章 合金的相结构与二元合金相图	34

第一节 合金的相结构	34
一、主要名词概念	34
二、合金的相结构	35
第二节 二元合金相图的建立	38
一、二元合金相图的建立	38
二、水平截线法则及杠杆定律	40
第三节 匀晶相图	41
一、相图分析	41
二、合金的平衡结晶及其组织	41
三、合金的不平衡结晶及其组织	43
第四节 共晶相图	44
一、相图分析	44
二、典型合金的平衡结晶及其组织	44
三、不平衡结晶产生的伪共晶组织	47
四、比重偏析	47
第五节 包晶相图	48
一、相图分析	48
二、合金的平衡结晶及其组织	48
第六节 其它类型的相图	49
一、形成稳定金属化合物的相图	49
二、具有固态相变的相图	50
第七节 合金的性能与相图之间的关系	51
一、力学、物理性能与相图的关系	51
二、合金的工艺性能与相图的关系	52
第四章 铁碳合金相图	53
第一节 铁碳合金中的基本相	53
一、铁素体	53
二、奥氏体	54
三、渗碳体	54
第二节 铁碳合金相图分析	54
一、铁碳合金相图中的特性点	54
二、铁碳合金相图中的特性线	55
三、铁碳合金相图中的相区	56
第三节 典型合金的结晶过程及其组织	56
一、工业纯铁	56
二、共析钢	56
三、亚共析钢	58
四、过共析钢	59
五、共晶白口铸铁	60
六、亚共晶白口铸铁	60
七、过共晶白口铸铁	61

第四节 碳含量对铁碳合金组织与性能的影响	62
一、碳含量对组织的影响	62
二、碳含量对碳钢性能的影响	62
第五节 Fe-Fe ₃ C相图的应用	63
一、在铸造生产方面的应用	63
二、在锻造及轧制生产方面的应用	64
三、在热处理方面的应用	64
第五章 碳素钢	65
第一节 常存杂质元素对钢性能的影响	65
一、锰的影响	65
二、硅的影响	65
三、硫的影响	65
四、磷的影响	66
第二节 碳钢的分类、编号、性能和用途	66
一、碳钢的分类	66
二、碳钢的编号、性能和用途	67
第三节 钢中非金属夹杂物和气体	71
一、非金属夹杂物	71
二、钢中气体	73
第四节 碳素钢钢锭的组织缺陷	74
一、镇静钢钢锭的组织缺陷	75
二、沸腾钢钢锭的组织缺陷	77
第五节 连铸坯的组织缺陷	78
一、连铸坯的组织	78
二、连铸坯的缺陷	79
第六章 三元合金相图	81
第一节 三元合金相图的成分表示法	81
一、成分三角形	81
二、成分三角形中的特性线	82
第二节 三元系中的直线法则、杠杆定律和重心定律	82
一、直线法则	82
二、杠杆定律	82
三、重心定律	83
第三节 三元匀晶相图	84
一、相图分析	84
二、等温截面	84
三、投影图	85
四、变温截面	86
第四节 三元共晶相图	87
一、相图分析	87
二、投影图	88

三、等温截面	39
四、变温截面	90
第五节 三元合金相图应用举例	91
一、Fe-C-Si三元系的变温截面	91
二、Fe-C-Mn三元系的等温截面	91
第七章 金属的塑性变形与再结晶	94
第一节 金属的塑性变形	94
一、金属单晶体的塑性变形	94
二、金属多晶体的塑性变形	98
三、合金的塑性变形	99
四、冷塑性变形对金属组织结构和性能的影响	100
第二节 冷塑性变形金属在加热时组织和性能的变化	104
一、冷变形金属在加热时组织和性能的变化	104
二、再结晶温度	105
三、再结晶后的晶粒大小	105
第三节 金属的热加工	107
一、热加工与冷加工的区别	107
二、热加工变形对钢的组织 and 性能的影响	108
第八章 钢的热处理	113
第一节 概述	113
第二节 钢在加热时的组织转变	114
一、共析钢的奥氏体化	114
二、奥氏体晶粒的长大及其控制	115
三、亚共析钢与过共析钢的奥氏体化	117
四、钢的加热缺陷	117
第三节 钢在冷却时的转变	118
一、过冷奥氏体的等温转变	119
二、过冷奥氏体的连续冷却转变	125
三、马氏体转变	126
第四节 钢的退火与正火	128
一、钢的退火	128
二、钢的正火	132
第五节 钢的淬火	133
一、淬火及其目的	133
二、淬火工艺	134
三、淬火内应力	136
四、淬火方法	136
五、钢的淬透性	133
第六节 钢的回火	140
一、回火的目的	140
二、淬火钢回火时组织转变和性能的变化	141

三、回火的分类及应用	143
第七节 钢的表面热处理	144
一、表面淬火	144
二、化学热处理	145
第八节 钢的形变热处理	150
一、高温形变淬火	150
二、低温形变淬火	151
第九章 合金钢	154
第一节 合金钢的分类	154
一、按化学成分分类	154
二、按用途分类	154
三、按金相组织分类	154
第二节 合金元素在钢中的作用	154
一、合金元素对钢中基本相的影响	155
二、合金元素对Fe-Fe ₃ C相图的影响	156
三、合金元素对钢加热和冷却时组织转变的影响	157
四、合金元素对淬火钢回火转变的影响	159
第三节 合金结构钢	161
一、合金结构钢的分类与编号	161
二、低合金结构钢	161
三、合金渗碳钢	164
四、合金调质钢	165
五、弹簧钢	169
六、滚动轴承钢	172
第四节 合金工具钢	176
一、合金工具钢的分类与编号	176
二、合金刀具钢	176
三、模具钢	180
四、量具钢	182
第五节 特殊性能钢	183
一、不锈钢	183
二、耐热钢	187
三、耐磨钢	188
四、电工硅钢(软磁钢)	190
第十章 铸铁	194
第一节 铸铁的石墨化	195
第二节 灰口铸铁	196
一、灰口铸铁的组织 and 性能	196
二、灰口铸铁的牌号及用途	197
三、影响灰口铸铁组织的因素	197
四、灰口铸铁的孕育处理	198

第三节 球墨铸铁	199
一、球墨铸铁的化学成分、组织和性能	199
二、球墨铸铁的牌号及用途	200
第四节 蠕墨铸铁	200
一、蠕墨铸铁的化学成分	201
二、蠕墨铸铁的组织和性能	201
三、蠕墨铸铁的牌号及用途	201
第五节 可锻铸铁	201
一、可锻铸铁的化学成分及石墨化退火	201
二、可锻铸铁的牌号、性能及用途	201
第六节 合金铸铁	202
一、耐磨铸铁	203
二、耐热铸铁	203
三、耐蚀铸铁	203
第七节 铸铁的热处理	203
一、灰口铸铁的热处理	203
二、球墨铸铁的热处理	204
第十一章 有色金属及其合金	206
第一节 铝及其合金	206
一、纯铝	206
二、铝合金的分类及热处理	206
三、形变铝合金	209
四、铸造铝合金	210
第二节 铜及其合金	213
一、工业纯铜	213
二、黄铜	214
三、青铜	216
第三节 滑动轴承合金	218
一、对轴承合金的性能要求	218
二、轴承合金的组织	218
三、常用的轴承合金	219
附录	223
1 布氏硬度换算表	223
2 黑色金属硬度及强度换算表 (GB1172-74)	227
3 肖氏与洛氏硬度换算表	230
4 常用钢的临界点	231
5 国内外常用钢钢号对照表	233
6 化学元素周期表	238
参考文献	239

绪 论

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛的材料，人们日常生活用品中也离不开金属材料。据统计，目前各种机器设备、车辆、船舶、仪器仪表以及国防武器等所用的材料中，金属材料约占90%以上。

人类用金属材料制造生产工具、生活用具已有悠久的历史。我国是世界上最早使用金属材料的国家之一。早在4000年前，我们的祖先已开始使用铜，到春秋时期(公元前722~前481年)，我国对青铜冶铸技术已有广泛而深入的研究，如《周礼·考工记》中对青铜的成分配比、性能和用途方面的论述与现代观点几乎完全一致。这个时期已能熔炼铸铁。到战国(公元前403~前221年)时，铸铁的生产和应用日益广泛，随后发展到由铸铁而炼钢。

在热处理技术方面，我国古代劳动人民也作出了很大贡献。从河北满城出土的西汉佩剑及书刀，经检验结果发现其中心为低碳钢，表面有明显的高碳层。这些都证明早在2000年以前，我国已采用了淬火工艺和渗碳工艺，热处理技术已达到相当高的水平。在宋代沈括的《梦溪笔谈》以及明代宋应星的《天工开物》等著作中，都记载了金属的冶炼、铸造、焊接和热处理工艺方面的珍贵技术资料，它们都属于举世公认的、世界上最早或较早的系统的科学技术著作。

综上所述，可以看出中国人民自古以来，在金属材料的生产与热处理技术方面以及对金属的研究和发展就有过辉煌的成就，直至明朝，我国的金属生产在世界上还一直处于遥遥领先的地位，对人类作出了巨大的贡献。但是，在解放前的近百年间，由于帝国主义的侵略和压迫，以及半封建、半殖民地的反动统治，才使我国的科学技术处于极为落后的状态。

解放后，在中国共产党的领导下，全国人民经过四十多年的艰苦奋斗，在生产技术、科学研究等方面取得了巨大的成就。在金属材料生产方面，已建立了符合我国资源的合金钢系统，低合金结构钢的生产和应用日益扩大，钢产量已跃居世界前列。各种有色金属材料以及具有特殊性能的合金，如高温合金、电磁合金等，已经在质量、品种上逐渐满足了国防和科学技术的需要。我国已能用自己生产的钢铁和其它金属材料，建成了南京长江大桥，制造了内燃机车、远洋巨轮、原子弹、氢弹、人造地球卫星和洲际导弹等。在热处理方面，许多新技术、新工艺、新设备不断地被应用。如真空热处理、形变热处理、多元共渗、辉光离子氮化、软氮化以及新型淬火剂等正在全国大力推广使用。热处理流水线、自动线也在不少工厂建立起来，使热处理产品的质量和生产率有很大提高。随着材料科学的不断发展，研究部门也广泛应用了透射电子显微镜、扫描电子显微镜、电子探针等现代化研究手段，对金属材料进行分析、研究。可以预料，这将会显著提高金属材料的质量，推动金属科学的飞速发展。

金属材料之所以能获得广泛的应用，不仅是由于它的来源丰富，而且还由于它具有优良的性能。金属材料的性能与其化学成分、内部组织结构之间有着极其密切的关系。例如，钢和铸铁虽然都是铁碳合金，但是两者的力学性能却差别很大，一为塑性材料，一为脆性材料。这主要是由于钢和铸铁的含碳量不同，两者的组织不同，从而导致钢和铸铁在性能上有很大的不同。

金属材料的组织、性能不仅取决于它的化学成分，还和金属的处理条件有关。特别是通过热处理可使金属材料的性能明显改变。例如，用含碳量为0.77%的碳钢，制成两个相同的试件，都加热到760°C，然后分别使之快冷（淬火）和慢冷（退火），结果两个试件的硬度相差3~4倍之多。这是因为冷却速度不同，形成了不同的组织之故。

对金属材料进行压力加工（轧制、锻造等）也可改变组织，从而改善其性能。

由此可见，金属材料的性能取决于它的组织，而其组织又取决于金属材料的化学成分和处理条件。

金属材料的化学成分是由主要金属元素（如铁等）及其它元素（如碳等）和所谓的杂质等组成。化学成分是由冶炼和铸造，特别是冶炼来保证的，冶炼和铸造条件的任何变化都会影响到成分的改变。

金属材料的组织结构是指晶体的形貌和晶体中原子的排列形式。在金属学中，组织这个概念是指用肉眼或借助于各种不同放大倍数的显微镜所观察到的金属材料内部的情景。习惯上将用肉眼或放大几十倍的放大镜所观察到的组织，称为低倍组织或宏观组织；用放大100~2000倍的显微镜所观察到的组织，称为高倍组织或显微组织；用放大几千倍到几十万倍电子显微镜所观察到的组织，称为电镜组织或精细组织。用X射线衍射法研究的晶体中原子的排列形式，称为晶体结构，简称结构。

“金属学及热处理”是研究金属材料的性能与它的成分、内部组织结构之间的关系及变化规律、改变金属材料性能的途径以及常用金属材料的一门科学，是冶炼，压力加工等专业必修的技术基础课。其目的使学生获得有关金属学及热处理的基本理论、基本知识和基本方法，为以后学习有关专业课程，以及正确选择、合理使用金属材料，充分发挥金属潜力奠定基础。

“金属学及热处理”是一门从生产实践中发展起来，又直接为生产服务的科学。本课程具有较强的理论性和应用性，学习中应注重于理解、分析与运用，并注意前后知识的综合应用。为了提高分析问题、解决问题的能力，在系统学习理论的同时，还要重视实验环节，注意密切联系生产实际，及时、认真完成作业。学习本课程前，学生应具备必要的生产实践的感性认识和专业基础知识，故课程应在学完物理、化学、材料力学、物理化学、金工教学实习及金属工艺学等课程后进行。

必须指出，当今世界各国的科学技术都在迅速发展，与发达国家相比，我国在金属学以及热处理技术方面仍有较大差距。因此，我们应当认真学好本领，努力赶超世界先进水平。

第一章 金属材料的性能

金属材料在工业、农业、国防以及科学技术各个领域得到广泛应用，它是加快我国社会主义现代化步伐的重要物质基础。

金属材料之所以获得广泛的应用，主要是因为它具备很多可贵的性能。这些性能可以大致分为两类：一类叫使用性能，是指为保证机械零件或工具正常工作，材料应具备的性能，它包括力学性能、物理性能和化学性能等。使用性能决定了材料的应用范围、安全可靠性与使用寿命。另一类叫工艺性能，是指在制造机械零件或工具的过程中，金属材料适应各种冷热加工的性能，它包括铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能以及热处理性能等。本章主要介绍这些性能的概念、力学性能指标及测试方法。

第一节 金属材料的力学性能

金属材料在加工或使用过程中，都是要承受外力作用的，当外力超过某一限度时，金属就会发生变形，甚至断裂。金属抵抗外力作用的能力，称为力学性能(或称机械性能)。金属材料的力学性能不仅是设计零件、选用材料时的重要依据，而且也是按验收技术标准来鉴定材料的重要依据。对冶金工厂生产来说，材料的力学性能还是用以改进生产工艺，控制产品质量的重要参数。

作用在金属材料上的外力也叫作载荷。根据载荷的性质可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷等。当外加载荷的性质、环境的温度与介质等外在因素不同时，对金属材料力学性能的要求也不同。常用的力学性能指标有：强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。

一、强度和塑性

金属受到载荷作用后，其变形和破坏过程一般是：弹性变形→弹性变形加塑性变形→断裂。

弹性变形是指载荷全部卸除后，可完全恢复的变形；塑性变形是指在载荷去除后，材料中仍残留下来的变形。

(一) 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下，抵抗变形和断裂的能力。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式，所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。手册与规范上所标出的材料的强度一般可以通过金属拉伸试验来测定。

拉伸试验在拉伸试验机上进行。预先将金属材料制成一定形状和尺寸的拉伸试样，常用的试样断面为圆形，称为圆形试样，如图1-1所示。图中 d_0 称为试样的直径， l_0 称为标距长度。所谓标距长度是指试样计算时的有效长度。根据国家标准的规定，拉伸试样有长试样或短试样两种。对标准圆试样而言，长试样 $l_0 = 10d_0$ ，短试样 $l_0 = 5d_0$ 。

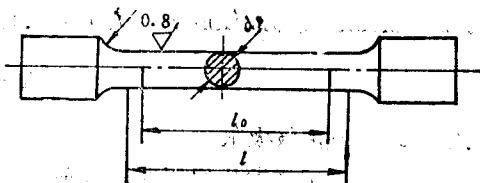


图 1-1 圆形拉伸试样

拉伸试验的过程通常是将金属试样装夹在试验机上，在常温下对试样缓慢施加轴向拉

伸载荷，引起试样变形直至把试样拉断为止。根据拉伸过程中试样承受的载荷和产生的变形量之间的关系，可得出该金属的拉伸曲线。

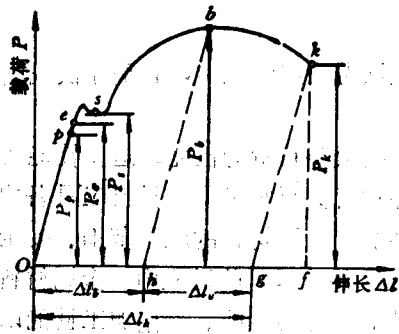


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。由图可见，当载荷不大于 P_s 时，拉伸曲线 Oa 为一直线，即试样的伸长量与载荷成正比关系，试样处于符合虎克定律的弹性变形阶段；当载荷大于 P_s 而小于 P_b 时，试样的伸长量与载荷已不再成正比关系，拉伸曲线不成直线，但试样仍处于弹性变形阶段，即这时如果去除载荷，试样便恢复原状。

当载荷超过 P_b 后，除弹性变形外，试样开始产生塑性变形。当载荷达到 P_c 时，在拉伸曲线上出现了水平或锯齿形的线段，这表明在载荷不增加甚至减少的情况下，试样仍继续变形，这种现象称为“屈服”。

屈服现象过后，变形量又随载荷的增加而逐渐增大，整个试样发生均匀而显著的塑性变形。当载荷增加到某一最大值 P_b 后，试样的局部截面开始急剧缩小，出现了“颈缩”现象。以后的变形主要集中在颈缩部分。由于颈部附近试样截面积急剧减小，载荷也逐渐降低。当达到 P_c 时，试样在颈缩处断裂。

2. 强度指标

根据拉伸曲线上各特殊点的载荷与试样原横截面积的关系，可以测得材料的强度指标。

试样在受载荷 P 作用时，材料内部产生同等大小的抵抗力。材料单位横截面积上的抗力称为应力，即

$$\sigma = \frac{P}{F_0}$$

式中 σ ——应力；

P ——载荷；

F_0 ——试样原始横截面积。

金属材料的强度，常用应力来表示。

通过拉伸试验测得常用强度指标为屈服极限和抗拉强度。

(1) 屈服极限 是材料产生屈服现象时的应力，用符号 σ_s 表示。 σ_s 表示材料开始产生明显塑性变形时的最低应力。 σ_s 用下式计算：

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$$

式中 σ_s ——屈服极限；

P_s ——试样发生屈服时的载荷。

有些金属材料，如高碳钢及某些合金钢，在拉伸试验中没有明显的屈服现象发生，故无法确定 σ_s 。按 GB228—87 规定，可用条件屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 为试样标距部分残余伸长达到原标距长度的 0.2% 时的应力值，即

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0}$$

式中 $P_{0.2}$ ——试样标距部分产生0.2%残余伸长时的载荷。

由金属材料制成的结构件和零件，在使用时所受的应力只能限制在弹性变形范围内，而不允许超过 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ ，否则会引起明显的塑性变形，导致结构扭曲，机器无法正常工作。因此，材料的屈服强度是进行机器及结构设计的主要依据，也是评定金属材料强度的重要指标之一。

(2) 抗拉强度（或叫强度极限）是试样在拉断前所承受的最大应力，用符号 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$$

式中 P_b ——试样在拉断前所承受的最大载荷。

对于在断裂前不产生颈缩的材料，抗拉强度就是材料断裂时的应力，称为断裂强度。

σ_b 越大，表示材料抵抗断裂的能力越大，即强度越高。 σ_b 也是设计、选择材料的主要依据，也是评定金属材料强度的重要指标之一。此外，还可以用它确定材料是否有缺陷，质量是否合格，作为改进生产工艺的依据。

金属材料的屈服极限与抗拉强度的比值（ σ_s/σ_b ）叫屈强比。屈强比越小，安全可靠性越高，但材料强度的有效利用率越低；屈强比过大，说明材料的屈服极限接近抗拉强度，虽然材料强度的有效利用率高，但使用时容易发生突然脆断，安全可靠性较低。因此，实际中根据材料的工作条件，通过热处理和合金化来改变材料的屈强比，以保证在安全可靠的基础上，合理的使用材料。

(二) 塑性

所谓塑性是指金属材料在静载荷作用下产生永久变形而不破坏的能力。金属的塑性指标也是通过拉伸试验测得的。标志金属塑性好坏的两项指标是伸长率和断面收缩率。

1. 伸长率（或叫延伸率）

试样在拉断后，其标距部分内所增加的长度与原标距长度的比值称为伸长率，用符号 δ 表示，单位为%。按下式计算：

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

式中 l_0 ——试样原标距长度，

l_1 ——拉断后试样标距部分的长度。

由于对同一材料用不同长度的标准试样所测得的伸长率 δ 数值不同，因此应注明试样尺寸比例。例如，用长试样（ $l_0 = 10d_0$ ）测得的伸长率，用符号 δ_{10} 表示，通常写成 δ_5 ；用短试样（ $l_0 = 5d_0$ ）测得的伸长率，用符号 δ_5 表示。对于同一材料， $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

2. 断面收缩率

试样在拉断后，其断裂处横截面积的缩减量与原横截面积的比值称为断面收缩率，用符号 ψ 表示，单位为%。按下式计算：

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_0 ——试样的原横截面积；

F_1 ——试样拉断后断裂处的横截面积。

一般说来，金属的伸长率 δ 与断面收缩率 ψ 越大，其塑性越好。

塑性好的金属，可以通过多种压力加工的方法，如轧制、锻造、冲压等制成金属加工产品、零件毛坯或成品。塑性差的金属，它们的脆性就大，在断裂前几乎不发生显著的伸长、弯曲或其它形变。

二、硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的指标。通常是指金属材料抵抗更硬物体压入其表面的能力，也可以说是金属表面抵抗变形的能力。

硬度也是金属力学性能的一个重要指标。在金属材料制成的半成品或成品的质量检验中，硬度是标志产品质量的重要依据。

由于硬度试验设备简单，操作方便、迅速，又可直接在零件或工具上进行试验而不破坏工件，因此，无论在生产上和科研上，硬度试验的应用都很广泛。

测定硬度的方法很多，生产中常用的有布氏硬度、洛氏硬度等试验方法。

(一) 布氏硬度

布氏硬度试验法的原理是在规定载荷 P (kgf) 的作用下，将一个直径为 D (mm) 的淬硬钢球或硬质合金球压入被测试件表面（如图 1-3 所示）并停留一定时间，使塑性变形稳定后，再卸除载荷，测量被测试金属表面上所形成的压痕直径 d ，由此计算压痕的球缺面积 F (mm²)，然后再求出压痕的单位面积所承受的平均载荷 (P/F)，以此作为被测试金属的布氏硬度值。

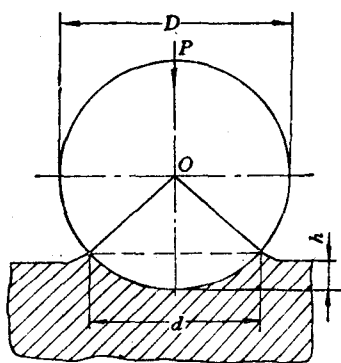


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

当压头为淬火钢球时，硬度符号用 HBS 表示，适用于布氏硬度值低于 450 的金属材；当压头为硬质合金球时，硬度符号用 HBW 表示，适用于布氏硬度值为 450~650 的金属材。布氏硬度值按下式计算：

$$\text{HBS(或HBW)} = \frac{P}{F} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} (\text{kgf/mm}^2)$$

从上式可以看出，当所加载荷 P 与球体直径 D 已选定时，硬度值只与压痕直径 d 有关。 d 越大，说明金属材料对球体压入的变形抗力越低，即布氏硬度值越小，材料越软；反之， d 越小，布氏硬度值越大，材料越硬。实际测试时，硬度值并不需要按上述公式计算，一般用读数放大镜测出压痕直径 d ，然后根据 d 值查附录表1，即可求得所测的硬度值。习惯上只写明硬度值的数值而不标出单位，例如当布氏硬度值为 200 kgf/mm^2 时，一般均写成 200 HBS 。

在进行布氏硬度试验时，应根据被测试金属材料的种类、性质和试样厚度，选用不同大小的球体直径 D 、施加载荷 P 和载荷保持时间。按GB231—84规定，球体直径有10、5、2.5、2和1mm五种；载荷与球体直径平方的比值 (P/D^2) 有30、15、10等七种。可根据金属材料的种类和布氏硬度范围，按表1-1选定 P/D^2 值；载荷的保持时间为：黑色金属为

表 1-1 布氏硬度试验的 P/D^2 值的选择

材 料	布 氏 硬 度	P/D^2 ①
钢及铸铁	<140	10
	>140	30
钢及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5(或1.25)
	35~80	10(或5、15)
	>80	10(或15)
铅、锡		1.25(或1)

① 试验条件允许时,应尽量选用10mm球和无括号的 P/D^2 值。

10~15s, 有色金属为30s, 布氏硬度值小于35时为60s。

布氏硬度试验法的优点是测定的数据准确、稳定。其缺点是压痕较大,不宜测成品或薄片金属的硬度。此外,由于操作较缓慢,对大量逐件检验的产品不适用。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验法是目前工厂中应用最广泛的试验方法之一。洛氏硬度试验的原理是用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为1.588mm的淬火钢球为压头,在规定的载荷作用下压入被测金属表面,然后根据压痕深度来确定试件的硬度值。

图 1-4 表示金刚石圆锥体压头的洛氏硬度试验原理。试验时,载荷分两次加上,先加初载荷10kgf (98.06N),使压头紧密接触试件表面,并压入深度为 h_1 ,然后加主载荷,继续压入金属表面,待总载荷(初载荷+主载荷)全部加上并稳定后,将主载荷去除,由于被测试件金属弹性变形的恢复,压头压入深度是 h_3 ,压头在主载荷作用下压入金属表面的塑性变形深度就是 h ($h = h_3 - h_1$),并以此来衡量被测金属的硬度。显然, h 越大,金属的硬度越低;反之,硬度越高。考虑到数值越大硬度越高的习惯,故采用一个常数 k 减去 h 来表示硬度的高低,并用每0.002mm的压痕深度为一个硬度单位,由此获得的硬度值称为洛氏硬度值,用HR表示。即

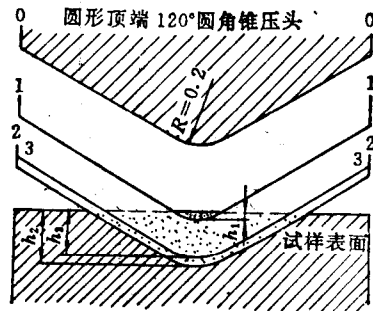


图 1-4 洛氏硬度试验原理示意图

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

洛氏硬度试验时,其硬度值可由硬度计的指示器上直接读出,而无需测量压痕深度。硬度值只表示硬度高低而没有单位。

根据金属材料软硬程度不一,可选用不同的压头和载荷配合使用,测得的硬度值分别用不同的符号来表示。三种常用的洛氏硬度符号、试验条件和应用列于表1-2。

以上三种常用洛氏硬度中,以HRC应用最多,一般经过淬火处理的钢零件或工具都用