

机械制造基础 (上册)

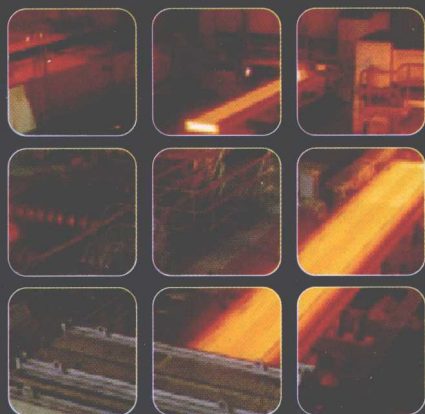
——工程材料及热加工工艺基础 (第2版)

JIXIE ZHIZAO JICHU

主 编 侯书林 朱 海



MECHANICAL



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高等院校机械设计制造及其自动化专业系列规划教材

机械制造基础(上册)—— 工程材料及热加工工艺基础(第 2 版)

主 编 侯书林 朱 海
副主编 徐 杨 陈 晖 凌 刚

内 容 简 介

本书是按照高等学校机械学科本科专业规范、培养方案和课程教学大纲的要求,组织富有多年教学经验、教学一线的骨干教师编写的。编写中根据教学需要主要介绍了以下两部分内容:工程材料及热加工工艺基础。其中,工程材料部分介绍了材料的种类与性能、金属的晶体结构与结晶、合金的相结构与二元合金相图、铁合金相图与碳钢、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及合金、其他工程材料;机械零件的失效分析与选材;热加工工艺基础部分介绍了铸造、锻压、焊接和毛坯的选择。共计 15 章,每后面附有练习与思考。

本书注重学生获取知识、分析问题与解决工程技术问题能力的培养,注重学生工程素质与创新思维能力的培养。为此,本书的编写既体现现代制造技术、材料科学、现代信息技术的密切交叉与融合,又体现工程材料和制造技术的历史传承和发展趋势。

本书可作为高等工科院校、高等农林院校等机械类、近机类各专业的教材和参考书,也可供机械制造工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础.上册,工程材料及热加工工艺基础/侯书林,朱海主编.—2版.—北京:北京大学出版社,2011.2

(21 世纪全国高等院校机械设计制造及其自动化专业系列规划教材)

ISBN 978-7-301-18474-5

I. ①机… II. ①侯…②朱… III. ①机械制造—高等学校—教材②工程材料—加工—高等学校—教材③热加工—工艺学—高等学校—教材 IV. ①TH②TB3③TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 010743 号

书 名:机械制造基础(上册)——工程材料及热加工工艺基础(第 2 版)

著作责任者:侯书林 朱 海 主编

责任编辑:郭穗娟

标准书号:ISBN 978-7-301-18474-5/TH·0230

出版者:北京大学出版社

地 址:北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址:<http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话:邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱:pup_6@163.com

印刷者:北京富生印刷厂

发 行 者:北京大学出版社

经 销 者:新华书店

787mm×1092mm 16 开本 22 印张 510 千字

2006 年 8 月第 1 版 2011 年 2 月第 2 版 2011 年 2 月第 1 次印刷

定 价:40.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话:010-62752024

电子邮箱:fd@pup.pku.edu.cn

第2版前言

由北京大学出版社组织编写的《机械制造基础》(分上、下册)第1版于2006年8月出版,由于其优秀的编写和出版质量、内容涵盖面宽、适用专业面广的特色,使用效果很好,深受同行老师的首肯和学生们的厚爱,已印刷3次。这期间,本书第1版获2008年度中国林业教育系统优秀教材建设一等奖、北京大学出版社优秀教材建设奖和中国农业大学教学成果二等奖。

在第2版编写过程中也收到了多位同行老师对于优秀教材建设的建议和一些建设性的意见,编者结合学科建设的发展和新技术新工艺发展的需要,在第1版的基础上,对内容重新组织,主要体现了如下特点。

(1) 本次修订,以原教材稿为基础进行修改、完善和提高,并新编写了部分内容。

(2) 进一步提高编写质量,专业术语和插图进一步规范、完善,采用最新的国家标准,采用最新编排格式。

(3) 针对本书插图多的特点,改变传统使用二维图与示意图的单调表达方式,更多地采用三维图与彩图表达,增强教材的可读性、易读性。

(4) 考虑到适应面的扩大,增加应用数量,本书在内容的选择上比较宽泛,使其尽可能满足不同学校层次、学科及学时教学内容的需要。

第2版包括内容如下。

第1章 材料的种类与性能

第2章 金属的晶体结构与结晶

第3章 合金的相结构与二元合金相图

第4章 铁碳合金相图与碳钢

第5章 金属的塑性变形与再结晶

第6章 钢的热处理

第7章 合金钢

第8章 铸铁

第9章 有色金属及合金

第10章 其他工程材料

第11章 机械零件的失效分析与选材

第12章 铸造

第13章 锻压

第14章 焊接

第15章 毛坯的选择

《机械制造基础》分为上、下两册,上册副标题为《工程材料及热加工工艺基础》,介



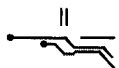
绍了机械工程材料和零件毛坯的成形方法；下册副标题为《机械加工工艺基础》，介绍了机械加工工艺基础。上册的编写人员为东北林业大学朱海、陈晖、张云鹤，中国农业大学侯书林、徐杨、凌刚、简建明，华北水利水电学院侯艳君，河南南阳理工学院马世榜，解放军军械工程学院许宝才。本书由侯书林、朱海负责组织编写并任主编，徐杨、陈晖、凌刚任副主编。

在本书的编写过程中，吸收了许多教师对编写工作的宝贵意见，在此表示由衷的谢意。同时也参考了许多文献，在此对有关出版社和作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编 者

2010年12月

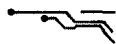


目 录

第 1 章 材料的种类与性能	1
1.1 材料的种类	2
1.1.1 金属材料	2
1.1.2 高分子材料	3
1.1.3 陶瓷材料	3
1.1.4 复合材料	3
1.2 材料的性能	4
1.2.1 力学性能	4
1.2.2 物理、化学性能	10
1.2.3 工艺性能	11
小结	11
练习与思考	11
第 2 章 金属的晶体结构与结晶	12
2.1 金属的晶体结构	13
2.1.1 晶体基础	13
2.1.2 常见的金属晶体结构	18
2.2 金属的实际晶体结构	19
2.2.1 多晶体结构和亚结构	19
2.2.2 实际金属晶体缺陷	20
2.3 纯金属的结晶与铸锭	21
2.3.1 纯金属的结晶	21
2.3.2 细化铸态金属晶粒的措施	26
2.3.3 金属的同素异构转变	28
2.3.4 金属的铸锭组织	29
2.3.5 定向凝固和连铸技术以及 单晶的制取	30
小结	32
练习与思考	32
第 3 章 合金的相结构与 二元合金相图	33
3.1 合金的相结构	34
3.1.1 基本概念	34
3.1.2 固态合金的相结构	35
3.2 二元合金相图	37
3.2.1 相图的概念	37
3.2.2 匀晶相图	38
3.2.3 共晶相图	40
3.2.4 其他相图	44
3.2.5 二元合金相图的分析步骤	46
3.2.6 相图与性能的关系	47
小结	48
练习与思考	49
第 4 章 铁碳合金相图与碳钢	50
4.1 铁碳合金相图	51
4.1.1 铁碳合金的基本相及组织	51
4.1.2 铁碳合金相图分析	52
4.1.3 铁碳合金的成分、组织和 性能的变化规律	59
4.1.4 铁碳合金相图的应用	61
4.2 碳素钢	62
4.2.1 碳钢中的常存杂质及其对 性能的影响	62
4.2.2 碳钢的分类	63
4.2.3 碳钢的牌号、性能及用途	63
小结	68
练习与思考	69
第 5 章 金属的塑性变形与再结晶	70
5.1 金属的塑性变形	71
5.1.1 金属单晶体的塑性变形	71
5.1.2 金属多晶体的塑性变形	73
5.1.3 塑性变形对合金组织和 性能的影响	73
5.2 变形金属在加热时组织和 性能的变化	75
5.3 金属的强化机制	76
5.3.1 固溶强化	76
5.3.2 第二相强化	78



5.3.3 细晶强化	81	7.2.1 合金钢的分类	126
5.3.4 形变强化	82	7.2.2 合金钢的编号	126
小结	83	7.3 合金结构钢	127
练习与思考	84	7.3.1 低合金结构钢	127
第6章 钢的热处理	85	7.3.2 合金渗碳钢	128
6.1 钢的热处理原理	86	7.3.3 合金调质钢	132
6.1.1 钢在加热时的转变	87	7.3.4 合金弹簧钢	135
6.1.2 钢在冷却时的转变	89	7.3.5 滚动轴承钢	138
6.2 钢的普通热处理	98	7.4 合金工具钢	140
6.2.1 钢的退火和正火	98	7.4.1 合金刀具钢	140
6.2.2 钢的淬火	101	7.4.2 合金模具钢	145
6.2.3 钢的回火	106	7.4.3 合金量具钢	147
6.3 钢的表面热处理	108	7.5 特殊性能钢	149
6.3.1 钢的表面淬火	108	7.5.1 不锈钢	149
6.3.2 化学热处理	110	7.5.2 耐热钢	153
6.4 钢的其他热处理	113	7.5.3 耐磨钢	155
6.4.1 真空热处理	113	小结	157
6.4.2 形变热处理	114	练习与思考	157
6.4.3 热喷涂	114	第8章 铸铁	159
6.4.4 气相沉积	115	8.1 铸铁的石墨化及分类	160
6.5 热处理的结构工艺性	116	8.1.1 铸铁的石墨化	160
6.5.1 尽量避免尖角、棱角、 减少台阶	116	8.1.2 铸铁的分类	162
6.5.2 零件外形应尽量简单, 避免厚薄悬殊的截面	116	8.2 常用铸铁	162
6.5.3 尽量采用对称结构	116	8.2.1 普通灰铸铁	162
6.5.4 尽量采用封闭结构	117	8.2.2 球墨铸铁	165
6.5.5 尽量采用组合结构	117	8.2.3 可锻铸铁	167
6.5.6 便于加热冷却时装夹、 吊挂	117	8.2.4 蠕墨铸铁	169
小结	117	8.3 合金铸铁	170
练习与思考	118	8.3.1 耐磨铸铁	170
第7章 合金钢	121	8.3.2 耐热铸铁	170
7.1 合金元素在钢中的作用	122	8.3.3 耐蚀铸铁	171
7.1.1 合金元素对钢中基本相的 影响	122	小结	172
7.1.2 合金元素对铁碳相图的影响	123	练习与思考	172
7.1.3 合金元素对钢热处理的影响	123	第9章 有色金属及合金	174
7.2 合金钢分类和牌号	125	9.1 铝及铝合金	175
		9.1.1 工业纯铝	175
		9.1.2 铝合金	175
		9.1.3 常用铝合金	176
		9.2 铜及铜合金	179

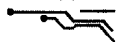




9.2.1 工业纯铜	179	练习与思考	208
9.2.2 黄铜	180	第 11 章 机械零件的失效分析与选材	210
9.2.3 青铜	182	11.1 机械零件的失效分析	211
9.3 滑动轴承合金	184	11.1.1 零件的失效形式	211
9.3.1 轴承合金的性能要求和 组织特征	184	11.1.2 零件失效的原因	213
9.3.2 轴承合金的分类及牌号	185	11.1.3 失效分析的步骤、方法	213
小结	186	11.2 选材的一般原则	214
练习与思考	187	11.2.1 失效形式分析	214
第 10 章 其他工程材料	188	11.2.2 材料的工艺性能原则	215
10.1 塑料	189	11.2.3 材料的经济性原则	215
10.1.1 塑料的组成	189	11.3 典型零件的选材与工艺	216
10.1.2 塑料的分类	189	11.3.1 提高疲劳强度与耐磨性的 选材与工艺	216
10.1.3 塑料的成形方法	190	11.3.2 齿轮类与轴类零件的 选材与工艺	217
10.1.4 塑料的性能	190	小结	221
10.1.5 常用工程塑料	190	练习与思考	222
10.2 橡胶	193	第 12 章 铸造	223
10.2.1 橡胶的组成	193	12.1 铸造工艺基础	224
10.2.2 橡胶的种类	193	12.1.1 合金的流动性及充型能力	224
10.3 陶瓷	195	12.1.2 铸件的凝固方式	226
10.3.1 陶瓷材料制作工艺	195	12.1.3 铸造合金的收缩	227
10.3.2 陶瓷材料的显微结构及 性能	196	12.1.4 铸造应力	230
10.3.3 常用工业陶瓷及其应用	197	12.1.5 铸件的变形	231
10.4 复合材料	199	12.1.6 铸件的裂纹	232
10.4.1 复合材料的分类	199	12.1.7 铸件的常见缺陷	232
10.4.2 复合材料的性能特点	199	12.2 砂型铸造	234
10.4.3 复合材料简介	200	12.2.1 造型材料	234
10.5 新型工程材料简介	202	12.2.2 砂型铸造造型方法	235
10.5.1 纳米材料	202	12.2.3 铸造工艺设计	238
10.5.2 超导材料	203	12.3 特种铸造	243
10.5.3 储氢材料	204	12.3.1 熔模铸造(失蜡铸造)	244
10.5.4 超硬材料	204	12.3.2 金属型铸造	245
10.5.5 光纤材料	205	12.3.3 压力铸造	247
10.5.6 隐身材料	205	12.3.4 低压铸造	248
10.5.7 压电材料	206	12.3.5 离心铸造	248
10.5.8 非晶合金	207	12.4 铸件结构设计	249
10.5.9 形状记忆合金	207	12.4.1 铸造工艺对铸件结构设计的 要求	249
小结	208		



12.4.2	合金铸造性能对铸件结构设计的要求	252	14.1.2	焊接接头组织和性能	299
12.4.3	不同铸造方法对铸件结构的要求	255	14.1.3	焊接应力与变形	301
12.5	铸造新技术与发展趋势	257	14.2	常用焊接方法	304
12.5.1	造型技术的发展	257	14.2.1	手工电弧焊	304
12.5.2	快速原型制造技术	258	14.2.2	埋弧自动焊	307
12.5.3	计算机在铸造中的应用	258	14.2.3	气体保护焊	309
小结	.....	259	14.2.4	压焊与钎焊	311
练习与思考	.....	259	14.3	常用金属材料的焊接	315
第 13 章 锻压	.....	262	14.3.1	金属材料的焊接性	315
13.1	锻压加工工艺基础	264	14.3.2	碳钢及低合金结构钢的焊接	317
13.1.1	金属的热加工和冷加工	264	14.3.3	不锈钢的焊接	318
13.1.2	金属的锻造性能	265	14.3.4	铸铁的焊补	318
13.1.3	锻造比及流线组织	267	14.3.5	非铁金属的焊接	319
13.1.4	金属的塑性变形规律	268	14.4	焊接结构工艺性	320
13.2	常用锻造方法	269	14.4.1	焊接结构的材料选择	320
13.2.1	自由锻	269	14.4.2	焊接方法的选择	321
13.2.2	模锻	272	14.4.3	焊接接头的工艺设计	321
13.3	板料冲压	281	14.5	现代焊接技术与发展趋势	324
13.3.1	板料冲压特点及应用	281	14.5.1	等离子弧焊接与切割	325
13.3.2	冲裁	281	14.5.2	电子束焊接	326
13.3.3	拉伸	283	14.5.3	激光焊接	327
13.3.4	弯曲	285	14.5.4	扩散焊接	328
13.3.5	成形	286	14.5.5	焊接技术的发展趋势	328
13.3.6	板料冲压件的结构工艺性	287	小结	.....	329
13.4	现代塑性加工与发展趋势	289	练习与思考	.....	329
13.4.1	精密模锻	289	第 15 章 毛坯的选择	.....	331
13.4.2	挤压	290	15.1	毛坯的选择原则	332
13.4.3	轧制成形	291	15.1.1	毛坯的种类及成形方法的比较	332
13.4.4	超塑性变形	292	15.1.2	毛坯的选择原则	334
13.4.5	塑性加工发展趋势	293	15.2	零件的结构分析及毛坯选择	335
小结	.....	294	15.2.1	轴杆类零件	335
练习与思考	.....	295	15.2.2	盘套类零件	336
第 14 章 焊接	.....	297	15.2.3	机架、壳体类零件	337
14.1	焊接工程理论基础	298	15.3	毛坯选择实例	338
14.1.1	熔焊冶金过程	298	小结	.....	340
			练习与思考	.....	340
			参考文献	.....	341



第 1 章

材料的种类与性能



教学提示

工程上所用的各种金属材料、非金属材料 and 复合材料统称为工程材料。迄今为止，人类发现和使用的材料种类繁多。为了便于材料的生产、应用与管理，也为了便于材料的研究与开发，有必要对材料进行分类并研究其性能。



教学要求

本章让学生了解工程材料的分类、性能及测试方法。重点让学生了解工程材料的力学性能指标和测试方法，以及各个指标的物理意义。设计零件和材料选择时要考虑零件的工作环境，根据承受的载荷情况重点考虑某些力学性能指标。



1.1 材料的种类

人类生活、生产的过程是使用材料和将材料加工成成品的过程。材料使用的能力和水平标志着人类的文明和进步程度。人类发展的历史时代按人类对材料的使用分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等。在当今社会,能源、信息和材料已成为现代化技术的三大支柱,而能源和信息的发展又依托于材料。因此,世界各国都把材料的研究、开发放在突出的地位。

为了便于材料的生产、应用与管理,也为了便于材料的研究与开发,有必要对材料进行分类。由于材料的种类繁多,用途甚广,因此分类的方法也很多。

按材料的用途可分为建筑材料、电工材料、结构材料等;按材料的结晶状态可分为单晶体材料、多晶体材料及非晶体材料;按材料的物理性能及物理效应可分为半导体材料、磁性材料、激光材料(这类材料能受激辐射而发出方向恒定、波长范围窄、颜色单纯的激光,如红宝石、钇铝石榴石、含钕玻璃等)、热电材料(在温度作用下产生热电效应,由热能直接转变为电能或由电能转变为热能,可用于制造引燃、引爆器件)、光电材料(利用光电效应,可将光能直接转变成电能,如用硅、硫化镉等光电材料制作的太阳能电池)等。

值得指出的是,在工程上通常按材料的化学成分、结合键的特点将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料及复合材料等几大类。

1.1.1 金属材料

金属材料是以过渡族金属为基础的纯金属及其含有金属、半金属或非金属的合金。由于金属材料具有良好的力学性能、物理性能、化学性能及工艺性能,能采用比较简便和经济的加工方法制成零件,因此金属材料是目前应用最广泛的材料。工业上通常把金属材料分为两大类:一类是黑色金属,它是指铁、锰、铬及其合金,其中以铁为基的合金——钢和铸铁应用最广,占整个结构和工具材料的80%以上;另一类是有色金属,它是指黑色金属以外的所有金属及其合金。

这两类材料还可进一步细分为图1.1所示的系列。

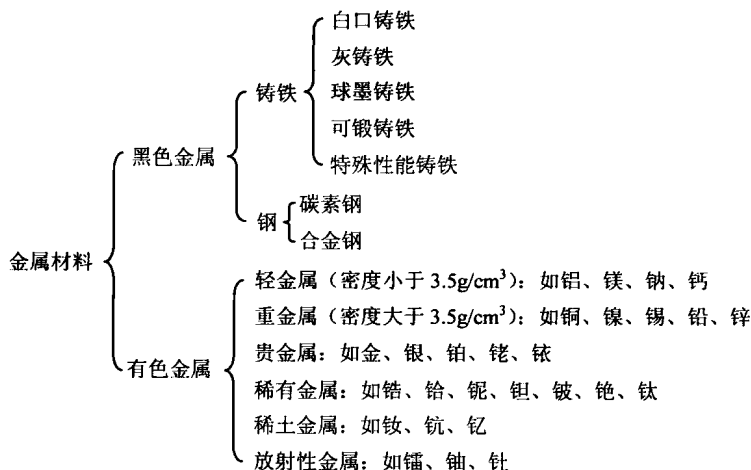


图 1.1 不同系列的金属材料



1.1.2 高分子材料

高分子材料是指分子量很大的化合物，它们的分子量可达几千甚至几百万以上。高分子材料包括塑料、橡胶等。因其原料丰富，成本低，加工方便等优点，发展极其迅速，目前在工业上得到广泛应用，并将越来越多地被采用，这类材料大体可细分为图 1.2 所示系列。

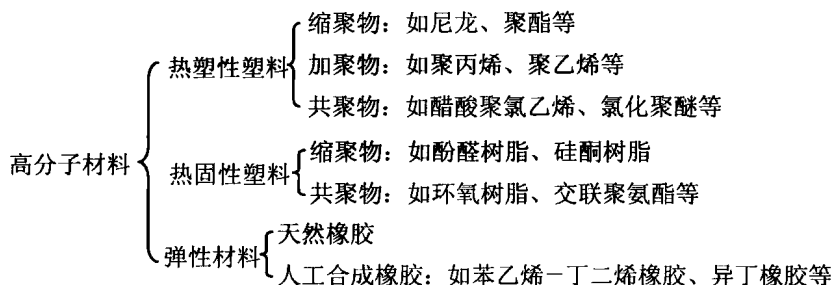


图 1.2 不同系列的高分子材料

1.1.3 陶瓷材料

所谓陶瓷是指以天然硅酸盐(黏土、石英、长石等)或人工合成化合物(氮化物、氧化物、碳化物等)为原料，经粉碎、配制、成形和高温烧结而成的无机非金属材料。

陶瓷材料可以根据原料来源、化学组成、性能特点或用途等不同方法进行分类。一般归纳为工程陶瓷和功能陶瓷两大类。

(1) 按原料来源分类。

① 普通陶瓷。又称为传统陶瓷，是以天然的硅酸盐矿物为原料(黏土、石英、长石等)，经粉碎、成形和烧结等过程制成。主要用于日用品、建筑、卫生以及工业上的低压和高压电瓷、耐酸和过滤制品等。

② 特种陶瓷。又称现代陶瓷，是采用纯度较高的人工合成化合物为原料(氮化物、氧化物、碳化物等)，用与普通陶瓷类似的加工工艺制成新型陶瓷，这种陶瓷一般具有各种独特的物理、化学性能或力学性能，主要用于化工、冶金、机械、电子、能源和某些新技术领域中。

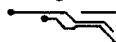
(2) 按化学成分分类。如氧化物陶瓷、氮化物陶瓷、碳化物陶瓷及几种元素化合物复合的陶瓷(如氧氮化硅铝陶瓷等)。

(3) 按性能分类。有高强度陶瓷、耐磨陶瓷、高温陶瓷、耐酸陶瓷、压电陶瓷、光学陶瓷等。

(4) 按用途分类。按用途可分为日用陶瓷、建筑陶瓷、电器绝缘陶瓷、化工耐腐蚀陶瓷，以及保温隔热用的多孔陶瓷和过滤用陶瓷等。

1.1.4 复合材料

采用两种或多种物理和化学性能不同的材料，制成一种多相固体材料，称为复合材料。复合材料是由基体材料(树脂、金属、陶瓷)和增强剂(颗粒、纤维、晶须)复合而成的。它既保持所组成材料的各自特性，又具有组成后的新特性，且它的力学性能和功能可以根据使用需要进行设计、制造，所以自 1940 年玻璃钢问世以来，复合材料的应用领域在迅速扩大，





品种、数量和质量有了飞速发展。目前已经能够应用的复合材料有纤维增强材料、树脂基复合材料、碳硅复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料、夹层结构复合材料等。

1.2 材料的性能

在机械制造、交通运输、国防工业、石油化工和日常生活各个领域需要使用大量的工程材料。生产实践中,往往由于选材不当造成设备或器件达不到使用要求或过早失效,因此了解和熟悉材料的性能成为合理选材、充分发挥工程材料内在性能潜力的主要依据。

材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中表现出来的性能,它包括力学性能和物理、化学性能等;工艺性能是指材料对各种加工工艺适应的能力,它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。

1.2.1 力学性能

材料的力学性能是指材料在外力作用下所表现出的抵抗能力。由于载荷的形式不同,材料可表现出不同的力学性能,如强度、硬度、塑性、韧性、疲劳强度等。材料的力学性能是零件设计、材料选择及工艺评定的主要依据。

1. 强度

材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为材料的强度。根据外力的作用方式,材料的强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。在使用中一般多以抗拉强度作为基本的强度指标,常简称为强度。强度单位为 $\text{MPa}(\text{MN}/\text{m}^2)$ 。

材料的强度、塑性是依据国家标准《金属材料室温拉伸试验方法》GB/T 228—2002 通过静拉伸试验测定的。它是把一定尺寸和形状的试样装夹在拉力试验机上,然后对试样逐渐施加拉伸载荷,直至把试样拉断为止,拉伸前后的试样如图 1.3 所示。标准试样的截面有圆形的和矩形的,圆形试样用的较多,圆形试样有长试样($L_u = 10d_0$)和短试样($L_0 = 5d_0$)。一般拉伸试验机上都带有自动记录装置,可绘制出载荷(F)与试样伸长量(ΔL)之间的关系曲线,并据此可测定应力(R)—应变关系: $R=F/S$ (S 为试样原始截面积)、 $\varepsilon=(L_u-L_0)/L_0(\%)$ 。图 1.4 为低碳钢的应力—应变曲线($R-\varepsilon$ 曲线)。研究表明低碳钢在外加载荷作用下的变形过程一般可分为 3 个阶段,即弹性变形、塑性变形和断裂。

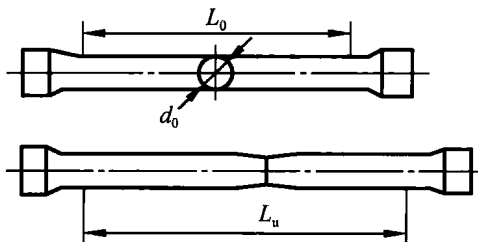


图 1.3 拉伸试样

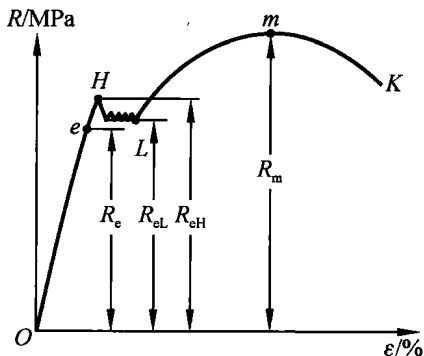
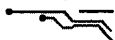


图 1.4 低碳钢的应力—应变曲线图





(1) 弹性极限。在图 1.4 中, Oe 段为弹性阶段, 即去掉外力后, 变形立即恢复。这种变形称为弹性变形, 其应变值很小, e 点的应力 R_e 称为弹性极限。

在弹性变形范围内, 应力与应变的比值称为材料的弹性模量 $E(\text{MPa})$ 。弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标, 工程上常把它叫做材料的刚度。 E 值越大, 则使其产生一定量弹性变形的应力也越大, 亦即材料的刚度越大, 说明材料抵抗产生弹性变形的能力越强, 越不容易产生弹性变形。

(2) 上屈服强度 R_{eH} 。试样发生屈服而力首次下降前的最高应力。

$$R_{eH} = \frac{F_{eH}}{S_0} (\text{MPa})$$

式中: R_{eH} ——试样发生屈服而力首次下降前的最高应力, N ;

S_0 ——试样的原始横断面积, mm^2 ;

(3) 下屈服强度 R_{eL} 在屈服期间, 不计初始瞬时效应时的最低应力。

$$R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_0} (\text{MPa})$$

式中: F_{eL} ——在屈服期间, 不计初始瞬时效应时的最低应力, N 。

上屈服强度对微小应力集中、试样偏心和其他因素很敏感, 试验结果相当分散, 因此, 常取下屈服强度作为设计计算的依据。对大多数零件而言, 塑性变形就意味着零件的丧失了对尺寸和公差的控制。工程中常根据屈服强度确定材料的许用应力。

很多金属材料, 如高碳钢、大多数合金钢、铜合金以及铝合金的拉伸曲线不出现平台。脆性材料如普通铸铁、镁合金等, 甚至断裂前也不发生塑性变形。因此工程上规定当拉伸试样的非比例延伸率或者发生某以微量塑性变形等于规定(例如, 0.2%)的应力作为该材料的屈服强度。

(4) 规定非比例延伸强度 R_p

非比例延伸率等于规定的引伸计标距百分率时(例如: ε_p), 对应的应力称为规定非比例延伸强度, 用 R_p 表示。使用该符号时应附以下脚标说明所规定的百分率, 例如, $R_{p0.2}$ 表示规定非比例延伸率 ε_p 为 0.2% 时的应力。

(5) 规定残余延伸强度 R_r 。卸除应力后残余延伸率等于规定的引伸计标距百分率时(例如: ε_r), 对应的应力为称为残余延伸强度, 规定残余延伸强度的符号为 R_r , 使用该符号时应附以下脚标说明所规定的百分率, 例如, $R_{r0.2}$ 表示规定残余延伸率 ε_r 为 0.2% 时的应力。

(6) 抗拉强度 R_m 材料在拉断前所能承受的最大拉应力值, 用符号 R_m 表示。

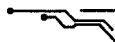
$$R_m = \frac{F_m}{S_0} (\text{MPa})$$

式中: F_m ——试样断裂前所承受的最大载荷, N 。

机械零件在工作中一般不允许产生塑性变形, 所以屈服强度是工程技术上重要的力学性能指标之一, 也是大多数机械零件选材和设计的依据。

2. 塑性

材料在载荷作用下, 产生塑性变形而不被破坏的能力称为塑性。可以用延伸率和断面收缩率来表示。





1) 断后伸长率

在拉伸试验中, 试样拉断后, 标距的残余伸长与原始标距的百分比称为延伸率。用符号 A 表示。 A 可用下式计算:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中: L_u ——试样拉断后的标距, mm;

L_0 ——为试样的原始标距, mm;

由于拉伸试样分为长拉伸试样和短拉伸试样, 使用长拉伸试样测定的延伸率用符号 $A_{11.3}$ 表示; 使用短拉伸试样测定的延伸率采用 A_5 表示, 通常写成 A 。对于比例试样若原始标距 $L_0 \neq 5.65 \sqrt{S_0}$ (S_0 试样的原始横断面积, mm^2), 符号 A 应附以下标说明比例系数, 例如, $L_0 = 11.3 \sqrt{S_0}$ 时, 延伸率为 $A_{11.3}$ 。同一种材料的延伸率 $A_{11.3}$ 和 A 在数值上是不相等的, 因而不能直接用 $A_{11.3}$ 和 A 进行比较。一般短拉伸试样的 A 值大于长试样 $A_{11.3}$ 。

2) 断面收缩率

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, 用符号 Z 表示。

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中: S_u ——试样拉断后缩颈处最小横截面积, mm^2 ;

S_0 ——试样的原始横断面积, mm^2 ;

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 因此能更好地反映材料的塑性。

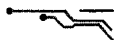
金属材料塑性的好坏, 对零件的加工与使用都有十分重要的意义。塑性好的材料不但容易进行轧制、锻压、冲压等, 而且所制成的零件在使用时, 万一超载, 也能通过塑性变形而避免突然断裂。因此, 大多数机器零件除满足强度要求以外, 还必须具有一定的塑性, 这样工作时才能更可靠。

金属材料的断后伸长率(A)和断面收缩率(Z)数值越大, 表示材料的塑性越好。塑性好的金属可以发生大量塑性变形而不破坏, 便于通过各种压力加工获得复杂形状的零件。铜、铝、铁的塑性很好, 如工业纯铁的 A 可达 80%, 可以拉成细丝, 轧成薄板, 进行深冲成型。灰铸铁塑性很差, A 几乎为零, 不能进行塑性变形加工。塑性好的材料, 在受力过大时, 由于首先产生塑性变形而不致发生突然断裂, 因此比较安全。

目前金属材料室温拉伸试验方法采用 GB/T228—2002 新标准, 原有的金属材料力学性能数据是采用 GB/T228—1987 旧标准进行测定和标注的。本书除了在新标准中没有规定的符号依然延用旧标准, 其他符号采用了新标准。关于新、旧标准名词和符号对照参见表 1-1。

表 1-1 金属材料强度与塑性的新旧标准对照表

新标准(GB/T 228—2002)		旧标准(GB/T 228—1987)	
性能名称	符号	性能名称	符号
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}
	$A_{x\text{mm}}$		$\delta_{x\text{mm}}$



续表

新标准(GB/T 228—2002)		旧标准(GB/T 228—1987)	
性能名称	符号	性能名称	符号
断裂总伸长率	A_t	—	—
最大力总伸长率	A_{gt}	最大力下的总伸长率	δ_{gt}
屈服点延伸率	A_e	屈服点延伸率	δ_s
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}
规定总延伸强度	R_t 例如 $R_{t0.5}$	规定总伸长应力	σ_t 例如 $\sigma_{t0.5}$
规定残余延伸强度	R_r 例如 $R_{r0.2}$	规定残余伸长应力	σ_r 例如 $\sigma_{r0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b

3. 硬度

材料抵抗更硬物体压入的能力称为硬度，常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度等。

(1) 布氏硬度。图 1.5 为布氏硬度测试原理图。一定直径的硬质合金球在一定载荷作用下压入试样表面，保持一定的时间后卸载，量出压痕直径，由此计算出压痕球冠面积 A_R ，求出单位面积所受的力，即为材料的硬度。显然，材料越软，压痕直径越大，布氏硬度越低；反之，布氏硬度越高。布氏硬度值用符号 HBW 来表示，其计算公式为：

$$HBW = 0.102 \frac{P}{\pi D h} = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中： P ——荷载，N；

D ——球体直径，mm；

h ——压痕深度，mm；

d ——压痕平均直径，mm。

布氏硬度的完整表示方法为：硬度数值+HBW+硬质合金球直径(mm)+试验力+试验力保持时间。HBW 符号前的数字为硬度值，符号后的数字依次表示球体直径、载荷大小及载荷保持时间等试验 1 条件。

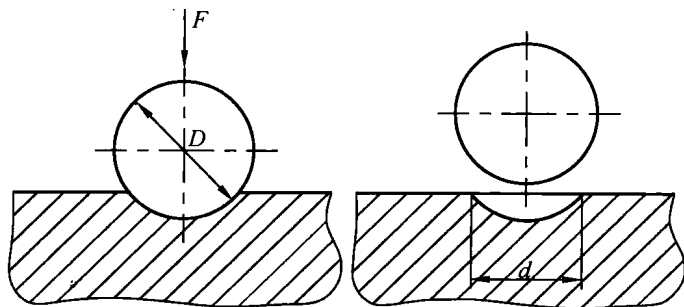


图 1.5 布氏硬度测试原理

(2) 洛氏硬度。洛氏硬度也是以规定的载荷，将坚硬的压头垂直压向被测金属来测定硬度的。它由压痕深度计算硬度。实际测试时，直接从刻度盘上读值。



为了适应不同材料的硬度测试,采用不同的压头与载荷组合成几种不同的洛氏硬度标尺,每一种标尺用一个字母在洛氏硬度符号后注明,如 HRA、HRB、HRC 等,几种常用洛氏硬度级别试验规范及应用范围见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度的级别及其应用范围

洛氏硬度	压头	总载荷/N	测量范围	适用材料
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4	20~88	硬质合金材料、表面淬火钢等
HRB	φ 1.588mm 淬火钢球	980.7	20~100	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	120°金刚石圆锥体	1471.1	20~70	淬火钢、调质钢等

洛氏硬度试验测试方便,操作简捷;试验压痕较小,可测量成品件;测试硬度值范围宽,采用不同标尺可测定各种软硬不同和厚薄不同的材料,但应注意,不同级别的硬度值之间无可比性。由于压痕较小,测试值的重复性差,必须进行多点测试,取平均值作为材料的硬度。

洛氏硬度试验是由美国洛克威尔(S.P.Rockwell 和 H.M.Rockwell)于 1919 年提出的。

4. 冲击韧度

以很大速度作用于机件上的载荷称为冲击载荷,许多机器零件和工具在工作过程中往往受到冲击载荷的作用,如蒸汽锤的锤杆、冲床上的一些部件、柴油机曲轴、飞机的起落架等。瞬时冲击的破坏作用远远大于静载荷的破坏作用,所以在设计受冲击载荷件时还要考虑抗冲击性能。材料在冲击载荷作用下抵抗变形和断裂的能力称为冲击韧度 α_k ,常采用一次冲击试验来测量。

一次冲击试验通常是在摆锤式冲击试验机上进行的。试验时将带有缺口的试样放在试验机两支座上[图 1.6(a)],将质量为 m 的摆锤抬到 H 高度[图 1.6(b)],使摆锤具有的势能为 mHg (g 为重力加速度)。然后让摆锤由此高度下落将试样冲断,并向另一方向升高到 h 的高度,这时摆锤具有的势能为 mhg 。因而冲击试样消耗的能量(即冲击功 A_k)为

$$A_k = m(H - h)g$$

在试验时,冲击功 A_k 值可以从试验机的刻度盘上直接读得。标准试样断口处单位横截面所消耗的冲击功,即代表材料的冲击韧度的指标。

$$\alpha_k = \frac{A_k}{S_0}$$

式中: α_k ——试样的冲击韧度值, J/cm^2 ;

A_k ——冲断试样所消耗的冲击功, J ;

S_0 ——试样断口处的原始截面积, cm^2 。

α_k 的值越大,材料的冲击韧度越好。冲击韧度是对材料一次冲击破坏测得的。在实际应用中许多受冲击件,往往是受到较小冲击能量的多次冲击而破坏的,它受很多因素的影响。由于冲击韧度的影响因素较多, α_k 值仅作设计时的选材参考。

