

钢铁热处理基础

广东工学院热处理专业
广东拖拉机制造厂 编著
广东省第一汽车制配厂
广州 工具厂



青年工人学艺丛书

内 容 简 介

本书原是广东工学院热处理专业在无产阶级文化大革命以来开门办学、到全省半数地区举办多次热处理工人短训班的试用教材，经过多次修改，最后联合广东拖拉机制造厂、广东省第一汽车制配厂、广州工具厂一起，组成了由党组织领导的，有工人、技术人员和教师参加的三结合编写小组，经修改而成。

本书结合生产实践，便于基层工厂工人自学和应用。编著者力求以通俗易懂的语言，比较系统地介绍了金属的基本知识及钢铁热处理原理和各种工艺过程。在介绍各类用钢及其热处理工艺时，以生产中常见的典型零件为例，对钢材和工艺特点与质量控制等进行分析；对于热处理生产过程中一些常见的疵病和防止方法，也有较详细的叙述。书中还着重介绍了火花鉴别的经验，供基层工厂应用。

本书供热处理工人学习，也可供工厂技术人员和技工学校的教师参考。

钢 铁 热 处 理 基 础

广东工学院热处理专业
广东拖拉机制造厂 编 著
广东省第一汽车制配厂
广 州 工 具 厂

广东人民出版社出版

广东省新华书店发行

广州新华印刷厂印刷

1975年6月第1版 1975年6月第1次印刷

印数 1—10,000册

统一书号 15111·79 定价 1.14元

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

出版说明

“青年工人学艺丛书”是为适应青年工人学习技术的需要而编写的。已列入计划的有：识图与画图、手工电弧焊、钳工、车工、磨工、铣工、冷冲压、锻造、钢铁热处理基础等书。以后，将陆续出版。

由于我们缺乏经验，对于丛书编辑方面的意见和要求，以及工作上存在的缺点或错误，期望广大读者及时提出批评和指正。

广东人民出版社

一九七三年六月

目 录

化学元素周期表

本书用符号名称对照表

第一章 金属概论	(1)
第一节 金属的构造	(1)
第二节 金属的结晶及同素异晶转变	(5)
第三节 金属的检验方法	(7)
第二章 合金构造及铁碳合金状态图	(16)
第一节 合金的构造	(16)
第二节 合金状态图	(18)
第三节 铁碳合金状态图	(24)
第三章 钢在加热和冷却时的组织转变	(34)
第一节 钢在加热时的组织转变	(34)
第二节 过冷奥氏体的等温转变	(38)
第三节 奥氏体在连续冷却时的转变	(45)
第四章 钢的退火与正火	(49)
第一节 扩散退火	(49)
第二节 完全退火	(49)
第三节 不完全退火及球化退火	(52)
第四节 等温退火	(53)
第五节 相变温度以下的退火	(54)
第六节 正火	(56)
第五章 钢的淬火	(59)
第一节 钢的淬火加热	(59)
第二节 淬火冷却介质	(65)
第三节 淬火方法	(69)
第四节 淬火变形与开裂	(71)
第五节 钢的表面淬火	(79)
第六章 钢的回火	(89)
第一节 钢在回火过程中组织及性能的变化	(89)

第二节	回火工艺的制定	(92)
第七章	合金化原理及钢的分类	(95)
第一节	合金元素在钢中的作用	(95)
第二节	钢的分类及其编号	(100)
第三节	钢铁的现场火花鉴别	(104)
第八章	调质钢、弹簧钢、轴承钢及其热处理	(115)
第一节	调质钢及其热处理	(115)
第二节	弹簧钢及其热处理	(123)
第三节	滚动轴承钢及其热处理	(131)
第九章	刀具、量具钢及其热处理	(139)
第一节	碳素工具钢及其刀具热处理	(139)
第二节	合金工具钢及其刀具热处理	(145)
第三节	高速钢及其刀具热处理	(151)
第四节	量具热处理	(162)
第十章	模具用钢及其热处理	(166)
第一节	冷冲模用钢及其热处理	(166)
第二节	热锻模用钢及其热处理	(173)
第三节	压铸模用钢及其热处理	(184)
第十一章	特殊性能钢及其热处理	(190)
第一节	不锈钢耐酸钢及其热处理	(190)
第二节	耐热钢及其热处理	(194)
第三节	耐磨钢	(196)
第十二章	化学热处理	(197)
第一节	渗碳	(197)
第二节	氮化	(218)
第三节	氰化	(229)
第四节	渗金属处理	(232)
第十三章	铸铁及其热处理	(233)
第一节	铸铁的组织 and 性能	(233)
第二节	影响铸铁组织的因素	(236)
第三节	铸铁的热处理基础	(237)
第四节	灰口铸铁及孕育铸铁	(240)
第五节	可锻铸铁 (展性铸铁)	(243)
第六节	球墨铸铁 (高强度铸铁)	(247)

附 录

一、常用钢材加热和冷却时的临界点(°C近似值)	(255)
二、常用钢材热处理工艺参数	(259)
三、布氏、维氏、洛氏硬度值的换算表	(262)
四、热处理常用盐浴(碱浴)成分	(263)
五、低氰渗碳盐浴中氰根(CN)含量的化学分析法 (AgNO ₃ 容量分析法)	(264)
六(1)、常用发黑(蓝)液的成分及工作规范	(266)
六(2)、发黑(蓝)的工艺	(267)
六(3)、发黑时常见的缺陷产生原因及排除方法	(267)
七、热处理方法代号(GC 423—62)	(268)
八、火色图	(彩页)

第一章 金属概论

自然界一切物质都是由原子组成，相同性质的一类原子称为“元素”。在已经发现的103种化学元素中，金属元素约占五分之四，非金属元素约占五分之一。但并不是所有金属都得到广泛的应用，工业上常用的金属有：铁、铜、铝、铅、钛、铬、镍、钨、钼等。

我们日常生活中，常见的金属（如铁、铜、铝等）都具有明显的金属特征，即良好的导电性、导热性、塑性和金属光泽。与非金属材料相比，金属不但有较好的塑性，还具有相当高的强度和硬度，也就是说，一般金属都具有良好的“综合机械性能”。此外，金属还可以通过铸造、锻压、焊接和切削加工等方法制成零件，所以，金属在工业上获得广泛的应用。

“事物发展的根本原因，不是在事物的外部而是在事物的内部，在于事物内部的矛盾性。”金属之所以具有上述特性，是和它的内部结构分不开的，所以我们先从金属的原子构造和原子之间的结合方式等方面进行讨论。

第一节 金属的构造

一、金属的原子构造

构成物质的基本粒子——原子，它是由原子核和围绕其周围的电子所组成。电子在原子核外围按一定规律分层排列，并不停地围绕着原子核旋转，电子所带的负电荷与原子核所带的正电荷相等，因此原子呈中性。

各种元素的原子核所带的电荷各不相同，核外围的电子数和分层情况也各不同，这就是各种物质在性质上出现差异的根本原因。

金属原子构造的特点是：原子核最外层电子数很少（一般是1~2个，不超过3个），而且最外层电子很容易与原子核脱离。从金属原子中脱离出来的外层电子称为“自由电子”，带负电荷。失去外层电子的金属原子称为“正离子”，带正电荷。

在金属物质中，正离子按一定的几何形状规则地在空间排列着，并在一定的位置上作轻微的热振动；自由电子则在各离子之间自由地运动，为整个金属所公有，形成所谓“电子气”。由于正离子和自由电子间的正负电荷产生吸引力，使金属原子结合成整体的金属物质。金属原子的这种结合方式叫“金属键”结合，如图1—1所示。正因为金属键结合这一特征，使金属具有一系

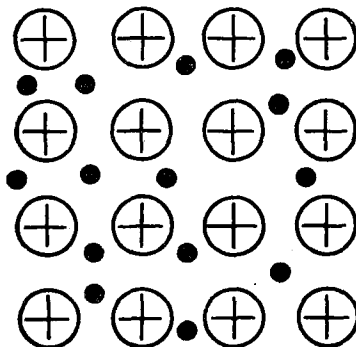


图1—1 金属键结合示意图

列特有的性能。

由于金属中自由电子的存在，所以当金属物体的两端存在一定的电位差时，自由电子便向正极流动而形成电流，因此金属具有良好的导电性。温度升高时，金属中离子的热振动加剧，阻碍着自由电子的流动，所以随着温度的升高，金属的电阻增大，表现为正的电阻温度系数，这是金属所固有的一种特征。

自由电子的运动和正离子本身的热振动，使金属具有较大的导热率。

在外力作用下，金属中原子（离子）平面之间相对移动时，正离子仍和自由电子保持着金属键结合，因此金属具有良好塑性。

二、金属的晶体构造

可以把所有的固体物质分为“晶体物质”和“非晶体物质”两大类。非晶体物质的原子是在空间无规则地、杂乱地堆积起来的。如松香、玻璃等都是非晶体物质。晶体物质中，原子（离子或分子）在空间的位置，都是按照一定的规则排列起来的，因此很多天然的晶体物质都具有规则的外形，如食盐结晶成立方体，明矾结晶成八面体等。

所有的金属都属于晶体物质。但金属晶体在液体中生长时，由于许多晶体同时长大，互相限制，故通常形成具有不规则边界的晶体，称为“晶粒”。图 1—2 为金属从液态结晶为固态时晶体生长的情况，图 1—3 为纯铁在显微镜下放大 400 倍所看到的晶粒。X 射线结构分析的实验结果说明，每一晶粒内，金属原子（离子）是按一定规则排列起来的。

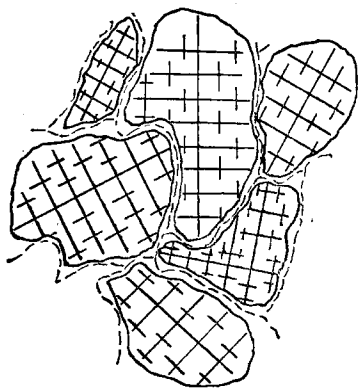


图 1—2 金属晶体生长示意图

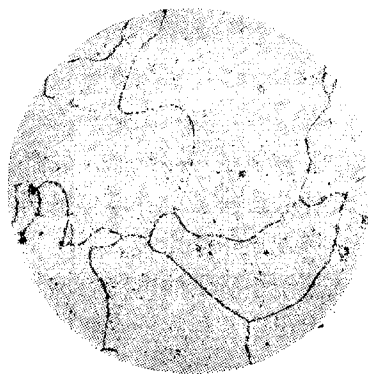


图 1—3 工业纯铁显微组织 400×

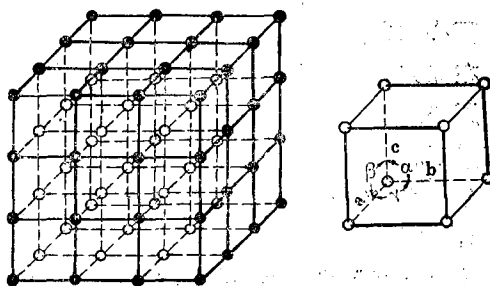
因为金属晶体中原子排列情况对金属的性能有重要的影响，所以研究金属的晶体构造具有实际意义。

为了研究晶体物质的原子在物质内部空间的排列情况，我们可以设想，通过各原子的中心用直线联结起来，然后再把其中一部分抽出来加以放大，这便形成了如图 1—4a) 的“空间格子”模型，又叫做“晶格”。不同金属或者同一金属在不同条件下(如不同温度)，其晶格的结构是不同的。图 1—4 表示的是简单立方晶格的构造。

在研究晶体构造时，为方便起见，通常是从空间格子中，取出一个能代表该种晶格类型

的最小单位来研究，这个能代表某种晶格类型的单位晶格叫做“晶胞”，图 1—4 b) 为简单立方晶胞，这种晶胞只要在空间经过多次重复，就可以成为简单立方晶格。

晶胞的三条棱边 a 、 b 、 c 的长度叫做“晶格常数”，以 $\text{\AA}$ （埃）为单位（ $1 \text{\AA} = 10^{-8}$ 厘米），晶格常数是表示晶体结构类型的一个重要参数。如果各棱边的长度相等（即 $a = b = c$ ），而且互相垂直（即 $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ ），则叫做简单立方晶格。



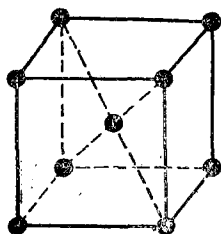
a) 晶格 b) 晶胞

图 1—4 简单立方晶格模型

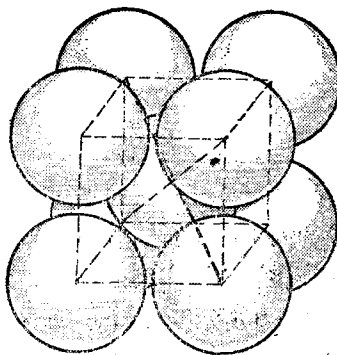
金属的晶格一般要比简单立方晶格复杂一些，但由于金属原子是以金属键的形式结合，金属中的原子（离子）总是尽可能地趋向紧密的排列，形成高度致密的结构，因此大多数金属的晶体构造，分属如下三种类型：体心立方晶格、面心立方晶格和密排六方晶格。

1. 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 1—5 a) 所示，在立方体的每个角和立方体的中心各有一个原子。实际上这些原子是靠得很紧的。象互相接触的球体一样堆集在一起，如图 1—5 b) 所示。属于体心立方晶格结构的金属有：铬、钒、钼、钨、 α 铁（当温度在 910°C 以下及 $1390 \sim 1535^\circ\text{C}$ 之间）等。

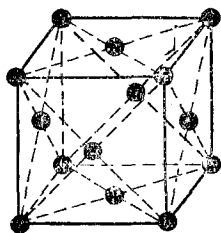


a)

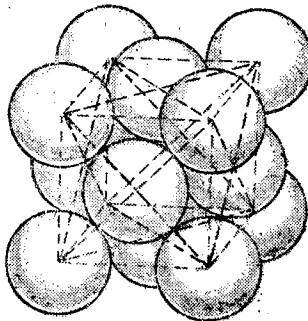


b)

图 1—5 体心立方晶格



a)



b)

图 1—6 面心立方晶格

2. 面心立方晶格

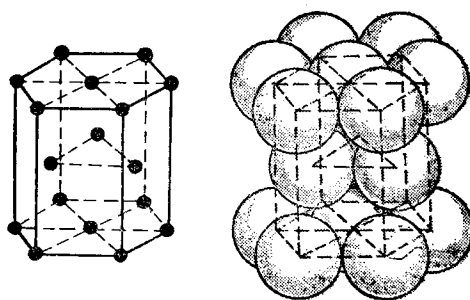
面心立方晶格的晶胞如图 1—6 a)、b) 所示, 在立方体的每个角上和六个面的中心各有一个原子。面心立方晶格中原子的排列比体心立方紧密。属于面心立方结构的金属有铝、铜、镍、金、银、 γ 铁 (温度在 $910 \sim 1400^\circ\text{C}$) 等。

3. 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞如图 1—7 a)、b) 所示。除在六方体的每个角和上下面的中心各有一个原子外, 在六方体的中心还有三个原子。

密排六方晶格和面心立方晶格同样属于最紧密

的排列方式之一, 属于密排六方结构的金属有锌、镁、镉、 α 钴、 β 铬等。



a) b)
图 1—7 密排六方晶格

三、金属晶体的实际结构

1. 单晶体和多晶体

从液态金属结晶成固态时, 由一个结晶核心长大形成的晶体叫做“单晶体”。然而, 金属从液态结晶时往往同时形成许多结晶核心, 并共同长大, 所以固态金属一般是由许多细小的单晶体所组成。在金相显微镜下所看到的每个晶粒就是一个单晶体。只有在特殊情况下, 才人为地控制金属的结晶过程, 获得金属的单晶体, 例如常用的半导体锗单晶等。

由于金属晶格在空间规则地排列, 在不同方向上, 晶体中原子平面的距离不同, 原子排列的密度也不同, 因而单晶体金属在不同方向上, 其物理、化学和力学性能也各有不同, 这就称为“各向异性”。这种各向异性的现象在某些非金属的晶体物质中, 表现尤为明显, 如结晶的食盐受打击时容易沿着相互垂直的平面裂开; 云母片特别容易沿着和底平面平行的方向裂成薄片。

一般固体金属是由许多结晶位向不同的单晶体所组成 (如图 1—8 所示), 各个单晶体的异向性能相互抵消。因此, 在一般情况下, 多晶体金属不显出“各向异性”, 这又叫做“伪无向性”。

经过轧制的金属, 各晶粒的位向渐趋一致, 而显示出方向性, 这种现象称为晶体的“择优取向”。在电器制造中所用的硅钢片, 是经过冷轧, 使晶粒形成择优取向而造成电磁性能的方向性, 以减少电能的损耗。但在另一种情况下, 由于方向性的存在却严重地影响产品的质量, 如: 经择优取向的钢板进行冷冲压时, 会使环形或筒形的零件产生花边 (如图 1—9 所示), 甚至由于应力局部集中而引起裂纹, 所以在生产中, 必须用热处理的办法把它消除。

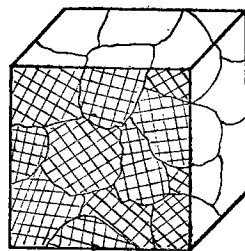
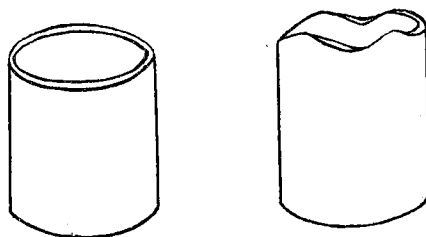


图 1—8 金属多晶体结构示意图



a) 无花边 b) 有花边

图 1—9 筒形冲压件产生花边的情况

2. 理想晶体和实际晶体

在讨论晶体构造时，假设晶体中原子是严格地按规则排列的，这叫做“理想晶体”，但在实际上，实际的晶体却存在许多缺陷，由于原子的热振动，晶格中的原子可能离开原来应有的位置，造成“空位”，而离开了原来位置的原子（或外来杂质原子）跑到晶体间隙中，成为“间隙原子”，如图 1—10 所示。

实际上，晶体中的原子排列方向也不是完全一致的。一个晶体可以看成由许多规则排列的小块所组成。这些小块以 $10' \sim 20'$ 的角度互相倾斜地排列着，这样的小块晶体称为“嵌镶块”，如图 1—11 所示。

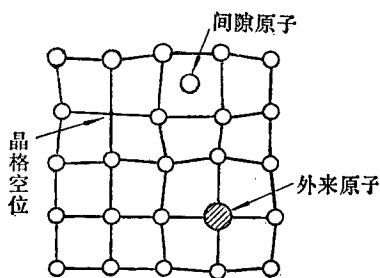


图 1—10 晶体缺陷示意图

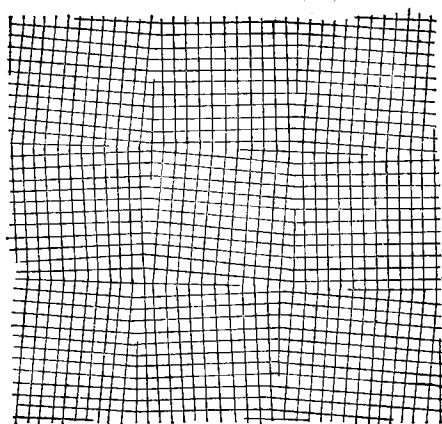


图 1—11 嵌镶块结构示意图

晶体的缺陷，在多晶体金属的晶粒边界上表现得更为突出。因为晶粒与晶粒之间结晶方向不同，在晶粒界面，原子的排列更不规则，晶粒边界存在的杂质也较多，无论在化学成分、结构和性能（侵蚀性、熔点等）方面，晶粒边界都与晶体内部有所差别，所以对金属的性能产生明显的影响。

如晶粒愈细（即界面越多）则金属的硬度、强度愈高，塑性也越好。因此，一般都希望得到晶粒细小的金属。

第二节 金属的结晶及同素异晶转变

一、金属的结晶

结晶是指金属（或其他晶体物质）自液态转变为固态时晶体结构的形成过程，即从原子不规则排列的液态过渡为规则排列的固态的过程。晶体物质具有固定的结晶（熔化）温度，叫做“平衡结晶温度”。在这一温度，液态和固态可以同时存在。但金属实际的结晶温度总是比平衡温度稍低。实际结晶温度(t_n)与平衡结晶温度(t_0)之差叫做“过冷度”。过冷度(n)的大小则与金属的冷却速度及结晶条件有关，一般冷却速度越快，则过冷度就越大。

金属的结晶过程可以用热分析的方法来研究。即先把金属熔化，然后缓慢冷却，在冷却

过程中观察并记录不同时间的温度变化情况，再在温度—时间座标上绘出如图 1—12 的冷却曲线；从图中看出，金属是在 t_n 温度下进行结晶。结晶过程中，由于金属结晶放出的“潜热”补偿了结晶时向外散失的热量，所以曲线上出现一段“平台”，即纯金属在恒温下结晶，直到结晶完毕，温度又开始下降。从图 1—12 冷却曲线还可以看出：金属的结晶不是瞬时即能完成，而是需要一定的结晶时间；结晶过程总是先从液体中形成某些叫做“晶核”的结晶核心开始，然后逐渐长大成为晶体，直至全部结晶完成。在晶核的长大过程中，液体里又会出现新的晶核；晶核的形成和晶体的长大是同时进行的。

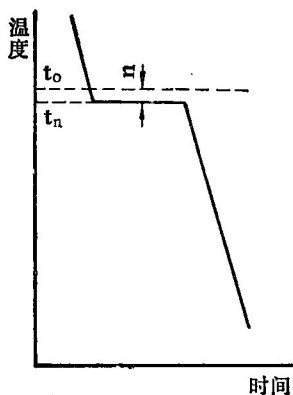


图 1—12 纯金属冷却曲线

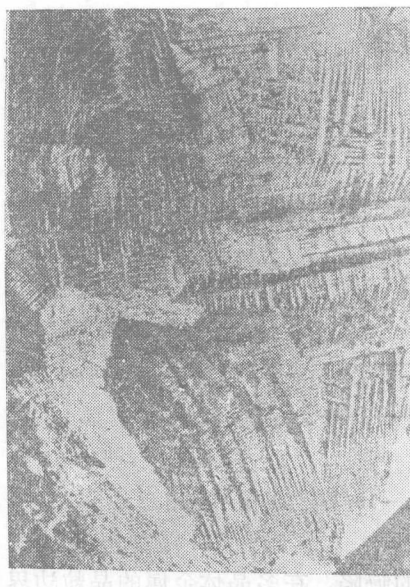


图 1—13 金属表面树枝状结晶

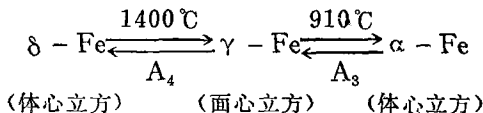
在结晶开始时，晶体具有规则的外形，但由于晶体各部分散热条件不同，晶体在散热较快的棱角处，以较大的速度长大形成枝干，又从枝干长出分枝，分枝再生分枝，最后填满枝间的空隙。因此，在金属的断面看不到枝晶的构造，只有在金属凝固时的自由表面上，由于结晶物质还没有充满枝间空隙时，枝晶的外形才能显示出来，如图 1—13 为金属结晶时表面呈树枝状结晶的照片。我们日常使用的镀锌钢板上，也经常可以看见树枝状花纹。

冷却速度对金属结晶过程影响很大，冷却速度越快，过冷度就大，晶核的形成和晶体长大速度就越快。过冷度大时，由于结晶核心的增多，结晶后得到的晶粒就愈细，故一般金属冷却速度越快，所得到的晶粒就愈细。除此以外，当液体金属中存在某些难熔的微细杂质时，它们往往可以作为“天然”的结晶核心，显著地增多晶核的数量，使晶粒细化，例如在钢中加入少量铝、钒和钛等元素就能起到细化晶粒的作用。

二、金属的同素异晶转变

金属在固态下，由于温度的变化，其晶体的构造也发生变化，这个现象叫做“同素异晶转变”。某些金属如铁、锰、钨、钛等，都具有同素异晶转变。

这里着重讨论铁的同素异晶转变。铁在固态下，随着温度的变化出现两次晶格转变。它的冷却曲线及各温度区间所具有的晶格类型如图 1—14 所示。铁在 1535℃ 下进行结晶，得到的是体心立方晶格的 δ 铁，当温度下降至 1400℃ (A_4) 时， δ 铁转变为面心立方晶格的 γ 铁，温度继续下降，至 910℃ (A_3)， γ 铁又转变为体心立方的 α 铁，这些转变可以用下式表示：



铁的同素异晶转变，是由一种晶格形式转变为另一种晶格形式，是原子的重新排列组合过程。这种组合过程，实质上就是一种结晶过程，同样遵循晶核形成和晶体长大的结晶规律，转变时也同时放出（或吸收）潜热，冷却曲线也出现“平台”。此外，晶体构造的改变还伴随着发生体积的变化，如铁从面心立方晶格转变为体心立方晶格时，体积约膨胀 1%。由于不均匀的体积变化会使金属产生很大的内应力，是零件在热处理过程中出现变形开裂的重要原因之一。

固态下晶体构造的改变，金属的性能也将发生变化。钢铁所以能够通过热处理显著地改变其性能，也是与铁的同素异晶转变有关。

冷却曲线在 768℃ 时所出现的平台，不是晶体结构的改变，而是发生磁性变化的结果。即 768℃ 以下，铁具有良好的磁化能力，而高温时则失去磁性。发生磁性变化的温度又叫做“居里点”。

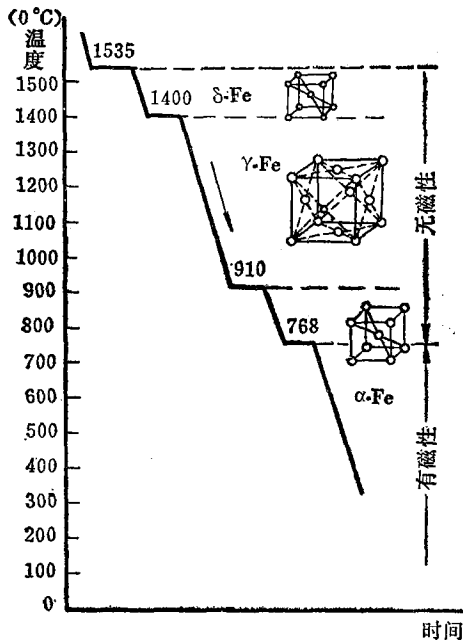


图 1—14 铁的冷却曲线

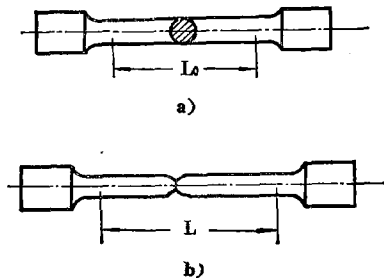
第三节 金属的检验方法

一、金属机械性能的检验

金属在工业上大多数是制成各种机械零件、工具或金属构件使用。它们在工作时必须承受各种不同的外力（如拉力、压力、弯曲、扭转、冲击及摩擦等），为了保证零件长期而正常地使用，金属零件必须具备抵抗外力而不致破坏或变形的性能，即金属必须具备良好的机械性能。下面介绍几种主要的衡量金属机械性能的指标及其测定的简单原理。

1. 拉伸试验

拉伸试验可以测定金属的强度和塑性。把金属造成如图 1—15a) 所示的试样，然后将试样的两端



a) 拉伸前 d) 拉伸后
图 1—15 拉伸试样

夹持在拉伸试验机上进行拉伸。作用在试样上的拉力是逐渐增加的，试样在拉力的作用下逐渐被拉长，直至拉断为止。通过自动记录装置，将作用于试样的拉力 P 及试样长度的变形量 ΔL 同时记录下来，再以拉力 P 为纵座标，变形量 ΔL 为横座标，绘出拉伸曲线(拉伸图)，图 1—16 为低碳钢的拉伸曲线。

由图 1—16 可见，当拉力小于 P_e 时，试样的变形量很小，而且与拉力的大小成正比，曲线上 $0a$ 段为直线。如果这时除去外力，试样仍能恢复到它原来的形状和尺寸，象弹簧一样，外力除去就弹回去了。我们把这种变形叫做“弹性变形”。在弹性变形范围内，变形量愈大，则说明该种材料弹性愈好。“弹性变形”实质上是金属晶体受力时，原子间发生微小位移(不超过一个原子的间距)，外力取消后，原子又回复到原来状态的结果。

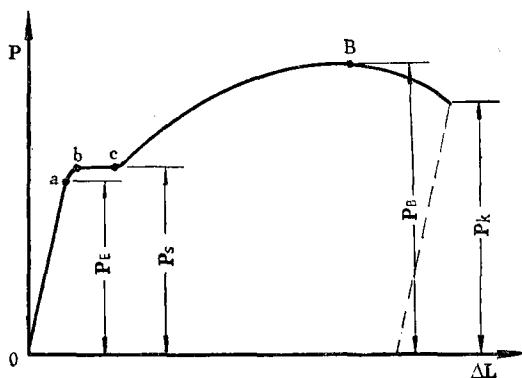


图 1—16 低碳钢拉伸曲线

当拉力继续加大到 P_s 时，即使在拉力不变的情况下，试样仍继续变形，如图 1—16 bc 线段所示。这说明材料在外力的作用下，失去了抵抗变形的能力，表示“屈服”了。这时如将拉力除去，试样长度虽然稍有恢复，但再不能恢复到原来的形状尺寸。即有一部分变形被保留下来。这种变形称为“塑性变形”。“塑性变形”的实质是：金属在外力作用下，晶体内某些结晶平面相对滑移。而晶体的缺陷，如晶格歪扭及多晶体的晶界等，都是阻碍晶体滑移的因素，故能提高金属抵抗塑性变形的能力。

金属通过塑性变形后，晶格发生歪扭，因而抵抗变形的能力增强了。只有增大拉力，变形才能继续进行。这种通过塑性变形以后使金属强度及硬度提高的现象，叫做“加工硬化”。

当拉力逐渐增大，则试样继续被拉长(图中 c 点以后)，断面愈来愈细。当拉力到达 P_B 时，变形集中发生在试样的某一部分，出现了“缩颈”，如图 1—15b)所示。这时即使在拉力减小的情况下，变形照样进行，试样很快就在缩颈处被拉断了。

根据上述情况来看，试样的变形及断裂，是在不同的外力作用下分阶段进行的。因此，可以根据试样在不同阶段受力及变形的情况，定出材料的强度和塑性指标。

(一) 强度 设通过试验测出试样开始产生塑性变形时的拉力为 P_s (如图 1—16 所示)，而拉伸前试样的横截面积为 F_0 。 F_0 除 P_s 便得出“屈服强度”或“屈服极限”，以 σ_s 表示，即：

$$\sigma_s = \frac{\text{开始产生塑性变形的拉力}(P_s)}{\text{拉伸前试样的横截面积}(F_0)} \text{ kg/mm}^2$$

由于很多材料的拉伸图上没有明显的 bc 段，塑性变形的开始点很难确定，所以在实际测定时，又常以残留变形量为 0.2% 时的应力作为屈服强度，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。 σ_s (或 $\sigma_{0.2}$) 愈大，表示这种材料抵抗塑性变形的能力愈大。

设试样被拉断时的拉力为 P_B ，则 P_B 除以 F_0 便得出另一个重要的强度指标，叫做“抗拉强度”或“强度极限”，以 σ_b 表示，即：

$$\sigma_b = \frac{\text{试样断裂前所受的最大拉力}(P_B)}{\text{拉伸前试样的横截面积}(F_0)} \text{ kg/mm}^2$$

抗拉强度和屈服强度同样是重要的机械性能指标。

(二) 塑性 塑性是指材料在外力作用下断裂之前产生塑性变形的能力。材料被拉断前的变形越大, 则说明这种材料塑性越好。

塑性指标以延伸率 δ 及断面收缩率 ψ 来表示, 它们同样可以通过拉伸试验进行测定。

设试样被拉断时的测量长度为 L , 如图 1—15b)。拉伸前试样的测量长度为 L_0 , 如图 1—15a), 则试样被拉断时的伸长量为 $L - L_0$; 延伸率 δ 可按下式计算:

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

设试样被拉断时缩颈处的横截面积为 F , 拉伸前试样横截面积为 F_0 , 则试样被拉断时横截面积收缩总量为 $F_0 - F$ 。断面收缩率 ψ 可按下式计算:

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

塑性好的材料可以进行锻造、冲压、拉伸、轧制等加工。例如一般低碳钢的断面收缩率可达60%, 延伸率可达35%, 而一般铸铁则几乎等于零。

金属的强度及塑性指标的确定, 除拉伸试验以外, 还有压力试验、弯曲试验及疲劳试验等。

对于塑性很差的脆性材料(如铸铁、硬铝等), 通常采用弯曲试验。强度指标则以抗压强度 σ_{bc} 及抗弯强度 σ_{bb} 表示。

金属材料在反复受力(如拉力及压力循环变化)情况下的强度指标, 以疲劳强度 σ_n 来表示。

2. 冲击试验

实际工作中, 许多零件往往要求能承受一定冲击力的作用。如弹簧、齿轮、轴、连杆等。因此所用的材料必须具备良好的韧性, 通常把金属材料抵抗冲击力量的能力, 称为“冲击韧性”, 以 a_k 来表示。

冲击试验通常在摆式冲击试验机上进行。将材料制成具有一定形状的缺口的长方形试样, 放在冲击试验机上进行试验, 如图 1—17所示。

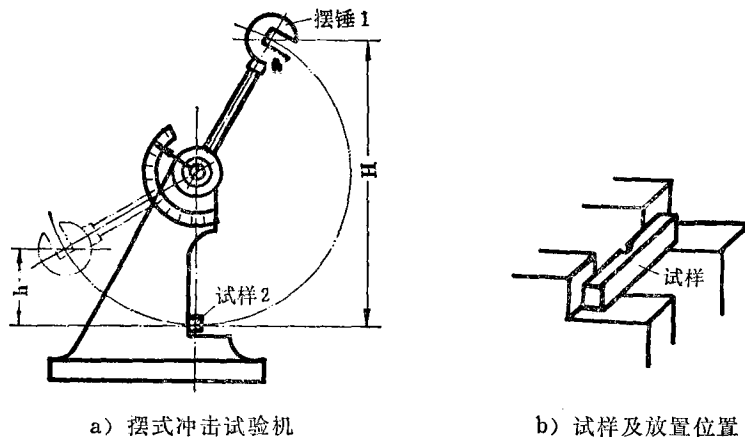


图 1—17 冲击试验原理图

试验时先将重为 P 公斤的摆锤，固定于规定高度 H 的位置上。这时摆锤具有的位能为 $P \cdot H$ 。然后使摆锤自由落下，将试样冲断。摆锤继续向前升高至 h 的高度，这时摆锤的位能为 $P \cdot h$ 。则冲断试样所消耗的功 A_k 为：

$$A_k = P \cdot H - P \cdot h = P(H - h) \text{ kg} \cdot \text{m}$$

A_k 求出以后，再用试样缺口处的横截面积 F 除之，便得冲击韧性 a_k 值为：

$$a_k = \frac{A_k}{F} \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$$

3. 硬度试验

硬度试验是在硬度试验机上用一定的压力将硬质压头压入被测工件的表面，然后根据工件压痕的大小或深浅来确定硬度值。因此，硬度实质上是表示金属表面对于外物压入产生塑性变形的抵抗能力。

硬度与材料的强度有一定关系，并在很大程度上反映出材料的耐磨性。因此，硬度是金属材料性能的一个重要指标。由于硬度试验简单方便，不需要特殊的试样，不破坏工件，所以硬度试验通常作为热处理质量检验的一种主要手段。根据试验方法不同，通常用的硬度试验有布氏硬度，洛氏硬度，维氏硬度等。

(一) 布氏硬度 布氏硬度的测定是在布氏硬度机上进行。使用经过淬硬的标准钢球作为压头，在一定的压力 P 的作用下，压入被测材料表面。这样，被测材料的表面上保留下一个压痕（如图 1—18 所示），再根据压痕表面积 F 的大小来确定硬度值。压痕大的表示材料硬度低；压痕小则表示材料硬度高。布氏硬度值以 HB 表示。并可用下式计算：

$$HB = \frac{P}{F} \text{ kg}/\text{mm}^2$$

式中： P ——加在钢球上的压力（公斤）

F ——压痕的表面积（毫米²）

由于压痕表面积与压痕的直径 d 有一定关系，所以试验时只要用带有放大镜的测微尺测出压痕直径 d (mm)，并根据所用钢球直径 D 及压力 P 等三个数据通过查表，便可以得出 HB 值，见附录三。

例如：用钢球直径 $D = 10$ 毫米，压力 $P = 30D^2 = 3000$ 公斤，并测得压痕直径 $d = 3.95$ 毫米。从附表三中可以查出 $HB = 235$ 公斤/毫米²（通常称为度）。

试验时，应根据试件的厚薄和材料的硬度范围来选用钢球的直径及所加载荷。见表 1—1 所示。

试验条件可在布氏硬度值符号 HB 后面注明。如 $HB10/3000/10$ 即表示试验钢球直径为 10 毫米，载荷为 3000 公斤，载荷保持时间为 10 秒钟。

布氏硬度试验的优点是硬度值比较准确。因为它的压痕比较大，由于材料组织不均匀所引起的误差小。并且布氏硬度值与材料的拉伸强度 σ_b 存在一定的关系，如对未淬硬的碳钢来说 $\sigma_b = 0.36HB$ 公斤/毫米²。其缺点是：试验方法较麻烦。由于压痕大，不能用于表面不允许有大压痕的工件，也不能用于薄件的试验。又因布氏硬度是用钢球压头，故太硬的材料亦不能试验。

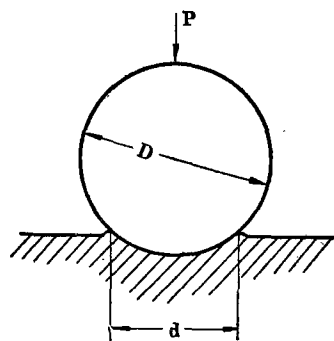


图 1—18

布氏硬度试验原理图