

国家机械工业委员会统编

初级热处理工艺学

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

15
95
机械工人技术理论培训教材

初级热处理工艺学

国家机械工业委员会统编



机械工业出版社

本书共分十章，主要内容包括金属材料的基本知识；金属学和热处理基本原理；常用钢及铸铁的热处理；热处理主要工艺装备及安全技术等。

本书是初级热处理工的技术培训教材，可供热处理生产工人和其他人员参考。

本书由成都量具刃具厂朱玉琴编写，东方电机厂王同保、贺淼昌、李益湘审稿。

初级热处理工艺学

国家机械工业委员会统编

★

责任编辑：王明贤 版式设计：张伟行
封面设计：林胜利 方 芬 责任校对：熊天荣
责任印制：郭 炜

★

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

★

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $8\frac{3}{8}$ · 字数 185 千字

1988年12月北京第一版 · 1988年12月北京第一次印刷

印数 00,001—23,000 · 定价：3.50元

★

ISBN 7-111-01149-0/TG·290

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材148种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂，长春第一汽车制造厂，济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

绪论	1
第一章 金属材料的机械性能	3
第一节 物理性能	3
第二节 化学性能	7
第三节 机械性能	8
第四节 工艺性能	16
复习题	18
第二章 金属学基础知识	19
第一节 纯金属的结构与结晶	19
第二节 Fe-Fe ₃ C 相图	26
复习题	43
第三章 常用金属材料	44
第一节 钢的分类和牌号	44
第二节 碳素钢	48
第三节 合金钢	53
第四节 铸铁	61
第五节 有色金属及其合金	67
复习题	73
第四章 热处理基本原理	75
第一节 钢在加热时的转变	75
第二节 钢在冷却时的转变	84
复习题	94
第五章 钢的热处理	96

第一节	钢的退火与正火	97
第二节	钢的淬火	108
第三节	钢的回火	136
第四节	钢的表面淬火	141
第五节	工件热处理变形的校正	151
复习题		157
第六章	钢的化学热处理	159
第一节	化学热处理类型	159
第二节	渗碳	160
第三节	渗氮	173
复习题		181
第七章	常用钢的热处理	182
第一节	碳钢与合金钢的热处理工艺特点	182
第二节	结构钢的热处理	185
第三节	工具钢的热处理	194
复习题		214
第八章	铸铁热处理	215
第一节	铸铁热处理的目的和特点	216
第二节	灰铸铁的热处理	217
第三节	球墨铸铁的热处理	220
复习题		225
第九章	热处理设备	226
第一节	加热设备	226
第二节	冷却设备	240
第三节	辅助设备	242
第四节	常用测量仪表使用常识	244
复习题		251
第十章	热处理车间工艺管理知识和安全操作知识	252
第一节	热处理车间工艺管理知识	252
第二节	热处理车间安全操作知识	256
复习题		262

绪 论

金属材料广泛应用于生活和生产中，是现代工业和科学技术上不可缺少的重要材料。金属材料的产量和品种是衡量一个国家发展水平的重要依据之一，它与国计民生、尖端技术的发展、息息相关。

热处理工艺学是通过一定的工艺手段借以改变金属材料的组织、结构，使金属材料获得良好性能的工艺方法。

金属材料及热处理是密切相关的两个范畴。金属材料主要是研究材料的化学成分、组织与性能的关系。而热处理是在材料成分固定的情况下，如何通过加热、冷却的方法，使其内部组织发生转变，达到所要求的性能。这两者的有机结合，便可以合理选用材料，确定产品加工成型的方法、充分发挥材料的潜力，使生产制造的各种产品既经久耐用，又经济合理。

我国的热处理历史非常悠久。早在汉朝就知道“清水淬其锋”的道理。出土的汉代宝剑，经检查是淬火马氏体组织。五代时也有“淬以五牲之溺”的记载，这是淬火介质的进步。明代的“天工开物”中详细记载了锉刀的制造、淬火、以及退火重淬的工艺方法。我国古代在金属材料的应用及热处理方法的研究方面对人类生活和进步作出了贡献。

解放后，随着工业体系的建立和完善，热处理工艺技术、理论研究都有了很大的进展。热处理的检测方法、技术管理得到了全面发展。新材料的开发、热处理的新技术近几

年来得到蓬勃发展。真空热处理、可控气氛热处理、形变热处理及化学热处理已大面积使用，机械化或流水线作业在大型工厂中也已经采用。激光热处理、离子注入、物理化学涂层也都进入实用阶段。今后热处理的目标是向少无氧化脱碳、节能无公害、小无变形、强韧化等各种形式的热处理和表面处理新工艺、新技术方向发展。

为此，学好金属学的基本知识，掌握材料的基本组成和性能，学好热处理基本原理是掌握热处理技能的重要基础。

本书主要从材料基本知识入手，介绍金属学的基本概念，常用金属材料的分类和牌号。阐述热处理基本原理及工艺特性，热处理通用设备的一般构造、型号和主要使用性能，以达到掌握热处理技能，能熟练地按工艺、按标准进行热处理操作。

第一章 金属材料的机械性能

金属材料是各种金属及其合金的统称。分为黑色和有色金属两大类。黑色金属即是铁及其合金，如钢和铸铁。除黑色金属外的金属及其合金都是有色金属，如黄铜、铝、锌等。

从日常生活、机械制造到航天工业都离不开金属材料。在不同场合、不同条件下所用金属材料各不相同，因为不同金属材料具有不同的性能。例如日常生活所用的铝锅是用铝或铝合金制成。因为铝具有重量轻，耐锈蚀，传热快的属性。机床床身使用铸铁是由于铸铁易成型、具有润滑、减震的属性。不同的金属其属性不同，同一类材料的元素含量不同，牌号不同其属性也有差异。我们把金属材料在不同条件下所表现出来的属性称为金属材料的性能。研究材料性能的目的在于扬其所长、避其所短、满足需要、使其具有一定的社会价值和经济价值。

第一节 物理性能

金属材料表现在物理范畴内的性能、主要有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性、磁性等。

一、密度

单位体积物质所具有的质量称为密度。其单位是 g/cm^3 (或 kg/m^3)。不同金属材料的密度见表 1-1。

材料的密度对选材有重要的意义。如飞机、卫星等高速

表1-1 常见金属材料的密度

名 称	密度(g/cm ³)	名 称	密度(g/cm ³)
镁(Mg)	1.74	金(Au)	19.32
铝(Al)	2.7	铂(Pt)	21.45
锌(Zn)	7.13	灰铸铁	6.8~7.4
锡(Sn)	7.3	白口铁	7.2~7.5
铁(Fe)	7.87	碳钢	7.8~7.9
镍(Ni)	8.9	黄铜	8.5~8.6
铜(Cu)	8.96	青铜	7.4~9.2
银(Ag)	10.49	铝合金	2.55~3.0
铅(Pb)	11.34	镁合金	1.75~1.85

运转的机械，都必须尽量轻。一般把密度小于 5 g/cm^3 的称为轻金属，大于 5 g/cm^3 的称为重金属。应用密度还可算出材料的消耗定额和计算出机器零件的重量。例如，知道了碳钢的密度为 7.8 g/cm^3 ，并知道零件的尺寸，根据尺寸算出零件的体积后，就可以计算出制造零件所需用的钢材重量了。

二、熔点

金属材料从固体转变为液态时的温度称为熔点，不同的金属熔点不同，见表1-2。

当一种金属内加入一种或多种其它元素时，其熔点一般比纯金属要低，加入元素愈多，其熔点也更低些。不同熔点的金属有不同用途，例如选用熔点高的钨做灯丝，防止灯丝因温度升高而熔化。低熔点的材料可作熔断丝（保险丝）、保护电器设备不会因电流突然增大而烧坏。

三、热膨胀性

金属材料受热时其体积膨胀而变大的性能叫热膨胀性。一般地说，物质都有受热膨胀受冷收缩的性能。其受热膨胀

表1-2 几种金属材料的熔点 (°C)

名 称	熔 点	名 称	熔 点
钨(W)	3380	铝(Al)	660
钼(Mo)	2625	镁(Mg)	650
钛(Ti)	1677	锌(Zn)	419
铬(Cr)	1903	铅(Pb)	327
钒(V)	1910	锡(Sn)	232
铁(Fe)	1538	灰铸铁	约1200
镍(Ni)	1453	白口铸铁	约1130
钴(Co)	1492	碳钢	1450~1500
硅(Si)	1412	青铜	760~1064
锰(Mn)	1244	黄铜	865~950
铜(Cu)	1083	铝合金	447~575
金(Au)	1063	镁合金	590~635
银(Ag)	960		

量与受冷收缩量相等,并且在体积的各方向上成比例地伸长。为了计算方便,一般使用线胀系数的概念即是材料在温度升高1 K时其增加的长度与原来长度之比,单位是 $1/K$,称为线胀系数。不同材料的线胀系数见表1-3。这个数值是常温下测定的,不同温度下其膨胀量并不成比例地增长。

表1-3 几种金属的线胀系数 ($10^{-6}K^{-1}$)

名 称	线 胀 系 数	名 称	线 胀 系 数
锌(Zn)	39.5	铜(Cu)	17.0
铅(Pb)	29.3	镍(Ni)	13.4
镁(Mg)	24.3	铁(Fe)	11.76
锡(Sn)	23.0	铬(Cr)	6.2
铝(Al)	23.6	钨(W)	4.6

热膨胀有两个特点:一是可逆的,即热胀量与冷缩量相

同。二是不可避免的，因此在工程上应引起重视。铁轨不留缝隙，受热膨胀会使轨道弯曲，铁桥无伸缩缝，可将基座抵坏。精密仪器、测量器具会因热胀冷缩造成测量误差，因此精度高的仪器、量具必须在恒温下使用。

四、导热性

金属材料传导热量的能力称为导热性。一般用热导率来表示，即温差为 1 K 时， 1 s 时间内通过 1 m 长度所传递的热量，其单位为： $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。各种金属材料的导热性是不同的，纯金属的导热性比合金要好。金属零件在加热或冷却时，由于零件表面和内部的温度不同，形成温差，因而膨胀或收缩也不一样，使材料内部产生极大的内应力，造成零件的变形，甚至开裂。锻件和铸件在冷却时，为防止产生裂纹，必须缓慢地加热和冷却。

五、导电性

金属材料传导电流的性能称为导电性、不同的金属导电性不同。银的导电性最好，其次是铜、铝。因为银较贵重，所以一般用铜及铝作导电的电线。一般说，金属材料都是良导体，正是由于这种性能，使得发电，驱动马达才有可能，使通讯传播的电讯工程得以发展。精密的电动测量仪器制造也是以导电性作为基本原理。工业上也需一些导电不良的高电阻特殊材料，如康铜、锰铜用来制造仪表元件。

六、磁性

金属材料能够被磁铁吸引的性能称为磁性。在众多的金属材料中只有铁、镍、钴具有明显的磁性。磁性材料是制造电机和通讯器材、以及制造仪表元件的重要材料。磁性与材料的成分有关，也与温度有关，在室温或低温下有磁性、到了高温就会失掉磁性。

第二节 化学性能

金属材料的化学性能就是指金属在室温或高温下抵抗各种介质的化学侵蚀的能力。

一、耐腐蚀性

腐蚀是指金属和周围介质如与空气、水分、酸、碱、盐等接触，发生化学变化，使表面受到侵蚀。

金属材料抵抗上述各种介质腐蚀的能力称为耐腐蚀性。

1. 大气腐蚀 金属材料在室外放置，逐渐生锈，如钢铁生褐色铁锈、锌和铝生白锈、铜生绿锈、这就是金属在空气介质中发生化学变化而受到锈蚀。锈蚀不仅腐蚀金属，使外观难看，而且也意味着厚度减少。表 1-4 是各种金属受大气腐蚀在 10 年之间，工业地区造成的厚度减少量。工业上每年因锈蚀而损失的金属，大约相当于总产量的 1 % 左右，这是一个很大的损失。

表 1-4 各种金属的大气腐蚀 (mm)

金 属	厚度减少量	金 属	厚度减少量
钢	1.8	蒙乃尔合金 (Ni65%Cu32%)	0.013
锌	0.051	锡	0.012
镍	0.032	铝	0.008
铜	0.013	铅	0.004

2. 点腐蚀 金属材料在介质中由于局部受侵蚀而穿孔称为点腐蚀。

埋在土壤里的普通管道，发生局部点状腐蚀，每年以 1 ~ 2 mm 速度扩大，因此水管和煤气管就会发生穿孔事故。碳钢

在水中会产生点腐蚀，表面形成锈鼓包，其下面形成洼坑。不锈钢和铝在含有氯离子的介质中也要发生点腐蚀，如在海水中使用不锈钢就会形成局部洼点，发生点状腐蚀。

应该指出，除在高温下的氧化外，金属材料的腐蚀往往不单是化学腐蚀，而更多的是电化学腐蚀。为了防止金属腐蚀，提高耐腐性，要选择适当的耐蚀材料，采取最好的防蚀技术。

二、抗氧化性

金属材料在高温下抵抗产生氧化的能力称为抗氧化性。

金属材料在高温下与氧气作用，发生化学变化，表面就形成氧化层，如果氧化层很致密，复盖在金属表面，隔绝氧气，使内层不再发生氧化。如果氧化层很疏松，则将继续向内层氧化，金属表面很快氧化剥落而损坏掉。

为了提高金属材料的抗氧化性，高温下在氧化初期使金属生成致密的氧化膜，以减慢氧化速度。一些在高温工作的零件，如火箭、导弹、喷气机及热加工机械的零件，要求有良好的抗氧化性能，则必须采用耐热材料。

第三节 机械性能

机械零件在使用过程中，都要受到外力的作用，这些力可以是拉力、压力、扭力、弯力和剪力等。如起重机的钢索要受拉力，铁路钢轨受到压力，轴类零件要受到扭力和弯曲力的作用，柴油机的连杆要受到交变的冲击力作用。金属材料在外力作用下，其内部会产生一个内力来抗衡外力的作用，同时也会产生一定程度的变形。通常，把单位面积上产生的内力称为应力。单位长度上的变形称为应变。

弹簧在受力时会变形，取消外力又恢复原状，如果用力

过大则变形后不会恢复原状，所以变形可分为两种：

弹性变形：金属受外力作用产生变形，当外力去除后，变形就消失，自然回复到原状。

塑性变形：金属受外力作用产生变形，去除外力后，保持变形后的形状，不能回复到原来状态。

所有金属都会产生这两种变形，只不过不象弹簧那样明显。机械性能即是金属材料对外力作用的抵抗能力，以弹性、塑性、韧性、强度、硬度等指标来衡量。

一、强度

金属材料受外力作用时，对变形或断裂的抵抗能力称为强度。根据外力作用的形式不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度等。虽然是同一材料，但其各种强度是不一样的。所受外力通常称为载荷或负荷。

强度的大小可以通过材料试验机来试

验测定。以抗拉强度为例来说明材料从受力到破坏的过程中外力与变形的变化情况。将一定尺寸的标准试样，如图 1-1 所示，安放在材料试验机上，缓慢施加递增的轴向拉力，使试样不断产生变形，直到试样拉断为止。试样在拉伸过程中，应力的变化和变形量的相互关系都在拉伸图上记录下来。图 1-2 是低碳钢的拉伸曲线图，纵坐标表示应力符号为 σ ，横坐标表示应变符号为 ϵ 。从图中可见，线段 Oa 是直

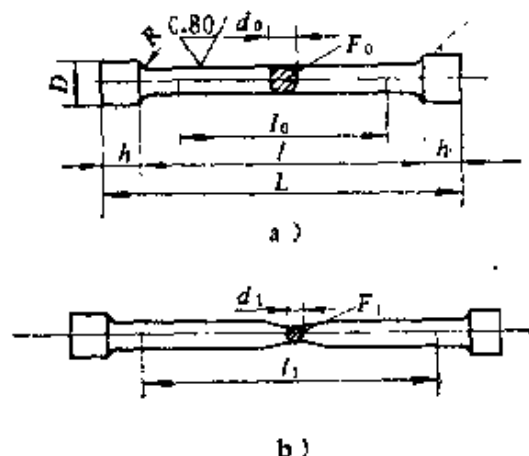


图 1-1 静拉伸试验的圆试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

线，应力和应变成正比关系， ab 线段不是直线，变形不呈正比关系。材料在 Oa 及 ab 范围内都处于弹性变形阶段，对应 a 点的应力称为比例极限，以 σ_p 表示，对应 b 点的应力称为弹性极限，以 σ_e 表示。从 b 点开始应力增加不大或不再增加，但塑性变形仍然继续，这种现象称材料的屈服， c 点对应的应力称为屈服强度，以 σ_s 表示，

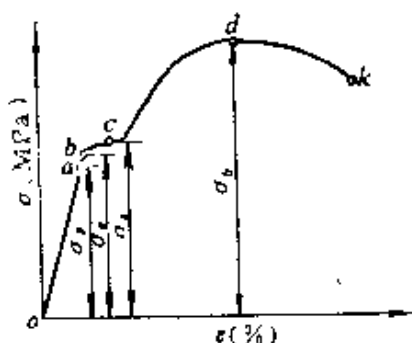


图1-2 低碳钢的拉伸曲线图

只有软材料其屈服现象较为明显。从 c 点到 d 点应力达到最高值，这时试样由于变形出现缩颈，截面变小，应力不增加，材料继续变长变细，在 k 点断掉。我们把最大应力称为抗拉强度，以 σ_b 表示，计算公式如下：

$$\sigma_b = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

式中 σ_b ——抗拉强度 (MPa)；

F ——试样承受的最大载荷 (N)；

S ——试样原始截面积 (mm^2)。

强度对机械零件和刀具有着重要的意义。为了使零件和刀具在使用时不破断，就要使抗拉强度达到规定值。有些零件同时受拉和压两种力，因为材料抗压强度比抗拉强度高，所以只要其抗拉强度满足要求即可保证使用时不被破坏。

二、塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生变形而不破坏，当外力去除后仍能使其变形保留下来的性能，它是与脆性相反的性能。观察拉伸试验时试样的变化可知其长度增加，而截