

机械工程材料

JIXIE GONGCHENG
CAILIAO

◎主 编 付广艳
◎主 审 于永泗



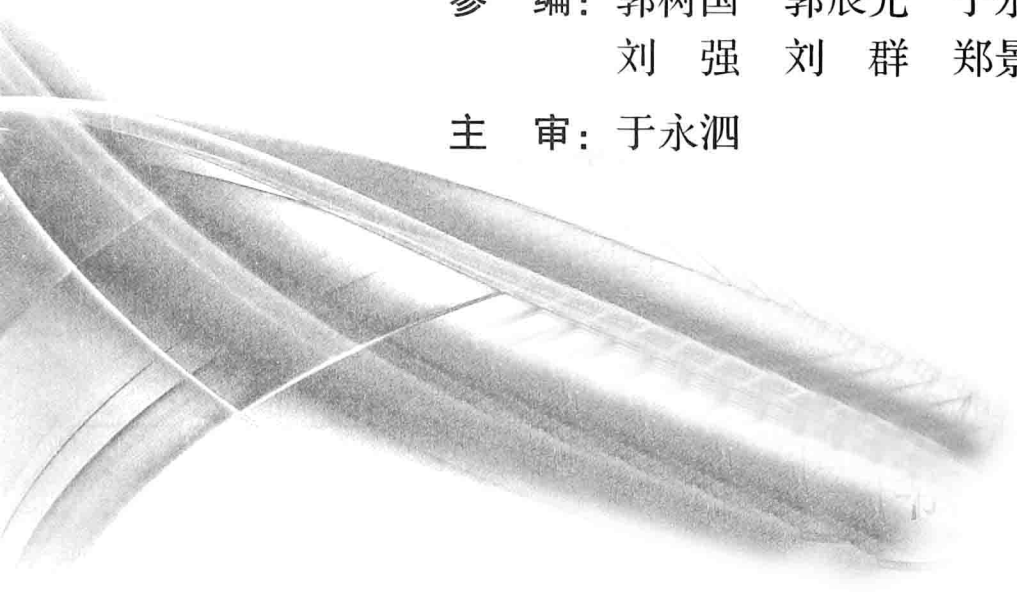
机械工程材料

主 编：付广艳

副主编：郭北涛 宗 琳 燕 峰

参 编：郭树国 郭辰光 于永梅
刘 强 刘 群 郑景华

主 审：于永泗



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书系统地介绍了机械工程材料的基础知识,热处理的基本原理和工艺,工业用钢、铸铁、有色金属及常用非金属材料性能特点、强化途径及应用。主要特点是理论精、实践广。对于重点内容,如铁碳合金相图、钢的热处理等,给出了全部详细的计算方法、工艺路线。各章均有结合实际的应用实例,并配有大量的习题和翔实的习题答案、电子教案和教学课件,是一套全新的立体化教材,特别适合高等院校的教学、学生自学和备考及工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/付广艳主编. —北京:北京理工大学出版社, 2014. 2

ISBN 978 - 7 - 5640 - 8268 - 0

I. ①机… II. ①付… III. ①机械制造材料 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 200253 号

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/100081

电 话/(010) 68914775 (总编室)

82562903 (教材售后服务热线)

68948351 (其他图书服务热线)

网 址/http://www. bitpress. com. cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/北京地质印刷厂

开 本/787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张/19.5

字 数/448 千字

版 次/2014 年 2 月第 1 版 2014 年 2 月第 1 次印刷

定 价/49.80 元



责任编辑/王玲玲

文案编辑/王玲玲

责任校对/周瑞红

责任印制/马振武

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

编委会名单

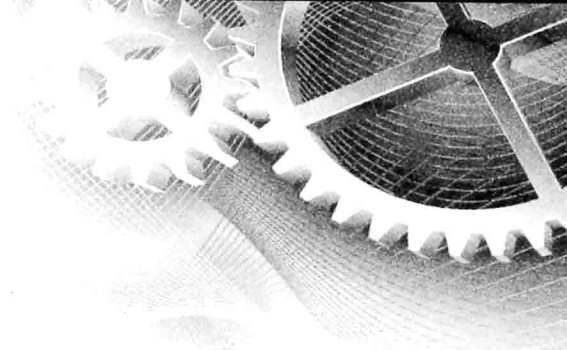
主任委员：毛 君 何卫东 苏东海
副主任委员：于晓光 单 鹏 曾 红 黄树涛
舒启林 回 丽 王学俊 付广艳
刘 峰 张 珂
委 员：肖 阳 刘树伟 魏永合 董浩存
赵立杰 张 强
秘 书 长：毛 君
副 秘 书 长：回 丽 舒启林 张 强
机械工程专业方向分委员会主任：毛 君
机械电子工程专业方向分委员会主任：于晓光
车辆工程专业方向分委员会主任：单 鹏

出版说明

根据教育部教高〔2011〕5号关于《“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》文件和“卓越工程师教育培养计划”的精神要求。为全面推进高等院校“质量工程”的实施，将教学改革的成果和教学实践的积累体现到教材建设和教学资源统合的实际工作中去，以满足不断深化的教学改革需要，更好地为学校教学改革、人才培养与课程建设服务，确保高质量教材进入课堂。为此，由辽宁工程技术大学机械工程学院、沈阳工业大学机械工程学院、大连交通大学机械工程学院、大连工业大学机械与自动化学院、辽宁科技大学机械与自动化学院、辽宁工业大学机械与自动化学院及汽车与交通工程学院、辽宁石油化工大学机械工程学院、沈阳航空航天大学机电工程学院、沈阳化工大学机械工程学院、沈阳理工大学机械工程学院及汽车与交通学院、沈阳建筑大学交通与机械工程学院等辽宁省11所理工科院校机械工程学科教学单位组建的专委会和编委会主导，经北京理工大学出版社、辽宁省11所理工科院校机械工程学科专委会各位专家近两年的精心组织、沟通调研、综合筹备，以创新、协作、融合、共赢、整合跨院校优质资源的工作方式，结合各院校对教学理念、专业建设等方面研究成果，按照当今最新的教材理念和立体化教材开发技术，本着“整体规划、制作精品、分步实施、落实到位”的原则确定编写机械工程、机械电子工程及车辆工程等机械工程学科课程体系教材。

本套丛书力求结构严谨、逻辑清晰、叙述详细、通俗易懂。同时注意尽量多给出一些应用实例，以突出学以致用、理论与实践相结合的教育特色。

辽宁省11所理工科院校机械工程学科建设及教材编写专委会
2013年6月6日



前言

Qianyan

“机械工程材料”或“工程材料”课程是高等院校机械类和近机械类专业的一门非常重要的专业基础课。通过该课程的学习,能够使学生获得有关工程结构和机械零件常用材料的基本知识,并初步具备合理选择与使用材料、正确制订零件的冷热加工工艺路线的能力。它是连接基础和专业的桥梁,是后续专业课程、实习和实训、毕业设计和毕业论文及今后工作的坚实基础。

本书以“卓越工程师教育培养计划”为出发点,一方面,结合目前普通高等院校本科生的学习基础和将来适应社会的需要,注重实际应用,注重培养学生的实际工程技术能力,将原理与工程实例紧密结合;另一方面,结合“质量工程”计划,打造精品,将最新的教学改革的成果、教学实践积累及优质的现代教学资源引入教材;同时,注重引入新材料、新技术及新工艺,选用材料的最新国家标准和牌号,确保学生学到的知识与时代同步。

近年来,随着卓越工程师计划的实施,为了培养学生的创新意识和工程实践能力,教学计划逐年调整,理论学时相对减少,实践环节逐渐增加。为了适应这种新形势,我们在多年的教学实践和实际工作的基础上,结合精品课程和精品资源共享课程的建设,汲取国内外相关教材的精华编写了本书。

全书共11章,第1章由沈阳化工大学郭树国编写,第2章、第3章由沈阳化工大学宗琳编写,第4章由沈阳化工大学于永梅编写,第5章、第6章由沈阳化工大学付广艳编写,第7章由辽宁科技大学燕峰编写,第8章和第11章由沈阳化工大学郭北涛编写,第9章由沈阳化工大学郭北涛、刘强编写,第10章由辽宁工程技术大学郭辰光编写,书中图片由沈阳化工大学刘群、辽宁工程技术大学郑景华协助整理。全书由付广艳组织并统编,由大连理工大学于永泗教授主审。

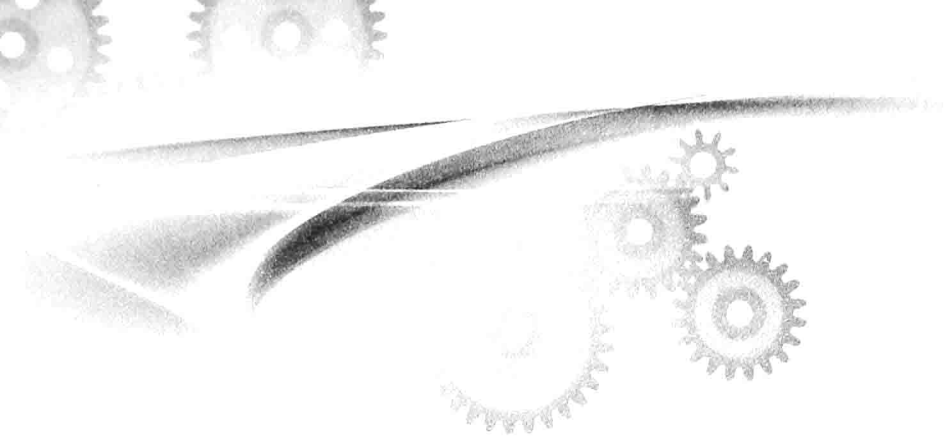
本书在编写时参考了部分国内外有关教材、科技著作、论文及材料金相图谱等,在此,特向有关作者和单位致以深切的谢意。

由于编者水平有限,本书不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2013年4月 于沈阳

第1章 材料的力学性能	001
1.1 材料的静载力学性能	001
1.1.1 拉伸曲线与应力 - 应变曲线	001
1.1.2 刚度与强度	002
1.1.3 塑性	004
1.1.4 硬度	004
1.2 材料的动载力学性能	008
1.2.1 冲击韧性	008
1.2.2 疲劳强度	009
1.3 材料的断裂韧度	010
1.4 材料的高、低温力学性能	012
1.4.1 高温力学性能	012
1.4.2 低温力学性能	012
第2章 金属的晶体结构与结晶	015
2.1 金属的晶体结构	015
2.1.1 晶体的基本概念	015
2.1.2 常见金属的晶体结构类型	016
2.1.3 同素异构转变	018
2.1.4 晶面及晶向指数	019
2.1.5 金属的实际结构和晶体缺陷	020
2.2 金属的结晶	023
2.2.1 结晶的基本概念	023
2.2.2 结晶过程	024
2.2.3 晶粒大小及控制	025



目 录

Contents

第3章 合金的相结构与二元相图	029
3.1 合金的相结构	029
3.1.1 合金的基本概念	029
3.1.2 合金中的相	029
3.1.3 合金的相结构	030
3.2 二元合金相图	033
3.2.1 相图的相关概念	033
3.2.2 二元合金相图的建立	034
3.2.3 平衡相组成的分析	035
3.2.4 二元合金相图的基本类型分析	036
3.2.5 合金的性能与相图的关系	043
第4章 铁碳合金	046
4.1 铁碳合金相图	046
4.1.1 铁碳合金中的基本相	047
4.1.2 铁碳合金相图分析	048
4.2 典型铁碳合金的平衡结晶过程	050
4.2.1 铁碳合金分类	050
4.2.2 典型铁碳合金平衡结晶过程分析	051
4.2.3 含碳量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	060
4.2.4 铁碳合金相图的应用	062
4.3 碳钢	064
4.3.1 钢中常存杂质元素对钢的性能的影响	064
4.3.2 钢锭的种类	065
4.3.3 碳钢的分类、编号和用途	066

第5章 金属的塑性变形与再结晶	078
5.1 金属的塑性变形	078
5.1.1 单晶体金属的塑性变形	078
5.1.2 多晶体金属的塑性变形	081
5.1.3 塑性变形对金属组织和性能的影响	082
5.2 回复与再结晶	084
5.2.1 变形金属在加热时组织和性能的变化	084
5.2.2 再结晶温度	086
5.2.3 再结晶退火后的晶粒度	087
5.3 金属的热加工	088
5.3.1 热加工与冷加工的区别	088
5.3.2 热加工对金属组织和性能的影响	089
第6章 钢的热处理	092
6.1 概述	092
6.2 钢在加热时的转变	093
6.2.1 钢的相变和相变临界点	093
6.2.2 奥氏体的形成	094
6.2.3 奥氏体晶粒大小及其影响因素	095
6.3 钢的冷却转变	098
6.3.1 相变温度对转变速度的影响	098
6.3.2 过冷奥氏体等温转变曲线	099
6.3.3 过冷奥氏体等温转变产物的组织和性能	101
6.3.4 过冷奥氏体连续冷却转变曲线	108
6.4 钢的普通热处理	110
6.4.1 钢的退火与正火	110



目 录

Contents

6.4.2	钢的淬火	113
6.4.3	钢的回火	118
6.5	钢的表面热处理	121
6.5.1	钢的表面淬火	121
6.5.2	钢的化学热处理	123
6.6	热处理缺陷及防止方法	127
6.6.1	过热和过烧	127
6.6.2	氧化和脱碳	127
第7章	合金钢	134
7.1	概述	135
7.1.1	合金钢的分类	135
7.1.2	合金钢的牌号	135
7.2	合金元素在钢中的作用	136
7.2.1	合金元素对钢中基本相的影响	137
7.2.2	合金元素对 Fe - Fe ₃ C 相图的影响	137
7.2.3	合金元素对钢的热处理的影响	138
7.2.4	合金元素对钢使用性能的影响	140
7.3	合金结构钢	141
7.3.1	低合金高强度钢	141
7.3.2	调质钢	143
7.3.3	渗碳钢	147
7.3.4	氮化钢	148
7.3.5	弹簧钢	150
7.3.6	滚动轴承钢	153
7.3.7	易切削钢	156
7.3.8	铸造合金钢	157

7.4 合金工具钢	157
7.4.1 刃具钢	157
7.4.2 模具钢	163
7.4.3 量具钢	170
7.5 特殊性能钢	171
7.5.1 不锈钢	171
7.5.2 耐热钢	175
7.5.3 耐磨钢	179
第8章 铸铁	187
8.1 铸铁的石墨化	187
8.1.1 Fe - Fe ₃ C 和 Fe - G 双重相图	187
8.1.2 影响铸铁石墨化的因素	188
8.2 铸铁的分类和牌号	189
8.2.1 根据碳的存在形式分类	189
8.2.2 根据灰口铸铁中石墨的形态分类	190
8.3 灰铸铁	191
8.3.1 灰铸铁的成分和组织	191
8.3.2 灰铸铁的性能与应用	191
8.3.3 灰铸铁的孕育处理	192
8.3.4 灰铸铁的热处理	193
8.4 可锻铸铁	193
8.4.1 可锻铸铁的成分和组织	193
8.4.2 可锻铸铁的性能与应用	194
8.4.3 可锻铸铁的生产	195
8.5 球墨铸铁	195
8.5.1 球墨铸铁的成分和组织	195

目 录

Contents

8.5.2	球墨铸铁的性能和应用	196
8.5.3	球化处理	196
8.5.4	球墨铸铁的热处理	197
8.6	蠕墨铸铁	198
8.6.1	蠕墨铸铁的成分和组织	198
8.6.2	蠕墨铸铁的性能和应用	198
8.6.3	蠕墨铸铁的生产和热处理	199
8.7	特殊性能铸铁（合金铸铁）	199
8.7.1	耐磨铸铁	200
8.7.2	耐热铸铁	200
8.7.3	耐蚀铸铁	201
第9章	有色金属及合金	203
9.1	铝及铝合金	203
9.1.1	铝及铝合金的性能特点	203
9.1.2	铝合金的分类	204
9.1.3	铝合金的热处理	204
9.1.4	铝及铝合金的牌号、化学成分及用途	206
9.2	铜及铜合金	213
9.2.1	铜及铜合金的性能特点	213
9.2.2	铜及铜合金的分类、牌号及用途	213
9.3	轴承合金	219
9.3.1	滑动轴承合金的工作条件及性能要求	219
9.3.2	轴承合金的分类及用途	220
9.4	钛及钛合金	222
9.4.1	纯钛	222
9.4.2	钛合金	222

第 10 章 非金属材料	227
10.1 高分子材料	227
10.1.1 概述	227
10.1.2 高分子材料性能	229
10.1.3 高分子材料的合成	230
10.2 陶瓷材料	231
10.2.1 概述	231
10.2.2 陶瓷材料性能	234
10.2.3 陶瓷材料的制备	235
10.3 复合材料	237
10.3.1 概述	237
10.3.2 复合材料性能	238
10.3.3 复合材料的制备	239
第 11 章 机械零件的选材及工艺分析	243
11.1 选材的基本原则	243
11.1.1 使用性能原则	243
11.1.2 工艺性能原则	244
11.1.3 经济性原则	245
11.1.4 选材的资源、能源和环保原则	245
11.2 热处理技术条件的标注	245
11.3 典型零部件选材及工艺分析	247
11.3.1 轴类零件的选材及工艺分析	247
11.3.2 齿轮类零件的选材及工艺分析	250
11.3.3 模具的选材及工艺分析	253
11.3.4 箱体类零件的选材及工艺分析	256



目 录

Contents

11.4 典型设备及装置的选材	257
11.4.1 化工设备的选材	257
11.4.2 热能设备的选材	261
【思考与习题】 参考答案	265
附 录	289
参考文献	295



第1章 材料的力学性能

【本章知识点】

1. 金属材料常温的力学性能指标和测定方法。
2. 金属材料的断裂韧度。
3. 材料的高、低温力学性能。

材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两类。使用性能是指材料在使用过程中所表现出来的性能，主要包括力学性能、物理性能和化学性能；工艺性能是指材料在加工过程中所表现出来的性能，包括热处理性能、可锻性、可焊性和切削加工性等。

材料的力学性能是材料在一定环境（温度、介质）下，承受各种外加载荷（拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等）时所表现出的行为。通常表现为变形（材料受到载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化）与断裂。材料力学性能是工程设计的重要依据。

1.1 材料的静载力学性能

静载荷是指载荷大小不随时间的变化而变化。材料的静载力学性能指标主要有刚度、强度、塑性、硬度等。

1.1.1 拉伸曲线与应力 - 应变曲线

1. 拉伸曲线

用拉伸试验可以测定金属的强度和塑性指标，GB/T 228—2002 规定了拉伸试验的方法和拉伸试样的制作标准。在试验时，将金属材料制作成一定的尺寸和形状（图 1-1），将拉伸试样装夹在拉伸试验机上，对试样施加拉力，在拉力不断增加的过程中，观察试样的变化，直至把试样拉断。

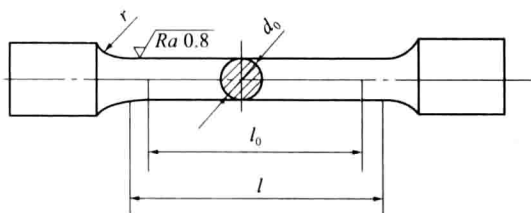
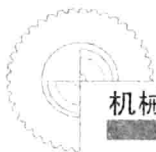


图 1-1 圆形拉伸试样示意图



根据拉伸过程中载荷 F 与试样的伸长量 Δl 之间的关系，可以绘制出材料的拉伸曲线。图 1-2 所示为低碳钢的拉伸曲线。

由图可见，在开始的 Oe 阶段，试样的伸长量与载荷呈线性关系，卸除载荷，试样将恢复到原始长度，此阶段的变形称为弹性变形。载荷超过 F_e 后，试样的变形不能完全恢复而产生永久变形，这种永久变形称为塑性变形。当载荷增大到 F_s 后，载荷不增加或变化不大，试样仍继续伸长，出现明显的塑性变形，这种现象称为屈服现象。 s 点称为屈服点。屈服后试样产生均匀的塑性变形，当载荷超过 F_b 后，试样产生非均匀塑性变形，到 k 点时，试样发生断裂。

2. 应力 - 应变曲线

应力，是指试样单位截面积上承受的载荷。即

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \tag{1-1}$$

式中， F ——试样所承受的载荷，N；

S_0 ——试样的原始横截面积， mm^2 。

应变是指试样单位长度的伸长量。即

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \tag{1-2}$$

式中， Δl ——试样标距长度的伸长量，mm；

l_0 ——试样的原始标距长度，mm。

图 1-3 是低碳钢的应力 - 应变曲线，即 $\sigma - \varepsilon$ 曲线。应力 - 应变曲线的形状与拉伸曲线形状相同，仅坐标的含义不同，但 $\sigma - \varepsilon$ 曲线能直接读出机械性能指标。

不同材料的拉伸曲线形状有很大差别。像低碳钢这样，在断裂前有明显塑性变形的断裂称为韧性断裂；而像灰口铸铁，断裂前的塑性变形量很小，甚至不发生塑性变形的断裂称为脆性断裂。

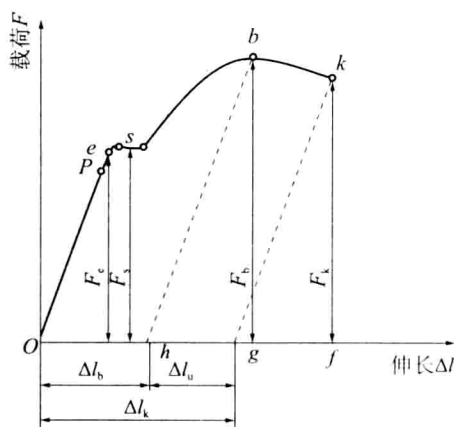


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

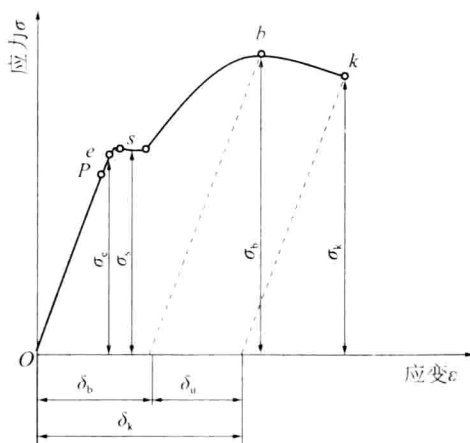


图 1-3 应力 - 应变曲线

1.1.2 刚度与强度

1. 刚度

刚度，是指材料对弹性变形的抗力，工程上弹性模量 E 称为材料的刚度。弹性模量，



指材料在完全弹性状态下的应力与应变的比值。即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (1-3)$$

式中, σ ——试样承受的应力, N;

ε ——试样的应变, mm。

对于材料而言, 弹性模量 E 越大, 其刚度越大, 材料产生一定量的弹性变形所需要的应力越大。机械工程中的一些零件或构件, 除了满足强度要求以外, 还应严格控制弹性变形量, 如锻模、镗床的镗杆, 为了保证高的加工精度, 要选刚度较大的材料。

实际工件的刚度首先取决于材料的弹性模量 E , 不同的材料, 其刚度差异很大。陶瓷材料的刚度最大, 金属材料和复合材料的次之, 而高分子材料的最低。此外, 实际工件的刚度还与零件的形状、截面尺寸有关。

2. 强度

强度, 是指金属材料在静载荷作用下, 抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上常用的强度指标有屈服强度 (屈服点) 和抗拉强度。

(1) 屈服强度

屈服点 σ_s , 是指拉伸试样产生屈服现象时的应力。即

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-4)$$

式中, F_s ——试样发生屈服现象时的载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

对于没有明显屈服现象的材料, 工程上规定, 以试样产生 0.2% 塑性变形时的应力作为该材料的屈服点, 用 $\sigma_{r0.2}$ 表示, 通常记作 $\sigma_{0.2}$ 。即

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-5)$$

式中, $F_{0.2}$ ——试样标距发生 0.2% 残余伸长时的载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

屈服点 σ_s 和屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 通常是机器零件设计的主要强度指标, 也是评定金属材料强度的重要指标之一。工程上, 绝大多数零件, 如汽车连杆、紧固螺栓、机床丝杠等, 在工作时是不允许发生过量残余变形的, 因此, 设计的许用应力以 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 来确定。

(2) 抗拉强度

抗拉强度 σ_b , 是指材料在拉断前所能承受的最大应力。即

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-6)$$

式中, F_b ——试样拉断前承受的最大载荷, N;

S_0 ——试样的原始横截面积, mm^2 。

对于脆性材料和不形成颈缩的塑性材料, 其拉伸最高载荷就是断裂载荷, 因此, 其抗拉强度也代表断裂抗力。对于形成颈缩的塑性材料, 其抗拉强度代表产生最大均匀变形的抗力, 也表示材料在静拉伸条件下的极限承载能力, 它是高分子材料和陶瓷材料选材的重要依据。对塑性变形要求不严, 仅要求不发生断裂的金属零件如钢丝绳、建筑结构件等, 为减轻