



高等院校“十二五”精品课程建设成果

金属工艺学

Jinshu Gongyixue

◎主 编 张兆隆 李彩凤

◎主 审 马丽霞



高等院校“十二五”精品课程建设成果

金属工艺学

主 编 张兆隆 李彩凤
副主编 李格平 陈新飏 潘爱民
刘惠鹏 孙晓华 李玉海
主 审 马丽霞

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

内 容 简 介

本书是机械类专业开设的一门专业基础课,共有三篇内容:第一篇材料性能与选择,主要介绍各种材料的性能、特点及应用;第二篇毛坯成型及其选择,主要内容是金属热加工基础知识;第三篇综合性训练与实验,加强实践教学环节。

本书较全面、系统地介绍了金属工艺学相关知识,在内容的安排上既注意本领域内基础理论和基本技术的阐述,也考虑了本领域内一些先进技术的简要介绍;既讲解基本原理,又注意强调实用性和针对性。本书在行文叙述方面力求由浅入深、循序渐进,内容选择恰当、理论联系实际。

本书可作为高等院校机械类和机电类各专业的教学用书,也可作为从事机械制造等工作的工程技术人员参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

金属工艺学 / 张兆隆, 李彩凤主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2013. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 7309 - 1

I. ①金… II. ①张… ②李… III. ①金属加工 - 工艺学 IV. ①TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 011189 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 天津紫阳印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 18.5

字 数 / 419 千字

版 次 / 2013 年 1 月第 1 版 2013 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 1500 册

定 价 / 47.00 元

加工编辑 / 多海鹏

责任编辑 / 张慧峰

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 吴皓云

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

本书是高等教育规划教材，是高等院校机械类、近机械类专业的通用教材，也可供相关工程技术人员、企业管理人员选用或参考。

本书共有三篇内容：第一篇材料性能与选择，主要介绍各种材料的性能、特点及应用；第二篇毛坯成型及其选择，主要内容是金属热加工基础知识；第三篇综合性训练与实验，加强实践教学环节。本书较全面、系统地介绍了金属工艺学相关知识，在内容的安排上既注意本领域内基础理论和基本技术的阐述，也考虑了本领域内一些先进技术的简要介绍；既讲解基本原理，又注意强调实用性和针对性。在行文叙述方面力求由浅入深、循序渐进，内容选择恰当、理论联系实际。

参加本书编写的有张兆隆（绪论、第一和第二章），李格平（第三和第四章），陈新飏（第五章和第六章），李彩凤（第十、第十一、第十三和第十四章），董建荣（第十二章），孙振杰（第七和第八章），刘小凡（第九章），潘爱民（第十三章），刘惠鹏（第十四章），孙晓华（第二章），李玉海（第八章）。

本书由张兆隆、李彩凤任主编，李格平和陈新飏任副主编，全书由张兆隆、李彩凤统稿，马丽霞主审。

本书在编写过程中得到各位编者所在学校领导、老师的大力的支持和帮助，并参考了有关文献资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
第一篇 材料性能与选择	
第一章 金属的力学性能	7
第一节 强度和塑性	7
第二节 硬度	11
第三节 韧性与疲劳强度	15
习题	17
第二章 金属的晶体结构与结晶	18
第一节 纯金属的晶体结构	18
第二节 纯金属的结晶	20
第三节 合金的晶体结构	26
第四节 二元合金相图	27
第五节 金属的塑形变形与再结晶	31
习题	37
第三章 铁碳合金	39
第一节 铁碳合金的基本组织	39
第二节 铁碳合金相图	41
第三节 碳素钢	46
习题	52
第四章 钢的热处理	53
第一节 概述	53
第二节 钢在加热时的组织转变	54
第三节 钢在冷却时的组织转变	56
第四节 退火与正火	59
第五节 淬火与回火	61
第六节 表面热处理	66
第七节 零件结构的热处理工艺性	70
习题	70
第五章 合金钢	71
第一节 合金钢概述	71
第二节 合金结构钢	74

第三节	合金工具钢	80
第四节	特殊性能钢	86
习题	.....	89
第六章	铸铁	90
第一节	铸铁的分类及石墨化	90
第二节	常用铸铁	93
习题	.....	99
第七章	非铁金属材料	100
第一节	铝及其合金	100
第二节	铜及其合金	105
第三节	滑动轴承合金与硬质合金	108
习题	.....	113
第八章	非金属材料	115
第一节	高分子材料	115
第二节	无机非金属材料	120
第三节	复合材料	122
习题	.....	125

第二篇 毛坯成型及其选择

第九章	铸造成型	129
第一节	铸造概述	129
第二节	金属的铸造性能	129
第三节	砂型铸造	136
第四节	零件结构的铸造工艺性	144
第五节	铸造工艺设计简介	147
第六节	特种铸造	151
习题	.....	155
第十章	锻压成型	157
第一节	锻造概述	158
第二节	金属的锻造性能	158
第三节	锻造工艺过程	161
第四节	自由锻造工艺设计简介	172
第五节	零件结构的锻造工艺性	176
第六节	板料冲压成型	178
习题	.....	183
第十一章	焊接与胶接成型	184
第一节	焊接概述	184
第二节	金属的焊接性能	185
第三节	焊条电弧焊	187

第四节	焊条电弧焊工艺设计简介	191
第五节	其他焊接方法	201
第六节	焊接结构工艺性	209
第七节	胶接成型	212
	习题	215
第十二章	毛坯分析与选择	216
第一节	毛坯分析	216
第二节	毛坯选择	218
	习题	225
第三篇 综合性训练与实验		
第十三章	工程材料部分综合性训练与实验	229
第一节	金属的力学性能	229
第二节	铁碳合金	239
第三节	钢的热处理	244
第四节	合金钢、铸铁与非铁金属	251
第十四章	毛坯成型综合性训练与实验	259
第一节	铸造成型	259
第二节	锻造成型	263
第三节	焊接成型	268
第四节	毛坯分析与选择	273
	参考文献	282

绪 论

材料是用于制造生产工具、生活设施及生活用品等一类物质的总称，主要有金属材料和非金属材料两大类。工艺过程是指在机械制造过程中，将原材料变为产品的直接有关过程，如利用铸造、锻造或焊接等方法制造毛坯的过程、机械切削加工过程、热处理和其他处理过程、装配和维修过程等。研究机械零件的加工工艺过程和结构工艺性、各种材料的力学性能和工艺性能、各种工艺方法本身的规律性等是金属工艺学的主要内容。

一、机械制造在国民经济中的地位和作用

机械制造业是国家工业体系的重要基础和国民经济各部门的装备部。机械制造技术水平的提高与进步对整个国民经济的发展以及科技、国防实力的提高有着直接的重要影响，是衡量一个国家经济发展水平和综合国力的重要标志。无论对于哪个行业，现代化的生产手段都是以机械化和自动化为标志的，而自动化也要以机械化为基础，机械是进行一切现代化生产的基本手段。

二、机械制造生产过程

机械制造是将设计输出的指令和信息输入机械制造系统，加工出合乎设计要求的产品的过程。机械制造的过程首先是设计图纸，再根据图纸制定工艺文件和准备工艺设备，然后进行产品制造，最后是市场营销，再将各个阶段的信息反馈回来，使产品不断完善。

机械制造的具体过程为将原材料用铸造、压力加工、焊接等方法制成零件的毛坯（或半成品、成品），再经过切削加工、特种加工等制成零件，最后将零件和电子元器件装配成合格的机电产品。原材料包括生铁、钢锭、各种金属型材与非金属材料。

三、本课程的性质、内容和任务

金属工艺学是一门有关金属零件制造工艺方法的综合技术基础课，主要内容包括：各种工艺方法本身的规律性及其在机械制造中的应用和相互联系；金属零件的加工工艺过程和结构工艺性；常用金属材料性能对加工工艺的影响；工艺方法的综合比较等。通过本课程的学习，能够获得常用金属材料及零件加工方面的工艺知识，培养工艺分析的初步能力，并为学习其他有关课程以及以后从事机械设计和加工制造工作奠定必要的基础。

课程主要的任务：熟悉常用金属材料的组织、性能，具有选用工程材料的初步能力；掌握各种主要毛坯加工方法的实质、基本原理和工艺特点，具有选择毛坯、零件加工方法及工艺的初步能力；具有综合运用工艺知识、分析零件结构工艺性的初步能力；初步了解与本课程有关的新材料、新工艺和新技术。

四、课程的特点和教学方法

1. 加强实践性教学环节

金属工艺学具有较强的技术性和实践性，其内容与生产和生活实际密切相关。

在教学过程中要注意理论联系实际，对实习和实验教学中观察到的现象及实验的数据进行分析，以加深对课程基本理论的理解；要注意把教学过程中涉及的设备特点、工艺特点和产生的现象与课程的基本理论联系起来，以加深对课程实用性的认识。

实习教学是课堂教学的实践基础，要求在课堂教学之前安排学生进行金工实习。

2. 加强综合训练

金属工艺学课程具有知识面宽和综合性强的特点。本书中安排了综合性训练章节，每学完一个章节的内容，都可以根据综合性训练提纲对基础内容进行训练，加深学生对课程内容内在联系的认识。学生也可根据所学内容，自行进行训练，加强知识的综合应用能力。

五、课程的学习要求

通过课程的学习，要求学生掌握以下内容：

- 1) 掌握金属材料的成分、组织和性能之间的关系；
- 2) 了解强化材料的基本方法；
- 3) 初步掌握钢的热处理原理及基本工艺；
- 4) 熟悉常用钢的牌号、性能、用途；
- 5) 掌握毛坯的制造方法与特点；
- 6) 掌握正确选择和使用零件的毛坯材料。

六、金属工艺学发展概况

材料是在生产实践中发展起来的，我国的金属材料发展可追溯到史前，早在4 000年前我们就开始使用青铜，例如1939年在河南武官村出土的殷商祭器司母戊大方鼎，其体积庞大，鼎的质量为875 kg，花纹精巧，造型精美。这充分说明远在商代（公元前1562—公元前1066年），我国就有了高度发达的青铜技术。在春秋战国时期，我国发明了冶铁技术，开始使用铸铁作农具，这比欧洲国家早1 800年。明朝宋应星著《天工开物》一书，内有冶铁、炼钢、铸钟、锻铁和淬火等各种金属加工方法，它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一，这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

上述事实说明，我国古代在材料及其加工工艺方面的科学技术曾远远超过同时代的欧洲国家，在世界上占有遥遥领先的地位，对世界文明和人类进步做出过巨大的贡献。但是，由于封建制度的长期统治，我国工农业生产和科学技术等在新中国成立前处于落后、停滞状态。

新中国成立后，经过几十年的建设和发展，目前我国已经建立了机械制造、矿山冶金、交通运输、石油化工、电子仪表和航空航天等许多现代化工业，为国民经济进一步高速发展奠定了牢固的基础。目前，我国钢铁产品品种繁多，粗钢年产量已超过1亿吨（1997年），非金属材料的产量也有了很大的增长，这些成就都与工程材料及其加工工艺的发展有着密切的联系。

当今，机械工业正向着高速、自动、精密方向快速发展，机械工程材料的使用量越来越大，在产品的设计和制造过程中，所遇到的有关机械工程材料和热处理方面的问题日益增多。实践证明，生产中往往由于选材不当或热处理不妥，机械的使用性能不能达到规定的技术要求，从而导致零件在使用过程中发生过量变形、过早磨损和断裂等而提前失效。所以，在生产过程中合理选用材料和热处理方法、正确制定工艺路线，对充分发挥材料本身的性能潜力、保证材料具有良好的加工性能、获得理想的使用性能、提高产品质量、节约材料和降低成本等都起着重大的作用。

第一篇

材料性能与选择

材料是人类生产和生活所必须的物质基础。从日常生活用的器具到高技术产品，从简单的手工工具到复杂的航天器、机器人，都是用各种材料制作或由其加工的零件组装而成的。材料的发展水平和利用程度已成为人类文明进步的重要标志。机械工程材料指在机械、船舶、化工、建筑、车辆、仪表和航空航天等工程领域中用于制造工程构件和机械零件的材料。工程材料主要包括金属材料和非金属材料两大类。

金属材料具有很高的强度、硬度以及足够的塑性和韧性，力学性能良好，广泛用于制造机械结构、设备和生产工具；此外，还可以利用某些金属材料的耐高温、耐腐蚀等特殊的物理性能制造石油、化工、航天航海及电力电子等工业用零件。

非金属材料是指金属材料以外的材料，主要有高分子材料、陶瓷和复合材料三大类。一些非金属材料具有优良的特性，可以替代某些金属，已在工业中占有重要的地位。

第一章 金属的力学性能

机械零件或其他结构件在使用过程中会受到各种外力的作用。金属材料在外力作用下所表现出来的性能称为力学性能，它是保证零件和构件正常工作应具备的主要性能。金属材料的力学性能主要包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。力学性能不仅是机械零件设计、选材、验收及鉴定的主要依据，也是对产品加工过程实行质量控制的重要参数，故学习金属材料的力学性能对今后使用各种金属材料具有重要的意义。

第一节 强度和塑性

机械零件在正常使用过程中，有时会出现变形甚至断裂的情况，这是因为机械零件的强度较低或塑性较差。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，金属材料的强度越高，所能承受的载荷就越大。塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力。为避免机械零件在使用过程中出现断裂或者变形的情况，在使用前首先要确定机械零件的强度和塑性是否能够满足使用要求。

一、金属材料承受的载荷与应力

1. 金属材料承受的载荷

金属材料在加工和使用过程中所受到的外力称为载荷。按外力的作用性质，载荷常分为如下三种。

(1) 静载荷

大小不变或变化很慢的载荷。如：机床的床头箱对机床床身的压力。

(2) 冲击载荷

在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。例如：空气锤锤头下落时锤杆所承受的载荷；冲压时冲床对冲模的冲击作用等。

(3) 交变载荷

大小、方向或大小和方向随时间发生周期性变化的载荷。如机床主轴就是在交变载荷的作用下工作的。

根据作用形式不同，载荷又可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等，如图 1-1 所示。

2. 内力与内应力

材料受外力作用时，为保持自身形状尺寸不变，在材料内部作用着与外力相对抗的力，称为内力。内力的大小与外力相等，方向则与外力相反，并与外力保持平衡。单位面积上的内力称为应力。金属材料受拉伸载荷或压缩载荷时，其横截面积上的应力可按式计算：

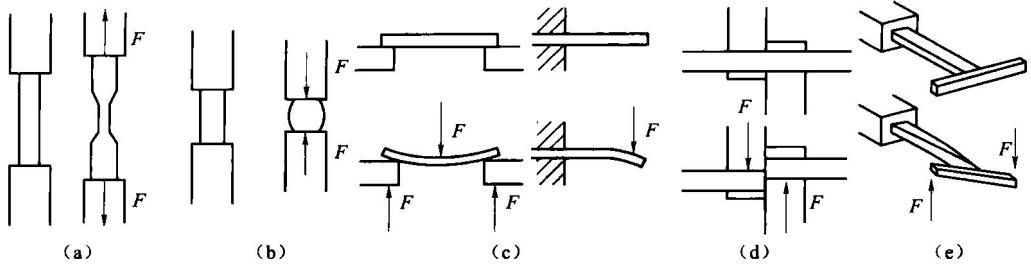


图 1-1 载荷的作用形式

(a) 拉伸载荷; (b) 压缩载荷; (c) 弯曲载荷; (d) 剪切载荷; (e) 扭转载荷

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中, σ ——应力, 单位 MPa;

F ——外力, 单位 N;

S ——横截面积, 单位 mm^2 。

二、拉伸试验与拉伸曲线

1. 拉伸试验方法

生产实际中通常使用拉伸试验来测定机械零件的强度和塑性。拉伸试验是一种破坏性试验, 所以, 拉伸试验时, 通常不直接采用机械零件做试验, 而是用与制造机械零件的相同材料制成的标准试样进行试验。为了使测定出来的强度和塑性指标具有可比性, 拉伸试样必须按照国家标准制作。拉伸试样一般有圆形和矩形两类, 图 1-2 所示为圆形拉伸试样, 圆形拉伸试样一般又分为长试样 ($L_0 = 10d$) 和短试样 ($L_0 = 5d$) 两种。

拉伸试验方法如下:

1) 将试样两端部位分别夹持在如图 1-3 所示拉伸试验机的上下夹头中。

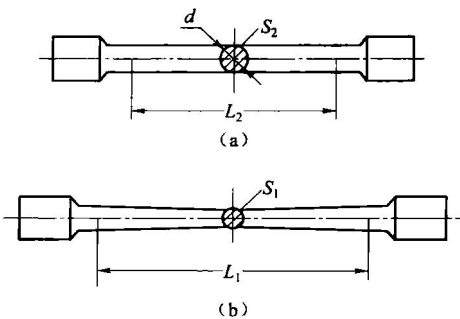


图 1-2 圆形拉伸试样

(a) 拉伸前; (b) 拉伸后

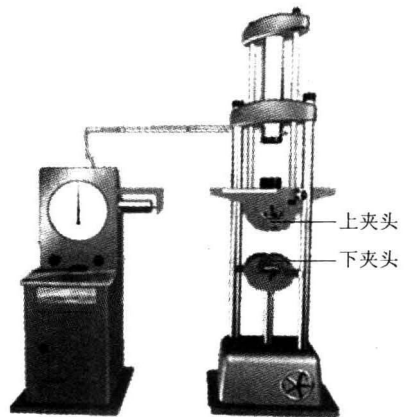


图 1-3 拉伸试验机

- 2) 对试样缓慢施加轴向拉伸力 F ，使试样沿其轴向伸长。如图 1-4 (a) 所示。
- 3) 随着拉伸力 F 的缓慢增大，试样的有效伸长量 ΔL 不断增加，直至试样断裂。如图 1-4 (b) 所示。
- 4) 观察、记录实验结果，并对实验结果进行分析。

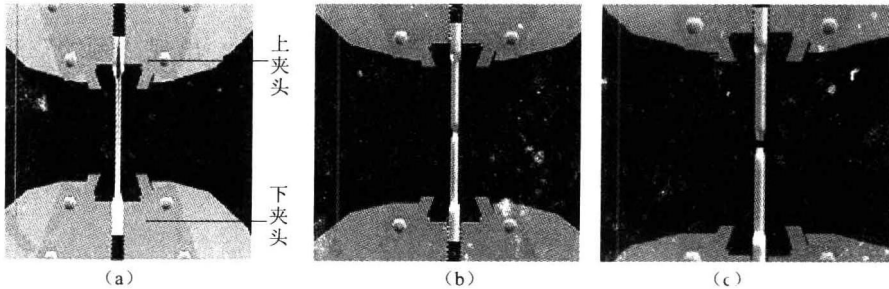


图 1-4 拉伸试验过程示意图

(a) 装夹试样; (b) 试样变形; (c) 试样拉断

从图 1-4 所示的试验过程中可以看出：在试验中，试样变形和断裂时的拉伸力 F 越大，说明材料的强度越高；试样断裂时的伸长量 ΔL 越大，则说明材料的塑性越好。由此可以得到评定材料的强度和塑性的指标：屈服强度 (σ_s)、抗拉强度 (σ_b)、伸长率 (δ) 和断面收缩率 (ψ)。

2. 拉伸曲线

衡量强度的指标是在拉伸试验过程中测得拉伸曲线，再由拉伸曲线通过计算来获得的。

在拉伸试验过程中，试验机自动以拉伸力 F 为纵坐标，以伸长量 ΔL 为横坐标，画出一条拉力 F 与伸长量 ΔL 的关系曲线，称为拉伸曲线。图 1-5 所示为低碳钢的拉伸曲线示意图。

根据拉伸曲线，低碳钢试样的拉伸过程可分为以下几个阶段：

(1) 弹性变形阶段 (oe)

在拉伸试验时，若载荷不超过 F_e ，则卸载后试样立即恢复原状，这种随载荷的作用而产生、随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。其中在 op 阶段，拉力与伸长成正比。 F_e 为试样能恢复到原始形状和尺寸的最大拉伸力。

(2) 屈服阶段 (es)

若载荷超过 F_e 时，则卸载后试样的变形不能完全消失，保留一部分残余变形，这种不能恢复的残余变形称为塑性变形，也称为永久变形。当载荷达到 F_s 时，试样开始产生明显的塑性变形，在曲线上出现了水平线段（或水平的锯齿形线段），即表示外力不增加试样仍继续发生塑性伸长，这种现象称为屈服， F_s 称为屈服载荷。

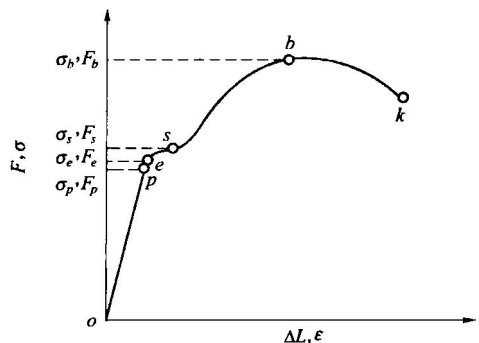


图 1-5 低碳钢拉伸曲线示意图

(3) 强化阶段 (sb)

当载荷超过 F_s 后, 材料开始出现明显的塑性变形, 同时欲使试样继续伸长, 载荷也必须不断增加。随着塑性变形增加, 试样变形抗力也逐渐增加, 这种现象称为形变强化 (或称加工硬化)。此阶段变形是均匀发生的, F_b 为拉伸试验时的最大载荷。

(4) 颈缩阶段 (bk)

当载荷增加到某一最大值 F_b 时, 试样开始局部截面积缩小, 出现“颈缩”现象, 变形主要集中在颈部。由于试样截面积逐渐减小, 故载荷也逐步降低, 试样在“颈缩”处断裂。

屈服现象在低碳钢、中碳钢、低合金高强度结构钢和一些有色金属材料中可以观察到。但有些金属材料没有明显的屈服现象, 不同材料的拉伸曲线有很大的差别。

三、强度指标

根据外力作用方式的不同, 强度有多种指标, 如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等, 常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

1. 屈服强度与规定残余伸长应力

金属材料产生屈服时的应力称为屈服强度, 用符号 σ_s 表示。其大小可由下式求得, 单位是 MPa。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中, F_s ——试样产生屈服时的载荷, 单位 N。

S_0 ——试样原始横截面积, 单位 mm^2 。

对于没有明显屈服现象的脆性材料, 可用规定残余延伸应力表示。如 $\sigma_{r0.2}$ 表示在卸除载荷后, 试样标距部分残余的伸长率为 0.2% 时所对应的应力。

屈服强度或规定残余延伸应力是材料开始产生微量塑性变形时的应力。对于大多数零件而言, 过量的塑性变形就意味着零件的尺寸精度下降或与其他零件的相互配合精度受到影响, 因而会造成零件失效。当零件工作时所受到的应力低于材料的屈服强度或规定残余延伸应力时, 则不会产生过量的塑性变形。材料的屈服强度或规定残余延伸应力越高, 表示其抵抗微量塑性变形的能力越大, 允许的工作应力也越高, 因此零件的截面尺寸及自身质量就可以相应减小。所以屈服强度或规定残余延伸应力指标是设计机械零件时的重要依据, 同时也是评定金属材料强度的重要指标。

2. 抗拉强度

材料在断裂前所能承受的最大应力, 称为抗拉强度或强度极限, 用符号 σ_b 表示。其值大小可由下式求得, 单位是 MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中, F_b ——试样拉断前承受的最大载荷, 单位 N。

零件在工作中所承受的应力不允许超过抗拉强度, 否则会产生断裂。可见抗拉强度指标也是机械零件设计时的重要依据之一, 同时也是评定金属材料强度的重要指标。通常把屈服强度和抗拉强度的比值称为屈强比, 其值越高, 则强度的利用率越高。屈强比越小, 则工程