

高职高专规划教材

JINSHU CAILIAO JI RECHULI

金属材料及热处理

于 晗 孙 刚 主编



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

高职高专规划教材

金属材料及热处理

于 晗 孙 刚 主编
吴海宏 主审

北 京
冶金工业出版社
2008

内 容 提 要

本教材是根据教育部《关于加强高职高专教育人才培养工作的若干意见》等文件及现阶段高职高专院校冶金、材料、机械专业教学实际情况,结合金属材料与热处理课程教学大纲编写的。全书共分为10章,主要内容有金属的力学性能、金属的晶体结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、合金的相结构与相图、钢的热处理、碳素钢与合金钢、铸铁、非铁合金、非金属材料等。

本教材是高等专科学校、职业技术学院冶金、材料、机械专业通用教材,同时也适用于职工大学、业余大学选用,并可供相关专业工程技术人员、技术工人参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及热处理/于晗,孙钢主编. —北京:冶金工业出版社,2008.9

高职高专规划教材

ISBN 978-7-5024-4616-1

I. 金… II. ①于…②孙… III. ①金属材料—高等学校:技术学校—教材 ②热处理—高等学校:技术学校—教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 132597 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 俞跃春 美术编辑 李 心 版式设计 张 青

责任校对 侯 璐 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-4616-1

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 9 月第 1 版,2008 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12.75 印张; 338 千字; 192 页; 1-3000 册

26.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

金属材料及热处理是高职院校冶金类、材料、机械类各专业的技术基础课,它主要研究金属材料的成分、组织结构与性能之间的关系及其对加工工艺的影响。通过本课程的学习,可认识金属材料的一般规律,为合理地制定加工工艺、合理选材及后续课程的学习打下基础。

本教材从培养技能型、应用型人才的目的出发,根据现阶段高职院校冶金、材料、机械专业教学实际情况,结合金属材料与热处理课程教学大纲编写。全书主要内容包括:金属材料的力学性能、金属学原理、热处理原理与方法、常用金属材料、非金属材料等。

本教材的内容具有以下几个特色:(1)以能力培养为原则,突出实用性,以实际动手能力为先机,突出理论与冶金、材料、机械生产实际相结合。(2)内容深入浅出,循序渐进,以利于学生更好地理解与掌握教学内容。(3)教材中注意贯彻有关最新的国家标准与行业标准。(4)突出综合应用能力,并在每章编入了复习思考题,有利于学习者掌握基本概念、巩固知识,提高分析、解决问题的能力。

参加本教材编写工作的有:于晗(编写前言、第1、2、5、6章)、孙刚(编写绪论、第3、4、7、8章)、宫娜(编写第9、10章)。全书由于晗、孙刚担任主编,由河南工业大学吴海宏主审。

本教材编写过程中参考了各类相关教材,采纳了一些工厂、科研院所及院校的技术资料、教学资料和论文,在此特向参考文献的各位著作者致以衷心的感谢!由于编者水平有限,书中的不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年6月

编写了本章小结和思考与练习,便于学生自学与思考;

5. 编写了实践性教学环节和三个实验内容,培养学生动手能力。

本课程共 32 学时,其中课堂讲授 26 学时,实验 6 学时,建议分配如下:

绪论	1
第一章 金属的结构和结晶	3
第二章 二元合金相图及结晶	4
第三章 铁碳合金和铁碳相图	2
第四章 金属的塑性变形和再结晶	3
第五章 钢的热处理	4
第六章 合金钢	3
第七章 铸铁	2
第八章 有色金属及其合金	2
第九章 材料的机械性能及机械零件的失效与选材分析	2
实验	6
合计	32

本书由王孝峰担任主编;郭海奎担任编委。

本书在编写过程中,参考了一些教材和资料,在此一并表示感谢。本教材的编写虽经过编者的不懈努力,但限于编者水平与能力,书中难免有错误与不足之处,恳请广大读者和使用本书的各位教师、同仁提出批评和宝贵的意见,使本书不断完善。

编 者

目 录

0 绪论	1
0.1 材料的分类与应用	1
0.2 材料的发展与社会进步	1
0.3 本教材的目的、任务和基本要求	2
0.3.1 本教材的目的	2
0.3.2 学习本教材的任务	2
0.3.3 本教材的学习方法	2
1 金属材料的力学性能	3
1.1 强度和塑性	3
1.1.1 拉伸试验	3
1.1.2 强度指标	5
1.1.3 塑性指标	6
1.2 硬度	7
1.2.1 布氏硬度	8
1.2.2 洛氏硬度	9
1.2.3 维氏硬度	10
1.3 冲击韧性	11
1.3.1 冲击试验原理	11
1.3.2 冲击试验的应用	12
1.3.3 多次冲击试验	13
1.4 疲劳	14
1.4.1 疲劳的概念	14
1.4.2 疲劳指标	14
复习思考题	15
2 金属的晶体结构与结晶	16
2.1 金属的晶体结构	16
2.1.1 金属键	16
2.1.2 晶体的基本知识	16
2.1.3 常见金属的晶体结构	18
2.1.4 晶体结构的致密度	19
2.1.5 晶面与晶向	19
2.2 实际金属的晶体结构	20

2.2.1 多晶体结构	20
2.2.2 晶体的缺陷	21
2.3 纯金属的结晶	23
2.3.1 纯金属结晶的过冷现象	23
2.3.2 纯金属的结晶过程	25
2.3.3 金属结晶晶粒大小的控制	27
2.3.4 铸锭的结晶及缺陷	28
2.3.5 同素异构转变	30
复习思考题	31
3 合金相结构与二元相图	32
3.1 合金相结构	32
3.1.1 合金的概念	32
3.1.2 合金的相结构	33
3.1.3 合金的组织	36
3.2 二元合金相图	37
3.2.1 二元相图的表示方法	37
3.2.2 二元合金相图的建立	38
3.2.3 匀晶相图	38
3.2.4 共晶相图	41
3.2.5 合金性能与相图的关系	45
复习思考题	46
4 铁碳合金相图	48
4.1 铁碳合金的基本相	48
4.1.1 铁素体	48
4.1.2 奥氏体	48
4.1.3 渗碳体	49
4.2 Fe-Fe ₃ C 合金相图分析	49
4.2.1 Fe-Fe ₃ C 相图中各主要特性点	49
4.2.2 Fe-Fe ₃ C 相图中的特性线	50
4.2.3 Fe-Fe ₃ C 相图中的相区	51
4.3 典型铁碳合金的结晶过程分析	52
4.3.1 铁碳合金分类	52
4.3.2 典型铁碳合金的结晶过程分析	52
4.4 铁碳合金的成分、组织和性能的关系	56
4.4.1 含碳量与平衡组织的关系	56
4.4.2 含碳量对铁碳合金力学性能的影响	57
4.5 Fe-Fe ₃ C 相图的应用	58

4.5.1 在选材方面的应用	58
4.5.2 在铸造生产方面的应用	58
4.5.3 在压力加工工艺方面的应用	58
4.5.4 在焊接工艺方面的应用	59
4.5.5 在热处理方面的应用	59
复习思考题	59
5 金属的塑性变形与再结晶	61
5.1 金属的塑性变形	61
5.1.1 单晶体的塑性变形	61
5.1.2 多晶体的塑性变形	65
5.2 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	65
5.2.1 塑性变形对金属组织的影响	65
5.2.2 塑性变形产生残余应力	67
5.2.3 冷塑性变形对金属性能的影响	67
5.3 冷变形金属在加热时的变化	68
5.3.1 回复	68
5.3.2 再结晶	69
5.3.3 晶粒长大	70
5.4 金属的热变形加工	71
5.4.1 热变形加工与冷变形加工的区别	71
5.4.2 金属的热变形加工对组织和性能的影响	72
复习思考题	74
6 钢的热处理	75
6.1 钢在加热时的转变	75
6.1.1 奥氏体的形成	76
6.1.2 奥氏体晶粒的长大及其影响因素	77
6.2 钢在冷却时的转变	78
6.2.1 过冷奥氏体的等温转变	78
6.2.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	85
6.3 钢的退火与正火	86
6.3.1 钢的退火	86
6.3.2 钢的正火	88
6.4 钢的淬火	89
6.4.1 淬火工艺	89
6.4.2 钢的淬透性	92
6.5 钢的回火	95
6.5.1 回火的目的	96

6.5.2 淬火钢在回火时的组织转变	96
6.5.3 回火组织与性能	97
6.5.4 回火的分类及其应用	98
6.5.5 回火脆性	99
6.6 钢的表面热处理	99
6.6.1 钢的表面淬火	99
6.6.2 钢的化学热处理	101
6.7 钢的形变热处理	105
6.7.1 高温形变热处理	106
6.7.2 低温形变热处理	106
复习思考题	107
7 常用钢	109
7.1 钢的分类与牌号	109
7.1.1 钢的分类方法	109
7.1.2 钢的牌号	110
7.2 各种元素对钢性能的影响	111
7.2.1 钢中杂质元素的影响	111
7.2.2 合金元素在钢中的作用	112
7.3 结构钢	116
7.3.1 普通碳素结构钢	117
7.3.2 低合金高强度结构钢	118
7.3.3 机械结构用钢	120
7.4 工具钢	126
7.4.1 刃具钢	127
7.4.2 模具钢	132
7.4.3 量具钢	135
7.5 特殊性能钢	136
7.5.1 不锈钢	136
7.5.2 耐热钢和耐热合金	140
7.5.3 耐磨钢	144
复习思考题	145
8 铸铁	147
8.1 铸铁的石墨化过程	147
8.1.1 石墨的结构性能	147
8.1.2 铁碳合金双重相图	147
8.1.3 石墨化过程	148
8.1.4 影响石墨化的因素	148

8.2 铸铁的分类	149
8.2.1 根据碳的存在形式分类	149
8.2.2 根据铸铁中石墨形态分类	150
8.3 灰铸铁	150
8.3.1 灰铸铁的成分	150
8.3.2 灰铸铁的组织	151
8.3.3 灰铸铁的性能	151
8.3.4 冷却速度对灰铸铁的组织 and 性能的影响	151
8.3.5 灰铸铁的孕育处理 - 孕育铸铁	152
8.3.6 灰铸铁的牌号与应用	152
8.3.7 灰铸铁的热处理	153
8.4 球墨铸铁	154
8.4.1 球墨铸铁的组织、性能和牌号	154
8.4.2 球墨铸铁的生产	156
8.4.3 球墨铸铁的热处理	156
8.5 蠕墨铸铁	158
8.5.1 蠕墨铸铁的化学成分	158
8.5.2 蠕墨铸铁的组织、性能、牌号及用途	158
8.6 可锻铸铁	159
8.6.1 可锻铸铁的化学成分	159
8.6.2 可锻铸铁生产工艺	159
8.6.3 可锻铸铁的牌号、性能特点及用途	160
8.7 合金铸铁	161
8.7.1 耐热铸铁	161
8.7.2 耐磨铸铁	161
8.7.3 耐蚀铸铁	162
复习思考题	162
9 有色金属材料	163
9.1 铝及其合金	163
9.1.1 工业纯铝	163
9.1.2 铝合金的分类与时效强化	163
9.1.3 变形铝合金	165
9.1.4 铸造铝合金	167
9.2 铜及其合金	169
9.2.1 工业纯铜	169
9.2.2 铜合金的分类及编号	170
9.2.3 黄铜	170
9.2.4 青铜	171

9.3 滑动轴承合金	174
9.3.1 轴承合金的性能要求与组织特征	174
9.3.2 常用轴承合金	175
复习思考题	177
10 非金属材料	178
10.1 高分子材料	178
10.1.1 高分子材料的基本知识	178
10.1.2 塑料	180
10.1.3 橡胶	182
10.1.4 胶黏剂	185
10.2 陶瓷材料	186
10.2.1 陶瓷的分类	187
10.2.2 陶瓷的性能特点	187
10.2.3 陶瓷的组织结构	187
10.2.4 常用陶瓷性能特点及应用	188
10.3 复合材料	189
10.3.1 复合材料的概念	189
10.3.2 复合材料的分类	190
10.3.3 复合材料的特点	190
10.3.4 常用复合材料简介	190
复习思考题	191
参考文献	192

0 绪 论

材料是人类赖以生存和发展的物质基础,人类利用材料制作了生产和生活工具,不断改善自身的生存环境和生活质量,创造人类的物质和精神文明。人类社会的发展历史证明,生产中使用的材料的性质直接反映人类社会的文化水平,在某种意义上也可以说,人类文明发展史是人类对材料占有、认识、制造、使用和发展的历史。当今,材料的品种、数量和质量已经成为衡量一个国家现代化程度的重要标志。

0.1 材料的分类与应用

本教材以工程材料为研究对象。工程材料是指应用于工程构件、机械零件、工具等的材料。通常将工程材料按化学组成为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类:

(1) 金属材料是目前各种机器设备中应用最多的材料(约占90%以上)。金属材料来源丰富,具有优良的使用性能与工艺性能。金属材料还可通过不同成分配制、不同加工和热处理来改变其组织和性能,从而进一步扩大其使用范围。

(2) 非金属材料包括有机合成高分子材料(塑料、合成橡胶等)和无机非金属材料(包括传统陶瓷和新型陶瓷等)。非金属材料的某些力学性能不如金属材料,但它们的某些特性,例如耐腐蚀,电绝缘性,隔声、减振、耐高温(陶瓷材料)等,往往是金属材料所不具备的。还具有原料来源丰富、价廉和成形加工容易等优点,因而近年发展较快。目前,它们不仅应用于人们的生活用品上,而且在工业生产中的应用也已日益广泛。

(3) 复合材料是在金属材料、高分子材料和无机非金属材料的基础上,近年来,人们为集中各类材料的优异性能于一体,从而能充分发挥各类材料的潜力,研制出各种由两种以上单一材料组成的多相材料。复合材料是一种很有发展前途的材料。

0.2 材料的发展与社会进步

材料的制造与使用水平是人类文明进步的划分标志。从历史来看,社会的文明进步和生产技术的发展,总是和新材料的出现密切相关,它们既互为因果,又互相促进。根据制造和使用材料的水平,可将人类的发展史划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代。从石器时代到陶器时代是人类发展史上的第一次飞跃,人类的智慧发展到将天然材料改造为人工材料及其制品;青铜器时代,则是人类使用金属材料的第一个里程碑,它标志着人类征服自然、发展社会生产力方面又迈出了具有深远意义的一步。只有在进入铁器时代,人们把铁(钢)制成工具、设备之后,才使社会经济和生活发生巨大变化,进入生产力重大发展的近代文明时代,并延续至今将近三千年。历史的发展说明,人类社会的发展、进步与对材料的认识、应用水平密切相关。

我国古代劳动人民在金属材料及其加工工艺方面取得了辉煌的成就,为人类文明做出了巨大的贡献。我国是世界上使用金属材料最早的国家之一。我国使用铜的历史约有4000余年,大量出土的青铜器说明,在商代(公元前1600~1046年)就有了高度发达的青铜加工技术。例如,河南安阳出土的司母戊大鼎,体积庞大,花纹精巧,造型精美,重达875kg,说明当时

的制造模样、铸型和冶炼等技术已达相当高的水平。

早在公元前 6 世纪即春秋末期,我国就已出现了人工冶炼的铁器,比欧洲出现生铁早 1900 多年。如 1953 年在河北兴隆地区发掘出的用来铸造农具的铁模子,说明铁制农具已大量地应用于农业生产中。明朝宋应星所著《天工开物》一书中详细记载了古代冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等多种金属的加工方法。书中介绍的锉刀、针等工具的制造过程与现代几乎一致,可以说《天工开物》一书是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一。

近年来,我国在材料科学研究与高性能工程材料应用方面发展很快。在原子弹、氢弹、空间发射技术、卫星回收技术和载人航天技术等方面的卓越的成就都无不包含着相应水平的材料科学与工程的支持。随着我国科学技术发展,对材料品种、质量和功能的要求也越来越高。现今在发展高性能金属材料的同时,我国在高性能的非金属材料的研制和应用方面也取得了迅速的发展。

0.3 本教材的目的、任务和基本要求

《金属材料及热处理》主要内容包括金属学基础及热处理、常用的金属材料、非金属材料等。主要讲授工程构件和机器零件用材的成分、组织结构和性能之间关系、变化规律和改变材料性能的途径等。

0.3.1 本教材的目的

本教材的目的是使学生获得金属材料的基本理论、基本知识,为合理选用材料和学习有关课程奠定必要的基础。

0.3.2 学习本教材的任务

熟悉常用金属材料的成分,加工工艺,组织结构与性能间关系及其变化规律。使学生获得有关金属材料的基本理论和基本知识,掌握常用热处理的原理、方法和基本工艺。了解常用金属材料的成分、组织、性能特点及应用场合。初步具备应用金属学原理制定和分析冶金生产工艺的能力和合理选材、制定零件加工工艺路线的能力。初步掌握常用金属材料的性能和应用,并初步具备合理选用常用材料的能力

0.3.3 本教材的学习方法

本教材的名词概念较多,而且抽象、分散,使初学者感到较难掌握。因此,应注意掌握基本理论及重要名词、概念,抓住材料成分、工艺、组织结构及性能变化规律这条主线进行学习、记忆,注重理解、分析和综合应用,避免死记硬背。要认真完成习题、实验等教学环节。在学习本教材时,应多联系生产实际,联系自己在生活和各类实践中相关的感性认识和生活经验,特别是在实验和实习中要多观察、勤实践,主动在实践中发现问题,并理论联系实际地分析、讨论、交流,在解决实际问题中更好地掌握教材中的基础知识和理论。

1 金属材料的力学性能

金属材料是现代工业、农业、国防、科学技术各个领域应用最广泛的材料，大量用于制造各种工程构件、机械设备、机械零件、加工工具、仪器仪表和日常生活用品。金属材料之所以应用广泛，是由于材料来源丰富，生产加工工艺较简单，而且还具有优于非金属材料的良好性能。

金属材料的性能包含工艺性能和使用性能两方面。工艺性能是指金属材料在制成各种零件、构件的过程中表现出的适应加工的性能，包括冶炼、铸造、锻造、焊接、切削加工、热处理等工艺方面的性能；使用性能是指金属材料在使用条件下保证机械零件或工具正常工作应具备的性能，它决定了材料的应用范围，包括物理性能、化学性能、力学性能等。金属材料具有良好的工艺性能，才能够比较容易地通过某种工艺的手段加工成形；具有良好的使用性能，才能满足使用要求，两者缺一不可。

金属材料制成的零件、工具和结构件在运转和使用过程中，都会受到载荷的作用产生变形。如果载荷超过金属材料的承受能力，就会使变形超过允许的范围或导致零件开裂、工具损伤和结构扭曲，丧失正常的使用功能。因此为了正确选择和合理使用金属材料，必须通过力学性能试验，了解金属材料对各种载荷的承受能力，以此作为设计和选材的依据。金属材料的力学性能就是通过各种力学性能试验得出的材料在各种载荷作用下抵抗破坏的性能。

金属材料的力学性能是零件设计和选材的重要依据，同时也是评定材料质量和生产工艺水平的必要手段，对冶金产品的生产来说，金属材料的力学性能还是改进生产工艺、控制产品质量的重要参数。当载荷性质、环境温度与介质等外在因素改变时，对材料力学性能的要求也不同。常用的金属材料力学性能包括强度、硬度、塑性、冲击韧性、疲劳等，它们表示金属材料在不同载荷作用下表现出的性能和能力。

1.1 强度和塑性

强度是指金属材料在载荷作用下抵抗塑性变形与断裂的能力。由于载荷作用的方式有轴向拉伸与压缩、剪切、扭转和弯曲等不同方式，所以强度指标可分为抗拉强度、抗压强度、抗剪强度、抗扭强度和抗弯强度等，生产中常用抗拉强度作为确定金属强度高低的指标。

塑性是金属材料在载荷作用下产生塑性变形而不破坏的能力。

金属材料在静载荷作用下的强度指标与塑性指标是通过拉伸试验测定的。金属拉伸试验是力学性能中最基本的试验，能清楚地反映出金属材料受载荷时表现出的弹性变形、塑性变形、断裂三个过程，由此确定出相应的性能指标。

1.1.1 拉伸试验

拉伸试验是最常用的力学性能试验，它是将一定形状和尺寸的金属试样装夹在拉伸试验机上，然后对试样施加缓慢增加的拉伸载荷，直至把试样拉断为止。记录试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量之间的关系，作出该金属的拉伸曲线，由拉伸曲线确定力学性能的强度指标。

1.1.1.1 拉伸试样

为了能比较在不同试验条件下的试验结果,对拉伸试样的形状、尺寸与加工要求有统一的规定。按国标 GB 228—87 的规定,拉伸试样有圆形试样与板状试样两种,常用的为圆形试样,如图 1-1 所示。

图中 d_0 为标准试样的原始直径; l_0 为标准试样的原始标距长度。根据标距长度与直径的比值关系,拉伸试样可分为长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$) 两种。

1.1.1.2 力 - 伸长曲线

在进行拉伸试验时,拉伸力 F 和试样伸长量 Δl 之间的关系曲线,称为力 - 伸长曲线 (也称拉伸曲线)。通常把拉伸力 F 作为纵坐标,伸长量 Δl 作为横坐标,可由拉伸试验机自动绘出,图 1-2 所示为低碳钢的力 - 伸长曲线。

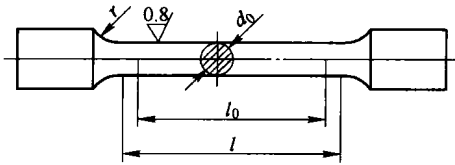


图 1-1 拉伸试样

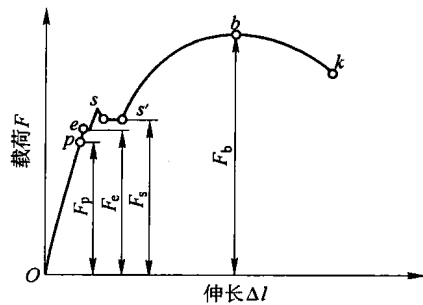


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

由曲线分析,低碳钢试样在拉伸过程中表现为以下几个变形阶段。

A Oe ——弹性变形阶段

当试样开始受力,直到外力达到 F_e 时,试样发生了变形,此阶段的变形为弹性变形,即除去外力试样能恢复原来的形状与尺寸。曲线的 Op 段为一直线,这表明试样的伸长量与外力成正比关系,符合胡克定律。 F_p 是能够保持正比例关系的最大外力;曲线的 pe 段略有弯曲,此时试样的伸长量与外力不再成正比关系,但还属于弹性变形阶段; F_e 是试样发生弹性变形的最大拉伸力。

B es ——微量塑性变形阶段

外力超过 F_e 后,试样进一步发生变形,此时若除去外力,弹性变形消失,而另一部分变形不能消失,即试样不能恢复到原来的尺寸,此部分变形为塑性变形,变形量比较小。

C ss' ——屈服阶段

当外力达到 F_s 时,拉伸曲线出现了水平或锯齿形,这表明在外力不增加或增加很小甚至略有下降时,试样继续变形,这种现象称为“屈服”。

D $s'b$ ——均匀塑性变形阶段

外力超过 F_s 后,开始产生大量塑性变形。此阶段随外力增加,变性不断增加,而且外力增加量不大,试样的变形量较大,试样的变形是沿着整个标距均匀进行,直到 b 点。 F_b 是试样拉伸过程的最大外力。

E bk ——局部塑性变形阶段

b 点以后,总外力不断下降,变形继续进行。塑性变形集中在试样的某个局部进行,使此处截面面积迅速下降,产生所谓颈缩现象,颈缩现象在拉伸曲线上表现为一段下降的曲线,直

到 k 点发生断裂。

以上是低碳钢拉伸曲线的各变形阶段，从拉伸曲线可分析出试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形、屈服、均匀塑性变形、集中塑性变形与断裂几个主要阶段，用它说明金属材料在常温拉伸过程的全部行为。但是不同材料因其本性不同，变形特点不同，拉伸曲线各不相同。如铸铁在破坏前没有大量的塑性变形，因此无屈服现象与颈缩现象。图 1-3 所示为铸铁的拉伸曲线。

1.1.1.3 应力 - 应变曲线

拉伸曲线全面体现了金属材料在单向拉伸力作用下，从开始变形直至断裂过程的各种性质。但是拉伸曲线上的拉伸力 F 与伸长量 Δl 不仅与试样的材质有关，还与试样的原始尺寸有关。为了消除试样尺寸的影响和能够直接从拉伸曲线上读取力学性能指标，将拉伸曲线的纵坐标用应力 σ 表示，横坐标用应变 ε 表示，则得到与试样尺寸无关的应力 - 应变曲线。

试样承受的拉伸力 F 除以试样的原始横截面积 A_0 ，则可得到试样受到的应力 σ ，将试样的伸长量 Δl 除以试样的原始标距长 l_0 则可得到试样的相对伸长量，即应变 ε 。

图 1-4 为低碳钢的应力 - 应变曲线。拉伸曲线与应力 - 应变曲线因其横、纵坐标仅是用一个常数相除，因此曲线的形状相似。应力 - 应变曲线不受试样尺寸的影响和可以直接读出金属材料的一些性能指标。

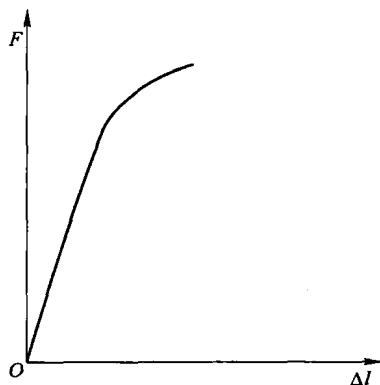


图 1-3 铸铁的拉伸曲线

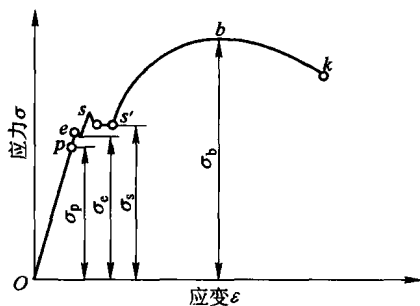


图 1-4 低碳钢的应力 - 应变曲线

1.1.2 强度指标

由应力 - 应变曲线上的各特殊点，可确定反映材料弹性变形的性能指标与强度指标。

1.1.2.1 比例极限与弹性极限

比例极限是应力与应变保持正比例关系（符合胡克定律）的最大应力，即

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_0}$$

式中 σ_p ——比例极限，MPa；

F_p ——外力与变形量能保持正比例关系的最大外力，N；

A_0 ——试样的原始横截面面积， mm^2 。

弹性极限是材料在外力作用下产生弹性变形时能承受的最大应力，即

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

式中 σ_e ——弹性极限, MPa;

F_e ——试样产生弹性变形的最大外力, N;

A_0 ——试样的原始横截面面积, mm^2 。

弹性极限较比例极限稍大,但两者在数值上非常接近,因此国家标准中只规定了比例极限作为金属材料的性能指标,用于某些精密弹性元件的设计数据。

1.1.2.2 屈服点与屈服强度

屈服点是材料产生屈服时的最低应力,即

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

式中 σ_s ——屈服极限, MPa;

F_s ——试样产生屈服时的外力, N;

A_0 ——试样的原始横截面面积, mm^2 。

很多金属材料,如高碳钢、大多数合金钢、许多有色金属材料,在拉伸试验中没有明显的屈服现象,故无法确定屈服点。对于这些材料国家标准 GB 228—87 规定,以试样标距产生 0.2% 残余变形时的应力为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示,即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

式中 $F_{0.2}$ ——试样标距产生 0.2% 残余变形时的外力, N;

A_0 ——试样的原始横截面面积, mm^2 。

由应力-应变曲线分析可知,金属材料的工作应力大于屈服点或屈服强度将开始产生明显的塑性变形,而大多数机器零件和工程结构件,常因过量的塑性变形而失效,所以一般零件在工作中不允许产生塑性变形。由上述可知,材料的屈服点或屈服强度是零件设计时的主要依据,也是评定金属材料质量的重要力学性能指标。

1.1.2.3 强度极限(抗拉强度)

强度极限是材料在断裂前能承受的最大应力,即

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

式中 σ_b ——强度极限, MPa;

F_b ——试样在断裂前能承受的最大外力, N;

A_0 ——试样的原始横截面面积, mm^2 。

由应力-应变曲线分析可知,强度极限是金属材料由均匀塑性变形向局部塑性变形过渡的临界值,也是材料在静拉伸条件下承受的最大应力。对于脆性材料制成的零件,断裂是失效的主要原因,因此强度极限也是零件设计时的主要依据与评定材料强度的重要指标。

另外,比值 σ_s/σ_b 称为屈强比,是一个重要的指标。其比值越大,越能发挥材料的潜力,减少工程结构自重。但为了使用安全,也不宜过大,一般合理的比值在 0.65~0.75 之间。

1.1.3 塑性指标

金属材料的塑性指标也是通过拉伸试验来确定的,用伸长率 δ 与断面收缩率 ψ 来表示。

1.1.3.1 伸长率

伸长率是试样拉断后标距增长量与原始标距长度之比,即