



国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

高等职业院校机械设计制造类专业

金属材料及热处理

GH

Jixie Sheji Zhizao Lei Zhuanye

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

Gaodengzhiye Jishuyuanxiao



中国劳动社会保障出版社

国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐
高等职业技术学院机械设计制造类专业

金属材料及热处理

主 编 李献坤 兰 青

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

金属材料及热处理/李献坤, 兰青主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007

高等职业技术学院机械设计制造类专业

ISBN 978-7-5045-6581-5

I. 金… II. ①李…②兰… III. ①金属材料-高等学校: 技术学校-教材②热处理-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 119263 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 10.25 印张 236 千字

2007 年 8 月第 1 版 2007 年 8 月第 1 次印刷

定价: 17.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

编委会成员

编委会主任委员 矫学柏

编委会副主任委员 张凤光

编委会委员 房明 孙戈力 陈彦波
崔京健 高鲁民 史文山

本书编写人员

主 编 李献坤 兰 青

参 编 汪蓉樱 张明续 张文波

周 莹 孙庆志 尚继汤

内 容 简 介

本书为国家级职业教育规划教材。

本书根据高等职业技术学院教学实际，由劳动和社会保障部教材办公室组织编写。主要包括：金属的性能、金属与合金、碳素钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属、非金属材料与复合材料。

本书为高等职业技术学院机械设计制造类专业教材，也可作为成人高校、广播电视大学、本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校的相关专业教材，或作为自学用书。

前 言

为了贯彻落实全国职业教育工作会议精神，切实解决目前机械设计制造类专业（包括数控技术、模具设计与制造）教材不能满足高等职业院校教学改革和培养高等技术应用型人才需要的问题，劳动和社会保障部教材办公室组织一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与行业、企业一线专家，在充分调研的基础上，共同研究、制订机械设计制造类专业培养计划和教学大纲，并编写了相关课程的教材，共有 40 余种。

在教材的编写过程中，我们贯彻了以下编写原则：

一是充分汲取高等职业技术学院在探索培养高等技术应用型人才方面取得的成功经验和教学成果，从职业（岗位）分析入手，构建培养计划，确定相关课程的教学目标；二是以国家职业标准为依据，使内容分别涵盖数控车工、数控铣工、加工中心操作工、车工、工具钳工、制图员等国家职业标准的相关要求；三是贯彻先进的教学理念，以技能训练为主线、相关知识为支撑，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，切实落实“管用、够用、适用”的教学指导思想；四是突出教材的先进性，较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容，以期缩短学校教育与企业需要的距离，更好地满足企业用人的需要；五是以实际案例为切入点，并尽量采用以图代文的编写形式，降低学习难度，提高学生的学习兴趣。

在上述教材的编写过程中，得到有关省市教育部门、劳动和社会保障部门以及一些高等职业技术学院的大力支持，教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作，在此我们表示衷心的感谢！同时，恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2007 年 6 月

目 录

《国家级职业教育规划教材》 CONTENTS

绪 论	1
模块一 金属的性能	3
课题一 金属的物理、化学和工艺性能	3
课题二 金属的力学性能	7
实验一 测定金属试样的布氏、洛氏硬度	20
模块二 金属与合金	23
课题一 金属晶体与金属结晶	23
课题二 铁碳合金及其相图	31
实验二 观察铁碳合金平衡组织	46
模块三 碳素钢	48
模块四 钢的热处理	56
课题一 钢在加热、冷却时的转变	57
课题二 钢的退火与正火	61
课题三 钢的淬火与回火	65
课题四 钢的表面热处理	72
课题五 典型零件的热处理分析	77
模块五 合金钢	82
课题一 合金结构钢	82
课题二 合金工具钢	90
课题三 特殊性能钢	98
模块六 铸铁	102
课题一 灰铸铁	102

课题二 球墨铸铁与可锻铸铁.....	106
模块七 有色金属	112
课题一 铝及铝合金.....	112
课题二 铜及铜合金.....	118
课题三 轴承合金.....	125
课题四 硬质合金.....	129
模块八 非金属材料与复合材料	135
课题一 有机高分子材料.....	135
课题二 陶瓷材料.....	143
课题三 复合材料.....	145
附 录	149
附录 I 本书常用符号表.....	149
附录 II 压痕直径与布氏硬度对照表.....	150
附录 III 黑色金属硬度及强度换算表.....	152
附录 IV 常用钢的临界点.....	153
附录 V 变形铝及铝合金新、旧牌号对照表.....	155

绪 论

金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术等部门使用最广泛的材料，机械制造业更是如此，作为机械制造业的技术工人，经常会遇到金属材料的选用及热处理问题。在机械零件或工具的制造中，如果材料选择不当或热处理工艺、工序安排不合理，不仅不能使金属材料满足加工和使用的性能要求，而且还会带来很大的经济损失或造成生产事故。因此，金属材料及热处理是机械制造业技术工人必须学习和掌握的重要课程之一。

一、本课程的性质和任务

本课程是一门研究金属材料的成分、组织、热处理与其性能间关系和变化规律的学科。通过本课程的学习，学生应掌握有关金属材料与热处理的基本理论和基本知识，掌握常用金属材料的种类、牌号、性能和用途，了解机械零件和工具设计中合理选材的方法，初步掌握正确运用热处理工艺、合理安排零件工艺路线的方法。

二、本课程的基本内容

本课程的主要内容包括金属的性能、金属与合金、金属材料和钢的热处理等。由于非金属材料在机械工业中应用日益广泛，本书也对此作了简单介绍。

金属的性能主要介绍金属的力学性能和工艺性能；金属与合金讲述金属的晶体结构、结晶，铁碳合金的组织及铁碳合金相图；钢的热处理讲述热处理的原理和热处理的工艺；金属材料讲述碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属及硬质合金等金属材料的牌号、成分、组织、热处理、性能及用途。此外，根据不同专业的需要，本课程还增加了实验和一些选学内容，以帮助学生更好地掌握基础理论知识。

三、学习本课程需注意的几个问题

金属材料与热处理是一门研究微观与宏观关系的学科，理论性强，内容抽象，概念和术语繁多，在学习中需注意以下几个问题：

1. 理论联系实际

与其他学科一样，金属材料与热处理是一门来自生产实践，又直接为生产服务的学科，具有很强的实践性。学习中必须紧密联系生产和生活实际，结合实际帮助理解，在理解的基础上强化记忆。

2. 善于总结规律

任何一门学科都有其内在规律，本学科同样如此，应善于寻找和总结。如在同一材料系中，其应用范围是由性能决定的，而性能是由组织决定的，凡是影响组织的因素如成分、热处理等都会影响其性能。这就形成了一条材料的“成分、热处理、组织、性能和用途”之间关系的规律主线，只要把握这一点，会对学习起到很好的帮助作用。

3. 以知识应用为最终学习目的

本课程的编写模式也充分体现了这一要求。如学习力学性能的目的，是为了根据机械零件的工作条件提出性能要求；学习金属材料的目的，是为了根据零件的性能要求合理选择材料；而学习热处理的目的又是为了根据材料的成分特点、性能要求和加工方法，合理安排热处理工艺和工序等。只有把应用作为学习的最终归结点，做到学、用结合，才能真正达到把知识转化为能力的要求。

模块一

金属的性能

金属材料之所以应用广泛，是由于它具有许多优良的性能。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两个方面，使用性能是指金属材料在使用条件下表现出来的性能，它包括物理性能、化学性能和力学性能；工艺性能是指金属材料在制造工艺过程中适应加工的性能。

课题一 金属的物理、化学和工艺性能

知识点

◎金属的物理性能、化学性能和工艺性能的基本知识

任务提出

以下有四组不同金属产品的实例，试分析比较它们各自有哪些不同性能？

1. 铜芯导线与铝芯导线；
2. 铝材散热片与铸铁散热片；
3. 铜质出土文物与铁质出土文物；
4. 车削钢工件与车削铸铁工件。

任务分析

以上四组比较都与金属的性能有关。不同金属具有不同的性能，用其制造的产品也将具有不同的使用特点。同时，将金属材料制成相应产品需要采用多种加工手段，不同材料适应加工的能力也是不同的。我们学习和掌握金属的性能，不仅是为了合理利用其性能特点制造

出具有一定使用功能的产品，而且也是为了更好地选择其加工方法。在以上四组比较中，前三组是用不同材料制造同一种产品，第四组则是不同材料进行同一种加工，由于材料不同，它们的使用性能和工艺性能肯定是不同的。本课题将学习金属的物理性能、化学性能和工艺性能，并总结其应用要点。

相关知识

金属的物理性能是指金属所固有的属性，它包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。金属的化学性能是指金属在化学作用下所表现的性能，如耐腐蚀性、抗氧化性和化学稳定性等。

一、金属的物理性能

1. 密度

密度是指金属材料单位体积的质量。

不同金属的密度是不同的，常用金属的密度见表 1-1。一般将密度小于 $4.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为轻金属；密度大于 $4.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为重金属。

表 1-1 常用金属的物理性能

金属名称	符号	密度 ρ (20℃) (kg/m^3)	熔点 (℃)	热导率 λ ($\text{W/m} \cdot \text{K}$)	线胀系数 α_L (0~100℃) ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)	电阻率 ρ (0℃) ($10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$)
银	Ag	10.49×10^3	960.8	418.6	19.7	1.5
铜	Cu	8.96×10^3	1 083	393.5	17	1.67~1.68 (20℃)
铝	Al	2.7×10^3	660	221.9	23.6	2.655
镁	Mg	1.74×10^3	650	153.7	24.3	4.47
钨	W	19.3×10^3	3 380	166.2	4.6 (20℃)	5.1
镍	Ni	4.5×10^3	1 453	92.1	13.4	6.84
铁	Fe	7.87×10^3	1 538	75.4	11.76	9.7
锡	Sn	7.3×10^3	231.9	62.8	2.3	11.5
铬	Cr	7.19×10^3	1 903	67	6.2	12.9
钛	Ti	4.508×10^3	1 677	15.1	8.2	42.1~47.8
锰	Mn	7.43×10^3	1 244	4.98 (-192℃)	37	185 (20℃)

密度是金属材料一个重要的物理性能。许多不能直接称量的物体，可以由它的体积和密度计算它的质量；有些形状比较复杂的物体，可以由它的质量和密度计算它的体积；也可以利用密度来鉴别物质。

2. 熔点

金属和合金从固体状态向液体状态转变时的熔化温度称为熔点。

金属都有固定的熔点。从理论上讲，金属的熔点也是从液态转变成固态时的结晶温度。常用金属的熔点见表 1-1。

熔点对于冶炼、铸造、焊接和配制合金等方面都很重要。易熔合金如锡、铅、锌等可以用来制造保险丝和防火安全阀等零件；难熔金属如钨、钼、钒等可以用来制造耐高温的零件，在火箭、导弹、燃气轮机和喷气飞机等方面应用广泛。

3. 导热性

金属能传导热的性能称为导热性。一般情况下，金属的导热性比非金属好。

金属导热性的好坏，取决于它的热导率（导热系数） λ ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)。热导率越大，导热性就越好。金属的导热能力以银为最好，铜、铝次之。常用金属的热导率见表 1-1。

导热性好的金属具有好的散热性，可用来制造散热器、热交换器等。

4. 导电性

金属能够传导电流的性能称为导电性。金属是良好的导电体，但各种金属的导电性也各不相同。

金属的导电性好坏取决于它的电阻率 ρ ($\Omega \cdot \text{m}$)。电阻率越小，导电性就越好。金属的导电能力以银为最好，铜、铝次之。常用金属的电阻率见表 1-1。

工业上常用导电性好的铜、铝或它们的合金制作导电结构材料，而用导电性差的镍—铬合金或铬—铁—铝合金等制作电热元件或电热零件。

5. 热膨胀性

金属材料的体积随着温度变化而膨胀、收缩的特性称为热膨胀性。一般情况下，金属加热时体积胀大，冷却时体积缩小。

各种金属材料的热膨胀性能是不同的，它可用其线胀系数 α_L 或体胀系数 α_V 来表示。体胀系数是线胀系数的三倍。常用金属的线胀系数见表 1-1。

在实际工作中应该考虑金属热膨胀性的影响。例如在铺设铁轨时，在两根铁轨衔接处应留有一定的空隙，以便使铁轨在长度方向有膨胀的余地。又如大型的桥梁只固定一端，而另一端架在带有滚筒的支座上，以使桥梁在温度发生变化时可以自由伸缩。金属工件在加工过程中测量尺寸时，也要考虑热胀的因素。

6. 磁性

金属能导磁的性能称为磁性。具有磁性的金属都能被磁铁所吸引。

对某些金属来说，磁性也不是固定不变的，如铁在自然温度下是铁磁性材料，但当温度升高到 770°C 以上时就会失去磁性。

金属材料根据其在磁场中受到磁化程度的不同，可分为铁磁性材料（如铁、钴等）、顺磁性材料（如锰、铬等）和抗磁性材料（如铜、锌等）三种。顺磁性材料和抗磁性材料也称为无磁性材料。

铁磁性材料可用于制造变压器、电机、测量仪表等。无磁性材料则可用于制造要求避免干扰电磁场的零件或结构。

二、金属的化学性能

1. 耐腐蚀性

金属材料抵抗化学介质腐蚀破坏作用的能力，称为耐腐蚀性。

腐蚀对金属材料的危害很大。腐蚀不仅使金属材料本身受到损失，严重时还会使金属结

构遭到破坏以致引起重大事故，这一问题在制药、化肥、制酸、制碱等化工部门更要引起足够的重视。因此，提高金属材料的耐腐蚀性能，对于减少金属的消耗，延长金属材料的使用寿命等，具有现实的经济意义。

2. 抗氧化性

金属材料抵抗氧气氧化作用的能力，称为抗氧化性。

金属材料在常温条件下的氧化作用并不明显，但当温度升高时，其氧化作用明显加剧。例如：钢材在铸造、锻造、热处理、焊接等加热加工作业时，会发生氧化和脱碳，造成材料的损耗和各种缺陷。因此在加热时，常在坯件或材料的周围制造一种还原气氛或保护气氛，以避免金属材料的氧化。

3. 化学稳定性

化学稳定性是金属材料的耐腐蚀性和抗氧化性的总称。金属材料在高温下的化学稳定性叫做热稳定性。如工业锅炉、加热设备、汽轮机、喷气发动机等，因为这类机械设备中有许多零件是在高温下工作的，所以制造这些零件的材料要具有良好的热稳定性。

三、金属的工艺性能

所谓工艺性能是指机械零件或工具在加工制造过程中，金属材料所表现出来的适应能力。金属的工艺性能包括铸造性、可锻性、可焊性及切削加工性等。

1. 铸造性

金属材料能否用铸造的方法制成优良铸件的性能，称为铸造性。

铸造性包括流动性、收缩性和偏析（化学成分不均匀的现象）倾向等。凡是流动性好、收缩性小以及偏析倾向小的金属材料，其铸造性能良好。常用的钢铁材料中，铸铁具有优良的铸造性，而钢的铸造性低于铸铁。

2. 可锻性

金属材料在压力加工过程中，能通过塑性变形获得优良锻压件的性能，称为可锻性。

可锻性与材料的变形抗力和塑性有关。变形抗力愈小，塑性愈高，则可锻性愈好。

就钢而言，一般情况下，含碳量低的钢较含碳量高的钢有好的可锻性；而铸铁的可锻性很差，所以只能进行铸造加工。

3. 可焊性

金属是否容易用一般的焊接方法焊成优良接头的性能，称为可焊性。

可焊性好的金属材料能获得没有裂缝、气孔等缺陷的焊缝，并且焊接接头具有一定的力学性能。可焊性好的金属材料，易于用一般的焊接工艺焊接，而可焊性较差或不好的金属材料，则必须采用特定的工艺进行焊接。

钢的焊接性能主要取决于它的含碳量，含碳量愈低，可焊性愈好，所以低碳钢一般都具有良好的可焊性；而铸铁的可焊性很差，一般不进行焊接加工。

4. 切削加工性

金属材料使用某种切削方法以获得优良工件的可能性，称为切削加工性。它也是指金属材料经过切削加工而成为合乎要求的工件的难易程度。

切削加工性好的金属材料，加工时刀具的磨损量小，切削用量大，加工出来的表面质量

也比较好。金属材料的切削加工性能与其力学性能有密切关系,这方面知识将在以后的内容中进一步介绍。

就切削加工性能而言,钢的切削加工性能需要其硬度适当;铸铁的切削加工性能与钢相比一般较好。

任务实施

金属材料性能的实例比较

根据以上知识,可以对任务提出中的四组不同实例,进行如下比较:

1. 铜芯导线与铝芯导线

导线的主要功能是传导电流,因铜的电阻率较小,所以铜芯导线的导电性能优于铝芯导线;同时,铜的化学稳定性较好,铜芯导线的使用寿命也较长。

2. 铝材散热片与铸铁散热片

散热片的主要功能是传递热量,铝材和铸铁分别是以铝元素和铁元素为主要成分的金属材料,由于铝的导热性好于铁,所以铝材散热片的散热性能较好。

3. 铜质出土文物与铁质出土文物

铜的化学稳定性较好,不易产生腐蚀,很多青铜器文物,在地下埋藏几千年仍保存完好;而铁的化学稳定性较差,易由于腐蚀而损坏,虽然人类应用铁的历史比铜要晚得多,但形体完整的铁质出土文物却并不多见。在生产实际中,为了防止钢铁材料在自然环境下腐蚀,表面经常采取一些防护措施(如电镀、搪瓷、刷防锈漆等)。

4. 车削钢工件与车削铸铁工件

不同金属材料在不同加工方法和加工条件下的性能是不同的,就切削加工性而言,铸铁要好于钢,即更容易进行切削加工。

思考与练习

1. 金属有哪些物理和化学性能?在工业中有哪些实用意义?
2. 什么是工艺性能?工艺性能包括哪些内容?

课题二 金属的力学性能

技能点

- ◎能根据零件或工具的工作条件,分析对其制造材料力学性能的要求
- ◎掌握常用硬度的测试方法

知识点

- ◎金属力学性能的概念及种类
- ◎金属力学性能的测试方法、指标含义、表示符号及应用

金属材料在使用和加工过程中,往往受到各种外力作用。金属材料在外力作用下所表现

出来的性能称为力学性能，它主要包括强度、硬度、塑性、冲击韧性及疲劳强度等。

在选用金属材料制造机械零件或工具时，大多以其力学性能作为主要依据，因此，熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。

任务一 强度与塑性

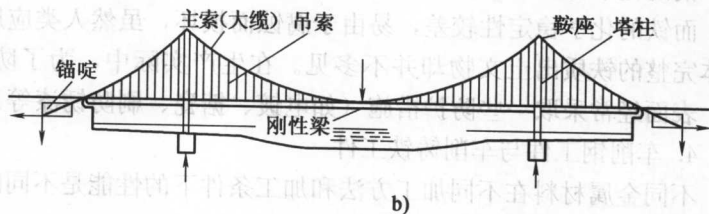
任务提出

在现代桥梁设计制造中，悬索桥和斜拉桥是最为常见的结构形式，它不仅具有用料省、自重轻的特点，而且，还可以实现其他桥梁无法达到的大跨度结构。虽然我们现有的知识和能力，还不足以独立完成一座桥梁的设计工作，但通过对金属材料强度、塑性等力学性能的学习，可以使我们对其中的奥妙有一些初步的了解。

图 1—1b 是悬索桥（吊桥）的结构示意图，试分析设计人员是如何保证桥梁的承载安全的？



a)



b)

图 1—1 悬索桥

a) 实物图 b) 结构示意图

任务分析

从图中可以看出，悬索桥的桥体重量主要依靠“主索”（也称悬索或大缆）和“吊索”（也称吊杆）吊拉，主索和吊索的承载能力是关键因素，它们在使用过程中不能产生变形，更不能发生断裂。主索和吊索的截面尺寸过小不能满足使用要求，截面尺寸过大又造成材料浪费，必须进行精确设计和计算，其设计依据就是所选用材料的强度和塑性等力学性能指标。

相关知识

一、载荷、变形与应力

1. 载荷

金属材料在使用和加工过程中所受到的各种外力统称为载荷，用符号 F 表示。载荷按其作用性质的不同，可分为静载荷、冲击载荷及交变载荷三种。

(1) 静载荷 指大小和方向不变或变化缓慢的载荷。如上述桥梁的悬索和吊索所承受的载荷可视为静载荷。

(2) 冲击载荷 指在短时间内以较高速度作用于工件上的载荷。如錾削加工时, 錾子所受的载荷为冲击载荷。

(3) 交变载荷 指大小或方向随时间发生周期性变化的载荷。如齿轮所承受的载荷是交变载荷。

2. 变形

金属材料受到载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形分为弹性变形和塑性变形。随载荷的存在而产生、随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。载荷去除后仍不能恢复的变形称为塑性变形。

3. 应力

金属材料在受到外力作用时, 其内部作用着与外力相对抗的力, 称为内力。单位面积上的内力称为应力, 用 σ 表示。应力能够准确地反映金属材料内部的受力状态, 因此, 所有强度指标都是用应力表示的。当外力为拉伸载荷 (F) 时, 其横截面积 (S) 上的应力按以下公式计算:

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

二、拉伸试验

金属材料的强度和塑性指标是通过拉伸试验的方法测量的。

1. 试样——拉伸试样

试验时, 首先将被测试材料加工成标准试样, 按照国家标准 (GB228—2002), 常用拉伸试样如图 1—2a 所示。图中 d_0 是试样的原始直径, l_0 为试样的原始标距长度。根据标距长度与直径之间的关系, 试样分为长试样 ($l_0 = 10d_0$) 和短试样 ($l_0 = 5d_0$) 两种。

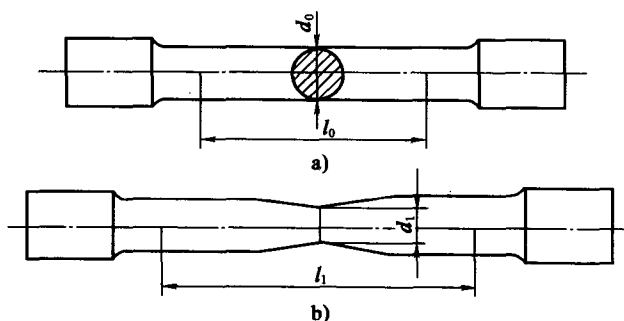


图 1—2 拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

2. 试验设备——拉伸试验机

图 1—3 为拉伸试验机。将试样装夹在试验机上, 然后缓慢施加拉伸载荷, 直至拉断试样。