



高职高专制造类专业**基础课**规划教材

机械工程材料

◆ 王新年 主编

◆ 王宝刚 宋奇慧 张 敬 副主编

◆ 鞠加彬 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

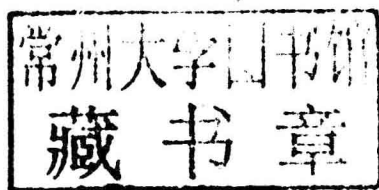
高职高专制造类专业基础课规划教材

机械工程材料

王新年 主 编

王宝刚 宋奇慧 张 敬 副主编

鞠加彬 主 审



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书依据高职高专机械制造类专业“机械工程材料”课程的教学目标并结合课程改革的经验而编写。本书主要包括：工程材料的性能，金属的晶体结构与结晶，金属的塑性变形与再结晶，铁碳合金相图与非合金钢，钢的热处理，合金钢、铸铁、有色金属材料及其合金，非金属材料与新型材料，工程材料的选用。

本书可作为高职高专院校机械类专业的教材，也可供相关工程技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

机械工程材料 / 王新年主编. —北京：电子工业出版社，2012.7

高职高专制造类专业基础课规划教材

ISBN 978-7-121-17585-5

I. ①机… II. ①王… III. ①机械制造材料—高等职业教育—教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 155019 号

策划编辑：朱怀永

责任编辑：朱怀永 特约编辑：王 纲

印 刷：

装 订：北京中新伟业印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：15.25 字数：390 千字

印 次：2012 年 7 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：28.50 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线：（010）88258888。

前 言

在科学技术日益发展的今天，材料已经成为人类社会发展和文明进步的重要标志，特别是新材料、新工艺不断涌现，应用范围也越来越广。国家“十二五”发展规划中提出要把包括新材料在内的战略性新兴产业培养发展成为先导性、支柱性产业，对于促进传统产业转型升级、保障国家重大工程建设具有重要的战略意义。

“机械工程材料”是一门研究机械制造的各种材料、热处理及加工工艺路线的综合性课程，是机械类各专业开设的一门必修专业技术基础课。本教材力求充分体现高职高专教育的特点，突出理论和实践的紧密结合，强调学生解决实际问题能力和可持续发展能力的培养，既适应产业对人才知识的需求，又体现以能力为本位的高职高专的特色。

本书主要有以下特点：

1. 注重突出“应用”特色，基础理论以够用为度，强调知识的实际应用和实践训练。
2. 基本操作环节讲述具体详细，可操作性强，强调学生解决实际问题能力的培养。
3. 内容紧随新技术发展，将新技术、新工艺、新材料引进教材，力争在内容上体现先进性、实用性。
4. 力求做到理论深入浅出，内容重点突出、图文并茂，文字通俗易懂。

根据各高职高专院校机械类专业对本课程教学内容要求和学时数安排的不同，在选用本书作为教材时，可根据具体情况对各章节的内容加以取舍和调整。

参加本书编写的人员有黑龙江农业工程职业学院王新年（前言、绪论、第一章、第二章、第三章及附录）、王宝刚（第四章、第六章、第七章）、宋奇慧（第五章、第八章）、张敬（第九章、第十章）。全书由王新年担任主编，王宝刚、宋奇慧、张敬担任副主编，黑龙江农业工程职业学院鞠加彬教授担任本书主审。

在本书的编写过程中，得到了有关专家、学者的支持和帮助，电子工业出版社给予了热情的帮助和指导，在此一并表示诚挚的谢意。同时，书中参考并引用了有关的文献资料、插图等，编者在此对上述作者表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2012年1月

绪 论

一、材料的发展

材料是人类生产和生活的物质基础，是人类社会发展和文明进步的重要标志。纵观人类利用材料的历史，可以清楚地看到，每一次重要新材料的发现和应用都会引起生产技术的革命，并大大加速社会文明发展的进程。在人类发展的历史长河中就有石器时代、青铜器时代、铁器时代等以材料命名的时代。也正是由于材料的发展和使用，才使得人类社会不断发展到科学技术高度发达的今天。

在远古时代，人类的祖先是以前石器为主要工具的。他们在不断改进石器和寻找石料的过程中发现了天然铜块和铜矿石，并在用火烧制陶器的生产过程中发现了冶铜术，后来又发现把锡矿石加到红铜里一起熔炼，制成的物品更加坚韧、耐磨，这就是青铜。公元前 5000 年，人类进入青铜器时代。公元前 1200 年左右，人类进入铁器时代，开始使用铸铁，后来制钢工业迅速发展，成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。所以，也有人将 18~19 世纪称为“钢铁时代”。进入 20 世纪后半叶，随着科学技术的迅猛发展，新材料研制日新月异，高分子材料、半导体材料、先进陶瓷材料、复合材料、人工合成材料、纳米材料等新材料层出不穷，人类又进入了崭新的现代工业文明时代，新材料的发展和应用又成为现代科学技术和现代文明发展的重要基础和强劲动力。

由此可见，材料科学对人类社会文明和经济发展起着不可估量的巨大作用，世界各国对此都非常重视。作为以能源、信息、新材料和生物工程为代表的现代技术的四大支柱之一，新材料技术更是现代技术发展的一个关键领域，起着先导和基础的作用，被很多国家确定为重点发展的学科之一，我国也把新材料的研究与开发放在了优先发展的地位。

二、工程材料的分类

材料的种类很多，其中用于机械制造的各种材料，称为机械工程材料。机械工程材料按其成分特点，一般分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。按其性能特点，又可分为结构材料 and 功能材料两种。结构材料以力学性能为主，而功能材料则以其特殊的物理、化学性能为主，如超导、激光、半导体、形状记忆材料等。机械工程材料主要研究和应用的是结构材料。

金属材料包括钢铁材料和非铁材料。钢铁材料也称为黑色金属，是指铁和以铁为基的合金，如铸铁、钢；非铁材料又称为有色金属，是除钢铁材料以外的所有金属及其合金的统称，如铜、铝、钛及其合金等。钢铁材料具有力学性能优异、加工性能良好、原料来源广、生产成本低等突出的优点，目前机械工程材料仍以钢铁材料的应用最为广泛，占整个机械制造业用材的 90% 左右。

非金属材料主要包括高分子材料和陶瓷材料。随着研究和应用的不断深入，非金属材料以其特有的性能，得到越来越广泛的应用，其中高分子材料发展迅速，目前，其产量按体积

计算已经超过了钢铁。复合材料保留了各组成材料的优点,具有单一材料所没有的优异性能,虽然目前成本较高,一定程度上限制了其应用范围,但随着成本的降低,其应用领域将日益广泛。

金属材料、非金属材料和复合材料之间不是独立应用或可以替代的关系,而是相互补充、相互结合,已经形成一个完整的材料科学体系。

三、课程的性质、内容和基本要求

“机械工程材料”是高职高专机械类专业必修的技术基础课。随着材料科学的飞速发展,新材料、新工艺不断涌现,机械工程材料的种类越来越多,应用范围越来越广,在产品的设计与制造过程中,与材料和热处理有关的问题也日益增多。因此,具备与专业相关的材料知识,在机械设计过程中能够合理地选择工程材料和强化方法,正确地制订加工工艺路线,从而充分发挥材料本身的性能潜力,获得理想的使用性能,节约材料,降低成本,是从事机械设计与制造工作的工程技术人员必须具备的能力。

本课程的内容主要包括工程材料的力学性能、金属学基础知识、钢的热处理、金属材料和非金属材料及常用机械工程材料的选用等。本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”是指材料的化学成分→组织→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;“两张图”是指 Fe-Fe₃C 相图和过冷奥氏体等温转变曲线图;“三种材料”是指金属材料、非金属材料和复合材料;“四把火”是指退火、正火、淬火和回火,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。

通过本课程的学习,可以了解常用机械工程材料化学成分、组织结构、力学性能与热加工工艺之间的关系及变化规律,熟悉常用金属材料的牌号、成分、力学性能及用途,了解零件失效分析的方法,初步具备合理选择材料、正确制订热处理工艺及合理安排加工工艺路线的能力。

本课程是一门实践性和应用性都很强的课程,在学习中应注意理论与生产实际相结合,知识的掌握与应用并重,提高分析问题和解决问题的能力。

目 录

绪论	1
第一章 工程材料的性能	3
第一节 工程材料的力学性能	3
一、强度与塑性	3
二、硬度	6
三、冲击韧性	9
四、断裂韧性	11
五、疲劳强度	11
第二节 工程材料的工艺性能	12
习题一	13
第二章 金属的晶体结构与结晶	14
第一节 金属的晶体结构	14
一、晶体与非晶体	14
二、金属的晶体结构	14
三、金属的实际晶体结构	16
第二节 纯金属的结晶	19
一、冷却曲线和过冷度	19
二、纯金属的结晶过程	20
三、晶粒大小对金属力学性能的影响	21
四、细化晶粒的措施	22
第三节 合金的相结构及二元合金相图	23
一、合金的相结构	23
二、二元合金相图	25
三、二元合金相图的基本类型	25
第四节 合金性能与相图的关系	30
一、合金的力学性能、物理性能与相图的关系	30
二、合金的工艺性能与相图的关系	30
习题二	31
第三章 金属的塑性变形与再结晶	33
第一节 金属的塑性变形	33
一、单晶体的塑性变形	33
二、多晶体的塑性变形	35
第二节 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	36

一、冷塑性变形对金属组织的影响	36
二、冷塑性变形对金属性能的影响	37
第三节 冷塑性变形金属在加热时组织和性能的变化	38
一、回复	38
二、再结晶	39
三、晶粒长大	40
四、再结晶后的晶粒大小	40
第四节 金属的热加工	41
一、热加工的概念	41
二、热加工对金属组织和性能的影响	41
习题三	42
第四章 铁碳合金相图与非合金钢	44
第一节 纯铁同素异构转变及铁碳合金的组织	44
一、纯铁的同素异构转变	44
二、铁碳合金的基本组织	45
第二节 铁碳合金相图	47
一、简化后的铁碳合金相图	47
二、铁碳合金相图中特性点的意义	48
三、铁碳合金相图中特性线的意义	48
四、铁碳合金相图中的相区	50
第三节 典型铁碳合金的结晶过程及室温组织	50
一、铁碳合金的分类	50
二、典型铁碳合金的结晶过程	50
第四节 碳的质量分数与铁碳合金组织及性能的关系	54
一、碳的质量分数与平衡组织间的关系	54
二、碳的质量分数与力学性能间的关系	55
第五节 铁碳合金相图的应用及其局限性	56
一、在钢铁材料选用方面的应用	56
二、在热加工工艺制订方面的应用	56
三、铁碳合金相图应用的局限性	57
第六节 非合金钢(碳钢)	58
一、杂质元素对碳钢性能的影响	58
二、碳钢的分类	59
三、碳钢的牌号、性能与用途	59
习题四	64
第五章 钢的热处理	65
第一节 热处理概述	65
一、热处理的概念	65
二、热处理的特点	66

三、热处理的作用	66
四、热处理的分类	66
第二节 钢在加热时的组织转变	67
一、奥氏体的形成	67
二、奥氏体晶粒的大小及影响因素	69
第三节 钢在冷却时的组织转变	71
一、过冷奥氏体的等温转变曲线	71
二、过冷奥氏体的等温转变产物的组织形态及性能	72
三、影响 C 曲线的因素	77
四、过冷奥氏体的连续冷却转变	77
第四节 钢的退火与正火	78
一、钢的退火	78
二、钢的正火	80
第五节 钢的淬火	82
一、钢的淬火工艺	82
二、淬火方法	84
三、钢的淬硬性和淬透性	85
四、淬火缺陷及防止措施	87
第六节 钢的回火	89
一、回火的目的	89
二、淬火钢在回火时组织与性能的变化	89
三、回火的分类及应用	91
第七节 钢的表面热处理	92
一、感应加热表面淬火	92
二、火焰加热表面淬火	93
第八节 钢的化学热处理	94
一、渗碳	94
二、渗氮	96
三、碳氮共渗	97
第九节 其他热处理工艺	98
一、真空气氛热处理	99
二、可控气氛热处理	100
三、激光热处理	100
四、形变热处理	102
第十节 热处理工艺的应用	102
一、预备热处理工艺位置	103
二、最终热处理工艺位置	103
三、热处理零件的结构工艺性	103
习题五	104

第六章 合金钢	106
第一节 合金元素在钢中的作用	106
一、合金元素在钢中的存在形式	106
二、合金元素对 C 形曲线的影响	107
三、合金元素对铁碳合金相图的影响	108
四、合金元素对钢热处理的影响	109
第二节 合金钢的分类及牌号	112
一、合金钢的分类	112
二、合金钢的牌号	113
第三节 合金结构钢	113
一、低合金结构钢	114
二、合金渗碳钢	119
三、合金调质钢	121
四、合金弹簧钢	124
五、滚动轴承钢	125
第四节 合金工具钢	127
一、合金刃具钢	128
二、合金量具钢	133
三、合金模具钢	134
第五节 特殊性能钢	137
一、不锈钢	137
二、耐热钢	139
三、耐磨钢	140
习题六	141
第七章 铸铁	142
第一节 铸铁的分类	142
一、按碳分类	142
二、按石墨分类	143
三、按性能分类	143
第二节 铸铁的石墨化及影响因素	143
一、铁碳合金双重相图	143
二、铸铁的石墨化过程	145
三、影响石墨化的因素	145
第三节 灰铸铁	146
一、灰铸铁的组织和性能	146
二、灰铸铁的孕育处理	147
三、灰铸铁的牌号及用途	147
四、灰铸铁的热处理	147
第四节 可锻铸铁	148

一、可锻铸铁的生产过程	148
二、可锻铸铁的组织与性能	149
三、可锻铸铁的牌号及用途	150
第五节 球墨铸铁	150
一、球墨铸铁的组织与性能	150
二、球墨铸铁的牌号及用途	151
三、球墨铸铁的热处理	152
第六节 蠕墨铸铁	153
一、蠕墨铸铁的组织与性能	153
二、蠕墨铸铁的生产	154
三、蠕墨铸铁的牌号及用途	154
第六节 合金铸铁	155
一、耐磨铸铁	155
二、耐热铸铁	156
三、耐蚀铸铁	156
习题七	157
第八章 有色金属材料及其合金	158
第一节 铝及铝合金	158
一、工业纯铝	158
二、铝合金	159
第三节 铜及铜合金	166
一、工业纯铜	166
二、铜合金	167
第四节 镁及镁合金	173
一、纯镁及镁合金的性能特点	173
二、镁合金的牌号及分类	174
三、常用典型镁合金	175
第五节 钛及钛合金	176
一、工业纯钛	177
二、钛合金	177
三、钛合金的热处理	180
第六节 滑动轴承合金	180
一、滑动轴承对轴承合金的性能要求	180
二、轴承合金的分类及牌号表示方法	181
三、常用的轴承合金及用途	181
第七节 硬质合金	183
一、硬质合金的性能及用途	183
二、常用硬质合金	184
三、其他硬质合金简介	186

四、粉末冶金简介	186
习题八	187
第九章 非金属材料与新型材料	188
第一节 高分子材料	188
一、塑料	189
二、合成橡胶	194
三、胶粘剂	195
第二节 陶 瓷	197
一、陶瓷的分类	197
二、陶瓷的组织结构	197
三、陶瓷的性能	198
四、常用陶瓷材料	198
第三节 复合材料	199
一、复合材料的分类	200
二、复合材料的性能特点	201
三、复合材料的制造方法	202
四、常用复合材料	202
第四节 纳米材料	203
一、纳米材料的结构和优异性能	203
二、纳米材料的制备	205
第五节 超导材料	206
一、超导现象产生的原理	206
二、超导材料的分类	207
三、超导材料的应用	207
第六节 贮氢合金	208
一、贮氢合金分类	208
二、贮氢合金的应用	209
第七节 形状记忆合金	210
一、工程应用	210
二、医学应用	211
三、智能应用	211
第八节 非晶态合金	211
一、力学性能	211
二、软磁特性	212
三、耐蚀性能	212
四、高的电阻率	212
五、超导电性	212
习题九	212
第十章 工程材料的选用	214

第一节 零件的失效	214
一、失效的概念	214
二、失效的形式	214
三、零件失效的原因	215
第二节 选材的原则、方法与步骤	216
一、选材的一般原则	216
二、选材的方法与步骤	218
第三节 典型零件的选材实例分析	219
一、辅类零件的选材	219
二、齿轮类零件的选材	221
三、手用丝锥的选材	222
四、机架、箱体类零件	222
习题十	223
附表 A 碳钢及合金钢硬度与强度换算值 (摘自 GB/T 1172—1999)	225
附表 B 碳钢硬度与强度换算值 (摘自 GB/T 1172—1999)	227
附录 C 常用钢种的临界温度	229
参考文献	232

绪 论

一、材料的发展

材料是人类生产和生活的物质基础，是人类社会发展和文明进步的重要标志。纵观人类利用材料的历史，可以清楚地看到，每一次重要新材料的发现和应用都会引起生产技术的革命，并大大加速社会文明发展的进程。在人类发展的历史长河中就有石器时代、青铜器时代、铁器时代等以材料命名的时代。也正是由于材料的发展和使用，才使得人类社会不断发展到科学技术高度发达的今天。

在远古时代，人类的祖先是石器为主要工具的。他们在不断改进石器和寻找石料的过程中发现了天然铜块和铜矿石，并在用火烧制陶器的生产过程中发现了冶铜术，后来又发现把锡矿石加到红铜里一起熔炼，制成的物品更加坚韧、耐磨，这就是青铜。公元前 5000 年，人类进入青铜器时代。公元前 1200 年左右，人类进入铁器时代，开始使用铸铁，后来制钢工业迅速发展，成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。所以，也有人将 18~19 世纪称为“钢铁时代”。进入 20 世纪后半叶，随着科学技术的迅猛发展，新材料研制日新月异，高分子材料、半导体材料、先进陶瓷材料、复合材料、人工合成材料、纳米材料等新材料层出不穷，人类又进入了崭新的现代工业文明时代，新材料的发展和应用又成为现代科学技术和现代文明发展的重要基础和强劲动力。

由此可见，材料科学对人类社会文明和经济发展起着不可估量的巨大作用，世界各国对此都非常重视。作为以能源、信息、新材料和生物工程为代表的现代技术的四大支柱之一，新材料技术更是现代技术发展的一个关键领域，起着先导和基础的作用，被很多国家确定为重点发展的学科之一，我国也把新材料的研究与开发放在了优先发展的地位。

二、工程材料的分类

材料的种类很多，其中用于机械制造的各种材料，称为机械工程材料。机械工程材料按其成分特点，一般分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。按其性能特点，又可分为结构材料 and 功能材料两种。结构材料以力学性能为主，而功能材料则以其特殊的物理、化学性能为主，如超导、激光、半导体、形状记忆材料等。机械工程材料主要研究和应用的是结构材料。

金属材料包括钢铁材料和非铁材料。钢铁材料也称为黑色金属，是指铁和以铁为基的合金，如铸铁、钢；非铁材料又称为有色金属，是除钢铁材料以外的所有金属及其合金的统称，如铜、铝、钛及其合金等。钢铁材料具有力学性能优异、加工性能良好、原料来源广、生产成本低等突出的优点，目前机械工程材料仍以钢铁材料的应用最为广泛，占整个机械制造业用材的 90% 左右。

非金属材料主要包括高分子材料和陶瓷材料。随着研究和应用的不断深入，非金属材料以其特有的性能，得到越来越广泛的应用，其中高分子材料发展迅速，目前，其产量按体积

计算已经超过了钢铁。复合材料保留了各组成材料的优点,具有单一材料所没有的优异性能,虽然目前成本较高,一定程度上限制了其应用范围,但随着成本的降低,其应用领域将日益广泛。

金属材料、非金属材料和复合材料之间不是独立应用或可以替代的关系,而是相互补充、相互结合,已经形成一个完整的材料科学体系。

三、课程的性质、内容和基本要求

“机械工程材料”是高职高专机械类专业必修的技术基础课。随着材料科学的飞速发展,新材料、新工艺不断涌现,机械工程材料的种类越来越多,应用范围越来越广,在产品的设计与制造过程中,与材料和热处理有关的问题也日益增多。因此,具备与专业相关的材料知识,在机械设计过程中能够合理地选择工程材料和强化方法,正确地制订加工工艺路线,从而充分发挥材料本身的性能潜力,获得理想的使用性能,节约材料,降低成本,是从事机械设计与制造工作的工程技术人员必须具备的能力。

本课程的内容主要包括工程材料的力学性能、金属学基础知识、钢的热处理、金属材料和非金属材料及常用机械工程材料的选用等。本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”是指材料的化学成分→组织→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;“两张图”是指 Fe-Fe₃C 相图和过冷奥氏体等温转变曲线图;“三种材料”是指金属材料、非金属材料和复合材料;“四把火”是指退火、正火、淬火和回火,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。

通过本课程的学习,可以了解常用机械工程材料化学成分、组织结构、力学性能与热加工工艺之间的关系及变化规律,熟悉常用金属材料的牌号、成分、力学性能及用途,了解零件失效分析的方法,初步具备合理选择材料、正确制订热处理工艺及合理安排加工工艺路线的能力。

本课程是一门实践性和应用性都很强的课程,在学习中应注意理论与生产实际相结合,知识的掌握与应用并重,提高分析问题和解决问题的能力。

第一章 工程材料的性能

【导读】

在日常生产生活中工程材料的使用极为广泛，小至螺钉、螺母，大到飞机、轮船、各种机械设备、桥梁建筑，材料无处不在。材料在使用过程中表现出各不相同的性能，选用的材料必须符合机件的使用条件，才能发挥机件及机械的性能及特性。所以，了解工程材料的性能，不仅是选材、验收、鉴定的需要，也是正确制订加工工艺路线、合理进行产品加工的需要。

在机械行业中，工程材料的性能主要指它的力学性能和工艺性能。

【本章的学习任务】

- ◆ 掌握工程材料的力学性能及其衡量指标；
- ◆ 掌握工程材料的工艺性能。

第一节 工程材料的力学性能

材料是在不同的外界条件下使用的，如在载荷、温度、介质、电场等作用下将表现出不同的行为，即材料的使用性能。使用性能主要包括力学性能、物理性能和化学性能。

力学性能是指材料在外力作用下抵抗变形或破坏的能力。衡量工程材料的力学性能指标有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等，这些性能是机械零件的设计、材料选择 and 产品质量控制的重要参数。

一、强度与塑性

1. 强度

材料的强度是指材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。在外力作用下引起材料尺寸和形状的改变，称为变形。由变形的趋势可将载荷分为拉伸、压缩、剪切和弯曲等载荷形式，因此，材料的强度分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等形式。通常以抗拉强度作为基本的强度指标，可以通过拉伸试验获得。塑性变形是指材料在外力作用下，发生不能恢复原状的变形，也称永久变形。

(1) 拉伸试验

试验前，将金属材料制成一定形状和尺寸的标准拉伸试样，如图 1-1 所示。图中， d_0 为试样的原始直径 (mm)， L_0 为试样的原始标距长度 (mm)。按照国家标准的规定，对圆形拉伸试样，可分长试样 ($L_0=10 d_0$) 和短试样 ($L_0=5 d_0$) 两种。

(2) 拉伸曲线

拉伸试验时，将试样两端装入拉伸试验机夹头内夹紧，随后缓慢加载。随着载荷的不断增加，试样随之伸长，直至拉断为止。在拉伸过程中，拉伸试验机上的自动绘图装置绘制出

载荷（拉伸力）和伸长量之间的关系曲线，即拉伸曲线，也称力-伸长曲线。图 1-2 所示为退火低碳钢的拉伸曲线。

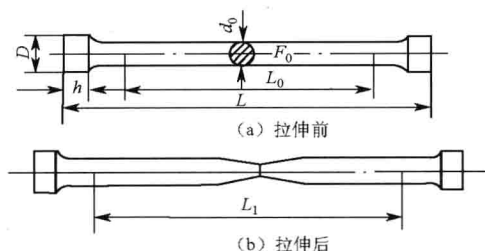


图 1-1 光滑圆柱形标准拉伸试样

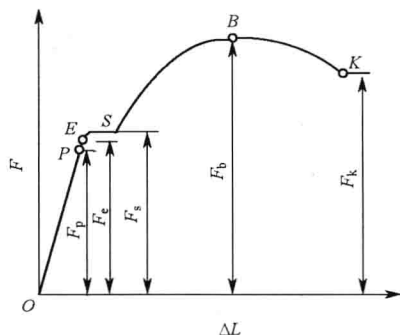


图 1-2 退火低碳钢拉伸曲线

由图 1-2 可见，退火低碳钢在拉伸过程中，载荷 F 与伸长量 ΔL 的关系有以下几个阶段：
弹性变形阶段（ $O-E$ ）：当载荷由零逐渐增加到 F_e 时，试样处于弹性变形状态，卸除载荷后试样可恢复到原来的形状和尺寸。其中 OP 阶段，载荷与伸长量呈正比关系（ $F=k\Delta L$ ），即符合虎克定律。

屈服阶段（ $E-S$ ）：当载荷超过 F_e 后，试样开始产生塑性变形，即卸除载荷时，伸长的试样只能部分地恢复，而保留一部分的残余变形。当载荷增加到 F_s 时，拉伸曲线上出现平台或锯齿状，这种在载荷不增加的情况下，试样还继续伸长的现象称为屈服。

强化阶段（ $S-B$ ）：当载荷超过 F_s 后，由于塑性变形而产生形变强化（加工硬化），必须增大载荷才能使伸长量继续增加。此时变形与强化交替进行，直至载荷达到 F_b 时，试样的伸长量也达到最大值。

局部塑性变形阶段（ $B-K$ ）：当载荷达到 F_b 后，试样的某一部位横截面急剧缩小，出现“缩颈”。此时施加的载荷逐渐减小，而变形继续增加，直到 K 点时试样断裂。

2. 强度的主要指标

材料在承受拉力时，抵抗变形和断裂的能力主要用屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 两个指标来衡量。

（1）弹性极限

弹性极限是指材料保持弹性变形所能承受的最大应力，用符号 σ_e (MPa) 表示。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad (1-1)$$

式中： F_e ——试样发生屈服时的载荷 (N)；

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

（2）屈服点

屈服点是指材料开始产生屈服现象的最小应力，它反映的是工程材料抵抗塑性变形的能力，用符号 σ_s (MPa) 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-2)$$

式中： F_s ——试样发生屈服时的最小载荷 (N)。