



高职高专机电类课程规划教材

# 机械工程材料

(第二版)

新世纪高职高专教材编审委员会组编

主审 谭家隆

主 编 宋 杰 副主编 何宝芹



JIXIE GONGCHENG CAILIAO

大连理工大学出版社

DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料 / 宋杰主编. —2版. —大连:大连理工大学出版社,2008.1

高职高专机电类课程规划教材

ISBN 978-7-5611-3975-2

I.机… II.宋… III.机械制造材料—高等学校:技术学校—教材 IV.TH14

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第003805号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路80号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连理工印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

---

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:13.5 字数:293千字

印数:18001~22000

2004年7月第1版

2008年1月第2版

2008年1月第6次印刷

---

责任编辑:刘芸

责任校对:马晓东

封面设计:季强

---

ISBN 978-7-5611-3975-2

定价:22.00元

# 总 序

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代,我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国,高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命,我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里,高等职业教育的迅速崛起,是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里,普通中专教育、普通高专教育全面转轨,以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才培养的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步,其来势之迅猛,发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育,还是迅速推进着的培养应用型人才培养的高职教育,都向我们提出了一个同样的严肃问题:中国的高等教育为谁服务,是为教育发展自身,还是为包括教育在内的大千社会?答案肯定而且惟一,那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会,它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之,教育资源必须按照社会划分的各个专业(行业)领域(岗位群)的需要实施配置,这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题,这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

如所周知,整个社会由其发展所需要的不同部门构成,包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门,等等。每一个部门又可作更为具体的划分,直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标,就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命,而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑(在市场经济条件下尤其如此)。可以断言,按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才,是教育体制变革的终极目的。



随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走研究型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,它从专科层次起步,进而应用本科教育、应用硕士教育、应用博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高等职业教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)研究型人才培养的教育并驾齐驱,还需要假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高职高专教材编审委员会就是由全国 100 余所高职高专院校和出版单位组成的旨在以推动高职高专教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职高专教材的特色建设为己任,始终会从高职高专教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职高专教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的运作模式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职高专教学成果,探索高职高专教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职高专院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高职高专教材编审委员会在推进高职高专教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意,也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高职高专教材编审委员会

2001年8月18日

# 第二版前言

《机械工程材料》(第二版)是新世纪高职高专教材编委会组编的机电类课程规划教材之一,与《机械工程材料习题册》是配套教材。

鉴于高职教育的不断纵深发展和高职教材的日趋成熟以及高职教育面向生产、建设、服务和管理第一线需要的高技能人才的培养目标的需求,本教材在修订的过程中,突出了教学过程的实践性、开放性和职业性,融“教、学、做”为一体,强化学生能力的培养。

为了适应教学要求和实际需要,特将《工程材料及成形工艺》(工程材料基础)更名为《机械工程材料》。本教材是在《工程材料及成形工艺》(工程材料基础)的基础上进行修订完善的,此次修订做了如下改动:

1. 在第1章中,增加了常用力学性能指标在选材中的应用;在第8章中,增加了综合性选材实例及选材的思路分析,使学习目标更加明确,同时也强化了对学生的学习能力、分析和解决实际生产问题的能力以及可持续发展的能力的培养。

2. 对第2章中一些较抽象的、理论性较强的内容进行删减,以一种全新的、更顺应教学规律、更容易被学生接受的思维方式对铁碳合金相图做了更为系统、深入的诠释,以点带面,由浅入深,重点突出,深广适度。

3. 在第3章中,删去了对工程材料强韧化的蜻蜓点水般的概述,而将其中部分内容融入到钢的热处理中,使得重点更为突出。同时,将一些旧的标准都替换为最新颁布的标准,以保持内容上的及时更新。

4. 在第4、5、6章中,增加了对常用材料的性能及用途的详细介绍,更加贴近生产实际,突出了高职学生职业能力的培养。



5. 对第7章新型材料做了全新的改版,内容更充实、更新颖、更系统。

6. 将实验指导书和实验报告分开书写,实验报告自成体系,有利于对实验内容的理解,也有利于学生作业和教师批改。

本教材配有内容对应、题型多样、数量充分的《机械工程材料习题册》(内附参考答案)和带有动画的全程教学电子课件,其形式新颖、内容全面,可充分调动学生的学习积极性,并能免去教师授课的板书之劳。

修订后,本教材分为工程材料的基础理论、钢的热处理、常用工程材料及工程材料的选用四大模块,共8章,分别为:工程材料的主要性能;工程材料的组织结构;钢的热处理;钢铁材料;非铁金属材料与粉末冶金材料;非金属材料与复合材料;功能材料与纳米材料;工程材料的选用。

本教材由宋杰任主编,何宝琴任副主编。具体编写分工如下:宋杰编写绪论及第1~5章;何宝琴编写第6~8章及实验与附录部分。宋杰负责全书的组织和统稿。大连理工大学谭家隆老师审阅了全书并提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表感谢!

尽管我们在探索教材特色建设方面做出了许多努力,但由于作者水平有限,教材中仍可能存在疏漏之处,恳请各相关教学单位和读者在使用本教材的过程中给予关注,并将意见及时反馈给我们,以便下次修订时改进。

所有意见、建议请发往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707492 0411-84706104

编者  
2008年1月

# 第一版前言

《工程材料及成形工艺(工程材料基础)》是新世纪高职教材编委会组编的机电类课程规划教材之一。本教材与《工程材料及成形工艺(成形工艺及实训)》是配套教材。

本教材根据高职教育人才培养目标的要求及学科系统化和整体化改革的趋势,基于高职的教学内容、教学体系改革的探索以及作者较为丰富的高职教学实践经验,遵循教材是教学内容、教学思维方式及教学改革方案载体之一的思维方式组织编写的。

本教材分为工程材料的基础理论、工程材料的强韧化、常用工程材料及工程材料的选用4大模块,共8章,分别是工程材料的主要性能、工程材料的组织结构、工程材料的强韧化、钢铁材料、非铁金属材料与粉末冶金材料、非金属材料 and 复合材料、新型材料、工程材料的选用。

本教材在编写过程中,坚持突出职业教育特色,以适应社会需要为目标,加强创新、创业、实践等能力的培养,立足于21世纪对高等技术应用型人才在材料应用和研发方面的要求,突出了以下特点:

1. 新。(1)内容新:引进了一些新的知识点,增加了对新材料(如永磁合金、记忆合金、非晶态合金、超导材料和纳米材料等)、新工艺、新技术的介绍;教材中的名词术语、计量单位、技术标准等都采用最新国家标准,并附有相应图表、新旧标准对照以及硬度试验、铁碳合金显微组织观察、钢的热处理等实验指导书。(2)结构新:每章开头都有章首导读。从现象到本质,从实践到理论,贴近生活,切入本章的知识点。每章结尾附有本章小结,首尾呼应,重点突出,层次分明。(3)体系新:①材料科学理论和工程技术理论两部分内容相互渗透、相互借鉴、交叉融合,克服了相互分割、自成体系的现象,揭示了材料成分、组织结构与加工工艺对性能及应用的影响之间的规律;②根据材料科学理论,对以往的高职教材内容体系作了调整,进行了部分内容的整合,强化了理论知识的实用性。



2. 顺。教材在内容的安排上,顺应理论知识的循序渐进和生产实践的实况与发展需求,顺应学生的思维逻辑和知识基础,顺应从基础理论知识到专业知识的衔接,顺应从理论要求到实际操作的过程,由浅入深,易教易学。

3. 实。教材适当删减或淡化了一些理论性较强的内容,基础知识以必需、够用为度。紧密结合生产实例,结合热加工实训和机加工实训要求,结合技工等级证书的考核,强调基本概念与知识的实用性,并附有一定数量的例题、自测题、思考题和紧密结合生产实际的综合大作业题,以适应不同层次学生的学习基础,便于引发学生的学习兴趣,有助于教师教学和学生对学习内容的理解与深化。

本教材由宋杰、李蕾任主编,胡盛安、何宝芹任副主编。具体编写分工如下:宋杰编写绪论、第1章、第4章、第5章及第6章;李蕾编写第2章、第3章及第8章;胡盛安编写第7章、第2章的2.4和第3章的3.1节;何宝芹编写实验指导书及附录。宋杰负责全书的组织和审定。大连理工大学谭家隆老师、辽宁工程技术大学职业技术学院曲长波老师审阅了全书并对本教材提出了许多宝贵的意见和建议。

尽管我们在探索《工程材料及成形工艺(工程材料基础)》教材特色建设的突破方面做出了许多努力,但是由于作者的水平有限,教材中难免存在疏漏之处,恳请各相关教学单位和读者在使用本教材的过程中给予关注,并将意见及时反馈给我们,以便修订时改进。

所有意见、建议请发往:gzjckfb@163.com

联系电话:0411-84707492      0411-84706104

编者  
2004年7月

# 目 录

---

绪 论	1
第 1 章 工程材料的主要性能	4
1.1 材料的使用性能	4
1.2 材料的工艺性能	15
1.3 常用力学性能指标在选材中的意义	15
本章小结	18
第 2 章 工程材料的组织结构	19
2.1 纯金属的晶体结构与结晶	19
2.2 合金的相结构与结晶	26
2.3 非金属材料的结构简介	39
本章小结	42
第 3 章 钢的热处理	44
3.1 钢的热处理原理	44
3.2 钢的整体热处理	52
3.3 钢的表面热处理	62
3.4 金属材料热处理工艺设计	67
本章小结	71
第 4 章 钢铁材料	72
4.1 钢铁的分类及牌号统一数字代号体系	72
4.2 钢铁中的元素及其作用	75
4.3 非合金钢	80
4.4 低合金钢	83
4.5 合金钢	87
4.6 工程铸铁	108
本章小结	119
第 5 章 非铁金属材料与粉末冶金材料	121
5.1 铝及铝合金	121
5.2 铜及铜合金	126
5.3 其他非铁金属材料	132
5.4 滑动轴承合金	134
5.5 粉末冶金材料	135
本章小结	138

<b>第 6 章 非金属材料与复合材料</b> .....	139
6.1 常用高分子材料 .....	139
6.2 陶瓷材料 .....	143
6.3 复合材料 .....	145
6.4 其他非金属材料 .....	151
本章小结.....	152
<b>第 7 章 功能材料与纳米材料</b> .....	153
7.1 超导材料 .....	153
7.2 形状记忆合金 .....	155
7.3 非晶态合金 .....	157
7.4 磁性材料 .....	158
7.5 纳米材料 .....	160
本章小结.....	163
<b>第 8 章 工程材料的选用</b> .....	164
8.1 零件的失效分析 .....	164
8.2 选材的原则、方法和步骤.....	165
8.3 典型零件的选材 .....	168
本章小结.....	174
<b>实验指导书</b> .....	175
实验 1 冲击实验 .....	175
实验 2 硬度实验 .....	176
实验 3 金相试样的制备 .....	179
实验 4 铁碳合金的平衡组织观察 .....	182
实验 5 钢的热处理 .....	183
实验 6 常见铸铁的组织观察 .....	185
<b>实验报告</b> .....	186
实验 1 冲击实验 .....	186
实验 2 硬度实验 .....	187
实验 3 金相试样的制备 .....	188
实验 4 铁碳合金的平衡组织观察 .....	189
实验 5 钢的热处理 .....	190
实验 6 常见铸铁的组织观察 .....	191
<b>附录</b> .....	192
<b>参考文献</b> .....	203

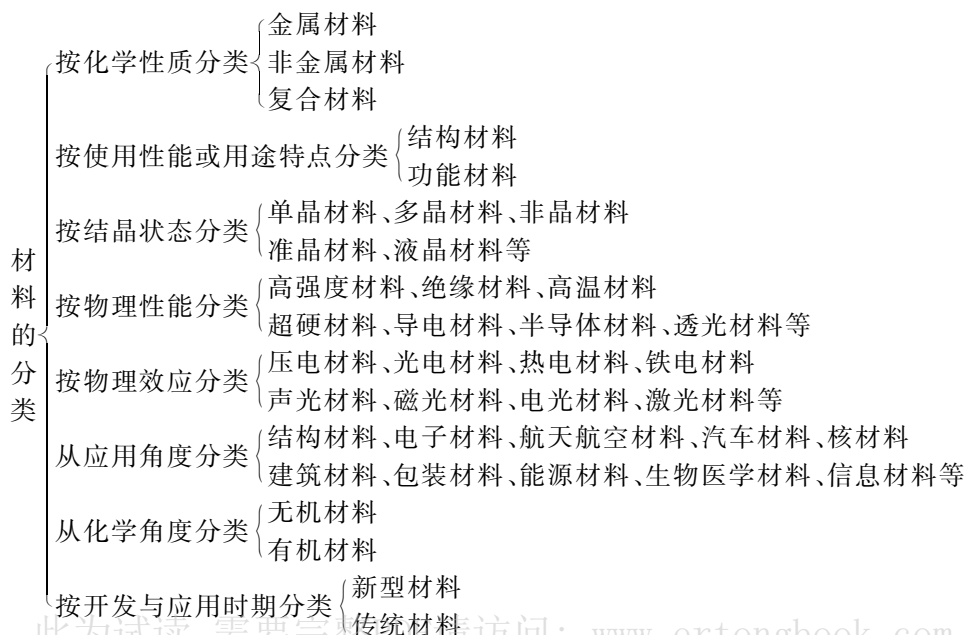
# 绪 论

## 一、材料与材料科学概述

**【材料】** 材料是指那些能够用于制造结构、器件或其他有用产品的物质。广义地讲,食品、药品、燃料、木材、沙石、肥料、水、空气等都是材料。但一般工业和工程领域中所说的材料是指工程材料,即用于制造工程构件、机械零件、工具等的材料,如金属材料、陶瓷材料、聚合物、复合材料等。

**【材料科学】** 材料科学是以材料为研究对象,探讨材料的成分、组织结构、性能及应用之间的相互关系和规律的科学。它以化学、固体物理、力学等为基础,是一门多种学科交织在一起的边缘科学,是研究材料共同规律的学科。它使在此前已经形成的金属材料、高分子材料、陶瓷材料等各自的学科体系交叉融合,相互借鉴,加速了材料和材料科学的发展,克服了相互分割、自成体系的障碍,也促进了复合材料的发展。

**【材料的分类】** 材料的种类很多,根据国际上的动态和我国新技术革命的需要,可以从不同角度对材料进行分类,综合如下:

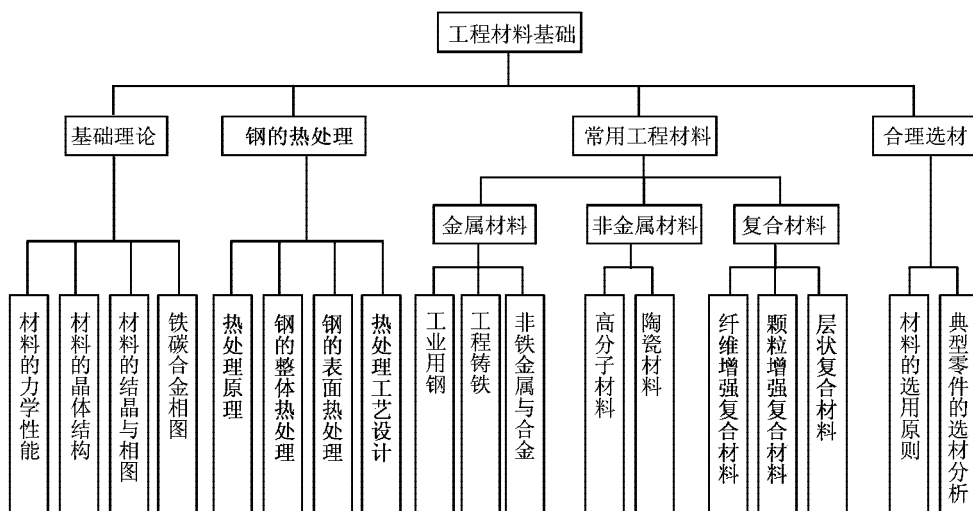


## 二、材料与材料科学的发展及其在国民经济中的地位

材料是人类生产和社会发展的物质基础,是人类文明的标志,是人类进化的里程碑(如石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代等),又是发展高科技的先导和基石。一种新材料的出现,往往可以导致一系列新技术的突破,而各种新技术及新兴产业的发展,无不依赖于新材料的研发。如海洋用深潜器及各种海底设施与所需要的耐压、耐蚀结构材料,卫星、宇航设备与所需的轻质高强度材料,医学上制造人工脏器、人造骨骼、人造血管等与所需要的各种与人体相容的特殊材料以及智能材料、环境材料、复合材料等。如今,高性能的新型金属结构材料持续发展,复合材料异军突起,低维材料(零维如纳米材料,一维如纤维材料,二维如薄膜材料)正扩大应用,非晶材料日益受到重视,功能材料迅速发展,材料的设计与选用计算机化等,使得材料与信息、能源并列成为现代科学技术的三大支柱。

## 三、本课程的内容体系与特点

【内容体系】《工程材料基础》课程的内容体系如框图所示:



《工程材料基础》课程的重点内容可归纳为:一条线,两张图,三种材料,四把火。

一条线指的是材料的化学成分→组织、结构→性能→与使用之间的相互关系及其变化规律,是贯穿本课程的“纲”,本课程的各个部分、各章内容都是以此“纲”为主线索而展开的。希望学习者在学习过程中,始终牢牢把握住这个“纲”,做到纲举目张。

两张图指的是  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  相图和奥氏体等温转变曲线图。 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  相图反映的是铁碳合金在缓慢加热和冷却时其成分、温度与组织之间的关系;奥氏体等温转变曲线图反映的是材料在冷却时温度与冷却速度对组织与性能的影响。深刻理解这两张图,就可以了解钢在不同温度和不同冷却方式下的性态,合理制定材料强化与改性的手段与工艺参数,正确判断材料的组织结构变化,最大限度地发挥材料的潜力。

三种材料指的是金属材料、非金属材料 and 复合材料。这些材料有着各自不同的性能

特点与应用范围,要掌握常用工程材料的牌号、成分、强化改性方法、性能特点及适用范围,做到合理选材。

四把火即退火、正火、淬火与回火。这是最常见的四种热处理方法,是其他处理方法的基础,是强化和改变材料性能的重要手段。它集中体现了材料成分、组织结构、性能及热处理工艺之间的关系,反映出外因通过内因而起变化这一深刻哲理。要学会根据所用材料及其性能要求正确制定热处理的工艺参数,合理安排其工序位置。

**【课程特点】**《工程材料基础》课程的开课时间处于文化基础课与专业课的过渡时期,课程内容以定性描述为主,具体表现为“三多”。一是讲授内容中名词、概念、术语多,会使学生感到枯燥乏味;二是定性描述、经验性总结多,各章节之间没有像数理化那样严密的逻辑联系,会使学生从学习内容和学习方法上感到不习惯,产生厌学情绪;三是记忆性的内容、规律多,会使学生在学习时感到无从下手,抓不住重点。对学生而言,本课程是一门从内容到授课方式及学习方法上全新的课程,教师和学生要共同努力,尽量缩短适应时期。

#### 四、本课程的性质、目的、任务与学习方法

**【课程性质及学习方法】**《工程材料基础》是建立在实验基础之上而又与工程实践紧密结合的一门重要的技术基础课程,是工科院校工程技术类专业的必修课,有较强的理论性和应用性。作为一名机械工程技术人员,无论设计机器设备、机械零件,还是改进、制作一套工夹具,都将面临材料的选择、应用与零件加工工艺路线的制定等问题,这一切都涉及材料方面的知识。很难设想,一个没有学习、掌握《工程材料基础》知识的技术人员能很好地胜任本职工作。这就要求我们同时具备两方面的材料学知识:一是应了解材料的成分(组成)、组织结构、工艺之间的相互关系及外界条件(如载荷、温度、环境介质等)改变时对其性能的影响;二是应掌握各种工程材料(重点是金属材料)的基本特性和应用范围。《工程材料基础》课程正是为了实现这两个要求而设置的。教学中,要注意前后知识的衔接与综合应用,重视实验、实习等实践教学环节,提倡现场教学、案例教学、直观教学和电化教学,建议把随堂实验变成设计性、综合性、实用性实验,并在教学过程中安排相应的课程设计及大型作业。学生在学习时,应注重知识的分析、理解与运用。一要理清思路,善于归纳。如在“钢铁材料”一节中,应按照“典型牌号→主要用途→性能要求→化学成分特点(碳及合金元素的质量分数与主要作用)→热处理工艺及相应组织”这一主线索,运用归纳、小结的方法去梳理、概括各部分内容,将分散的内容集中、繁杂的内容高度概括,以达到条理、系统、精练又便于记忆的目的。二要把握重点,以点带面。因为繁多的课程内容不可能也没必要什么都记,只有把握住重点,以点带面,才能高效率地学好本课程。

**【学习目的】**使学生获得有关机械工程材料的基本理论和基础知识,为将来应用工程材料和学习有关课程奠定坚实的基础。

**【学习任务】**了解材料的成分(组成)、组织结构、工艺手段及外界条件(如载荷、温度、环境介质等)改变时对其性能的影响;掌握各种工程材料(重点是金属材料)的基本特性和应用范围以及强化改性的途径、基本原理与方法;初步具备选用常用材料的能力;初步具有正确确定一般机械零件的热处理方法及确定其工序位置的能力。

# 第 1 章

## 工程材料的主要性能

**章首导读:**工程材料的应用是非常广泛的,漫游太空的卫星、宇航设备,深入海底的耐压耐蚀装置,乃至我们生活中的日常用品,都与各种各样的材料密不可分。那么零件在不同的服役条件下,都应该具备哪些性能呢?本章我们就来回答这个问题。

材料是人类生产和社会发展的重要物质基础,其中金属材料性能优良,种类繁多,其性能指标及测试方法对其他材料也有一定的代表性,所以我们要正确使用和不断开发新材料,就必须了解金属材料的性能。

金属材料的性能是指用来表征材料在给定外界条件下的行为参量,包括使用性能和工艺性能。

### 1.1 材料的使用性能

使用性能是指材料在使用过程中所表现出来的特性。包括材料的物理性能、化学性能和力学性能。

由于多数机械零件是在常温、常压、非强烈腐蚀性介质中工作,而且在使用过程中受到不同性质载荷(外力)的作用,所以设计零(构)件、选用材料、鉴定工艺质量时大多以力学性能为主要依据,因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

#### 1.1.1 材料的力学性能

金属材料的力学性能是指材料在载荷作用下所表现出来的特性(即金属材料在载荷作用下所显示的与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能)。它取决于材料本身的化学成分和材料的微观组织结构。

当载荷性质、环境温度与介质等外在因素不同时,材料会产生不同的变形和断裂过程与方式,因此用来衡量材料力学性能的指标也不同。常用的力学性能指标有强度、刚度、硬度、塑性、冲击韧性等。

##### 1. 强度、刚度与塑性

金属材料的强度、刚度与塑性可通过静拉伸实验来测得。静拉伸实验通常指的是在室温大气环境中,光滑试样在静载荷作用下反映出的力学行为。

实验前,将被测金属材料(以低碳钢为例)制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样,最常

用的圆形截面拉伸试样如图 1-1(b)所示。图中,  $d_0$  为试样原始直径(mm),  $L_0$  为试样原始标距长度(mm)。试样有长试样和短试样之分, 对圆形截面拉伸试样, 长试样  $L_0 = 10d_0$ , 短试样  $L_0 = 5d_0$ 。

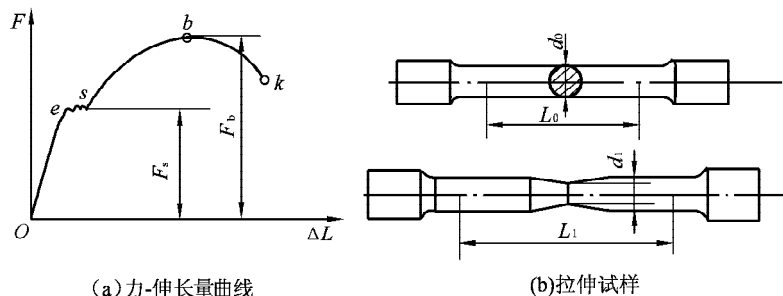


图 1-1 退火低碳钢的力-伸长量曲线和拉伸试样

实验时, 将试样装夹在拉伸实验机上缓慢施加拉伸载荷, 试样则不断产生变形, 直至被拉断为止。实验机自动记录装置可将整个拉伸过程中的拉伸载荷和伸长量描绘在以拉伸载荷  $F$  为纵坐标、伸长量  $\Delta L$  为横坐标的图上, 即得到力-伸长量曲线(也叫拉伸曲线), 如图 1-1(a)所示。为了消除试样尺寸的影响, 我们引入应力-应变曲线, 如图 1-2 所示。

图中横坐标是把试样的伸长量  $\Delta L$  除以试样的原始标距长度  $L_0$  所得到的应变  $\epsilon$ , 纵坐标是把试样承受的拉伸载荷  $F$  除以试样的原始横截面积  $S_0$  所得到的应力  $\sigma$ 。

应力-应变曲线的形状与力-伸长量曲线相似, 只是坐标和数值不同, 从中可以看出金属材料的一些力学性能。

### (1) 强度

强度是指材料在载荷作用下抵抗永久变形和断裂的能力。强度的大小通常用应力表示, 符号为  $\sigma$ , 单位为 MPa (兆帕)。工程上常用的强度指标有屈服点和抗拉强度等。

#### ① 屈服点 $\sigma_s$ ( $\sigma_{r0.2}$ )

如图 1-2 所示: 当应力小于  $\sigma_e$  时, 应变和应力保持直线关系, 这时试样产生的是弹性变形,  $\sigma_e$  是试样保持弹性变形的最大应力; 当应力超过  $\sigma_e$  时, 试样产生塑性变形; 当应力增加到  $\sigma_s$  时, 应力-应变曲线在  $s$  点后出现近于水平的锯齿形线段, 表示应力不变时, 试样变形仍明显继续增长, 这种现象称为屈服。试样屈服时的应力称为材料的屈服点, 它表明材料对开始明显塑性变形的抗力, 用符号  $\sigma_s$  表示:

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

式中  $F_s$ ——试样屈服时所承受的载荷, N;

$S_0$ ——试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

有些材料在拉伸过程中没有明显的屈服现象, 很难测出屈服点, 此时用规定残余伸长应力  $\sigma_r$  来表示它的屈服点。所谓的规定残余伸长应力是指试样卸除拉伸载荷后, 其标

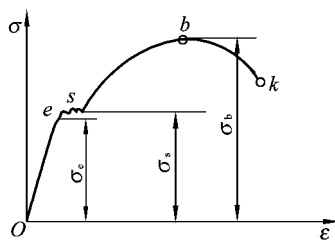


图 1-2 应力-应变曲线

距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力,如图 1-3 所示。表示此应力的符号,应附以下角标注明其规定的残余伸长率。例如, $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力值(通常写成  $\sigma_{0.2}$ ):

$$\sigma_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0}$$

式中  $F_{r0.2}$ ——残余伸长率达 0.2% 时的载荷, N;  
 $S_0$ ——试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

### ② 抗拉强度 $\sigma_b$

试样屈服后,应力继续增大,变形也继续增加,直至增加到最大应力  $\sigma_b$ 。在此阶段,试样沿整个长度均匀伸长,当应力达到  $\sigma_b$  时,试样就在某个薄弱部分形成“缩颈”,如图 1-1(b)所示。由于试样局部截面的逐渐减小,故应力也逐渐降低,当达到曲线上的  $k$  点时,试样发生断裂。试样拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度,用符号  $\sigma_b$  表示:

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

式中  $F_b$ ——试样在拉伸过程中所承受的最大载荷, N;  
 $S_0$ ——试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

在实际生产中,绝大多数工程零件在工作中都不允许产生明显的塑性变形,因此  $\sigma_s$  是工程中塑性材料零件设计及计算的重要依据, $\sigma_{r0.2}$  则是不产生明显屈服现象零件的设计计算依据。但由于抗拉强度  $\sigma_b$  测定比较方便,数据比较准确,所以有时可直接采用抗拉强度  $\sigma_b$  加上较大的安全系数作为设计计算的依据。

在工程上,把  $\sigma_s/\sigma_b$  称为屈强比。其值越大,越能发挥材料的潜力,减小结构的自重;其值越小,零件工作时的可靠性越高;其值太小,材料强度的有效利用率降低。因此,屈强比一般取值为 0.65~0.75。

### (2) 刚度

材料受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度,它表示一定形状、尺寸的材料产生某种弹性变形的难易程度,通常用弹性模量  $E$ (单向拉伸或压缩时)或切变模量  $G$ (剪切或扭转时)来评价。

弹性模量  $E$ (或切变模量  $G$ )可理解为在弹性范围内应力与应变的比值。其值越大,材料的刚度越大,即具有特定外形尺寸的零件或构件保持其原有形状或尺寸的能力也越大,就是说弹性变形越不容易进行。弹性模量的大小主要取决于金属的本性(晶格类型和原子结构),而与金属的显微组织关系不大。温度的变化会影响弹性模量,温度升高,弹性模量减小,金属的合金化、热处理、冷变形等对它的影响很小。基体金属一经确定,其弹性模量值就基本确定了。在材料不变的情况下,只有改变零件的截面尺寸或结构,才能改变它的刚度。

常见金属的弹性模量见表 1-1。

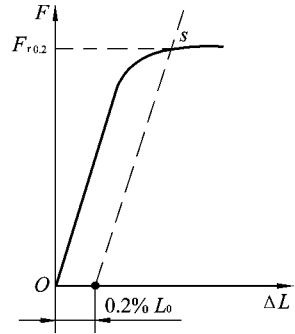


图 1-3 规定残余伸长应力示意图

表 1-1 常见金属的弹性模量

金 属	弹性模量 $E/\text{MPa}$	切变模量 $G/\text{MPa}$
铁(Fe)	214000	84000
镍(Ni)	210000	84000
钛(Ti)	118010	44670
铝(Al)	72000	27000
铜(Cu)	132400	49270
镁(Mg)	45000	18000

### (3) 塑性

塑性是指材料在断裂前发生不可逆永久变形的能力。常用的性能指标有断后伸长率和断面收缩率,可在静拉伸实验中,把试样拉断后将其对接起来进行测量而得到。

#### ① 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后标距长度的伸长量与原始标距长度的百分比。用符号  $\delta$  表示:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中  $L_0$ ——试样原始标距长度,mm;

$L_1$ ——试样拉断后对接的标距长度,mm。

断后伸长率的数值和试样标距长度有关。长试样的断后伸长率用符号  $\delta_{10}$  表示(通常写成  $\delta$ ),短试样的断后伸长率用符号  $\delta_5$  表示。同一种材料的  $\delta_5$  大于  $\delta_{10}$ ,所以相同符号的断后伸长率才能进行比较。

#### ② 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比,用符号  $\psi$  表示:

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中  $S_0$ ——试样原始横截面积,mm<sup>2</sup>;

$S_1$ ——试样拉断后缩颈处最小横截面积,mm<sup>2</sup>。

断面收缩率不受试样尺寸的影响,比较确切地反映了材料的塑性。

一般  $\delta$  或  $\psi$  值越大,材料塑性越好。塑性好的材料可用轧制、锻造、冲压等方法加工成形。此外,塑性好的零件在工作时若超载,可因其塑性变形而避免突然断裂,提高了工作安全性。

### 2. 硬度

硬度是指材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕或划痕的能力,它是衡量材料软硬指标。硬度值的大小不仅取决于材料的成分和组织结构,而且还取决于测定方法和实验条件。

硬度实验设备简单,操作迅速方便,一般不需要破坏零件或构件,而且对于大多数金属材料,硬度与其他的力学性能(如强度、耐磨性)以及工艺性能(如切削加工性、可焊性等)之间存在着一定的对应关系。因此,在工程上,硬度被广泛地用以检验原材料和热处理件的质量、鉴定热处理工艺的合理性以及作为评定工艺性能的参考。