

大连工学院《金属学及热处理》编写小组编

— 金属学及热处理 —

科学出版社

金属学及热处理

大连工学院《金属学及热处理》编写小组编

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书主要内容包括金属学基础、热处理基本原理以及各种碳钢、合金钢、铸铁和有色金属材料的热处理工艺及性能。阐明了金属材料的化学成分、组织与各种性能之间关系的基本规律，以及运用热处理方法改善金属材料性能、充分挖掘其潜力的途径。书中注意联系生产实际并加强了必要的理论部分。

本书可供具有初中以上文化水平的热处理技术工人阅读，也可供金相热处理专业师生和有关技术人员参考。

金属学及热处理

大连工学院《金属学及热处理》编写小组编

*

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1975 年 8 月第 一 版 开本：787×1092 1/16

1975 年 8 月第一次印刷 印张：37 插页：4

印数：0001—40,450 字数：867,000

统一书号：15031·103

本社书号：528·15—2

定 价：3.00 元

前 言

无产阶级文化大革命的伟大胜利，有力地推动着我国社会主义革命和建设的蓬勃发展。为了适应当前生产发展的需要，满足广大青年工人和有关专业人员学习热处理知识的迫切愿望，我们编写了这本《金属学及热处理》。

在编写本书时，遵照伟大领袖毛主席关于“没有科学的态度，即没有马克思列宁主义的理论和实践统一的态度，就叫做没有党性，或叫做党性不完全”的教导，我们批判了“理论至上”的唯心主义形而上学观点，力求按照辩证唯物主义观点，编写出一本反映我国实际情况的科技读物。为此，我们深入实际，进行学习和调查研究，并在总结几年来教育革命实践的基础上，对本书的内容和章节安排作了一些改革。如第一章“金属材料组织结构与性能的关系”，是从金属材料的使用性能讲起，进而建立组织结构与性能之间的关系，这样有助于读者由表及里地去学习金属学基础理论；又如第十九章“典型零件热处理工艺”，是为了综合运用热处理原理和工艺知识，着重培养分析问题和解决问题的能力；第三篇和第四篇金属材料部分，是结合我国实际情况编写的。书中适当介绍了新材料和新工艺。

为了便于自学，书中各章均注意运用生产实例阐明理论问题，对于较为繁琐的数学演算则已省略。

使用本书时，如能结合生产实际和一些实验，将能收到更好的效果。

虽然我们的想法是力求做到主观与客观，理论与实际的统一。但是，由于我们水平所限，深入实际还很不够，往往力不从心，其中必有不少缺点和错误，诚恳地希望广大读者提出宝贵意见。

在编写过程中，得到了广大工人师傅、革命科技人员的热情帮助和支持。书中引用和参考了许多工厂、科研单位和兄弟院校的有关资料、图片。因此，本书是一份集体劳动的成果。没有这样的集体劳动，我们的任务是不能完成的。借此机会，我们谨向在编写过程中给予我们帮助的单位 and 同志致以诚挚的谢意。

编 者

1974年5月

31491/17

目 录

第一篇 金属学基础

第一章 金属材料的组织结构与性能的关系	1	第六章 铁碳合金	84
第一节 金属材料的机械性能	1	第一节 铁碳状态图	84
第二节 金属材料的组织结构与性能的关系	6	一、Fe-Fe ₃ C 状态图的分析	84
第二章 金属的晶体结构	14	二、典型铁碳合金结晶过程分析	88
第一节 一般概念	14	三、铁碳合金的组织与性能	93
第二节 常见金属晶体的结构特点	18	第二节 碳钢	97
第三节 晶格中原子排列密度及晶面、晶向表示方法	20	一、常存杂质对碳钢性能的影响	97
第四节 实际金属的晶体结构	28	二、碳钢的分类	99
第三章 金属的结晶	35	三、各类碳钢的牌号、性能及用途	100
第一节 结晶的概念	35	第七章 三元合金状态图基本概念	106
第二节 结晶的一般过程	37	第一节 三元合金状态图中合金成份的表示方法	106
第三节 晶核的形成与长大	38	第二节 三元系中的直线定律和重心定律	107
第四节 铸态晶粒的大小	43	第三节 三元无限互溶型状态图	109
第五节 铸锭组织	44	第四节 三元共晶型状态图	113
第六节 金属的同素异构转变	46	第五节 固态下有限溶解的三元共晶状态图	123
第四章 合金的相结构	48	第六节 三元状态图读图练习	126
第一节 概述	48	第八章 金属及合金的塑性变形与再结晶	130
第二节 固溶体	49	第一节 研究塑性变形的意义	130
第三节 化合物	53	第二节 金属及合金的塑性变形	130
第四节 两种晶体机械混合物的性能	56	第三节 塑性变形对金属组织和性能的影响	142
第五章 二元合金状态图	57	第四节 冷变形金属在加热时组织和性能的变化	146
第一节 二元合金状态图的建立	57	第五节 金属材料的热变形加工	152
第二节 Pb-Sb 二元合金状态图分析	59		
第三节 二元合金状态图的基本类型	65		
第四节 二元合金状态图读图法	79		

第二篇 钢的热处理

第九章 钢的加热转变	156	第三节 奥氏体晶粒长大及其控制	162
第一节 Fe-Fe ₃ C 状态图在热处理中的运用	156	第四节 影响奥氏体形成速度的因素	165
第二节 奥氏体的形成及其性质	159	第五节 确定加热工艺的原则	167
		第十章 钢在冷却时的转变	175

第一节	钢的过冷奥氏体等温转变图	176	第三节	淬火变形与开裂	234
第二节	奥氏体等温转变产物的组织及其性能	177	第四节	淬火介质	242
第三节	过冷奥氏体等温转变图的意义	182	第五节	淬火方法	246
第四节	影响过冷奥氏体等温转变图的因素	183	第六节	淬火后的质量检查	248
第五节	过冷奥氏体等温转变图的应用	184	第七节	钢的回火工艺	249
第六节	钢的连续冷却转变	186	第十六章	钢的贝氏体转变及等温淬火	253
第十一章	珠光体的形成	189	第一节	中温转变的一般叙述	254
第一节	珠光体形成的机理	189	第二节	中温转变的规律及贝氏体形成机理	256
第二节	珠光体形成的成核率与长大速度	191	第三节	影响贝氏体形成的因素	259
第三节	亚共析钢和过共析钢中过冷奥氏体的分解	193	第四节	等温淬火工艺的确定	262
第十二章	钢的退火与正火	197	第五节	等温淬火的应用范围	265
第一节	预备热处理的分类	197	第六节	等温淬火工艺举例	266
第二节	退火和正火加热工艺的确定	198	第十七章	钢的表面热处理	269
第三节	消除内应力退火和再结晶退火	200	第一节	感应加热表面淬火的特点	269
第四节	结构钢热轧或热锻后的退火和正火	201	第二节	快速加热时钢中的相变	271
第五节	铸钢的退火	202	第三节	表面淬火后的组织与性能	273
第六节	工具钢的预备热处理——球化退火	202	第四节	高频表面淬火工艺	276
第十三章	马氏体的形成	206	第五节	高频热处理的应用	281
第一节	马氏体的性能、组织与结构	206	第六节	工频加热	290
第二节	马氏体形成的规律	209	第七节	其它表面淬火方法	293
第三节	奥氏体的陈化稳定	211	第十八章	化学热处理	297
第四节	马氏体形成机理	212	第一节	化学热处理原理	297
第十四章	钢在回火时的转变	217	第二节	钢的渗碳	302
第一节	回火时钢中组织的变化	217	第三节	渗碳零件的热处理	323
第二节	回火过程中性能的变化	221	第四节	渗碳零件的质量检查	325
第三节	回火脆性	223	第五节	钢的氮化	328
第四节	时效现象	224	第六节	钢的氰化	347
第十五章	钢的淬火回火工艺	226	第七节	钢的渗金属	349
第一节	淬火温度和加热介质的选择	226	第十九章	典型零件热处理工艺	356
第二节	钢的淬透性及其测定	230	第一节	汽车后半轴的热处理工艺	356
			第二节	拖拉机变速箱第二轴的热处理工艺	359
			第三节	精密淬硬丝杠的热处理工艺	362
			第四节	热处理工艺条件的综合分析	366
			第五节	零件在热处理中工艺性的考虑	369

第三篇 合金钢

第二十章	合金钢概论	372	第三节	合金钢的编号方法	374
第一节	采用合金钢的必要性	372	第四节	合金元素在钢中的作用	376
第二节	合金钢的分类	373	第二十一章	合金结构钢	390

第一节	概述	390	第二节	轴承钢的锻造与退火	428
第二节	以锰为主要合金元素的结构钢	391	第三节	轴承钢的淬火与回火	432
第三节	以硅、锰为主要合金元素的结构钢	396	第四节	精密轴承热处理	436
第四节	硼在钢中的作用及硼钢的热处理特点	400	第五节	我国新轴承钢的介绍	436
第五节	以铬为主要合金元素的结构钢	402	第二十五章 工具钢		440
第六节	以铬镍为主要合金元素的结构钢	406	第一节	碳素工具钢	440
第七节	以铬锰为主要合金元素的结构钢	408	第二节	合金刀具钢	444
第八节	合金钢的特殊缺陷——白点及层状断口	410	第三节	合金模具钢	448
第二十二章 普通低合金钢		414	第四节	合金量具钢	459
第一节	概述	414	第二十六章 高速钢		462
第二节	普通低合金钢的性能要求	416	第一节	W18Cr4V 钢的铸态组织和性能	463
第三节	普低钢的合金化及常用牌号	417	第二节	高速钢的热加工和退火	465
第二十三章 弹簧钢		420	第三节	高速钢的淬火	466
第一节	弹簧的工作条件及其对性能的要求	420	第四节	高速钢的回火	476
第二节	弹簧钢的化学成份	420	第五节	合金元素在高速钢中的作用	479
第三节	弹簧钢的热处理	422	第六节	高速钢刀具热处理缺陷分析	482
第二十四章 轴承钢		426	第七节	高速钢的表面处理	485
第一节	轴承钢的成份与冶金质量的控制	426	第八节	几种主要类型的高速钢简介	487
			第二十七章 特殊钢		490
			第一节	不锈钢	490
			第二节	耐热不起皮钢	500
			第三节	超高强度钢	507
			第四节	耐磨钢	512
			第五节	磁钢及磁性材料	513

第四篇 铸铁及有色合金

第二十八章 铸铁及其热处理		518	第四节	铸造铝合金及其热处理	566
第一节	灰铸铁及其热处理	520	第三十一章 滑动轴承合金		571
第二节	可锻铸铁与特殊性能铸铁	526	第一节	滑动轴承工作条件及对性能的要求	571
第三节	球墨铸铁及其热处理	529	第二节	锡基轴承合金	571
第二十九章 铜合金		542	第三节	铅基轴承合金	572
第一节	纯铜的性质及用途	542	第四节	铅青铜	573
第二节	黄铜	542	第五节	铝基轴承合金	574
第三节	青铜	547	第六节	粉末金属含油轴承	575
第四节	铜合金的热处理	552	第三十二章 其它有色合金		577
第三十章 铝合金		554	第一节	镁合金	577
第一节	二元铝合金状态图	554	第二节	钛合金	579
第二节	铝合金的时效理论	555	第三节	硬质合金	583
第三节	形变铝合金及其热处理	561			

第一篇 金属学基础

第一章 金属材料的组织结构与性能的关系

金属材料,特别是钢铁,是现代机器制造的基本材料。自从人类发现与使用金属材料以来,它愈来愈广泛地被应用于制造各种生产工具、武器和生活用具。金属材料的生产一直在不断地发展着。直到现代,金属材料在国民经济各部门及人民日常生活中已经具有非常重要的意义。因为机器制造、农业机械、交通运输、电机电器以及许多生产工具、生活用具都需要大量的金属材料。近年来得到迅速发展的宇宙航行、原子能等尖端工业更需要许多具有特殊性能的金属材料。

金属材料之所以获得如此广泛的应用,是由于它有许多良好的性能。首先,金属材料具有良好的机械性能,不仅有足够的强度与硬度,而且还具有良好的塑性和韧性;此外还具有某些特殊的物理性能(例如:导电性、导热性、磁性等)、化学性能(例如:抗腐蚀性、耐热性等)。

金属材料用来制造生产工具和各种机械设备的主要原因是由于它具有良好的机械性能,即具有很高的强度、硬度以及足够的塑性和韧性。例如,起重机上用的钢丝绳及挂钩,它们要吊起几吨甚至几十吨的重物,工作中绝不允许断裂,这就要求钢丝绳具有足够的抗拉强度,而金属制成的挂钩,应具有很高的强度、韧性。汽车与机床上使用的滚动轴承,有时每分钟受力方向要变换数万级以上,承受巨大的滑动摩擦与滚动摩擦,要求材料有很高的耐磨性(高硬度)和抗接触疲劳的能力。这种情况下就只能采用特殊的合金——滚珠轴承钢来制造。从汽车上的板簧、半轴乃至十二万五千瓩双水内冷汽轮发电机组的主轴,在工作中要求它们具有相当高的强度、硬度以及足够的塑性和韧性。上述的几个指标就是金属材料所具有的主要机械性能。

当然我们还可以利用金属材料所具有的物理、化学性能来制造电线、传热器、磁铁以及船舶、化工容器等。因此金属材料在电力、电子工业以及造船、化工等部门也获得广泛的应用。

综上所述,我们利用金属材料,主要是利用它们的各种优异的性能。

金属学及热处理这一学科是从生产实践中创造和发展起来并为生产实践服务的一门科学。它的主要内容是研究金属及合金的性能、成分、组织及其相互关系与变化规律。为了研究金属及合金的性能、成分、组织之间的关系,首先要了解有关金属材料各种性能的基本概念。这里首先介绍金属材料机械性能的基本概念。

第一节 金属材料的机械性能

由上面的例子可以看出,从机械制造的角度来看,金属材料的机械性能最基本的指标是强度(主要是抗拉强度、屈服强度和抗弯强度、疲劳强度等)、硬度、塑性和冲击韧性等。

一、金属材料的强度

机器零件在使用时总是受到外力的作用。例如起重机的钢丝绳要承受很大的拉力。如果钢丝绳太细它就会被拉断。因此我们要求钢丝绳应具有能在某一数值的拉力作用下不致断裂的能力,这个抵抗拉力作用而不致断裂的能力的指标就是材料的抗拉强度(或称强度极限)。在衡量金属材料的抗拉强度时,当然不能直接利用拉断时所用的总拉力来表示金属材料的抗拉强度,因为实际工程中各种机器构件受力不同,它们的尺寸也各不相同,为了便于比较金属材料的抗拉强度,用被拉断时单位面积上(通常为1平方毫米)所能承受的最大拉力来衡量,这种在单位面积上所承受的最大拉力,通常称为最大拉应力。

金属材料的抗拉强度用 σ_b 表示。

纯铜的 $\sigma_b = 20$ 公斤/毫米²;

纯铁的 $\sigma_b = 25$ 公斤/毫米²;

45 钢(正火状态)的 $\sigma_b \geq 61$ 公斤/毫米²。

金属材料的 σ_b 愈高,则说明材料在破坏之前能够承受的拉应力愈大。

事实上所有的机器构件在工作时不仅不允许拉断,而且也不允许产生塑性变形,前面提到的钢丝绳在工作时就是既不允许拉断又不允许产生塑性变形。一些精密的构件在工作时甚至还不允许产生过量的弹性变形。为了了解机器构件在不同外力作用的情况下如何发生弹性变形、塑性变形以致断裂的规律,我们首先讨论塑性材料(例如低碳钢)受外力作用与变形量的关系。

将一根退火低碳钢制成的拉伸试样[尺寸如图 1-1 (a) 所示]放在拉力试验机上,缓慢

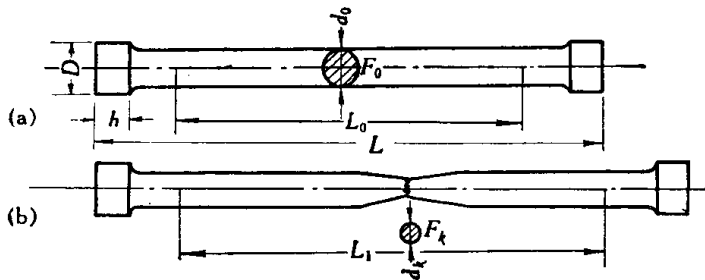


图 1-1 钢的拉伸标准试样(a)及被拉断后(b)的示意图

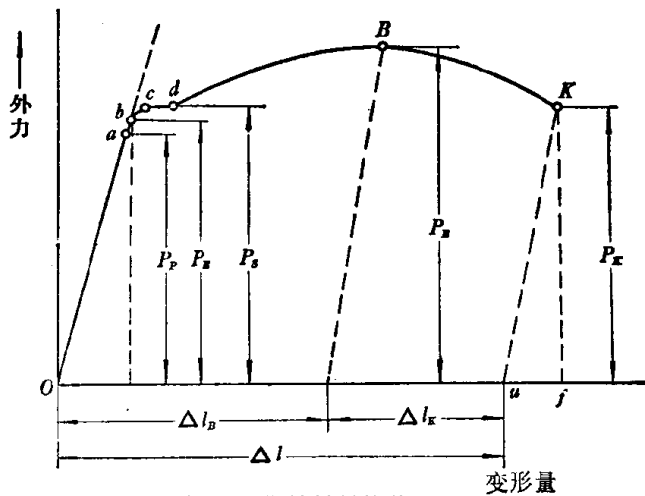


图 1-2 塑性材料拉伸图

加载,直至拉断为止。这样,我们可以得到如图 1-2 所示的外力—变形量关系曲线,这种图形称为拉伸图。

由图 1-2 我们可以看到,在开始的 Ob 阶段金属材料处于弹性变形阶段。在物理学中已知,物体在弹性变形范围内所加外力与物体的变形成正比(即直线)关系。 Ob 阶段试样在载荷作用下均匀伸长,伸长量与所加的载荷成正比关系,这时如果去掉外力,试样仍可恢复原有尺寸。在 ab 段虽变形与载荷之间稍微偏离直线关系,但仍属弹性变形部分。

cd 阶段,外加载荷超过 b 点时,金属材料除弹性变形外还发生部分塑性变形。载荷增至 c 点后,不再增加载荷仍然继续变形。这种

现象称为“屈服”，说明试样开始进行塑性变形。

dB 阶段，由 d 点继续加载则沿试样长度发生均匀而显著的塑性变形。

BK 阶段，载荷在 B 点达到极大值，此后载荷逐渐降低，但变形仍在进行，在 B 点时试样的试验长度内出现局部直径变细，这种现象称为“颈缩”，随后的变形主要局限于颈部，直至断裂。

根据拉伸图上各点的外力—变形关系，我们可以得出几个机械性能的指标：

比例极限 σ_p ——代表金属材料依弹性定律而变形的最大应力。

屈服极限(屈服强度) σ_s ——是代表金属材料抵抗微量塑性变形时的应力。

抗拉强度(强度极限) σ_b ——代表金属材料能承受最大均匀塑性变形时的应力。由于破坏是在大量塑性变形之后才发生的，所以 σ_b 除直观的代表材料抵抗破坏的抗力大小之外，更确切地说，它是代表材料抵抗大量塑性变形的抗力大小。这就是 σ_b 的物理意义。

二、塑 性

许多零件在成型过程中要求材料有较好的塑性。例如：汽车驾驶室的外壳、柴油机油箱以及脸盆等金属制品，都是用钢板经冷冲压成型的。在冷冲压时有的部位变形量很大，如果材料的塑性不好将会发生开裂。此外，从金属零件工作时的可靠性来看，也需要有较好的塑性。某些受冲击载荷的零件如果用塑性低的材料制造就有在受冲击时破断的危险。例如，锻锤的机身都用塑性较好的铸钢来制造而不用一般机床上常用的铸铁。

在分析拉伸图时已经知道，外力超过屈服极限时即发生塑性变形，外力继续增加时塑性变形量也随之增大。金属材料在破断前的塑性变形能力的大小称为塑性。在工程中金属材料的塑性用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 两个指标来表示。 δ 和 ψ 的数值可由下式确定：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%;$$
$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%.$$

式中： L_0 ——拉伸试样原始标距长度；

L_1 ——拉伸试样破断后标距间的长度；

F_0 ——拉伸试样原始截面积；

F_k ——拉伸试样破断处的截面积。

式中各数值可由实验测得(图 1-1 所示)。因此，在测定金属材料的拉伸强度时可以同时测得它们的塑性指标。

由于对同一材料用不同长度的标准试样所测得的延伸率 δ 的数值是不同的，因此，实用中对不同尺寸的试样标以不同的符号。例如：当应用标距长度为其直径的五倍的标准试样所测得的延伸率以 δ_5 表示；而用标距长与直径之比为 10 的试样时，则以 δ_{10} 表示。 δ_{10} 通常写成 δ 。

三、硬 度

硬度这个概念在日常生活与生产实践中经常碰到。例如，金刚石与玻璃刻划，玻璃被划出了痕，我们可以说金刚石比玻璃硬。又如，我们用锉刀锉铜，很容易锉下许多铜屑，因

为铜比锉刀软。由此可见，这里说的“硬”和“软”是相对的。如果我们用一个直径10毫米的淬火钢球，施加一定的力，分别去压一块铁和一块铜，结果铁与铜的表面都因被压而出现压痕。铜表面的压痕比铁的压痕大，因此我们就说铁比铜硬。根据这个道理就可以定量的测出许多金属材料的硬度。

铁和铜出现压痕的过程是依靠金属的塑性变形来实现的。在同样的负荷、同样尺寸的钢球作用下，铁表面的压痕小，说明铁对塑性变形抗力较大；反之，铜对塑性变形抗力较小。因此所谓硬度实际上也是代表金属材料对塑性变形抗力的大小。由上面例子可以看出，试样表面的压痕并不是刚开始塑性变形时形成的，而是发生了大量塑性变形的结果，所以，材料的硬度大小和材料抵抗大量塑性变形的抗力 σ_b 成正比。

在热处理生产实践中，最经常用来检验零件质量的是硬度值。因为硬度检验既不破坏零件，测定方便，同时测得硬度值后还可近似的估算其强度指标。

下面概略介绍生产中常用的布氏硬度和洛氏硬度的基本原理。

布氏硬度

试验是采用直径 D 毫米淬火钢球，用 P 公斤的载荷压入金属材料表面[图 1-3(a)]，经规定的加载时间后卸除载荷[图 1-3(b)]，即得直径为 d 的压痕。以压痕表面积 F 除载荷 P 所得之应力值即为布氏硬度，以 H_B 表示，计算公式为：

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

因压痕深度 h (图 1-4) 测量较为困难，而测量压痕直径 d 比较简单，因此 H_B 可改用 d 来表示，即：

$$F = \pi D \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2};$$

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

由于载荷，钢球直径 D 是一定的，所以测出压痕直径 d 即可求出 H_B 值。在实用中，根据 P 、 D 与 d 的关系可直接由硬度表中查得 H_B 值。

考虑到各种材料硬度范围相差很大，尺寸不一，所以对于钢铁材料的布氏硬度试验除常用压头为直径10毫米淬火钢球和3000公斤载荷的标准外，还有压头直径为5毫米，载

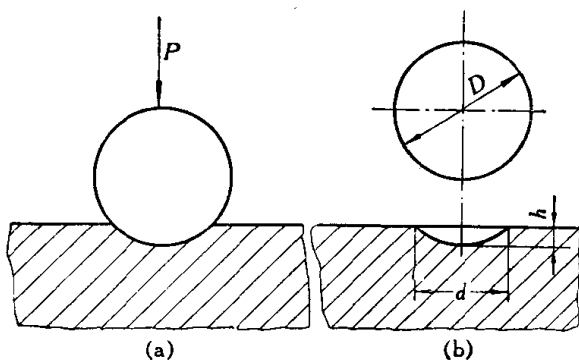


图 1-3 布氏硬度测定过程示意图

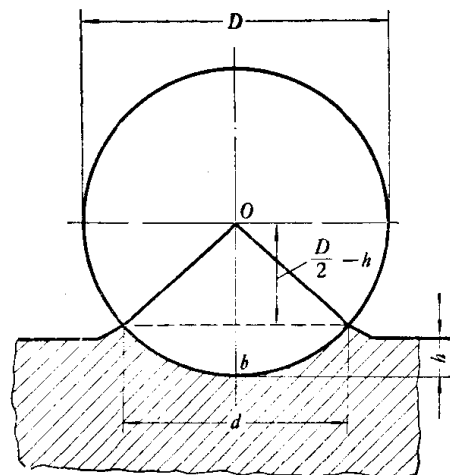


图 1-4 计算布氏硬度压痕面积示意图

荷 750 公斤和压头直径为 2.5 毫米, 载荷 187.5 公斤等标准。对于铜、铝等有色金属材料则另有标准(G B231-63)。

由于布氏硬度的压头是淬火钢球, 因此它只适用于硬度较低、尺寸较大的金属材料, 当被测材料硬度较高时, 钢球本身也会发生变形, 便失去了测量的准确性。

对于碳钢与一般合金结构钢来讲, 布氏硬度与材料抗拉强度之间有如下的近似关系:

$$\text{当 } H_B < 175 \text{ 时} \quad \sigma_b \approx 0.36 H_B$$

$$\text{当 } H_B > 175 \text{ 时} \quad \sigma_b \approx 0.35 H_B$$

洛氏硬度

洛氏硬度常用的一个标准是用 120° 角圆锥形金刚石压头和 150 公斤载荷。其测量过程与原理与布氏的基本相似, 但洛氏硬度值是以试样被测点的压痕深度为依据的, 压痕越深硬度值越低。硬度值刻在硬度计的表头上, 测量时可直接读出被测试样的硬度值, 这较布氏硬度的测定更为方便。洛氏硬度用 HR_C 表示。此法用于淬火钢或其它硬度较高的材料。这是生产中广泛应用的一种硬度测定方法。 HR_C 与 H_B 的关系大约为 1:10, 例如, $HR_C 40$ 相当于 $H_B 400$ 左右。(但是, 在 $H_B < 220$ 的硬度范围时不能用这种方法换算。)

另一种洛氏硬度标准是直径为 $\frac{1}{16}$ 吋 (约为 1.588 毫米) 的淬火钢球和 100 公斤的载荷, 此法测得硬度值以 HR_B 表示。它用于测量硬度较低的退火钢、铸铁及有色金属等材料的硬度。洛氏硬度 HR_A 是用金刚石压头、载荷为 60 公斤, 压痕较小, 用于测量硬或薄的工件, 如硬质合金以及很薄的淬火件的硬度。

除生产中最常用的 H_B 、 HR_C 外, 还有维氏硬度 H_V , 肖氏硬度 H_S 以及显微硬度等。这些硬度测定方法这里不再讨论。

四、韧 性

前面讨论的只是静载荷作用下的机械性能指标, 但是机器上的零件都经常受到各种冲击载荷的作用。例如, 柴油机上的连杆、曲轴、连杆螺钉等零件在工作时承受周期性冲击载荷的作用; 锻模、锤头、锤杆在使用中也承受巨大的冲击载荷。这些零件在设计时, 如果仍只用强度和硬度这些静载荷作用下的指标来计算, 将很难保证零件工作时的安全性。假如用相同材料、相同的工艺过程加工的两根螺杆, 直径相同, 但长度不同, 在静载荷作用下, 它们的强度指标没有区别, 但在冲击载荷作用下, 较长的螺杆具有较高的冲击抗力; 而较短的螺杆冲击抗力却较低。由此可见, 零件对冲击载荷的抗力首先取决于体积大小, 这一点与静载荷性能指标是有区别的。又如, 有同种钢材 (例如 42MnV 钢), 尺寸相同的两根螺杆, 淬火、回火温度也相同, 只是一根回火后空冷, 而另一根水冷。这两根螺杆的静载荷指标没有差别。但在冲击载荷作用下, 两者的表现相差非常大, 回火水冷的螺杆冲击抗力很高, 而空冷的却很低。上述结果说明, 不能用金属材料在静载荷作用下的性能指标来衡量材料的冲击抗力。

在工程实践中韧性是表征材料冲击抗力的性能指标。韧性代表材料在破断前在单位体积内所能吸收的能量的大小。冲击载荷不仅是力的作用, 还有作用时的速度问题, 所以冲击载荷是一个能量载荷。材料抵抗这种载荷的能力当然要用单位体积内能吸收多少能

量来衡量。如将 30 公斤的重锤提升一米，它就具有 30 公斤·米的能量，让它以自由落体的方式下降，冲击标准试样，即可获得冲击值。试验证明：退火的低碳钢几乎可以吸收 30 公斤·米的全部能量，试样仍不破坏，只发生了极大的变形；而高碳钢则不堪一击，几乎没有吸收多少能量就破断了。因此可以说，前者韧性高，后者韧性低，即脆性大。

目前，衡量金属材料的韧性还没有一个统一的、令人满意的方法，最常用的是用 $10 \times 10 \times 55$ 毫米并带有缺口的试样，在一次摆锤冲击试验时测定冲断试样缺口处单位截面所消耗的功，以此作为材料的韧性指标，所得的数值称为冲击值，用 a_k 表示。这种方法作为衡量金属材料韧性指标是欠妥的，因为它测得的 a_k 值并不代表材料破断前单位体积内吸收的能量大小。另外，这种一次摆锤冲击也与机器零件在实际工作中所承受的冲击载荷情况不相符合。但是这种方法有它的突出特点，因为它的冲击速度大、试样开有缺口，因此能够很灵敏地反映出金属材料在这种试验条件下脆性破断的趋势。例如钢的回火脆性、过热等现象在 a_k 值上都可以明显地反映出来，因此这种方法在生产上广泛地用来检验产品的质量。

上面我们讨论了金属材料的强度、塑性、硬度和韧性等四个最基本的机械性能指标。实际上这四者中真正独立的是强度和塑性，前者表示材料的塑性变形抗力和断裂抗力；后者表示材料的塑性变形能力。硬度则是强度（即塑性变形抗力）的另一种表达方式，而韧性则受强度和塑性二者的综合影响。因此，通常在鉴别材料机械性能时，总是以强度和塑性作为最主要的指标，道理就在这里。

第二节 金属材料的组织结构与性能的关系

金属材料宏观上所表现的机械性能，是由金属的内部组织结构所决定的。

我们平时所看到的金属材料，表面上似乎没有什么区别。实际上各种金属的内部组织却是有着很大的差别。如果采用金相分析方法，在金相显微镜下就可以看到它们的组织。用这种方法显示出来的组织称为金属材料的显微组织，它是决定金属材料机械性能的重要的内在因素。

铸铁是工业生产和日常生活中常见的一种金属材料，其中的灰口铸铁用金相分析方法在显微镜下，可以见到不同形式的石墨，即使石墨的含量相同，由于石墨的形状（片状或球状）、大小（粗片或细片）及其分布的不同，对灰口铸铁的性能有很大的影响。

图 1-5 是灰口铸铁中石墨分布情况的显微组织示意图。

我们可以作一个近似的实验：拿三张同样质量的纸，分别剪出上述各图中所示的形状（因为石墨在铸铁中也相当于空洞）。再将纸的上方固定，下面挂以砝码。结果就会看到，粗片的很容易被拉断，球状的不易被拉断，而细片者居中。这个近似的实验说明，金属材料的组织与性能有着十分密切的联系。当然，这是很直观的比喻。

下面再举几个实例，从不同的角度进一步阐明这个基本概念。

一、纯铁的组织与机械性能的关系

这里所说纯铁，实际上是指工业纯铁（铁中溶入极少量碳及其它杂质）。纯铁试样用金相分析方法在显微镜下的组织如图 1-6 所示。它是由一个个白亮的铁的颗粒所组成，

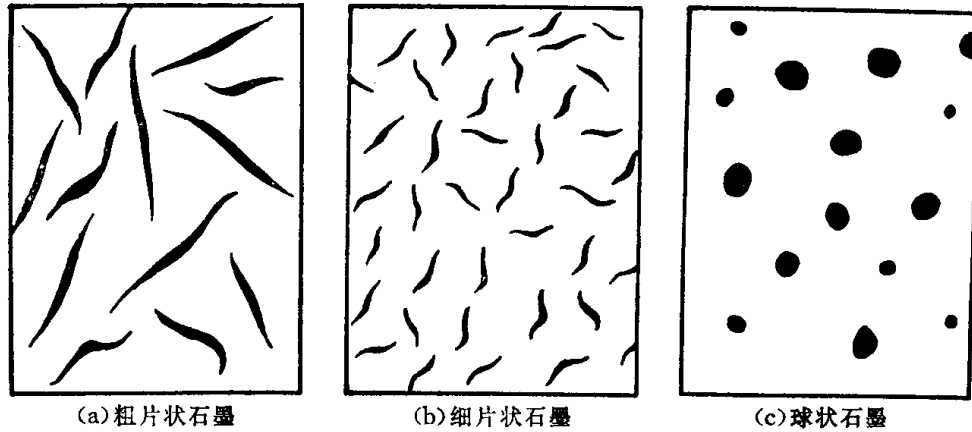


图 1-5 灰口铸铁中石墨分布的示意图

颗粒与颗粒之间有明显的交界。这些颗粒称为晶粒，晶粒的交界称为晶界。通常称这种组织为铁素体。

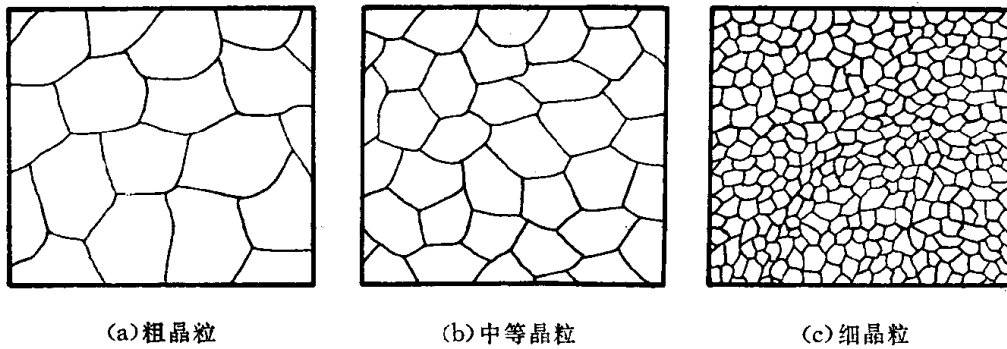


图 1-6 纯铁的显微组织示意图

图 1-6 表示了具有不同晶粒尺寸的三种纯铁的组织。虽然三者均由铁素体颗粒所组成，但是颗粒大小不同，因此具有不同的机械性能，其数据如表 1-1 所示。

表 1-1 纯铁铸态机械性能与晶粒大小的关系

图 号	晶粒截面的平均直径, $\times 100$ (毫米)	抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)	延伸率 δ (%)
a	9.7	16.3	28.8
b	7.0	18.4	30.6
c	2.5	21.5	39.5

由表 1-1 可见：晶粒愈细，它的抗拉强度愈高，塑性也愈好。这是组织与性能的关系中比较重要的规律之一。

表 1-1 所列的是纯铁铸态的机械性能，由于在铸造组织中存在许多宏观缺陷，经过热轧之后可以得到改善，使组织更加细致，因此，热轧正火状态下纯铁的性能又可进一步提高： $\sigma_b = 25$ 公斤/毫米²； $\delta = 50\%$ 。

如果把纯铁冷拉成铁丝，经过冷变形加工，纯铁的组织又发生了很大变化。由图 1-7 可见，纯铁经过冷变形加工，晶粒被拉长，晶界变模糊，晶粒内部出现了许多线条，这些线

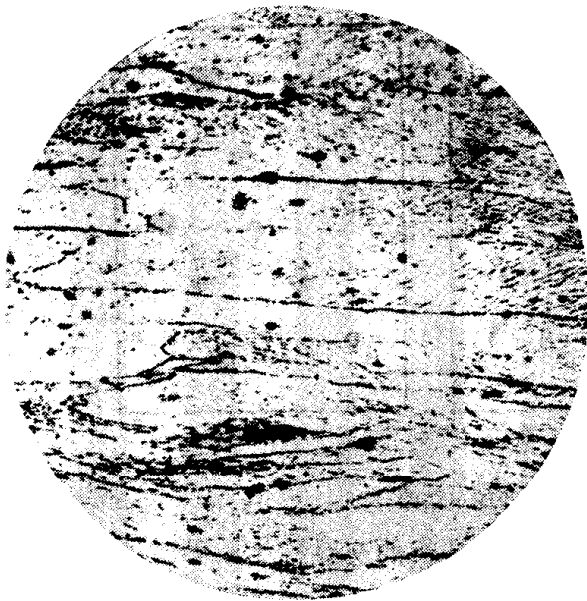


图 1-7 纯铁的冷变形组织

很大的差别。例如，在工业纯铁的基础上分别加入 1% 的镍、锰或硅，它们的组织仍然与图 1-6 所示的铁素体相似，但硬度和抗拉强度却有明显提高，其数据如表 1-2 所列。

表 1-2 加入 1% 的 Ni、Mn、Si 后纯铁的机械性能

合金成分	硬度 HB	抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)
工业纯铁	80	25
工业纯铁加 1% Ni	90	27
工业纯铁加 1% Mn	100	28
工业纯铁加 1% Si	120	36

根据表 1-2 的数据并不能推翻性能决定于组织这个结论。X 射线结构分析证明：金属的原子都是按一定次序排列起来的，不同的金属有不同的排列方式，这种排列方式称为金属的晶体结构。金属的晶体结构也是决定金属性能的极为重要的内在因素。金属材料的显微组织和晶体结构是由不同方法研究时所能涉及到的观察范围，两者是从不同角度来反映金属材料的结构状态。

在工业纯铁中分别加入 1% 的镍、锰、硅，由于它们的原子溶入了铁的晶体内，使其晶体结构发生不同程度的变化，因此在性能上也发生了变化。所以在研究金属材料的组织与性能关系时，不仅要研究金属材料的显微组织，而且还要研究它们的晶体结构，这样才能更深刻地揭示各种性能变化的根本原因。

二、碳钢的组织与性能的关系

碳钢是铁与碳的合金，是当前工业上应用得最广泛的金属材料。

这里以工业纯铁、45 钢(含碳 0.45% 的铁碳合金)和 T8 钢(含碳 0.8% 的铁碳合金)为例，说明碳钢的组织与性能的关系。

图 1-8 (a) 是纯铁的显微组织，它全部由铁素体组成。图 1-8 (b) 是 45 钢正火状态的

条是变形时产生的滑移线。由于组织发生很大变化表现在机械性能上也有很大的改变。经过变形度为 80% 的冷变形，纯铁的抗拉强度 σ_b 可达约 50 公斤/毫米²，比在正火状态下提高约一倍左右。

冷变形的铁丝经过退火，使纯铁的组织又恢复为如图 1-6 所示的颗粒状铁素体时，纯铁的强度又恢复到原来的水平，塑性也得到恢复。

综上所述，可见纯铁在铸态、热轧、冷拉及再结晶退火的四种状态下具有不同的机械性能指标。

但是，在某些情况下，在显微组织上看不出明显的区别，而在性能上却反映出

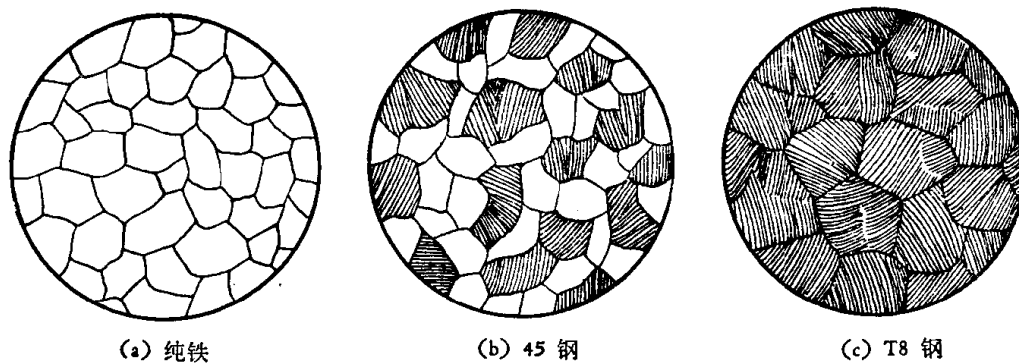


图 1-8 纯铁、45 钢、T8 钢显微组织示意图

显微组织, 在这个组织中, 白亮区面积约占 50% 左右。这种白亮块呈颗粒状, 并由晶界与其它组织隔开, 这些白亮块就是前面所讲的铁素体。其余部分在显微镜下呈暗黑色, 仔细观察其中还可以发现, 它是由一些片状组织构成的, 这种组织叫做珠光体。因此 45 钢正火状态的显微组织是由 50% 铁素体 + 50% 珠光体所组成的。图 1-8(c) 是 T8 钢的显微组织, 在显微镜放大倍率较低时只能看到一块块暗黑色的组织, 放大倍率提高后在显微组织中可以看到片层状的特点, 这就是珠光体。

正火状态下碳钢的组织与性能有什么关系呢? 我们分别测定上述钢种的性能, 并纳入表 1-3 中。

表 1-3 正火碳钢组织与性能的关系

材 料 \ 性 能	H_B	σ_b (公斤/毫米 ²)	δ (%)	ψ (%)	显微组织
纯 铁	80	25	50	80	铁素体 100%
45 钢	220	61	16	40	铁素体 50% 珠光体 50%
T8 钢	270	90	6	30	珠光体 100%

由表中数据可见: 铁素体的强度、硬度低, 塑性高, 而珠光体的强度、硬度高, 塑性低。45 钢的组织是由 50% 铁素体 + 50% 珠光体所组成, 则它的性能介于二者之间。由此可见, 碳钢在正火状态下的性能主要决定于组织中 铁素体和珠光体的含量。虽然碳钢的性能还与晶粒大小、杂质含量以及晶界的状态有关, 但它们随珠光体含量的增加而强度、硬度增高, 塑性下降确是一个基本趋势。

钢是铁与碳组成的合金, 钢铁的组织在加工过程相同时主要决定于它的化学成份。在铁碳合金中, 同样都是正火状态, 从 10 钢到 T8 钢, 随着钢中含碳量的增加, 合金组织中的珠光体量增多, 铁素体量减少, 合金的强度、硬度也随之提高。通过讨论可以明确: 由于化学成分的不同导致显微组织的改变从而使机械性能发生明显的变化, 说明成分—组织—性能三者之间有着互相依赖、互相影响的因果关系。当然, 同一化学成分金属材料往往也可以通过热处理方法达到调整性能的目的, 下面就对这一问题进行简要讨论。

三、45 钢不同状态下的组织与性能的关系

为了进一步说明组织与性能之间的关系, 还可以进行以下的实验: 取 45 钢试样, 分成三组, 按表 1-4 的工艺进行热处理, 然后测定其性能, 并观察显微组织。再将实验数据及

结果列于表 1-5 中。显微组织如图 1-9 所示。

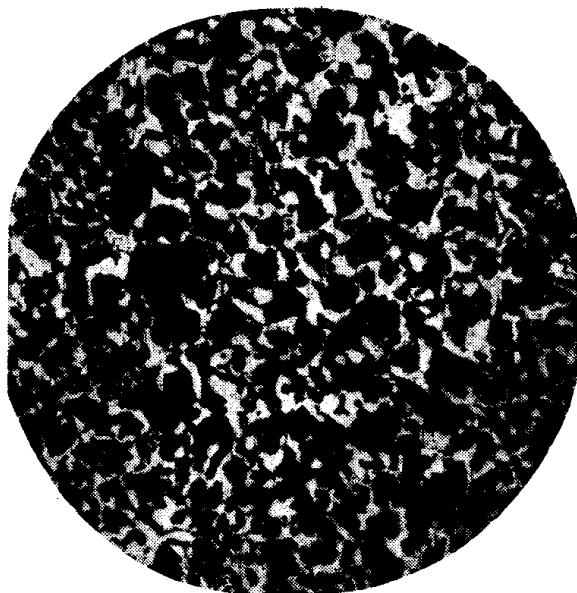
表 1-4 45 钢的几种热处理方式

组 别	钢 号	热 处 理 方 式
1	45 钢	正火：将试样加热至 830—850℃，保温适当时间后，从炉中取出置于空气中进行冷却
2	45 钢	调质（淬火+高温回火）：将试样加热至 830—850℃ 经适当保温后取出淬于水中，冷却后，重新放入 620℃ 炉中加热进行回火，保温适当时间后取出空冷
3	45 钢	淬火+低温回火：淬火工艺方法同 2，回火是在 180℃ 的炉中进行的

表 1-5 45 钢不同热处理方法处理后的性能与组织

钢 号	热 处 理 方 法	机 械 性 能				
		σ_b (公斤/毫米 ²)	σ_s (公斤/毫米 ²)	δ_5 (%)	a_k (公斤·米/厘米 ²)	H_B
45 钢	正 火 830—850℃ 空冷	≥62	≥36	≥17	≥ 6	≤207
45 钢	调 质 840℃ 水淬 620℃ 回火	≥70	≥45	≥15	≥ 8	196—241
45 钢	淬火+低温回火 840℃ 水淬 180℃ 回火	≥130	≥115	≥ 6	≥1.5	495—532 (HRC 51—55)

45 钢经过调质处理（淬火+高温回火）获得回火索氏体组织，即在连续的铁素体基体上，弥散分布着许多细小的碳化物颗粒。这种碳化物颗粒硬度极高 ($H_B > 800$)，而且很脆。由于基体是连续的韧性很好的铁素体所组成，因此在这种状态下合金有很好的韧性；另外，组织中又均匀分布着许多很硬的碳化物颗粒，起着强化作用，因此能保证钢有较高的强度。所以 45 钢经过调质处理可以获得良好的综合机械性能。



(a) 正火状态

图 1-9 45 钢经不同热处理后的显微组织