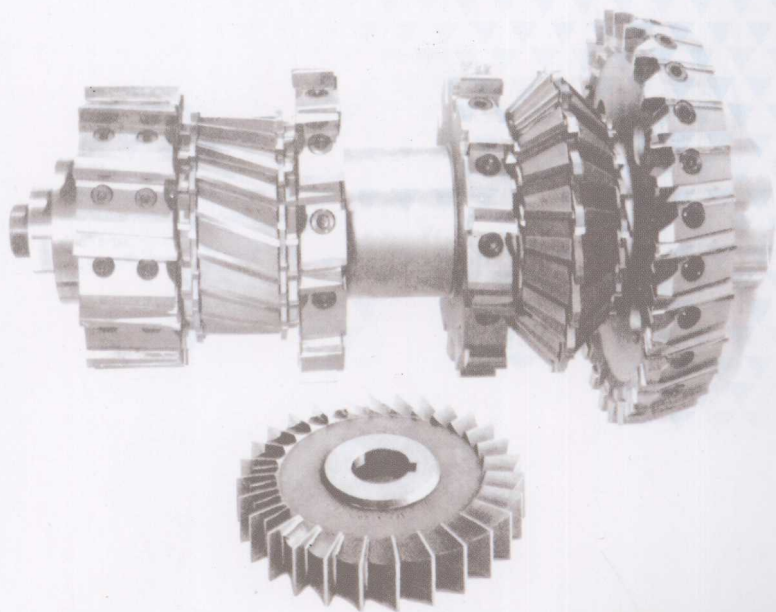




高职高专“十一五”机电类专业规划教材

# 金属材料 与热处理

李炜新 主编



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

高职高专“十一五”机电类专业规划教材

# 金属材料与热处理

主 编 李炜新  
参 编 胡辰媚 张士杰  
        王晓丽 张炳岭  
主 审 闫世荣



机械工业出版社

本书是根据新形势下高等职业院校教学的实际情况,结合新时期高等职业院校“金属工艺学”课程教学大纲的基本要求编写的。本书共分11章,主要内容有:金属的性能、金属的晶体结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、合金的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、碳素钢与合金钢、铸铁、非铁金属与硬质合金、非金属材料、现代新型材料等。

本书适合高等职业院校机械类、近机械类专业使用,也可作为职业技术培训教材或供有关技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/李炜新主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 11  
高职高专“十一五”机电类专业规划教材  
ISBN 978-7-111-22702-1

I. 金… II. 李… III. ①金属材料—高等学校:技术学校—教材②热处理—高等学校:技术学校—教材 IV. TG1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第169036号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:王海峰 责任校对:王欣

封面设计:马精明 责任印制:李妍

三河市汇鑫印务有限公司印刷(兴文装订厂装订)

2008年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·12.25印张·298千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-22702-1

定价:19.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

本书是根据新形势下高等职业技术学院教学的实际情况，结合新时期高等职业技术学院“金属工艺学”课程教学大纲的基本要求编写的，适合高等职业技术学院机械类、近机械类专业使用，也可作为职业技术培训教材或供有关技术人员参考。

随着我国国民经济和科学技术的迅速发展，高等职业技术教育不断兴起，为适应高等职业技术教育教学内容和课程体系的要求，培养高等技术应用型人才，我们组织编写了本教材。本教材采用最新国家标准，结合科学技术的最新成果，充分考虑目前教学对象的要求，对教材内容和结构进行了相应的调整和补充，减少了高深的理论知识，增强了教材的适用性和实用性，使教材的内容更加规范，使用更加灵活、方便。为了提高学生的创新思维能力，本教材在各章练习题中增加了一些综合性题目。

本书由李炜新任主编。其中绪论、第三、六、七章由李炜新编写，第一、十章由王晓丽编写，第二、四章由张炳岭编写，第五、八章由张士杰编写，第九、十一章由胡辰媚编写。本书由闫世荣任主审。

本书在编写过程中得到了廊坊职业技术学院、廊坊管道职业技术学院、河北工业大学专业课教师的指导和帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误，恳请读者指正。

编者

# 目 录

前言	
绪论	1
第一章 金属的性能	3
第一节 金属的力学性能	3
第二节 金属的工艺性能	13
第三节 金属的力学性能实验	14
思考题	16
练习题	17
第二章 金属的晶体结构与结晶	18
第一节 金属的晶体结构	18
第二节 纯金属的结晶	25
第三节 金属的同素异构转变	28
思考题	29
练习题	30
第三章 金属的塑性变形与再结晶	31
第一节 金属的塑性变形	31
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	34
第三节 回复与再结晶	36
第四节 金属的热塑性变形	38
思考题	40
练习题	40
第四章 合金的晶体结构与结晶	41
第一节 合金的基本概念	41
第二节 合金的晶体结构	41
第三节 二元合金相图	44
思考题	52
练习题	52
第五章 铁碳合金	54
第一节 铁碳合金的基本相	54
第二节 铁碳相图	56

第三节 铁碳合金平衡组织观察试验 .....	65
思考题 .....	67
练习题 .....	67
<b>第六章 钢的热处理 .....</b>	<b>68</b>
第一节 钢在加热时的组织转变 .....	68
第二节 钢在冷却时的组织转变 .....	71
第三节 退火与正火 .....	77
第四节 淬火 .....	79
第五节 回火 .....	83
第六节 表面淬火与化学热处理 .....	85
第七节 热处理新工艺简介 .....	88
第八节 热处理工艺的应用 .....	89
第九节 碳钢的热处理实验 .....	95
思考题 .....	98
练习题 .....	98
<b>第七章 碳素钢与合金钢 .....</b>	<b>100</b>
第一节 钢的分类与编号 .....	100
第二节 常存杂质对钢的影响 .....	102
第三节 合金元素在钢中的作用 .....	103
第四节 结构钢 .....	107
第五节 工具钢 .....	116
第六节 特殊性能钢 .....	123
思考题 .....	127
练习题 .....	128
<b>第八章 铸铁 .....</b>	<b>129</b>
第一节 铸铁概述 .....	129
第二节 灰铸铁 .....	131
第三节 可锻铸铁 .....	134
第四节 球墨铸铁 .....	136
第五节 蠕墨铸铁 .....	138
第六节 合金铸铁 .....	140
第七节 常见铸铁组织观察实验 .....	141
思考题 .....	141
练习题 .....	142

第九章 非铁金属及硬质合金 .....	143
第一节 铝及铝合金 .....	143
第二节 铜及铜合金 .....	148
第三节 钛及钛合金 .....	152
第四节 轴承合金 .....	154
第五节 硬质合金 .....	156
思考题 .....	158
练习题 .....	159
第十章 非金属材料* .....	160
第一节 高分子材料 .....	160
第二节 陶瓷材料 .....	165
第三节 复合材料 .....	167
思考题 .....	168
练习题 .....	168
第十一章 现代新型材料 .....	169
第一节 磁性材料 .....	169
第二节 超导材料 .....	172
第三节 形状记忆合金 .....	174
第四节 非晶态合金 .....	175
第五节 纳米材料 .....	176
第六节 能源材料 .....	178
第七节 生物医用材料 .....	179
第八节 生态环境材料 .....	181
思考题 .....	181
附录 .....	183
附录 A 压痕直径与布氏硬度对照表 .....	183
附录 B 钢铁材料硬度及强度换算表 .....	184
附录 C 常用钢的相变点 .....	185
附录 D 常用钢回火温度与硬度对照表 .....	186
参考文献 .....	187

## 绪 论

### 一、学习本书的目的

机械工程材料是人类社会发展的重要物质基础，用它来制造各种产品，满足人类生产和生活中的各种需要。它的品种、数量和质量是衡量一个国家现代化程度的重要标志。所以历史学家以石器时代、青铜器时代和铁器时代来划分古代历史的各个阶段。如今，人类社会已经进入了人工合成材料和复合材料的新时代。

机械工程材料一般分为金属材料和非金属材料，其中金属材料是现代化工业、农业、国防和科学技术等部门使用最多的材料，从日常生活用品到高科技产品，从简单的手工工具到复杂的机器，都使用了不同种类、不同性能的金属材料，例如劳动工具、农用机器、汽车、内燃机车、远洋巨轮、宇宙飞船、数控机床、机器人等。由金属材料制造的产品不仅装备了国内各个生产领域，而且有相当数量的金属材料及其产品远销世界许多国家。金属材料为国民经济的发展提供了可靠的物质保障，因此，世界各国对金属材料的研究和发展都是非常重要的。

金属材料之所以得到广泛的应用，是由于它来源丰富，而且还具有优良的使用性能与工艺性能。使用性能包括力学性能、物理性能和化学性能。优良的使用性能可满足生产和生活中的各种需要。优良的工艺性能可使金属材料易于采用各种加工方法，制成各种形状、尺寸的零件和工具。通过不同的成分配制、不同的加工方法和热处理可以改变金属材料的组织及性能，从而进一步扩大其使用范围。

金属材料品种繁多，性能各不相同，特别是通过热处理，可使金属材料的性能显著提高。为了合理使用金属材料，必须研究金属材料的成分、组织、热处理与其性能间的关系和变化规律。在机械制造业中，正确运用热处理工艺方法，能够充分发挥金属材料的潜力，提高产品质量，减轻机器重量，降低成本，延长使用寿命。另外，热处理还可以改善零件的工艺性能，便于加工，提高质量。因此，作为机械工程技术人员，必须掌握有关金属材料及热处理的基本理论和基本知识，了解金属材料的应用及零件设计时的合理选材，初步掌握正确运用热处理工艺、合理安排零件工艺路线的方法。

### 二、金属材料及热处理的发展史

我国是世界上最早使用金属材料及热处理技术的国家之一。根据大量出土文物考证，早在4000年前，我们的祖先就开始使用金属材料。到公元前1000多年的殷商时代，我国的青铜冶铸技术已达到很高的水平，在礼器、生活用具、劳动工具、武器等方面已大量使用青铜。如重达875kg的司母戊大鼎，不仅体积庞大，而且花纹精巧，造型美观，说明当时人们已具有高超的冶铸技术和艺术造诣。到春秋时期，我国已总结出了世界上最早的合金工艺，即青铜组成元素的六种配比规律，在《周礼·考工》一书中称为“六齐”规律，记载了金属材料的成分、性能和用途之间的关系。钢铁是目前应用最广的金属材料，我国早在周代就



已经掌握了生铁的冶炼技术，并用于农业生产，这比欧洲最早使用生铁的时间早约 2000 年。特别是战国后期，生铁的冶炼与使用得到了迅速发展，如河北武安出土的战国时期的铁锬，经检验证明，其制造材料为可锻铸铁。

在热处理技术方面，远在西汉时，司马迁所著的《史记·天官书》中就有“水与火合为焯”；东汉班固所著的《汉书·王褒传》中有“清水焯其锋”等有关热处理技术的记载。从辽阳三道壕出土的西汉时期的钢剑，经检验，发现其内部组织与现在的淬火组织完全相同。从河北满城出土的西汉时期的佩剑及书刀，其中心为低碳钢组织，表层为高碳钢组织。这说明早在 2000 年以前，我国已相继采用了各种热处理工艺，并具有相当高的水平。

历史证明，我国古代劳动人民在金属材料及热处理方面取得了辉煌的成就，为人类文明做出了巨大贡献。明朝宋应星所著《天工开物》一书中详细记载了古代冶铁、炼钢、铸造、锻造、热处理等多种金属加工方法，以及锉刀、针等劳动工具的制造过程，其制造过程与现代工艺几乎相同。例如，“凡针。先锤铁为细条。用铁尺一根。锥成线眼。抽过条铁成线。逐寸剪断为针。先锉其末成颖。用小槌敲扁其本。钢锥穿鼻。复锉其外。然后入釜。慢火炒熬。炒后以土末入松木、火矢、豆豉三物罨盖。下用火蒸。留针二三口。插于其外。以试火候。其外针入手捻成粉样。则其下针火候皆足。然后开封入水健之。凡引线成衣与刺绣者。其质皆刚。惟马尾刺工为冠者。则用柳条软针。分别之妙。在于水火健法云。”该书是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一。只是到了近代，由于封建制度的日益腐败和帝国主义的侵略与压迫，才严重阻碍了我国科学技术的发展，使我国的金属材料及热处理技术在解放前处于极为落后的状态。新中国成立以后，我国在金属材料及热处理技术方面有了突飞猛进的发展，促进了冶金、机械制造、石油化工、仪器仪表、航空航天等现代化工业的进步。原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、超导材料、纳米材料、载人航天飞机等重大项目的研究与试验成功，标志着我国在金属材料及热处理技术方面都达到了一个新的水平。

### 三、本书的内容及特点

本书的主要内容包括金属的性能、金属学基础知识、钢的热处理原理及热处理工艺、常用金属材料等。同时，对非金属材料 and 现代新型材料的种类、特点及用途也作了简单介绍。

金属的性能主要介绍金属的力学性能和工艺性能；金属学基础知识主要介绍金属和合金的晶体结构与结晶、铁碳相图及铁碳合金的组织；钢的热处理原理主要介绍钢在加热、保温和冷却过程中的组织转变；钢的热处理工艺主要讲述钢的整体热处理和表面热处理等；常用金属材料主要讲述碳素钢、合金钢、铸铁、非铁金属及硬质合金等金属材料的分类、牌号、成分、组织、热处理、性能及用途。另外，本书还介绍了与本书知识有关的实验及部分选学内容，各章并附有思考题和练习题，以帮助學生更好地掌握基本概念和基本理论知识。

金属材料及热处理是高等职业技术学院机械制造类、近机械类专业必修的技术基础课程。它是从生产实践中发展起来，又直接为生产服务的一门课程，具有丰富的理论性和实践性，名词多，概念多，材料的种类多，内容抽象，比较难理解。但是在理解基本概念和掌握基本理论的基础上，注意密切联系实际，重视习题课、实验课、实训课等实践性教学环节，按金属材料的成分、热处理、组织、性能和用途这一课程主线进行学习，是完全可以学好这门课程的。

# 第一章 金属的性能

金属材料由于具有许多良好的性能，在机械制造业中广泛地用于制造生产和生活用品。为了能够合理地选用金属材料，设计、制造出具有竞争力的产品，必须了解和掌握金属材料的性能。

金属材料的性能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，它包括力学性能、物理性能、化学性能；工艺性能是指金属材料在制造加工过程中反映出来的各种性能，如铸造性能、锻造性能等。

## 第一节 金属的力学性能

金属的力学性能是指金属在力作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能。弹性是指物体在外力作用下改变其形状和尺寸，当外力卸除后物体又恢复到其原始形状和尺寸的特性。应力是指物体受外力作用后所导致物体内部之间相互作用的力（称为内力）与截面积的比值。应变是指由外力所引起的物体原始尺寸或形状的相对变化，通常以百分数（%）表示。

金属的力学性能是设计和制造机械零件或工具的主要依据，也是评定金属材料质量的重要判据。各种金属材料除对其成分范围作规定外，还要对其力学性能作必要的规定。制造各类构件的金属材料都必须满足规定的性能指标。因此熟悉和掌握金属的力学性能是非常重要的。

金属受力的性质不同，将表现出各种不同的行为，显示出各种不同的力学性能。金属的力学性能主要有强度、塑性、冲击韧度、硬度和疲劳强度等。

### 一、强度

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。载荷根据作用性质的不同，可以分为静载荷、冲击载荷及循环载荷等三种。静载荷是指大小不变或变化过程缓慢的载荷。金属在静载荷作用下，抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等形式，所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等五种。一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的依据。

金属的抗拉强度和塑性是通过拉伸试验测定的。拉伸试验的方法是将一定形状和尺寸的被测金属试样装夹在拉伸试验机上，缓慢施加轴向拉伸载荷，同时连续测量力和相应的伸长量，直至试样断裂，根据测得的数据，即可计算出有关的力学性能。

#### 1. 拉伸试样

在国家标准中，对拉伸试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定，通常采用圆柱形拉伸试样，如图 1-1 所示。

图中  $d_0$  为标准试样的原始直径； $l_0$  为标准试样的原始标距长度。根据标距长度与直径

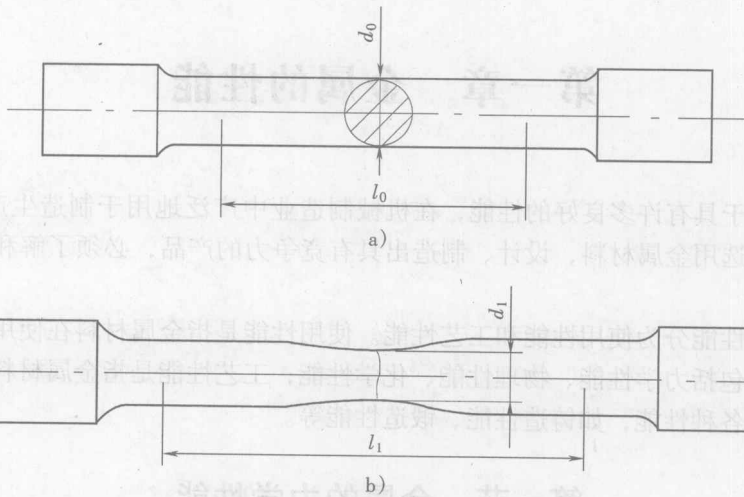


图 1-1 圆柱形拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

之间的关系，拉伸试样可分为长试样 ( $l_0 = 10d_0$ ) 和短试样 ( $l_0 = 5d_0$ ) 两种。

## 2. 力-伸长曲线

力-伸长曲线是指拉伸试验中记录的拉伸力  $F$  与试样伸长量  $\Delta l$  之间的关系曲线，一般由拉伸试验机自动绘出。图 1-2 为低碳钢试样的力-伸长曲线，图中纵坐标表示力  $F$ ，单位为 N；横坐标表示试样伸长量  $\Delta l$ ，单位为 mm。

观察力-伸长曲线，明显地表现出下面几个变形阶段：

(1)  $Oe$ ——弹性变形阶段 在力-伸长曲线图中， $Oe$  段为一斜直线，说明在该阶段试样的伸长量  $\Delta l$  与拉伸力  $F$  之间成正比例关系。当拉伸力  $F$  增加时，试样的伸长量  $\Delta l$  随之增加，去除拉伸力后试样完全恢复到原始的形状及尺寸，表现为弹性变形。 $F_e$  为试样保持完全弹性变形的最大拉伸力。

(2)  $es$ ——屈服阶段 当拉伸力不断增加，超过  $F_e$  再卸载时，弹性变形消失，一部分变形被保留下来，即试样不能恢复原来的形状及尺寸，这种不能随拉伸力的去除而消失的变形称为塑性变形。当拉伸力继续增加到  $F_s$  时，力-伸长曲线出现平台，说明在拉伸力基本不变的情况下，试样的伸长量继续增加，这种现象称为屈服。 $F_s$  称为屈服拉伸力。

(3)  $sb$ ——冷变形强化阶段 屈服后，试样开始出现明显的塑性变形。随着塑性变形量的增加，试样抵抗变形的能力逐渐增加，这种现象称为冷变形强化。在力-伸长曲线上表现为一段上升曲线，该阶段试样的变形是均匀发生的。 $F_b$  为试样拉断前能承受的最大拉伸力。

(4)  $bk$ ——缩颈与断裂阶段 当拉伸力达到  $F_b$  时，试样上某个部位的截面发生局部收

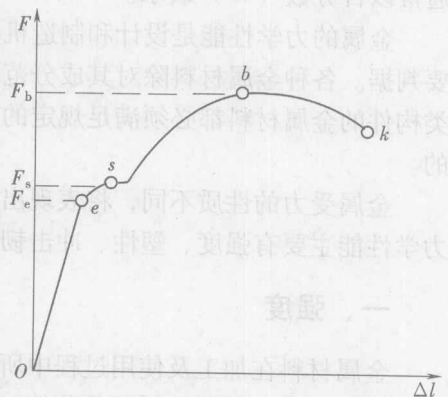


图 1-2 低碳钢试样的力-伸长曲线

缩，产生“缩颈”现象。由于缩颈使试样局部截面减小，试样变形所需的拉伸力也随之降低，这时变形主要集中在缩颈部位，最终试样被拉断。缩颈现象在力-伸长曲线上表现为一段下降的曲线。

工程上使用的金属材料，大多没有明显的屈服现象。有些脆性材料，不仅没有屈服现象，而且也不产生“缩颈”现象，如高碳钢、铸铁等。图 1-3 为铸铁的力-伸长曲线。

### 3. 强度指标

(1) 屈服点 在拉伸试验过程中，拉伸力不增加（保持恒定），试样仍然能继续伸长（变形）时的应力称为屈服点，用符号  $\sigma_s$  表示，单位为 MPa。计算公式为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中  $F_s$ ——试样屈服时所承受的拉伸力，单位为 N；

$S_0$ ——试样原始横截面面积，单位为  $\text{mm}^2$ 。

对于无明显屈服现象的金属材料，按国家标准的规定，可用屈服强度  $\sigma_{0.2}$  表示。 $\sigma_{0.2}$  是指试样卸除拉伸力后，其标距部分的残余伸长率达到 0.2% 时的应力。计算公式为

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0}$$

式中  $F_{0.2}$ ——残余伸长率达到 0.2% 时的拉伸力，单位为 N；

$S_0$ ——试样原始横截面面积，单位为  $\text{mm}^2$ 。

屈服点  $\sigma_s$  和屈服强度  $\sigma_{0.2}$  是工程上极为重要的力学性能指标之一，是大多数机械零件设计和选材的依据，是评定金属材料性能的重要参数。零件在工作中所承受的应力，超过屈服点或屈服强度时，会因过量的塑性变形而失效。

(2) 抗拉强度 试样在拉断前所承受的最大应力称为抗拉强度，用符号  $\sigma_b$  表示，单位为 MPa。计算公式为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中  $F_b$ ——试样拉断前所承受的最大拉伸力，单位为 N；

$S_0$ ——试样原始横截面面积，单位为  $\text{mm}^2$ 。

零件在工作中所承受的应力，不应超过抗拉强度，否则会导致断裂。 $\sigma_b$  也是机械零件设计和选材的依据，是评定金属材料性能的重要参数。

## 二、塑性

塑性是指金属材料在断裂前产生塑性变形的能力。通常用伸长率和断面收缩率来表示。

### 1. 伸长率

试样拉断后，标距的伸长量与原始标距的百分比称为伸长率。用符号  $\delta$  表示。 $\delta$  值可用下式计算：

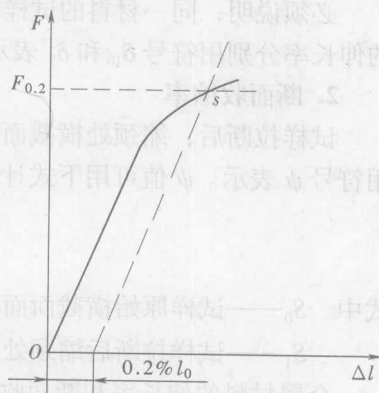


图 1-3 铸铁的力-伸长曲线



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

式中  $l_1$ ——拉断试样对接后测出的标距长度，单位为 mm；

$l_0$ ——试样原始标距长度，单位为 mm。

必须说明，同一材料的试样长短不同，测得的伸长率数值是不相等的。长试样和短试样的伸长率分别用符号  $\delta_{10}$  和  $\delta_5$  表示，习惯上  $\delta_{10}$  也写成  $\delta$ 。

## 2. 断面收缩率

试样拉断后，缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率。用符号  $\psi$  表示。 $\psi$  值可用下式计算：

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

式中  $S_0$ ——试样原始横截面面积，单位为  $\text{mm}^2$ ；

$S_1$ ——试样拉断后缩颈处最小横截面面积，单位为  $\text{mm}^2$ 。

金属材料的伸长率和断面收缩率数值越大，说明其塑性越好。塑性直接影响到零件的成形加工及使用。例如，低碳钢的塑性好，能通过锻压加工成形，而灰铸铁塑性差，不能进行压力加工。塑性好的材料，在受力过大时，首先产生塑性变形而不致发生突然断裂，所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外，还必须具有一定的塑性。

## 三、硬度

硬度是衡量金属软硬程度的一种性能指标，是指金属抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。

硬度是各种零件和工具必须具备的力学性能指标。机械制造业中所用的刀具、量具、模具等都应具备足够的硬度，才能保证使用性能和使用寿命。有些机械零件如齿轮、曲轴等，也要求具有一定的硬度，以保证足够的耐磨性和使用寿命。因此，硬度是金属材料重要的力学性能之一。

硬度是一项综合力学性能指标，其数值可以间接地反映金属的强度及金属在化学成分、显微组织和各种加工工艺上的差异。与拉伸试验相比，硬度试验简便易行，而且可以直接在工件上进行试验，并不破坏工件，因而在生产中被广泛应用。

测试硬度的方法很多，最常用的有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法三种。

### 1. 布氏硬度

(1) 测试原理 使用一定直径的硬质合金球，以规定的试验力压入试样表面，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，然后计算其硬度值，如图 1-4 所示。

布氏硬度值是指球面压痕单位面积上所承受的平均压力，用符号 HBW 表示。布氏硬度值可用下式计算：

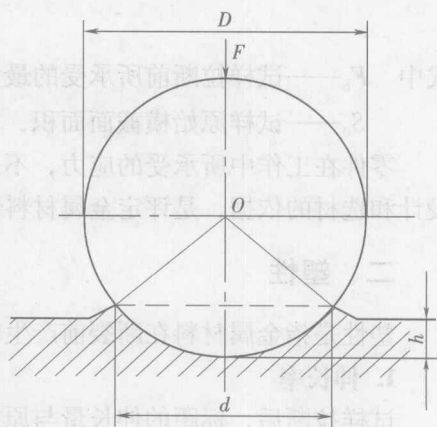


图 1-4 布氏硬度试验原理图

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

式中  $F$ ——试验力，单位为 N；

$S$ ——球面压痕表面积，单位为  $\text{mm}^2$ ；

$D$ ——球体直径，单位为 mm；

$d$ ——压痕平均直径，单位为 mm。

从计算公式中可以看出，当试验力  $F$  和压头球体直径  $D$  一定时，布氏硬度值仅与压痕直径  $d$  的大小有关，因此试验时只要测量出压痕直径  $d$ ，就可以通过计算或查布氏硬度表得到结果。一般布氏硬度值不标出单位，只写明硬度的数值。

布氏硬度试验时，压头球体直径  $D$ 、试验力  $F$  和试验力保持时间，应根据被测金属的种类、硬度值范围及试样的厚度进行选择，见表 1-1。

表 1-1 布氏硬度试验的技术条件

材 料	布氏硬度	球直径/mm	$0.12F/D^2$	试验力/N	试验力保持时间/s	注意事项
铁金属	$\geq 140$	10		29420	10	试样厚度应不小于压痕深度的 10 倍。试验后，试样边缘及背面应无可见变形痕迹 压痕中心距试样边缘距离应不小于压痕直径的 2.5 倍 相邻两压痕中心距离应不小于压痕直径的 4 倍
		5	30	7355		
		2.5		1839		
	< 140	10		9807	10 ~ 15	
		5	10	2452		
		2.5		613		
非铁金属	$\geq 130$	10		29420	30	
		5	30	7355		
		2.5		1839		
	36 ~ 130	10		9807	30	
		5	10	2452		
		2.5		613		
8 ~ 35	10		2452	60		
	5	2.5	613			
	2.5		153			

(2) 表示方法 布氏硬度的表示方法是，测定的硬度数值标注在符号 HBW 的前面，符号后面按球体直径、试验力、试验力保持时间（10 ~ 15s 不标注）的顺序，用相应的数字表示试验条件。

例如：600HBW1/30/20，表示用直径 1mm 的硬质合金球，在 292.4N 试验力的作用下保持 20s，测得的布氏硬度值为 600；550HBW5/750，表示用直径 5mm 的硬质合金球，在 7355N 试验力的作用下，保持 10 ~ 15s 时测得的布氏硬度值为 550。

(3) 适用范围及优缺点 布氏硬度主要适用于测定灰铸铁、非铁金属及退火、正火或调质状态的钢材等材料的硬度。

布氏硬度试验时的试验力大，球体直径大，因而获得的压痕直径也大，能在较大范围内反映被测金属的平均硬度，试验结果比较准确。但因压痕较大，所以不宜测量成品件或薄件。

## 2. 洛氏硬度

(1) 测试原理 洛氏硬度试验是用锥顶角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为  $1.588\text{mm}$  的淬火钢球作压头，在初试验力和主试验力的先后作用下，压入试样的表面，经规定保持时间后卸除主试验力，在保留初试验力的情况下，根据测量的压痕深度来计算洛氏硬度值，如图 1-5 所示。

进行洛氏硬度试验时，先加初试验力  $F_0$ ，压头压入试样表面，深度为  $h_1$ ，目的是为了消除因试样表面不平整而造成的误差。然后再加主试验力  $F_1$ ，在主试验力的作用下，压头压入深度为  $h_2$ 。卸除主试验力，保持初试验力，由于金属弹性变形的恢复，使压头回升到压痕深度为  $h_3$  的位置，那么由主试验力所引起的塑性变形而使压头压入试样表面的深度  $e = h_3 - h_1$ ，称为残余压痕深度

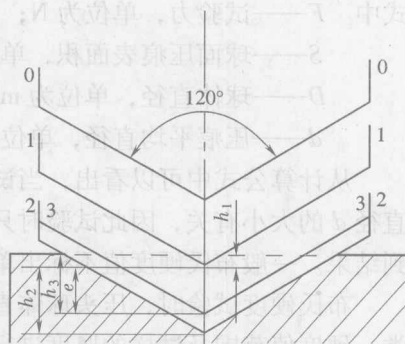


图 1-5 洛氏硬度试验原理图

增量。显然， $e$  值越大，则被测金属的硬度越低。为了符合数值越大，硬度越高的习惯，用一个常数  $K$  减去  $e$  来表示硬度值的大小，并以每  $0.002\text{mm}$  压痕深度作为一个硬度单位，由此获得的硬度值称为洛氏硬度，用符号 HR 表示。计算公式为

$$\text{HR} = \frac{K - e}{0.002}$$

式中  $K$ ——常数。用金刚石圆锥体压头进行试验时， $K$  为  $0.2\text{mm}$ ，用淬火钢球压头进行试验时， $K$  为  $0.26\text{mm}$ ；

$e$ ——残余压痕深度增量，单位为  $\text{mm}$ 。

洛氏硬度没有单位，试验时硬度值可直接从洛氏硬度计的刻度盘上读出。

(2) 常用洛氏硬度标尺及其适用范围 由于试验时选用的压头和总试验力的不同，洛氏硬度的测量尺度也就不同，常用的洛氏硬度标尺有 A、B、C 三种，其中 C 标尺应用较为广泛。三种洛氏硬度标尺的试验规范和应用范围见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度的试验条件和应用范围

标尺	硬度符号	压头	初试验力/N	主试验力/N	总试验力/N	测量范围	应用举例
A	HRA	金刚石圆锥	98.1	490.3	588.4	70~85	硬质合金、表面淬火层、渗碳层等
B	HRB	钢球	98.1	882.6	980.7	25~100	退火或正火钢、非铁金属等
C	HRC	金刚石圆锥	98.1	1373	1471.1	20~67	调质钢、淬火钢等

(3) 优缺点 洛氏硬度试验压痕较小，对试样表面损伤小，可用来测定成品、半成品或较薄工件的硬度；试验操作简便，可直接从刻度盘上读出硬度值；由于采用不同的硬度标尺，洛氏硬度的测试范围大，能测量从极软到极硬各种金属的硬度。但是，由于压痕小，当材料的内部组织不均匀时，硬度数值波动较大，不能反映被测金属的平均硬

度，因此，在进行洛氏硬度试验时，需要在不同部位测试数次，取其平均值来表示被测金属的硬度。

### 3. 维氏硬度

维氏硬度的测试原理如图 1-6 所示。将相对面夹角为  $136^\circ$  的金刚石正四棱锥体压头按选定的试验力压入试样表面，经规定保持时间后卸除试验力，在试样表面形成一个正四棱锥形压痕，测量压痕两对角线的平均长度，计算压痕单位面积上承受的平均压力，以此作为被测金属的硬度值，称为维氏硬度，用符号 HV 来表示。维氏硬度可用下式计算：

$$HV = 0.1891 \times \frac{F}{d^2}$$

式中  $F$ ——试验力，单位为 N；

$d$ ——压痕两对角线长度的算术平均值，单位为 mm。

试验时，维氏硬度值同布氏硬度值一样，也可根据测得的压痕对角线平均长度，从表中直接查出。

维氏硬度试验所用的试验力可根据试样的大小、厚薄等条件进行选择，常用试验力的大小在 49.03 ~ 980.7N 范围内。

维氏硬度值的表示方法与布氏硬度相同，硬度数值写在符号的前面，试验条件写在符号的后面。对于钢及铸铁，当试验力保持时间为 10 ~ 15s 时，可以不标出。例如：

642HV30 表示，用 294.2N 试验力保持 10 ~ 15s 测定的维氏硬度值为 642。

642HV30/20 表示，用 294.2N 试验力保持 20s 测定的维氏硬度值为 642。

由于维氏硬度试验时所加试验力较小，压痕深度较浅，故可测量较薄工件的硬度，尤其适用于零件表面层硬度的测量，如化学热处理的渗层硬度测量，其结果精确可靠。因维氏硬度值具有连续性，范围在 5 ~ 1000HV 内，所以适用范围广，可测定从极软到极硬各种金属的硬度。但维氏硬度试验操作比较缓慢，而且对试样的表面质量要求较高。

## 四、冲击韧度

强度、塑性、硬度等力学性能指标是在静载荷作用下测定的，而许多零件和工具在工作过程中，往往受到冲击载荷的作用，如冲床的冲头、锻锤的锤杆、风动工具等。冲击载荷是指在短时间内以很大速度作用于零件或工具上的载荷。对于承受冲击载荷作用的零件，除具有足够的静载荷作用下的力学性能指标外，还必须具有足够的抵抗冲击载荷的能力。

金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧度。为了测定金属的冲击韧度，通常要进行夏比冲击试验。

### 1. 测试原理

夏比冲击试验是在摆锤式冲击试验机上进行的，利用的是能量守恒原理。试验时，将被测金属的冲击试样放在冲击试验机的支座上，缺口应背对摆锤的冲击方向，如图 1-7 所示。将重量为  $G$  的摆锤升高到  $H$  高度，使其具有一定的势能  $GH$ ，然后让摆锤自由落下，将试样冲断，

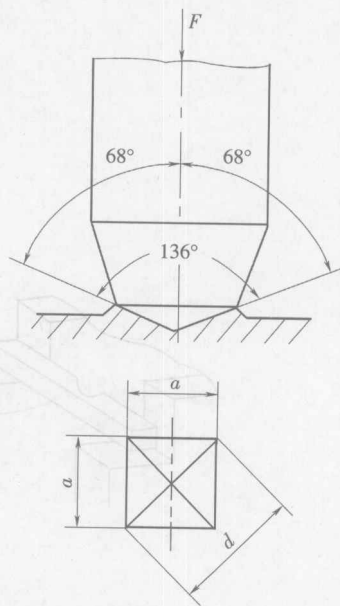


图 1-6 维氏硬度测试原理图



并继续向另一方向升高到  $h$  高度, 此时摆锤具有的剩余势能为  $Gh$ 。摆锤冲断试样所消耗的势能即是摆锤冲击试样所作的功, 称为冲击吸收功, 用符号  $A_K$  表示。其计算公式为

$$A_K = G(H - h)$$

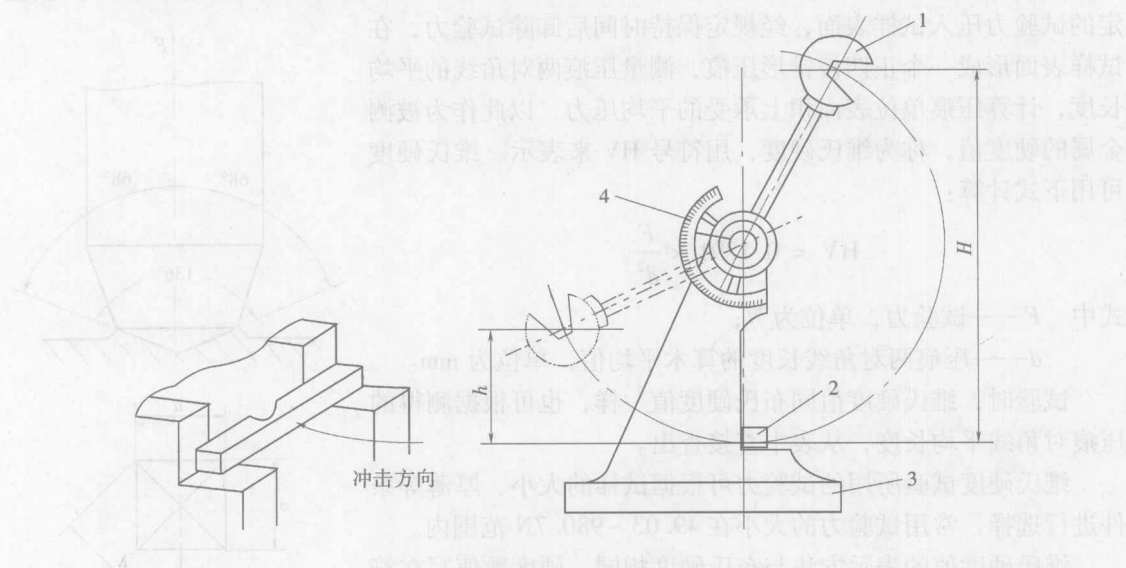


图 1-7 夏比冲击试验原理图

1—摆锤 2—试样 3—机架 4—刻度盘

试验时,  $A_K$  值可直接从试验机的刻度盘上读出。 $A_K$  值的大小就代表了被测金属韧性的高低, 但习惯上采用冲击韧度来表示金属的韧性。冲击吸收功  $A_K$  除以试样缺口处的横截面积  $S_0$ , 即可得到被测金属的冲击韧度, 用符号  $\alpha_K$  表示。其计算公式为

$$\alpha_K = \frac{A_K}{S_0}$$

式中  $\alpha_K$ ——冲击韧度, 单位为  $J/cm^2$ ;

$A_K$ ——冲击吸收功, 单位为  $J$ ;

$S_0$ ——试样缺口处横截面面积, 单位为  $cm^2$ 。

一般将  $\alpha_K$  值低的材料称为脆性材料,  $\alpha_K$  值高的材料称为韧性材料。脆性材料在断裂前无明显的塑性变形, 断口比较平整, 有金属光泽; 韧性材料在断裂前有明显的塑性变形, 断口呈纤维状, 没有金属光泽。

## 2. 冲击试样

为了使夏比冲击试验的结果可以互相比较, 冲击试样必须按照国家标准制作, 如图 1-8 所示。常用的冲击试样有夏比 U 形缺口试样和夏比 V 形缺口试样两种, 其相应的冲击吸收功分别标为  $A_{KU}$  和  $A_{KV}$ , 冲击韧度则标为  $\alpha_{KU}$  和  $\alpha_{KV}$ 。

## 3. 韧脆转变温度

金属的冲击吸收功与冲击试验时的温度有关。同一种金属材料在一系列不同温度下的冲击试验中, 测绘的冲击吸收功与试验温度之间的关系曲线, 称为冲击吸收功-温度曲线, 如图 1-9 所示。