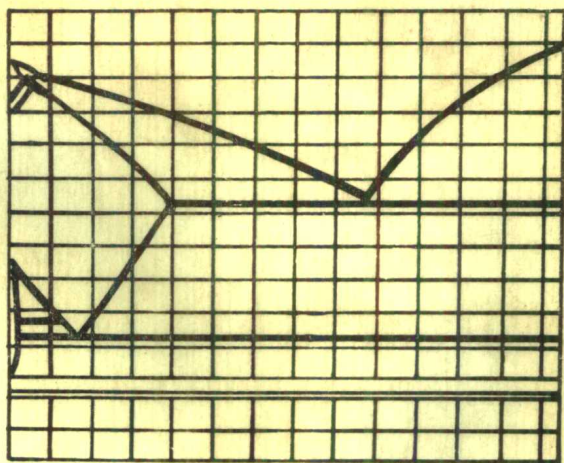
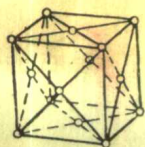


工人技术 教育读本

热处理工

上海市第一机电工业局《读本》编审委员会编



机械工业出版社

工人技术教育读本

热处理工

(修订本)

上海市第一机电工业局《读本》编审委员会 编



机械工业出版社

本书是根据原第一机械工业部颁发的《工人技术等级标准》二至三级机械工人的应知应会进行编写的。内容包括金属材料基础知识、铁碳合金、钢的热处理工艺基础知识、钢的表面热处理、合金钢的热处理、铸铁的热处理以及热处理加热炉和测温仪表等。每章末都有复习题,书末还附有参考试题,供学员总复习和教学者出题之用。

本书可作为技术工人短期培训教材及青工自学用书,也可作为技工学校教学参考书。

原参加本书编写的有:张学高、顾应安、杨典南、赵长清、贺培明等同志。参加本书修订的有顾应安、宋永祚、林约利同志。乐如方、蒋大麟、杨承杰同志参加审稿。

热 处 理 工

上海市第一机电工业局《课本》编审委员会 编

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证出字第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787×1092 1/32·印张12 1/4·字数270千字

1973年9月北京第一版

1985年12月北京第二版·1985年12月北京第六次印刷

印数574,251—630,250·定价1.95元

统一书号: 15033·4186

修 订 说 明

一九七二年，我局组织编写了一套《工人技术教育读本》（简称《读本》）。《读本》的出版，给具有初中文化程度、进厂三至五年的青年工人提供一套自学用书，以后又分别被选作技工学校、在职青工短训班和职工学校的教科书。据统计，这套《读本》已累计发行了一千四百余万册，为普及初级技术教育起了积极的推动作用。

党的十二大提出的开创社会主义建设新局面和发展国民经济宏伟目标，要求机械工业用先进的技术装备武装国民经济各部门。为了完成这一任务，必须培养和造就一支具有社会主义觉悟和较高文化水平的工人队伍，才能适应机械工业上质量，上品种，上水平，提高经济效益的要求。要提高工人队伍的素质，就必须在加强思想政治建设的同时，注重提高工人文化技术水平，才能掌握先进的技术，先进的工艺，生产出先进的产品。

在新的形势下，广大读者迫切要求再版和重印这套书。但考虑到这套《读本》出版已多年，随着科学技术的发展，新材料、新技术、新设备、新工艺的日新月异，因此原《读本》的某些技术内容已陈旧过时，有必要作一次全面的修订。为此，我们从一九八二年十月起开始组织修订工作。

为了保持和发扬这套《读本》文字精炼，通俗易懂，结合实例，学以致用特点，做到承前启后。因此，除邀请原《读本》的部分原编者参加编写外，还增选从事职工教育的教师和工

程技术人员参加《读本》的修订和审稿工作，对原《读本》存在的不足之处，作了较大的修订和补充。经过修订后，除《机电数学》不再出版外，还增编了《焊工》和《机械制图习题集》。现在出版的技术基础课有：《机械基础》、《机械制图》、《机械制图习题集》；专业课有：《车工》、《钳工》、《刨工》、《铣工》、《磨工》、《电工》、《焊工》、《铸工》、《锻工》、《热处理工》共十三本。

我们希望经过修订后的这套《读本》，力求做到：篇幅适宜，内容实用，文理通顺，公式准确，图稿清晰。并通过典型零件的剖析和小改小革方法的启示，帮助读者掌握基本的操作技能和提高解决生产中实际问题的能力。为了帮助读者巩固和加深对课文内容的理解，每章后附有复习题，全书后面还附有参考试题。

这套《读本》可作为技术工人短期培训教材及青工自学用书，也可作为技工学校教学参考用书。

在修订过程中，得到了各承担单位及原编者的大力支持，以及全体编审人员的共同努力，修订工作已告顺利完成，在此表示衷心感谢。但是，由于编写时间仓促，调查研究，搜集资料还做得不够，加上编审人员水平有限，在内容上可能还存在不够确切、完整、甚至错误的地方，热诚地欢迎广大读者提出批评意见。

上海市第一机电工业局
《工人技术教育读本》编审委员会
一九八四年五月

目 录

第一章 金属材料的基础知识	1
第一节 金属材料的分类	1
第二节 金属材料的机械性能	2
第三节 金属材料的晶体结构	16
第四节 金属的结晶过程	20
第五节 金属内部组织的常用检验方法	26
复习题	30
第二章 铁碳合金	31
第一节 纯铁的同素异构转变	31
第二节 铁碳合金中的基本组织及其性能	33
第三节 $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$ 状态图	42
第四节 碳钢的分类和编号	58
第五节 钢的火花鉴别	63
复习题	78
第三章 钢的热处理工艺基础知识	79
第一节 钢的加热	79
第二节 钢在冷却时的组织转变	92
第三节 钢的退火和正火	109
第四节 钢的淬火	117
第五节 钢的回火	147
复习题	159
第四章 钢的表面热处理	161
第一节 表面淬火	161
第二节 化学热处理	176
复习题	220

第五章 合金钢的热处理	222
第一节 合金元素在钢中的作用	222
第二节 结构钢的热处理	230
第三节 工具钢的热处理	245
第四节 不锈钢的热处理	276
复习题	280
第六章 铸铁的热处理	282
第一节 铸铁概论	282
第二节 铸铁热处理的特点与目的	286
第三节 灰口铸铁的热处理	288
第四节 可锻铸铁的热处理	294
第五节 球墨铸铁的热处理	296
复习题	302
第七章 热处理加热炉和测温仪表	303
第一节 加热炉概述	303
第二节 燃料炉	304
第三节 电阻炉	307
第四节 盐浴炉	316
第五节 可控气氛热处理炉	333
第六节 热处理测温仪表	338
复习题	361
附录	362
参考试题	376

第一章 金属材料的基础知识

第一节 金属材料的分类

一、金属与合金

在已知的一百多种化学元素中,大约有四分之三是金属。人们通常是根据物理特性来区分金属与非金属的。金属一般都具有光泽、良好的导电性和导热性以及可塑性,但并非所有的金属都能同时具备上述特征,例如,金属锑的可塑性和金属钠的导电性就和非金属相差无几。金属与非金属的最大区别是在于金属具有电阻随着温度的升高而增大的物理特性。

由两种以上(其中至少有一种是金属)的元素所组成的具有金属性质的物质称为合金。机械制造业中用得最多的钢和生铁就是铁和碳所组成的合金。

二、金属材料

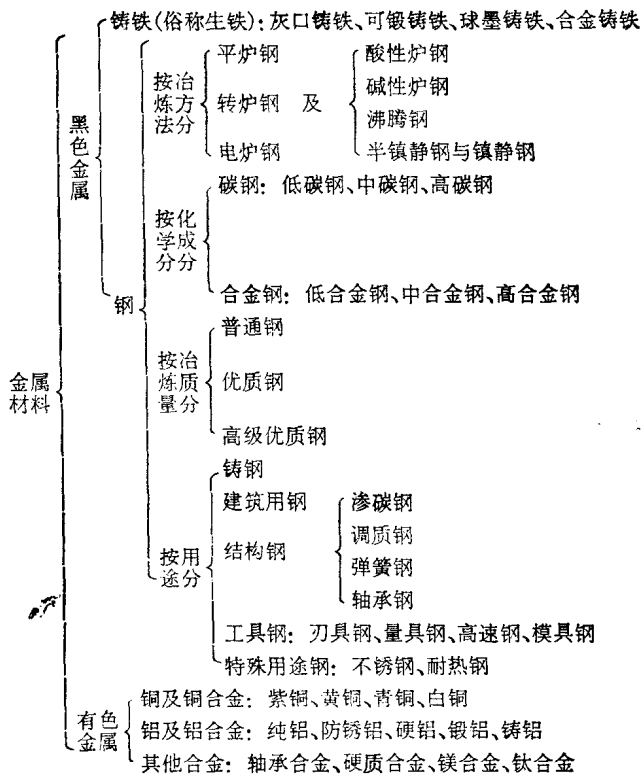
纯金属和合金统称为金属材料。与其他材料相比,金属材料能承受更大的外力;能根据需要通过切削加工、压力加工、铸造、焊接等多种手段加工成不同形状或性能的零件和构件;能通过热处理方法改善其性能;而且还具有某些如不生锈、有磁性……等特殊的物理、化学性能。正是因为金属材料具有这些其他材料所不具备的特有优点,所以,不仅在现代工农业生产中占有极重要的地位,而且在日常生活中也得到了广泛的应用,尤其在机械制造业中应用得更多。

三、金属材料的分类

工业用金属材料可分为黑色金属和有色金属两大类。以

铁为基础所形成的合金都称为黑色金属,如纯铁、合金钢和生铁。除此以外的金属材料都称为有色金属,如铜、铝、镁等。

目前工业上常用的金属材料数以千计,为了对品种繁多的金属材料有一概括的了解,将具体分类列表如下:



第二节 金属材料的机械性能

金属材料的性能包括物理性能、化学性能、机械性能和工艺性能。所有这些性能都是很重要的,但对一般工业用钢来

说,最重要的还是机械性能。

所有机器结构零件或工具,在工作时都会承受重力或外力,使零件或工具不同程度地产生变形或者断裂。金属材料在外力作用下抵抗变形或破坏的能力,称为金属的机械性能。

钢材的机械性能指标主要有硬度、强度、塑性和韧性等。

金属材料的机械性能,既是机械制造中合理选用和正确评价材料的主要依据,又是设计材料以及制订热处理和冷热加工工艺以提高或改变材料性能的主要依据。

表示金属材料各种机械性能的具体数据是通过专门的试验进行的。最常用的是静拉伸试验、硬度试验和冲击试验等。

一、金属材料的静拉伸试验

金属材料在外力作用下,从变形直至破坏有一定的规律性。生产上把金属材料制成一定规格的拉伸试样(拉伸试样在国家标准 GB 228-63 中有详细规定,如图1-1所示)。放在拉伸试验机上进行拉伸试验,直至材料断裂。随着拉力增加,试样发生变形,拉力(P)和试样变形量(ΔL)之间的关系称为拉伸曲线。如图1-2所示。

从图中的曲线可见,外力与变形有直线

关系,也有曲线关系。金属材料试样的变形量,决定于试样单位横截面积的受力大小,这种单位横截面积上所受的力,我们称它为“应力”。金属材料所受的应力愈大,变形也愈大。应

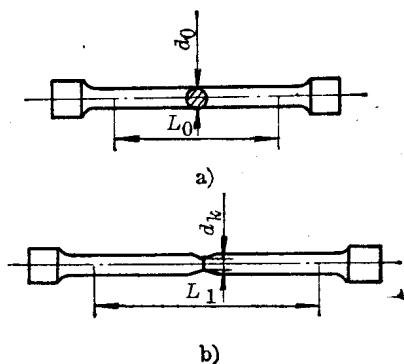


图 1-1 拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

力可用下式求得:

$$\sigma = \frac{P}{F} \text{ (公斤力/毫米}^2\text{)}$$

式中 σ ——应力(公斤力/毫米²);

P ——外力(公斤力);

F ——试样的横截面积(毫米²)。

在拉伸试验过程中,反映材料的机械性能都是用应力(σ)表示的。下面我们对拉伸曲线分别介绍有关的机械性能。

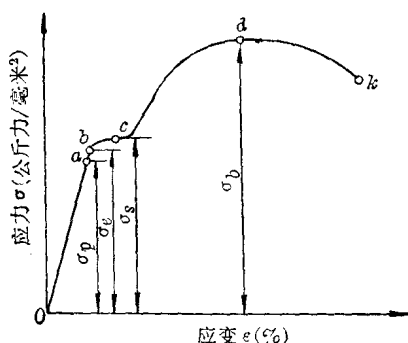


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

1. 弹性与刚度

弹性: 材料在外力作用下产生变形, 当外力去除后能恢复原状的能力称为“弹性”。材料在弹性范围内, 外力 (P)

与相应的变形量 (ΔL) 保持着直线关系, 即外力与变形成正比。金属材料能保持弹性变形的最大应力称为“弹性极限”, 用“ σ_e ”表示。

$$\sigma_e = \frac{P_e}{F_0} \text{ (公斤力/毫米}^2\text{)}$$

式中 P_e ——保持弹性变形的最大外力(公斤力);

F_0 ——试样原来的横截面积(毫米²)。

刚度: 金属材料受力时, 抵抗弹性变形的能力称为“刚度”。反映材料刚度大小的指标是“弹性模数”。弹性模数是指材料在弹性极限范围内, 应力与应变(与应力相对应的单位变形量)的比值, 即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \operatorname{tg} \alpha (\text{公斤力/毫米}^2)$$

式中 E ——弹性模数(公斤力/毫米²);

σ ——应力(公斤力/毫米²);

ε ——相对伸长,其值等于 $\Delta L/L$;

α ——拉伸曲线上的直线部分与横坐标轴的夹角。

从公式中可见,弹性模数 E 直接表示出弹性变形阶段应力与应变的关系,是这段应力——应变曲线的正切值。弹性模数 E 的物理意义可以认为是产生 100% 的弹性变形时所需的应力大小。但是对金属说来这是没有实际意义的,因为金属在开始产生塑性变形以前,弹性变形一般不超过 0.5%,到达塑性变形阶段时弹性变形一般也只能达到 1%,个别情况下可能达到 2%。因此,可以把弹性模数看作是金属产生弹性变形的难易程度,弹性模数愈大,使其发生一定的弹性变形所需的应力也愈大。弹性模数代表金属对弹性变形的抗力,技术上叫做金属的刚度。即弹性模数 E 愈大,刚度愈大,在一定应力作用下产生的弹性变形愈小。

2. 强度

材料受外力作用时,抵抗变形和破坏的能力叫强度。因所受外力的性质不同,所以分为抗拉强度,抗压强度和抗剪强度等。一般所说的强度是指抗拉强度。常用的性能指标有屈服极限和强度极限。

(1) 屈服极限 金属材料的试样在拉伸时,当应力超过弹性极限时,虽然应力不再增加,而试样仍继续发生明显的塑性变形,这种现象称为“屈服”。产生屈服时的应力称为“屈服强度极限”,图 1-2 曲线上的 c 点称为“屈服点”。当该材料

所受的应力达到和超过此点时,就会产生明显的塑性变形。材料的“屈服极限”可用下式求出:

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \text{ (公斤力/毫米}^2\text{)}$$

式中 P_s ——屈服点 c 处的外力(公斤力);

F_0 ——原试样截面积(毫米²)。

一般塑性好的材料,拉伸曲线图上都有明显的屈服点出现。塑性差的材料则没有明显屈服点,因此就不能根据屈服点相应的外力求屈服极限。对于脆性材料规定产生 0.2% 塑性变形时的应力,作为屈服极限指标,称之为“条件屈服极限”,常用“ $\sigma_{0.2}$ ”表示。

屈服极限 σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 多用作要求零件在工作时不产生明显塑性设计依据。如发动机气缸盖的螺栓,所受力就不应高于 σ_s ,否则,会因螺栓变形使气缸盖松动而漏气。

(2) 强度极限 材料在外力作用下,能抵抗破坏的最大应力,称为“强度极限”。当外力是拉力时,称为“抗拉强度极限”。在拉伸曲线上的最高点,即 d 点称“强度极限点”,抗拉强度极限用“ σ_b ”表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ (公斤力/毫米}^2\text{)}$$

式中 P_b ——曲线上 d 点处的外力(公斤力);

F_0 ——原试样的横截面积(毫米²)。

σ_b 越大,表示该材料抵抗断裂的能力越大,则强度越高。

当载荷达最大值后,其变形即不再是均匀的,而是显著地集中在试样的某一部分,从而导致该部分试样截面局部显著缩小,出现“颈缩”现象,见图 1-1。由于颈缩处截面的迅速减小,所以,尽管应力(真实应力)仍在继续增加,但载荷却反而

减小, 形成了图上曲线向下的 dk 线段, 最后试样在 k 点发生断裂。

3. 塑性

试样受拉断裂后, 由于产生了塑性变形, 导致试样长度增加, 截面缩小。显然在断裂前的变形量愈大, 即意味着材料塑性愈好。由于试样的尺寸可以各不相同, 所以为了说明及比较材料的变形程度, 应该以单位长度的伸长(相对伸长)和单位面积的收缩(相对收缩)来表示。前者称作伸长率, 以 $\delta\%$ 表示, 后者称作断面收缩率, 以 $\psi\%$ 表示。

伸长率按下式计算:

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

式中 L_0 ——试样原来计算长度(毫米);

L ——试样断裂后长度(毫米)。

断面收缩率按下式计算:

$$\psi\% = \frac{F_0 - F}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_0 ——试样原来的截面积(毫米²);

F ——试样断裂处的截面积(毫米²)。

伸长率 $\delta\%$ 和断面收缩率 $\psi\%$, 表示了材料塑性的大小。

若采用的拉伸试样标准不同, 测得的伸长率也不相同。如采用试样标距长为直径 5 倍的试样测得的伸长率, 用 δ_5 表示; 采用标距长为直径 10 倍的试样测得的伸长率, 用 δ_{10} 表示。一般为了简化, δ_{10} 可用 δ 表示, 但 δ_5 不应将 5 字省去。

断面收缩率 ψ 的数值, 与试样尺寸关系不大。

二、金属材料的硬度试验

硬度是指材料表面的变形抗力。由于硬度和其他机械性

能之间有着一定的内在关系,因此,可以通过硬度值概略地估计出材料的其他机械性能。生产上往往用硬度作为衡量工件的耐磨性和强度的依据。还由于硬度试验简单迅速,既不需要制备专门的试样,也不会破坏试样,所以,硬度试验是生产中最常用的一种机械性能试验方法。所有的热处理工件基本上都要进行硬度检验以检查和控制其工艺质量。

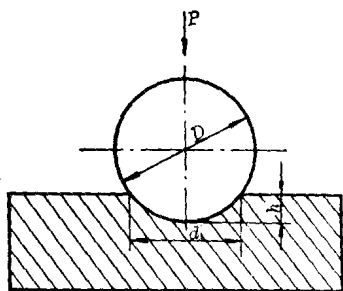


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

硬度是热处理零件质量检验的主要指标,这种方法在车间获得普遍使用。常用的硬度试验方法有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和肖氏硬度四种。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验的方法是用一个标准淬硬钢球在一定的载荷作用下压入被测金属的表面,根据钢球在被测金属表面上留下的压痕面积大小,决定材料的硬度。压痕面积小表示被测金属硬度高,见示意图 1-3。

布氏硬度值(HB)同钢球直径、压痕直径和载荷之间的关系如下:

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 P ——加在钢球上的载荷(公斤力);

D ——标准钢球的直径(毫米);

d ——压痕的直径(毫米)。

试验时,只要用刻度放大镜测量出压痕直径 d 的大小,通过查表就可知道相应的 HB 值,而不必代入公式计算。布氏

硬度 HB 的单位是公斤力/毫米²，但在习惯上都不予标出。

根据金属材料的种类、硬度和试样厚度，规定了布氏硬度试验规范，见表 1-1。

表 1-1 布氏硬度试验规范

金属种类	布氏硬度范围 (HB)	试样厚度 (毫米)	载荷 P 与钢球直径 D 之间的关系	钢球直径 D (毫米)	载 荷 P (公斤)	载荷保持时间 (秒)
黑色金属	140~450	>6	$P=30D^2$	10	3000	10
		6~3		5	750	
		<3		2.5	187.5	
黑色金属	<140	>6	$P=30D^2$	10	3000	30
		6~3		5	750	
		<3		2.5	187.5	
有色金属	31.8~130	>6	$P=10D^2$	10	1000	30
		6~3		5	250	
		<3		2.5	62.5	
有色金属	8~35	>6	$P=2.5D^2$	10	250	60
		6~3		5	62.5	
		<3		2.5	15.6	

布氏硬度的优点:

1) 压痕面积较大，可代表较大体积内的平均性能，测定硬度比较准确。

2) 在一定硬度范围内，可根据硬度近似算出金属的强度，经验公式如下:

对于轧制钢材或锻压钢件 $\sigma_b \approx (0.34 \sim 0.36) HB$;

对于铸钢件 $\sigma_b \approx (0.3 \sim 0.4) HB$ 。

缺点:

1) 不能测量硬度值高于 HB 450 的材料，否则，钢球要

发生变形。为了防止钢球发生变形,测试时,钢球硬度须大于试样硬度 1.7 倍。

2) 不能测量太薄的零件。所以试样厚度至少要大于压痕深度的 10 倍。

3) 压痕较大,易损伤零件表面,一般不宜在成品上试验。

2. 锤击式布氏硬度

在生产实践中,大型工件的硬度测定,常采用可携带的锤击式硬度试验方法。图 1-4 为锤击式布氏硬度计的构造和使用的示意图。

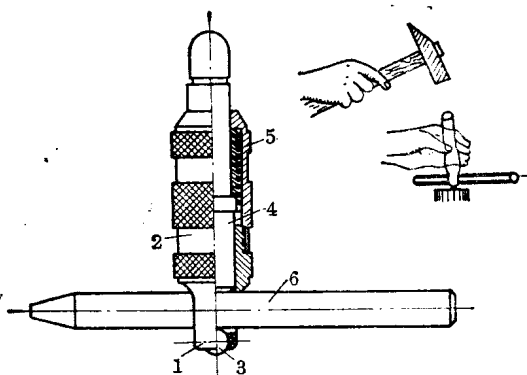


图 1-4 锤击式布氏硬度计构造及使用示意图

1—球帽 2—握持器 3—钢球 4—撞销 5—弹簧 6—标准试杆

试验时,将钢球抵住试样表面,并使握持器与被测试样表面垂直,再用手锤敲击撞销,则钢球将以相同的力同时压入试样和标准试杆,形成两个压痕。分别测出两个压痕的直径,便可在预制的对照表里查出试样的布氏硬度值。

试样的硬度值也可近似地由下式算出:

$$HB = HB_{\text{标}} \times \frac{d_{\text{标}}^2}{d_{\text{试}}^2}$$