

981695



GONGCHENG CAILIAO JI JIXIEZHIZAO JICHU

工程材料及机械制造基础

工程材料

赵越超/孟繁盛 主编

湖南科学技术出版社

GONGCHENG CAILIAO

工程材料及机械制造基础

工 程 材 料

赵越超 孟繁盛主编

湖南科学技术出版社

内 容 简 介

本书是根据国家教委课程指导小组制订的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》编写。

本书内容包括：工程材料的基本知识、金属学基础、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料、机械零件选材及工艺路线分析，共计九章。

本书可作为高等工科院校机械类、近机械类专业教材，也可供电视大学、职工大学、成人高校师生选用，以及作为有关工程技术人员参考书。

工程材料及机械制造基础

工 程 材 料

主 编：赵越超 孟繁盛

责任编辑：刘奇琰

出版发行：湖南科学技术出版社

社 址：长沙市展览路3号

印 刷：湘潭彩色印刷厂

(印装质量问题请直接与本厂联系)

厂 址：湘潭市建城路45号

邮 码：411100

经 销：湖南省新华书店

出版日期：1995年10月第1版第1次

开 本：787×1092毫米 1/16

印 张：13.75

字 数：339000

印 数：1—3240

ISBN7—5357—1884—1/TH·57

定 价：14.20元

湘新登字004号

序 言

机械制造业是国民经济的技术装备部门，其发展速度应高于国民经济的各个部门。

理想的机械设计必须通过合理的选材和正确的加工技术加以实现。

工程材料及机械制造基础和金工实习是高等工科院校机械类专业必修的技术基础课，是研究制造零件的工艺方法的综合技术学科，主要研究工程材料的性能及其对加工工艺方法的影响；各种工艺方法自身的规律性及其相互联系与比较；加工工艺过程和结构工艺性（结构设计）。

为了突破教学的传统模式和纯叙述式的讲授方法，充分发挥学生的学习积极性，提高学习效果，本套教材在进行本课程教学内容体系的改革方面迈出了可喜的一步，具有以下特点：

1. 采用新颖的工艺形态学体系，根据各种加工工艺所共有的基本要素在运动中的变化与相互作用，加强对各种加工工艺的综合论述与横向比较。

2. 合理调整内容，实习与理论教学两部分教材各有侧重，避免了两者的相互割裂与无效重复，有利于实习与理论教学这两个主要教学环节的有机结合。

3. 根据工程教育实践性强的特点，强调理论与实践的结合，加强实践性和应用性。在加强实习内容的同时，新增了金属工艺设计和实验等内容，注重学生工程意识的训练和工程实践能力的培养。

4. 调整知识能力结构，提高起点，拓宽知识面，增加对新材料、新工艺、新技术的介绍，并注意技术与经济的结合、技术与管理的结合，以适应社会主义市场经济对人才的需要。

5. 教材每章之后均附有一定数量的复习思考题，起到加深理解、能力训练的作用。

本套教材是根据国家教委批准的“工程材料及机械制造基础”教学基本要求和“金工实习”教学基本要求，借鉴国内外教材内容体系，由多所院校协作编写的，从多方面进行了教材改革尝试。本套教材符合教学基本要求，选材合理，阐述清晰，层次分明，语言精炼，图文并茂，质量较好，值得推荐。

徐允长 徐庆莘

1995年5月

EAC94109

前 言

根据国家教委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》和《〈金工实习〉教学基本要求》，湘潭矿业学院、阜新矿业学院、山东矿业学院、焦作工学院、湖南农业大学和中南林学院组织有长期教学经验的教师成立本课程教材编写组，联合编写了《工程材料》、《热加工工艺基础》、《机械加工工艺基础》、《金工实习与实验》。

为了提高教材质量，本书编写时，我们注意体现以下特点：

1. 力求精选内容，以讲授基本理论为主，尽量结合生产实际，适当地介绍新工艺和新技术，并全面贯彻国家新标准。
2. 力求按照问题之间的内在联系，安排各章的内容，注意到教材的系统性。
3. 为了适应工程材料科学的发展及高校教学的需要，增大了非金属材料的比重。
4. 为了帮助学生加深对基本内容的理解和掌握，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。

本书由阜新矿业学院赵越超、孟繁盛主编。参加本书编写工作的还有：张守凡、李万有、马状、李安铭、吴玉萍、尹华跃。本套教材由天津大学徐允长教授、山东矿业学院徐庆莘教授主审。

本书在编写过程中得到各有关院校领导的大力支持。本书插图及金相照片得到了阜新矿业学院赵树国、姚中秋、杨月君、胡世勤等同志的大力协助，在此深表感谢。

由于编写水平与经验所限，书中的缺点和错误，敬请同行与读者批评指正。

编者

1995年5月

绪 论

材料是人类生产和生活的物质基础。人类社会的发展史表明，材料是社会文明进步的标志。根据制造生产工具的材料，历史学家将人类生活的时代划分为石器时代、铜器时代和铁器时代。当今，人类正跨入人工合成材料的新时代。

大约二、三百万年前，人类最先使用的工具是石头。从古猿到原始人的漫长进化过程中，石器一直是人类使用的主要工具之一。在六七千年以前的原始社会末期，我们的祖先就开始用火烧制陶器。到东汉出现了瓷器，并于9世纪到15世纪先后传至非洲东部、阿拉伯、日本和欧洲。瓷器是中国文化的象征，对世界文明产生了很大的影响。

制陶技术的发展为炼铜准备了必要的条件。我国青铜的冶炼在夏（公元前2140~1711年）以前就开始了，殷、西周时期已发展到较高的水平，青铜普遍应用于制造各种工具、兵器、兵器等。我们的祖先创造了灿烂的青铜文化。

从青铜器过渡到铁器是生产工具的重大发展。春秋战国时期（公元前770~221年）开始大量使用铁器。从西汉到明朝的1600年间，我国钢铁生产技术远远超过世界各国。特别是明朝宋应星著《天工开物》一书，是世界上最早的有关金属加工的“百科全书”，在科技史上占有重要地位。大量的珍贵文物和历史文献充分说明，我们勤劳智慧的祖先，在材料的创造和使用上有过辉煌的成就，为人类文明作出了巨大的贡献。

铁器从亚洲首先传至巴比伦、埃及和希腊，得到了广泛的应用。经过许多世纪的发展，西欧和俄国后来居上，使以钢铁为代表的材料生产和应用跨进了一个新的阶段。但当时人们对材料的认识仍是非理性的，停留在工匠和艺人的经验技术的水平上。

从17世纪的科学革命到18—19世纪的工业革命后期，由于工业迅速发展，对钢铁的要求急剧增加。因此，为适应这一需要，在化学、物理、材料力学等学科的基础上产生了一门新的科学——金属学。它明确地提出，金属的外在性能取决于内部结构的概念，并以研究它们之间的关系为自己的主要任务。

为了认识金属材料内部的精细构造，各种近代实验研究手段和方法，如X射线分析、透射及扫描，电子显微镜分析，电子衍射、电子探针分析等在金属研究中都得到了应用，使金属学有了很大发展，达到了一个新水平。

进入20世纪以来，随着现代科学技术和生产的飞跃发展，材料、能源与信息成为新技术革命的三大支柱，而材料又是后两者赖以发展的基础。材料一词已不再只是专指金属材料了，非金属的发展尤其迅速，而以人工合成高分子材料的发展最快。60—70年代，有机合成材料每年以14%的速度增长，超过了金属材料4%的年增长率。近20多年来，金属与非金属相互渗透、相互结合，组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学科基础上发展起来的材料科学，是以一切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。

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，也就不会有今天的电子计算机技术；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中讨论。因此，一般将用于制作机械结构、机械零件和工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。

工程材料是高等工科院校机械类和近机械类各专业的一门技术基础课。本课程的主要内容包括金属学基础、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。学习本课程的主要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使用提供正确选材、合理用材、正确制定热处理工艺的基本知识和初步能力。

工程材料是一门从生产实践中发展起来，又直接为生产服务的学科，具有丰富的理论和实践性。由于工程材料的种类繁多，其组织、性能又千变万化，且本课程的名词、概念多，又较抽象，入门较难。但只要遵循“由特殊到一般，由一般到特殊”的认识规律，在理解的基础上加强记忆，抓住材料的化学成分、组织结构、性能这一规律，再讨论各种热处理后的组织、性能的变化及其应用，注意理论联系实际，认真总结所学知识，按时认真完成作业和实验等教学环节，就一定能够学好这门课程。

目 录

第一章 工程材料的基本知识	(1)
第一节 工程材料的分类.....	(1)
第二节 工程材料的力学性能.....	(2)
第二章 金属学基础	(9)
第一节 金属的晶体结构.....	(9)
第二节 实际金属中的晶体缺陷	(14)
第三节 金属的结晶	(16)
第四节 金属的塑性变形与再结晶	(20)
第五节 合金的结构	(21)
第六节 合金相图	(29)
第三章 铁碳合金	(37)
第一节 铁碳合金相图	(37)
第二节 碳钢	(45)
第四章 钢的热处理	(51)
第一节 钢在加热时的组织转变	(51)
第二节 钢在冷却时的组织转变	(55)
第三节 钢的退火与正火	(65)
第四节 钢的淬火	(67)
第五节 钢的回火	(74)
第六节 钢的表面热处理	(77)
第七节 热处理主要缺陷及防止	(82)
第五章 合金钢	(87)
第一节 概述	(87)
第二节 合金元素对钢的影响	(88)
第三节 合金结构钢	(93)
第四节 合金工具钢.....	(102)
第五节 特殊性能钢.....	(110)
第六节 粉末冶金材料.....	(114)
第六章 铸铁	(118)
第一节 概述.....	(118)
第二节 灰铸铁.....	(121)
第三节 球墨铸铁.....	(124)
第四节 可锻铸铁.....	(127)

第五节 特殊性能铸铁.....	(130)
第七章 有色金属及其合金.....	(134)
第一节 铝及其合金.....	(134)
第二节 铜及其合金.....	(144)
第三节 轴承合金.....	(154)
第八章 非金属材料.....	(159)
第一节 工程塑料.....	(159)
第二节 橡胶和纤维.....	(168)
第三节 陶瓷.....	(172)
第四节 复合材料.....	(177)
第九章 机械零件选材及工艺路线分析.....	(182)
第一节 失效分析.....	(182)
第二节 工程材料选择的基本原则.....	(184)
第三节 热处理技术条件的标注.....	(187)
第四节 冷加工方面减小变形、防止开裂的措施.....	(188)
第五节 热处理与切削加工性的关系.....	(190)
第六节 典型零件选材及工艺分析.....	(191)
附 录.....	(199)

第一章 工程材料的基本知识

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，获得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，并在不断增加之中。工程材料大致分为金属材料、无机非金属材料 and 有机高分子合成材料，以及复合材料。

工程材料主要讲述结构材料的成分、组织、性能和应用方面的知识。所谓结构材料，乃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

一般将工程材料分为四类。

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、Pt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、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。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的变形和断裂的能力，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。

下面以低碳钢为例说明。拉伸试验的试样通常加工成圆棒状，或制成矩形截面的试样，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

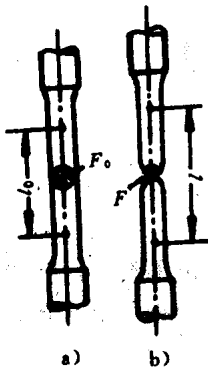


图 1-1 拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

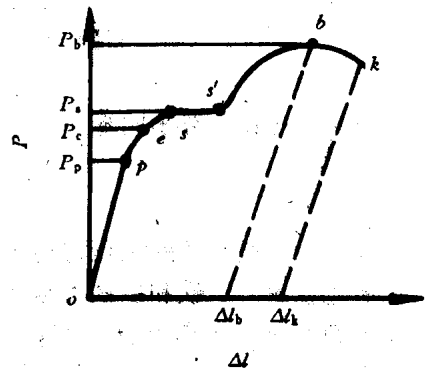


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线图

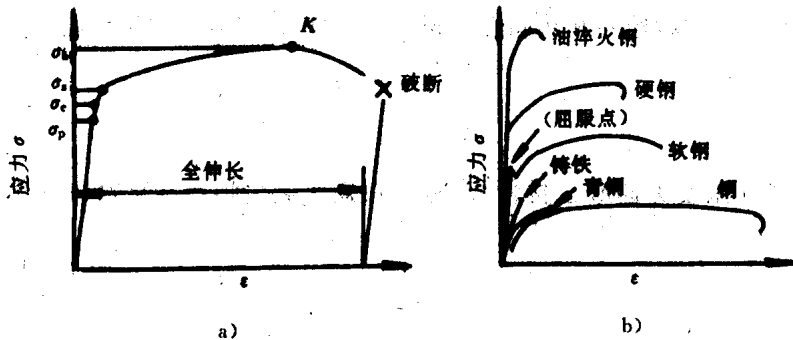


图 1-3 各种材料的应力-应变曲线

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_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。

1. 比例极限

拉伸曲线中的 OP 段为弹性阶段, 在负荷 P 去除后, 伸长量 Δl 完全消失, 试样恢复原状, 而且负荷 P 与伸长量 Δl 为线性关系, 即在 P 点以下时, P 与 Δl 成比例增加。超过 P 点, 不再成单一的线性关系。 P 点的应力, 即能保负荷 P 与伸长量 Δl 成比例增长的最大应力称为比例极限, 用 σ_p (MPa) 表示。

$$\sigma_p = \frac{P_b}{F_0} \text{ (MPa)}$$

式中, F_0 为试样原始截面积, m^2 ;

P_b 为 P 点负荷, MN。

2. 弹性极限

拉伸曲线的 Pe 段, 亦为弹性变形阶段。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,

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

式中, Pe 为 e 点负荷, MN。

3. 弹性模量 (E)

在弹性范围内, 应力与应变的比值叫弹性模量。它相当于引起单位变形时所需要的应力。其主要取决于材料中原子本性和原子间结合力, 与材料的成分、显微组织无关, 不能通过合金化、热处理、冷变形等方法改变。例如, 钢不管成分和显微组织如何变化, 其室温下的弹性模量 E 都是在 204000~214200MPa 范围内。但弹性模量对温度很敏感, 随着温度升高而降低。因为温度高, 原子间引力减小, 所以弹性模量值降低。

4. 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。当负荷去除后, 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,

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ (MPa)}$$

式中, P_s 为 S 点最小负荷, MPa。

一般材料, 大都没有明显屈服点, 如图 1—4 所示, 因此以残留伸长量为标距长度的 0.2% 时的应力作为屈服应力, 称为条件屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ (MPa) 表示,

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \text{ (MPa)}$$

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，因此常用屈服极限或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。

5. 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。它代表材料抵抗大量塑性变形的能力，即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ (MPa)}$$

式中， P_b 为试样所能承受的最大负荷，MN。

6. 断裂强度

拉伸曲线的 bk 段，为试样产生缩颈及最后断裂阶段。在 b 点以后为非均匀塑性变形，试样局部截面迅速减小，而产生所谓“缩颈”现象。由此而使截面 F_0 减小，其负荷 P 亦减小，条件应力 σ ($\sigma = \frac{P}{F_0}$) 也减小，但真实应力 S ($S = \frac{P}{F}$ ， F 为试样瞬时截面积) 仍在继续增加，至 K 点试样断裂。 K 点即试样断裂时的真实应力，称为断裂强度，用 S_k (MPa) 表示。

$$S_k = \frac{P_k}{F_k} \text{ (MPa)}$$

式中， P_k 为断裂时的负荷，MN；

F_k 为断裂时缩颈处的截面积， m^2 。

在工程上， S_k 的意义不大。对于低塑性材料，拉伸时无缩颈现象，可用 σ_b 近似代替 S_k 。

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：

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

式中， l_0 为加负荷前试样的标点间距离；

l 为拉断后标点间距离。

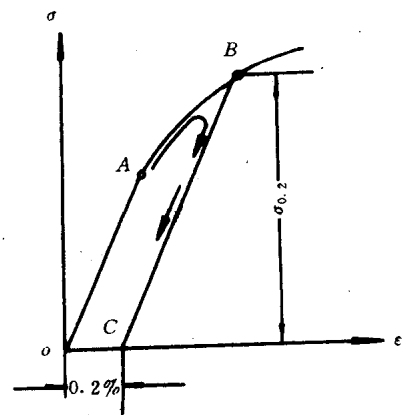


图 1—4 $\sigma_{0.2}$ 的确定

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, $l_0 = 10d_0$ (d_0 为试样直径)。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。

$$\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 10\%$$

式中, F_0 为试样原始截面积;

F 为试样拉断后最小截面积。

显然, 材料的 δ 和 ψ 越大, 则塑性越好。强度、硬度高的材料, 一般是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, 而其它如拉伸、弯曲试验方法则不适用。对于塑性材料, 可以通过简便的硬度测量, 对其它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

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, 以试样压痕的表面积 A 去除负荷所得的商, 作为硬度的计算指标, 用符号 HB 表示。实验时负荷 P 、钢球直径 D 皆为定值, 故在实验时只要测出 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。

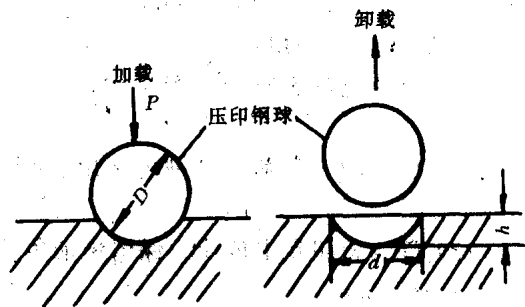


图 1—5 布氏硬度试验原理

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

在进行布氏硬度实验时, 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这点而言, 硬度和抗拉强度有相似之处, 故三者间存在着一定程度的线性关系。其经验换算公式为:

$$\text{碳素钢 } HB \approx \delta_b / 3.4 \sim 3.6;$$

表 1-1

布氏硬度试验规范

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

合金调质钢 $HB \approx \delta_b / 3.25$;

铝铸件 $HB \approx \delta_b / 0.26$ 。

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、偏析严重的材料的硬度测量。但是，由于压痕面积较大，而不适于检验小件、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，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° 金钢石圆锥或直径为 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—6a 所示。

第二次负荷为主负荷，分别可选用 500N 或 900N 或 1400N，压痕深度为 h_2 ，如图 1—6b 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—6c 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，即是：

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

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，其适用范围如表 1—2 所示。

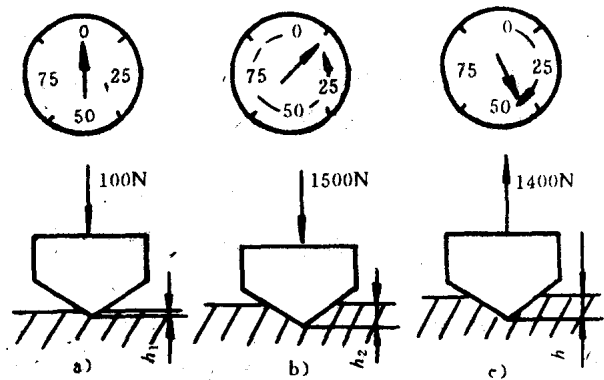


图 1—6 洛氏硬度试验原理

表 1-2

洛氏硬度试验规范

金 属	布氏硬度值范围 HB	试样厚度 (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	
有色 金属	>130	>6	10.0	1000	10
		6~3	5.0	2500	
		4~2	5.0	7500	
	36~130	9~3	10.0	10000	30
		6~3	5.0	2500	
		>6	10.0	2500	

洛氏硬度试验之优点是：压痕面积较小，可检测成品、小件和薄件；测量范围大，从很软的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。 a_k 是试样在一次冲击试验时，缺口处单位截面积 (m^2) 上所消耗的冲击功 (MJ)，其单位为 MJ/m^2 。冲击韧性可用下式求出：

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

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)。

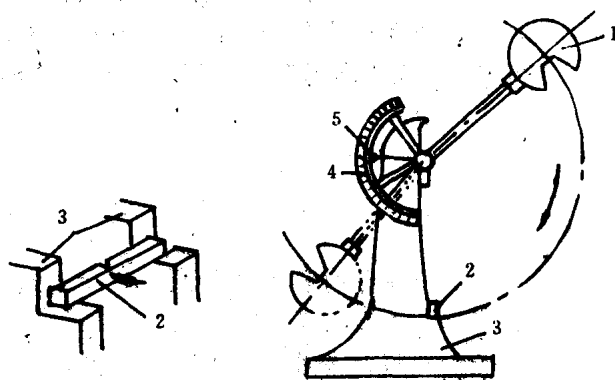


图 1-7 冲击试验简图

1-摆锤； 2-试样； 3-支座； 4-表盘； 5-指针

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。

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性, 以确定材料的冷脆转变温度。

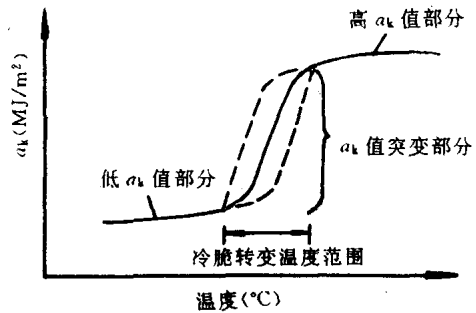


图 1—8 冷脆转变温度

五、疲劳强度

许多零件和制品, 经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测定的。按照材料承受的改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。

疲劳曲线表明, 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} 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。

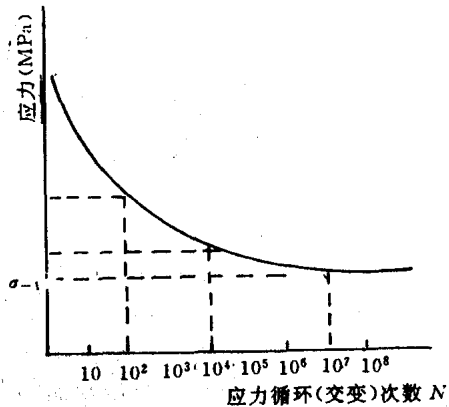


图 1—9 疲劳曲线

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_s 、 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、直径为 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?