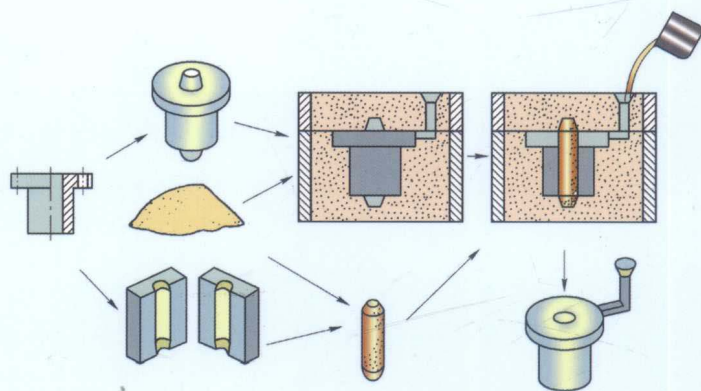



高等学校规划教材
GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

工程材料与成型工艺

主 编 徐萃萍 赵树国

副主编 孙方红 王明国 薛维华



 冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校规划教材

工程材料与成型工艺

主 编 徐萃萍 赵树国
副主编 孙方红 王明国 薛维华

北 京
冶金工业出版社
2010

内 容 简 介

本书主要包括工程材料及成型工艺两部分。其中工程材料部分包括工程材料性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金状态图、钢的热处理、碳钢和铸铁、非铁金属及粉末冶金材料等。成型工艺部分包括铸造成型、塑性成型、焊接成型、材料及毛坯的选择等。此外,面对非金属材料的迅速发展,从机械制造业的实际出发,介绍了非金属材料的基本知识和成型工艺。

本书可作为高等院校机械类专业的专业教材,也可供其他相关专业的科研技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与成型工艺 / 徐萃萍, 赵树国主编. —北京:
冶金工业出版社, 2010. 8

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-5291-9

I. ①工… II. ①徐… ②赵… III. ①工程材料—
成型—工艺—高等学校—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 155336 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 yjchs@cnmip.com.cn

责任编辑 李 雪 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 王贺兰 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-5291-9

北京印刷一厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2010 年 8 月第 1 版, 2010 年 8 月第 1 次印刷

787 mm × 1092 mm 1/16; 14.25 印张; 380 千字; 217 页

32.00 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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书以教育部最新颁布的“工程材料及机械制造基础课程教学基本要求”和“工程材料及机械制造基础系列课程改革计划”为指导,并吸收了各项教学改革的经验及广大读者对马壮老师2007年编写的《工程材料与成型工艺》一书的意见和建议,由有长期教学经验的教师编写而成。

《工程材料与成型工艺》在编写过程中,贯彻素质教育思想,注重对学生应用创新能力的培养,主要有以下几个特点:

(1) 力求精选内容,使教材整个内容更为连贯、合理,便于学生理解和掌握。另外,每章都有复习思考题,有利于学生理解、掌握所学内容。

(2) 针对目前课程学时的减少,在保证基础知识和基本理论“必需”、“够用”的前提下,对一些复杂的公式简化了推导过程,采用简洁明了的语言给出了基本概念、理论和方法。

(3) 增加了热处理和成型工艺的新技术,以拓展学生的知识面。

(4) 全面贯彻国家有关的最新标准,包括名词术语、符号、单位等。

本书由徐萃萍编写绪论、第1章、第6章;薛维华编写第2章、第9章;孙方红编写第3章、第10章、第11章;李万有编写第4章;王明国编写第5章;赵越超编写第7章;赵树国编写第8章。本书由徐萃萍教授、赵树国教授担任主编,由东北地区金工研究会理事长、大连理工大学梁延德教授担任主审。

本书可作为高等院校本科教学用书,教学参考学时为40~60学时,也可供工程技术人员参考。

本书在编写过程中得到了一些院校有关领导和同志的支持和帮助,并参考了有关教材、手册及相关文献,在此表示感谢。

由于编写水平有限,书中不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2010年6月

目 录

0 绪论	1
0.1 材料与成型工艺发展史	1
0.2 本课程的主要内容	2
0.3 学习本课程的目的和基本要求	2
1 工程材料的分类及力学性能	3
1.1 工程材料的分类	3
1.2 工程材料的力学性能	3
1.2.1 强度	3
1.2.2 塑性	6
1.2.3 硬度	6
1.2.4 冲击韧性	8
1.2.5 疲劳强度	9
1.2.6 断裂韧性	10
复习思考题	10
2 金属学基础	11
2.1 金属的晶体结构	11
2.1.1 晶体与非晶体	11
2.1.2 典型金属的晶体结构	11
2.1.3 金属的同素异构转变	13
2.1.4 实际金属的晶体结构	14
2.2 金属的结晶	15
2.2.1 金属结晶的基本规律	15
2.2.2 金属结晶后晶粒的大小及控制	16
2.3 金属的塑性变形与再结晶	17
2.3.1 金属塑性变形的实质	17
2.3.2 金属的冷变形与加工硬化	18
2.3.3 回复与再结晶	18
2.4 合金结构与合金相图	19
2.4.1 固溶体	19
2.4.2 金属化合物	20
2.4.3 机械混合物	20
2.4.4 合金相图	20

2.4.5 相图与合金性能的关系	22
复习思考题	23
3 铁碳合金	24
3.1 铁碳合金状态图	24
3.1.1 铁碳合金的基本组织	25
3.1.2 Fe-Fe ₃ C 状态图分析	26
3.1.3 典型合金的结晶过程分析	27
3.2 铁碳合金状态图的应用	31
3.2.1 铁碳合金的成分-组织-性能关系	31
3.2.2 Fe-Fe ₃ C 状态图的应用	32
复习思考题	33
4 钢的热处理	34
4.1 钢在加热和冷却时的组织转变	34
4.1.1 钢在加热时的组织转变	34
4.1.2 钢在冷却时的组织转变	36
4.2 钢的退火与正火	38
4.2.1 退火	38
4.2.2 正火	39
4.2.3 退火与正火的选择	39
4.3 钢的淬火	40
4.3.1 淬火的目的是	40
4.3.2 淬火工艺	40
4.3.3 钢的淬透性	41
4.4 钢的回火	42
4.4.1 回火的主要目的	43
4.4.2 回火后钢的组织与性能变化	43
4.4.3 回火工艺及应用	44
4.5 钢的表面热处理	45
4.5.1 钢的表面淬火	45
4.5.2 钢的化学热处理	46
4.5.3 热处理新技术简介	49
复习思考题	50
5 钢和铸铁	52
5.1 碳钢	52
5.1.1 含碳量对钢组织和力学性能的影响	52
5.1.2 钢中常存杂质元素对力学性能的影响	52
5.1.3 碳钢的分类	53

5.1.4 碳钢的牌号、性能和用途	53
5.2 合金钢	56
5.2.1 合金钢中的合金元素及其作用	56
5.2.2 合金钢的分类和牌号	57
5.2.3 低合金高强度结构钢	57
5.2.4 合金结构钢	59
5.2.5 合金工具钢	63
5.2.6 特殊性能钢	66
5.3 铸铁和铸钢	67
5.3.1 概述	67
5.3.2 铸铁的牌号与性能	70
5.3.3 铸钢	74
复习思考题	76
6 非铁金属材料与粉末冶金材料	78
6.1 铝及铝合金	78
6.1.1 纯铝	78
6.1.2 铝合金	78
6.2 铜及铜合金	84
6.2.1 纯铜	84
6.2.2 铜合金	85
6.3 镁及镁合金	89
6.3.1 纯镁	89
6.3.2 镁合金	89
6.4 钛及钛合金	90
6.4.1 纯钛	90
6.4.2 钛合金	91
6.5 滑动轴承合金	91
6.5.1 概述	91
6.5.2 常用的滑动轴承合金	92
6.6 粉末冶金材料	93
6.6.1 粉末冶金特点及应用	94
6.6.2 粉末冶金的主要工序	94
6.6.3 硬质合金	95
复习思考题	97
7 非金属材料及其成型	98
7.1 高分子材料及其成型	98
7.1.1 高分子材料基本知识	98

7.1.2	塑料	101
7.1.3	橡胶	104
7.1.4	纤维	106
7.1.5	高分子材料的成型工艺	107
7.2	陶瓷材料及其成型	109
7.2.1	陶瓷的特性	110
7.2.2	常用陶瓷及应用	111
7.2.3	陶瓷材料的制备与成型	112
7.3	复合材料及其成型	114
7.3.1	复合材料的定义、分类及性能	114
7.3.2	常用复合材料	115
7.3.3	复合材料的成型工艺	118
7.3.4	未来材料的发展方向	119
	复习思考题	119
8	铸造成型	121
8.1	砂型铸造	121
8.1.1	造型材料	121
8.1.2	造型方法	122
8.2	合金的铸造性能	124
8.2.1	合金的流动性	124
8.2.2	合金的收缩	125
8.3	铸造工艺设计	130
8.3.1	浇注位置的确定	131
8.3.2	分型面的确定	132
8.3.3	铸造工艺参数的确定	133
8.3.4	典型铸件的铸造工艺方案分析	137
8.4	铸件结构工艺性	138
8.4.1	铸造工艺对铸件结构的要求	138
8.4.2	合金铸造性能对铸件结构的要求	142
8.5	特种铸造	145
8.5.1	金属型铸造	145
8.5.2	压力铸造	145
8.5.3	离心铸造	146
8.5.4	熔模铸造	147
8.5.5	其他特种铸造方法	149
	复习思考题	150
9	塑性成型	152
9.1	金属的塑性成型性能	152

9.1.1	金属塑性变形后的组织与性能	152
9.1.2	金属锻造性能	153
9.1.3	金属塑性变形基本规律	155
9.2	自由锻造	155
9.2.1	基本工序及设备	156
9.2.2	自由锻工艺流程制定	157
9.2.3	自由锻结构工艺性	159
9.3	模型锻造	161
9.3.1	锤上模锻	162
9.3.2	胎模锻造	163
9.3.3	模锻工艺流程的制定	164
9.3.4	模锻件结构工艺性	167
9.4	板料冲压	168
9.4.1	冲压工艺	168
9.4.2	冲模分类与结构	171
9.4.3	板料冲压结构工艺性	172
9.5	轧制、挤压与拉拔	173
9.5.1	轧制	173
9.5.2	挤压	174
9.5.3	拉拔	175
9.6	塑性成型新技术	175
9.6.1	超塑性成型技术	175
9.6.2	液态模锻	176
9.6.3	摆动碾压	176
9.6.4	计算机在塑性成型技术中的应用	177
	复习思考题	177
10	焊接成型	179
10.1	焊接成型的工艺基础	179
10.1.1	焊接冶金基础	179
10.1.2	焊接接头的组织与性能	180
10.1.3	焊接应力与变形	182
10.2	常用焊接方法	186
10.2.1	手工电弧焊	186
10.2.2	埋弧自动焊	188
10.2.3	二氧化碳气体保护焊	189
10.2.4	氩弧焊	190
10.2.5	电渣焊	191
10.2.6	电阻焊	192

10.2.7 钎焊	193
10.3 常用金属材料的焊接	194
10.3.1 金属材料的焊接性	194
10.3.2 钢的焊接	195
10.3.3 铸铁的焊补	196
10.3.4 非铁金属及其合金的焊接	196
10.4 焊接结构设计	198
10.4.1 焊接结构材料的选择	198
10.4.2 焊接方法的选择	199
10.4.3 焊接接头工艺设计	199
10.4.4 典型焊接实例分析	202
复习思考题	204
11 材料及毛坯的选择	205
11.1 机械零件的失效及其防止	205
11.1.1 零件失效的主要形式	205
11.1.2 失效分析的步骤、方法	206
11.1.3 零件失效的原因	206
11.1.4 机械零件早期失效的防止	207
11.2 零件材料及毛坯的选择	208
11.2.1 机械零件材料选择的一般原则	208
11.2.2 毛坯的种类及选择	210
11.2.3 典型零件选材及工艺路线	210
11.3 毛坯质量检验	214
11.3.1 毛坯的质量检验方法	214
11.3.2 毛坯加工中常见缺陷	215
复习思考题	216
参考文献	217

0 绪 论

0.1 材料与成型工艺发展史

材料是人类生活和生产所必需的物质基础,是社会发展的基石。人类社会的发展史表明,材料及其成型工艺是社会文明进步的标志之一。因此,历史学家曾根据制造生产工具的材料及其成型工艺,将人类生活的时代划分为石器时代、陶器时代、铜器时代和铁器时代。如今人类已跨进人工合成材料的新时代,金属材料以及高分子材料、陶瓷材料、复合材料等新型材料得到迅速的发展,为现代社会的发展奠定了重要的物质基础。

材料的发展经历了从低级到高级、从简单到复杂、从天然到合成的过程,材料的发展与应用状况是人类文明发展水平的标志。

大约在二三百万年前,人类最初使用的材料是天然石块,慢慢学会了用石块相互撞击,制造简单工具;后来发展到使用磨制石器,制成了石刀、石斧、石矛等工具。这个时期称为石器时代。公元前 6000 年~公元前 5000 年,人们发现了用黏土(主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3) 烧制成陶器,由于黏土强度低、可塑性、黏结性好,所以制出了形状更加复杂的各种陶器制品,这个时期称为陶器时代。公元前 2140~公元前 1711 年,人们用孔雀石(铜矿石)和木炭炼出铜;到了殷、西周时期铜的应用已发展到较高的水平,普遍用于制作各种工具、食器、兵器等,这个时期称为青铜器时代。我国春秋战国时期的《周礼·考工记》中记载了青铜的成分和性能之间的关系,创造了灿烂的青铜文化。公元前 770 年~公元前 221 年,开始大量使用铁器,比欧洲早 1900 多年;到了西汉时期,采用煤作为炼铁的燃料,炼铁技术有很大的提高,这个时期称为铁器时代。后来钢铁工业迅速发展,钢铁成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。

进入 20 世纪以来,随着现代科学技术和生产的飞跃式发展,材料、能源与信息作为现代社会和现代技术的三大支柱,发展格外迅猛,而材料又是后两者赖以发展的基础。在材料中,非金属材料发展神速,尤以人工合成高分子材料的发展最快。从 20 世纪 60 年代到 70 年代,有机合成材料每年以 14% 的速度增长,而金属材料的年增长率仅为 4%。近 20 多年来,金属与非金属相互渗透、相互结合,新型复合材料异军突起,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上发展起来的材料科学,以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。

在材料的生产和成型工艺方面,中华民族曾创造了辉煌的成就,为人类文明和世界进步做出了巨大的贡献。我国原始社会后期开始有陶器,早在仰韶文化和龙山文化时期,制陶技术已经很成熟。我国使用铜的历史有 4000 年左右,在商代就有高度发达的青铜加工技术。如河南安阳出土的殷商祭器司母戊大方鼎,重达 875 kg,它不仅体积庞大,而且上面花纹精巧、造型精美,反映了我国古代高超的铸造技术。西安出土的秦始皇兵马俑宝剑更令世人震惊,距今已 2300 多年仍光彩夺目、锋利如新。经化验,它渗入了 14 种合金元素,表面是一层含铬的氧化物。它不仅显示出铸、锻、焊工艺技术精湛,而且热处理、尤其合金化的水平也令现代人赞叹叫绝。在春秋时代,我国就大量使用了铁器,比欧洲早 1900 年。东汉时期我国就掌握了炼钢技术,比其他国家早 1600 年。到明朝就有比较完整的文字著作,宋应星所著的《天工开物》一书,记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁和淬火等各种金属加工方法,其中记述的关于锉刀的制造、翻修和热处理工艺与现在

相差无几,是世界上最早较全面阐述金属成型的科学技术著作之一。

以上事实充分说明了中华民族在材料和材料成型工艺方面所取得的卓越成就。但是到了18世纪以后,长期的封建统治和闭关自守以及资本主义列强的侵略,严重地束缚了我国生产力和科学技术的发展,使我国的材料生产和材料成型技术出现了落后的局面。

新中国成立后,我国人民在党的领导下,在金属材料、非金属材料及其成型工艺方面有了突飞猛进的发展。原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、载人宇宙飞船、超导材料、纳米材料等重大项目的研究与实验成功,标志着在材料研究和材料成型方面达到了很高的水平。目前,经过半个多世纪的发展,我国已形成规模庞大、品种齐全、性能较高和较完整的材料工业体系,成为世界上的材料生产大国和材料消费大国。

随着人类文明的进步,对材料品种和性能的要求越来越高,科学工作者对新材料的开发研究一刻也没有停止过,材料的品种以每年5%的速度递增。面向21世纪,新材料有如下发展趋势:继续重视对新型金属材料的研究开发;发展在分子水平设计高分子材料的技术;继续发掘复合材料和半导体硅材料的潜在价值;大力发展纳米材料、信息材料、智能材料、生物材料和高性能陶瓷材料等。

0.2 本课程的主要内容

本课程学习的内容包括工程材料和成型工艺两部分。工程材料部分包括工程材料性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金状态图、钢的热处理、碳钢和铸铁、非铁金属及粉末冶金材料等。成型工艺部分包括铸造成型、塑性成型、焊接成型、材料及毛坯的选择等。此外,面对非金属材料的迅速发展,从机械制造业的实际出发,介绍了非金属材料的基本知识和成型工艺。

0.3 学习本课程的目的和基本要求

《工程材料与成型工艺》是高等工科院校机械类专业的一门重要的技术基础课,其主要目的是使学生通过学习,在掌握工程材料的基本理论及材料成型基本知识的基础上,具备根据零件的服役条件合理选择和使用材料,正确制定热处理、成型工艺方法和妥善安排工艺路线的能力。

学习本课程的基本要求:

- (1) 掌握常用金属材料的分类、牌号、性能及应用范围,具有选用工程材料的初步能力。
- (2) 了解零件的各种成型方法的基本原理、工艺特点及成型范围,并初步具有选择毛坯、零件成型方法及制订简单零件的加工工艺的初步能力。
- (3) 理论联系实际,具有综合运用工艺知识,分析零件结构工艺性的初步能力。
- (4) 了解本课程有关的新材料、新工艺、新技术及其发展趋势。

1 工程材料的分类及力学性能

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,生产出或制造出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、有机高分子材料和复合材料等。

工程材料主要讲述材料的成分、组织结构、性能和应用方面的知识。所谓工程材料是指具有一定性能,在特定条件下能够承担某种功能、被用来制造零件和工具的材料。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。

1.1 工程材料的分类

工程材料有各种不同的分类方法。按化学成分可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四类。

(1) 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、合金钢及合金铸铁等);2) 非铁金属——黑色金属以外的所有金属及其合金。

(2) 高分子材料。高分子材料为有机合成材料,亦称聚合物。它在工程上是发展最快的一类新型结构材料。根据力学性能和使用状态可分为塑料、橡胶和纤维等。

(3) 陶瓷材料。陶瓷是一种或多种金属元素同一种非金属元素(通常为氧)所形成的化合物,属于无机非金属材料。按原料的不同可分为普通陶瓷和特种陶瓷两类。

(4) 复合材料。复合材料就是两种或两种以上不同材料组合的材料,其性能优于它的组成材料。按基体不同分为金属基复合材料、塑料基复合材料、橡胶基复合材料和陶瓷基复合材料等。

1.2 工程材料的力学性能

在选用材料时,首先必须考虑的就是材料的有关性能,使之与工件的使用要求相匹配。材料的性能有使用性能和工艺性能两类。使用性能包括力学性能(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。其中力学性能是工程材料进行结构设计、选材和制订工艺的重要依据。材料的力学性能是指材料在承受各种载荷时所表现出来的性能。通过不同类型的试验,可以测定材料各种性质的性能判据。常见的力学性能指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度及断裂韧度等。

1.2.1 强度

材料抵抗外力作用下变形和断裂的能力称为强度。通过拉伸试验可以测定材料的强度和塑性。目前金属材料室温拉伸试验方法采用 GB/T228—2002 标准,但新标准的采用也有一个过

程,本教材为叙述方便仍采用旧标准(GB/T228—1987)符号。关于金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照见表1-1。

表 1-1 金属材料强度与塑性的新、旧标准名词和符号对照

新标准 GB/T228—2002		旧标准 GB/T228—1987	
名 词	符 号	名 词	符 号
弹性极限	R_e	弹性极限	σ_e
屈服强度		屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b
断面收缩率	Z	断面收缩率	ψ
断后伸长率	A	断后伸长率	δ_5
	$A_{11.3}$		δ_{10}

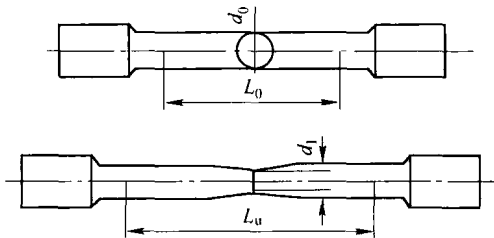


图 1-1 拉伸试样图

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、屈服强度和抗拉强度等。以低碳钢为例,拉伸试验的试样通常加工成圆形或矩形截面,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(如图1-2a所示),称为拉伸曲线图。如果把拉力除以试样的原始横截面积 S_0 ,得到拉应力 σ ,把伸长量 Δl 除以试样的标距长度 L_0 得到应变 ϵ 。根据 σ 和 ϵ ,则可以画出应力-应变曲线(如图1-2b所示)。应力-应变曲线不受试样尺寸的影响,可以从图上直接读出材料的一些常规力学性能指标。

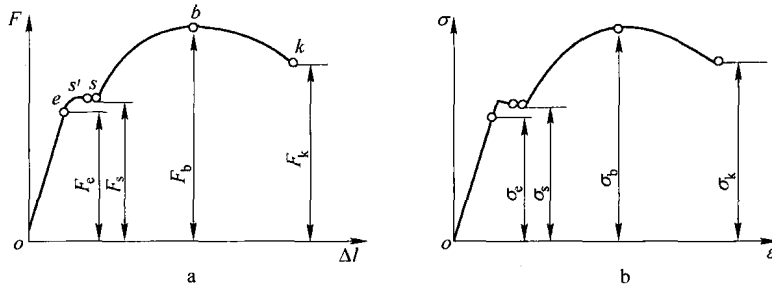


图 1-2 退火低碳钢的拉伸曲线和应力-应变曲线

a—拉伸曲线;b—应力-应变曲线

1.2.1.1 弹性极限

如图1-2a所示,拉伸曲线的 oe 段,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 表示:

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0} \quad (1-1)$$

式中 F_e —— e 点负荷, N;

S_0 ——试样的横截面积, mm^2 。

应力的单位通常用 MPa 表示, $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$ 。

1.2.1.2 屈服点

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。但负荷去除后, 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 F 不变, 或略有升高 (或降低) 的情况下, 伸长量 Δl 继续显著增加, 这种现象称为材料的“屈服”。产生屈服现象时的应力称为屈服点 (曾称屈服极限), 这一阶段的最大、最小应力分别称为上屈服点 (σ_{su}) 和下屈服点 (σ_{sl})。屈服点用符号 σ_s 表示, 计算公式为:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_s —— s 点最小负荷, N;

S_0 ——试样的横截面积, mm^2 。

需要指出, 有些材料 (如高碳钢、铸铁等) 的拉伸曲线中没有明显屈服现象, 如图 1-3 所示。按 GB/T228—1987 规定, 试样产生 0.2% 残余伸长量的应力作为该材料的“屈服强度”, 或称“条件屈服极限”, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。计算公式为:

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 $F_{0.2}$ ——产生 0.2% 残留伸长时的负荷, N;

S_0 ——试样的横截面积, mm^2 。

1.2.1.3 抗拉强度

拉伸曲线的 sb 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, 因而产生了加工硬化, 塑性变形抗力增加。为了增加伸长量 Δl , 必须增大负荷 F_0 到 b 点时, F 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 表示。它代表材料能抵抗最大塑性变形和断裂的能力, 计算公式为:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-4)$$

式中 F_b ——试样所能承受的最大负荷, N;

S_0 ——试样的横截面积, mm^2 。

一般机械零件或工具使用时, 不允许发生塑性变形。因此, 设计机械零件时, σ_s (或 $\sigma_{0.2}$) 是机械设计强度计算的主要依据。而使用脆性金属材料作机械零件构件时, 由于其没有明显的塑性变形阶段, 因此常以 σ_b 作为选材和设计的依据。

σ_s 与 σ_b 的比值称为屈强比, 它反映了材料强度的利用率或强度储备的大小。屈强比越小, 工程构件的可靠性越高, 但材料强度的利用率越低。

σ_s (或 $\sigma_{0.2}$) 与材料密度的比值称为比强度, 它对于在航天航空领域广泛使用的轻质材料十分重要。

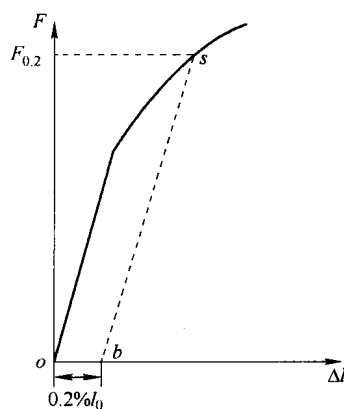


图 1-3 没有明显屈服点的拉伸曲线

1.2.2 塑性

在外力作用下,材料产生永久变形而不破坏的能力称为塑性。在拉伸、压缩、扭转和弯曲等外力作用下所产生的伸长、扭曲和弯曲等,均可表示出材料的塑性。一般而言,材料的塑性皆通过拉伸试验所求得的后伸长率和断面收缩率来表示,这是两个最常用的塑性指标。

1.2.2.1 断后伸长率

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,称为断后伸长率,用 δ 表示。计算公式为:

$$\delta = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 L_0 ——试样原始标距长度,mm;

L_u ——试样拉断后标距长度,mm。

材料的断后伸长率随标距长度增加而减少,所以采用长试样或短试样进行拉伸试验时,所得的伸长率不同,因此必须注明是短试样值,还是长试样值。其中,短试样, $L_0 = 5d_0$ (d_0 为试样直径),其断后伸长率以 δ_5 表示;长试样, $L_0 = 10d_0$ (d_0 为试样直径),其断后伸长率以 δ_{10} 表示。

1.2.2.2 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,称为断面收缩率,用 ψ 表示。计算公式为:

$$\psi = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积,mm²;

S_u ——试样拉断后最小横截面积,mm²。

显然,材料的 δ 和 ψ 越大,则塑性越好。塑性良好的金属可进行各种塑性加工,同时使用安全性也较好。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外,还必须具有一定的塑性。

1.2.3 硬度

硬度是指材料抵抗变形,特别是压痕或划痕形成的永久变形能力,是一个综合反映材料弹性、强度、塑性和韧性的力学性能指标。

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,而其他如拉伸、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,对其他强度性能指标做出大致定量的估计,所以硬度测量应用极为广泛,常把硬度标注于图纸上,作为零件检验、验收的主要依据。这里介绍几种常用的硬度测量方法。

1.2.3.1 布氏硬度

根据 GB/T231.1—2009《金属材料布氏硬度试验》规定,布氏硬度的测量,是应用负荷 F ,将直径为 D 的硬质合金球压入试验表面(如图 1-4 所示),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 F 所得的商,作为硬度的计算指标,用符号 HBW 表示。布氏硬度的试验范围上限为 650HBW。在以前的标准中,也曾用淬火钢球作为压头,测量的布氏硬度值用 HBS 表示,适用于测量硬度小于 450 的材料。

$$\text{HBW} = \frac{F}{A} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-7)$$

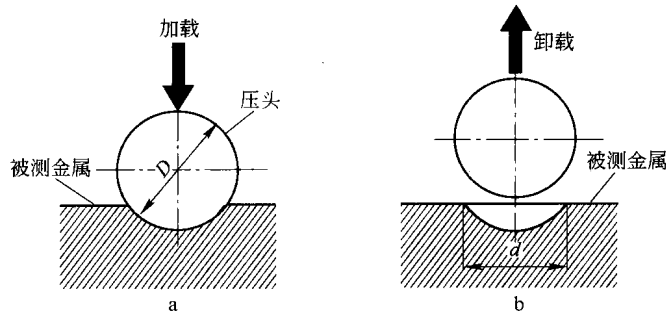


图 1-4 布氏硬度试验原理

a—压头压入试样表面;b—试样表面残留压痕

布氏硬度值的单位为 N/mm^2 , 但习惯上均不标出单位。在实际测量时, 一般并不进行计算, 而是用放大镜测量出压痕平均直径后, 查表即可直接读出 HBW 的值。

布氏硬度的表示方法: 测定的硬度值应标注在硬度符号的前面。如 350HBW10/1000/30, 表示用直径为 10 mm 的硬质合金钢球, 在 9.807 kN 试验力作用下保持 30 s 测得的布氏硬度值为 350。

布氏硬度试验的优点是压痕面积较大, 受试样不均匀度影响较小, 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、偏析严重材料的硬度测量。缺点压痕面积较大, 不适于检验小件、薄件或成品件。

1.2.3.2 洛氏硬度

目前, 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。与布氏硬度不同, 它是以残余压痕深度的大小作为计量硬度的依据。

根据 GB/T230.1—2004《金属洛氏硬度试验》规定, 将压头(金刚石圆锥、钢球或硬质合金球)按图 1-5 所示分两个步骤压入试样表面, 经规定保持时间后, 卸除主试验力, 测量在初试验力下的残余压痕深度 h 。根据 h 值及常数 N 和 S (N 一般取 100 或 130, S 取 0.002), 计算洛氏硬度公式为:

$$\text{洛氏硬度} = N - \frac{h}{S} \quad (1-8)$$

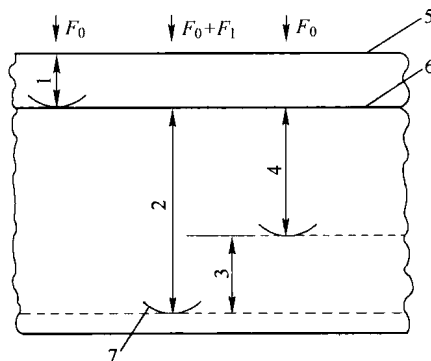


图 1-5 洛氏硬度试验原理

1—在初试验力 F_0 下的压痕深度; 2—由主试验力 F_1 引起的压入深度; 3—卸除主试验力 F_1 后的弹性回复深度; 4—残余压入深度 h ; 5—试验表面; 6—测量基准面; 7—压头位置