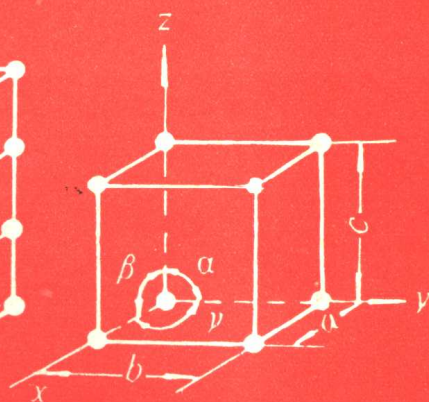
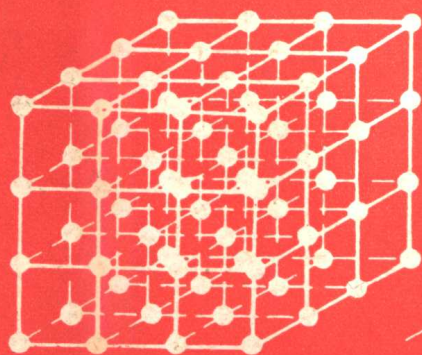
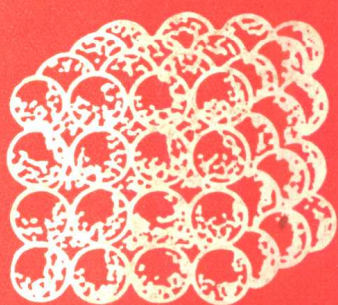


941490

高等学校教学用书

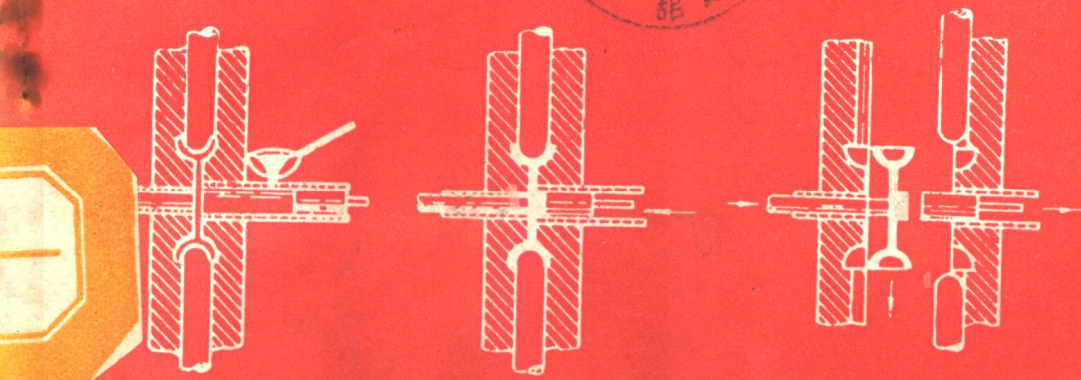
TG
0733



郭治安 周汉民 主编

热加工工艺基础

热加工工艺基础



中国矿业大学出版社

高等学校教学用书

热加工工艺基础

郭治安 周汉民 主编

中国矿业大学出版社

(苏)新登字第010号

内 容 提 要

本书是根据国家教委课程指导小组1986年颁发的高等工业学校《工程材料及机械制造基础》中《热加工工艺基础》课程教学基本要求,并结合煤炭生产实际编写的。

本书内容包括常用工程材料及毛坯生产方法与毛坯选用两大部分,共两篇十三章。在讲述毛坯生产的主要方法铸造、锻压、焊接时,加强了对各工艺的综合对比分析;毛坯质量与经济性的分析;以及典型零件、典型工艺的分析。对于毛坯质量、毛坯结构工艺性、毛坯选择等内容都做了专章论述,增加了新工艺新技术的比重,并且全面贯彻了新国标。

本书可作为高等工科院校机械类、近机类、管理类各专业教材,也可供大学专科、职工大学、函授大学相应专业使用,还可供有关专业工程技术人员和技术工人阅读参考。

责任编辑 安乃勇

技术设计 周俊平

高等学校教学用书

热加工工艺基础

郭治安 周汉民 主编

中国矿业大学出版社出版

新华书店经销 中国矿业大学印刷厂印刷

开本 787×1092毫米1/16 印张 13.5 字数 328千字

1991年12月第一版 1991年12月第一次印刷

印数: 1—5200册

ISBN 7-81021-536-1

TH·8

定价: 3.50元

前 言

1986年国家教委《工程材料及机械制造基础》课程 指导小组 颁发了该课程的教学基本要求。煤炭系统高校金工研究会，在部教编室积极支持下，为贯彻上述基本要求，于1989年7月决定组织有长期教学经验，业务能力较强的教师成立本课程教材编写组，编写《热加工工艺基础》、《机械加工工艺基础》、《金工实习》一套三册教学用书，供煤炭高等院校机械类、近机类、企管类专业使用。鉴于目前各校实际教学情况，《工程材料》专册暂不编写。

《热加工工艺基础》是《工程材料及机械制造基础》这套教材的第一册，讲述内容包括工程材料的基本知识及毛坯的制造与选择两大部分，和同时编写的金工实习教材配套使用。为适应现代化生产技术的需要，尽可能将传统工艺中有关加工方法、设备及工装等内容编入实习教材，本书不再重复。

本书在编写时，突出了以下几方面特点：

一、以毛坯成型为中心，加强了各生产工艺的综合比较，注意了毛坯生产的质量和经济性分析，突出了毛坯结构工艺性在教材中的位置。不单纯以铸、锻、焊体系分散论述，以利学生对各项热加工工艺的融会贯通。

二、贯彻了教材为经济建设服务的宗旨，结合煤炭生产需要，反映煤炭院校教材特色。内容选择上注意以制造为主，兼顾修配的原则，增加煤炭生产中常用材料和工艺的比重，并结合一部分煤炭机械零部件，进行典型工艺分析。

三、去旧增新，及时反映新技术、新工艺、新材料。并全面贯彻了新的国家标准。

四、为适应当代材料科学发展的现状及煤炭系统各类高校的教学需要，在第一篇中增加了对非金属材料的介绍。

参加本书编写工作的有：周汉民（绪论、第一、二、三、四章），赵越超（第五章），朱福顺（第六章），耿行易（第七、十二章），杨鸿彰（第八章），王昌（第九章），郭治安（前言、第十、十三章），张勤（第十一章）。全书由郭治安教授、周汉民副教授任主编。

本书编写过程中得到了中国矿业大学、山西矿业学院、焦作矿业学院、黑龙江矿业学院、阜新矿业学院、淮南矿业学院、西安矿业学院等有关领导的积极支持。本书由安乃隽任主审，冉淑贵等同志参加了审定，全书插图由曾华、张保强、刘培生绘制，在此深表感谢。

由于编者的理论水平、实践能力和教学经验有限，本书难免出现错误，诚恳希望各校师生及广大读者批评指正。

编 者

一九九〇年十二月

目 录

绪 论	(1)
-----	-------

第一篇 工程材料基本知识

第一章 工程材料及其主要性能	(8)
第一节 工程材料的分类	(8)
第二节 金属材料的机械性能	(4)
第二章 金属材料基本知识	(11)
第一节 金属的晶体结构及结晶	(11)
第二节 铁碳合金	(14)
第三节 钢的热处理	(20)
第三章 常用金属材料	(25)
第一节 钢	(25)
第二节 常用有色金属	(28)
第三节 粉末冶金材料	(31)
第四章 常用非金属材料	(33)
第一节 高分子材料*	(33)
第二节 陶瓷材料	(40)
第三节 复合材料	(43)
第四节 铸石	(44)

第二篇 毛坯的制造与选择

第五章 铸件生产	(46)
第一节 合金的铸造性能	(46)
第二节 铸铁件生产	(51)
第三节 铸钢件生产	(58)
第四节 有色合金铸件生产	(62)
第六章 铸造工艺	(66)
第一节 砂型铸造的基本工艺	(66)
第二节 特种铸造	(83)
第三节 各种铸造方法的比较	(90)
第七章 锻造	(92)
第一节 金属的塑性变形	(92)
第二节 金属锻压加工的基本原理	(95)
第三节 自由锻造	(97)
第四节 模型锻造	(102)
第五节 先进模锻工艺	(109)

第八章 板料冲压及其它压力加工方法	(112)
第一节 板料冲压.....	(112)
第二节 其它压力加工方法.....	(121)
第九章 焊接方法与工艺	(125)
第一节 手工电弧焊.....	(127)
第二节 其它熔化焊.....	(131)
第三节 压力焊.....	(140)
第四节 钎 焊.....	(144)
第五节 焊接与切割新工艺.....	(146)
第十章 常用金属的焊接	(152)
第一节 焊接接头的金相组织与性能.....	(152)
第二节 金属材料的可焊性.....	(154)
第三节 钢的焊接.....	(155)
第四节 灰铸铁的焊补.....	(158)
第五节 有色金属的焊接.....	(159)
第六节 异种金属的焊接.....	(162)
第十一章 毛坯制造质量	(164)
第一节 毛坯质量概念及提高质量的意义.....	(164)
第二节 毛坯生产中的应力、变形及防止.....	(164)
第三节 毛坯常见缺陷及预防措施.....	(170)
第四节 毛坯的无损检验.....	(174)
第十二章 毛坯结构工艺性	(177)
第一节 毛坯结构应有利于保证毛坯质量.....	(177)
第二节 毛坯结构应有利于提高生产率.....	(184)
第三节 毛坯结构应符合经济性原则.....	(187)
第四节 毛坯结构设计的其它原则.....	(187)
第五节 铸、锻、焊件结构设计举例.....	(188)
第十三章 毛坯选择	(192)
第一节 机械零部件失效形式.....	(192)
第二节 毛坯材料选择.....	(195)
第三节 毛坯选材的经济性分析.....	(198)
第四节 毛坯生产方法的选择.....	(199)
第五节 毛坯质量与切削加工的关系.....	(200)
附 录	(203)
附录一 焊条牌号编制方法(GB980—76).....	(203)
附录二 焊条新国标中“焊条型号”的编制方法(GB 5117—85).....	(204)
附录三 焊剂牌号编制方法.....	(206)
附录四 碳素结构钢新旧GB700标准牌号对照.....	(207)
参考文献	(208)

绪 论

“工程材料及机械制造基础”是一门以研究机械制造过程中,各种机件加工方法为主的综合性技术科学。它讲述各种工艺方法的原理、特点、自身的规律及其在生产中的应用和相互之间的联系;各种机件的加工过程及结构工艺性;以及常用材料的性能;毛坯选择与制造的经济性原理。通常,制造机器的主要材料是金属材料,故传统上,此门学科也称作“金属工艺学”。

“金属工艺学”是人类长期生产经验的总结。它有两个显著的特点:一是它的实践性与实用性,即它与生产实践紧密结合,是一门应用科学;二是它的综合性与广泛性,即它涉及多种材料的多种加工工艺,涉及广泛的学科领域和技术部门,与国民经济建设有密切关系。

机械制造工业的规模与水平,是衡量一个国家科技水平和经济实力的重要标志。经验证明,机械制造工业的优先发展是实现工业化的战略原则。日本把机械工业看成是“经济起飞的先导部门”,是“实现经济良性循环的纲”;苏联过去把机械工业叫做“工业的心脏”,现在称作“国民经济技术改造的基础”;美国则把机械工业称作“国民经济的命脉”。由此可见,机械工业在国计民生中占有突出的地位。

任何一台机器,都是由许多零、部件装配而成的,都是按设计图纸加工制造的,都是由制造机械零件开始的。机械产品从设计、选材、制造到装配出厂的全过程可由图 0-1 表示。

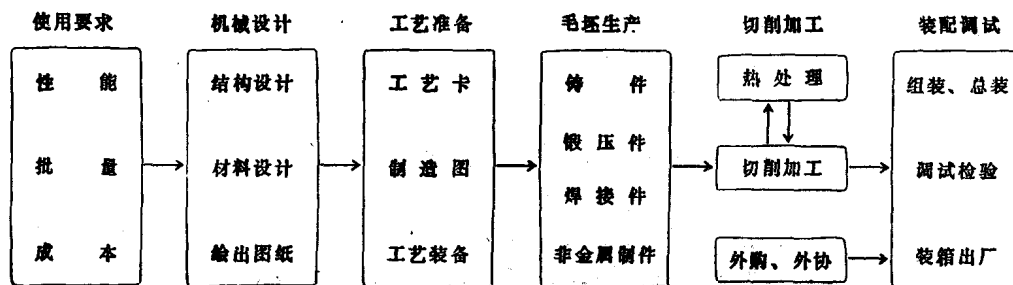


图 0-1 机械制造流程图

制造机械零件主要的加工方法有铸造、压力加工、焊接、切削加工、特种加工和热处理。在制造机械零件的过程中,通常先用铸造、压力加工或焊接等工艺方法制成毛坯,再进行切削加工,获得形状、尺寸精度合格的零件。为了改善零件内部组织及性能,常需进行热处理。在以上各种加工方法中,铸、焊、切削加工是将原材料加工成所需的几何形状,热处理是使金属制件获得必要的加工与使用性能,而锻造除了获得一定的几何形状外,改善金属内部组织,提高机械性能也是它的一个重要任务。

制造机械零件的材料种类繁多,加工方法各异。究竟选用哪种材料,哪些加工方法,这就需要综合考虑使用性能要求,零件形状、大小,生产批量,加工设备等各种因素的优化组合,以便加工出成本低,质量高的零件。

金属工艺学是在上述生产实践中产生并发展起来的。智慧的中国人民在冶铸技术与

机械制造方面早就有了卓越的成就。在六、七千年前的原始社会末期,已开始用火烧制陶器,发明了原始织机和制陶转轮,后者已具有车削加工机构的雏形。在商朝,已进入青铜器全盛时期。战国时,开始大量使用铁器,辘轳,滑轮,绞车等各种机械广泛应用,各种兵器、战车和战船迅速发展。秦汉时,金属材料的冶铸,锻焊技术已达到相当高的水平,出现了齿轮、绳带、链条传动和齿轮轮系传动系统。1980年出土的秦始皇陵铜车马,其造型优美威严,结构完整,制作精良,反映了当时高超的机械设计与制造水平。东汉时出现的冶金鼓风水排,由水轮、带、杆传动系统和鼓风机组成,作为马克思所定义的“发达的机器”在中国首先出现。宋、元时期,农业机械,从耕地、播种到粮食加工已经配套;天文仪器、造船和航海技术,纺织机械领先世界;冶金、兵器、纺织、陶瓷、造纸和印刷等技术传至国外,对世界文明的发展产生了一定的影响。

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。

但是,由于我国长期的封建集权统治,特别是鸦片战争后的一百多年来,帝国主义、封建主义、官僚资本主义的深重压迫,严重地阻碍了我国科学技术的发展。在解放前,我国几乎没有独立的机器制造业,使我国的科学技术在近代远远地落后于工业发达国家。

1949年,新中国成立,建立了真正独立自主的工业体系。中国机械业得到了新生,不但发展了拖拉机、汽车、船舶、航空、机床、矿山机械、精密仪表等许多现代工业,而且成功地发射了洲际导弹,爆炸了原子弹、氢弹,回收了地球卫星。钢的产量由建国初期的年产177万吨,增加到1989年的6000万吨。机械制造业迅速发展,不仅能生产各种现代机床,还能制造出数十万吨级远洋货轮,大型发电设备、化工设备、采矿设备等高档次的产品,应用了成组技术与加工中心,并将计算机等新型控制系统引入机械制造领域。以上事实,标志着我国机械加工业已发展到一个崭新的水平,显示了机械制造业在实现我国四个现代化的进程中所起的重要作用。

但是,我国的机械制造工业与世界先进水平的差距还很大,赶上并超过世界先进水平是从事机械产品设计与制造的工程技术人员义不容辞的责任。

在高等工业学校中,开设“工程材料与机械制造基础”课程,其目的是使学生了解常用工程材料的性质及其加工工艺的基础知识,并对学生进行一次全面的工程师素质的基本训练,为学习其他课程及将来从事社会主义建设,奠定必要的材料及工艺基础。

学习本课程的基本要求是:

1. 了解常用工程材料的一般性质,应用范围和选用原则。
2. 初步掌握各种主要加工方法的基本原理、特点、应用范围。
3. 了解各种主要加工方法所用设备,刀具及工具的结构特点、工作原理和应用范围。
4. 了解零件的结构工艺性,常用金属材料的工艺性及生产的经济性,具有初步选择材料和加工方法的能力。
5. 初步了解新材料、新工艺、新设备在机械制造中的应用及动向。

鉴于本课程是一门技术性、实践性很强的技术基础课。必须在学生金工实习之后,即获得必要的感性知识之后,进行“热加工工艺基础”及“机械加工工艺基础”的讲授。在教学过程中,还必须把实习、实验与课堂教学有机结合起来,互相补充,密切配合,才能达到预期的目的和要求。

第一篇 工程材料基本知识

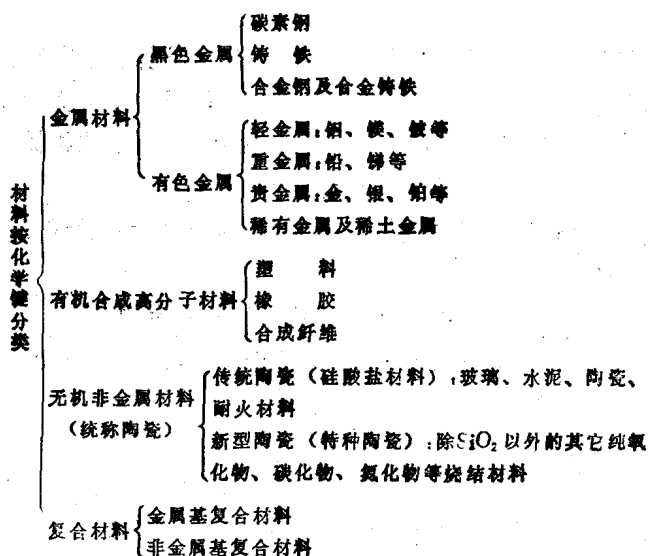
第一章 工程材料及其主要性能

现代工业技术与材料发展密切相关。现代机械的发展与科学技术的进步,不断要求生产出更多更好的材料。当今主要材料,已不再只是金属,近二、三十年来,金属与非金属互相补充、互相结合。金属材料、高分子材料、陶瓷材料已组成了一个完整的材料体系,形成了材料科学。

材料科学的任务是研究所有材料的成分、结构和性能之间的相互关系。而“工程材料学”则主要阐述结构材料的成分、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、塑性等机械性能的工程结构和机器零件材料以及工具材料。学习工程材料学基本知识为正确选材和合理用材提供必要的理论基础。

第一节 工程材料的分类

根据固体材料中化学键的特点,工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料等四大类:



材料按化学键分类的性能比较见表 1-1。

表1-1 材料按化学键分类的性能比较

材料种类	化学组成	化 合 键	主要特性
金属材料	金属元素	金属键	有光泽、导热、导电，强度、塑性、刚度较高
高分子材料	碳、氢、氧、氮、氟等	共价键、分子键	轻、比强度高、高弹性、高塑性、耐腐蚀、绝缘好
陶瓷材料	氧和硅或其他金属的化合物、碳化物、氮化物	离子键、共价键	耐高温、抗腐蚀、绝缘好、硬度高、塑性差
复合材料	金属、无机非金属材料、高分子材料	复杂结合键	比强度大、比模量大、抗疲劳、减震、耐高温。

第二节 金属材料的机械性能

金属材料在现代工农业生产、交通运输、国防与科学技术等各个部门都占有极其重要的地位。金属材料品种繁多，工程上常用的有黑色金属、有色金属、粉末冶金材料等，主要用于制造机器零件、金属结构件，工具及各种日常生活用品。为了充分认识各种材料的特点，更有效地发挥材料的潜力，必须了解材料的性能。

材料性能包括使用性能和工艺性能两方面。使用性能是指材料在工作条件下表现出来的性能，如机械性能、物理性能和化学性能；工艺性能是指材料在加工过程中表现出来的性能，如铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。这里仅介绍金属材料的主要机械性能。金属材料的工艺性能及某些特殊性能将在以后各章节中分别介绍。

金属材料的机械性能，也称力学性能，即受外力作用时所反映出来的性能。零件在服役条件下，会受到静载荷，冲击载荷，或者交变载荷的作用。用于衡量在静载荷作用下的机械性能指标有强度、刚度、塑性、硬度等；在冲击载荷作用下的机械性能指标有冲击韧性；在交变载荷作用下的机械性能指标有疲劳强度等。

机械性能指标，是设计计算、选择材料、工艺评定以及材料检验的主要依据。

一、弹性、强度与塑性

金属材料的弹性、强度与塑性指标是通过拉伸试验测定的。

标准拉伸试样(如图1-1a所示)在外加载荷的作用下，沿轴向逐渐伸长，直至拉断。在拉伸过程中，试验机自动记录每一瞬间的载荷 P 与相应的伸长量 Δl ，并绘出拉伸曲线。图1-2所示为低碳钢的拉伸曲线。

试验表明：当载荷小于 P_s 时，试样的变形是弹性变形，即卸荷后试样将迅速恢复原状。当载荷超过 P_s 后，试样除发生弹性变形外，还伴随着塑性变形的发生，此时卸荷后，试样不能恢复到原始长度，这是因为其中的弹性变形虽然恢复，而塑性变形则做为永久变形被保留下来的缘故。当载荷增加到 P_s 以后，拉伸曲线上出现了平台或锯齿，即载荷虽不增加，试样却继续产生塑性变形而伸长，这种现象称为“屈服”， S 点称为屈服点。屈服后，试样开始产生明显的均匀塑性变形。当载荷达到最大值 P_b 后，试样的某一部位截面开始急剧缩小，出现了缩颈(图1-1b)。以后的变形主要集中在缩颈附近，由于缩颈处截面急剧缩

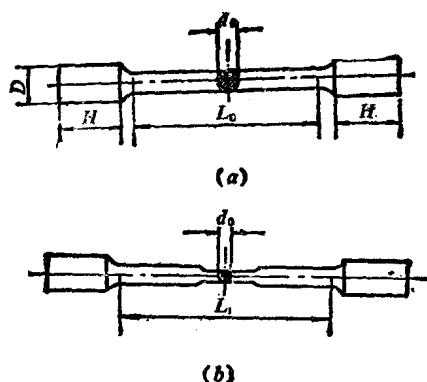


图1-1 拉伸试样
a—拉伸前； b—拉伸后

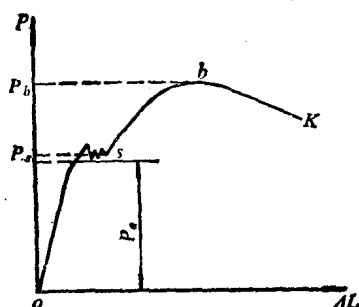


图1-2 低碳钢拉伸曲线

小,致使继续变形所需载荷下降,到达 P_s 时,试样断裂。

综上所述,金属材料在外力作用下,变形过程一般可分为三个阶段:弹性变形,弹塑性变形和断裂。

为使拉伸曲线能直接反映出材料的机械性能,通常将纵坐标的载荷用应力 σ 表示,横坐标的绝对伸长量用应变 ϵ 表示。

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \text{ MPa (兆帕)}$$

式中 P ——载荷,N(牛顿);

F_0 ——试样原始截面积, mm^2 (毫米²)。

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \times 100\%$$

式中 Δl ——绝对伸长量,mm(毫米);

L_0 ——试样的标距长度,mm。

应力与应变的关系曲线,叫做应力—应变曲线。

(一) 弹性

是指金属材料承受载荷时产生变形,卸荷后又能恢复原状的能力。衡量弹性的力学指标有:

1. 弹性极限 σ_e 是指金属材料保持弹性变形时的最大应力,或者说是材料抵抗微量塑性变形的能力。

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

式中 P_e ——弹性极限载荷,N。

工作条件不允许产生微量塑性变形的机器零件,应根据规定的弹性极限数值来选材,设计弹簧时,须采用 σ_e 高的材料。

2. 弹性模数 E 金属材料在弹性范围内,应力与应变的比值称为弹性模数,即 $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$,表示金属抵抗弹性变形的能力,其值的大小反映该金属产生弹性变形的难易程度。

金属零件或构件产生弹性变形的难易程度称为刚度。

$$\text{刚度} = \frac{\text{载荷}}{\text{变形}}$$

亦即刚度是产生单位弹性变形所需的载荷值。在同样载荷下,刚度越大,产生的弹性变形越小。

在单向拉伸条件下,金属制件的刚度

$$Q = \frac{P}{\Delta l} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \cdot \frac{F_0}{L_0} = E \cdot \frac{F_0}{L_0}$$

由此可见,刚度取决于材料的弹性模数和制件的几何尺寸。式中 E 是决定构件刚度的材料性能; $\frac{F_0}{L_0}$ 是决定构件刚度的几何尺寸。

必须强调指出,弹性与刚度是完全不同的两个概念,弹性表征材料弹性变形的能力,刚度表征材料弹性变形的抗力,不能混为一谈。

一般机器零件通常都在弹性状态下工作,均有一定的刚度要求,如曲轴、机床主轴、镗床镗杆等,均应选用弹性模数高的材料。

(二) 强度

是指金属材料在外力作用下,抵抗变形与断裂的能力。主要的强度指标有:

1. 屈服强度 σ_s 。又称屈服极限,是指金属材料开始发生屈服现象时的应力,表示金属抵抗明显塑性变形的能力。

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

式中 P_s ——试样产生屈服现象时的载荷,N。

工程上使用的金属材料,多数没有屈服现象,如铸铁。对于此类材料,工程界规定产生0.2%塑性变形时的应力作为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示,称为条件屈服强度。

2. 抗拉强度 σ_b 。又称强度极限,是指金属试样在拉断前所能承受的最大应力。表示材料抵抗最大均匀变形的能力。

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

式中 P_b ——试样拉断前所承受的最大载荷,N。

屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 是设计机器零件和选择、评定金属材料的重要机械性能指标。因为金属制件不允许在超过其 σ_s 条件下工作,否则会产生塑性变形;也不允许承受超过 σ_b 的应力,否则将会发生断裂而破坏。

除上述外,材料的强度指标还有抗剪强度(τ_b),抗压强度(σ_{bs}),抗弯强度(σ_{bb})等。通常,它们与 σ_b 存在着一定的比例关系。

(三) 塑性

是指金属材料在外力作用下,产生永久变形而不破坏的能力。通常用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

1. 延伸率 δ 试样拉断后的绝对伸长量与原始长度之比值的百分率。

$$\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度,mm,

L_k ——试样拉断后的标距长度,mm,

必须注意,延伸率的数值与试样尺寸有关,因此,试验要对试样尺寸做出规定,以便相互比较。如 $L_0 = 10d_0$ 时,用 δ_{10} 表示; $L_0 = 5d_0$ 时,用 δ_5 表示。同一材料的 δ_{10} 与 δ_5 数值是不相等的。

2. 断面收缩率 ψ 试样拉断后,其缩小的截面面积与原始截面面积之比值的百分率。

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

式中 F_0 ——试样原始截面积, mm^2 ;

F_k ——试样拉断后的断口截面积, mm^2 。

δ 与 ψ 数值越大,则材料塑性越好。优良的塑性是金属材料进行锻造、轧制或冲挤成型的必要条件。

二、硬度

是指金属材料抵抗更硬物体压入其表面的能力,或者说在一个小的体积范围内抵抗弹性变形,塑性变形或破断的能力。硬度是一个反映材料弹性、塑性、强度和韧性等一系列物理量的综合机械性能指标。通常,需要耐磨的机器零件或工模量具,都要求具有足够高的硬度。但硬度过高,又会给切削加工造成困难。

硬度通常是用硬度计来测定的,常用的有布氏硬度计和洛氏硬度计。用布氏硬度计测定的硬度,称布氏硬度;用洛氏硬度计测定的硬度,称洛氏硬度。

(一) 布氏硬度

布氏硬度是以规定的载荷 P ,把直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球,垂直地压入被测金属表面(图1-3a),保持一定时间后卸载,将其压痕面积除以载荷所得的商值即为布氏硬度值,用HB表示。

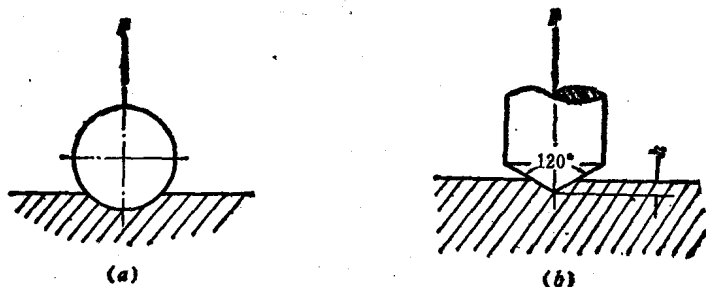


图 1-3 硬度测定

a—布氏硬度的测定; b—洛氏硬度的测定

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

式中 P ——所加载荷, kg;

F ——压痕面积, mm^2 ;

D ——钢球直径, mm;

d ——压痕直径, mm。

如上所述,布氏硬度值的大小就是压痕单位面积上所承受的压力。一般只标出数值而不标出单位。按照GB 231—84《金属布氏硬度试验方法》规定,用淬火钢球为压头测出

的硬度值,用 HBS 表示,适用于测定硬度小于 HB450 的退火、正火、调质状态下的钢、铸铁及有色金属等较软金属的硬度;用硬质合金球为压头测出的硬度值,用 HBW 表示,适用于测量硬度在 HB 450~650 间的淬火钢材。

在实际应用时,无需计算压痕面积,只要用放大镜测出压痕直径,然后根据压痕直径查表,即可得布氏硬度值。因布氏硬度值的大小与实验条件(压头直径,载荷大小,停留时间)有关,因此,须标出实验条件。一般规定,当钢的硬度实验条件是:采用钢球直径为 10 mm,载荷为 3000kg,压入时间为 10"时,符号 HB 右下角不加注说明;若不在上列范围时须加注说明,如 HBS_{10/1000/15}180,即表示采用 10 mm 直径钢球,在 1000kg 载荷下保持 15",测出的布氏硬度值为 180。

布氏硬度法的优点是测量方法简单,数值较准确。但压痕较大,不适宜检查成品和太薄的工作,且受钢球本身硬度的限制,不宜测量硬度太高的材料。

由于硬度是反映金属材料弹性、塑性、强度和韧性的综合性能指标,故硬度与强度之间有一定的关系,表 1-2 中的经验数据可供参考。

表 1-2 常用金属材料的布氏硬度与强度换算表

钢 种	低 碳 钢	高 碳 钢	调 质 合 金 钢	灰 铸 铁
σ_s	$\approx 0.36\text{HBS}$	$\approx 0.34\text{HBS}$	$\approx 0.325\text{HBS}$	$\approx 0.10\text{HBS}$

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为 1.588mm 的淬硬钢球作压头,在规定载荷下垂直压入被测金属表面,然后根据压痕深度确定硬度值。用符号 HR 表示,如图 1-3b 所示。

$$\text{HR} = \frac{k - h}{c}$$

式中 k ——为适应人们习惯上数值越大,硬度越高的概念,人为规定的常数,

$$k = 0.2\text{mm},$$

h ——压头压入深度,mm,

c ——一个洛氏硬度单位, $c = 0.002\text{mm}$ 。

洛氏硬度是一个无量纲的量,是压头压入各种金属材料的深度比较。实际应用时,可直接从刻度盘上读出。根据所用压头及载荷大小的不同,常用的洛氏硬度又分为 A、B、C 三种:

1. HRA——采用金刚石圆锥压头,60kgf 载荷,测得的洛氏硬度值。它的应用范围为 HRA70~85,用以测量表面淬火层,渗碳层或硬质合金等薄层或高硬度材料。

2. HRB——采用 1.588mm 直径钢球作压头,100kgf 载荷,测得的洛氏硬度值。应用范围是 HRB20~100,用以测量有色金属,退火和正火等较软金属。

3. HRC——采用金刚石圆锥压头,150kgf 载荷,测得的洛氏硬度值。应用范围是 HRC20~67,用以测量调质钢,淬火钢等较硬金属。

洛氏硬度法操作简便,效率高,压痕小,应用不同规范可测量较软,很硬或较薄的成品件。其缺点是压痕小,读数不够准确,故需多测几点,取其平均值。

三、冲击韧性

许多机器零件(如锻锤的锤杆,冲床的冲头,火车挂钩等)和工具,是在冲击载荷下工作的。由于冲击载荷所引起的应力与变形比静载荷大得多,因此,设计制造受冲击载荷作用的零件时,必须考虑其冲击韧性。

金属材料抵抗冲击载荷的能力,叫做冲击韧性,用 a_k 值或 A_k 值表示。通常用摆锤式冲击试验机来测定,如图 1-4 所示。

试验时,先将欲测定的材料加工成带缺口的标准试样,放在试验机的支座 3 上,然后用摆锤 1 将试样一次冲断,冲击值(冲击韧性) a_k 可用下式求出:

$$a_k = \frac{A_k}{F} \quad \text{J/cm}^2$$

式中 A_k ——冲断试样所消耗的冲击功, J;

F ——试样缺口处横断面积, cm^2 。

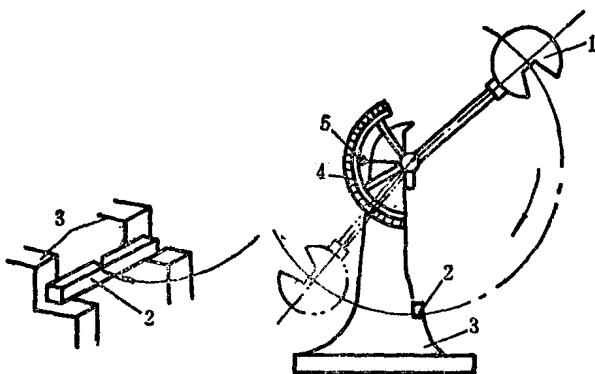


图1-4 冲击试验简图

1—摆锤; 2—试样; 3—支座; 4—表盘; 5—指针

缺口的作用是: 在缺口附近造成应力集中,使塑性变形局限在缺口附近,并保证在缺口处发生破断,以便正确测定材料承受冲击载荷的能力。同一种材料,试样的缺口愈深,愈尖锐,塑性变形的体积愈小,冲击功愈小,材料表现脆性愈显著。因此,不同类型的尺寸试样的冲击值,不能相互换算和直接比较。对于铸铁和工具钢等脆性材料,因其脆性大而冲击值低,作冲击试验时,试样一般不开缺口。

a_k 值对组织缺陷很敏感,它能灵敏地反映出材料的品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化,因而在生产上常用来检验原材料缺陷及铸、锻件、热处理工艺的质量。

目前国际上许多国家直接采用冲击功 A_k 作冲击韧性指标,其国际单位为焦耳,单位符号为 J。

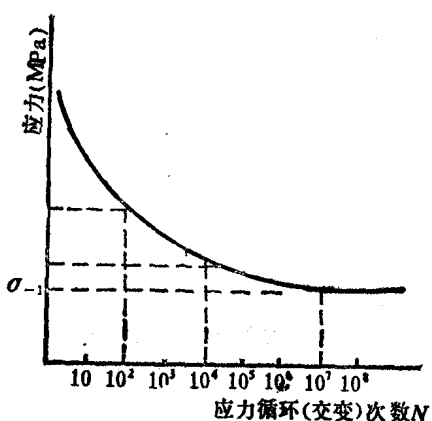


图1-5 疲劳曲线

四、疲劳强度

疲劳强度, 又称疲劳极限。是指金属材料受无数次重复交变应力作用而不断裂的最大应力。当其应力呈对称循环时, 疲劳强度用 σ_{-1} 表示。材料的疲劳极限通常是在旋转对称弯曲疲劳试验机上测定的, 按照金属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(图 1-5)。

材料承受 N 次应力循环而不断裂的最大应力, 称为该材料的条件疲劳极限。通常, 钢材 $N = 10^7$; 有色金属 $N = 10^8$ 。

材料的疲劳破坏, 起初是由于材料内部缺陷, 表面划伤, 加工或设计不当等因素, 引起的局部应力集中, 导致微裂纹的产生。微裂

纹随着应力循环次数的增加而扩展,最终导致材料突然断裂。为防止材料的疲劳破坏,除正确选材外,在设计时应避免截面突然变化,防止产生应力集中;在制造时零件表面应尽可能光洁;必要时可对零件进行渗碳、氮化、喷丸或高频淬火等表面强化处理。

五、断裂韧性

是指金属材料抵抗裂纹扩展的能力。它是金属材料的另一特征参量,不同的材料具有不同的断裂韧性,即具有不同的抵抗裂纹扩展的能力。

带有裂纹的构件,其裂纹按其受力情况不同,有三种基本形式,如图 1-6 所示。

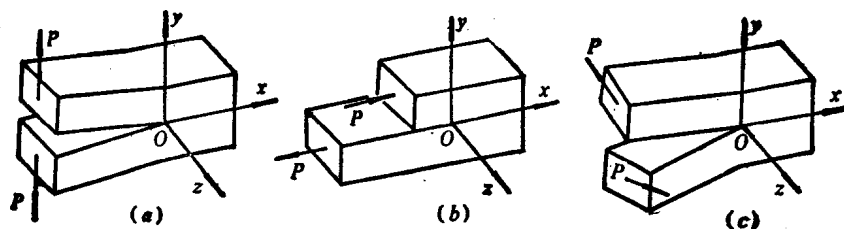


图1-6 裂纹的三种基本类型

a—张开型; b—滑开型; c—撕开型

张开型裂纹,其外加应力与裂纹面垂直,是最常见的受力与裂纹扩展形式,且具有最大的危险性,是研究的重点。

对于张开型裂纹(如图 1-7 所示)来说,金属材料的断裂韧性与工作应力及裂纹尺寸间有如下关系:

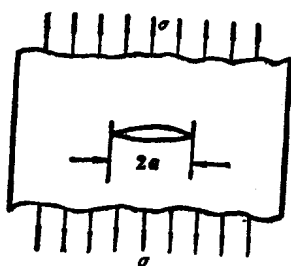


图1-7 张开型裂纹示意图

$$k_{Ic} = \sigma \sqrt{\pi a}$$

式中 k_{Ic} ——金属材料的断裂韧性, $\text{N}/\text{mm}^{\frac{3}{2}}$;

σ ——工作应力, MPa ;

a ——裂纹的半宽度, mm 。

上式又称为裂纹扩展的判据(临界条件),其物理意义是:

- 1) 当材料的断裂韧性为 k_{Ic} , 裂纹尺寸为 $2a$ 时, 裂纹不扩展的最大工作应力为 σ ;
- 2) 当材料的断裂韧性为 k_{Ic} , 工作应力为 σ 时, 构件上允许的最大裂纹尺寸为 $2a$;
- 3) 当裂纹尺寸为 $2a$, 工作应力为 σ 时, 所用材料的断裂韧性必须大于 k_{Ic} , 才能确保构件安全使用。

所以,断裂韧性是材料的特征参量,是工程构件设计时必须考虑的韧性指标。

第二章 金属材料基本知识

第一节 金属的晶体结构及结晶

一、金属的晶体结构

在金相显微镜下观察, 固体金属是由无数个微小的金属颗粒镶嵌而成的。由 x 射线结构分析可知, 在每一个金属微粒中, 金属原子呈有序规则排列; 在固体物理学中, 将原子呈有序规则排列的固体称为晶体。所有金属在固态下一般都是晶体。

晶体中原子规则排列的方式称为晶体结构。为了便于研究金属的晶体结构, 提出以下基本概念。

(一) 晶格与晶胞

1. 晶格 把晶体中的原子中心用假想的直线联接起来, 形成的空间格子, 称为晶格(如图 2-1b 所示)。晶格内各种不同方位的原子平面叫晶面, 各种方向上的原子列叫晶向。

2. 晶胞 晶格中的基本单元叫晶胞(图 2-1c 所示)。晶胞的重复排列构成晶格, 并形成晶体(图 2-1a 所示)。

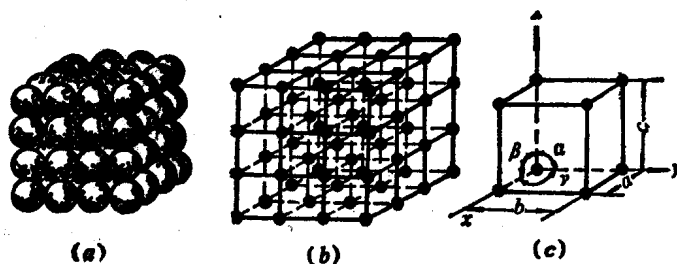


图2-1 晶体、晶格与晶胞的示意图

a—晶体中原子的排列; b—晶格; c—晶胞

研究晶体结构就是研究晶胞的基本特性。晶胞的几何特性可以用晶胞的三条棱边长度 a, b, c 和三条棱边之间的夹角 α, β, γ 来描述。 $a, b, c, \alpha, \beta, \gamma$ 称为晶胞的六个参数, a, b, c 称为晶格常数。

(二) 两种常见的晶格类型: 体心立方晶格与面心立方晶格

1. 体心立方晶格(如图 2-2a) 其晶胞是一个立方体, 金属原子排列在立方体的中心和八个结点上。具有这种晶格的金属有 Cr, Mo, W, V, α -Fe 等。其晶格的致密度为 0.68, 即晶格中有 68% 的体积被原子所占据, 其余为空隙。

2. 面心立方晶格(如图 2-2b) 其晶胞也是一个立方体, 金属原子排列在立方体六个面的中心和八个结点上。具有这种晶格的金属有 Cu, Al, Ni, Pb, Au, Ag, γ -Fe 等。其晶格的致密度为 0.74。由此可见, 面心立方晶格原子排列的紧密程度高于体心立方晶格。