

高等学校通用教材



机械工程材料

王爱珍◎主编



北京航空航天大学出版社

高等学校通用教材

机械工程材料

王爱珍 主编

北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

本教材是在 2003 年作者出版的《工程材料及成形技术》和 2006 年出版的《工程材料与改性处理》基础上,根据高校机械类专业学科调整和课程教学基本要求,以必需与够用为度,精简教材内容体系而重新编写,并重点突出金属材料的力学性能、组织结构、热处理原理及工艺、表面处理工艺以及非金属材料 and 新型材料等。

内容包括金属材料力学性能、金属材料组织结构、金属材料热处理、金属材料表面处理、钢材与铸铁材料、非铁与非金属材料、工程材料及工艺选择共 7 章,各章前设有导读,章后附有思考练习题,并另配有多媒体电子教案供参考。

本教材可作为高等工科院校机械类各专业通用教材,也可作为民办高校机械类或近机类专业教材、高等工业专科院校机械类各专业教材,还可供教师、机械类工程技术人员与职业技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/王爱珍主编. —北京:北京航空航天大学出版社,2009.2

ISBN 978-7-81124-564-6

I. 机… II. 王… III. 机械制造材料—高等学校—教材
IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 000176 号

机械工程材料

王爱珍 主编

责任编辑 金友泉

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(100191) 发行部电话:010-82317024 传真:010-82328026

<http://www.buaapress.com.cn>, E-mail: bhpress@263.net

北京时代华都印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:787 mm×960 mm 1/16 印张:19.25 字数:431 千字

2009 年 2 月第 1 版 2009 年 2 月第 1 次印刷 印数:4 000 册

ISBN 978-7-81124-564-6 定价:29.00 元

前 言

随着科学技术的快速发展和各行业对高技能人才的急需,结合高校机械类各专业学时压缩的现状,在原出版教材《工程材料及成形技术》和《工程材料与改性处理》基础上,以必需与够用为度,精简内容体系又重新编写而成,重点突出金属材料组织、性能、热处理及表面处理工艺、以及非金属材料及新型材料等。

在编写过程中立足目前机械类专业少学时、宽口径、重技能的教学要求,侧重于应用技术,由浅入深、循序渐进、突出重点,以掌握基本概念、强化应用、扩大知识面为教学重点,以注重能力培养为宗旨,尽量多列举常见的典型机械零件选材及工艺为例,并增加实际生产所用的图表资料等,以便于查阅使用。

同时在各个工艺环节编写中,既注意增加生产中急需解决的实际问题,又注意拓宽并加深解决问题的思路与方法,还注意新材料、先进技术的应用与发展趋势,以便培养学者对新技术的兴趣,从而提高其科技创新能力。

本教材包括金属材料力学性能、组织结构、金属材料热处理、表面处理、钢材与铸铁材料、非铁与非金属材料、工程材料及工艺选择共七章,章前设有导读,章后设有思考练习题,并配有多媒体电子教案,以方便教学需要。

本教材可作为高等工科院校机械类各专业通用教材,也可作为民办高校机械类或近机类专业教材、高等工业专科院校机械类各专业教材,还可供教师及机械类工程技术人员与职业技能培训参考教材。

本教材由郑州轻工业学院王爱珍教授任主编,编写大纲目录和第3章等,何文斌编写绪论和第1章,邵建敏编写第2章2.3节、习题和第7章,杨文建编写第2章2.1、2.2节和第6章6.3节、习题,邹琳编写第4章4.1、4.2节和第6章6.2节,费致根编写第5章5.1、5.2节;袁昕编写第5章5.3节(含奥氏体不锈钢)习题和第6章6.1节,周荣编写第4章4.3节及习题。

本教材在编写中征求了有关同仁的见解和建议,参考了诸多相关教材,得到了有关企业提供的多种实例,同时还采纳了刘万福、李烁、王世杰、杨汉松、张保丰、何春霞、朱煜钰、郑冰岩、李维海等帮助绘制的图表,在此一并表示感谢。

本教材编写力求适应高等教育的改革与发展,但由于编者水平有限,难免有不妥之处,敬请读者批评指正,不胜感激。

编 者
2008年10月

目 录

绪 论	1
第 1 章 金属材料的力学性能	4
1.1 强度与塑性	4
1.1.1 静载强度与刚度	4
1.1.2 塑性及评定	7
1.1.3 变载与高温强度	8
1.2 硬度与耐磨性	10
1.2.1 硬度测试及标注	10
1.2.2 耐磨性及其评定	14
1.3 冲击与断裂韧性	16
1.3.1 冲击韧性	16
1.3.2 断裂韧性	18
1.4 性能失效与检测	21
1.4.1 失效原因及形式	21
1.4.2 零件失效分析方法	25
1.4.3 失效检测方法	27
思考练习题	31
第 2 章 金属材料的组织结构	32
2.1 金属晶体结构与结晶	32
2.1.1 金属的晶体结构	32
2.1.2 金属结晶及相变	38
2.2 合金相结构与结晶	45
2.2.1 合金的相结构	45
2.2.2 二元合金相图	50
2.2.3 相图与合金性能的关系	60
2.3 铁碳合金结晶与相图	62

2.3.1 铁碳合金的相结构	62
2.3.2 铁碳合金相图	65
2.3.3 铁碳合金相图的应用	73
思考练习题	76
第3章 金属材料热处理	78
3.1 热处理基本原理	78
3.1.1 钢在加热时组织转变	78
3.1.2 钢在冷却时的组织转变	82
3.2 热处理工艺方法	91
3.2.1 钢件普通热处理	91
3.2.2 钢件表面淬火处理	105
3.2.3 钢件表面扩渗处理	109
3.2.4 铸铁件的热处理	119
3.3 热处理技术及进展	123
3.3.1 热处理技术标注	123
3.3.2 高效强化热处理	126
3.3.3 高能强化热处理	128
3.3.4 计算机辅助热处理	130
思考练习题	131
第4章 金属材料表面处理	134
4.1 表面防腐蚀处理	134
4.1.1 机械法预处理	134
4.1.2 化学法预处理	139
4.1.3 电解法预处理	142
4.2 表面熔覆膜处理	144
4.2.1 火焰喷覆处理	145
4.2.2 电热喷覆处理	148
4.2.3 堆焊熔覆处理	151
4.3 表面镀涂膜处理	157
4.3.1 表面转化膜	157
4.3.2 表面电镀膜	164
4.3.3 涂料涂装膜	170

思考练习题	178
第 5 章 钢铁材料及应用	180
5.1 碳素钢及应用	180
5.1.1 碳钢成分及影响	180
5.1.2 碳钢分类及型号	182
5.1.3 碳钢型号及用途	184
5.2 合金钢及其应用	188
5.2.1 合金元素在钢中作用	188
5.2.2 合金钢分类及型号	194
5.2.3 合金结构钢及应用	197
5.2.4 特殊性能钢	209
5.3 铸铁及其应用	217
5.3.1 铸铁石墨化	217
5.3.2 常用铸铁	223
5.3.3 特殊性能铸铁	229
思考练习题	231
第 6 章 非铁与非金属材料	232
6.1 非铁金属及应用	232
6.1.1 铝及铝合金	232
6.1.2 铜及铜合金	241
6.1.3 钛及钛合金	246
6.1.4 轴承合金	250
6.2 非金属材料及应用	253
6.2.1 高分子材料	253
6.2.2 陶瓷材料	261
6.2.3 复合材料	263
6.3 新型材料及应用	267
6.3.1 金属功能材料	267
6.3.2 复合功能材料	270
6.3.3 超微形态材料	271
思考练习题	273

第 7 章 工程材料与工艺选择	274
7.1 材料质量评价	274
7.1.1 质量评定标准	274
7.1.2 内部质量评定	275
7.1.3 外部质量评定	276
7.2 材料选用及工艺	277
7.2.1 材料选用原则	278
7.2.2 改性工艺拟定	281
7.2.3 改性工艺路线	286
7.3 典型件材料与工艺选择	288
7.3.1 轴杆类零件	288
7.3.2 齿轮类零件	291
7.3.3 机体类零件	294
思考练习题.....	296

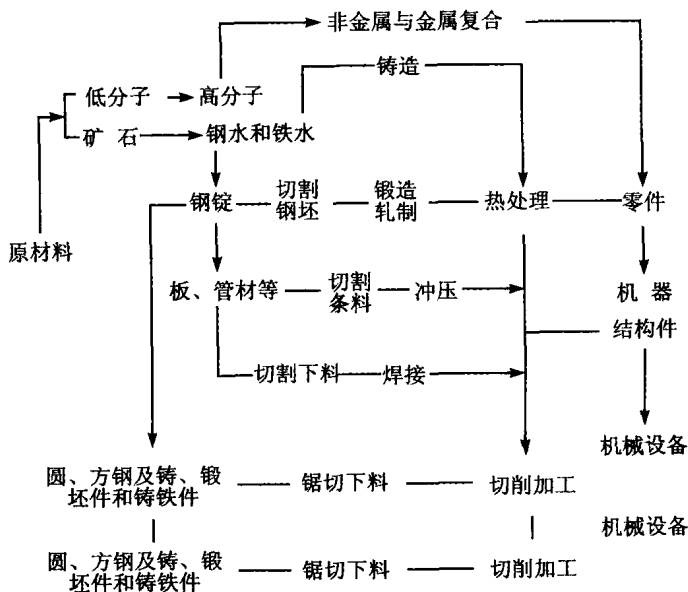
绪 论

1. 本课程在工业生产中的地位

工程材料是材料科学的应用部分,是构成各种机械设备、化工设备、交通车辆、建筑框架、电器仪表、轻纺设备等的基础,也是各种机械加工的对象,它包括金属材料、非金属和复合材料等。其中金属材料是国民经济和现代制造机械的支柱材料,也是构成各种机械设备的最主要材料。只有了解和掌握这些材料的使用性能、工艺性能及其在成形过程中组织、成分和性能的变化与相互影响的规律,才能合理选用材料、合理确定改性方法及工艺规程、保证获得优质的机械零件。

工程材料的使用性能包括力学性能、物理和化学性能,其中力学性能在很大程度上取决于材料的微观结构及微粒聚集状态,不同类型的材料,微粒聚集状态也不同。固态金属微粒呈规则排列为晶体,如钢铁、铜、铝等金属,而金刚石、石蜡和松香等微粒则呈杂乱无章堆积为非晶体。晶体呈各向异性,而非晶体呈各向同性。因此要深入认识工程材料性能的差异,则必须了解各种材料的微观结构及工艺成形过程。

通常机械制造的一般工艺流程为:



同时,还必须了解为满足零件性能的要求而经常采用的各种改性处理工艺方法。改性处理是指对金属材料进行普通热处理、表面热处理、表面强化处理,以及对金属和非金属材料进行表面精饰和防护处理等。

材料应用与材料成形技术是机械制造生产过程的重要组成部分。机械制造就是将各种原材料经过各种成形、改性、连接等工艺转变为机器的过程,机器类型不同,机构、尺寸及技术要求不同,选择相应材料和改性工艺等过程也不同。

本课程既论述了主要金属材料的结晶过程、形变与合金化过程、改性工艺过程等,又论述高分子材料和复合材料的组合工艺过程。因此,本课程是研究各种机器设备选材、设计和改性处理的一门重要技术课。

2. 本课程在培养人才中的地位

工程材料与改性处理是机械类各专业一门重要的综合性技术学科。对于从事机械工程的技术人员而言,无论是设计、制造、运行、维护等都必然要面对机械零件的材料选择、改性工艺拟定及零件结构工艺性等问题,因此掌握工程材料尤其是钢铁材料的组织性能及改性应用是工程岗位要求所不可缺少的必要知识。

尤其在当代各种工程设计过程中,不仅要确定产品及各种零部件的结构,还必须同时确定所选用的材料及相应的处理工艺方法,亦即在设计、选材、制造三者之间多种方案分析比较且优化组合的基础上才能确定。因此,结构设计、材料选择、改性方法选择,不仅成了相互关联的综合性技术问题,还是保证获得优质设备的依据。

本课程较清楚表达了各种工程材料及其成形全过程,以及各工艺环节之间的相互联系。为从事机械工程领域的工程技术人员提供必要的基础知识和技术方法,以及开阔眼界的新材料,新技术,新工艺,既可使学生掌握工程材料的种类、成分、组织结构、性能和改性方法,又可使学生初步具有选择材料、选择方法、分析制定工艺及设计零件结构的能力,以适应现代化机械工程发展的要求。

在当代机械工程设计过程中不仅要确定产品及各种零部件的结构,还必须同时确定所选的材料及相应的制造方法,并在设计、选材、制造三者之间多种方案分析比较且优化组合的基础上确定,由于每一种结构都要选择相应化学成分的材料来满足性能要求,而每种材料的性能又取决于材料的组织结构和加工成形方法,因此,结构设计、材料选择、工艺方法选择不仅成了相互关联的综合性技术问题,还是机械设计的重要基础。

3. 本课程重点和教学主导思想

本教材的内容体系是以材料的固态结构、性能、结晶组织及性能、形变组织及性能、热处理组织及性能、合金化组织及性能及各种改性处理工艺等为主线,精选传统的经典内容,吸收新技术、新材料、新工艺,扩充信息量,并突出全书的系统性、整体性,舍弃与主线偏离的无关紧要

内容,使教材内容得到了科学的精选。

本书在编写过程中,注意总结国内各院校教改及课程建设的实践经验,并吸取国内外同类教材的优点,注意提高课堂教学和课后使用的实用性,特意增加部分结合实际生产所用的图表资料,以便于查阅使用。同时还注意了将课程内容拓宽、加深和应用的原则,着重能力的培养,重点突出选材、工艺方法及工艺路线等。

本课程的教学主导思想是紧抓课程主线,围绕典型重点材料和工艺,如常用的钢、铁、铜、铝、钛等材料的组织性能、用途及各种改性处理等方法,讲透本质及内在联系,并重点介绍各种常用牌号、特点及应用范围,这也是本教材相比同类教材的独到之处,特别适用于机械类、化工类专业学生学习使用。

4. 课程特点和教学方法

针对本课程技术性强、实践性强、实用性强等特点,注意密切联系实际,尽量联系实验、生产和专业,多列举大多企业常生产的产品及常用的材料规格,以便进行多样化教学。

本教材中通过大量图表、附表、框图、流程图等各种材料及工艺作系统性、原理性、纵横向分析比较,使学生对各种材料作出合理的评价和选择,对各种改性工艺过程的可能性与局限性作出正确的判断,迅速选择出最适合的材料及工艺方法。

同时,还注意了现代先进技术的应用与发展趋势,从而培养学生对新技术、新工艺的研究兴趣,提高学生科技创新的能力。

针对本课程学术名词和基本概念多、综合性强、技术含量高等特点,在每章后面均安排有实际训练内容,并在教学中利用 CAI 课件及开放型实验配合直观教学。

第 1 章 金属材料的力学性能

导读

本章主要介绍金属材料的各种力学性能指标、拉伸试验、硬度及耐磨试验、冲击及断裂试验等测定方法,以及零件性能的失效原因、形式及检测方法等。

本章重点是金属材料的弹性、塑性、强度、刚度、硬度和韧性等力学性能指标;难点是各种试验测定及失效检测的基本原理及操作方法;要点是掌握各种力学性能指标及应用以及零件失效的判断方法与预防措施。

1.1 强度与塑性

强度是指材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力,按材料受力性质的不同分为屈服强度、抗拉强度、抗压强度和抗弯强度等,按材料受力作用状态的不同又可分为静载强度、变载强度和高温强度等。其中屈服强度和抗拉强度(tensile)是工程上最常用的强度,这两个强度指标和塑性均可通过拉伸试验测定。

1.1.1 静载强度与刚度

1.1.1.1 拉伸试验

拉伸试验是先将被测材料按 GB6397—1986 规定制成标准试样(见图 1-1(a)),再将它安装到拉伸试验机的上下夹头间,然后缓慢地对试样两端施加轴向拉力 F ,观察并测定由所加拉力引起的长度变化,直到试样拉断为止。

(1) 低碳钢的拉伸实验 图 1-1(b)所示为所测低碳钢试样的拉力与试样伸长量的对应关系曲线。由图可知,当拉力较小时,试样的伸长量与拉力成正比增加,保持直线关系。拉力除去后试样恢复原状,这种变形称为弹性变形。

当拉力超过 F_e 点后则进入“弹—塑”性变形阶段,在这一阶段若除去拉力,试样则不能完全恢复原状而产生永久变形,即称之为塑性变形。

当拉力增加到 F_s ,拉伸曲线上出现平台,即拉力虽不增加,但试样还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。金属材料屈服后,开始产生均匀的塑性变形(plastic deformation),且随拉力的增加而增加。

当拉力达到最大值 F_b 后,变形集中在试样某段并产生局部缩颈现象,随后卸掉拉力但试样却继续伸长直至在缩颈处产生断裂。

(2) 低碳钢的应力—应变曲线 试样在拉伸过程中,材料受到拉力 F 作用时,其单位面积上的拉力称为应力(stress),用 σ 来表示,即

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

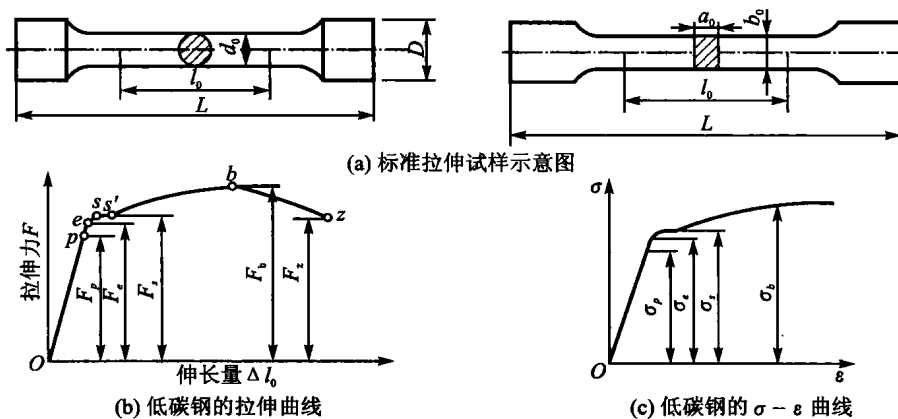
式中: σ ——应力,单位:Pa(帕斯卡,简称帕), $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$,与工程制单位换算关系为
 $1 \text{ kgf/mm}^2 = 10^7 \text{ Pa} = 10 \text{ MPa}$;

F ——拉力(或压缩力),单位:N(牛顿);

A ——试样的横截面积,单位: mm^2 。

同时将拉伸试验测取的拉伸力 F 与变形量 Δl 换算成应力与应变(strain),即将 F 变换成试样单位横断面积上的拉力,亦即应力 $\sigma = F/A$, Δl_0 变换成试样单位长度上的变形量,亦即应变 $\epsilon = \Delta l_0 / l_0$ 。

然后,分别表示在应力和应变坐标上,则得到应力—应变($\sigma-\epsilon$)曲线,如图 1-1(c)所示。应力—应变曲线上的各点代表各个变形阶段的抗力和相应变形量,因此它是衡量金属材料力学性能的重要曲线。



l_0 —试样原始标距,mm; d_0 —圆柱试样的原始直径,mm;

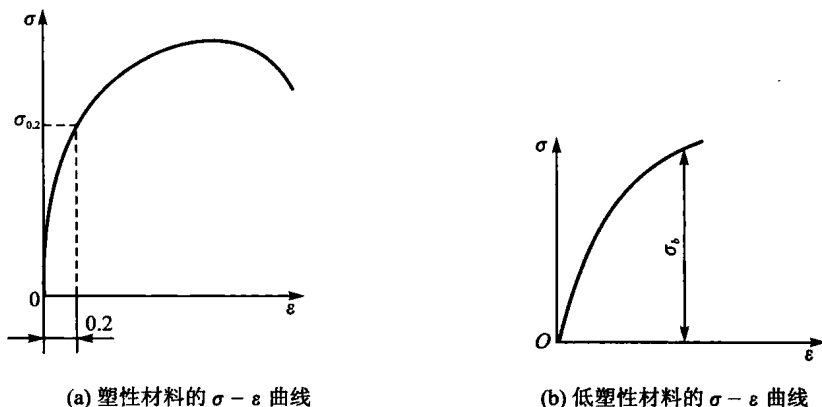
a_0 、 b_0 —矩形试样的厚度和宽度,mm; A_0 —试样的原始横截面积, mm^2

图 1-1 拉伸试验过程

低碳钢的应力—应变($\sigma-\epsilon$)曲线与拉伸曲线形状相似,含碳及合金元素量较高的碳钢和合金钢,因塑性稍差而使 $\sigma-\epsilon$ 曲线上无平台且上升较快,并且塑性差的铸铁 $\sigma-\epsilon$ 曲线上升更快且突然断裂,如图 1-2(a)、(b)所示。

1.1.1.2 弹性与刚度

(1) 弹性极限 弹性极限(elastic limit)是指试样材料产生完全弹性变形(elastic deformation)时所能承受的最大应力值,以 σ_e 表示且单位为 MPa。 σ_e 在 $\sigma-\epsilon$ 曲线上的位置如图 1-1(c) 所示,其计算公式为

图 1-2 各种金属材料的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线图

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中： F_e ——试样产生最大弹性应变时的拉力，单位为 N；

A_0 ——试样原始横截面积，单位为 mm^2 。

(2) **弹性模量** 在弹性变形范围内，应力与应变 (σ_e / ε_e) 的比值称为材料的弹性模量 E ，它相当于产生单位弹性应变所需要的应力值，单位为 MPa，即

$$E = \frac{\sigma_e}{\varepsilon_e}$$

弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标，材料的弹性模量 E 值愈大，则使其产生一定量弹性变形的应力值也愈大。

(3) **材料的刚度概念** 机械工程上通常将金属材料的弹性模量称为刚度。金属材料的弹性模量愈大，则其刚度愈大，在一定应力下产生的弹性变形则愈小。

机器零件和结构件一般均需有刚度要求，在工作条件下不允许其产生过量的弹性变形，否则将影响其精度，如镗床的镗杆、板架结构的床身、桥梁等均需有刚度要求。因此，刚度是零件和结构设计的重要参数之一。

(4) **刚度的影响因素** 弹性模量 E 值的大小主要取决于金属材料的本身性质，它是金属材料最稳定的性能之一。材料的合金化处理、热处理、冷加工成形和局部焊接等均对弹性模量 E 值影响很小。

据资料介绍，在室温下钢铁的 E 值为 214 000~220 000 MPa，铜的 E 值为 121 000 MPa，铝的 E 值为 72 000 MPa，各种金属材料的 E 值随温度的升高而逐渐降低。

1.1.1.3 常用强度指标

(1) **屈服点** 屈服点是指试样被加载至单位面积上产生屈服点 s 时的拉力，或在拉伸曲线图和 $\sigma - \varepsilon$ 曲线上出现屈服平台现象时的应力，以 σ_s 表示且单位为 MPa，屈服点 s 的位置如

图 1-1(b)、(c)所示,其计算公式为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中: F_s 为产生屈服现象时的拉力,单位为 N。

(2) 屈服强度 金属材料中只有低碳钢和中碳钢等少数金属的拉伸或应力—应变曲线存在屈服现象,而大多数金属材料则无明显屈服点,如调质合金钢、退火铝合金等。因此,对这些金属材料规定以产生 0.2% 残余伸长的应力作为屈服强度(见图 1-2(a)),又称为条件屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示且单位为 MPa。

屈服强度(yield strength)是材料在外力作用下开始产生塑性变形的最低应力值,当材料的实际工作应力大于其屈服强度时,将可能产生过量塑性变形而失效,因此 σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 是绝大多数机械零件设计时的重要指标参数。

然而,灰铸铁等脆性材料拉伸时,几乎不发生塑性变形而发生突然断裂(见图 1-2(b)),其最大外力就是断裂外力,如珠光体基体的灰铸铁 HT250 等。所以,灰铸铁在常用的工程材料手册中没有屈服强度指标,仅有抗拉强度指标。

(3) 抗拉强度 抗拉强度是指试样拉断前加载至最大力时单位面积上所能承受的最大拉力,或拉伸曲线和应力—应变(σ — ϵ)曲线上最高位置点 b 时的应力,以 σ_b 表示且单位为 MPa,如图 1-1(b)、(c)所示,其计算公式为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中: F_b 为试样拉断前的最大拉力,单位为 N。

抗拉强度反映试样最大的均匀变形的抗力,是设计机械零件和选择金属材料的主要参数之一,也是评价金属材料的主要指标。

σ_s 与 σ_b 的比值称为屈强比,屈强比愈小,工程构件的可靠性愈高,但屈强比太小,则材料强度的有效利用率太低。并且材料性质、晶格类型及晶粒大小、固溶强化及合金化、热处理及冷热加工等均会对材料的 σ_s 、 σ_b 数值产生很大的影响。

1.1.2 塑性及评定

1.1.2.1 塑性及其指标

塑性(plasticity)是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力,许多零件或毛坯需通过塑性变形成形而要求材料有较高的塑性。为防止零件工作时脆断,要求材料有一定的塑性,塑性也是金属材料的主要力学性能指标之一。

低碳钢经常温拉伸试验也可测定其塑性大小,如图 1-3(a)所示,其塑性大小用伸长率 δ (elongation)和断面收缩率 ψ (contraction of cross sectional area)两个指标进行衡量,即

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \% \quad \psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \%$$

式中： L_0 和 L_1 分别为试样的原始标距长度和拉断后的对应标距长度(mm)； A_0 和 A_1 分别为试样原始横截面积和拉断处的横截面积(mm^2)。由图1-3(b)可知，从 A_0 到 A_1 的断裂过程中，截面随应力增加而逐渐变小直至拉断。

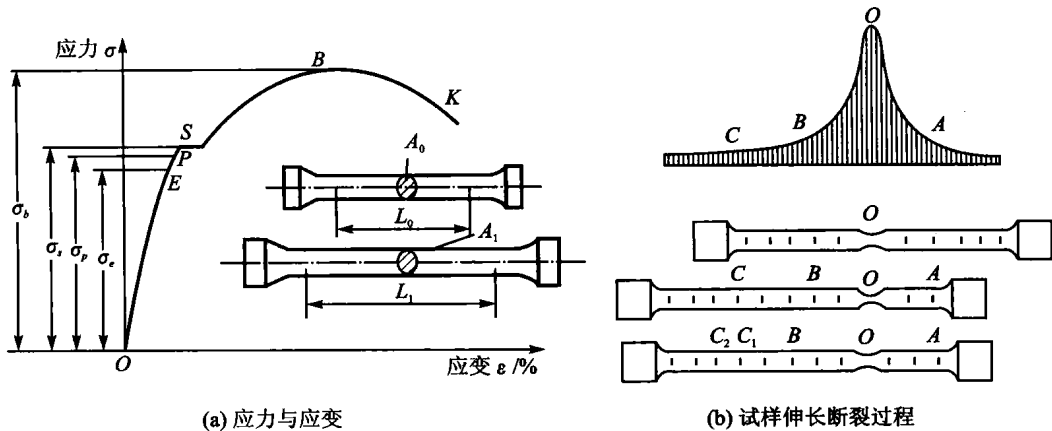


图 1-3 低碳钢的拉伸应力与变形过程

1.1.2.2 塑性评定方法

伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 的数值越大，表示金属材料的塑性越好。由于伸长率 δ 值与试样尺寸有关，所以在制备试样时，一般规定试样规格选为 $L_0 = 5d_0$ 或 $L_0 = 10d_0$ (d_0 为试样原始直径，mm； L_0 为试样原始长度，mm)。

当试样的长径比 $L_0/d_0 = 5$ 时，金属材料伸长率用 δ_5 表示；当试样的长径比 $L_0/d_0 = 10$ 时，则金属材料伸长率用 δ_{10} 或 δ 表示。同一种金属材料测得的 δ_5 一般比 δ_{10} 应大些，并且同种材料的 δ_5 和 δ 不能直接比较。

通常将 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料，而 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料。例如，灰铸铁是典型的脆性材料，低碳钢是黑色金属中塑性最好的材料，它既能保证压力加工和焊接的顺利进行，又能保证零件工作时的安全可靠，防止突然断裂。

1.1.3 变载与高温强度

1.1.3.1 疲劳强度

(1) **疲劳曲线** 疲劳强度 (fatigue strength) 是指材料抵抗无数次重复外力交变作用而不破坏的能力，通常用疲劳曲线来描述，如图1-4(a)所示，它是最常用的变载强度。

由该图中可以看出，随着应力循环次数 N 的不断增大，材料所能承受的最大交变应力 σ_{\max} 不断减小。当交变应力循环次数 N 达到无限次时，材料仍不发生破坏的应力即可确定为其疲劳强度，以 σ_r 表示， r 表示交变应力循环系数，单位为MPa。

若为交变对称应力循环时,其疲劳强度则以 σ_{-1} 表示,单位为MPa。实际上试验规定,钢在经受 $10^6 \sim 10^7$ 次、有色金属经受 $10^7 \sim 10^8$ 次交变应力作用,而不断裂的最大应力则为其疲劳强度,如图1-4(b)所示。

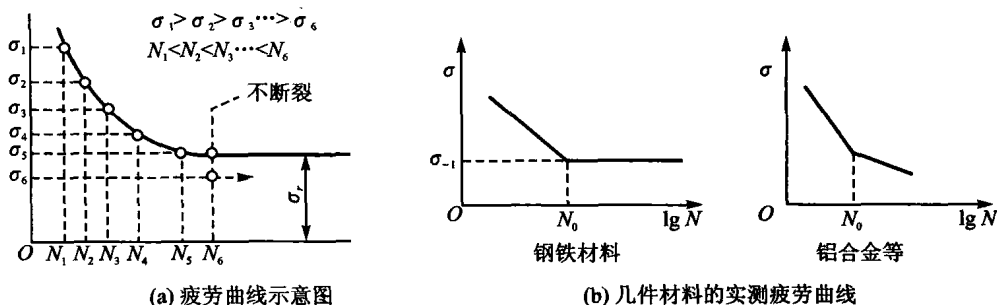


图1-4 材料的疲劳曲线

(2) **疲劳断裂** 机械产品中许多诸如曲轴、连杆、齿轮和弹簧等零件,在工作过程中受到重复交变应力的长期作用,将会在远小于抗拉强度 σ_b 、甚至远小于屈服强度 σ_s 的应力作用下断裂,这种断裂称为疲劳断裂。

多数金属材料的疲劳极限是其抗拉强度的40%~50%,疲劳破坏时均不产生明显的塑性变形,而是由裂纹沿拉力方向迅速扩展、突然断裂;裂纹扩展的总趋向不改变且具有很大的危险性,有相当多零件的破坏属于疲劳破坏。

然而,碳纤维增强复合材料的疲劳极限,则是其抗拉强度的70%~80%。疲劳破坏时,在应力状态下的裂纹扩展方向要改变,且裂纹扩展路程更为曲折,裂纹尖端的应力状态也发生变化,在一定程度上阻止了裂纹的扩展。

1.1.3.2 高温强度

当零件在较高温度下工作时,应做高温拉伸试验而测定其高温强度。高温强度包括高温瞬时强度、高温持久强度和高温蠕变强度。

(1) **高温瞬时强度** 在高温下短时间工作的零件,通常需采用高温瞬时强度作为其强度指标。在规定的试验温度下,按照一般加载速度做拉伸试验,并将试样在高温下瞬间抵抗外力和内应力而不断裂的能力作为其高温瞬时强度值。

例如,冶金厂的冶炼炉、铸造化铁炉、热处理炉以及焊接预热装置等使用的热电偶测温计,通常需考虑其电阻丝的高温瞬时强度。

(2) **高温蠕变强度** 在高温下长时期工作的零件,尽管所受的应力值很小(即使小于其 σ_s),也会随着时间的延长,持续而缓慢地产生塑性变形,即产生高温蠕变变形,因此其选用材料必须做高温蠕变强度试验。

高温蠕变强度是指在规定的略高于最高工作温度的试验温度和时间(如100 000 h)内,试