

高等学校试用教材

金属工艺学

下 册

讲 课 部 分

南京工学院金属工艺学教研组编

陈毓龙 主编

高等教育出版社

高等学校试用教材

金属工艺学

下 册

讲 课 部 分

南京工学院金属工艺学教研组编
陈毓龙 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书系根据1980年5月审订的高等工业学校四年制非机械类专业试用的《金属工艺学教学大纲》(草案),在南京工学院金属工艺学教研组编的《金属工艺学》(1965年修订本)的基础上修改而成。

本书分上、下两册出版。上册为实习部分,适用于教学实习为3-4周的专业;下册为讲课部分,适用于课堂教学为40学时的专业。

上册内容包括铸工实习、锻压实习、焊工实习、钳工实习、机工(包括车工、刨工、铣工和磨工)实习。

下册内容包括金属材料及热处理、铸造、压力加工、焊接、金属切削加工等五章。

本书上册由冯铁强主编,下册由陈毓龙主编。

本书由同济大学钱增新、中南矿冶学院卢达志两位同志审阅,并经教育部金属工艺学教材编审小组复审通过。

本书主要作为高等工业院校非机械类专业金属工艺学课程的教材,也可供厂办工科大学及有关工人和工程技术人员参考。

高等学校试用教材

金属工艺学

下 册

讲课部分

南京工学院金属工艺学教研组编

陈毓龙 主编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

文字六〇三厂印装

开本 850×1168 1/32 印张 7.625 字数 180,000

1961年5月第1版 1981年1月第3版

1991年3月第11次印装

印数 218 071—225 422

ISBN 7-04-001499-8/TH·67

定价 2.45 元

目 录

第一章 金属材料及热处理	1
§ 1 金属与合金的性能	1
一 机械性能	1
二 物理性能和化学性能	8
三 工艺性能	9
§ 2 金属的晶体构造与结晶	10
一 金属的晶体构造	10
二 金属的结晶	12
三 同素异晶转变	13
§ 3 合金的构造与状态图	15
一 合金的构造与种类	15
二 二元合金状态图的构成与分析	18
§ 4 铁碳合金状态图	21
一 铁碳合金状态图中各组元和相的性能	22
二 铁碳合金状态图的分析	23
§ 5 钢的热处理	31
一 钢的退火和正火	32
二 钢的淬火和回火	35
三 钢的表面热处理	41
§ 6 碳钢	44
一 碳及杂质对钢性能的影响	45
二 碳钢的分类、牌号和用途	47
§ 7 合金钢	51
一 合金元素在钢中的作用	51
二 合金钢的种类与编号	53
§ 8 铸铁	58
一 铸铁的石墨化及其影响因素	59
二 灰口铸铁的组织 and 性能	60
三 孕育铸铁	62
四 可锻铸铁	63

五 球墨铸铁·····	64
六 合金铸铁·····	65
§ 9 有色金属及其合金·····	65
一 铜及铜合金·····	66
二 铝及铝合金·····	71
三 镍及镍合金·····	74
四 滑动轴承合金·····	75
五 粉末冶金简介·····	78
第二章 铸造·····	80
§ 1 砂型铸造·····	80
一 造型·····	80
二 铸造合金的熔铸特点·····	82
三 砂型铸造铸件的清理及缺陷分析·····	87
§ 2 特种铸造·····	87
一 金属型铸造·····	88
二 压力铸造·····	89
三 熔模铸造·····	90
四 离心铸造·····	92
五 各种铸造方法的比较·····	93
§ 3 合金的铸造性能·····	93
一 合金的流动性·····	94
二 合金的收缩性·····	95
§ 4 铸件的结构工艺性·····	97
一 铸件的外形轮廓·····	97
二 铸件的内腔·····	99
三 铸件的壁厚·····	99
四 结构斜度·····	102
第三章 压力加工·····	104
§ 1 金属塑性变形及可锻性的概念·····	106
一 金属的塑性变形·····	106
二 金属的可锻性·····	107
三 金属的冷变形和热变形·····	107
§ 2 金属的加热·····	110
§ 3 自由锻造·····	113

一	自由锻造的基本工序	113
二	典型锻件工艺举例	115
三	自由锻锻件结构工艺性	115
§ 4	模型锻造概念	119
§ 5	薄板冲压	121
一	冲压基本工序	122
二	冲压件的结构工艺性	124
§ 6	轧制、挤压生产零件的概念	126
一	轧制	127
二	挤压	128
第四章	焊接	131
§ 1	电弧焊	132
一	埋弧自动焊	132
二	气体保护电弧焊	134
§ 2	其他焊接方法	137
一	电阻焊	137
二	钎接	140
§ 3	金属的切割	141
一	氧熔剂切割	142
二	等离子弧切割	142
§ 4	常用金属材料的焊接	144
一	金属材料的可焊性概念	144
二	焊接接头组织	144
三	常用金属材料的焊接特点	146
四	焊接应力与变形概念	150
五	焊缝缺陷检验	151
§ 5	焊件结构工艺性	152
第五章	金属切削加工	156
§ 1	金属切削基础知识	156
一	切削运动和切削用量	156
二	车刀的几何形状和刀具材料	158
三	金属切削加工过程	163
四	工件材料的可切削性	168

五 零件的加工精度和表面光洁度	169
§ 2 车削加工	171
一 普通车床	171
二 车削基本工艺	179
三 其他车床	186
§ 3 钻镗加工	192
一 钻头 and 钻削特点	192
二 钻床	195
三 钻削基本工艺	196
四 镗床及其工作	198
§ 4 刨削、插削和拉削加工	201
一 刨削加工	201
二 拉削加工概念	205
§ 5 铣削加工	207
一 铣刀及铣削用量	207
二 铣床	209
三 铣削加工工艺	210
§ 6 磨削加工	212
一 砂轮的特性及选择	213
二 磨床及其加工范围	216
§ 7 特种加工	219
一 电火花加工	219
二 超声波加工	221
三 激光打孔	222
§ 8 零件表面加工方法和机械加工工艺过程	224
一 零件表面的加工	224
二 零件机械加工工艺过程的概念	227
三 零件结构的切削加工工艺性	231
§ 9 毛坯和加工方法的选择	235
一 选坯	236
二 齿坯加工	237
三 齿形加工	237

第一章 金属材料及热处理

现代工业、农业、国防和科学技术都离不开金属材料，而且这些部门中金属材料所占的比重也相当大。金属材料之所以如此广泛的应用，是因为它具有良好的物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能。

金属材料及热处理的主要内容是研究金属及合金（合金是由两种或两种以上的金属或金属与非金属元素相互熔合而成）的性能、成分、组织及其相互关系的变化规律，以及如何改善金属与合金的组织 and 性能。只有掌握了金属材料的组织和性能，才能合理地选用材料，以充分发挥材料的潜力，延长其使用寿命，并降低成本。此外，为了正确地制定铸造、压力加工、焊接和切削加工等工艺规程，以提高产品的质量和产量，也必须了解金属材料的知识。

§ 1 金属与合金的性能

金属及合金的性能包括机械、物理、化学和工艺性能。

一 机械性能

金属的机械性能是指金属材料在外力作用下表现出来的特性，如强度、硬度、弹性、塑性、韧性等。

（一）强度

强度是指金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。

材料的强度越高，所能承受的外力也越大。按照外力作用的性质不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度和抗弯强度等。工程上常用来表示金属材料强度的是抗拉强度。

为了测定金属材料的抗拉强度，广泛地采用拉伸试验。首先将被测金属材料作成标准试棒(如图 1-1, a), 把它装夹在拉力试验

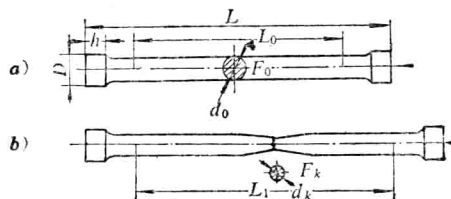


图 1-1 拉伸试棒

机上, 并缓慢地对试棒施加载荷(外力), 使试棒受轴向拉力。随着拉力的增加, 试棒逐渐变形伸长, 直至拉断为止。在拉伸过程中, 试验机自动记录了每一瞬间的载荷 P 和变形量(伸长量) ΔL , 并绘出它们之间的关系曲线(图 1-2), 通常称为拉伸曲线。

拉伸曲线中, OE 是直线, 即外力不超过 P_e 时, 外力与变形成正比。这时试棒只产生弹性变形, 当外力去除后, 试棒将恢复到原来的长度。

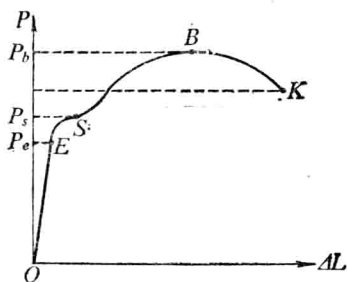


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

过 E 点后, 即外力超过 P_e 时, 试棒除发生弹性变形外, 还发生部分塑性变形(永久变形)。此时外力去掉后, 试棒不完全恢复到原有的长度(弹性变形部分消失, 塑性变形部分保留)。如继续增加拉力超过 P_s 后, 虽然外力不再增加, 但试棒继续伸长, 这种现象称为“屈服”。屈服后试棒开始产生明显的塑性变形。

外力继续增加到最大值 P_b 后, 试棒某一部分开始变细, 出现了“缩颈”, 如图 1-1, b) 所示。以后变形集中在缩颈附近。由于截面缩小, 为了继续变形所需的外力下降。外力达到 P_k 时, 试棒在

缩颈处断裂。

根据拉伸曲线可以求得材料的强度指标。而为了进行比较,强度指标通常以应力的形式来表示。当材料受外力作用时,其内部也产生了抵抗力,单位横截面积上的抵抗力就称为应力,以 σ (MPa)①表示,

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ MPa}$$

式中 P ——外力(N);

F ——横截面积(mm^2)。

常用的强度指标有弹性极限、屈服极限和强度极限。

1. 弹性极限 材料能保持弹性变形时的最大应力,以 σ_e 表示。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \text{ MPa}$$

式中 P_e ——弹性极限载荷(N);

F_0 ——试棒原始截面积(mm^2)。

2. 屈服极限(屈服强度) 材料开始产生屈服时的应力,以 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ MPa}$$

式中 P_s ——屈服极限载荷(N)。

除低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外,大多数金属材料没有明显的屈服点,因此对这些材料,规定以产生0.2%塑性变形时的应力作为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

屈服强度是最重要的机械性能指标之一,是绝大多数零件设

① MPa(兆帕)和Pa(帕)是国际单位制的应力单位,而我国材料手册目前还是应用工程单位制,其应力单位为 kgf/mm^2 (公斤力/毫米²)。二者的关系:

$$1\text{kgf}/\text{mm}^2 \approx 10\text{MPa} = 10^7\text{Pa}$$

N(牛顿,简称牛)是国际单位制力的单位。

计时的依据。

脆性材料(如灰口铸铁)拉伸时几乎不发生塑性变形,它不仅没有屈服现象,也不产生缩颈,断裂是突然发生的,最大载荷即是断裂载荷。

3. 强度极限(抗拉强度) 材料能承受最大载荷时的应力,以 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ MPa}$$

式中 P_b ——最大载荷(N);

抗拉强度也是材料的主要机械性能指标,是设计和选材的主要依据之一。

(二) 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力。塑性指标用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

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

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} 100\%$$

式中 L_0 ——试棒的原始长度(mm);

L_1 ——试棒拉断后的长度(mm);

F_0 ——试棒原始截面积(mm²);

F_k ——试棒拉断后断口处的截面积(mm²)。

δ 、 ψ 愈大,表示材料的塑性愈好。良好的塑性是顺利地进行压力加工的重要条件,机器零件也必须具有一定的塑性。

(三) 刚度与弹性模数

材料抵抗弹性变形的能力叫做刚度,刚度的大小由弹性变形范围内应力与应变(应变是指单位长度的变形量)的比值——弹性模数 E 来表示。它相当于引起单位变形时所需之应力。 E 在拉伸

曲线上表现为 OE 的斜率。 E 愈大,就表明在一定的应力作用下产生的弹性变形愈小,亦即刚度愈大。

一般零件在使用过程中均处于弹性变形状态。对于要求弹性变形小的零件,如柴油机曲轴、精密机床的主轴等,应选用刚度大的材料,即弹性模数 E 大的材料。室温下的 E 在 $190\sim 220\text{GPa}$ ①之间,并随温度升高而降低。

(四) 冲击韧性

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性,简称韧性。

不少机器零件在工作时要承受冲击载荷,如火车挂钩、锻锤的锤头和锤杆,冲床的连杆和曲轴,锻模,冲模等。对于这些零件,如果仍用强度极限这样静载荷作用下的指标来进行设计计算,就不能保证零件工作时的安全性,必须根据材料的韧性来设计。

由于冲击载荷是一个能量,所以韧性指标是以材料受冲击破坏时单位面积上所消耗的能量来表示的。目前工程上通常用摆锤冲击试验来测定金属材料的韧性。其原理如图1-3, c)所示。

将被测材料按标准尺寸做成试样(图1-3, a), 安放在冲击试验机上,把具有一定重量的摆锤带到高度 H_1 (此时摆锤位能为 GH_1),然后使其下落,冲断试样,摆锤冲断试样后剩余的能量为 GH_2 ,摆锤对试样所做的功 $A_k = G(H_1 - H_2) \text{ J}$ ②。 A_k 除以试样缺口处的截面积 $F(\text{cm}^2)$,即得冲击韧性 α_k 。

$$\alpha_k = \frac{A_k}{F} \text{ J/cm}^2$$

(五) 硬度

材料抵抗硬物体压入其表面的能力称为硬度。常用的硬度试

① $1\text{GPa}(\text{吉帕}) = 10^9\text{Pa}$

② $\text{J}(\text{焦})$ 是国际单位制的功的单位,与工程单位制的关系为

$$1\text{kgf}\cdot\text{m} = 10\text{N}\cdot\text{m} = 10\text{J}$$

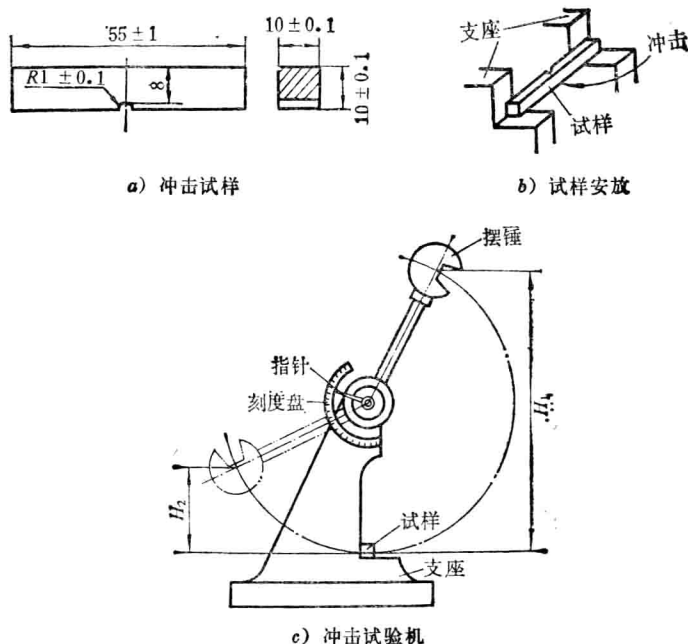


图 1-3 摆锤冲击试验示意图

验方法有布氏硬度试验和洛氏硬度试验两种。

1. 布氏硬度试验 布氏硬度试验是以一定的载荷 P , 把直径为 D 的淬火钢球压入被测金属表面 (图 1-4), 然后用压痕的面积除以 P 所得的商作为硬度的指标, 以符号 HB 表示。由于 P 和 D 都是定值, 所以一般是先测得压痕的直径 d 。根据 d 查表确定 HB 的值。

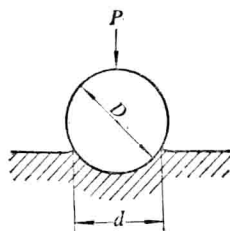


图 1-4 布氏硬度试验示意图

布氏硬度试验比较准确, 但不能测太薄的试样和高硬度 ($HB > 450$) 的材料。

2. 洛氏硬度试验 洛氏硬度试验是用一定的载荷将顶角为 120° 的金刚钻锥体或 $\phi 1.588\text{mm}$ 的钢球压入试样, 然后根据压痕的深度确定硬度值。实际上洛氏硬度值可从硬度计刻度盘上的指针指示出来, 而无需测量压痕深度。

为了用一种硬度计来测量从软到硬的金属材料的硬度, 采用了不同的洛氏硬度标度。分别以 HRA (用金刚钻锥体作压头、载荷为 600N)、HRB (用钢球作压头, 载荷为 1000N)、HRC (用金刚钻锥体作压头, 载荷为 1500N) 来表示。

洛氏硬度试验测量简单、迅速, 可测薄试样和硬材料, 但不及布氏硬度试验准确。

硬度也是重要的机械性能指标, 它影响到材料的耐磨性。一般说来, 硬度高, 耐磨性也好。

硬度和强度一样, 都反映了材料对塑性变形的抗力, 因此, 强度愈高, 硬度也愈高。

由于生产的需要, 通过实验, 找出了一些材料的布氏硬度 HB 和强度极限 σ_b 之间的近似关系。例如, 对于普通碳素钢、普通低合金钢和调质结构钢, 其近似关系为: $\sigma_b \approx 0.35\text{HB}$ 。这就可以根据 HB 粗略地估计出材料的 σ_b 。

由于硬度测定简单易行, 而且不破坏零件。因此, 根据上述估算, 就可用硬度来检查热处理零件的机械性能。

(六) 蠕变强度

蠕变就是慢慢变形的意思, 在工程上是指材料在不变的载荷下, 变形量随时间而缓慢增加的现象。

不少机器零件, 如汽轮机、燃汽轮机、锅炉中的某些零件等是在高温下工作的。金属在高温下工作时, 虽然所受的应力远比屈服极限 σ_s 为低, 但也能产生连续的塑性变形, 即蠕变。蠕变后, 零件的形状和尺寸均发生变化, 使其在破坏之前即不能使用。所以在

高温下工作的零件,必须考虑其蠕变强度。

蠕变强度是指在给定的温度下,在规定的时间内(如100,000小时)内,使试样产生的蠕变变形量不超过规定值(如1%)时的最大应力。升高温度将大大降低材料的蠕变强度。

普通钢在350°C以上就能观察到蠕变现象。在400°C时蠕变强度为800MPa,在500°C时降为200MPa。而制造叶片的耐热钢1Cr11MoV在550°C时的蠕变强度为630MPa。

温度、时间和变形量的数值根据零件的工作条件来规定。

(七) 疲劳强度

有些零件在工作过程中受到方向、大小反复变化的交变应力的作用,如轴、弹簧等,其表面反复经受拉和压,在这种交变应力的长期作用下,零件会在远小于强度极限 σ_s ,甚至在小于屈服极限 σ_s 的应力下断裂,这种断裂叫做疲劳断裂。疲劳断裂与静载下的断裂不同,无论是塑性材料还是脆性材料,断裂时都不产生明显的塑性变形,而是突然发生的,因此具有很大的危险性。根据统计,在承受交变应力作用的零件中,大部分是由于疲劳而损坏,必须引起足够的重视。

疲劳强度是指材料经受 N 次应力循环而不断裂时的最大应力。即材料承受的应力低于疲劳强度时,则可能经受无限次应力循环而不断裂。实践证明,对钢铁材料来说,如 N 达 10^7 次,零件仍不断裂,就可认为能经受无限次应力循环而不再断裂。对于有色金属, $N=10^8$ 次。当应力循环对称时,疲劳强度以 σ_{-1} 表示。

二 物理性能和化学性能

金属的物理性能如比重、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。化学性能这里主要是指耐腐蚀性。

比重 对于汽车、飞机等交通工具来说,为了减轻自重,需要采用比重小的材料。柴油机活塞为了减少因惯性而消耗的功率,

也需要采用比重小的材料(如铝合金)来制造。

熔点 熔点低的金属可用来制造焊锡、保险丝等,而高熔点的合金则用来制造耐热零件。熔点对于铸造、焊接工艺也有很大的影响。

热膨胀性 柴油机气缸中,既要允许活塞在气缸套内自由往复运动,又要保证气密性,因此活塞和气缸套材料的膨胀性要相近。在电子管中,为了保证金属与玻璃,金属与陶瓷封接后管子有良好的气密性,则金属与玻璃或与陶瓷的膨胀系数要相近。

导热性 制造散热器、热交换器和活塞等要选用导热性好的材料。导热性对热加工工艺也有影响。如铜及铜合金由于导热性高,焊接时必须采用热量集中的强热源或进行焊前预热。

导电性和磁性 它们是制造电机、无线电元件、电真空器件的材料的重要性能。

耐蚀性 金属及合金对周围介质,如大气、水汽及各种电解质侵蚀的抵抗能力叫做耐蚀性。每年因腐蚀而损失的合金十分可观。因此防止腐蚀对于节约金属具有重大的意义。除了用油漆、电镀等方法防蚀外,也可以在钢中加入合金元素制成不锈钢以提高耐蚀性。

耐磨性 耐磨性是指材料在工作过程中承受磨损的耐久程度。很多机器零件因磨损而使性能下降。如机床因磨损而失去原有的精度。因此,磨损影响机器的寿命。材料的耐磨性与硬度、表面光洁度、摩擦系数、载荷大小和运动速度等因素有关。如前所述,为了提高材料的耐磨性,必须提高其硬度。用热处理或在钢中加入合金元素的方法可提高其硬度。

三 工艺性能

制造零件时,金属材料要经过铸造、压力加工、焊接及切削加工等工艺过程,它能否适应这些加工工艺的要求,以及适应的程度

如何,是决定它能否进行加工或如何进行加工的重要因素。工艺性能就是指金属材料能够适应加工工艺要求的能力。按工艺方法不同有可铸性、可锻性、可焊性、可切削性等。工艺性能往往是由物理性能、化学性能、机械性能综合作用所决定的,不能单用一个物理参数来表示。这些性能将在以后各章分别加以叙述。

§ 2 金属的晶体构造与结晶

一 金属的晶体构造

一切固态物质按其构造可分为晶体和非晶体两类。晶体的特点是组成晶体的基本质点——原子(分子或离子)在空间作有规律的排列。相反,非晶体内的原子是无次序的、紊乱的。玻璃、沥青、松香等都是非晶体,而所有的固态金属都是晶体。

晶体中原子按一定规则排列出的几何图形称为空间格子或晶格,如图 1-5, b) 所示。一种晶格反映出一定的排列规律。为研究方便,通常是取晶格的一个基本单元——晶胞(图 1-5, c) 来描述晶体的结晶构造。晶胞在空间堆砌后就构成晶格。晶格中原子间的连线是假想的,实际情况如图 1-5, a) 所示。

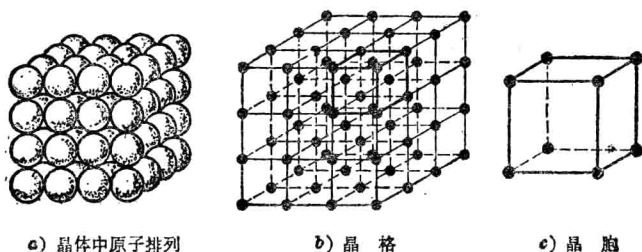


图 1-5 晶格与晶胞示意图

金属的晶体构造类型很多,最常见的为以下两种:

1) 体心立方晶格 如图 1-6, a) 所示。其晶胞是一个立方体,原子排列于立方体的各节点上和立方体的中心。具有这种晶格的