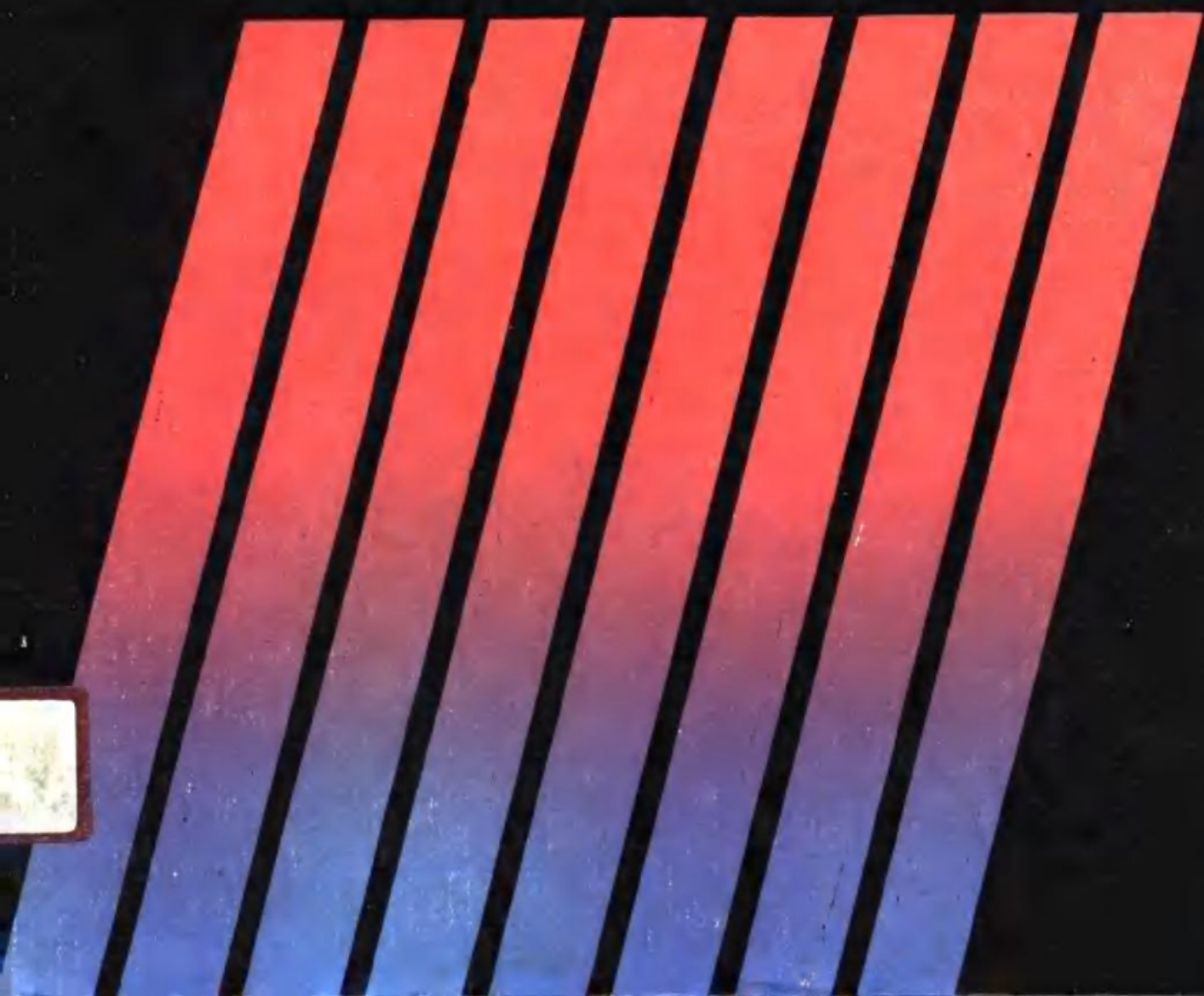


刘顺标 吕东升 主编
庞凤荣 冯金泉

金属材料及热处理



金属材料及热处理

刘顺标 吕东升 主编
庞凤荣 冯金泉

天津科学技术出版社



B 801452

责任编辑：苏飞

金属材料及热处理

刘顺标 吕东升 主编
庞凤荣 冯金泉

天津科学技术出版社出版、发行

天津市赤峰道130号

天津新华印刷一厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张19 字数454 000

1989年9月第1版

1989年9月第1次印刷

印数：1—54 00

ISBN 7-5308-0642-4/TH·21 定价 ~~4.15元~~

5.95

内 容 简 介

本书是高等工业院校和高等技术师范院校机械制造类专业的试用教材,内容包括:金属材料的机械性能,金属学基础,热处理基本原理及常用方法,常用金属材料,机械零件选材等。本书也适于一般专科院校、职工大学、函授大学,并可供工程技术人员参考。

前 言

《金属材料与热处理》是高等技术师范院校机械制造类专业的试用教材。主要内容包括：金属材料的机械性能、金属学基础、热处理基本原理及常用方法、常用金属材料、机械零件选材等。本书也适于一般专科院校、职工大学、函授大学，并可供工程技术人员选用参考。

本书以培养学生具备合理选择金属材料、正确确定热处理工艺方法、妥善安排工艺路线的能力为主要目标。全书在简述金属学基本知识的基础上，以成分-组织-性能间关系的基本规律为主线处理有关章节内容，对主要内容都有一定的说理分析，注意理论联系实际，避免只讲现象与结论；对新材料、新工艺、新标准作了适当的反映。本书采用了我国的法定计量单位。

参加本书编写的有：庞凤荣（第一、二、九章）、徐宝鑫（第四、五章）、潘淑珍（第六章）、吕东升（第七、十章）、刘顺标（绪论、第八章）、冯金泉（第三、九、十一章）。全书由刘顺标、吕东升审阅统稿。主审由天津大学陈复民教授担任。

本书在编写过程中，得到了常州职业师范学院、天津职业技术师范学院、吉林职业师范学院、天津大学机电分校、天津市一轻局职工大学、天津大学等院校的大力支持；殷立仁同志对本书撰写给予了帮助；全书金相图片均由天津大学金相教研室辛梦铃等提供。在此，一并致以谢意。

我们水平有限，深入生产一线不够，书中谬误之处请各位老师和读者指正。

1988年9月

目 录

绪 论	(1)
第一章 金属材料的机械性能	(2)
第一节 强度和塑性	(2)
一、拉伸图及应力-应变图	(2)
二、强度指标及其测定	(4)
三、塑性指标及其测定	(5)
第二节 硬度	(6)
一、布氏硬度	(6)
二、洛氏硬度	(8)
三、维氏硬度	(9)
第三节 疲劳强度与疲劳极限	(10)
第四节 冲击韧性	(11)
一、冲击试验	(12)
二、多次重复冲击试验	(13)
第五节 金属的断裂韧性	(14)
第二章 金属的晶体结构与结晶	(16)
第一节 金属的晶体结构	(16)
一、金属晶体	(16)
二、晶体结构的基本知识	(17)
三、典型的金属晶体结构	(18)
四、晶面指数与晶向指数	(21)
五、晶体的各向异性	(23)
第二节 金属的实际晶体结构	(23)
一、多晶体结构	(23)
二、晶体缺陷	(24)
第三节 金属的结晶	(26)
一、金属结晶的条件	(27)
二、结晶过程	(28)
三、影响晶核的形核率和长大速率的因素	(29)
四、金属铸锭的组织	(30)
第三章 金属的塑性变形与再结晶	(33)
第一节 金属的塑性变形	(33)

一、金属的变形和断裂	(33)
二、单晶体金属的塑性变形	(33)
三、多晶体金属的塑性变形	(38)
第二节 塑性变形对组织和性能的影响	(39)
一、塑性变形对金属组织和结构的影响	(39)
二、塑性变形对金属性能的影响	(41)
三、残余内应力	(42)
第三节 回复与再结晶	(42)
一、冷变形金属在加热时组织和性能的变化	(43)
二、金属的再结晶温度	(45)
三、再结晶退火后的晶粒度	(46)
第四节 金属的热加工	(47)
一、热加工与冷加工的本质区别	(47)
二、金属热加工时组织和性能的变化	(47)
第四章 合金的结构与相图	(49)
第一节 合金的结构	(49)
一、概述	(49)
二、合金中的相结构	(49)
第二节 二元合金相图的建立	(55)
一、相图概述	(55)
二、相图的建立	(55)
第三节 匀晶相图	(57)
一、相图分析	(57)
二、结晶过程分析	(57)
三、杠杆定律的应用	(58)
四、晶内偏析	(59)
第四节 共晶相图	(60)
一、相图分析	(60)
二、结晶过程分析	(61)
三、比重偏析	(64)
第五节 包晶相图	(65)
一、相图分析	(65)
二、结晶过程	(65)
第六节 其它类型相图	(67)
一、形成稳定化合物的相图	(67)
二、具有共析反应的相图	(67)
三、识别相图的类型和特征	(69)
第七节 合金相图与合金性能的关系	(69)

一、合金相图与机械性能、物理性能之间的关系	(69)
二、合金相图与工艺性能的关系	(70)
第五章 铁碳合金	(72)
第一节 铁碳合金的组元和组成相	(72)
一、铁碳合金的组元	(72)
二、铁碳合金的相结构	(73)
第二节 铁碳合金相图分析	(75)
一、分析	(75)
二、典型合金结晶过程分析	(78)
第三节 铁碳合金的成分、组织、性能之间的关系	(84)
一、含碳量对铁碳合金平衡组织的影响	(86)
二、含碳量对机械性能的影响	(87)
三、Fe-Fe ₃ C相图与热加工工艺的关系	(87)
第四节 碳钢	(89)
一、钢中常存杂质对其性能的影响	(89)
二、碳钢的分类	(90)
三、碳钢的牌号、性能和用途	(91)
第六章 钢的热处理	(97)
第一节 钢在加热时的转变	(98)
一、转变温度	(98)
二、奥氏体形成	(98)
三、影响奥氏体形成的因素	(100)
四、奥氏体晶粒的长大	(101)
第二节 钢在冷却时的转变	(104)
一、过冷奥氏体等温转变曲线	(105)
二、珠光体型转变	(107)
三、贝氏体转变	(109)
四、马氏体转变	(112)
五、亚共析钢与过共析钢的C曲线	(115)
六、影响C曲线的因素	(116)
七、过冷奥氏体连续冷却转变曲线	(118)
第三节 钢的退火与正火	(120)
一、退火和正火的目的	(121)
二、退火和正火工艺及其应用	(121)
第四节 钢的淬火	(125)
一、淬火温度的选择	(125)
二、淬火冷却介质	(126)

三、钢的淬透性	(130)
第五节 钢的回火	(134)
一、回火的目的	(134)
二、淬火钢在回火时的组织转变	(135)
三、回火时机械性能的变化	(137)
四、回火工艺及其应用	(138)
第七章 钢的表面热处理	(140)
第一节 钢的表面淬火	(140)
一、感应加热表面淬火	(140)
二、火焰加热表面淬火	(144)
第二节 钢的化学热处理	(144)
一、化学热处理的基本过程	(145)
二、钢的渗碳	(146)
三、钢的氮化	(149)
四、钢的碳氮共渗	(156)
第三节 热处理新技术简介	(158)
一、钢的可控气氛热处理	(159)
二、真空热处理	(160)
三、形变热处理	(161)
第八章 合金钢	(164)
第一节 合金元素在钢中的作用	(164)
一、合金元素对钢中基本相的影响	(164)
二、合金元素对Fe-Fe ₃ C相图的影响	(166)
三、合金元素对热处理组织转变的影响	(168)
四、合金钢的分类与编号	(172)
第二节 合金结构钢	(173)
一、普通低合金钢	(173)
二、渗碳钢	(175)
三、调质钢	(177)
四、弹簧钢	(181)
五、滚动轴承钢	(183)
六、其它结构钢	(185)
第三节 合金工具钢	(187)
一、刀具钢	(187)
二、模具钢	(194)
三、量具钢	(199)
四、其它工具材料	(199)

第四节 特殊性能钢	(201)
一、不锈钢.....	(201)
二、耐热钢.....	(212)
三、耐磨钢.....	(215)
第九章 铸铁	(217)
第一节 概述	(217)
一、铸铁的成分、组织和性能特点.....	(217)
二、铸铁的石墨化过程.....	(217)
三、影响石墨化的因素.....	(218)
四、铸铁的分类.....	(220)
第二节 灰口铸铁	(220)
一、灰口铸铁的化学成分、组织和性能.....	(220)
二、灰口铸铁的孕育处理.....	(224)
三、灰口铸铁的热处理.....	(224)
第三节 可锻铸铁	(226)
第四节 球墨铸铁	(229)
一、球墨铸铁的生产方法.....	(229)
二、球墨铸铁的化学成分、组织和性能.....	(230)
三、球墨铸铁的牌号和用途.....	(231)
四、球墨铸铁的热处理.....	(232)
第五节 特殊性能铸铁	(235)
一、耐磨铸铁.....	(235)
二、耐热铸铁.....	(236)
三、耐蚀铸铁.....	(238)
四、蠕墨铸铁.....	(238)
第十章 有色金属及其合金	(240)
第一节 铝及其合金	(240)
一、工业纯铝的性能及用途.....	(240)
二、铝合金分类及其热处理.....	(241)
三、形变铝合金.....	(243)
四、铸造铝合金.....	(245)
第二节 铜及其合金	(249)
一、工业纯铜.....	(249)
二、黄铜.....	(250)
三、青铜.....	(256)
第三节 滑动轴承合金	(263)
一、锡基轴承合金.....	(264)

二、铜基轴承合金——铅青铜·····	(264)
三、铅基轴承合金·····	(265)
第四节 有色合金的发展动向 ·····	(265)
一、铝合金的发展·····	(265)
二、铜合金的发展·····	(266)
三、其它方面的发展·····	(266)
第十一章 机械零件选材及工艺路线分析 ·····	(267)
第一节 选材的一般原则 ·····	(267)
一、零件使用性能与选材的关系·····	(267)
二、材料工艺性与选材的关系·····	(269)
三、经济性与选材的关系·····	(272)
第二节 热处理技术条件的标注 ·····	(274)
第三节 零件结构设计、加工与热处理工艺的关系 ·····	(276)
一、零件结构的热处理工艺性·····	(277)
二、冷、热加工对热处理的影响·····	(278)
第四节 热处理对切削加工性的影响 ·····	(279)
第五节 典型零件选材及工艺分析 ·····	(282)
一、齿轮类零件·····	(282)
二、轴类零件·····	(284)

绪 论

金属材料是现代工农业、国防工业及科学技术的重要物质基础。在机械制造、交通运输、国防与科学技术等各个部门以及人们的日常生活领域中，都需要大量地使用金属材料。

金属材料之所以能够获得如此广泛的应用，是由于它们具有良好的使用性能及工艺性能。金属材料的使用性能是指它在使用条件下所表现出来的性能，它包括材料的机械性能和物理、化学性能；金属材料的工艺性能是指它在冷、热加工过程中所表现出来的性能，它包括材料的铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等。只有良好的使用性能才能满足生产和生活上对金属材料的各种需求；而良好的工艺性能可以保证它们比较容易地被加工成各种形状、尺寸的合格工件。

金属材料的各种性能与其化学成分、内部组织结构以及加工工艺之间密切相关，材料的成分不同，其组织和性能也不同；通过加工，特别是热处理以后，其组织和性能将发生很大变化。因此，为了合理选用金属材料，最大限度地发挥金属材料的使用性能，降低成本、提高经济效益；为了提高产品质量，延长使用寿命，避免零件在使用过程中，由于变形、磨损或断裂，导致早期失效，就必须了解金属材料的内部组织、结构及其变化规律，并运用这些规律去控制其内部组织和结构的变化，以获得预期的性能。

金属材料及热处理这门科学的基本任务，就在于告诉人们金属材料的成分、组织、热处理与性能之间的关系及其变化规律，从而了解到如何选用金属材料，如何通过适当的热处理去改变金属材料的内部组织，从而达到预期的性能。因此，对于机械工程技术人员来说，应当具有比较全面、系统的金属材料与热处理的知识。

金属材料及热处理课程的内容包括金属学、热处理、金属材料三个部分。金属学主要是研究金属材料的化学成分、内部组织结构与性能之间的相互关系，即研究“成分——组织——性能”三者之间的变化规律，为进一步学习热处理和金属材料打下基础；热处理是通过改变金属材料的内部组织或改变表面化学成分和组织来改变材料性能的一种处理工艺，主要研究“热处理工艺——组织——性能”三者之间的变化规律，以便能根据零件的技术条件正确选定热处理工艺方法，合理安排加工工艺路线；金属材料部分主要介绍机械制造中常用的钢、铸铁、有色金属及合金等常用金属材料的成分、组织、性能及其用途，为合理选用金属材料打下基础。

金属材料及热处理课程是机械制造类各专业的技术基础课，是以物理、化学、材料力学、金属工艺学等课程为基础，并应经过金属工艺方面的基本工艺训练，以获得一定的感性知识。

金属材料及热处理这门科学是在生产实践中发展起来的，是与生产实际密切相关的。因此，学习本课程，不仅要注意系统的理论学习，还要注意密切联系实际，重视实验环节，培养分析问题、解决问题的独立工作能力。

第一章 金属材料的机械性能

金属材料的机械性能是指材料抵抗载荷破坏的能力，是根据材料在载荷作用下所反映出来的变形行为来评定的。外加载荷的性质不同，评定材料机械性能的指标也不同。常用的机械性能指标有：强度、硬度、塑性、冲击韧性、断裂韧性、疲劳极限等。金属材料的机械性能是设计零件和选择材料的主要依据，本章主要讨论各种机械性能指标的宏观物理现象及其测定方法。

第一节 强度和塑性

静载荷拉伸试验是一种应用广泛的机械性能测试方法，通过拉伸试验可以测定金属材料在单向拉应力作用下的比例极限 σ_p 、弹性极限 σ_e 、屈服点 σ_s 、强度极限 σ_b 、延伸率 δ 、断面收缩率 ψ 及弹性模量 E 等性能指标。

拉伸试验是在材料试验机上进行的。试验时在试样两端缓慢地施加载荷，使试样的工作部分承受轴向拉力，引起试样轴向伸长直至断裂。为了保证试样在工作部分处于单向拉伸状态，对试样形状、尺寸和加工均有一定要求，按国家标准GB228-63规定，常用拉伸试样有圆形、板状两种，图1-1为圆形拉伸试样。

一、拉伸图及应力-应变图

在拉伸试验过程中，利用试验机上的自动记录装置，可把作用在试样上的载荷 P 与其所对应的伸长 ΔL 记录下来，绘出载荷-伸长曲线，即 $P-\Delta L$ 曲线，这种曲线叫做拉伸曲线或拉伸图。

图1-2是退火低碳钢的拉伸图，图中的纵坐标表示载荷 P ，单位是牛顿（N），横坐标表示绝对伸长 ΔL ，单位是毫米（mm）。

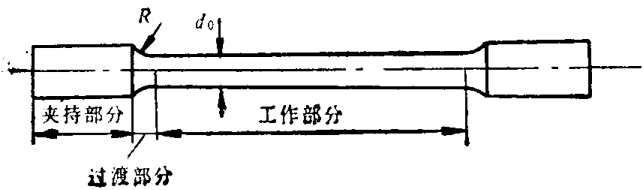


图1-1 拉伸试样

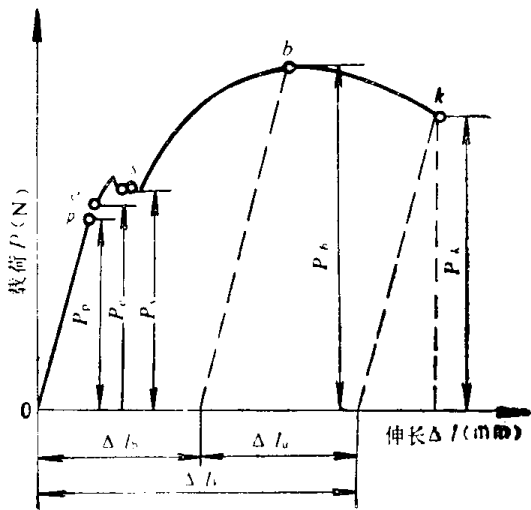


图1-2 低碳钢的拉伸图

由图中可以看出,当载荷小于 P_p 时,试样的伸长 ΔL 随载荷 P 成比例地增加,一直保持直线关系。保持直线关系的最大载荷 P_p ,称为比例极限的载荷(P_p)。

继续增加载荷,试样的伸长也随之增加,拉伸曲线开始偏离了直线。当载荷小于 P_e 时,变形称为弹性变形,即卸除载荷后,试样立刻恢复原来的形状和尺寸。载荷大于 P_e 时,试样的伸长不能全部地恢复,而留下一部分残余变形。卸除载荷后,不出现任何残余变形时的最大载荷 P_e 称为弹性极限的载荷。在大多数情况下, P_p 和 P_e 是非常接近的。⑤

当载荷增加到某一定值时,拉伸图上出现了平台或锯齿状的线段,与此相应的是试样出现了较大的延伸。这表明在载荷基本不变的情况下,变形还会继续进行,这种现象叫做屈服现象。屈服阶段的最小载荷 P_s 称为屈服点的载荷。

屈服阶段之后继续增加载荷,试样开始产生明显的塑性变形。随着塑性变形的增加,继续变形所需的载荷也不断增加, P 与 ΔL 呈曲线关系上升。当载荷增加到最大值 P_b 后,试样的某一部位截面开始急剧缩小,出现了“颈缩”现象。颈缩一旦出现,变形不再在试样的整个长度上进行,而是仅仅集中在颈缩附近。由于颈缩处试样截面急剧缩小,致使载荷下降。当载荷达到 P_k 时,试样发生断裂。在拉伸图上出现的最大载荷 P_b 称为强度极限的载荷;断裂时的载荷 P_k 称为断裂载荷。

断裂后,试样总的伸长量为 ΔL_k ,它是由均匀伸长部分 ΔL_b 和集中在颈缩处的不均匀的伸长部分 ΔL_k 组成的。

工业上使用的金属材料,大多数是没有屈服现象的。图1-3(a)是塑性材料的拉伸图,如退火的铝合金、退火或调质的合金钢等。图1-3(b)是低塑性材料的拉伸图,如灰口铸铁,它不仅没有屈服现象,而且也不产生缩颈,最大的载荷就是断裂载荷。

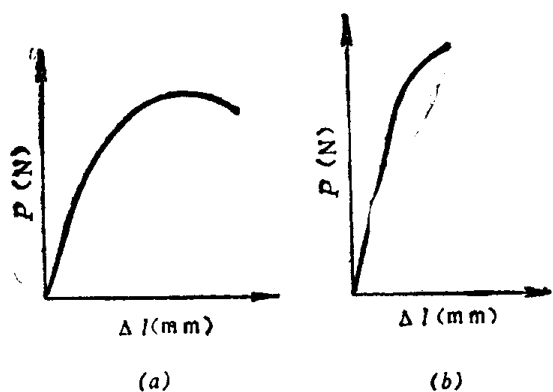


图1-3 塑性材料及低塑性材料的拉伸图

(a) 塑性材料 (b) 低塑性材料

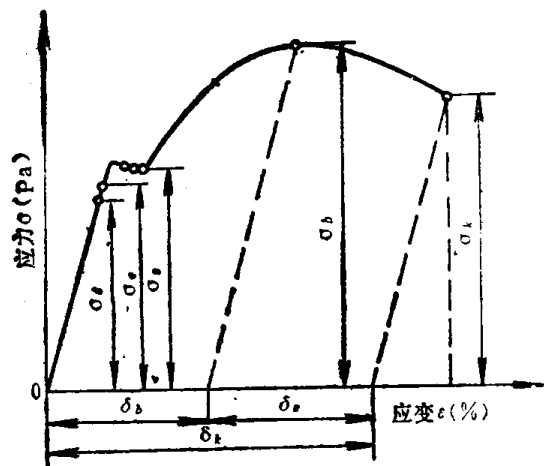


图1-4 低碳钢的应力-应变曲线

用载荷 P 除以试样的原始面积 F_0 ,得到试样所受的应力 σ ,即试样单位截面积上承受的变形力。

$$\sigma = \frac{P}{F_0} \quad \text{Pa}$$

用试样的绝对伸长 Δl 除以原始标距长度 l_0 ,得到试样的相对伸长(应变) ϵ ,即代表了试样单位长度上的伸长量。

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} (\%)$$

以应力与应变为坐标绘出的应力-应变关系曲线叫做应力-应变曲线或应力-应变图,如图1-4所示。显然,由于应力和应变是对载荷和伸长分别除以常数而得到的,故应力-应变图的形状与拉伸图相似,只是坐标不同。应力-应变图表示了试样在不同阶段的变形抗力与变形量的关系,由于它不受试样尺寸的影响,故可直接反映出金属材料的一些机械性能指标。

二、强度指标及其测定

1. 比例极限与弹性极限

比例极限 σ_p 是应力与应变能保持正比关系的最大应力,即在应力-应变曲线上刚要偏离直线时的应力。即

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0} \quad \text{Pa}$$

式中 P_p ——比例极限的载荷, N;

F_0 ——试样的原始截面积, mm^2 。

弹性极限 σ_e 是材料产生完全弹性变形时所能承受的最大应力,即

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \quad \text{Pa}$$

式中 P_e ——试样产生完全弹性变形的最大载荷, N。

实际上,对大多数结构钢而言,比例极限与弹性极限在数值上非常接近,一般不必严格区分。

由于弹性极限是很难精确测定,为了便于比较,通常规定产生一定残余变形时的应力,作为规定弹性极限。如规定以残余伸长为0.01%时的应力作为规定弹性极限,并以 $\sigma_{0.01}$ 表示。所以,弹性极限 σ_e 实际上代表了材料在开始产生微量塑性变形的抗力。

对于在使用过程中不允许出现微量塑性变形的零件,设计时应该以弹性极限作为选材的依据。

2. 弹性模量

大部分金属材料在弹性范围内,应变与应力成正比关系,服从虎克定律,即

$$\sigma = E\varepsilon$$

E 是直线的斜率,称为弹性模量。它代表了材料对弹性变形的抗力,在数值上相当于单位变形时所需的应力,是金属材料的重要机械性能指标。在工程技术上用弹性模量表示材料的刚度,即弹性模量 E 愈大,则刚度愈大,在一定应力作用下所产生的弹性应变愈小。

弹性模量属于对组织不敏感的机械性能指标,它主要取决于材料内部的原子间作用力,而与组织变化关系不大。因此,热处理、合金化及冷变形对弹性模量影响很小。

3. 屈服极限

在抗伸过程中,在载荷基本不变的情况下,试样还能继续变形时所对应的最小应力称为屈服点 σ_s ,即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad \text{Pa}$$

式中 P_s ——屈服阶段的最小载荷，N。

应力超过屈服点后，试样开始产生明显的塑性变形。屈服点是表示具有屈服现象的材料强度指标。只有退火、正火或热轧状态的低碳钢和中碳钢以及少数合金，才有明显的屈服现象，而大多数金属材料的屈服现象是很难测定的。因此，规定试样产生0.2%残余伸长时的应力作为屈服强度，并以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \text{ Pa}$$

式中 $P_{0.2}$ ——产生0.2%残余伸长的载荷，N。

屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 和屈服点 σ_s 都表征金属材料开始产生明显塑性变形的抗力。

屈服强度是金属材料最重要的机械性能指标之一。凡在使用过程中不允许产生塑性变形的机器零件和工程结构件，则要以屈服强度作为设计和选材的主要依据。

4. 强度极限

强度极限 σ_b 在工程上通常称为抗拉强度，它表示试样在断裂前所能承受的最大应力值，即

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

式中 P_b ——试样拉断前所能承受的最大载荷，N。

由拉伸图可以看到，对于塑性材料，在 P_b 以前试样产生均匀变形，即试样各部分的相对伸长是一样的；然而在 P_b 以后，试样变形将集中在颈缩区域。抗拉强度表征了材料对最大均匀塑性变形的抗力，它是工程设计和选材的主要依据之一，也是金属材料的重要机械性能指标之一。

抗拉强度并不是断裂强度，断裂强度等于拉断时的载荷 P_k 与颈缩处截面积 F_k 的比值，它表征了材料对断裂的抗力。对于塑性较差的材料，一般不产生颈缩，因此断裂前的最大载荷 P_b 就是断裂时的载荷 P_k ，故抗拉强度 σ_b 就是断裂强度，即，在无颈缩的情况下，抗拉强度 σ_b 就表征了材料的断裂抗力。

三、塑性指标及其测定

由应力-应变曲线可以看出，当应力超过屈服极限时，试样即产生塑性变形，且随应力的增大，应变也随之增大，直至断裂。金属材料在断裂前的塑性变形能力称为塑性。塑性指标通常用金属断裂时的最大相对变形量来衡量，如在拉伸试验时，金属材料的塑性用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

1. 延伸率 δ

延伸率 δ_k 表示试样在断裂时的相对伸长，用百分数(%)来表示，即

$$\delta_k = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_k ——试样断裂后的标距长度，mm；

l_0 ——试样的原始标距长度，mm。

试样的长度和截面尺寸对延伸率 δ 是有影响的，为了使同一种材料不同尺寸的试样得到相同的延伸率 δ ，必须取 $\frac{\sqrt{F_0}}{l} = \text{常数}$ ，即试样必须按比例地增大或缩小其长度和截面积。

按国家标准规定，标准圆形试样有两种：当 $\frac{l_0}{d_0} = 5$ 时，称为标准短试样，其延伸率以 δ_5 表示；当 $\frac{l_0}{d_0} = 10$ 时，称为标准长试样，其延伸率以 δ_{10} 或者 δ 表示。因此，对于不同的材料，只有用同一种标准试样的延伸率比较才是正确的，但同一种材料的 δ_5 与 δ_{10} 数值是不相等的，不能直接用 δ_5 和 δ_{10} 进行比较。

2. 断面收缩率 ψ

断面收缩率 ψ 是断裂后试样横截面积的相对收缩值，用百分数（%）来表示，即

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

式中 F_k ——试样断裂后的最小截面积， mm^2 。

δ 或 ψ 的大小表示金属材料的塑性变形能力， δ 或 ψ 愈大，则材料的塑性愈好。虽然零件的设计是以强度为主要依据的，并且限定它在弹性范围内工作，但在实际工作过程中，工件可能出现应力集中或遭到偶然过载的情况，材料的塑性将为零件安全工作提供可靠的保证，使其不致早期断裂。

第二节 硬 度

硬度是表示金属材料软硬程度的一种性能指标，通常是用压入硬度法测定的，它表征了材料抵抗外物压入的能力，也可以说是材料对局部塑性变形的抗力。材料对塑性变形的抗力愈大，就愈不易产生局部塑性变形，其硬度愈高。

硬度试验的设备简单、操作迅速简便，可直接在零件表面进行非破坏性检验。所以，硬度作为一项主要的性能指标，在生产实践与科学研究中得到了广泛的应用。常用的硬度试验法有：布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度试验法，其中应用最多的是洛氏硬度试验法。

一、布 氏 硬 度

布氏硬度的测定原理是用规定的载荷 P ，将直径为 D 的钢球垂直压入被测的金属表面（图1-5），保持一定时间后再卸掉载荷，然后测量钢球在金属表面上所形成的圆形压痕直径 d ，用载荷 P 除以压痕面积 F ，所得到的单位面积上所受的力 P/F 即为布氏硬度值，以符号HB来表示。

$$\text{HB} = \frac{P}{F} = \frac{P}{\pi D h} = \frac{P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

若 P 以 N 、 D 与 d 以 mm 计，则HB单位为 10MPa ，习惯上一般不标单位，只标硬度数值。实际测试时也不需要用上式计算，只要测出压痕直径 d ，即可根据 P 、 D 和 d 的数值，直接从布氏硬度表中查出HB值。由上式可知，当载荷 P 与钢球直径 D 一定时，HB值只与压痕直径 d 有关， d 值愈大，对表示材料对局部塑性变形的抗力愈小，布氏硬度HB值愈小；反之，布氏硬度HB值就愈大。

由于被测金属材料软硬程度不一样，工件大小、厚度又不相同，因而在实际进行布氏硬度试验时，应根据工件的具体情况，按规定选用不同大小的载荷 P 和钢球直径 D 。