



PUTONG GAODENG ZHIYE JIAOYU JIANGAI SHIYAN GUIHUA JIAOCAI

• 普通高等职业教育教改试验规划教材 •

[高职教材]

金属工艺与实训

张 钧 张安全 主编



中国轻工业出版社

普通高等职业教育教改试验规划教材

金属工艺与实训

张 均 张安全 编 著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

金属工艺与实训/张均, 张安全编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2009. 8
普通高等职业教育教改试验规划教材
ISBN 978-7-5019-6939-5

I. 金… II. ①张…②张… III. 金属加工-工艺学-高等学校: 技术学校-教材
IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 059478 号

内 容 简 介

本教材共分八个模块, 前七个模块分别介绍了金属材料的基本知识、铁碳合金的热处理、金属材料的加工原理及加工方法、典型表面加工分析、工艺编制的基本知识和零件设计的结构工艺性分析。第八个模块为实训模块, 结合前七个模块的理论安排了相应的实践内容, 以帮助读者更好的掌握理论。

本教材力争将理论平民化, 尽量将实用的知识用生活语言阐述透彻, 并就作者的经验采用了一些工厂 (或地方) 常用的通俗说法, 以使读者能够尽快地融入实践场合中。

本教材将常用工种做了较为详细的介绍, 可为部分单工种培训提供补充。较为专业 (或理论较深) 的部分安排有 “★” 标志, 供读者自己选择。

在编写教改试验规划教材中, 常州轻工职业技术学院卜建新, 哈尔滨职业技术学院李军、黄冬梅、林琦, 苏州工业园区职业技术学院徐兵、吴卫荣, 南京工业职业技术学院卢兵、辽宁信息职业技术学院马素玲、刘靖岩等老师提出许多意见和建议, 在此表示感谢。

责任编辑: 王 淳
版式设计: 王超男

责任终审: 孟寿萱
责任校对: 杨 琳

封面设计: 锋尚设计
责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市世纪兴源印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 21

字 数: 450 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-6939-5 定价: 32.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

90162J2X101ZBW

前 言

本教材是金属材料和基本切削加工工艺与实训的专业教材。目前《金属工艺学》相关教材虽然很多,但基本上缺乏相应的实训内容,学生在理论与实践结合方面较为欠缺。根据上述情况,我们尝试着对相关教材进行整合,并加入了实训内容,编写了这本教材。

本教材在编写中,按照高职学生的培养目标,本着“必需、够用”的原则,将学习重点向实践方面转移,专门增加了实训模块,而将理论探讨、公式推导进行了删减,降低了学习难度,因而也适合于普通技术人员的自修,也可以对部分工种起到启蒙作用。

由于各专业的不同需要,本教材的实训科目部分安排了难度不同的内容,以方便各专业根据自己的实际情况进行选择。实训指导部分内容详细,使学生通过实训能够尽快地消化理论知识、增长技能、规范作业,使理论与实践做到有机地结合。同时也为教师提供了借鉴。

考虑到课时量以及课程体系的独立性,部分相关内容没有加入进来,例如公差与配合、测量技术等。读者在做相关的实训时,应积极补充本课程以外的知识,以增加知识的全面性。

本教材共分八个模块,前七个模块为理论模块,第八个模块为实训模块。每个理论模块后面都附有复习思考题和实训课目。

本教材由湖北轻工职业技术学院张钧(第二~第五模块、第七模块)、张安全(第一、第六、第八模块)共同编写,张钧担任主编。

本教材在编写过程中,得到了许多专家的帮助,并参阅了许多专著、教材、论文等文献资料,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,将实训内容整合进教材的做法也是一种尝试,教材中难免会存在缺点和错误,知识的系统性和全面性也会有些欠缺,恳请读者批评指正。

建议教学学时安排如下(仅供参考):

序 号	内 容	建议学时
1	模块一 金属材料的基本知识	12
2	模块二 铁碳合金的热处理	6
3	模块三 金属切削原理与刀具	12
4	模块四 金属的常用加工方法	18
5	模块五 典型表面加工分析	8
6	模块六 零件结构的工艺性	2
7	模块七 生产过程与工艺过程简介	8
8	模块八 实训及指导(16个)	32
合计学时		98

目 录

模块一 金属材料的基本知识	1
教学内容一 金属材料的力学性能	1
教学内容二 金属材料的理化性能及工艺性能	11
教学内容三 纯铁的晶体结构及同素异晶转变	15
教学内容四 铁碳合金的基本组织	21
教学内容五 铁碳合金状态图	25
教学内容六 常用黑色金属简介	31
模块二 铁碳合金的热处理	37
教学内容一 热处理的概念	37
教学内容二 退火与正火	43
教学内容三 淬火与回火	47
教学内容四 钢的表面热处理	55
模块三 金属切削原理与刀具	59
教学内容一 切削运动及切削要素	59
教学内容二 切削刀具角度及刀具材料	65
教学内容三 切削过程分析	78
教学内容四 切削用量及其他影响加工过程因素的选择	85
模块四 金属的常用加工方法	91
教学内容一 金属材料的铸造加工	91
教学内容二 金属材料的压力加工	123
教学内容三 金属材料的焊接	141
教学内容四 车削加工	154
教学内容五 铣削加工	179
教学内容六 钻、镗削加工	187
教学内容七 刨、拉削加工	193
教学内容八 磨削加工	196
教学内容九 精密加工与特种加工	208
模块五 典型表面加工分析	219
教学内容一 外圆表面的加工	220
教学内容二 内圆表面（孔）的加工	224
教学内容三 平面的加工	228
教学内容四 成型表面的加工	230
教学内容五 螺纹的加工	233
教学内容六 齿形的加工	238

模块六 零件的结构工艺性	245
教学内容 零件结构工艺性的选择原则.....	245
模块七 生产过程与工艺过程简介	256
教学内容一 基本概念与含义.....	256
教学内容二 工件的装夹与夹具.....	262
教学内容三 工件的定位.....	265
教学内容四 基准的概念及选择原则.....	272
模块八 金属工艺学实训	280
实训课题一 金属材料的力学性能.....	280
实训课题二 金属金相组织的观察.....	284
实训课题三 钢材的简单识别方法.....	286
实训课题四 铸件的结构分析.....	289
实训课题五 钢的普通热处理.....	291
实训课题六 电弧焊及其操作.....	294
实训课题七 刀具的刃磨（车刀）.....	296
实训课题八 刀具的刃磨（麻花钻）.....	298
实训课题九 通用量具与测量.....	301
实训课题十 零件测绘.....	304
实训课题十一 零件的机械加工技术要求分析.....	306
实训课题十二 普通车床的传动系统.....	309
实训课题十三 分度头结构、工作原理.....	311
实训课题十四 工件的定位与装夹.....	314
实训课题十五 工艺规程的拟定.....	321
实训课题十六 零件的结构工艺性分析.....	325

模块一 金属材料的基本知识

教学内容一 金属材料的力学性能

第一部分 教学组织

一、教学目的

- (1) 掌握金属材料的各力学性能指标及其含义。
- (2) 了解这些指标的作用。

二、预备知识提示

知 识 点	内 容
低碳钢拉伸曲线	在拉伸试验机上，试样两端受到轴向拉伸载荷的作用而变长，直至被拉断。在其过程中，拉伸试验机会将试样每一瞬间所加的载荷以及伸长量连续地记录下来，从而得到拉伸曲线
拉伸曲线的特性点	指拉伸曲线上出现的明显折点。这些折点往往反映出试样力学性能出现了质的改变
名词：载荷	载荷是指金属材料在加工以及使用过程中所受到的外力，包括静载荷、冲击载荷、交变载荷三种

三、教学节奏与方式

节拍	项 目	教学内容与教学方法		建 议 学 时
1	为什么要研究材料的力学性能	重点讲授	只有存在具体的指标，人们才能有一个较为确切的比较	12
		边学边议	你认为金属材料哪些性能需要比较	
2	低碳钢的拉伸曲线图以及特性点	重点讲授	拉伸曲线图的形成和各特性点的意义	
		边学边议	各种材料的拉伸曲线图是一样的吗	

续表

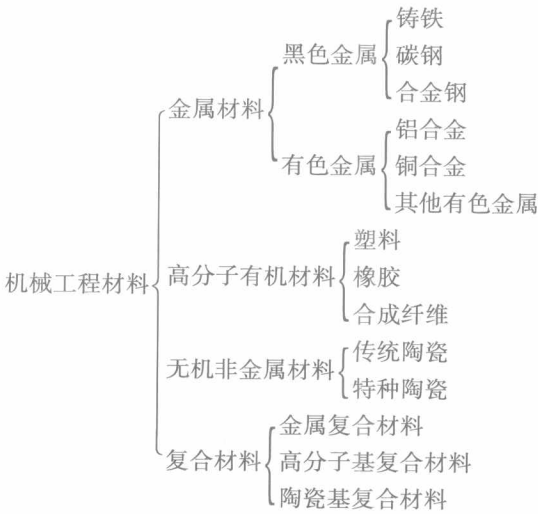
节拍	项 目	教学内容与教学方法		建议学时
3	金属材料力学性能的指标 (一): 强度指标	重点讲授	强度指标的含义	12
		边学边议	屈服强度与抗拉强度有什么区别	
4	金属材料力学性能的指标 (二): 塑性指标	重点讲授	塑性指标的含义	
		边学边议	伸长率、断面收缩率各在什么情况下使用	
5	金属材料力学性能的指标 (三): 硬度指标	重点讲授	硬度各指标的含义	
		边学边议	洛氏硬度、布氏硬度各在什么情况下使用	
6	金属材料力学性能的指标 (四): 韧性和疲劳强度	重点讲授	冲击韧性和疲劳强度的含义	
		边学边议	为何要考察金属材料的冲击韧性和疲劳强度	

第二部分 教 学 内 容

一、为什么要研究材料的力学性能

1. 材料的分类

材料的种类繁多，用途广泛。工程方面使用的材料有机械工程材料、土建工程材料、电工材料、电子材料等。在工程材料领域中，用于机械结构和机械零件并且主要突出机械性能的工程材料，又可分为以下四大类：



金属材料具有许多优良的使用性能（如力学性能、物理性能、化学性能等）和加工工艺性能（如铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能、机械加工性能等）。特别重要的是，金属材料可以通过不同成分配制、不同工艺方法来改变其内部组织结构，从而优化性能。加之其矿藏丰富，因而在机械制造业中，金属材料是应用最广泛、用量最多的材

料。在机械设备中约占所用材料的 90% 以上，其中钢铁材料占绝大部分。

随着科学技术的发展，非金属材料也得到迅速的发展。虽然非金属材料在某些力学性能上尚不如金属，但它具有金属所不具备的许多性能和特点，如耐腐蚀、绝缘、消声、质轻、容易加工成型、生产率高、成本低等。所以在工业中的应用日益广泛。

作为高分子材料的主体——工程塑料（如聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚酰胺、ABS 塑料、环氧塑料等）已逐渐替代一些金属制造的零件，应用于机械工业领域中。历史悠久的陶瓷材料也突破了传统的应用范围，成为高温结构材料 and 功能材料的重要组成部分。

金属材料和非金属材料在性能上各有其优缺点。随着复合材料（如金属基复合材料、树脂基复合材料和陶瓷基复合材料）的出现，为集中各类材料的优异性能于一体开辟了新的途径，在机械工程中的应用将日益广泛。

2. 为什么材料的力学性能要确定分类指标

材料的力学性能指标分类如图 1-1 所示。

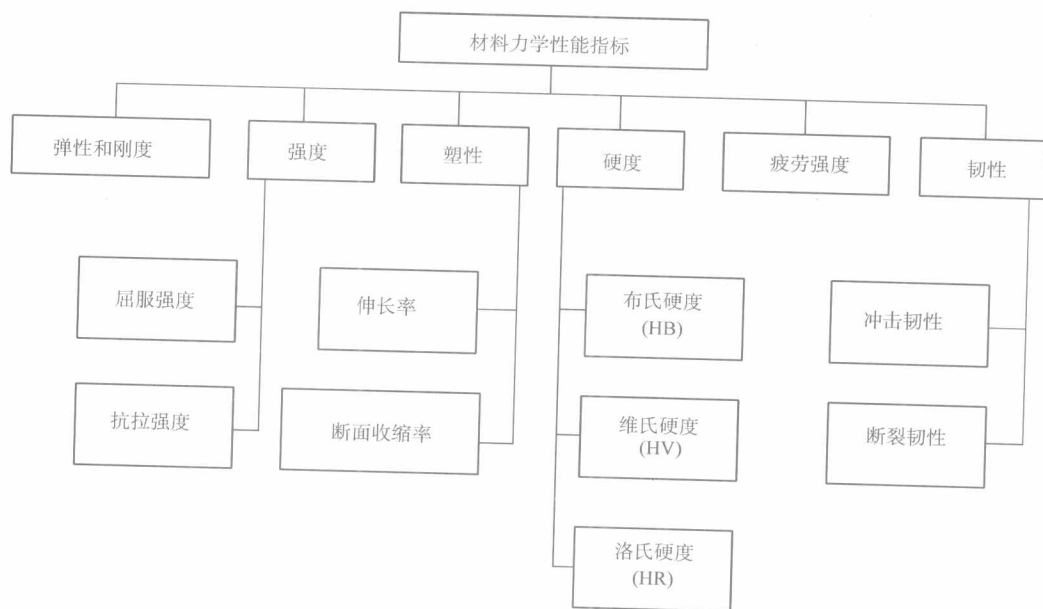


图 1-1 材料的力学性能指标分类

工程应用上对这些力学性能制订了各种各样的指标。

为什么要制订这些指标呢？例如，对于一种钢材，人们一方面要求它有较高的硬度，但同时也希望它有较高的塑性。由于硬度和塑性二者之间往往是矛盾的，工程师们要做出最佳设计常常需要在二者中权衡比较。只有存在这些指标，人们才能有一个较为准确的比较。

同时，还必须要有各种各样的指标来确定材料的硬度和塑性。例如，当钢棒弯曲时就认定被破坏，还是必须发生断裂才算破坏？答案当然取决于工程设计的需要。但是这种差别表明至少应有两种强度判据：一种是开始弯曲（屈服）；另一种是材料断裂之前所能承受的最大载荷，这说明仅仅描述材料强度的指标至少就有两个以上。

边学边议

- (1) 制作车轮的材料有哪些？各有什么特点？
- (2) 设计火车轮和汽车轮你会考虑哪些方面的因素？

二、低碳钢的拉伸曲线图以及特性点

材料受力后就会产生变形，材料的力学性能是指材料在受力时所反映出的本质现象。

描述材料力学性能的主要指标是强度、塑性和韧性。其中，强度和塑性指标的确定则是通过拉伸试验而得到的。

1. 拉伸试验

拉伸试验是在拉伸试验机上，用静拉力对标准试样（图 1-2）进行轴向拉伸。在载荷不断增加的情况下，试样逐渐被拉长，最终断裂。

在这个过程中，拉伸试验机会自动连续不断地将载荷与试样的变化记录下来，从而得到一条曲线，即拉伸曲线（图 1-3）。

2. 拉伸曲线图（又称为力-伸长曲线图或应力-应变图）

在图 1-3 中，我们可以看到几个明显的变形阶段：

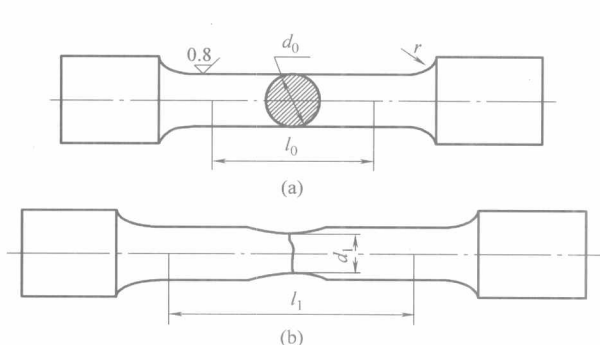


图 1-2 拉伸试验
(a) 拉伸前 (b) 拉伸后

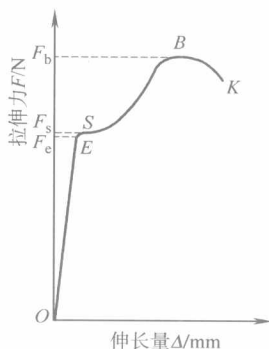


图 1-3 低碳钢的拉伸曲线图

(1) **OE 段为弹性阶段** 在此阶段，如卸去载荷，试样伸长量消失，试样恢复原状。材料的这种不产生永久残余变形的能力称为弹性。 E 点对应的应力值称为弹性极限，记为 σ_e 。

(2) **ES 段为屈服阶段** 当曲线超过 E 点后，若卸去外加载荷，则试样会留下不能恢复的残余变形。这种不能随载荷去除而消失的残余变形称为塑性变形。当曲线达到 S 点时，曲线出现一段水平线段，表示外加载荷虽然没有增加，但试样的变形量仍自动增大，这种现象称为屈服， S 点称为屈服点。屈服时的应力值称为屈服强度，记为 σ_s 。

(3) **SB 段为强化阶段** 在此阶段中，必须不断地增加载荷，才能使试样继续增长，试样的内部变形抗力也在逐渐增加。我们称这种现象为形变强化或加工硬化。当载荷增加到 B 点时达到最大。

(4) *BK* 段为缩颈阶段 当曲线达到 *B* 点以后, 试样的某个部位开始变细, 出现了“缩颈”, 并迅速伸长, 应力明显下降, 最后断裂。载荷在 *B* 点达到最大值, 随后载荷虽在下降, 但伸长量仍在增加。因此, 我们将材料在被拉断前所能承受的最大应力值称为抗拉强度或强度极限, 记为 σ_b 。

★ 3. 常用名词

(1) 金属的力学性能 指金属材料在力的作用下, 材料所表现出来的性能。

(2) 载荷 材料在使用或加工时所受到的外力。按性质分类, 包括静载荷、冲击载荷和交变载荷三种。

(3) 静载荷 大小、方向不变或变化极为缓慢的载荷。

(4) 冲击载荷 以高速作用于材料的载荷。

(5) 交变载荷 大小、方向作周期性变化的载荷。

(6) 变形 指材料受载荷作用后, 所产生的几何形状和尺寸的变化。包括弹性变形和塑性变形两种。

(7) 弹性变形 载荷卸除后, 材料的变形完全消失, 这种变形称为弹性变形。

(8) 塑性变形 载荷卸除后, 材料的变形部分消失, 但另一部分变形不再消失, 这种变形称为塑性变形, 又称为永久变形。

(9) 内力 材料受载荷的作用时, 为保持自身的形状与尺寸不变而在材料内部出现的与外力抗衡的力。其大小与外力相等而方向相反。

(10) 应力 指材料单位横截面积上的内力。

(11) 应变 试样单位长度上的伸长量。

边学边议

(1) 是否所有的材料在受到拉伸时, 都会出现缩颈现象?

(2) 用自己的语言描述一下对于材料的屈服现象的理解, 并举例说明。

三、金属材料力学性能的指标 (一): 强度指标

在外力作用下, 材料抵抗变形和破坏的能力称为强度。根据外力的作用方式, 有多种强度指标, 如抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度等。在工程上, 强度性能指标主要是采用屈服点 (屈服强度) 和抗拉强度两种。

1. 屈服点

屈服点也称为屈服强度, 是指试样在拉伸过程中, 载荷不再增加而试样仍然继续伸长时的应力, 用符号 “ σ_s ” 表示。计算公式如下:

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

式中 σ_s ——屈服点应力 (MPa)

F_s ——试样出现屈服现象时的载荷 (N)

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

由于日常使用的许多材料并没有明显的屈服现象, 国标 GB/T 228—1987 中对此规定: 用试样标距长度产生 0.2% 塑性变形时的应力, 作为该种材料的屈服点, 用 “ $\sigma_{0.2}$ ” 表示。

机械零件在使用时,一般不允许发生塑性变形,所以屈服强度是大多数机械零件设计时选材的主要依据,也是评定金属材料承载能力的重要力学性能指标。材料的屈服强度越高,允许的工作应力越高,零件所需的截面尺寸和自身重量就可以较小。

2. 抗拉强度

抗拉强度是指材料被拉断前所能承受的最大载荷与试样原始横截面积之比,用符号“ σ_b ”表示。计算公式如下:

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

式中 σ_b ——抗拉强度 (MPa)

F_b ——试样被拉断前所承受的最大载荷 (N)

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)

抗拉强度也是零件设计和评定材料时的重要强度指标。由于测量方便,如果单从保证零件不产生断裂的安全角度考虑,抗拉强度可用作设计依据,但所取的安全系数应该大一些。

边学边议

- (1) 没有明显屈服点的材料往往有一个共性,你找到了这个共性吗?
- (2) 抗拉强度由于测量方便,可用作设计依据,但所取的安全系数为什么要大一些?

四、金属材料力学性能的指标 (二): 塑性指标

材料在外力作用下,产生永久残余变形而不断裂的性能称为塑性。

塑性指标也主要是通过拉伸实验测得的。工程上常用伸长率(延伸率)和断面收缩率作为材料的塑性指标。

1. 伸长率

伸长率又称为延伸率。它是指试样在拉断后的相对伸长量,用符号“ δ ”表示。计算公式如下:

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

式中 δ ——伸长率 (%)

l_0 ——试样原始标距长度 (mm)

l_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm)

注意,由于试样有长、短试样之分,所以试验时应对所选用的试样尺寸预先进行规定,以方便比较。长、短试样的伸长率分别用“ δ_{10} ”和“ δ_5 ”表示,通常习惯上将“ δ_{10} ”写成“ δ ”。

2. 断面收缩率

试样被拉断后横截面积的相对收缩量称为断面收缩率,用符号“ ψ ”表示。计算公式如下:

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

式中 ψ ——断面收缩率 (%)

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm)

S_1 ——试样被拉断处的横截面积 (mm)

伸长率和断面收缩率的值越大, 表示材料的塑性越好。

塑性对材料进行冷塑性变形有重要意义。此外, 工件的偶然过载, 可因塑性变形而防止突然断裂; 工件的应力集中处, 也可因塑性变形使应力松弛, 从而使工件不至于过早断裂。这就是大多数机械零件除要求一定强度指标外, 还要求一定塑性指标的道理。

边学边议

- (1) 你能用自己的语言描述“塑性”的含义吗?
- (2) 在你的日常生活中找一找需要金属材料塑性性能好的事例。

五、金属材料力学性能的指标 (三): 硬度指标

硬度是指材料表面抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力。

材料的硬度直接影响着零件、工具的使用寿命或切削性能; 也间接地反映了材料的其他性能, 如塑性、强度等。

硬度测试应用得最广的是压入法, 即在一定载荷作用下, 用比工件更硬的压头缓慢压入被测工件表面, 使材料局部产生塑性变形而形成压痕, 然后根据压痕面积大小或压痕深度来确定硬度值。从这个意义来说, 硬度反映材料表面抵抗其他物体压入的能力。

工程上常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

(一) 布氏硬度 (HB)

1. 布氏硬度的含义

布氏硬度是用一定载荷 F , 将直径为 D 的球体 (淬火钢球或硬质合金球), 压入被测材料的表面, 保持一定时间后卸去载荷, 测得压痕直径 d , 用压痕的表面积 S 除载荷 F , 所得到的应力值即为布氏硬度 (见图 1-4), 用符号 “HB” 表示。计算公式如下:

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

式中 HB——布氏硬度值

F ——试验时的载荷 (N)

S ——球面压痕的表面积 (mm²)

D ——球体直径 (mm)

d ——压痕平均直径 (mm)

通常布氏硬度不标注单位, 也不需要计算, 一般可根据 d 值, 通过查询相应的专用硬度表得到布氏硬度值。

由于布氏硬度所用的测试压头材料较软, 所以不能测试太硬的材料。当布氏硬度压头

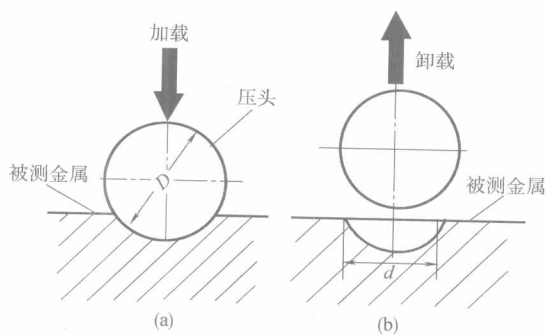


图 1-4 布氏硬度测量法

材料采用淬火钢球时，用“HBS”表示，一般用于测试硬度小于450HB的材料，如有色金属、软灰铸铁等材料；当布氏硬度压头材料采用硬质合金材料时，用“HBW”表示，一般用于测试硬度小于650HB的材料，如低硬度的淬火钢等材料。

布氏硬度压头直径有 $\phi 10\text{mm}$ 、 $\phi 5\text{mm}$ 、 $\phi 2.5\text{mm}$ 、 $\phi 2\text{mm}$ 和 $\phi 1\text{mm}$ 五种，载荷在 9.807N ~ 29.42kN，以方便测试选用。使用较多的组合是：压头直径为 $\phi 10\text{mm}$ 、载荷为 30kN。

材料的 σ_b 与 HB 之间，有以下近似经验关系：

- (1) 对于低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36\text{HB}$ ；
- (2) 对于高碳钢 $\sigma_b \approx 0.34\text{HB}$ ；
- (3) 对于灰铸铁 $\sigma_b \approx 0.10\text{HB}$ 。

2. 布氏硬度的优缺点

布氏硬度的压痕直径较大，能够较准确地反映材料的平均性能；同时它与材料的其他力学性能之间有一定的近似关系，可间接地反映材料的其他力学性能，因此在工程上应用较多。

由于布氏硬度的压痕较大，对试样表面有着明显的影响；同时压头球体的变形也容易造成测量不准确，因此布氏硬度不适合于成品或薄件的测量。

(二) 洛氏硬度 (HR)

1. 洛氏硬度的含义

洛氏硬度是将标准压头用规定压力压入被测试样表面，保压一段时间后卸去载荷，再根据压痕深度来确定硬度值，用符号“HR”表示。

洛氏硬度试验原理如图 1-5 所示。试验时，加上初载荷后，压头压入试样深度为 h_1 ，其目的是为了消除试样表面粗糙而造成的误差；再加上主载荷，压头压入试样的深度为 h_2 ，即为主载荷引起的变形，包括弹性变形与塑性变形；然后卸掉主载荷，试样会出现弹性变形恢复，回弹一个距离 h_e 后，所形成的尺寸 h 就是主载荷引起的塑性变形，它反映了洛氏硬度值。

洛氏硬度压头一般采用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 $\phi 1.588\text{mm}$ 的淬火钢球。

洛氏硬度值的计算公式如下：

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

式中 HR——表示洛氏硬度值

K——常数。采用金刚石压头时取 0.2mm；采用淬火钢球时取 0.26mm

h——压痕的深度

根据压头的材料及压头所加的负荷不同，洛氏硬度又可分为 HRA、HRB、HRC 三种。HRA 适用于测量硬质合金、表面淬火层或渗碳层；HRB 适用于测量有色金属和退火、正

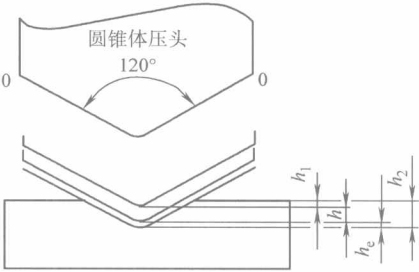


图 1-5 洛氏硬度试验原理图

h_1 —加上初载荷后压头的位置

h_2 —加上初载荷 + 主载荷后压头的位置

h_e —卸去主载荷的弹性恢复

h —主载荷引起的塑性变形

火钢等；HRC 适用于测量调质钢、淬火钢等。

2. 洛氏硬度的优缺点

洛氏硬度压痕小，可以测定成品和较薄的试样；测试范围大，可用于测定很软到很硬的材料；硬度值可直接从表盘上读出，操作简便、迅速，一般不需要进行计算，所以得到广泛的应用。

但同样，洛氏硬度由于压痕较小，当材料内部组织不均匀时，单个测定点的代表性较差，往往需要进行多点测定，取其平均值来代表材料的硬度。

★ (三) 维氏硬度 (HV)

1. 维氏硬度的含义

利用顶角为 136° 的金刚石四方锥体为压头，在一定载荷下压入试样表面，以其压痕对角线的长度计算出硬度值（见图 1-6）。计算公式如下：

$$HV = 0.189 \times \frac{F}{d^2}$$

式中 HV——维氏硬度 (kg/mm^2 ，通常不标注)

F ——试验载荷 (N)

d ——压痕对角线长度算术平均值 (mm)

维氏硬度试验载荷分为：常用载荷 $49.03 \sim 980.7\text{N}$ 、小载荷 $1.96 \sim 49.03\text{N}$ 和显微载荷 $9.807 \times 10^{-2} \sim 1.96\text{N}$ 等几种。

载荷的选用应根据材料的硬度以及试样的厚度来决定。

2. 维氏硬度的优缺点

维氏硬度由于其载荷小、压入零件的深度较浅，所以可测定较薄的零件以及表面硬化处理的零件；同时，由于维氏硬度值具有连续性，还可以测定很软到很硬的材料，并具有较高的准确性。

维氏硬度的缺点是由于测定压痕对角线长度较麻烦，压痕也较小，对于被测试样表面质量（如表层组织的均匀度）要求较高。

★ (四) 肖氏硬度 (HS)

肖氏硬度试验与前三种不同，属于动力实验。

肖氏硬度是利用一个金刚石或钢制小球（其质量为 2.5g ），使其在一定高度（一般为 254mm ）自由落下，根据小球回弹高度测定材料的硬度值。硬度越高，小球回弹高度就越高。肖氏硬度用“HS”表示。

其优点是：试验简便、材料表面几乎无痕迹，可用于精密量具的硬度检验；其缺点是：所测硬度值不够准确。

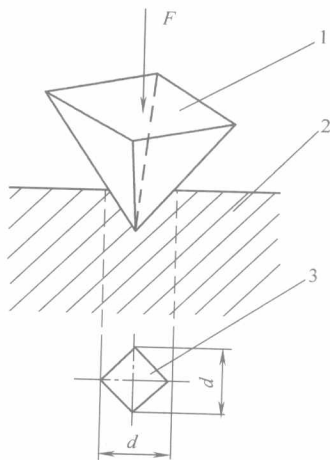


图 1-6 维氏硬度试验示意图

1— 136° 金刚石压头 2—试样

3—压痕

边学边议

(1) 你认为零件的硬度在使用中有何作用？

(2) 一般情况下，材料的硬度与塑性有何关系？

六、金属材料力学性能的指标（四）：韧性和疲劳强度

许多零件在使用过程中往往受冲击载荷或交变载荷的作用，这些零件的性能指标就不能简单地使用前述静载荷作用下的指标来衡量，而要考虑零件的抗冲击载荷能力或抗交变载荷的能力。

1. 冲击韧性

金属材料抵抗冲击载荷而不被破坏的能力称为冲击韧性，用“ α_K ”表示。

α_K 是试件在一次冲击实验时，单位横截面积（ cm^2 ）上所消耗的冲击功（J），其单位为 J/cm^2 。 α_K 值越大，表示材料的冲击韧性越好。

冲击韧性试验是在摆锤式冲击试验机上进行的。测试时，将带有缺口的标准冲击试样按要求放置在试验机支座上，再用摆锤将其一次冲断。试样缺口处单位截面积上所吸收的冲击功即表示该试样材料的冲击韧性（见图 1-7）。计算公式如下：

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

式中 α_K ——冲击韧性（ J/cm^2 ）

A_K ——冲断试样所消耗的冲击功（J）

A ——试样缺口处截面积（ cm^2 ）

★ 进行冲击韧性试验有几个问题应注意：

（1）标准冲击试样有两种：一种是常用的梅氏

试样（试样缺口为 U 形）；另一种是夏氏试样（试样缺口为 V 形）。同一条件下同一材料制作的两种试样，其梅氏试样的 α_K 值显著大于夏氏试样的 α_K 值，所以两种试样的 α_K 值不能互相比较。试样的冲击韧性则应注明 α_{KV} （夏氏）或 α_{KU} （梅氏）。

（2）脆性材料的冲击试验，一般不开缺口，否则试样的冲击值太低，难以进行不同材料冲击韧性的比较。

（3）试验证明：当金属材料受到大能量的冲击载荷作用时，其抵抗冲击的能力取决于它的冲击韧性；而在小能量冲击载荷的多次作用下，其抵抗冲击的能力则与它的强度和塑性有关：高冲击能量作用下塑性起主要作用，低冲击能量作用下强度起主要作用。

（4）冲击试验主要用于结构钢，不适合于脆性材料（如铸铁、铸铝）和塑性很好的材料（如铜、奥氏体钢）。

（5）当载荷作用速度增大时，可能会使金属材料脆性增大。

2. 疲劳强度

以上几项性能指标，除冲击韧性外，都是材料在静载荷作用下的性能指标。而许多零件和制品在使用中，经常受到大小及方向呈周期变化的交变载荷作用。在这种载荷反复作用下，材料常在远低于其屈服强度的应力下即发生断裂，这种现象称为“疲劳”。

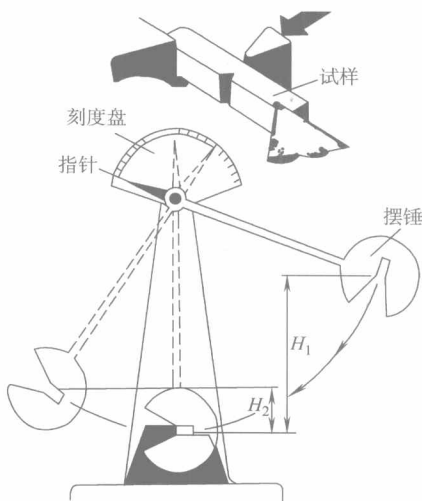


图 1-7 冲击试验示意图

材料在规定次数（一般黑色金属取 10^7 次，不锈钢、有色金属及其合金取 10^8 次）的交变载荷作用下，而不至引起断裂的最大应力称为“疲劳极限”。光滑试样的弯曲疲劳极限用 σ_{-1} 表示。一般黑色金属的 σ_{-1} 值约为其 σ_b 的一半，而非金属材料的疲劳极限一般则远低于金属材料。

疲劳断裂的原因有很多，一般认为是由于材料表面与内部的缺陷（夹渣、划痕、尖角等），造成局部应力集中，形成微裂纹。这种微裂纹随应力循环次数的增加而逐渐扩展，使零件的有效承载面积逐渐减小，以至于最后承受不起所加载荷而突然断裂。

通过合理选材、改善材料的结构形状、避免应力集中、减小材料和零件的缺陷、降低零件表面粗糙度（Ra）、对表面进行强化处理等，都可以提高材料的疲劳抗力。

边学边议

- (1) 举几个你所知道的需要抗冲击的零件的例子。
- (2) 自行车前轴与齿轮轴哪个需要考虑材料的疲劳强度？为什么？

第三部分 思考与练习

1. 什么是应力？什么是应变？
2. 金属材料的强度指标有哪些？其含义和表示符号是什么？
3. 金属材料的塑性指标有哪些？其含义和表示符号是什么？
4. 金属材料的硬度指标有哪些？其含义和表示符号是什么？
5. 金属材料的冲击韧性与疲劳强度这两种指标有何不同？
6. 国标中规定，40 号碳素结构钢的力学指标不应小于下述数值： $\sigma_s = 340\text{MPa}$ ， $\sigma_b = 540\text{MPa}$ ， $\delta = 19\%$ ， $\psi = 45\%$ 。现取试样试验后得到参数如下：采用短试样标距，标距长度 $l = 50\text{mm}$ ，试样直径 $d_0 = 10\text{mm}$ ，当载荷达到 28.26kN 时，试样产生屈服现象，载荷增加到 45.53kN 时，试样开始出现缩颈现象，直至被拉断。拉断后的标距长度为 60.5mm ，断裂处直径为 7.3mm 。请计算：试样是否达到了国标的要求。
7. 各种硬度指标的使用各有什么特点？下述零件你会用什么方法测量硬度？
锉刀 车刀刀柄 游标卡尺 钢板尺 扁铁

教学内容二 金属材料的理化性能及工艺性能

第一部分 教学组织

一、教学目的

- (1) 掌握金属材料的各个理化性能和工艺性能指标及其含义。