

工程材料与 成型工艺

马壮 赵越超 马修泉 主编



東北大學出版社
Northeastern University Press

工程材料与成型工艺

马 壮 赵越超 马修泉 主编

东北大学出版社

• 沈 阳 •

© 马 壮 赵越超 马修泉 2007

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料与成型工艺 / 马壮, 赵越超, 马修泉主编. — 沈阳: 东北大学出版社,
2007.3

ISBN 978-7-81102-363-3

I. 工… II. ①马… ②赵… ③马… III. 工程材料—成型 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 016242 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph @ neupress.com

http: // www. neupress. com

印 刷 者: 沈阳中科印刷有限责任公司

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm × 260mm

印 张: 15.5

字 数: 397 千字

出版时间: 2007 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2007 年 3 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81102-363-3

责任编辑: 王兆元

责任校对: 潘 戈

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

定 价: 26.50 元

前 言

根据教育部课程指导小组修订的《高等工业学校工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》，结合《高等教育面向 21 世纪机械类教学内容和课程体系改革》的需要，我们组织有长期教学经验的教师编写了《工程材料与成型工艺》教材。

在《工程材料与成型工艺》的编写过程中，为贯彻素质教育思想，注重对学生创新能力的培养，我们注意了以下几点：

1. 力求精选内容，以讲授基本理论为主，结合生产实践，适当地介绍新材料、新工艺、新技术，并全面贯彻国家新标准。
2. 力争按材料和成型工艺之间的内在联系，安排各章内容，注意教材的系统性。
3. 为了适应工程材料与成型工艺的发展及高校教学的需要，增加了非金属材料的比重。
4. 为了帮助学生加深对课程内容的理解和掌握，培养其分析和解决实际问题的能力，提高学习兴趣，各章后附有复习思考题。

本书由李万有编写第一章；马壮编写绪论、第二章、第四章；马修泉编写第三章、第五章第一节、第二节；赵越超编写第五章的第三节，第八章；董世知编写第五章的第四节；付大军编写第六章；孙跃军编写第七章；回书利编写第九章；刘少平编写第十章；张兴元编写第十一章。本书由马壮教授、赵越超教授、马修泉副教授担任主编，由东北地区金工研究会理事长、大连理工大学梁延德教授担任主审。

本书在编写过程中得到了兄弟院校大力支持，插图和统稿得到了辽宁工程技术大学的研究生范世萍、狄丽丽、华正美等人的大力协助，在此深表感谢。

由于编写水平有限，书中难免有缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

2006 年 6 月

目 录

绪 论	1
第一章 工程材料的分类及力学性能	4
第一节 工程材料的分类	4
第二节 工程材料的力学性能	5
第二章 金属学基础	12
第一节 金属的晶体结构	12
第二节 金属的结晶	15
第三节 合金的结构	18
第四节 合金相图	20
第三章 铁碳合金	27
第一节 铁碳合金相图	27
第二节 铁碳合金相图的应用	34
第四章 钢的热处理	38
第一节 钢在加热冷却时的组织转变	38
第二节 钢的退火与正火	41
第三节 钢的淬火	43
第四节 钢的回火	47
第五节 钢的表面热处理	49
第五章 钢和铸铁	57
第一节 碳钢	57
第二节 合金钢	61
第三节 铸铁和铸钢	73
第四节 粉末冶金材料	83
第六章 有色金属及其合金	89
第一节 铝及其合金	89
第二节 铜及其合金	96

第三节 轴承合金.....	105
第七章 非金属材料.....	110
第一节 高分子材料.....	110
第二节 陶瓷材料.....	120
第三节 复合材料.....	125
第八章 铸 造.....	131
第一节 砂型铸造的基本工艺.....	131
第二节 合金的铸造性能.....	134
第三节 铸造工艺设计.....	141
第四节 特种铸造.....	156
第九章 压力加工.....	163
第一节 金属的塑性变形.....	163
第二节 金属压力加工分类及锻造性能.....	166
第三节 自由锻造.....	171
第四节 模型锻造.....	177
第五节 板料冲压.....	184
第十章 焊接与粘接.....	191
第一节 焊接成型的工艺基础.....	192
第二节 常用焊接方法.....	200
第三节 常用金属材料的焊接.....	210
第四节 焊接结构设计.....	215
第五节 粘 接.....	222
第十一章 材料及毛坯的选择.....	228
第一节 机械零件的失效及其防止.....	228
第二节 零件材料及毛坯的选择.....	232
第三节 毛坯质量检验.....	239

绪 论

一、材料与成型工艺发展史

材料是人类生活和生产所必需的物质基础，是社会发展的基石。人类社会的发展史表明，材料及加工是社会文明进步的标志之一。因此，历史学家曾根据制造生产工具的材料及加工工艺，将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。而今，人类已跨进人工合成材料的新时代，金属材料以及高分子材料、陶瓷材料、复合材料等新型材料得到迅速的发展，为现代社会的发展奠定了重要的物质基础。

材料的发展经历了从低级到高级、从简单到复杂、从天然到合成的过程，材料的发展与应用状况是人类文明发展水平的标志。

大约在二三百萬年前，原始人类用石头制作简单工具，这个时期称为石器时代。公元前 2140—前 1711 年，人们用孔雀石(铜矿石)和木炭炼出铜；到了殷商、西周时期，中国的青铜冶炼已发展到较高的水平，普遍用于制作各种工具、食器、兵器等，这个时期称为青铜器时代。我国春秋战国时期的《周礼·考工记》中记载了青铜的成分和性能之间的关系，创造了灿烂的青铜文化。

材料的种类繁多，大体可分为四类。第一类是作为能源用的材料。第二类是作为化学制品用的材料。这两类都以消耗材料本身为代价完成它们的功能。第三类是依靠物质的声、光、电、磁、热等物理性能，发展并制造产品的功能和效应的功能材料。第四类是利用其强度、塑性、韧性、硬度等力学性能，在工程上用来制造承载构件而长期使用的结构材料。工程材料主要指第三类和第四类材料。当前，功能材料愈来愈受到人们的重视。例如，没有半导体材料，就不会有大规模的集成电路，也就不会有今天的微电子技术；压电陶瓷的广泛应用，超导材料、光导纤维等的研究和应用都十分活跃。但这类材料一般不在工程材料学中讨论。一般将用于制作机械结构、机械零件和工程模具等的材料称为工程材料。工程材料包括金属材料、高分子材料、陶瓷材料及它们的复合材料。其中，金属材料具有优良的力学、物理、化学等使用性能和铸造、压力加工、焊接、切削加工、热处理等工艺性能，特别是热处理可以改变其组织结构和性能，充分挖掘材料的潜力，提高产品质量。所以，金属材料成为最重要且应用最广泛的一类工程材料。

进入 20 世纪以来，随着现代科学技术和生产的飞跃式发展，材料、能源与信息作为现代社会和现代技术的三大支柱，发展格外迅猛，而材料又是后两者赖以发展的基础。在材料中，非金属材料发展神速，尤以人工合成高分子材料的发展最快。从 20 世纪 60 年代到 70 年代，有机合成材料每年以 14% 的速度增长，而金属材料的年增长率为 4%。近 20 年来，金属与非金属相互渗透、相互结合，新型复合材料异军突起，形成了一个完整的材料体系。在化学、物理化学、力学和固体物理学等基础上发展起来的材料科学，以固体材料为研究对象，研究材料的成分、结构、显微组织及其性能之间的相互关系，并强调微观结构与宏观表现的关系这一材料的共性。

伴随着材料的发展,各种材料分析技术和测试手段也出现了先进的方式和仪器,各种显微分析方法,如X射线衍射、扫描电镜、透射电镜、电子衍射和电子探针的发展以及数字化、计算机技术的应用,都有力地促进了对材料显微结构的分析,从而对材料的发展提供技术指导。

在材料的生产和加工工艺方面,中华民族曾创造了辉煌的成就,为人类文明和世界进步作出了巨大的贡献。我国从原始社会后期开始有陶器,早在仰韶文化和龙山文化时期,制陶技术已经很成熟。我国使用铜的历史有4000年左右,在商代(公元前1600—前1046)就有高度发达的青铜加工技术,如河南安阳出土的殷商祭器司母戊大方鼎,重达875kg,它不仅体积庞大,而且上面花纹精巧、造型精美,反映了我国古代高超的铸造技术。西安出土的秦始皇兵马俑宝剑更令世人震惊,距今已2300多年仍光彩夺目、锋利如新。经化验,它渗入了14种合金元素,表面是一层含铬的氧化物。它不仅显示出铸、锻、焊工艺技术精湛,而且热处理、尤其合金化的水平也令现代人赞叹叫绝。在春秋时期,我国就大量使用了铁器,比欧洲早1900年。东汉时期我国就掌握了炼钢技术,比其他国家早1600年。到明朝就有比较完整的文字著作,宋应星所著的《天工开物》一书,记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁和淬火等各种金属加工方法,其中记述的关于锉刀的制造、翻修和热处理工艺与现在相差无几,是世界上最早较全面阐述金属加工的科学技术著作之一。

以上事实充分说明了中华民族在材料和材料加工工艺方面所取得的卓越成就。但是到了18世纪以后,长期的封建统治和闭关自守以及资本主义列强的侵略,严重地束缚了我国生产力和科学技术的发展,使我国的材料生产和材料加工技术出现了落后的局面。

中华人民共和国成立后,我国人民在党的领导下,在金属材料、非金属材料及其加工工艺方面有了突飞猛进的发展。原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、载人航天飞船、超导材料、纳米材料等重大项目的研究与实验成功,标志着金属工艺学的研究与应用在材料生产和材料加工科学方面达到了很高的水平。目前,经过半个多世纪的发展,我国已形成规模庞大、品种齐全、性能较高和较完整的材料工业体系,成为世界上的材料生产大国和材料消费大国。

随着人类文明的进步,对材料品种和性能的要求越来越高,科学工作者对新材料的开发研究一刻也没有停止过,材料的品种以每年5%的速度递增。面向21世纪,新材料有如下发展趋势:继续重视对新型金属材料的研究开发,开发非晶合金材料;发展在分子水平设计高分子材料的技术;继续发掘复合材料和半导体硅材料的潜在价值;大力发展纳米材料、信息材料、智能材料、生物材料和高性能陶瓷材料等。

二、本课程的内容和特点

本课程学习的内容包括工程材料和成型工艺基础两部分。

1. 工程材料

包括金属学基础、热处理原理和工艺、工程材料及选用等三部分。其中工程材料部分以金属材料为主,非金属材料作适当阐述。学习本课程的目的是使学生获得有关金属学、热处理的基本理论及工程材料的一般知识。因此,本课程重点阐述常用工程材料的化学成分、组织结构、性能及热处理工艺之间的关系,以及应用方面的一般规律和知识,为工程结构和机器零件的设计和选用提供正确选材、合理用材、正确制定热处理工艺的基本知识和初步能

力。

2. 成型工艺基础

包括铸造、锻压、焊接等热加工工艺的原理、特点、加工的工艺过程、应用情况和结构工艺性。此外，面对非金属材料的迅速发展，从机械制造业的实际出发，介绍了非金属材料的成型方法和粘接技术。

三、学习本课程的目的和基本要求

“工程材料与成型工艺”是高等工科院校机械类专业的一门重要的技术基础课，其主要目的是使学生获得有关金属学、热处理及工程材料、热加工工艺等基本理论知识；了解常用金属材料的成分、组织、性能、热处理工艺之间的关系。学生在学习本课程之后，应具有根据零件的使用条件和性能要求，合理选用工程材料、正确选定毛坯成形方法和制定热处理工艺、妥善安排工艺路线等方面的知识。

本课程是一门从生产实践中发展起来，又直接为生产服务的学科，是一门理论性和实践性很强的技术基础课。因此，在学习时，不但要注意理论的系统性，而且更要重视理论联系实际，重视实验课，把实习、实验与课堂教学有机结合起来，互相补充，密切配合，才能收到预期效果。

第一章 工程材料的分类及力学性能

现代工业技术与材料发展密切相关。任何先进的机械产品或成套设备，除设计先进外，在很大程度上取决于所选用的工程材料的质量。材料质量不好，不仅产品粗笨，更重要的是零部件使用寿命不长，其结果使整机质量难以保证。只有采用性质优良的材料，才能保证在先进的设计参数、先进的技术下，生产或制造出质量优异的机械产品和机械设备。因此，世界各国都非常重视材料科学技术的研究和开发。目前世界各国注册的工程材料有几十万种，并还在不断增加。工程材料大致分为金属材料、无机非金属材料、有机高分子合成材料和复合材料等。

工程材料与成型工艺主要讲述结构材料的成分、组织、性能和热加工应用方面的知识。所谓结构材料是指在工程上要求有一定强度、韧性、塑性等力学性能的工程结构和机械零件材料以及工具材料。学习工程材料基本知识是为正确、合理选用材料提供必要的理论基础。

第一节 工程材料的分类

一、金属材料

金属材料是最重要的工程材料之一，它的用量最多，使用范围最广。金属材料又分为：

(1) 黑色金属——铁和以铁为基的合金(碳素钢、铸铁、合金钢及合金铸铁)。

(2) 有色金属——轻金属(Mg, Al, Be 及其合金)，易熔金属(Zn, Sn, Pb, Sb, Bi 及其合金)，难熔金属(W, Mo, V, Ti, Nb, Ta 及其合金)，贵金属(Cu, Ag, Au, P 及其合金)，稀土及碱土金属等。

二、高分子材料

塑料(热塑性工程塑料和热固性工程塑料两种)、橡胶(通用橡胶和特殊橡胶两种)、合成纤维等。

三、陶瓷材料

普通陶瓷(主要为硅酸盐材料)、特种陶瓷(氧化物、硅化物、碳化物等的烧结材料)等。

四、复合材料

即两种或两种以上性质不同材料合成的材料，以基体不同分为塑料基复合材料、金属基复合材料、橡胶基复合材料和陶瓷基复合材料等。

第二节 工程材料的力学性能

为了研究工程材料的性能、组织、成分之间的关系及正确和合理使用材料，必须了解有关工程材料各种性能的基本概念。可以把工程材料的各种性能分为使用性能和工艺性能。使用性能包括力学性能(即机械性能如强度、塑性及韧性等)、物理性能(如电性能、磁性能及热性能等)、化学性能(如耐腐蚀性、抗高温氧化性等)。工艺性能则随制造工艺不同，分为锻造、铸造、焊接、热处理及切削加工性等。其中力学性能是工程材料最重要的性能指标。

一、强度

材料抵抗外力作用下变形和断裂的能力，称为强度。测定强度最基本的方法是拉伸试验。从一个完整的拉伸试验记录中，可以得到许多有关该材料的重要指标，如材料的弹性、塑性变形的特点和程度、屈服极限和抗拉强度等。

以低碳钢为例。拉伸试验的试样通常加工成圆棒状，或矩形截面，如图 1-1 所示。拉伸试样的两端放在拉伸试验机的夹头内夹紧，然后缓慢而均匀地施加轴向拉力，随着拉力的增大，试样开始被拉伸，直到拉断为止。由试验机带有的自动记录装置，将负荷—伸长以至断裂的全过程绘出曲线图(图 1-2)，称为拉伸曲线图。图 1-3 所示为应力-应变曲线(σ - ϵ 曲线)，其中 σ_p 为比例极限， σ_e 为弹性极限， σ_s 为屈服极限， σ_b 为抗拉强度。

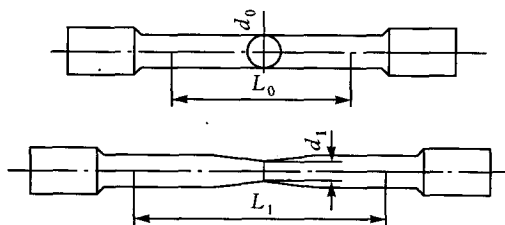


图 1-1 拉伸试样图

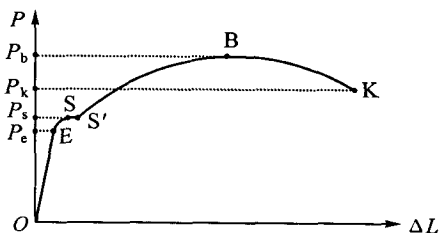


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

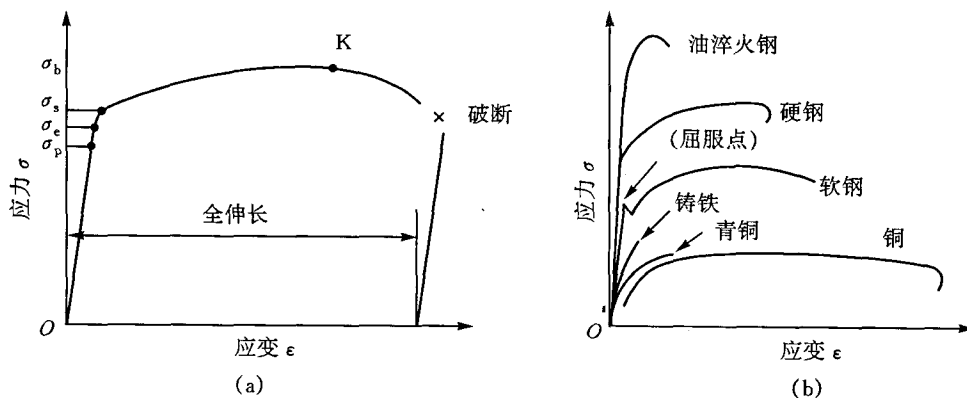


图 1-3 各种材料的应力-应变曲线

1. 弹性极限

拉伸曲线的 P_e 段, 为弹性变形阶段, 虽然负荷与伸长量为非线性关系, 但仍是弹性变形。超过 E 点则为“弹-塑”性变形。故 E 点处的应力是保持单纯弹性变形的最大应力, 称为弹性极限, 用 σ_e (MPa) 表示:

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-1)$$

式中, P_e 为 E 点负荷, MN; F_0 为试样的横截面积, m^2 。

2. 屈服极限

拉伸曲线的 ES 段, 为有微量塑性变形阶段。其特点是在弹性变形中, 含有微量的塑性变形。但负荷去除后, 大部分的伸长量得以消失恢复, 仅保留微量的残留塑性变形。 SS' 阶段为屈服阶段, 其特点是当负荷 P 不变, 或略有升高(或降低)的情况下, 伸长量 Δl 继续显著增加, 此种现象称为材料的“屈服”。屈服时的应力称为屈服极限, 用 σ_s (MPa) 表示

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-2)$$

式中, P_s 为 S 点最小负荷, MN。

有些材料(如高碳钢、铸铁等)的拉伸曲线中没有明显屈服点, 如图 1-4 所示。

工程上规定试样产生 0.2% 残余伸长量的应力值为该材料的屈服强度, 称为条件屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ (MPa) 表示:

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-3)$$

式中, $P_{0.2}$ 为产生 0.2% 残留伸长时的负荷, MN。

由于精确地测定弹性极限是十分困难的, 因此常用屈服极限和屈服强度作为弹性变形和塑性变形的分界线。对机械零件而言, 一般不允许发生塑性变形。故屈服强度是评定金属材料质量的重要的力学性能指标, 是进行机械零件设计的主要依据。

3. 抗拉强度

拉伸曲线的 $S'B$ 段, 是大量塑性变形阶段。此阶段中试样发生很大的伸长塑性变形, 因而发生了加工硬化, 塑性变形抗力增加。为了增加伸长量 Δl , 必须增大负荷 P 。到 B 点时, P 达到最大值。 B 点的应力, 即试样所承受的最大应力, 称为抗拉强度, 用 σ_b (MPa) 表示, 又称强度极限。它代表材料能抵抗最大塑性变形和断裂的能力, 即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{MPa}) \quad (1-4)$$

式中, P_b 为试样所能承受的最大负荷, MN。

二、塑性

所谓塑性, 即在外力作用下, 材料产生永久变形而不破坏的能力。在拉伸、压缩、扭转、弯曲等外力作用下所产生的伸长、扭曲、弯曲等, 均可表示材料的塑性。一般而言, 材料的塑性皆通过拉伸试验所求得的延伸率和断面收缩率来表示, 这是两个最常用的塑性指

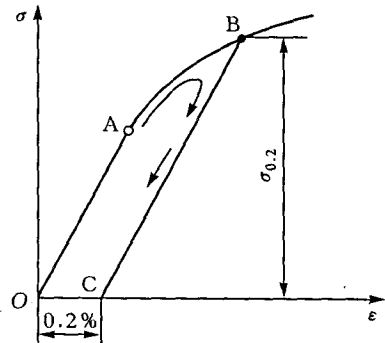


图 1-4 没有明显屈服点的拉伸曲线

标。

1. 延伸率

如图 1-1 所示, 拉伸试样在拉断后, 标距长度的增量与原标距长度的百分比, 即称为延伸率, 用 δ 表示为

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中, l_0 为加负荷前试样的标距间距离; l 为拉断后标距间距离。

短试样, $l_0 = 5d_0$ (d_0 为试样直径), 其延伸率以 δ_5 表示。

长试样, $l_0 = 10d_0$, 其延伸率以 δ_{10} 表示。

采用长试样或短试样, 进行拉伸试验时, 所得的延伸率是不同的, 因此必须注明是短试样值(δ_5), 还是长试样值(δ_{10})。

2. 断面收缩率

如图 1-1 所示, 在试样拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原横截面积的百分比, 即称为断面收缩率, 用 ψ 表示为

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, F_0 为试样原始横截面积; F 为试样拉断后最小横截面积。

显然, 材料的 δ 和 ψ 越大, 则塑性越好。强度、硬度高的材料, 一般塑性较低而脆性较大。对于机械用工程材料, 则希望既有高的强度和硬度, 又有良好塑性的强韧综合性能。

三、硬度

材料抵抗比其更硬物体压入其表面的能力, 称为硬度, 亦即对局部塑性变形的抗力。

硬度试验, 设备简单, 操作方便, 不用特制试样, 可直接在原材料、半成品或成品上进行测定。对于脆性较大的材料, 如淬硬的钢材、硬质合金等, 只能通过硬度测量来对其性能进行评价, 而其他如拉伸、弯曲等试验方法则不适用。对于塑性材料, 可以通过简便的硬度测量, 对其他强度性能指标作出大致定量的估计, 这在生产实际中是非常有用的。这里介绍几种常用的硬度测量方法。

1. 布氏硬度

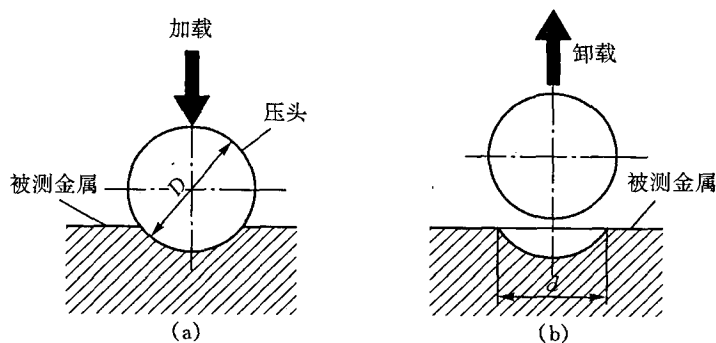


图 1-5 布氏硬度试验原理

布氏硬度的测量，是应用负荷 P ，将直径为 D 的淬火钢球压入试样表面(图 1-5)，保持一定时间后卸除载荷，以试验压痕的表面积 A 去除负荷所得的商，作为硬度的计算指标，用符号 HB 表示。

试验时负荷 P 、钢球直径 D 皆为定值，故在试验时只要测出 d 值，就可以算出或由表查出 HB 值。可以想象，压痕直径越大，则布氏硬度值 HB 越小；反之，则硬度 HB 值越大。使用 HB 时，一般不写单位。

$$HB = \frac{P}{A} = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1-7)$$

在进行布氏硬度试验时，应根据材料的硬、软和工件的薄、厚来选择合适的负荷 P 和钢球直径 D 。按表 1-1 所示的布氏硬度试验规范正确进行选择。

从材料抵抗塑性变形能力的大小而言，硬度和抗拉强度有相似之处，故二者间存在着一定程度的线性关系，其经验换算公式为

碳素钢 $HB \approx \sigma_b / 3.4 \sim \sigma_b / 3.6$;

合金调质钢 $HB \approx \sigma_b / 3.25$;

铝铸件 $HB \approx \sigma_b / 2.6$ 。

表 1-1

布氏硬度试验规范

金 属	布氏硬度值 (HB) 范围	试件厚度/mm	钢球直径 D /mm	负荷 P /N	保荷时间/s
黑色金属	140~150	6~3	10.0	30000	10
		4~2	5.0	7500	
		<2	2.5	1875	
	<140	>6	10.0	1000	10
6~3	5.0	25000			
有色金属	>130	6~3	10.0	3000	30
		4~2	5.0	7500	
		<2	2.5	1875	
	36~130	9~3	10.0	10000	30
		6~3	5.0	2500	
		8~35	>6	10.0	

由于压痕面积较大，受试样不均匀度影响较小，故能准确反映试样的真实硬度，适合于灰铸铁、滑动轴承合金及晶粒粗大、偏析严重材料的硬度测量。但是，由于压痕面积较大，不适于检验小件、薄件或成品件；另外，由于钢球的硬度和刚度不足，不适于检验硬度大于 HB450 的材料。

2. 洛氏硬度

当前，洛氏硬度试验的应用最为广泛。这种方法也是利用压痕来测定材料的硬度。与布氏硬度之不同点，它是以压痕深度的大小作为计量硬度的依据。

洛氏硬度试验时，采用的压头为 120° 金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的钢球。其负荷分三次施加，如图 1-6 所示。

第一次负荷为预加负荷 100N，压痕深度为 h_1 ，目的是用以消除表面粗糙度对硬度值测量的影响，如图 1-6(a)所示。

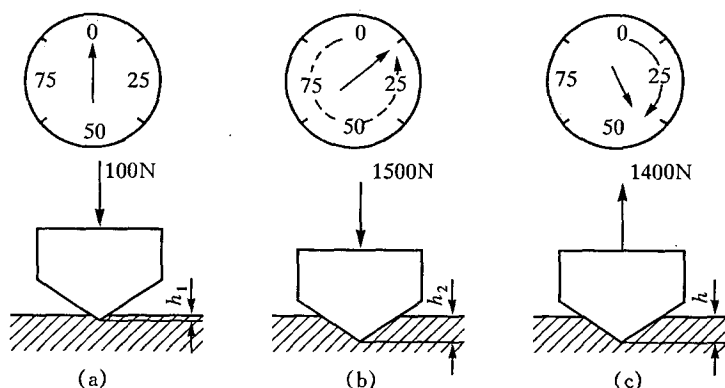


图 1-6 洛氏硬度试验原理

第二次负荷为主负荷，分别可选用 500N、900N 或 1400N，压痕深度为 h_2 ，如图 1-6(b)所示。

第三次负荷为卸除主负荷，保留预加负荷，此时由于弹性恢复，压痕深度稍有减小，为 h ，如图 1-6(c)所示。

国际规定，以 $h = h_2 - h_1$ 的深度作为洛氏硬度的计算深度。洛氏硬度计的表盘上每一格相当于 0.002mm 深度，因此用一选定常数 k 减去所得的压痕深度 h ，所得差值作为洛氏硬度的指标，即

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

硬度值可由表盘上直接读出。显然，材料越软，则压痕 h 越深，硬度值越小；反之，钢材越硬， h 越小，硬度值越大。常用的洛氏硬度值有 A、B、C 三种，其适用范围见表 1-2。

表 1-2

洛氏硬度试验规范

硬 度	压 头	负荷/N			适用硬度范围	应用举例
		预	主	总		
HRA	120°金刚石圆锥	100	500	600	70~85	硬质合金
HRB	Φ1.588mm 钢球	100	900	1000	25~100	退火钢
HRC	120°金刚石圆锥	100	1400	1500	20~67	淬火钢

洛氏硬度试验的优点是：压痕面积较小，可检测成品、小件和薄件；测量范围大，从很软有色金属到极硬的硬质合金；测量简便迅速，可直接从表盘上读出硬度值。但它不适用于检测灰铸铁、滑动轴承合金及偏析严重的材料。

四、冲击韧性

材料的冲击韧性是在冲击载荷作用下，抵抗冲击力的作用而不被破坏的能力。通常用冲击韧性 a_k 来度量。冲击韧性的测量方法，应用最普遍的是一次摆锤弯曲冲击试验。冲击试

验原理如图 1-7 所示。

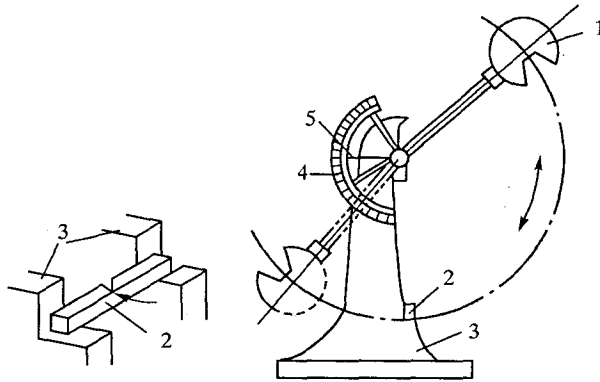


图 1-7 冲击试验简图

1—摆锤；2—试样；3—支座；4—表盘；5—指针

a_k 是试样在一次冲击试验时，缺口处单位截面积 $F(m^2)$ 上所消耗的冲击功 $A_k(MJ)$ ，其单位为 MJ/m^2 。冲击韧性可用下式求出：

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad (MJ/m^2) \quad (1-8)$$

式中， A_k 为冲断试样所消耗的冲击功，MJ； F 为试样缺口处横截面积， m^2 。 a_k 值越大，表示材料的冲击韧性越好。

研究表明， a_k 值不仅与材料的成分及内部组织有关，而且与试验条件有关。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(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 a_k 值显著大于夏氏试样的 a_k 值，所以两种试样的 a_k 值不能互相比。夏氏试样的 a_k 值必须注明 $a_k(夏)$ 。材料的 a_k 值随温度的降低而减小，如图 1-8 所示。在某一温度范围内， a_k 值发生急剧降低现象，这种现象称为冷脆。这个温度范围称为冷脆转变温度范围。

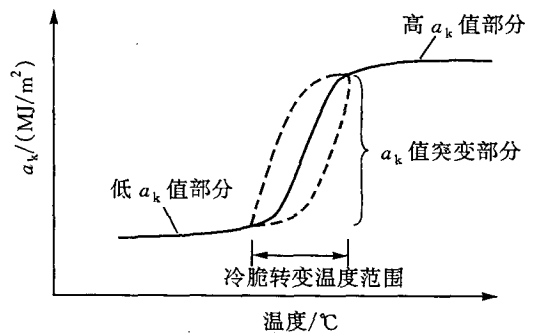


图 1-8 冷脆转变温度

a_k 值对材料的缺陷，如淬火过热造成的晶粒粗大、回火脆性、时效不充分、夹杂形态、纤维方向等很敏感，故常用于检验冶炼、热加工、热处理工艺的质量，也常用于检验材料的冷脆，以确定材料的冷脆转变温度。

五、疲劳强度

许多零件和制品，常受到大小及方向变化的交变载荷。在交变载荷反复作用下，材料常在远低于其屈服强度的应力下发生断裂，这种现象称为“疲劳”。材料的疲劳试验通常是在旋转对称弯曲疲劳试验机上进行的。按照材料承受的交变应力和断裂循环周次之间的关系，

可绘出疲劳曲线,如图 1-9 所示。

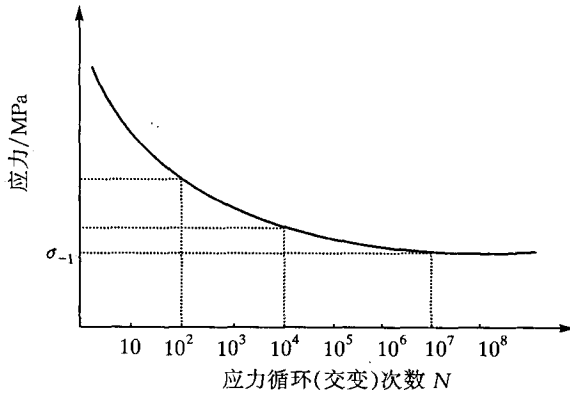


图 1-9 疲劳曲线

材料在规定 N 次(一般钢铁材料取 10^7 次,有色金属及其合金取 10^8 次)的交变载荷作用下,而不致引起断裂的最大应力称为疲劳极限或疲劳强度。光滑试样的对称弯曲疲劳极限用 σ_{-1} 值表示,单位为 MPa。一般钢铁材料的 σ_{-1} 值约为 σ_b 的一半,非金属材料的疲劳极限一般远低于金属。

提高零件的疲劳抗力可通过合理选材、改善零件的结构形状、避免应力集中、减少材料和零件的缺陷、提高零件表面光洁程度、对表面进行强化等方法解决。

复习思考题

1. 说明以下符号的意义和单位: σ_e , σ_s , σ_b , δ , ψ , σ_{-1} , $\sigma_{0.2}$, a_k 。
2. σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 有什么不同?
3. 在设计机械时多用哪两种强度指标?为什么?
4. 拉伸试样的原标距长度为 50mm,直径 10mm,拉断后对接试样的标距长度为 79mm,缩颈区的最小直径为 4.9mm,求其延伸率和断面收缩率。
5. 说明布氏、洛氏硬度试验原理。
6. 布氏硬度试验有什么局限?为什么?
7. 反映材料受冲击载荷的性能指标是什么?不同温度条件下测得的这种指标能否进行比较?