



北京市高等教育精品教材立项项目

制造工程与技术原理

冯之敬 主编

清华大学出版社

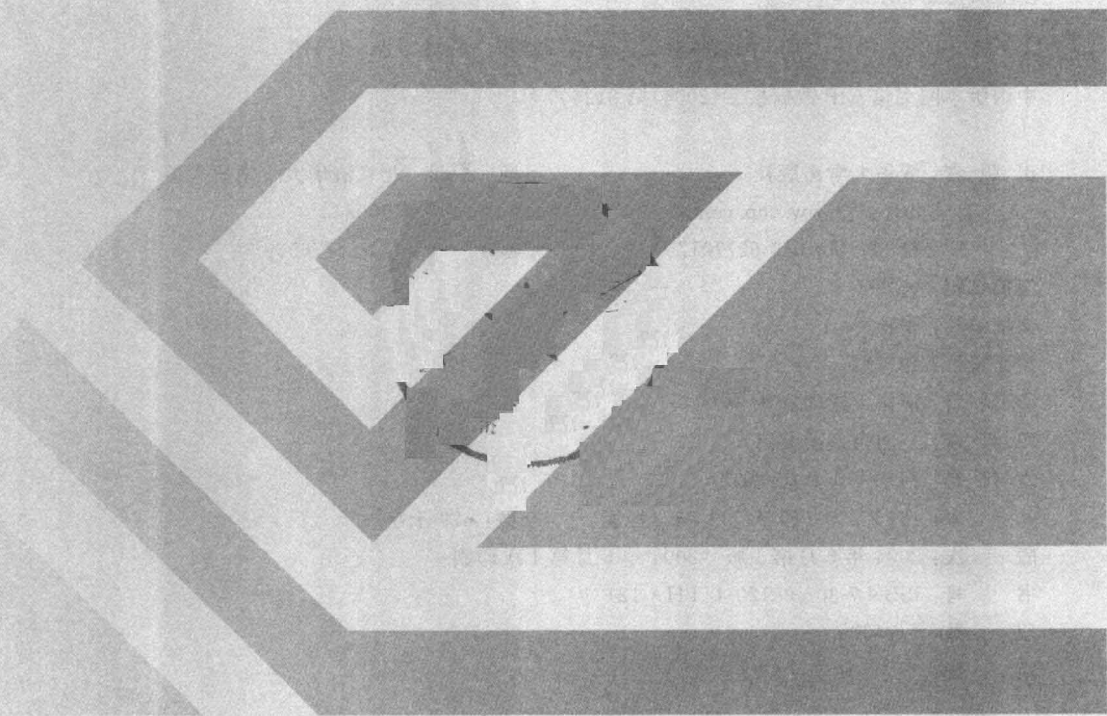


北京市高等教育精品教材立项项目

TH16
F542

制造工程与技术原理

冯之敬 主编



QAX7/08

918246

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书结合前沿制造技术和科研成果,系统全面地论述现代制造工程中主要制造技术和制造工程设计的基本原理。主要内容有:金属和非金属材料及其热处理性质和加工性质,金属的铸造成形原理,塑料、橡胶、玻璃制品成形原理,金属塑性成形加工原理,粉末冶金和陶瓷制备,焊接与切割工艺原理,机械组装与胶粘接,金属切削原理,机床、刀具、夹具的设计原理,加工表面质量和精度的分析与控制,金刚石切削、超声波加工、电加工、高能束加工、快速成形制造、微机械的制造等精密、特种加工工艺方法,表面工程技术原理,光学零件制造工艺原理,集成电路制造工艺和电子装配与组装方法,以及进行制造工程技术组织的机械加工工艺规程和装配工艺规程的基本设计原理等。本书重视制造的各种技术方法之间的内在联系,着力体现制造工程技术这个学术概念的系统性和完整性,以强化大学工科的专业基础教学为目标,特别注重阐明必要的基础理论。

本书为高等工科院校的制造专业基础理论课教材,也可用于制造工程设计的参考。

图书在版编目(CIP)数据

制造工程与技术原理/冯之敬主编. —北京:清华大学出版社,2004

(北京市高等教育精品教材立项项目)

ISBN 7-302-08120-4

I. 制… II. 冯… III. 机械制造工艺—高等学校—教材 IV. TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 012600 号

出 版 者: 清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 金文织

文稿编辑: 张秋玲

封面设计: 扣 西

印 刷 者: 清华大学印刷厂

印 订 者: 三河市新茂装订有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×230 印 张: 33.75 插 页: 1 字 数: 679 千字

版 次: 2004 年 6 月第 1 版 2004 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-08120-4/TH·121

印 数: 1~4000

定 价: 49.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770175-3103 或 (010)62795704

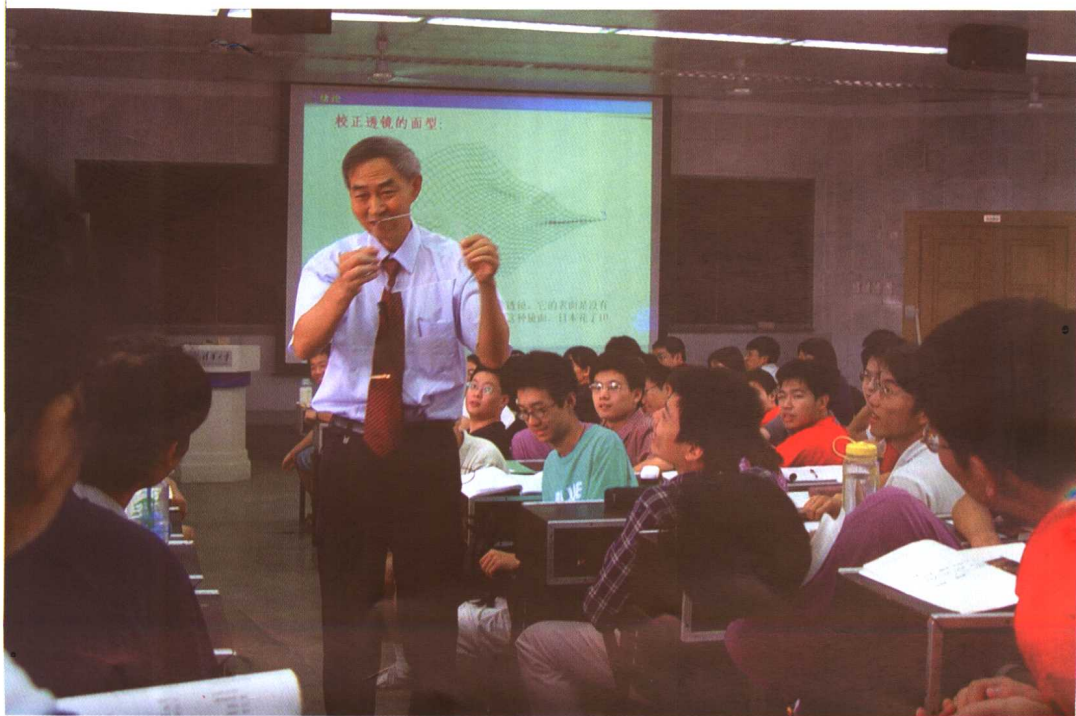
主 编 简 介

冯之敬博士，清华大学精密仪器与机械学系教授，博士生导师，生于1948年4月29日。

1982年大学本科毕业于合肥工业大学机械工程系获学士学位，1985年硕士研究生毕业于哈尔滨工业大学机械制造专业获硕士学位，1987年博士研究生毕业于哈尔滨工业大学机械制造专业获博士学位，1987年~1990年在北京理工大学光学仪器专业作博士后，1990年到清华大学精仪系工作，1996年任职教授。

主要从事计算机控制精密超精密加工技术领域的工作，主持和参加完成了多项国家自然科学基金、国家863高技术计划、国家攻关、清华大学校基金、工厂企业合作项目等。科研成果1985年获航天工业部科技进步二等奖，1998年获教育部科技进步二等奖，2000年获教育部科技进步一等奖。发表科学研究论文60余篇，在机械工业出版社1994年出版的《机电一体化技术手册》中担任全书副主编和总论篇主编，该书1995年获全国优秀科技图书二等奖。

主讲制造专业基础课程，主持机械制造工程原理课程的教学改革1998年获清华大学优秀教学成果一等奖，主编的《机械制造工程原理》教材2001年获清华大学优秀教材二等奖，主编制作的多媒体课件2000年获清华大学优秀教学软件二等奖，专业基础课程的综合教学改革2000年获北京市优秀教学成果二等奖。



制造是创造物质财富的一种非常重要的生产活动。制造是用物理或化学的方法改变原材料的几何形状、性质和外观,制成零件以及将零件装配成产品的操作过程,通过这样的过程将原材料转变成具有使用价值和更大经济价值的产品。制造企业中除了生产组装起来的最终产品的企业外,还有一些企业专门为生产最终产品的企业提供原材料、零部件和配套件、工具、模具等,所以说,制造业包括一个很复杂的生产组织,分别生产不同层次、不同种类的中间产品和最终产品。

产品的制造通常是由一个包括很多关联工序的操作序列来实现的,每一步操作都使材料变得更接近于最终所希望的状态,完成操作过程必须将机器、工具、能源、操作者紧密结合起来。与手工操作的自由制作方式相比,现代制造工业是以严密的工程组织方式进行的,产品制造过程中每一步骤的工艺方法、工艺设备和工具、操作规范、工时定额、工业标准、成本核算,以及中间物料的传送和操作信息的传递、各个步骤的流程等都经过精心设计和科学制订,按照严格的符合生产规律的规程进行。

产品的制造工艺技术是企业生产某种产品的技术能力的核心,企业必须掌握先进的工业化的制造技术,产品才能具备市场竞争力。现代工业技术已经发展到很高的水平,并以很高的速度在继续进展。例如:飞机是最大的制造产品之一,使用铝合金、镁合金、钛合金等轻强金属和纤维增强的聚合物复合材料,以及在喷气发动机的涡轮和其他部件使用高强度的耐热合金等高性能新材料,通过精密加工零部件和严格的组装工艺而建造,是先进材料、先进工艺和先进生产组织方式的集中体现;汽车也是应用很多种类的材料和各种先进的制造技术进行大批量生产的机械电子紧密结合的机电产品典范。又如:集成电路制作在高纯度的硅薄片上,在 $0.414\text{in} \times 0.649\text{in}$ ($10.516\text{mm} \times 16.485\text{mm}$) 的面积上包含了百万个晶体管,它的制作处理序列是所有制造产品中最复杂的,包括几十道独立的工序,这些芯片通常在超净车间成千上万大批量地生产。再如:光学镜的制造,大口径光学天文望远镜的主镜口径已做到 8m ,光刻机精密镜头的精度达到几纳米,通过哈勃空间望远镜已经观测到 120 亿光年的星系,先进的精密光学加工技术成为光学技术进步的重要

技术支持。这些典型的例子说明制造技术是工业发展和科学技术发展的基础。

本书结合前沿制造技术和科研成果,系统全面地论述现代制造工程中主要制造技术的基本原理和制造工程设计的基本原理,内容包括金属和非金属材料的制造性质,成形、连接、切削加工的工艺方法、设备和工具的设计原理,加工质量的分析和控制,金刚石切削、电加工、表面工程、先进光学加工、电子制造组装等特殊加工工艺方法和精密制造技术,以及体现制造过程技术组织形式的加工工艺规程和装配工艺规程的基本设计原理等。本书重视制造的各种技术方法之间的内在联系,着力体现制造工程技术这个学术概念的系统性和完整性,以强化大学工科的专业基础教学为目标,特别注重阐明必要的基础理论。

本书为高等工科院校的制造专业基础理论课教材,也可用于制造工程设计的参考。

本书的编写人员和主要负责的编写工作如下:刘成颖第1,2,3章,朱跃峰第4,9,10章,张辉第7,8,16,18,19章,冯之敬第5,6,11,12,13,14,15,17,20,21章,冯之敬为主编并参与了各章的修改定稿。

作者在本书中融入了新的教学指导思想、新的学术见解和研究成果,也参考了大量的文献,在此谨向所列参考文献的作者致以诚挚的谢意,也向所有对本书提出过建议和帮助的同行人和同事致谢。

诚恳希望对本书的不足之处提出意见、建议和指正。

主编

2003年9月

目 录

制造工程与技术原理

前言	I
----------	---

第1篇 工程材料及其制造性质

1 工程材料的性能	3
1.1 工程材料的种类	3
1.2 工程材料的性能	4
2 金属材料及其热处理	15
2.1 金属与合金材料的结构	15
2.2 金属材料的热处理	33
2.3 常用金属材料	56
3 非金属材料 and 复合材料	63
3.1 高分子材料	63
3.2 陶瓷材料	70
3.3 复合材料	75
3.4 其他材料	76

第2篇 模铸成形

4 金属的铸造成形	81
4.1 砂型铸造工艺原理	81
4.2 特种铸造方法	104
4.3 铸造合金种类及相应的铸造特点	116

5 塑料成形工艺及模具	132
5.1 塑料组分、分类及加工工艺性	132
5.2 注射成形工艺与模具	134
5.3 压缩和压注成形工艺	137
5.4 挤出成形、吹塑成形、泡沫塑料成形及玻璃钢缠绕成形	139
6 橡胶制品和玻璃制品成形工艺	142
6.1 橡胶制品的加工和成形	142
6.2 玻璃制品成形工艺	145

第3篇 塑性成形

7 金属塑性成形加工	153
7.1 金属塑性成形的应力和应变	153
7.2 轧制	159
7.3 锻造	165
7.4 冲压	175
8 粉末冶金和陶瓷制备	188
8.1 粉末冶金	188
8.2 陶瓷	194

第4篇 连接与分割

9 焊接	203
9.1 焊接的物理本质与分类	203
9.2 电弧焊	207
9.3 气焊和气割	223
9.4 其他焊接方法	227
9.5 焊接质量与检验	235
9.6 常用金属材料的焊接	243
10 机械联接与胶粘接	250
10.1 机械联接	250

10.2 胶粘接	252
----------	-----

第5篇 切削加工

11 金属切削原理	261
11.1 切削运动和切削用量	261
11.2 刀具材料、几何形体与角度参数	264
11.3 金属切削的变形过程	281
11.4 切削力	288
11.5 切削热和切削温度	293
11.6 切削过程优化	295
12 机床、刀具与切削和磨削工艺	308
12.1 车床和车刀	308
12.2 钻床和麻花钻	314
12.3 铣床和铣刀	321
12.4 拉床和拉刀	326
12.5 齿轮加工机床和齿轮加工刀具	330
12.6 磨床和砂轮	341
12.7 组合机床	344
12.8 数控机床和加工中心	345
13 工件的定位夹紧与夹具	347
13.1 夹具的基本概念	347
13.2 工件在夹具上的定位	349
13.3 工件在夹具中的夹紧	360
14 机械加工表面质量和精度	365
14.1 机械加工表面质量	365
14.2 机械加工精度	375

第6篇 特殊加工工艺方法和精密制造技术

15 精密超精密加工和特种加工	399
15.1 金刚石超精密切削	399

15.2	精密磨料加工	400
15.3	超声波加工	403
15.4	电解加工	405
15.5	电铸加工	405
15.6	电火花与线切割	407
15.7	电子束加工和离子束加工	408
15.8	激光加工	411
15.9	快速成形制造技术	412
15.10	微机械的制造技术	414
16	表面工程技术	416
16.1	表面预处理	416
16.2	表面强化和改性	417
16.3	表面涂覆和表面膜	422
17	光学零件制造工艺	430
17.1	光学玻璃镜的加工	430
17.2	特种光学零件工艺	439
18	集成电路制造工艺	446
18.1	硅晶片制备	447
18.2	光刻技术	450
18.3	薄膜制备及刻蚀技术	454
18.4	集成电路组装	458
19	电子装配和组装	461
19.1	电子组装	461
19.2	印刷电路板制造工艺	462
19.3	印刷电路板装配	466

第7篇 工艺规程设计原理

20	机械加工工艺规程设计	473
20.1	机械加工工艺规程设计的基本概念	473

20.2	定位基准及选择·····	478
20.3	工艺路线的制订·····	481
20.4	加工余量、工序尺寸及公差的确定 ·····	488
20.5	工艺尺寸链·····	491
20.6	时间定额和提高生产率的工艺途径·····	496
20.7	自动生产线和柔性制造系统·····	498
21	装配工艺规程设计·····	506
21.1	装配工艺规程的制订·····	506
21.2	装配尺寸链·····	511
	参考文献·····	525

第 1 篇

工程材料及其制造性质

1

工程材料的性能

1.1 工程材料的种类

工程材料主要指广泛用于机械、电器、建筑、化工以及航空航天等领域的材料。工程材料种类很多,用途广泛,按其性能特点和用途可分为两大类:一类是结构材料,主要是利用材料的力学性能来满足工程结构上的需要;另一类称为功能材料,主要利用材料具有光、电、磁、热等特殊的物理性能。根据其化学组成进行分类,大多数的工程材料属于金属材料、陶瓷材料和高分子材料三种基本类型,以及由多种材料组成的复合材料,如图 1-1 所示。

金属材料是工程材料中最重要的材料之一,包括纯金属和以金属元素为主的合金,在制造中合金比纯金属有更大的使用价值。工业上通常把金属材料分为两类: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)材料应用最广;另一类是有色金属,是指黑色金属以外的所有金属及合金。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,能采用比较便宜和经济的工艺方法制成零件,因此金属材料仍然是目前应用最广泛的材料。

陶瓷材料是指硅酸盐、金属与非金属元素的化合物(主要是氧化物、碳化物、氮化物等),如水泥、玻璃、耐火材料。它具有不可燃烧性、高耐热性、高化学稳定性、不老化性以及高的硬度和良好的耐压性,且原料丰富,受到材料工作者和特殊行业的广泛关注。

高分子材料又称聚合物,是由分子质量很大的大分子组成,其主要原料是石油化工产品。按其性能用途和使用状态,可分为塑料、橡胶、合成纤维和胶粘剂等四大类型。塑料是最主要的高分子材料,常分为通用塑料和工程塑料。通用塑料主要用于制作薄膜、容器和包装用品,占塑料生产的 70% 左右,聚乙烯是其典型代表。工程塑料是指力学性能较高的聚合物,聚酰胺是这类材料的代表。高分子材料具有金属材料所不具备的某些优异性能,如重量轻、电绝缘性、隔热保温性、耐腐蚀性等,并具有原料丰富、成本低、加工方便

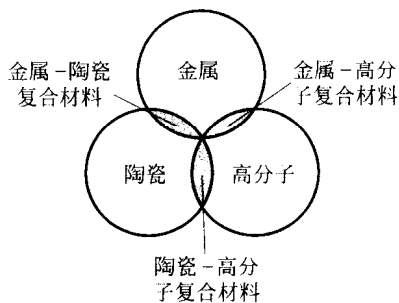


图 1-1 三种基本材料类型和复合材料

等优点,发展极其迅速,目前已在工业上得到广泛应用,并将越来越多地被采用。

复合材料是由基体材料(树脂、金属、陶瓷)和增强剂(颗粒、纤维、晶粒)复合而成的。金属、高分子、陶瓷材料各有优缺点,将以上两种或两种以上的材料组合在一起便形成了复合材料。复合材料既保持所组成材料的各自优点,还有着单一材料不具备的优良性能,而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。由于材料质轻、强度高、耐高温、耐磨损,不仅是航空、航天的理想材料,也是建筑、化工、机械、造船等工业领域广泛使用的材料。

1.2 工程材料的性能

工程材料的性能包括:使用性能和工艺性能,如图 1-2 所示。材料在不同的条件下使用,如在载荷、温度、介质、电磁场等作用下将表现出不同的行为,即为材料的使用性能,包括材料的力学性能、物理性能、化学性能等。工程材料的使用性能,决定了它的应用范围和产品寿命。由于工程结构与机器零件以传递力和能、实现规定的机械运动为主要功能,因此材料的力学性能是最重要的使用性能。工艺性能是指材料在加工过程中对所涉及的加工工艺所表现出来的适应性,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等,而将材料加工成所要求形状的工艺方法反过来又影响产品的最终性能、使用寿命和成本。因此,作为材料性能的两个方面,使用性能和工艺性能既有联系又有区别,两者有时是统一的,但更多的情况下是相互矛盾。合理地解决两者之间的矛盾并使之不断改善,是材料研究和应用的主要任务之一。

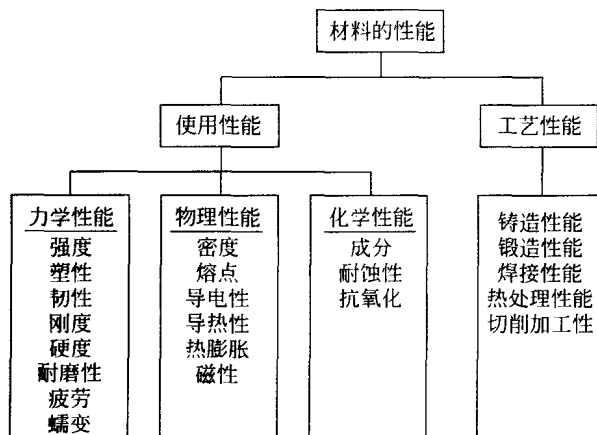


图 1-2 材料的性能

1.2.1 材料的力学性能

材料的力学性能亦称机械性能,是材料在承受各种载荷(外力)时所表现出来的行为。载荷类型通常分为:静载荷、动载荷和变载荷;载荷的加载方式有拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切等。根据作用载荷形式的不同,材料的力学性能以相应的力学概念进行定义,并以特定的实验方法测定。

1. 静载时材料的机械性能

静载是指对试样缓慢加载。最常用的静载试验有拉伸、压缩、硬度、弯曲、扭转等试验,利用这些试验方法,可以测得各种力学性能指标。这里主要讨论强度、塑性和硬度指标。

1) 强度

强度是指在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力。

强度指标通常通过静拉伸试验测定:将标准试样置于拉伸机上,并在两端缓慢地施加轴向拉伸载荷,使试样的工作部分受轴向拉力 F ,并引起试样沿轴向产生伸长 Δl ,随着 F 值的增加, Δl 也相应增大,直到试样断裂为止。根据试样在拉伸过程中的拉应力 σ (单位截面积上的拉力)与产生的应变 ϵ (单位长度的伸长量)可以画出应力-应变曲线,图 1-3 所示为退火低碳钢的应力-应变曲线。由图可见,低碳钢试样在拉伸过程中的变形可分为三个阶段:弹性变形、塑性变形和断裂。

静载拉伸下材料的力学性能指标主要有以下几个:

(1) 弹性极限 σ_e 和弹性模量 E

静载拉伸曲线上, e 点以前产生的变形量是可以恢复的变形,叫做弹性变形, e 点所对应的是弹性变形阶段的最大应力,称为弹性极限,以 σ_e 表示,对一些弹性零件如弹簧等, σ_e 是主要的性能指标。

材料在弹性范围内的应力与应变的比值称为弹性模量,也就是应力-应变曲线中 Oe 直线的斜率,以 E 表示:

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

弹性模量 E 表征材料产生弹性变形的难易程度, E 大,表示材料产生一定量的弹性

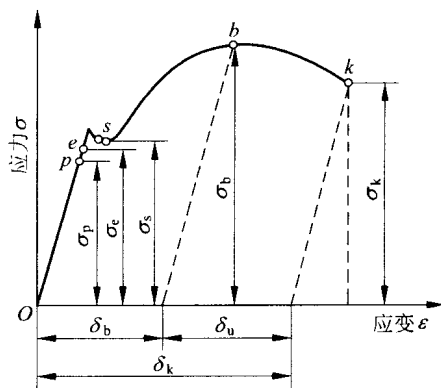


图 1-3 退火低碳钢的拉伸应力-应变曲线

变形所需要的应力大,即不容易产生弹性变形。弹性模量在工程上称为材料的刚度,表示材料抵抗弹性变形的能力。材料的刚度不等于机件的刚度,机件刚度与弹性模量成正比,因为机件的刚度除取决于材料的刚度外,还与结构、尺寸因素有关,机件刚度的提高,可以通过增加横截面积或改变截面形状来实现。刚度越大,则机件在一定作用力下产生的弹性变形越小。有些机械零件要求严格控制其弹性变形,如机床主轴要有足够的刚度以保证其工作精度。

弹性模量主要取决于材料内部原子间的作用力,如晶体材料晶格类型、原子间距,而其他强化手段对弹性模量的影响较小。

(2) 屈服强度 σ_s

在图 1-3 所示的拉伸曲线中,在 s 点出现一水平(或锯齿形)的线段,这表明拉力虽然不再增加,但变形仍在继续。这时若卸去载荷,则试样的变形不能全部恢复,将保留一部分残余变形。这种不能恢复的残余变形叫塑性变形。 s 点是材料从弹性状态过渡到塑性状态的临界点。它所对应的应力为材料在外力作用下开始发生塑性变形的最低应力值,称为屈服极限或屈服强度,用 σ_s 表示。

工程中大多数零件都是在弹性范围内工作的,如果产生过量塑性变形就会使零件失效,所以屈服强度是零件设计与选材的主要依据之一。

(3) 抗拉强度 σ_b

试样拉断前最大载荷所决定的应力值,即试样所能承受的最大载荷除以原始横截面积,以 σ_b 表示,称为抗拉强度。

抗拉强度的物理意义是表征材料抵抗最大均匀变形(对于塑性材料)或断裂(对于脆性材料)的能力,它是设计和选材的主要依据之一。对于有些几乎没有塑性或是低塑性的脆性材料, σ_b 是这类材料的主要设计指标。

强度指标还有断裂强度 σ_k ,它是材料拉断时的最大载荷所对应的强度。

2) 塑性

材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力叫塑性,可以通过静拉伸试验测定。塑性以材料断裂后塑性变形的大小来表征,材料受拉伸时用延展率 δ 和断面收缩率 φ 表示。

延展率 δ 表示试样拉伸断裂后的相对伸长量:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中: l_0 ——拉伸试样原始标距长度;

l_k ——拉伸试样拉断后的标距长度。

断面收缩率 φ 表示试样断裂后截面的相对收缩量:

$$\varphi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \times 100\% \quad (1-3)$$