

工程材料及成形技术

主 编 艾云龙

副主编 刘长虹 罗军明



科学出版社

www.sciencep.com

工程材料及成形技术

主 编 艾云龙
副主编 刘长虹 罗军明

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书较为系统地论述了工程材料及成形技术的基本理论和知识,分析了常用工程材料的化学成分、组织结构、工艺方法、性能特点及其相互关系。

本书内容体系注重厚基础、宽口径、高技能,并进行了教学体系、教学内容、教学方法和实践教学模式的全面革新,在融合传统的“金属学”、“金属材料及热处理”、“金属工艺学”等有关课程的基础上拓展了非金属材料的知识。

本教材知识面广、综合性强、适用范围广,可作为材料类、机械类和自动化类专业教材,其适用教学学时数为72学时。也可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术/艾云龙主编. —北京:科学出版社,2007
ISBN 978-7-03-019487-9

I. 工… II. 艾… III. 工程材料-成形 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 115325 号

责任编辑:余 丁 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:刘士平 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年8月第一版 开本:B5(720×1000)

2007年8月第一次印刷 印张:26 1/2

印数:1—4 000 字数:524 000

定价:38.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换<明辉>)

前 言

工程材料及成形技术是研究工程构件及机械零件常用材料和成形加工方法的一门技术基础课,通过本课程的学习,可获得常用工程材料及零件成形加工的基本知识,为后续课程的学习和今后从事材料加工和机械设计及制造奠定必要的基础,同时对拓宽专业面、培养复合型人才,满足市场对人才的需求,也是不可缺少的重要环节。

本教材从机械工程材料的应用角度出发,阐明工程材料及其成形技术的基础原理、基本知识和技能,注重分析材料的化学成分、加工工艺、组织结构与性能之间的关系。教材内容体系注重厚基础、宽口径、高技能,并进行了教学体系、教学内容、教学方法和实践教学模式的全面革新,在保证教学内容基础性和实践性原则下,以培养学生的创新能力和解决实际问题的能力为主线,在融合传统的“金属学”、“金属材料及热处理”、“金属工艺学”等有关课程的基础上拓展了非金属材料的知识。

本教材知识面广、综合性强、适用范围广,可作为金属材料工程、材料成形及控制、机械设计及其自动化、飞行器制造工程、测控技术与仪器等本科专业教材,也可供有关工程技术人员参考。其适用教学学时数为72学时,使用时可结合各专业的具体情况进行调整,有些内容可供学生自学。

本教材共十四章,参加本书编写的作者为南昌航空大学金属材料工程专业的老师,他们分别是:艾云龙(第三、四、七、十二章,第十三章的第一、二节),刘长虹(第一、五、六章,第十三章的第三、四、五、六节),罗军明(第十四章),杨刚(第二章),晏建武(第八章),张剑平(第九章),郑海忠(第十章),邓莉萍(第十一章)。

本书由艾云龙担任主编,刘长虹、罗军明担任副主编,华小珍担任主审。

编 者

目 录

第一章 绪论	1
第一节 材料科学的发展与工程材料.....	1
第二节 物质的状态.....	4
第三节 原子间的结合键.....	4
复习思考题.....	7
第二章 材料的性能	8
第一节 静态力学性能.....	8
第二节 动态力学性能	12
第三节 断裂韧度	16
第四节 高低温性能	18
第五节 材料的工艺性能	20
复习思考题	20
第三章 金属的结构与结晶	22
第一节 金属的晶体结构	22
第二节 金属的实际结构和晶体缺陷	28
第三节 金属的结晶与铸锭	34
复习思考题	40
第四章 二元合金	41
第一节 合金的晶体结构	41
第二节 二元合金相图	44
第三节 铁碳合金	52
第四节 碳钢	63
复习思考题	70
第五章 金属的塑性变形与再结晶	72
第一节 金属的塑性变形	72
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	77
第三节 回复与再结晶	80
第四节 金属的热变形	85
第五节 提高材料塑性变形的抗力	87
复习思考题	89

第六章 金属热处理及材料改性	90
第一节 钢在加热时的转变	90
第二节 钢在冷却时的转变	93
第三节 过冷奥氏体转变曲线图	99
第四节 钢的退火和正火	104
第五节 钢的淬火	107
第六节 钢的回火	113
第七节 钢的表面热处理和化学热处理	115
第八节 热处理技术条件及工序位置	122
第九节 先进热处理技术简介	127
复习思考题	131
第七章 合金钢	134
第一节 合金元素在钢中的作用	134
第二节 低合金钢和合金钢的分类与编号	137
第三节 低合金钢	139
第四节 合金结构钢	141
第五节 合金工具钢	155
第六节 不锈钢和耐热钢	170
复习思考题	177
第八章 铸铁	179
第一节 概论	179
第二节 灰口铸铁	181
第三节 可锻铸铁	183
第四节 球墨铸铁	185
第五节 蠕墨铸铁	187
第六节 特殊性能铸铁	188
复习思考题	190
第九章 有色金属	191
第一节 铝及其合金	191
第二节 铜及铜合金	197
第三节 钛及钛合金	201
第四节 轴承合金	206
第五节 镁及镁合金	210
第六节 粉末冶金材料	215
复习思考题	218

第十章 非金属材料	219
第一节 高分子材料.....	219
第二节 陶瓷材料.....	225
第三节 复合材料.....	232
复习思考题.....	238
第十一章 工程材料的选用	239
第一节 零件的失效分析.....	239
第二节 选材的一般原则和步骤.....	242
第三节 典型零件选材及工艺分析.....	247
复习思考题.....	258
第十二章 铸造	259
第一节 铸造基本原理.....	259
第二节 砂型铸造.....	272
第三节 特种铸造.....	287
第四节 铸件结构设计.....	300
复习思考题.....	310
第十三章 压力加工	313
第一节 压力加工基本原理.....	313
第二节 自由锻.....	320
第三节 模锻.....	328
第四节 板料冲压.....	342
第五节 少切削、无切削锻压工艺简介.....	356
第六节 各种压力加工方法比较.....	363
复习思考题.....	366
第十四章 焊接	368
第一节 焊接方法.....	368
第二节 常用金属材料的焊接.....	389
第三节 焊接结构设计.....	403
复习思考题.....	411
参考文献	415

第一章 绪 论

第一节 材料科学的发展与工程材料

一、材料科学的发展

材料是所有科技进步的核心，是人类生产和社会发展的重要物质基础，与人类文明的关系非常密切。人类最早使用的材料是石头、泥土、树枝、兽皮等天然材料。由于火的使用，人类发明了陶器、瓷器，其后又发明了青铜器、铁器。因此在人类文明史上曾以材料作为划分时代的标志，如石器时代、青铜器时代、铁器时代等。而在 20 世纪 60 年代，人们把材料、能源、信息并列称为现代技术和现代文明的三大支柱，70 年代又把新型材料、信息技术和生物技术列为新技术革命的主要标志。这都说明，材料的应用和发展与社会文明进步有着十分密切的关系。

材料科学主要研究材料的化学组成、微观组织、加工制造工艺与性能之间的关系。它以化学、固体物理、力学等为基础，是一门多学科交叉的边缘科学。材料经历了从低级到高级、从简单到复杂、从天然到合成的发展历程。近半个世纪以来，材料的研究和生产以及材料科学理论都得到了迅速的发展。1863 年第一台金相光学显微镜面世，促进了金相学的研究，使人们步入材料的微观世界。1912 年发现了 X 射线，人们开始了晶体微观结构的研究。1932 年发明的电子显微镜以及后来出现的各种先进分析工具，把人们带到了微观世界的更深层次。X 射线技术、电子显微镜技术、同位素技术等 在材料科学中的应用成功，使材料科学进入了新的时代，推出了像“位错”、“断裂物理”等一系列新的金属理论。同时，一些与材料有关的基础学科（如固体物理、量子力学、化学等）的发展，又更有力的推动了材料研究的深化。

随着金属材料的发展，一些非金属材料、复合材料也迅速发展起来，弥补了金属材料性能的某些不足。在机械制造业中这些新材料的份额逐渐在增加。从 20 世纪 60 年代到 70 年代，有机合成材料每年以 14% 的速度增长，而金属材料的年增长仅为 4%；到 70 年代中期，全世界的有机合成材料和钢的体积产量已经相等；除了用作结构材料代替钢铁外，目前正在研究和开发具有良好导电性能和耐高温的有机合成材料。陶瓷材料的发展同样引人注目，它除了具有许多特殊性能而作为重要的功能材料（例如可作光导纤维、激光晶体）以外，其脆性和热

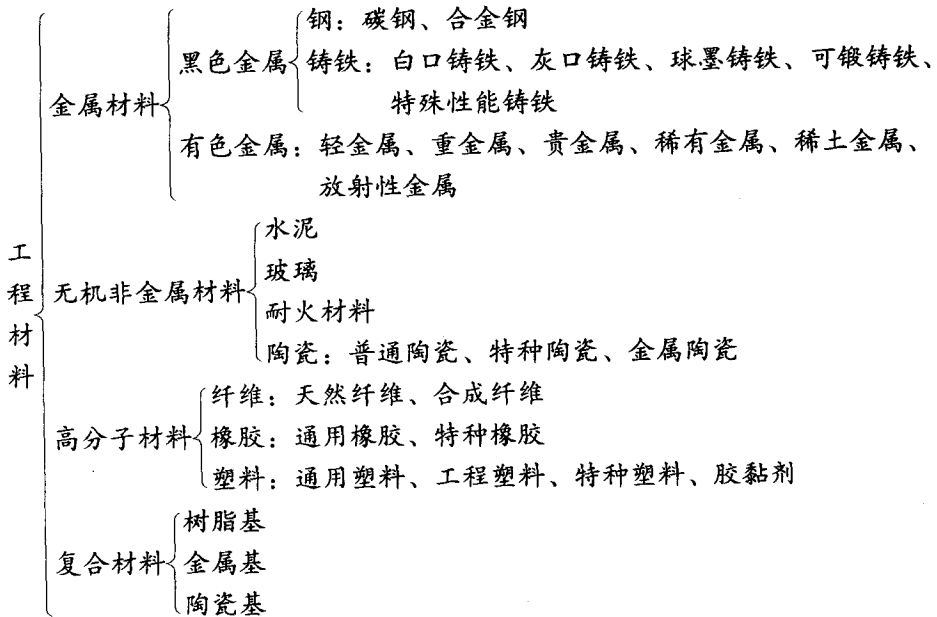
震性也在逐步获得改善，是最有前途的高温结构材料。机器零件和工程构件已不再只使用金属材料制造了。复合材料具备的优异性能使其广泛应用于宇航、航空工业和交通运输工业中制造卫星壳体、飞机机身、螺旋桨、发动机叶轮和汽车车身等。在不久的将来，人工合成材料将得到较大的发展，并进入金属、高分子、陶瓷及复合材料共存的时代。

除结构材料外，功能材料也在迅速发展，如：高温超导材料、激光材料、磁性材料、电子材料、形状记忆材料等。材料科学技术的发展和应促进了机械制造业的飞跃。现代设计与制造中涉及的机械已不是原来意义上的单纯机械了，已经发展到机电一体化的阶段，将来也可能把某些功能材料纳入机械工程材料之列。

二、工程材料

工程材料是应用十分广泛的一大类材料，主要指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中的材料，用来制造工程构件、机械装备、机械零件、工具、模具和具有特殊性能（如耐蚀、耐高温等）的材料。它通常用强度、硬度、韧性、塑性等力学性能指标来衡量其使用性能。

工程材料种类很多，用途广泛，有许多不同的分类方法，通常按其组成进行分类，如下所示：



1. 金属材料

金属材料是最重要的工程材料，包括钢铁、有色金属及其合金。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工艺方法制成零件，因此金属材料是目前应用最广泛的材料。

2. 无机非金属材料

无机非金属材料主要是陶瓷材料、水泥、玻璃、耐火材料。它具有不可燃性、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。

陶瓷可作为各种无机非金属材料的通称。陶瓷是人类应用最早的材料，它坚硬、稳定，可以制造工具、用具，也可作为结构材料。陶瓷是一种或多种金属元素与一种非金属组成的化合物（主要为金属氧化物和金属非氧化物），其硬度很高，但脆性大。按照成分和用途，工业陶瓷材料可分为：

- ① 普通陶瓷（或传统陶瓷）：主要为硅、铝氧化物的硅酸盐材料。
- ② 特种陶瓷（或新型陶瓷）：主要为高熔点的氧化物、碳化物、氮化物、硅化物等的烧结材料。
- ③ 金属陶瓷：主要指用陶瓷生产方法制取的金属与碳化物或其他化合物的粉末制品。

3. 高分子材料

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，目前已在工业上广泛应用，并将越来越多地被采用。

工程上通常根据高分子材料的机械性能和使用状态将其分为三大类：

- ① 塑料：主要指强度、韧性和耐磨性较好的、可制造某些机器零件或构件的工程塑料，分热塑料和热固性塑料两种。
- ② 橡胶：通常指经硫化处理的、弹性特别优良的聚合物，有通用橡胶和特种橡胶两种。
- ③ 合成纤维：指由单体聚合而成的、强度很高的聚合物，通过机械处理所获得的纤维材料。

4. 复合材料

复合材料是两种或两种以上不同材料的组合材料，它的结合键非常复杂，其性能是它的组成材料所不具备的。复合材料通常是由基体材料（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，它在强度、刚度和耐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越，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，其品种、数量

和质量有了飞速发展，具有广阔的发展前景。

第二节 物质的状态

一、物质的组成

材料是由一种或一种以上的元素组成的。在一定条件下，材料具有一定的聚合状态，或呈气态或呈液态或呈固态。当条件改变时，材料的状态可以互相转化。

二、决定物质状态的因素

决定物质状态的因素是原子或分子、离子的相互作用和它们的热运动。如果粒子的势能比动能大得多时为固体；如果粒子动能超过势能时为气体；如果粒子动、势能相差不多时，即相互作用和热运动差不多时为液态。温度和压力等外界条件不同，物质会处于不同状态。

三、晶体能够稳定存在的原因

晶体具有长程有序的稳定排列，它能够稳定存在的原因主要是原子间距离的影响。如图 1-1 所示，当原子间的距离较小时表现为斥力；当距离较大时表现为吸力；当距离很大，大大超过作用距离时，相互作用很微弱，原子分离几乎不需要任何功。只有距离为 a_0 时（图中 A 点），斥力和引力相等，此时原子间相互作用的势能具有最低值 E_0 ，两原子的位置相对稳定，不容易被拆开，或者拆开时需克服很大的阻力，做很多的功，这就是晶体为什么能够稳定存在的原因。

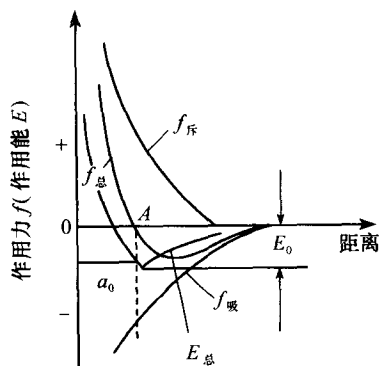


图 1-1 原子间的相互作用力（能）

第三节 原子间的结合键

当原子相互靠近时，它们之间的相互作用将以键合方式进行。由于组成不同，材料的原子（或分子）结构各不相同，原子间的结合键性质和状态存在很大差别。

一、离子键

当正电性金属原子与负电性非金属原子接触时，前者失去最外层电子变成正

离子，后者获得电子变成负离子，正、负离子由于静电引力而相互结合成化合物，这种相互作用就称为离子键。

图 1-2 (a) 为离子键结合的示意图。离子键有较强的结合力，因此离子化合物的熔点、沸点、硬度很高，热膨胀系数很小。离子键中很难产生可以自由运动的电子，所以离子晶体是良好的绝缘体，但在熔融状态下可借助离子迁移呈离子导电性。大部分盐类、碱类和金属化合物多以离子键方式结合，部分陶瓷材料 (MgO 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 等) 及钢中的一些非金属夹杂物也以此方式结合。

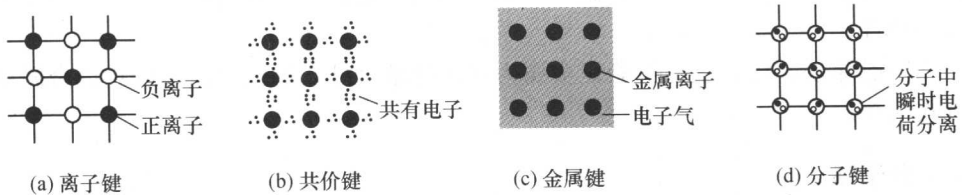


图 1-2 原子结合键的类型

二、共价键

当两个相同的原子或性质相差不大的原子相互接近时，原子间不会有电子转移。此时原子间借助共用电子对所产生的力而结合，这种结合方式称共价键。图 1-2 (b) 为共价键结合的示意图。共价键结合极为牢固，所以共价晶体（如金刚石）具有高的熔点、硬度和强度。由于全部外层电子束缚于共价键，所以它们不是导体（金刚石是绝缘体，硅、锗是半导体）。碳、硅、锗、锡、铅等亚金属主要以共价键方式结合，一些陶瓷（如碳化硅、氧化硅）和一些聚合物也是通过共价键使它们的原子结合在一起的。

三、金属键

金属原子结构中具有较少的外层电子，且易电离，当原子相互接近时，原子中的外层电子从各个原子中脱离出来为整个金属所共用，它们在金属内可自由运动而形成“电子气”。金属正离子和自由电子间的静电作用，使原子结合成金属整体，这种结合方式称为金属键，如图 1-2 (c) 所示。由于在金属晶体中，价电子弥漫在整个体积内，所有的金属离子皆处于相同的环境之中，全部离子（或原子）均可被看成是具有一定体积的圆球，所以金属键无所谓饱和性和方向性。

金属由金属键结合，因此金属具有下列特性：

① 良好的导电性和导热性。金属中的自由电子在一定的电位差条件下作定向运动，形成电流，从而显示出良好的导电性；自由电子的运动以及金属正离子

的振动使金属具有良好的导热性。

② 正的电阻温度系数（即随温度升高电阻增大）。绝大多数金属具有超导性，即在温度接近绝对零度时电阻突然下降，趋近于零。加热时，金属正离子振动加剧，阻碍电子通过，电阻升高，因而金属具有正的电阻温度系数。

③ 自由电子能吸收可见光的能量使金属具有不透明性，而吸收了能量被激发的电子回到基态时产生辐射，使金属具有光泽。

④ 金属键没有方向性，原子间也没有选择性，所以在受外力作用造成原子面作相对位移时，正离子与自由电子之间的结合键仍旧保持着，使金属显示出良好的塑性。

一般除铍、锑、锆、镓等亚金属为共价键结合外，绝大多数金属均以金属键方式结合。

四、分子键

He、Ne、Ar 等原子态惰性气体和 H_2 、 N_2 、 O_2 等气体分子在低温时都能结合成液体和固体，这类原子或分子间相互作用并没有价电子的得失、共有或公有化。它们的结合是依靠分子（或原子）偶极间的作用力（色散力、诱导力、取向力）来完成的。这种存在于中性的原子或分子间的结合力称为分子键，也称范德华力。图 1-2 (d) 为分子键示意图。

由于分子键很弱，故结合成的晶体具有低熔点、低沸点、低硬度、易压缩等性质。例如，石墨的各原子层之间为分子键结合，从而易于分层剥离，强度、塑性和韧性极低，接近于零，是良好的润滑剂。塑料、橡胶等高分子材料中的链与链间的结合力为范德华力，故它们的硬度比金属低，耐热性差，不具有导电能力。

五、氢键

氢键是一种特殊的分子间作用力。当两种负电性大且原子半径较小的原子与氢原子结合时，氢原子与一种原子间形成共价键，与另一原子之间形成氢键。氢键的本质是静电吸引力，具有饱和性和方向性。氢键比一般范德华力强得多，但比离子键、共价键等要小。

氢键的形成对化合物的物理性能和化学性质有各种影响。比如水的物理性质，如密度、比热容、熔点、沸点等都较同类化合物高。

以上讨论的几种结合键的强度，以离子键和共价键最强，金属键次之，分子键最弱。

实际上，只有一种结合键的材料并不多见，大多数材料往往是几种键的混合结合，而以一种结合键为主。表 1-1 列出了常用工程材料的结合键和性能特点。

表 1-1 四大类工程材料的原子间结合键及其性能特点

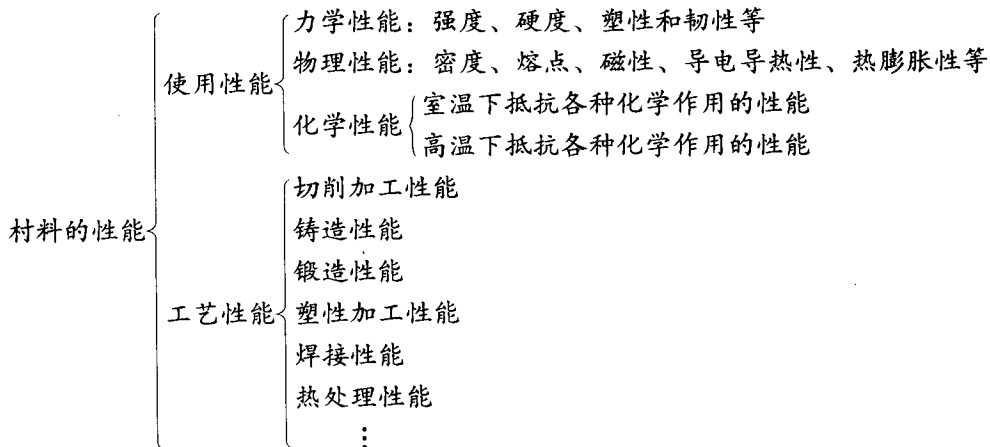
种类	结合键	熔点	弹性模量	强度、硬度	塑性、韧性	导电性 导热性	耐热性	耐腐蚀性	其他性能
金属材料	金属键为主	较高	较高	较高	良好(铸铁等脆性材料除外)	良好	较高	一般	密度大, 不透明, 有金属光泽
高分子材料	分子内共价键, 分子间分子键	较低	低	较低	变化大	绝缘, 导热不良	较低	高	密度小, 热膨胀系数大, 抗蠕变性能低, 易老化, 减摩性好
陶瓷材料	离子键或共价键为主	高	高	抗压强度与硬度高, 抗拉强度低	差	绝缘, 导热不良	高	高	耐磨性好, 热硬性高, 抗热振性差
复合材料	取决于组成物的结合键	能克服单一材料的某些弱点, 充分发挥材料的综合性能							

复习思考题

1. 晶体中的原子为什么能结合成长程有序的稳定排列?
2. 四大工程材料各有何特点?
3. 试比较金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料在结合键上的差别。
4. 石墨和金刚石都是纯碳, 但前者是电的良导体而后者是电的不良导体。试根据金属键和共价键的特性解释这一现象。

第二章 材料的性能

工程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条件下表现出来的性能，如力学性能、物理性能和化学性能；工艺性能是指材料在加工过程中反映出的性能，如切削加工性能、铸造性能、锻造性能、塑性加工性能、焊接性能和热处理性能等。其具体的分类如下：



第一节 静态力学性能

材料在静载荷的作用下所表现出的各种性能称为静态力学性能。材料的静态力学性能可以通过静载试验确定，该试验可以确定材料在静载荷作用下的变形（弹性变形、塑性变形）和断裂行为，这些数据广泛应用于结构载荷机件的强度和刚度设计中，也是材料加工工艺有关材料变形行为的重要资料。在生产金属材料的工厂，静载试验是检验材料质量的基本手段之一。此外，科学工作者也能够从材料的变形和断裂行为的分析中得到很多有关材料性能的重要资料，这些资料对于研究和改善材料的组织与性能十分必要。

一、拉伸试验

拉伸试验是工业上应用最广泛的金属力学性能试验方法之一。这种试验方法的特点是温度、应力状态和加载速率是确定的，并且常用标准的光滑圆柱试样进

行试验。通过拉伸试验可以揭示材料在静载荷作用下常见的三种失效形式，即弹性变形、塑性变形和断裂；还可以标定出材料最基本的力学性能指标，如屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 、抗拉强度 σ_b 、断后伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 。

1. 拉伸试验曲线

拉伸试验曲线有以下几种表示方法：

① 载荷-伸长曲线 ($P-\Delta L$)。这是拉伸试验机的记录器在试验过程中直接画出的曲线。 P 是载荷的大小， ΔL 指试样标距长度 L_0 受力后的伸长量。

② 工程应力-应变曲线 ($\sigma-\epsilon$ 曲线)。令 A_0 为试样原有的横截面面积，则拉伸应力 $\sigma=P/A_0$ ，拉伸应变 $\epsilon=\Delta L/L_0$ 。以 $\sigma-\epsilon$ 为坐标作图得到的曲线就是工程应力-应变曲线，它和 $P-\Delta L$ 曲线形状相似，仅在尺寸比例上有一些差异。图 2-1 为低碳钢的拉伸曲线，由图可见，低碳钢在拉伸过程中，可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。

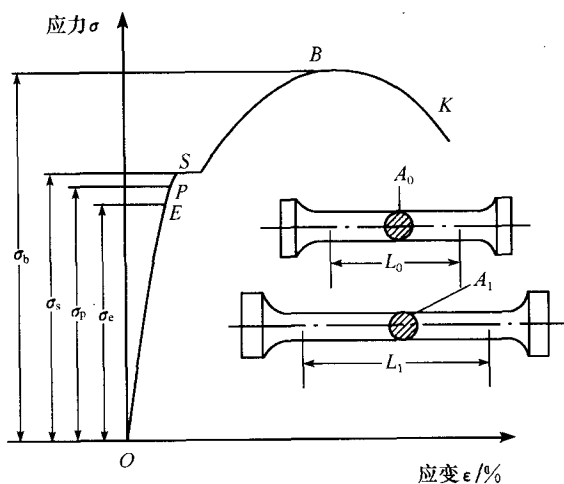


图 2-1 低碳钢的工程应力-应变曲线

③ 真应力-应变曲线 ($S-e$ 曲线)。指试样在受载过程中任一瞬间的真应力 ($S=P/A$) 和真应变 [$e=\ln(L/L_0)$] 之间的关系曲线。

2. 弹性和刚度

① 弹性。当外加应力 σ 小于 σ_e (图 2-1) 时，试样的变形能在卸载后 ($\sigma=0$) 立即消失，即试样恢复原状，这种不产生永久变形的性能称为弹性。 σ_e 为不产生永久变形的最大应力，称为弹性极限。

② 刚度。在弹性范围内，应力与应变成正比，即 $\sigma=E\epsilon$ ，或 $E=\sigma/\epsilon$ ，比例

常数 E 称为弹性模量，它是衡量材料抵抗弹性变形能力的指标，亦称为刚度。它是一个对组织不敏感的参数，主要取决于材料本身，与合金化、热处理、冷热加工等关系不大。

3. 强度

强度是指在外力作用下材料抵抗变形和断裂的能力，是材料最重要、最基本的力学性能指标之一。

(1) 屈服点与屈服强度

屈服点 σ_s 与屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 是材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值，即

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (2-1)$$

式中： F_s ——屈服载荷；

A_0 ——试样的原始横截面积。

工业上使用的某些金属材料（如高碳钢和一些经热处理后的钢等），在拉伸试验中没有明显的屈服现象发生，故无法确定其屈服点。按 GB228-87 规定，屈服强度为试样标距部分产生 0.2% 残余伸长时的应力值，即

$$\sigma_{0.2} = F_{0.2} / A_0 \quad (2-2)$$

式中： $F_{0.2}$ ——试样标距产生 0.2% 残余伸长时的载荷；

A_0 ——试样的原始横截面积。

通常，机械零件不仅是在破断时形成失效，而往往是在发生少量塑性变形后，零件精度降低而形成了失效。所以，屈服点或屈服强度是零件设计时的主要依据，同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

(2) 抗拉强度

抗拉强度 σ_b 是材料在破断前所承受的最大应力值，即

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (2-3)$$

式中： F_b ——试样在破断前所承受的最大载荷；

A_0 ——试样的原始横截面积。

抗拉强度是零件设计时的重要依据，同时也是评定金属材料强度的重要指标之一。

4. 塑性

塑性是指材料在静载荷作用下，产生塑性变形而不破坏的能力。伸长率 δ 和断面收缩率 Ψ 是表示材料塑性好坏的指标。

(1) 伸长率

伸长率是指试样拉断后标距增长量与原始标距之比，即

$$\delta = (L_1 - L_0) / L_0 \times 100\% \quad (2-4)$$