



技能型人才培养用书

国家职业资格培训教材

金属材料及热处理知识

国家职业资格培训教材编审委员会 编

姜敏凤 主编



依据 **劳动和社会保障部**

制定的《国家职业标准》要求编写



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



技能型人才培养用书
国家职业资格培训教材

金属材料及热处理知识

国家职业资格培训教材编审委员会 编
姜敏凤 主编



机械工业出版社

本书是“国家职业资格培训教材”中的基础课教材之一，是依据《国家职业标准》中部分职业对金属材料及热处理基本知识的要求，按照岗位培训需要的原则编写的。本书的主要内容由两部分组成：第一部分为培训内容，包括金属材料的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、非合金钢（碳钢）、低合金钢与合金钢、铸铁、非铁金属（有色金属）和其他工程材料，共9章；第二部分为上述内容的试题库，其题型有判断题、选择题、简答题及其答案，以便于企业培训、考核鉴定和读者自测自查。

本书主要用作企业培训部门、职业技能鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构的教材，也可作为技校、中职各种短训班的教学用书。

图书在版编目（CIP）数据

金属材料及热处理知识/姜敏凤主编. —北京：机械工业出版社，2005.3

国家职业资格培训教材

ISBN 7-111-16042-8

I. 金... II. 姜... III. ①金属材料—职业资格—教材
②热处理—职业资格—教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 004787 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

责任编辑：崔世荣 版式设计：冉晓华 责任校对：李汝庚

封面设计：饶薇 责任印制：石冉

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

880mm × 1230mm A5 · 7.625 印张 · 223 千字

0001—5000 册

定价：18.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话（010）68326294

封面无防伪标均为盗版

国家职业资格培训教材

编审委员会

主任	于珍			
副主任	郝广发	李奇	洪子英	
委员	(按姓氏笔画排序)			
	王蕾	王兆金	王英杰	王昌庚
	田力飞	刘云龙	刘书芳	刘亚琴 (常务)
	朱华	沈卫平	汤化胜	李春明
	李家柱	李晓明	李超群 (常务)	
	李培根	李援英	吴茂林	何月秋 (常务)
	张安宁	张吉国	张凯良	陈业彪
	周新模	郑骏	杨仁江	杨君伟
	杨柳青	卓炜	周立雪	周庆轩
	施斌	荆宏智 (常务)		柳吉荣
	徐彤 (常务)		黄志良	潘茵
	潘宝权	戴勇		
顾问	吴关昌			
策划	李超群	荆宏智	何月秋	
本书主编	姜敏凤			
本书参编	徐年宝	董芳		
本书主审	顾惠秋			

序

为贯彻“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”精神，落实国家人才发展战略目标，促进农村劳动力转移培训，全面推进技能振兴计划和高技能人才培养工程，加快培养一大批高素质的技能型人才，我们精心策划了这套与劳动和社会保障部最新颁布的《国家职业标准》配套的“国家职业资格培训教材”。

进入 21 世纪，我国制造业在世界上所占的比重越来越大，随着我国逐渐成为“世界制造业中心”进程的加快，制造业的主力军——技能人才，尤其是高级技能人才的严重缺乏已成为制约我国制造业快速发展的瓶颈，高级蓝领出现断层的消息屡屡见诸报端。据统计，我国技术工人中高级以上技工只占 3.5%，与发达国家 40% 的比例相去甚远。为此，国务院先后召开了“全国职业教育工作会议”和“全国再就业会议”，提出了“三年 50 万新技师的培养计划”，强调各地、各行业、各企业、各职业院校等要大力开展职业技术培训，以培训促就业，全面提高技术工人的素质。那么，开展职业培训的重要基础是什么呢？

众所周知，“教材是人们终身教育和职业生涯的重要学习工具”。顾名思义，作为职业培训的重要基础，职业培训教材当之无愧！编写出版优秀的职业培训教材，就等于为技能培训提供了一把开启就业之门的金钥匙，搭建了一座高技能人才培养的阶梯。

加快发展我国制造业，作为制造业龙头的机械行业责无旁贷。技术工人密集的机械行业历来高度重视技术工人的职业技能培训作，尤其是技术工人培训教材的基础建设工作，并在几十年的实践中积累了丰富的教材建设经验。作为机械行业的专业出版社，机械工业出版社在“七五”、“八五”、“九五”期间，先后组织编写出版了“机械工人技术理论培训教材”149种，“机械工人操作技能培训教材”85种，“机械工人职业技能培训教材”66种，“机械工业技

师考评培训教材”22种,以及配套的习题集、试题库和各种辅导性教材约800种,基本满足了机械行业技术工人培训的需要。这些教材以其针对性、实用性强,覆盖面广,层次齐备,成龙配套等特点,受到全国各级培训、鉴定和考工部门和技术工人的欢迎。

2000年以来,我国相继颁布了《中华人民共和国职业分类大典》和新的《国家职业标准》,其中对我国职业技术工人的工种、等级、职业的活动范围、工作内容、技能要求和知识水平等根据实际需要进行了重新界定,将国家职业资格分为5个等级:初级(5级)、中级(4级)、高级(3级)、技师(2级)、高级技师(1级)。为与新的《国家职业标准》配套,更好地满足当前各级职业培训和技术工人考工取证的需要,我们精心策划编写了这套“国家职业资格培训教材”。

这套教材是依据劳动和社会保障部最新颁布的《国家职业标准》编写的,为满足各级培训考工部门和广大读者的需要,这次共编写了38个职业159种教材。在职业选择上,除机电行业通用职业外,还选择了建筑、汽车、家电等其他相近行业的热门职业。每个职业按《国家职业标准》规定的工作内容和技能要求编写初级、中级、高级、技师(含高级技师)四本教材,各等级合理衔接、步步提升,为高技能人才培养搭建了科学的阶梯型培训架构。为满足实际培训的需要,对多工种共同需求的基础知识我们还分别编写了《机械制图》、《机械基础》、《电工常识》、《电工基础》、《建筑装饰识图》等15种公共基础教材。

在编写原则上,依据《国家职业标准》又不拘泥于《国家职业标准》是我们这套教材的创新。为满足沿海制造业发达地区对技能人才细分市场的需要,我们对模具、制冷、电梯等社会需求量大而已单独培训和考核的职业,从相应的职业标准中剥离出来单独编写了针对性较强的培训教材。

为满足培训、鉴定、考工和读者自学的需要,在编写时我们考虑了教材的配套性。教材的章首有培训要点、章末配复习思考题,书末有与之配套的试题库和答案,以及便于自检自测的理论和技能模拟试卷,同时还根据需求为7种教材配制了VCD光盘。

VI

增加教材的可读性、提升教材的品质是我们策划这套教材的又一亮点。为便于培训、鉴定、考工部门在有限的时间内把最需要的知识和技能传授给学员，同时也便于学员抓住重点，提高学习效率，对需要掌握的重点、难点、考点和知识鉴定点加有旁白提示并采用双色印刷。

为扩大教材的覆盖面和体现教材的权威性，我们组织了上海、江苏、广东、广西、北京、山东、吉林、河北、四川、内蒙古等地相关行业从事技能培训和考工的 200 多名专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师参加编写。

这套教材在编写过程中力求突出“新”字，做到“知识新、工艺新、技术新、设备新、标准新”；增强实用性，重在教会读者掌握必需的专业知识和技能，是企业培训部门、各级职业技能鉴定培训机构、再就业和农民工培训机构的理想教材，也可作为技工学校、职业高中、各种短训班的专业课教材。

在这套教材的调研、策划、编写过程中，曾经得到广东省职业技能鉴定中心、上海市职业技能鉴定中心、江苏省机械工业联合会、中国第一汽车集团公司以及北京、上海、广东、广西、江苏、山东、河北、内蒙古等地许多企业和技工学校的有关领导、专家、工程技术人员、教师、技师和高级技师的大力支持和帮助，在此谨向为本套教材的策划、编写和出版付出艰辛劳动的全体人员表示衷心的感谢！

教材中难免存在不足之处，诚恳希望从事职业教育的专家和广大读者不吝赐教，提出批评指正。我们真诚希望与您携手，共同打造职业培训教材的精品。

国家职业资格培训教材编审委员会

前 言

本书是依据最新颁布的《国家职业标准》中部分职业对金属材料及热处理知识的要求，按照岗位培训需要的原则编写而成的。全书以材料牌号、性能、应用为主线，重点突出了常用金属材料及其应用；着力注意了新材料、新工艺、新技术以及新的国家标准的引入，书中的技术用语、材料的分类与牌号及其他相关的标准均采用最新的国家标准；本书在重点介绍传统金属材料及热处理的基础上，其内容有所拓展，增加了材料的表面处理技术、复合材料等其他新材料、新工艺的知识。

本书内容包括金属材料的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、非合金钢、低合金钢与合金钢、铸铁、非铁金属、其他常用工程材料等九章。参加本书编写的有姜敏凤（第一章、第二章、第三章、第五章、第六章、第九章、试题库及答案）、徐年宝（第四章）、董芳（第七章、第八章），全书由姜敏凤任主编，并负责全书的统稿。

本书承蒙顾惠秋任主审，并对本书的编写大纲、编写内容、插图等提出了许多建设性意见，在此谨表示衷心的感谢！在编写过程中，参考并引用了许多版本同类教材、手册及相关的资料和技术标准等，在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中难免有谬误和欠妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

M U L U

序

前言

第一章 金属材料的性能	1
第一节 金属材料的力学性能	1
第二节 金属材料的物理性能与化学性能	15
第三节 金属材料的工艺性能	19
复习思考题	22
第二章 金属的晶体结构与结晶	23
第一节 金属的晶体结构	23
第二节 金属的结晶	30
复习思考题	34
第三章 铁碳合金相图	36
第一节 铁碳合金的基本组织	36
第二节 Fe - Fe ₃ C 相图	38
第三节 Fe - Fe ₃ C 相图的应用	47
复习思考题	49
第四章 钢的热处理	50
第一节 概述	50
第二节 钢在加热和冷却时的组织转变	52
第三节 钢的退火和正火	63
第四节 钢的淬火和回火	67
第五节 钢的表面热处理	75
第六节 钢的化学热处理	78

第七节 热处理新技术	83
第八节 金属的表面防护与装饰	85
复习思考题	88
第五章 非合金钢 (碳素钢)	90
第一节 杂质元素对碳素钢性能的影响	90
第二节 碳素钢的分类	91
第三节 常用的碳素钢	92
复习思考题	100
第六章 低合金钢与合金钢	101
第一节 合金元素对钢的影响	101
第二节 低合金钢和合金钢的分类与牌号	105
第三节 低合金钢	106
第四节 合金结构钢	108
第五节 合金工具钢与高速工具钢	119
第六节 不锈钢和耐热钢	127
复习思考题	131
第七章 铸铁	133
第一节 铸铁的基本知识	133
第二节 灰铸铁	136
第三节 球墨铸铁	140
第四节 可锻铸铁	144
第五节 蠕墨铸铁	147
第六节 合金铸铁	149
复习思考题	151
第八章 非铁金属 (有色金属)	153
第一节 铝及其合金	153
第二节 铜及其合金	162
第三节 钛及其合金	170

X

第四节 滑动轴承合金	173
复习思考题	176
第九章 其他常用工程材料	177
第一节 非金属材料	177
第二节 复合材料	187
第三节 其他新材料	190
复习思考题	196
试题库	198
一、判断题 试题 (198) 答案 (214)	
二、选择题 试题 (202) 答案 (215)	
三、简答题 试题 (210) 答案 (215)	
附录	227
附录 A 常用结构钢的退火及正火工艺规范	227
附录 B 常用工具钢的退火及正火工艺规范	228
附录 C 常用钢种回火温度与硬度对照表	229
附录 D 非合金钢、低合金钢和合金钢中合金元素规定 含量界限值 (GB/T 13304—1991)	231
参考文献	232

第一章

金属材料的性能



培训学习目标 掌握金属材料的力学性能；熟悉金属材料的工艺性能；了解金属材料的物理性能、化学性能。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指保证零件的正常工作应具备的性能，即在使用过程中表现出的性能，如力学性能、物理性能、化学性能等。工艺性能是指材料在被加工过程中，适应各种冷热加工的性能，如热处理性能、铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能等。

第一节 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指在力的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，通俗地讲是指材料抵抗外力引起的变形和破坏的能力。金属材料的力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性、疲劳极限等。力学性能不仅是机械零件设计、选材、验收、鉴定的主要依据，还是对产品加工过程实行质量控制的重要参数。故熟悉金属材料的力学性能具有重要意义。

1. 载荷

零件和工具在使用过程中所受的力按作用方式不同，可分为拉伸、压缩、弯曲、剪切、扭转等，这种力又称为载荷。载荷分为静载荷与动载荷。

(1) 静载荷 力的大小不变或变化缓慢的载荷，如静拉力、静压力等。

(2) 动载荷 力的大小和方向随时间而发生改变，如冲击载荷、交变载荷等。

2. 应力

物体受外力作用后所导致物体内部之间的相互作用力称为内力，单位面积上的内力，称为应力。应力的计算公式为

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

式中 σ ——应力 (MPa)；

F ——内力 (N)；

A ——截面积 (mm^2)。

3. 变形

金属在外力的作用下尺寸和形状的变化称为变形。按去除外力后变形是否能完全恢复的情况，分为弹性变形和塑性变形。

(1) 弹性变形 去除外力后，物体的变形能完全恢复原状。

(2) 塑性变形 当外力取消后，物体的变形不能完全恢复，而产生永久变形。

一、强度

材料在力的作用下抵抗永久变形和断裂的能力称为强度。金属材料的强度按受力类型，分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。在机械制造中常通过拉伸试验测定材料的屈服强度和抗拉强度，作为金属材料强度的主要判据。

1. 拉伸试样

按国家标准，拉伸试样的形状与尺寸取决于被测试金属产品的形状和尺寸，试样的横截面可以为圆形、矩形、多边形、环形等。其中常用的圆形拉伸试样如图 1-1 所示，图中试样的原始标距长度 (L_0) 与原始直径 (d_0) 一般应符合一定的比例关系，国际上常用的是 $L_0/d_0 = 5$ (短试样)，原始标距长度不小于 15mm。当试样横截面太小时，可采用 $L_0/d_0 = 10$ (长试样)，或采用非比例试样。

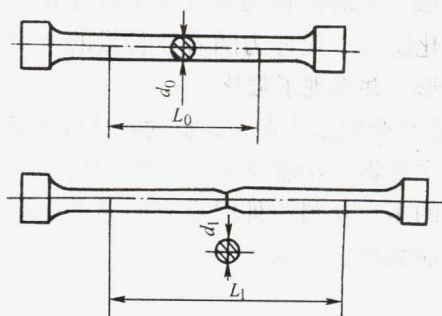


图 1-1 圆形拉伸试样

2. 拉伸曲线

拉伸试验中记录的拉伸力 F 与伸长量 ΔL (某一拉伸力时试样的标距长度与原始标距长度的差, $\Delta L = L_1 - L_0$) 的关系曲线称为拉伸曲线, 如图 1-2 所示。

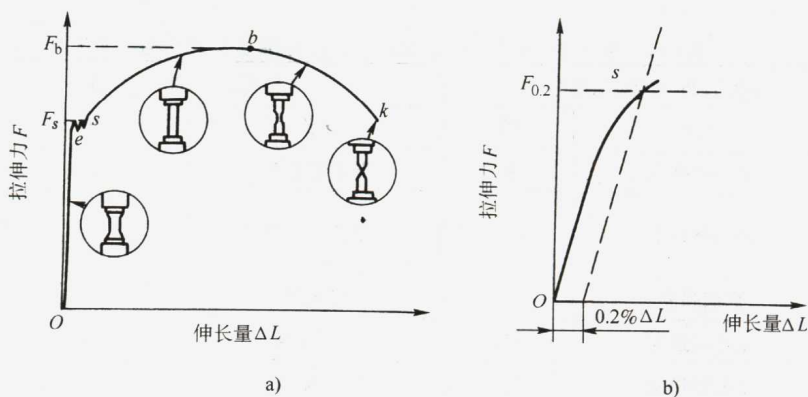


图 1-2 拉伸曲线

a) 低碳钢拉伸曲线 b) 铸铁拉伸曲线

图 1-2a 为低碳钢的拉伸曲线, 拉伸过程分为以下几个阶段:

Oe 为弹性变形阶段, 试样的伸长量与拉伸力成正比, 若此时卸去载荷, 试样能恢复原状。

e 点以后, 开始塑性变形, 到达 s 点后出现水平或锯齿形线段,



这种现象称为屈服,此时拉伸力不变或略有变化,而试样继续伸长变形。随后为强化阶段,拉伸力随着伸长量的增加而增加,试样产生均匀的塑性变形,并出现了强化。

b 点为试样能承受的最大载荷,此时试样局部横截面缩小,出现缩颈现象,变形主要集中在缩颈处,直至试样被拉断。

工程上使用的多数材料拉伸时没有明显的屈服现象。而有些脆性材料不仅没有屈服现象,也不产生缩颈,如图 1-2b 所示为铸铁的拉伸曲线。

按 GB/T228—2002 金属材料室温拉伸试验方法,材料的强度和塑性可通过拉伸试验来测定。但由于后续章节所涉及金属材料有关强度与塑性的名称和符号仍沿用 GB/T228—1987 旧标准,故本章仍按旧标准叙述。金属材料强度与塑性的新、旧标准名称和符号对照见表 1-1。

初次见面, 请多关照,
要记住哟!

表 1-1 金属材料强度与塑性的新、旧标准名称和符号对照

GB/T228—2002 新标准		GB/T228—1987 旧标准	
名称	符号	名称	符号
断面收缩率	Z	断面收缩率	φ
断后伸长率	A $A_{11.3}$	断后伸长率	δ_5 δ_{10}
屈服强度	—	屈服点	σ_s
上屈服强度	R_{eH}	上屈服点	σ_{sU}
下屈服强度	R_{eL}	下屈服点	σ_{sL}
规定残余伸长强度	R_r 例如 $R_{r0.2}$	规定残余伸长应力	σ_r 例如 $\sigma_{r0.2}$
抗拉强度	R_m	抗拉强度	σ_b

3. 强度判据

强度测定一般用拉伸曲线上所对应某点的应力来表示。

(1) 屈服点 (σ_s) 金属材料出现屈服现象时,在试验期间产

生塑性变形而拉伸力不增加的应力点。亦表示材料发生明显塑性变形时的最低应力值。其计算公式为

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0}$$

式中 F_s ——发生屈服时的拉伸力 (N)，如图 1-2a 所示；

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

高碳钢、铸铁等材料拉伸试验时，不产生明显屈服现象，可用规定残余伸长应力 σ_r 表示，如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长达 0.2% 时的强度值，如图 1-2b 所示。

(2) 抗拉强度 (σ_b) 拉伸试验时，相应最大拉伸力时的应力。亦表示材料能够承受的最大应力值。其计算公式为

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0}$$

式中 F_b ——最大拉伸力 (N)，如图 1-2a 所示；

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

屈服点和抗拉强度均是金属材料的重要性能判据，但由于一般机械零件或工具使用时，所受应力要求小于屈服点 σ_s ，若超过屈服点，则会引起明显塑性变形，导致零件或工具失效，因此 σ_s 是选材与设计的主要依据。若零件或工具所受应力大于抗拉强度，则会发生断裂而造成事故。

工程上把屈服点与抗拉强度的比值 (σ_s/σ_b) 称为屈强比，其值越高，则强度的利用率越高，一般材料的屈强比以 0.75 为宜。

二、塑性

塑性是金属在外力作用下能稳定地改变自身的形状和尺寸，而各质点间的联系不被破坏的性能。塑性也可通过拉伸试验测定。

1. 断后伸长率 (δ)

断后标距的残余伸长量 ($L_1 - L_0$) 与原始标距长度 (L_0) 之比的百分数。其计算公式为

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

式中 L_0 ——试样原始标距长度 (mm)；

L_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm)。

采用短试样测出的断后伸长率用 δ_5 表示；采用长试样测出的断后伸长率用 δ_{10} (亦可简化表示成 δ) 表示。需要说明的是若将同一材料做成长试样或短试样，测出的断后伸长率数值是不相等的，短试样的断后伸长率比长试样的断后伸长率大 20% 左右 (一般 $\delta_5 > \delta_{10}$)。

2. 断面收缩率 (ψ)

试样拉断后横截面积的最大缩减量 ($A_0 - A_1$) 与试样原始横截面积 (A_0) 的百分比，即为断面收缩率。其计算公式为

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)；

A_1 ——试样断口横截面积 (mm^2)。

断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 的数值越大，表明材料的塑性越好。材料的塑性是决定其能否进行塑性加工的必要条件，塑性良好的金属可进行各种塑性加工，同时使用安全性也较好。

通过观察拉伸试样的断口形貌亦能判断金属材料塑性的好坏。金属材料典型的断口可分为脆性断口和韧性断口，塑性差的材料为脆性断口，呈瓷状或晶状，变形小，断面平整，有金属光泽，无缩颈；塑性良好的材料为韧性断口，呈杯锥状或纤维状撕裂断口，缩颈明显，断口无光泽。

例 某厂购进一批 45 钢，按国家标准规定，力学性能应符合如下要求： $\sigma_s \geq 355\text{MPa}$ ， $\sigma_b \geq 600\text{MPa}$ ， $\delta_5 \geq 16\%$ ， $\psi \geq 40\%$ 。入厂检验时采用 $d_0 = 10\text{mm}$ 的短试样进行拉伸试验，测得 $F_s = 28\ 900\text{N}$ ， $F_b = 47\ 530\text{N}$ ， $L_1 = 60.5\text{mm}$ ， $d_1 = 7.5\text{mm}$ ，试列式计算其强度和塑性，并回答这批钢材是否符合要求。

解 已知：试样 $d_0 = 10\text{mm}$ ，短试样的 $L_0 = 50\text{mm}$ ；又知 $F_b = 47\ 530\text{N}$ ； $L_1 = 60.5\text{mm}$ ； $d_1 = 7.5\text{mm}$ 。

(1) 求 A_0 和 A_1

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} \approx \frac{3.14 \times 10^2}{4} \text{mm}^2 \approx 78.5 \text{mm}^2$$