

机电工业考评技师复习丛书

机电工业考评技师复习丛书编审委员会 编

金属材料及加工工艺

机械工业出版社



机电工业考评技师复习丛书

金属材料及加工工艺

机电工业考评技师复习丛书编审委员会 编

机械工业出版社

本书简明、系统地介绍了金属材料及加工工艺方面的基础知识。全书共分五章，包括：金属学、钢的热处理和表面处理、常用的金属材料、毛坯生产和机械加工知识等。每章末附有复习题。书末附有复习题答案选摘。

本书供参加考评技师的工人复习使用，也可供技师考评工作人员参考。

本书由黑龙江省牡丹江市机械技工学校程新国、刘有、尹淑琴编写，程新国主编；由河北省机电技校张思溪审稿。

金属材料及加工工艺

机电工业考评技师复习丛书编审委员会 编

责任编辑：崔世荣 责任校对：张 佳

封面设计：方 芬 版式设计：吴静霞

责任印制：张俊民

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许可出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092¹/₃₂·印张 11/8·字数 110 千字

1990年5月北京第一版·1990年5月北京第一次印刷

印数 0,001—6,950·定价：3.20 元

ISBN 7-111-01911-3/TG·482

编审委员会名单

主任 郭洪泽

副主任 董无岸 刘葵香 雷柏青(常务)

杨惠永(常务)

委员 和念之 陈东 杨明 张昭海 程新国

胡家振 胡小华

前 言

技师聘任制是在高级技术工人中实行技术职务的一项重要政策。对鼓励工人钻研业务，不断提高技术素质，稳定工人队伍，发挥高级技术工人的作用，适应经济建设需要，具有十分重要的意义。

目前，全国机电行业正在贯彻落实机电工业部和劳动人事部有关文件的精神，积极开展技师职称考评工作。为了配合这项工作的开展，我们组织编写了《机电工业考评技师复习丛书》。

《丛书》共20种，是依据部颁《工人技术等级标准(通用部分)》有关工种的“应知”要求，参考原国家机械工业委员会人事劳动司审定的《机械工业考评工人技师复习题例》和统编《机械工人技术理论培训教材》编写的。在内容安排上，《丛书》和《题例》配套，围绕《题例》中涉及到的重点问题，结合企业高级工、技师岗位生产(工作)实际，用《培训教材》中的有关内容，从理论上加以阐述，融《题例》和《培训教材》于一体。这是本套《丛书》最大的特点。

《丛书》内容精炼，除了供参加考评技师的工人复习、自测使用外，也可供各级技师考评组织在命题和评定成绩时参考，还可作为高级工和技师日常工作中的参考书。

对《丛书》的不足之处，欢迎提出宝贵意见，以便再版时修订。

机电工业考评技师复习丛书编审委员会

1989年4月

目 录

前 言

第一章 金属学的基础知识	1
§ 1.1 金属的性能	1
§ 1.2 金属的结构与结晶	9
§ 1.3 金属的塑性变形和再结晶	15
§ 1.4 铁碳合金状态图	17
复习题	23
第二章 钢的热处理和表面处理知识	25
§ 2.1 钢在加热和冷却时的转变	26
§ 2.2 钢的淬火与回火	33
§ 2.3 钢的退火与正火	38
§ 2.4 钢的表面热处理	39
§ 2.5 机械零件材料的选用	42
§ 2.6 钢的表面处理知识	45
复习题	48
第三章 常用金属材料的基本知识	50
§ 3.1 碳素钢	50
§ 3.2 合金钢	59
§ 3.3 铸铁	75
§ 3.4 有色金属	81
§ 3.5 硬质合金	88
复习题	91
第四章 毛坯生产的基本知识	93
§ 4.1 铸造	93
§ 4.2 压力加工	96

§ 4.3 焊接与切割	98
复习题	100
第五章 机械加工的基本知识	102
§ 5.1 金属切削加工的基本概念	102
§ 5.2 金属切削机床的分类与型号	109
§ 5.3 主要机床加工方法简介	112
§ 5.4 钳工和铆工	118
§ 5.5 数控机床与生产自动线	132
§ 5.6 机械加工工艺过程的基础知识	141
复习题	149
复习题答案选摘	153

第一章 金属学的基础知识

在国民经济的各个部门中，大量地使用着各种各样的金属材料。在现代工业、现代农业、现代国防、现代科学技术以及人民的日常生活中都离不开金属。

金属的广泛应用，极大地促进了生产力的发展，对人类社会的进步起了重大的推动作用。所以，历史学家把古代的历史时期，按照人类当时使用的主要材料来划分，分成旧石器时代、新石器时代、铜器时代、铁器时代等。就是到了今天，金属材料的进展，仍然和科学技术及工业生产有着密切的关系。例如，硬质合金的出现，才使得高速切削有可能实现；又如，尖端技术（宇宙飞行器等）的发展，对金属材料提出了许多特殊的性能要求等。而金属的性能，又是由它的内部构造所决定的。所以，了解金属学的一般基础知识，对于选用和加工金属材料，都有非常重要的意义。

§ 1.1 金属的性能

金属材料之所以应用如此广泛，主要是它具有能满足人们需要的各种性能。金属材料的性能，可以分为工艺性能和使用性能两大类。

金属的工艺性能，是指金属材料在加工过程中满足加工工艺要求的性能。例如，可锻性（金属材料能承受打铆、锻粗等而不破裂的性能）、焊接性（金属材料适应焊接方法与焊接工艺的性能）、铸造性和切削加工性等。灰铸铁的铸造

性能和切削加工性能都很好，但它们不能进行锻造，焊接性也不好，所以广泛用来制造铸件。在设计零件和选择工艺方法时，都要考虑金属材料的工艺性能。

金属的使用性能，是指金属在使用条件下所表现的性能，它包括金属的物理性能、化学性能和机械性能。

一、金属的物理性能

1. 密度 密度是物体质量和其体积的比值。

$$\text{密度} = \frac{\text{物体的质量}}{\text{物体的体积}} \quad (\text{g/cm}^3)$$

在某些机械（例如飞行器等）的设计中，金属的密度是一个主要的考虑因素。一般将密度小于 5 g/cm^3 的金属，称为轻金属；将密度大于 5 g/cm^3 的金属，称为重金属。

2. 熔点 金属材料的熔化温度称为熔点。有的金属材料熔点高，称为难熔金属；有的金属材料熔点低，称为易熔金属。

3. 导电性 金属传导电流的性能称为导电性。导电性的好坏，用电阻率表示。电阻率越小，导电性就越好。

工业中的导电材料（例如电线等），就常选用导电性能好而又价廉的金属材料，例如铜、铝等来制造。

此外，金属的物理性能，还包括有导热性、磁性、热膨胀性等。

二、金属的化学性能

金属的化学性能，是指金属在化学作用下表现的性能。例如，耐腐蚀性、热安定性等。

1. 耐腐蚀性 是指金属在常温下抵抗氧、水蒸气等介质腐蚀的能力。

2. 热安定性 是指金属在高温下对氧化的抵抗能力。

许多在高温下工作的零件，就对材料的热安定性有一定的要求。

三、金属的机械性能

金属的机械性能主要是指它的力学性能，即指金属抵抗外力的能力。它是衡量金属的最重要条件，包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等基本指标。

1. 强度 金属在外力的作用下，抵抗变形和断裂的能力，称为强度。抵抗能力越大，则强度越高。按照作用力的不同，分为抗拉强度、抗压强度、抗剪强度、抗弯强度和抗扭强度等。

金属的强度，可以通过在拉伸试验机上进行拉伸试验求得。进行拉伸试验时，先将材料作成图1-1a所示的拉伸试样，将试样安装在拉伸试验机上，缓慢地加载。随着载荷的增加，试样产生伸长、变形，直至断裂，如图1-1b所示。根据所加载荷（外力）与材料产生变形之间的相应变化关系，可以得出材料的拉伸曲线图，如图1-2所示。

在进行低碳钢的拉伸试验时，可以较明显地看出拉伸时

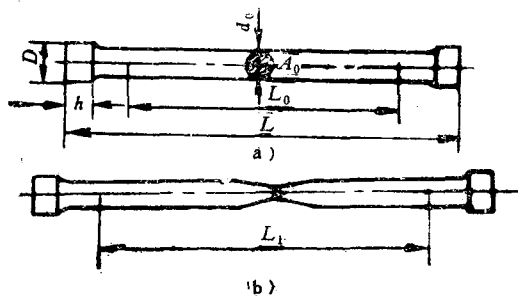


图1-1 钢的标准拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉断后

的几个阶段：

当作用在试样上的外力不超过 p 点，外力与伸长量成正比关系；当外力去除后，试样能恢复到原来的形状和尺寸。 p 点称为材料的比例极限。

当外力超过 p 点，但不大于 e 点时，试样的伸长就不再与外力成正比关系了，但当外力去除后，材料的变形还会消失，这种随着外力的

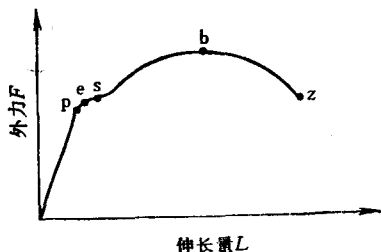


图1-2 低碳钢的拉伸曲线图

作用而产生，当外力去除后又能消失的变形，称为弹性变形，说明这时材料还处于弹性变形阶段。

当外力超过 e 点，试样产生的变形在外力去除后有部分不能消失，这种不能随着外力的去除而消失的变形，称为塑性变形。

当外力增至 s 点，出现了一个小的水平线段，表示这时外力不增加，试样仍继续伸长，这种现象称为屈服现象， s 点称为材料的屈服点。

外力超过 s 点，由于材料发生大量的塑性变形，内部结构产生变化，出现了加工硬化现象，要使金属变形就必须继续增加外力。到达 b 点，试样的直径开始产生收缩，称为缩颈现象。这时，由于试样的截面积逐渐减小，变形所需的外力也逐渐降低，直至 z 点发生断裂。

单位面积上材料的抗力，称为应力。一般常用应力的表示材料来求材料的强度。例如：

(1) 抗拉强度 是指试样在拉断前所能承受的最大应力, 用符号 σ_b 表示。其计算公式如下:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中 F_b ——试样承受的最大拉伸载荷 (N);

A_0 ——试样的原始截面积 (mm^2)。

(2) 屈服点 试样产生屈服现象时的应力, 用符号 σ_s 表示。其计算公式如下:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{N/mm}^2)$$

式中 F_s ——试样产生屈服时的载荷 (N);

A_0 ——试样的原始截面积 (mm^2)。

σ_b 和 σ_s 的值越大, 表示材料的抗拉强度和屈服极限越高。

2. 塑性 金属在外力作用下能产生显著的变形, 但又不破裂的性能, 称为材料的塑性。衡量金属的塑性, 常用以下两个指标:

(1) 延伸率 (伸长率) 延伸率是指试样拉断后标距的增量与原标距长度之比值的百分率, 用符号 δ 表示:

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

式中 L_0 ——试样的原标距长度 (mm);

L_1 ——试样拉断后的标距长度 (mm)。

(2) 断面收缩率 是试样受拉力断裂后, 其截面的缩量与原截面之比的百分率, 用符号 φ 表示:

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

式中 A_0 ——拉伸前试样的截面积 (mm^2);

A_1 ——试样断裂后细颈处的最小截面积 (mm^2)。

延伸率和断面收缩率越大,说明材料的塑性越好。

3. 硬度 金属抵抗其他更硬物体压入自己表面的能力称为硬度。对于工具、模具以及需要高耐磨性的零件来说,硬度具有特别重要的意义。金属的硬度,可以通过硬度计来测得。测定硬度的方法很多,常用的方法有布氏 (HBS或HBW)、洛氏 (HR) 和维氏 (HV) 等。

(1) 布氏硬度 布氏硬度试验是采用一定直径的淬火钢球 (或硬质合金球), 在一定压力 F 作用下, 压入金属的表面, 得到一个凹陷的压痕, 其面积为 A 。压痕的单位面积上所受到的平均压力, 就是材料的布氏硬度值, 用符号 HBS (或 HBW) 来表示。

$$\text{HBS (HBW)} = F/A$$

HBS (HBW) 值越大, 表明金属的硬度越高。

由于布氏硬度试验是用淬火钢球或硬质合金球作压头, 如果被试验的金属硬度过高, 会使球体本身发生变形, 影响硬度的准确性, 所以主要应用于测定较软 ($\text{HBS} < 450$) 的金属, 例如灰铸铁、有色金属等。

因为硬度是反映金属局部塑性变形的抗力, 所以它和强度之间有一定的关系。一般认为

$$\sigma_s \approx k\text{HBS (HBW)}$$

式中 k ——常数。对于低碳钢, $k = 0.36$; 对于高碳钢, $k = 0.34$ 。

所以, 根据金属的硬度也可以大致了解金属的强度。

(2) 洛氏硬度 洛氏硬度计也是利用一定的压力, 将一个直径为 1.588mm 的钢球或一个用金刚石制成的 120° 圆锥体, 压入试件表面, 来测定金属硬度的。不过它不是根据

压痕面积的大小，而是根据压痕的深度来计算硬度的。压痕越深，金属硬度越低；反之，则硬度越高。它的硬度值，可以从硬度计的刻度盘上直接读出。

由于被测金属的硬度不同，所以洛氏硬度计所采用的压力或压头也不同。可以分为3种，其符号分别为HRA、HRB、HRC。

洛氏硬度试验的优点是操作简单迅速，压痕小，并可直接从刻度盘上读出硬度值。缺点是压痕较小，当材料组织不均匀时，会使测量值不十分精确。洛氏硬度的数值没有单位，它和布氏硬度值大致有如下的关系：

$$HRC \approx \frac{1}{10} HBS (HBW)$$

(3) 维氏硬度 维氏硬度试验的测试原理基本上和布氏硬度试验相同，也是以压痕的单位表面积上所受到的压力来表示的，用符号HV来表示。

各种硬度的应用说明如表1-1所示。

表1-1 各种硬度的应用说明

硬度名称	代号	应用说明
布氏硬度	HBS或HBW	主要用于检验铸件、锻件、有色金属制件、热轧及退火件的硬度。布氏硬度值大于450HBS时用钢球压头是不适宜的，而应采用碳化钨压头
洛氏硬度	HRA	用600N载荷和圆锥形金钢石头求得的硬度。主要用于检验硬质合金、氮化钢等高硬度试件。HRA常用值在70~86.6
	HRB	用1000N载荷和钢球压头求得的硬度。主要用于检验退火钢、软钢的硬度
	HRC	用1500N载荷和圆锥形金钢石头求得的硬度。主要用于检验淬火钢的硬度

(续)

硬度名称	代号	应用说明
维氏硬度	HV	用相对两面成136°的金刚石正四棱锥压头，在规定的载荷作用下，压入被测金属表面，硬度值用单位压痕面积上所受的壓力来表示。因载荷小，主要用于测量薄钢件、表面渗碳、氮化等钢件的硬度

4. 冲击韧性 金属抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性。它是用冲击试样在断裂时单位截面积上所消耗的功来表示的，用符号 a_K 来表示：

$$a_K = J/A_0 \text{ (J/cm}^2\text{)}$$

式中 J ——为折断试样所消耗的冲击功(J)；

A_0 ——试样断裂处的截面积 (cm^2)。

一些受冲击作用的零件和工具，例如风铲、冲模、锤杆等，常要求材料有较高的冲击韧性。

5. 疲劳强度 大多数的机器零件是在交变应力的作用下工作的，例如，轴类零件，在它的截面上，一侧受压应力，另一侧受拉应力；转过半周后，原来受压应力的一侧则变为受拉应力，原来受拉应力的一侧变为受压应力。轴在不断旋转时，金属受到的就是大小和方向作周期性改变的载荷。金属在小于抗拉强度以下的重复交变应力作用下发生断裂的现象，称为金属的疲劳强度。

金属在长时间内经受重复交变载荷作用下，不致引起断裂的最大应力，称为疲劳强度或疲劳极限。一般规定，钢在经受 $10^6 \sim 10^7$ 次、有色金属经受 $10^7 \sim 10^8$ 次交变载荷作用时不产生破裂的最大应力，为它们的疲劳强度，用符号 σ_{-1} 表示。

金属的疲劳强度和某些机器零件的使用寿命有着重要的

关系，对于一些重要机器零件的设计，金属的疲劳强度是一个不能忽视的因素。

§ 1.2 金属的结构与结晶

不同的金属材料具有不同的性能。

影响金属材料性能的第一个因素，是金属材料的成分。不同的金属，具有不同的性能。例如，铜的导电性就比铁好，但铜是非磁性金属，而铁则具有铁磁性。当金属含有不同的其他元素或虽然含有同一元素，但元素的含量不同时，它们的性能也不一样。例如，铁中的含碳量小于2.11%时称为“钢”；当含碳量超过2.11%时，就成为铸铁。钢和铸铁的性能就有显著的不同。因此，成分不同的金属材料，它的性能也不一样。

影响金属材料性能的第二个因素，是金属材料的内部结构与组织。金属材料的成分不同，则其内部的结构与组织也不同。但即使成分相同的金属，在受到某些冷、热加工方法（例如热处理等）的作用时，它们的组织与结构也会不同，从而其性能也将发生改变。

一、金属的结晶构造

固态物质按照它们的原子排列特征，可以分成晶体和非晶体两大类。非晶体类物质的原子都呈不规则排列，例如玻璃、橡胶等。因此，在非晶体的任一方向所测出的各项性能都是相同的，这种现象称为各向同性。而晶体其内部的原子则是按照一定的规律排列起来的，在不同的方向上它的各项性能有着明显的不同，这种现象称为各向异性。所有的固态金属及合金都是晶体。

金属结晶体的原子都按照一定的几何形状排列成为空间

晶格，如图1-3所示。这个空间晶格的基本组成单位，称为晶胞或单位晶格。常见的金属晶格有下面两种，

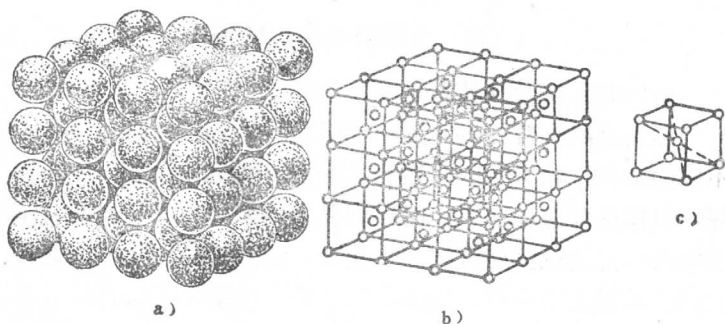


图1-3 晶体晶格示意图

a) 晶体中原子的排列 b) 晶格 c) 晶胞

1. 体心立方晶格 如图1-4 a，它的晶胞是由8个原子构成1个立方体，在立方体的中心还有1个原子。例如铬、钨、 α -铁等金属的晶体，都属于这种晶格。

2. 面心立方晶格 如图1-4 b，它的晶胞是由8个原子构成1个立方体，在立方体的每一个面的中心还有1个原子。例如铝、铜、 γ -铁等金属的晶体，就是这种晶格。

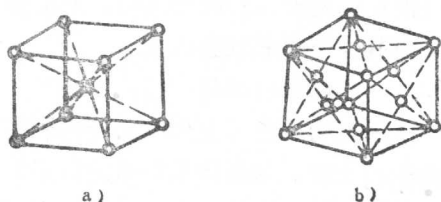


图1-4 常见金属晶格的类型

a) 体心立方晶格 b) 面心立方晶格

二、金属的结晶

金属由液体转变为固体的凝固过程称为结晶。

金属的结晶过程也就是凝固过程，它是由两个基本过程