

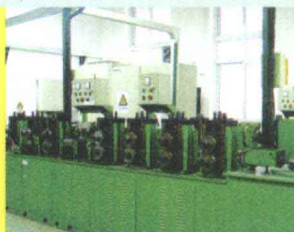


全国高等院校“十二五”特色精品课程建设成果

工程材料与加工基础

(第2版)

◎主 编 余 岩 ◎主 审 张远明



GONGCHENG CAILIAO
YU JIAGONG JICHU

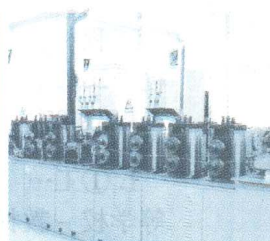
 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



全国高等院校“十二五”特色精品课程建设成果

工程材料与加工基础

(第2版)



◎主 编 余 岩
◎副主编 蔡 菊
◎主 审 张远明



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书内容包括:金属材料的性能、金属学的基本知识、钢的热处理、金属材料(碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属及合金)、新型材料及材料的检测、机械零件材料的选择、零件毛坯制造方法概论(铸造、锻压和焊接)及金属的切削加工基础等共十一章。每章都安排了思考题与作业题,并附有两个综合性实验指导。

本书是贯彻“必需、够用和少而精”原则而编写的,是高等教育机械类专业及近机类专业的通用教材。本书可同时应用于课堂教学、实训与实验等教学环节,也可供有关工程技术人员、企业管理人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与加工基础/余岩主编. —2版. —北京:北京理工大学出版社, 2012. 7

ISBN 978-7-5640-6334-4

I. ①工… II. ①余… III. ①工程材料-高等学校-教材②热加工-高等学校-教材 IV. ①TB3②TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 165463 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/北京市通州富达印刷厂

开 本/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/13.75

字 数/255千字

版 次/2012年7月第2版 2012年7月第1次印刷

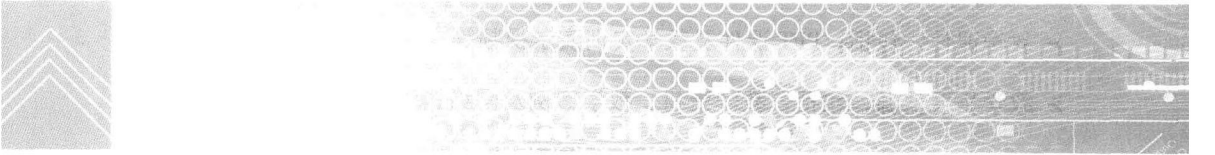
印 数/1~1500册

定 价/39.00元

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

图书出现印装质量问题,本社负责调换



出版说明>>>>>

北京理工大学出版社为了顺应国家对机电专业技术人才的培养要求，满足企业对毕业生的技能需求，以服务教学、立足岗位、面向就业为方向，经过多年的大力发展，开发了近 30 多个系列 500 多个品种的高等教育机电类产品，覆盖了机械设计与制造、材料成型与控制技术、数控技术、模具设计与制造、机电一体化技术、焊接技术及自动化等 30 多个制造类专业。

为了进一步服务全国机电类高等教育的发展，北京理工大学出版社特邀请一批国内知名行业专业、高等院校骨干教师、企业专家和相关作者，根据高等教育教材改革的发展趋势，从业已出版的机电类教材中，精心挑选一批质量高、销量好、院校覆盖面广的作品，集中研讨、分别针对每本书提出修改意见，修订出版了该高等院校“十二五”特色精品课程建设成果系列教材。

本系列教材立足于完整的专业课程体系，结构严整，同时又不失灵活性，配有大量的插图、表格和案例资料。作者结合已出版教材在各个院校的实际使用情况，本着“实用、适用、先进”的修订原则和“通俗、精炼、可操作”的编写风格，力求提高学生的实际操作能力，使学生更好地适应社会需求。

本系列教材在开发过程中，为了更适宜于教学，特开发配套立体资源包，包括如下内容：

➤ 教材使用说明；

- 电子教案，并附有课程说明、教学大纲、教学重难点及课时安排等；
- 教学课件，包括：PPT 课件及教学实训演示视频等；
- 教学拓展资源，包括：教学素材、教学案例及网络资源等；
- 教学题库及答案，包括：同步测试题及答案、阶段测试题及答案等；
- 教材交流支持平台。

北京理工大学出版社



Qianyan

前言

本书是根据教育部制定的《高等教育工程材料类基础课程教学基本要求》，结合高等教育教学改革的实践经验，贯彻“必需、够用和少而精”原则而编写的，是高等教育机械类专业及近机类专业的通用教材。本书可同时应用于课堂教学、实训与实验等教学环节，也可供有关工程技术人员、企业管理人员参考。

全书共 11 章，1~9 章讲述工程材料和金属热处理基础，10~11 章介绍铸造、锻压、焊接及金属的切削加工基础。每章都安排了习题与思考题，并附有两个综合性实验指导。

本书编写具备如下特点：

(1) 以培养生产第一线需要的高技术应用性人才为目标，教材内容侧重于应用理论、应用技术和材料的选用；强调理论联系实际，强调对学生的实践训练；贯彻以应用为目的，以掌握概念、强化应用为教学重点，以必需、够用为原则。

(2) 力求做到重点突出、少而精、深入浅出、通俗易懂，使教材清晰、形象，易于自学。

(3) 充分重视新材料、新工艺、新技术的引入。如增加了新型材料等知识的介绍等。

(4) 全书名词、术语、牌号均采用了最新国家标准，使用了法定计量单位。

使用本书时，各校可根据专业特点、教学时数等情况、对其内容进行调整和增删。书中带“*”号的部分属于自学或选学的内容。

参加本书编写的有余岩（第 3~6 章、第 8 章）、蔡菊（第 1~2 章、第 7 章、

第9章)、丁小艺(第10、11章)。本书由余岩担任主编并负责统稿。

在此对担任本书审稿工作、并提出许多宝贵意见的东南大学博士生导师张远明教授表示衷心的感谢。

本书的编写力求适应教育的改革和发展,但由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳切希望广大读者批评指正。

编 者



目 录

绪论	1	3.3 碳素结构钢	39
0.1 材料与材料加工技术的 历史与现状	1	3.4 碳素工具钢	43
0.2 本课程的主要内容与 要求	2	* 3.5 铸钢	45
第1章 金属材料的性能	4	思考题与作业题	47
1.1 金属材料的物理性能和 化学性能	4	第4章 钢的热处理	48
1.2 金属材料的力学性能	5	4.1 钢在加热时的转变	49
1.3 金属材料的工艺性能	13	* 4.2 钢在冷却时的转变	51
思考题与作业题	13	4.3 钢的退火和正火	54
[实验一] 金属材料的硬度 实验	14	4.4 钢的淬火	57
第2章 金属学基础	16	4.5 钢的回火	62
2.1 金属的晶体结构	16	4.6 钢的表面热处理	64
2.2 纯金属的结晶	20	* 4.7 热处理新技术简介	68
2.3 合金的相结构	23	4.8 热处理技术条件与工序 位置	70
2.4 铁碳合金	26	思考题与作业题	73
思考题与作业题	34	[实验二] 碳素钢的热处理 试验	75
第3章 碳素钢	36	第5章 合金钢	78
* 3.1 钢铁材料的生产过程 概述	36	5.1 合金钢的分类和牌号	78
3.2 碳素钢概述	38	* 5.2 合金元素在钢中的 作用	80
		5.3 合金结构钢	83
		5.4 合金工具钢	96
		5.5 特殊性能钢	105

思考题与作业题	110	第 10 章 零件毛坯制造方法概论	158
第 6 章 铸铁	111	10.1 铸造生产概论	158
* 6.1 铸铁的石墨化及其 影响因素	112	10.2 锻压生产概论	168
6.2 灰铸铁	113	10.3 焊接生产概论	178
6.3 球墨铸铁	117	10.4 零件毛坯制造方法的 选择	183
* 6.4 其他类型铸铁	119	思考题与作业题	186
思考题与作业题	122	第 11 章 金属切削加工基础概论	188
第 7 章 有色金属及其合金	124	11.1 常用机械加工方法 简介	188
7.1 铝及铝合金	124	11.2 数控机床加工和特种 加工简介	197
7.2 铜及铜合金	131	思考题与作业题	205
思考题与作业题	134	附录	206
第 8 章 新型材料与材料的质量控制	135	附录表 1 常用钢的临界点	206
8.1 新型材料	135	附录表 2 金属布氏硬度数值 表 (适用于 $D = 2.5 \text{ mm}$ 的淬火钢球)	207
8.2 材料的质量控制	142	附录表 3 热处理工艺代号及 技术条件的表示 方法	208
思考题与作业题	147	参考文献	209
第 9 章 机械零件材料的选择 ...	148		
9.1 机械零件的失效 形式	148		
9.2 机械零件材料选择的一般 原则	151		
思考题与作业题	157		



0.1 材料与材料加工技术的历史与现状

材料用于制造机器零件、工程构件以及生活日用品，是生产和生活的物质基础。材料、能源、信息被称为现代社会的三大支柱，而能源和信息的发展，在一定程度上又依赖于材料的进步，因此许多国家都把材料科学作为重点发展科学之一，使之成为新技术革命的坚实基础。

历史表明，生产中使用的材料性质直接反映了人类社会的文明水平。所以历史学家根据制造生产工具的材料，将人类生活的时代划分为石器时代、陶器时代、铁器时代，当今人类正跨入人工合成材料、复合材料、功能材料的新时代。

约在 50 万年前，人类学会了用火。在六七千年前，人类开始用火烧制了陶器，我国东汉时期（公元 25—220 年）出现了陶瓷，于 9 世纪传至东非和阿拉伯，13 世纪传到日本，15 世纪传到欧洲，对世界文明产生了很大的影响，瓷器已经成为中国文化的象征。

5000 年前，我们的祖先冶炼了青铜。春秋战国时期，我国已大量使用铁器。西汉后期，我国发明了炼钢法，这种方法在德国 18 世纪才获得应用。2000 年以前，我国已经使用了淬火和渗碳工艺，热处理技术已经有了相当高的水平。

1863 年，第一台光学显微镜的问世，出现了“金相学”，人们对材料的观察和研究进入了微观领域。1912 年，人们采用 X 射线衍射技术研究材料的晶体微观结构。1932 年，电子显微镜的问世，各种先进能谱仪的出现，将人类对材料微观世界的认识带入了更深的层次，形成了跨学科的材料科学。

新中国成立以来，我国的工业生产、农业生产、人们的日常生活水平得到了迅速发展，钢的年生产能力从 1949 年的 17 万吨增至目前的 1 亿多吨，非金属材料的产量也有了很大的增长。

随着原子能、航空航天、通信电子、海洋开发等现代工业的发展，对材料提出了更为严格的要求，出现了一大批相对密度更小、强度更高、加工性能更好并

能满足特殊性能要求的新材料。20 世纪末, 纳米材料的开发和应用, 引起了世界各国政府、科学技术界、军界的重视。专家预测, 纳米材料科学技术将成为 21 世纪信息时代的核心。

机械加工技术是各种机械的制造方法和过程的总称, 是一门研究机械制造的工艺方法和工艺过程的学科。随着科学技术的进步, 各种新技术、新工艺、新材料的和新设备不断涌现, 机械加工技术正向着高质量, 高生产率和低成本方向发展。如各种少切削、无切削工艺的问世, 已使愈来愈多的零件改变了传统的加工方法, 从而节省了大量金属, 并大幅地提高了生产率。再如, 高硬度刀具材料地出现, 实现了对工件淬硬表面的切削, 其加工精度和加工表面质量可与磨削媲美; 采用硬滚(刮)工艺加工的硬齿面齿轮, 使用寿命显著提高; 超精密加工技术的应用, 已实现加工尺寸误差和形状误差在 $0.1\ \mu\text{m}$ 以下、表面粗糙度 Ra 值不大于 $0.05\ \mu\text{m}$ 等等。特别是微型电子计算机和数显、数控技术的广泛应用, 使工艺过程的自动化程度提高到一个新的阶段。不但大批量生产类型可以实现半自动化、自动化, 而且中、小批量甚至单件生产类型也可采用成组加工工艺和计算机辅助工艺规程编制, 机械制造业正向着半自动化、自动化方向发展。

新中国成立 50 年来, 机械制造业已取得了很大的成就。在机床及工具、仪表、轴承、汽车、重型机械和农业机械等方面已具有相当的生产规模, 初步形成了产品门类基本齐全、布局比较合理的机械制造业体系, 不仅为国民经济各部门提供了必要的技术装备, 还研制和生产出一批具有世界先进水平的产品, 一些产品已进入国际市场。

由于我国原有的工业基础比较薄弱, 与世界先进水平相比, 机械制造工艺水平还存在着相当大的差距, 因此, 我们必须抓住机遇, 把引进的国外先进技术和自己的研究创新结合起来, 奋发图强, 加快发展速度, 使我国的机械制造业跨入世界先进行列, 为社会主义经济建设打下更坚实的基础。

0.2 本课程的主要内容与要求

本课程的工程材料部分主要介绍金属材料的成分、组织、性能之间的相互关系, 了解强化金属材料的基本途径, 熟悉常用金属材料的牌号、成分、组织、性能及用途, 为正确选用材料提供理论依据, 为后继专业课程的学习提供材料方面的知识。

本课程的加工基础部分主要涉及机械加工方面的基础知识, 主要内容包括热加工工艺和冷加工工艺两部分。通过学习, 可以获得机械加工常用的工艺方法, 对机械加工工艺形成一个完整的认识, 从而增强工作的适应性。

希望通过本书较系统的学习, 使学生初步具有正确选材和妥善安排工艺方案的能力, 同时掌握金属冷、热加工工艺的基础知识。



本课程知识面广，概念性强，与生产实践关系密切，教学中应充分利用感性知识加强对课程内容的理解，因此应配合一定的现场参观和电化教学，有条件的可适当安排见习或实习，并在每章学完后，认真做复习题，以确保达到学习本课程的基本要求。

第1章 金属材料的性能

在机械制造中,大多数的零件都是由各种金属材料制成的。随着零件的工作条件和加工方法的不同,必然会对金属材料提出各种不同的性能要求。例如,弹簧需要材料具有良好的弹性和高的疲劳极限;刀具要求硬且耐磨;飞机零件要求材料具有强度高,质量轻和高的抗氧化性;制造容器的材料要求材料具有良好的耐腐蚀性、焊接性能和压延性能等。为了合理地选用和加工金属材料,以及充分发挥金属材料的使用性能和挖掘其性能潜力,必须充分了解和掌握金属材料的基本性能。

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料制成零件或构件后,材料在使用时所表现出来的性质和适应能力,它包括物理、化学和力学性能等,金属材料的使用性能必须保证其正常工作和一定的工作寿命;工艺性能是指材料在冷、热加工过程中所表现出来的适应能力和难易程度所必须具备的性能,它包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能和切削加工性能等,金属材料的工艺性能必须保证材料在加工过程中的顺利进行。材料性能特点决定了材料的加工工艺过程和材料的应用。

1.1 金属材料的物理性能和化学性能

1.1.1 物理性能

金属材料在固态时所表现出来的一系列物理现象的性能称为物理性能。它包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。

1. 密度

物质单位体积的质量称为该物质的密度,用符号 ρ 表示,其单位为 g/cm^3 。

密度是金属材料的重要特性之一,机械工程中通常用密度来计算材料或零件毛坯的质量($m = \rho V$)。体积相同的不同金属,金属密度越大质量也越大,金属密度越小质量也越小。



2. 熔点

金属从固态转变为液态时的最低熔化温度称为熔点。

3. 热膨胀性

一般情况下,金属材料在受热时体积增大,冷却时体积缩小,金属这种热胀冷缩的性能称为热膨胀性。利用材料的热膨胀性,使过盈配合的两零件紧固在一起或使原来紧配的两零件加热松弛而卸下;铺设铁轨时,两钢轨衔接处应留有一定的空隙,使钢轨在长度方向有伸缩的余量等。

4. 导热性和导电性

金属材料传导热量的能力称为导热性,金属材料的热导率 λ 越大,说明导热性越好。

金属材料传导电流的能力称为导电性。金属及其合金具有良好的导电性能,银的导电性能最好,铜、铝次之,故工业上常用铜、铝及其合金作导电材料,如电线、电缆、电器元件等。而导电性差、电阻率高的金属用来制造电阻器和电热元件。

1.1.2 化学性能

金属的化学性能是指金属在室温或高温下抵抗外界化学介质侵蚀的能力,主要包括耐腐蚀性和抗氧化性等。

1. 耐腐蚀性

金属材料会与其周围的介质发生化学作用而使其表面被破坏,如钢铁的生锈,铜产生铜绿等,这种现象称作锈蚀或腐蚀。

2. 抗氧化性

金属材料在高温下容易被周围环境中的氧气氧化而遭破坏,金属材料在高温下抵抗氧化作用的能力称为抗氧化性。

✕ 1.2 金属材料的力学性能 ✕

机器零件工作时都会受到外力(载荷)的作用。如行车吊运重物,钢丝绳会受到重物拉力的作用;车床加工时,导轨会受到工件、工具等重量的作用;冲模工作时会受到压力、冲击力、甚至交变外力的作用等。在这些外力作用下,材料所表现出来的一系列特性和抵抗变形和断裂的能力称为材料的力学性能。

在机械制造领域中设计、制造选用材料时,大多数以力学性能为主要依据。

1.2.1 载荷

材料在加工和使用过程中所受到的外力称载荷。按外力的作用形式,常分为静载荷、冲击载荷和交变载荷三种。

1. 静载荷

大小不变或变化很慢的载荷。如：桌上放置重量不变的箱子，桌子所受的力；机床的床头箱对机床床身的压力等。

2. 冲击载荷

突然增加或消失的载荷。如：在墙上钉钉子，钉子所受的力；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

周期性的动载荷，如机床主轴就是在交变载荷的作用下工作的。

1.2.2 力学性能

金属材料的力学性能是指材料在各种载荷作用下表现出来的抵抗力。常用的力学性能指标有：强度、塑性、硬度、冲击韧度及疲劳强度等，它们是衡量材料性能和决定材料应用的重要指标。

1. 强度

金属材料在载荷作用下抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度愈高，材料承受的载荷愈大。依据载荷作用的方式，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。不同金属材料的强度指标，可通过拉伸试验和其他力学性能试验方法测定。

(1) 拉伸曲线

拉伸曲线是拉伸试验对规定的拉伸试样进行轴向拉伸，测定试验力和相应的伸长量，以确定材料力学性能的试验。

按照国标 GB 228—1987《金属拉伸试样》规定，将被测试的金属材料制成如图 1-1 (a) 所示的标准试样，在材料拉伸试验机上，对标准试样进行拉伸试验，即：将标准试样装夹在试验机上，然后对其逐渐施加拉伸载荷，同时连续测量力和试样相应的伸长，直至试样被拉断，可得到拉力 F 与伸长量 Δl 的关系曲线图（如图 1-2），即拉伸曲线，纵坐标表示力 F ，单位为 N；横坐标表示绝对伸长量 Δl ，单位为 mm。拉伸曲线反映了金属材料在拉伸过程中从弹性变形到断裂的全部力学特性。

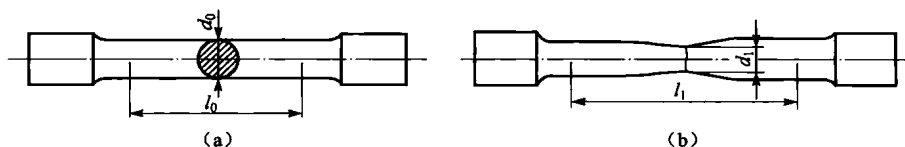


图 1-1 圆形拉伸试样

(a) 拉伸前；(b) 拉伸后

图 1-2 是普通低碳钢的拉伸曲线图。

由图 1-2 可见，拉伸过程中的几个阶段：

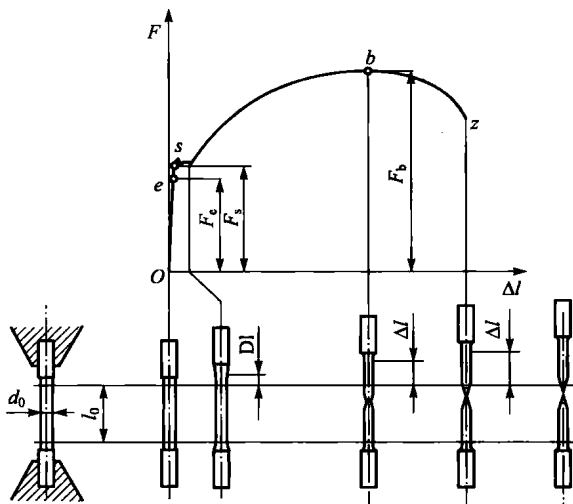


图 1-2 普通低碳钢的拉伸曲线

① Oe ——弹性变形阶段：试样在力作用下均匀伸长，伸长量与拉力保持正比关系， e 点所对应的应力 σ_e 称为弹性强度或弹性极限。

② es ——屈服阶段：试样所受的载荷超过 e 点后，材料除产生弹性变形外，开始出现塑性变形，拉力与伸长量之间不再保持正比关系，即使拉力不再增加，材料仍会伸长一定距离，即图形中的水平线段。这种现象称为“屈服”，标志着材料丧失抵抗塑性变形的能力，并产生微量的塑性变形。 s 点所对应的应力 σ_s 称为屈服强度或屈服极限。

③ sb ——塑性变形阶段：试样所受的载荷超过 s 点后，试样的变形随拉力的增大而逐渐增大，试样发生均匀而明显的塑性变形。

④ bk ——颈缩阶段：当试样所受的力达到 b 点后，试样在标距长度内直径出现局部的明显地变细，即“颈缩”现象。由于截面积的减小，变形集中在“颈缩”处，试样所需的拉力开始下降，在 k 点试样断裂。

(2) 强度指标

材料在外力作用下抵抗变形与断裂的能力称为强度。

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，通常多以抗拉强度为代表对材料进行分析。常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。

① 抗拉强度 σ_b ：抗拉强度是指材料产生断裂现象时的最大拉应力，用 σ_b 表示，计算公式为：

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

式中 σ_b ——抗拉强度, MPa;

F_b ——试样在断裂前所承受的最大外力, N;

S_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

抗拉强度是材料抵抗断裂的能力, σ_b 越大, 材料抵抗断裂的能力越强。抗拉强度是工程技术上的主要强度指标。

② 屈服强度: 屈服强度是指材料开始产生屈服现象时的最低应力, 又称屈服极限, 用 σ_s 表示, 计算公式为:

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

式中 σ_s ——屈服点, MPa;

F_s ——试样开始屈服时所受的外力, N;

S_0 ——试样原始截面积, mm^2 。

屈服强度表明金属材料产生明显塑性变形的抗力, 即是材料抵抗微量塑性变形的能力。 σ_s 越大, 其抵抗能力越强, 越不易引起塑性变形, 因此, 它是机械设计的主要依据, 也是评定金属材料优劣的重要指标。

σ_s 和 σ_b 都是材料重要的强度指标, 也是零件设计的重要依据。机器零件工作时, 所受的应力应不超过材料的 σ_s , 否则会引起机件塑性变形; 更不能在超过强度 σ_b 的条件下工作, 否则会引起机件断裂而导致机器破坏。因此多数情况下, 金属零件是不允许产生塑性变形的, 如齿轮、连杆、轴等零件, 一旦发生塑性变形就会失去原有的精度甚至报废。

2. 塑性

材料在外力的作用下, 产生永久变形而不破坏的性能称为塑性。塑性指标在拉伸试验中测定的 (见图 1-2), 常用的塑性指标是伸长率和断面收缩率。

(1) 伸长率

指试样拉断后标距长度的伸长量与标距原始长度之比值的百分率, 用符号 δ 表示, 计算公式为:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 δ ——伸长率, %;

l_0 ——试样的原始长度, mm;

l_1 ——试样拉断后的标距长度, mm; 见图 1-1。

必须说明: 同一材料的试样长度不同, 测得的伸长率是不同的。长、短标准试样的伸长率分别用符号 δ_{10} 和 δ_5 表示, 通常 δ_{10} 也写成 δ 。

(2) 断面收缩率

指试样拉断后断面面积的收缩量与试样原始截面积之比值的百分率, 用符号 ψ 表示, 计算公式为: