



电厂金属材料基础

苏州电力技工学校

电力工业出版社

TS177

电 厂 金 属 材 料 基 础

苏州电力技工学校

电 力 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书为技工学校热机类专业的专业基础课教材。

全书共六章，主要内容有：金属材料的性能、金属学和钢的热处理基本知识；锅炉、汽轮机用钢；铸铁、有色金属与合金以及火电厂金属监督的基本知识等。为便于自学，书中各章都附有思考题。

本书除供技工学校有关专业的学生以及工厂技术工人培训用作教材外，还可作为焊接、金属监督等专业人员的参考用书。

电厂金属材料基础

苏州电力技工学校

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16 开本 6 印张 132 千字

1981年11月第一版 1981 年11月北京第一次印刷

印数 00001—11620册 定价0.55元

书号 15036·4233

前 言

火力发电厂使用着各种金属材料，它们种类繁多，化学成分不同，其组织和性能也不同。电厂金属材料多数在高温、高压和腐蚀条件下长期工作，材料的组织和性能不断发生变化，从而影响设备的使用寿命，甚至引起材料破坏发生设备损坏事故。特别是随着电力工业向高参数、大容量的机组发展，对电厂金属材料的要求愈来愈高，因此，了解电厂金属材料基础知识，掌握电厂高温金属在长期运行中组织和性能的变化，对电厂的安全运行是极为重要的。

全书共六章，第一～三章主要讲述金属材料的性能、金属学和热处理基础知识；第四、五章介绍电厂常用金属材料，重点介绍锅炉和汽轮机用钢；第六章讲述钢在高温下组织和性能的变化和由于金属材料失效而引起的事故以及金属监督的基本知识。为便于自学，各章均附有复习思考题。

本书由苏州电力技工学校蒋玉琴主编，其中三、五、六章由蒋玉琴编写；一、二、四章由王进汝编写。本书由湖州电力技工学校董善钧主审，武昌电力技工学校熊熙永、保定电力技工学校张福智、苏州电力技工学校陆黎民参加了本书的审稿工作。

本书在编写过程中，还得到了许多单位和同志的热情帮助和支持在此一并致谢。

限于我们的水平，书中缺点和错误在所难免，恳切希望读者批评指正。

编 者

目 录

前 言	
第一章 金属材料的性能	1
第一节 金属材料的物理、化学和工艺性能	1
一、金属材料的物理性能；二、金属材料的化学性能；三、金属材料的工艺性能	
第二节 金属材料的机械性能	3
一、强度和塑性；二、硬度；三、冲击韧性；四、疲劳和疲劳极限	
第二章 金属学基本知识	9
第一节 金属及合金的结构	9
一、金属的晶体结构；二、合金的结构	
第二节 金属的结晶和同素异构转变	12
一、金属的结晶；二、金属的同素异构转变	
第三节 钢和生铁的基本组织性能	14
一、铁素体；二、奥氏体；三、渗碳体；四、珠光体；五、莱氏体	
第四节 铁碳合金状态图	15
一、铁碳合金状态图简介；二、典型铁碳合金结晶过程分析；三、铁碳合金状态图的应用	
第三章 钢的热处理	22
第一节 热处理基础	22
一、钢加热时的转变；二、钢冷却时的转变	
第二节 钢的退火与正火	26
一、退火；二、正火	
第三节 淬火与回火	27
一、淬火；二、回火	
第四节 表面热处理	31
一、表面淬火；二、钢的表面化学热处理	
第四章 锅炉、汽轮机用钢	35
第一节 碳钢	35
一、碳和杂质元素对钢的组织与性能的影响；二、碳钢的分类；三、碳钢的编号和用途	
第二节 合金钢	39
一、合金元素在钢中的存在形式；二、合金元素对钢性能的影响；三、合金钢的编号；四、合金结构钢；五、合金工具钢；六、特殊性能钢	
第三节 碳钢和合金钢在锅炉、汽轮机上的应用	52
一、锅炉主要部件用钢；二、汽轮机主要部件用钢；三、紧固件用钢；四、垫片用钢	
第五章 铸铁、有色金属及其合金	60
第一节 铸铁	60
一、白口铸铁；二、灰口铸铁；三、球墨铸铁；四、可锻铸铁；五、耐热铸铁；六、其它铸铁	
第二节 有色金属及其合金	64

一、铜及铜合金；二、轴承合金；三、钎料

第六章 火力发电厂金属监督	71
第一节 钢在高温时性能的变化	71
一、机械性能的变化；二、蠕变；三、持久强度；四、持久塑性；五、应力松弛	
第二节 钢在高温下组织的变化	78
一、珠光体的球化和碳化物的聚集；二、石墨化	
第三节 钢的缺陷、焊缝缺陷和焊缝组织对运行的影响	80
一、钢的缺陷对运行的影响；二、焊缝缺陷对运行的影响；三、焊缝组织对运行的影响	
第四节 火力发电厂高温金属常见事故	82
第五节 钢的质量鉴别	
一、化学成分鉴别法；二、金相分析法；三、无损探伤	
第六节 火力发电厂的金属监督工作	86
附录一 黑色金属硬度及强度换算表	89
附录二 钢材的涂色标记	90

第一章 金属材料的性能

金属材料的性能可分为物理性能, 化学性能, 工艺性能和机械性能等, 这些性能是衡量金属材料质量的标志。本章将重点介绍金属材料的机械性能, 对其它性能只作一般概述。

第一节 金属材料的物理、化学和工艺性能

一、金属材料的物理性能

金属材料的物理性能有: 比重、熔点、导电性、导热性、热膨胀性和磁性等。

1. 比重

物质单位体积所具有的重量称为比重, 用符号 γ 表示。利用比重的概念可以帮助我们解决一系列实际问题, 如: 计算零件毛坯的重量, 区分轻金属与重金属以及鉴别金属材料的质量等。

常用金属材料的比重如下: 铸钢为 7.8 克/厘米³, 灰铸铁为 7.2 克/厘米³, 铜为 8.9 克/厘米³, 黄铜为 8.63 克/厘米³, 铝为 2.7 克/厘米³。

2. 熔点

金属由固态转变为液态时的温度称为熔点。不同的金属有不同的熔点。掌握各种金属的熔点, 对于铸造、焊接、镀锡以及配制合金等方面都很重要, 例如熔点低的金属或合金可以用来制造焊锡、保险丝、铅字等; 熔点高的金属或合金可以用来制造过热器管、汽轮机的叶片、电热丝等耐热零件。

3. 导电性

金属传导电流的能力叫做导电性。

各种金属的导电性能各不相同, 通常银的导电性最好, 其次是铜和铝。当材料截面大小及其它条件相同时, 金属的导电性愈好, 则电流通过时所产生的热量就愈少, 从而在输电过程中的电能损失就较小。由于纯金属的导电性能较好, 因此在电气工程上广泛采用纯铜或纯铝作为导体。另一方面, 金属材料的导电性愈差, 则电阻愈大, 电流通过它时所产生的热量就愈大。利用这一特点, 可用高电阻的金属材料来制造电热丝、变阻器等。

4. 导热性

金属传导热量的性能称为导热性。金属不同, 导热性亦不同, 银的导热性最好, 其次是铜和铝。一般来说, 导电性好的材料, 其导热性也好。若某些零件在使用中需要大量吸热或散热时, 则要用导热性好的材料。例如, 凝汽器中的冷却水管常用导热性好的铜合金来制造, 以提高其冷却效果。

5. 热膨胀性

金属受热时体积发生胀大的现象称为金属的热膨胀性。生产实际中, 必须考虑金属的

热膨胀性能所产生的影响。例如，汽轮机转子与静子之间要留有足够的间隙，以防机组启动加热时，因其膨胀的差异而产生转子、静子碰磨的设备损坏事故。

6. 磁性

7. 耐磨性

二、金属材料的化学性能

1. 抗氧化性

钢的抗氧化性级别按冶金工业部部颁标准《YB48-64》进行评定，如表1-1所示。一般用作过热器管等材料的抗氧化腐蚀速度指标控制在 ≤ 0.1 毫米/年。

表 1-1

抗 氧 化 性 级 别	分 类	年 腐 蚀 深 度 毫 米/年
1	完 全 抗 氧 化 性	<0.1
2	抗 氧 化 性	>0.1~1.0
3	次 抗 氧 化 性	>1.0~3.0
4	弱 抗 氧 化 性	>3~10.0
5	不 抗 氧 化 性	>10

2. 耐腐蚀性

三、金属材料的工艺性能

1. 铸造性

态金属在凝固过程中的收缩和偏析程度(金属材料凝固后化学成分的不均匀性叫偏析)。一般来说,金属材料的熔点低,凝固后的收缩率小,铸件组织均匀,则称其铸造性能好。常用来铸造的金属材料有各种铸铁、铸钢及铜合金等。

2. 可锻性

可锻性是指金属材料在压力加工时,能改变形状而不产生裂纹的性能。可锻性的好坏主要决定于材料的化学成分和加热温度。通常碳钢具有良好的可锻性,其中低碳钢的可锻性最好,中碳钢次之,高碳钢较差;合金钢中低合金钢的可锻性近似于中碳钢,高合金钢的可锻性不如高碳钢;铸铁、硬质合金等不能进行锻压加工。加热温度对金属可锻性能影响较大,温度提高金属的可锻性提高,故锻造通常是在一定温度下进行的。

3. 焊接性

通过加热和加压(或两者并用)使两个金属件之间造成原子间和分子间的结合,从而得到永久连接的工艺过程称为焊接。金属材料在焊接过程中所表现出的性能叫做焊接性。焊接性能的好坏,决定于材料的化学成分、导热性、热膨胀性等。通常低碳钢的焊接性能较好,高碳钢和铸铁较差。

4. 切削性

切削性是指金属材料是否易于切削的性能。切削时,若切削刀具不易磨损、切削力较小且被切削工件表面质量高,则称该材料的切削性好。通常灰口铸铁具有良好的切削性,钢的硬度在HB180~200范围内时,具有较好的切削性。

第二节 金属材料的机械性能

金属材料受力时,从开始受力至材料破坏的全部过程中所呈现的力学特征,称为金属材料的机械性能或力学性能,通常是指:强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

一、强度和塑性

1. 强度

金属材料受力时抵抗破坏的能力称为材料的强度。按照外力作用的性质不同,可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗扭强度等。材料的强度可用它的极限应力值来表示,如屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 、弹性极限 σ_e 等。

2. 塑性

金属材料受力时,当应力超过屈服点后材料产生永久变形而不发生断裂破坏的能力称为塑性。常用的塑性指标是通过拉伸试验测得的,工程上通常用延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 作为塑性指标。

延伸率是试样拉断后,标距长度的伸长量与标距长度比值的百分率,可按下式计算:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 δ ——延伸率;

l_1 ——试样拉断后的标距长度(毫米);

l_0 ——试样原来的标距长度(毫米)。

拉伸试验时,不同长度的标距试样所测得的伸长率数值是不同的,因此在延伸率符号 δ 的下角注明试样的尺寸。例如,用长试样($l_0 = 10d_0$, d_0 代表试样直径)测得的延伸率,用符号 δ_{10} 代表,通常写成 δ ;用短试样($l_0 = 5d_0$)测得的延伸率,用 δ_5 代表。对于同一材料, $\delta_5 > \delta_{10}$ 。

断面收缩率是试样拉断后,断口面积的缩小量与原截面面积比值的百分率,用下式计算:

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_0 ——试样拉断前的横截面积(毫米²);

F_1 ——试样拉断后的断口面积(毫米²)。

δ 和 ψ 的数值越大,表示金属材料的塑性越好。一般把 $\delta > 5\%$ 的材料称为塑性材料(如低碳钢);而把 $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料(如灰口铸铁)。塑性好的材料可顺利地进某些成型工艺,如锻压、冷冲和冷拔等。此外,良好的塑性还可使零件在使用中一旦发生超载时,能由于塑性变形而避免突然断裂。

二、硬度

硬度通常是指金属材料抵抗硬的物体压入其表面的能力。由于测试方法不同,因而有不同的硬度指标,其中常用的有布氏硬度和洛氏硬度两种。

1. 布氏硬度

布氏硬度的测试原理是:用一直径为 D 的淬硬钢球,在规定载荷 P 的作用下压入被测金属材料的表面,载荷 P 去除后,在金属材料表面便留下了一个直径为 d 的压痕,如图1-1所示。此压痕单位面积上所承受的压力即为布氏硬度值,以符号HB表示,计算公式为:

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

式中 HB——布氏硬度(公斤/毫米²);

P ——加在钢球上的载荷(公斤);

F ——压痕表面积(毫米²);

D ——钢球直径(毫米);

d ——压痕直径(毫米)。

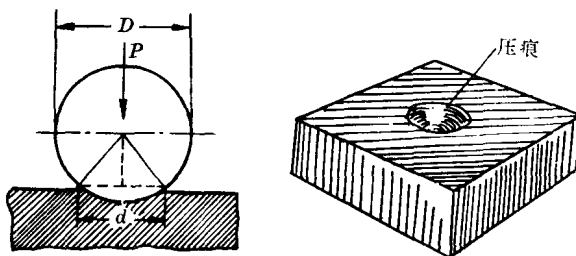


图 1-1 布氏硬度试验示意图

布氏硬度的单位为公斤/毫米²，但习惯上不标其单位，例如 HB = 300 公斤/毫米²，可写为 HB300。

布氏硬度值可根据上式计算而得，但为了方便起见，也可根据压痕直径 d 值的大小查表1-2得出。

表 1-2 布 氏 硬 度 值 表

10毫米(钢球直径) 3000公斤(载荷)时的压痕直径 d (毫米)	2.90	3.30	3.45	3.65	3.85	4.05	4.21	4.85	4.95	5.05
硬 度 HB	444	341	311	277	248	223	205	152	146	140

根据经验，硬度(HB)与抗拉强度(σ_b)之间有如下近似关系：

铸钢： $\sigma_b \approx 0.3 \sim 0.4 \text{ HB}$

未淬硬钢： $\sigma_b \approx 0.362 \text{ HB}$ ($\text{HB} > 175$)

灰口铁： $\sigma_b \approx \frac{\text{HB} - 40}{6}$

用布氏硬度法测量金属材料的硬度具有很高的测量精度、试验数据稳定，但操作缓慢、压痕大，因而不宜用作大量成品零件和硬度较高的($\text{HB} > 450$)金属材料的测试。

电厂中锤击式简易布氏硬度计用得比较广泛，它能直接在大型工件上测定硬度，且携带轻便。锤击式简易布氏硬度计结构如图1-2所示。试验时，先初估被测工件的大致硬度，然后选择一个与它相近的标准试棒4插入硬度计内，将硬度计置于被测工件上，用手锤敲击冲头6。这样钢球2就在被测试件及标准试棒的表面同时各打上一个压痕，测量这两个压痕的直径，根据标准试棒的已知布氏硬度值和两压痕的直径，从预先制好的对照表中即可查得被测工件的布氏硬度值。

2. 洛氏硬度

当金属材料的硬度超过 HB450 或者试样较小时，应采用洛氏硬度试验来测定其硬度。洛氏硬度试验和布氏硬度试验一样，也属于压痕试验法。但洛氏硬度试验不是测定压痕面积的大小，而是以压痕的塑性变形深度来衡量材料硬度的。

洛氏硬度的测定是在先后两次负荷（初负荷 P_0 和总负荷 P ）的作用下，将标准型压头（金刚石圆锥或钢球）压入试样表面卸除主负荷 P_1 ($P_1 = P - P_0$) 后，在试样表面留下压痕，此压痕深度便可计量材料的硬度，如图1-3所示。图中 h_0 为初负荷作用下的压入深

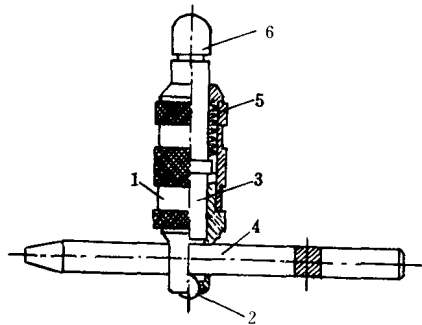


图 1-2 锤击式布氏硬度计
1—冲杆；2—钢球；3—撞销；4—标准试棒；
5—螺旋弹簧；6—冲头

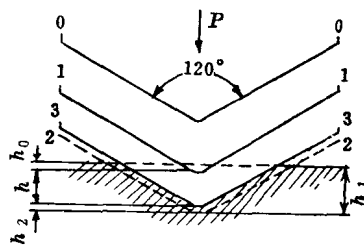


图 1-3 洛氏硬度试验示意图

度, 此时压头在1-1位置; h_1 为初负荷和主负荷共同作用下的压入深度, 此时压头在2-2位置; h_2 为卸去主负荷后由于金属弹性变形而恢复的深度, 此时压头在3-3位置。这样, 在主负荷作用下经弹性恢复后的实际压入深度为 h ($h = h_1 - h_2 - h_0$)。洛氏硬度即以此压痕深度来表示, 其数值为:

$$HR = \frac{k - h}{0.002}$$

式中 k 是一个与试验方法有关的系数。

根据压头类型和负荷不同, 洛氏硬度常用 HRA、HRB、HRC 来表示, 其试验条件和适用范围如表1-3所示。

表 1-3 洛氏硬度的压头、载荷和适用范围

洛氏硬度	压 头 类 型	载 荷 (公斤)		适 用 范 围
		初 载	主 载	
HRC	120°金刚石圆锥	10	140	HRC20~70的硬金属, 如一般淬火的钢件
HRB	直径为1.588毫米钢球	10	90	HRB25~100的软金属, 如软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120°金刚石圆锥	10	50	HRA>70很硬及硬而薄的金属, 如硬质合金、表面淬火钢等

洛氏硬度试验由于压痕面积小, 因而可用来测量成品的硬度, 并且这种方法操作迅速简便、测量范围较广, 但测量精度不如布氏硬度试验法高。

三、冲击韧性

金属材料抵抗冲击负荷的能力叫做冲击韧性。冲击韧性是通过冲击试验, 以冲断一定尺寸的标准试件所耗用的功与试件断口最小截面的商值来度量的。目前应用较普遍的是一次摆锤弯曲冲击试验法。

1. 一次摆锤弯曲冲击试验

一次摆锤弯曲冲击试验的标准试样及放置如图1-4所示。试样中部有一宽度为2毫米、深为2毫米的缺口, 其作用是为了使塑性变形局限于缺口附近不大的体积范围内、以保证在缺口处发生破裂, 正确地测定材料承受冲击负荷的能力。

图1-5为摆锤式冲击试验机工作简图。试验时将试样放在试验机的支座上, 再将具有一定重量 G 的摆锤1抬高到高度为 H 的位置 I 上, 然后使摆锤冲向试样(位置III)。试样冲断后, 摆锤继续冲向位置 II 升起高度为 h , 试验时消耗在试样上的功 (A_k 值) 直接由指针2指示在标尺4上。该冲击功除以缺口处的横截面积便得到冲击韧性值, 即

$$a_k = \frac{A_k}{F}$$

式中 a_k ——冲击韧性(公斤·米/厘米²);

A_k ——冲击功(公斤·米);

F ——试样缺口处横截面积(厘米²)。

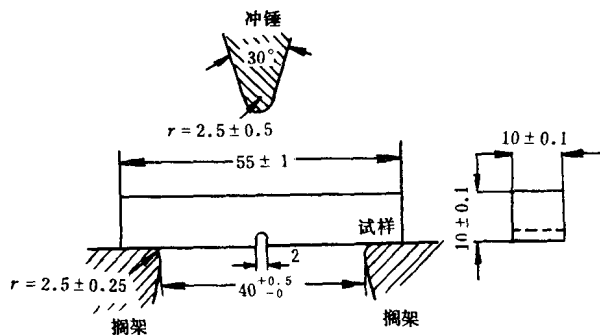


图 1-4 一次摆锤冲击试验的试样及放置

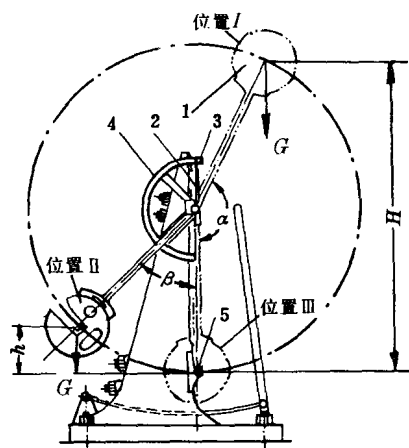


图 1-5 摆锤式冲击试验机工作简图
1—摆锤；2—指针；3—支座；4—标尺；5—试样位置

2. 小能量多冲试验

实际上，在动载荷下工作的零部件，很少是因受一次大能量冲击载荷而损坏的，通常是承受小能量的多次重复冲击负荷。在这种情况下，零件的破断原因是由于多次冲击损伤的积累，在材料内部产生裂缝所致。这与大能量一次冲击破断的过程是不同的，若仍用一次冲击试验得出的冲击韧性值 a_k 来衡量小能量多冲时材料的抗力就不合适了。因此，应该以小能量多冲失效抗力来加以衡量。

作小能量多冲试验时，材料制成专门的缺口试样如图 1-6 所示。将试样放在多冲试验机上，使之受到试验机锤头 2 的小能量(其冲击能量一般小于 1500 公斤·厘米)多次冲击。测定材料在此冲击能量下发生破断的冲击次数(或开始出现裂纹的冲击次数)作为多冲抗力指标。

研究金属材料的多冲抗力，不仅有助于对金属材料的冲击韧性作出比较正确的衡量，而且有助于正确选择金属材料 and 热处理工艺，从而充分发挥金属材料的潜力，扩大其应用范围，延长使用寿命。

四、疲劳和疲劳极限

1. 疲劳

金属材料在交变应力(随时间作周期性改变的应力)的长期作用下发生断裂的现象称为金属的疲劳。疲劳最容易发生在作旋转或往复运动的受载部件上，如汽轮机的主轴、叶片等。疲劳破坏的特点是突然性的。

产生疲劳的原因很多，一般认为在交变应力的作用下，虽然应力值远小于材料的抗拉强度，但由于金属材料表面或内部有毛刺、划痕及夹杂等缺陷，造成应力集中而导致微裂

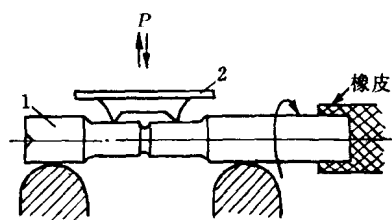


图 1-6 多冲试验装置及试样
1—多冲缺口试样；2—试验机锤头

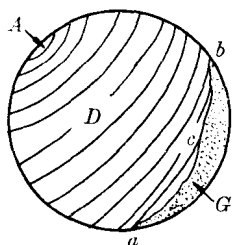


图 1-7 疲劳断口示意图

A—疲劳源；D—疲劳裂纹扩展部分；
G—突然断裂部分；acb—疲劳前沿线

纹。这种微裂纹就成为疲劳源，在交变应力的作用下而逐渐扩展，未裂面积不断减小，当剩余的断面不能承受所加载荷时，即发生突然脆性断裂现象。

疲劳断裂的断口如图 1-7 所示。疲劳断口由疲劳裂纹扩展部分和突然断裂部分两部分组成。疲劳裂纹扩展部分的断口因摩擦而比较光滑，呈瓷状，有时还可看到若干条弧形曲线；突然断裂部分的断口比较粗糙，呈光亮的结晶状。

2. 疲劳极限

金属材料在交变应力的作用下，经无限次循环而不破坏的最大应力值称为疲劳极限。金属的疲劳极限可以通过疲劳试验测定。当交变应力循环对称时，疲劳极限用符号 σ_{-1} 表示。

影响疲劳极限的因素很多，通常内在因素有材料本身的强度、塑性、组织结构、纤维方向和材料内部缺陷等，外界因素主要为零件的工作条件、表面光洁度等。金属材料本身的强度和塑性好，其抗疲劳断裂的能力就大；但材料内部存在夹杂、表面光洁度低、有刀痕或磨裂等，都易引起应力集中而使疲劳极限下降。此外，在酸、碱、盐的水溶液等腐蚀性介质中工作的金属制品，由于表面易腐蚀，其腐蚀产物嵌入金属内，会造成应力集中而使疲劳极限下降。

提高表面光洁度，防止表面划伤，改善零件的结构形状，避免应力集中，对零件表面进行强化处理（如喷丸处理、滚压处理、表面热处理等）都可提高零件的疲劳极限。

第一章复习思考题

1. 有一个用灰口铁浇注而成的零件，称得其重量为1500公斤，量得其体积为500厘米³，试问该零件的材质是否有问题？为什么？
2. 举例说明金属的热胀冷缩特性在机械工程中的利与弊。
3. 举例说明电厂的热动设备上，哪些零件对抗腐蚀性、抗氧化性和耐磨性有一定要求。
4. 符号 σ_b 、 σ_s 、HB、HRC、 α_k 、 δ 、 ψ 各表示什么性能？
5. 说明抗拉强度、塑性、冲击韧性、硬度和疲劳极限的概念。
6. 设计零件时，为什么常用 σ_s 而不用 σ_b ？
7. 测量汽轮发电机转子的硬度，用哪种方法较好？为什么？
8. 影响疲劳极限的因素有哪些？怎样提高金属材料的疲劳极限？
9. 金属材料的工艺性能主要指哪些？研究工艺性能对选用金属材料有什么意义？

第二章 金属学基本知识

不同的金属材料具有不同的性能,例如铝、铜的导电性和导热性较好,而钢的导电性和导热性较差。即使是同一种金属材料也会由于加工方法的不同而具有不同的性能,例如钢加热至发红后,如果将它放到水中使其迅速冷却,钢就会变得很硬;如果放在空气中冷却,则硬度较低。实践证明,金属材料的性能是由其内部结构所决定的。为了认识金属材料的性能变化,必须了解其内部的结构。

第一节 金属及合金的结构

一、金属的晶体结构

所有固体物质按其结构可分为晶体和非晶体两种。

晶体是指原子在空间按一定几何形状作规则排列的物体;而非晶体是指原子在空间作杂乱无序排列的物体。所有固态金属都是晶体。

晶体内部的原子是按一定的几何形状作周期性、规则的排列,如图 2-1(a) 所示。此图形状复杂,为了容易看清晶体中原子排列的规律性,通常把晶体内部的原子视为一个质点,并按原子排列规律,用几何线条将各质点连接构成一个空间格子,这种空间格子叫做晶格,如图 2-1(b) 所示。但用晶格来描述晶体结构还是很方便的。根据晶体中原子的排列具有周期性的特点,可从晶格中选取一个能够反映晶格特征的最小的几何单元来描述晶体中原子排列的规律,这个最小的几何单元称为晶胞(或叫单位晶格),如图 2-1(c) 所示。

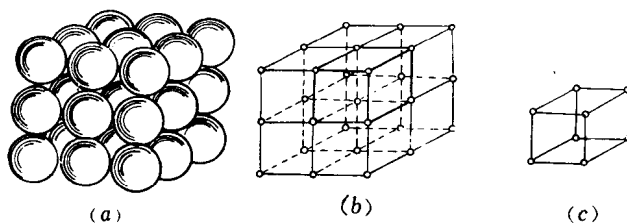


图 2-1 简单立方晶格

(a) 晶体中金属原子的排列; (b) 金属的晶格; (c) 晶胞

金属的晶格类型很多,最常见的有三种,即体心立方晶格,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是一个正立方体,在正立方体的中心和八个顶角上各有一个原子,

如图 2-2 所示。属于体心立方晶格的金属有铬、钒、钨、钼以及 910℃ 以下的纯铁等。

2. 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞也是一个正立方体，在正立方体的八个顶角以及正立方体六个面的中心各有一个原子，如图 2-3 所示。属于面心立方晶格的金属有镍、铜、铝、金、银以及 910~1390℃ 范围内的纯铁等。

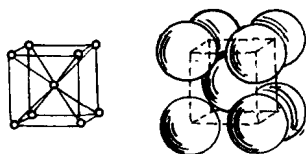


图 2-2 体心立方晶格

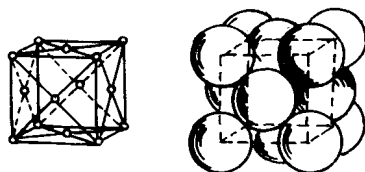


图 2-3 面心立方晶格

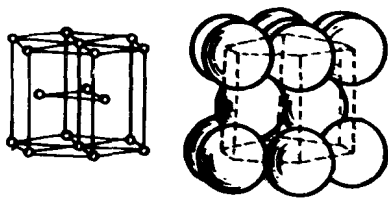


图 2-4 密排六方晶格

3. 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞是一个六方柱体，由六个呈长方形的侧面和两个呈正六边形的底面组成。密排六方晶胞的每一个角上和上、下两个底面的中心各有一个原子，此外还有 3 个原子成三角形排列在晶胞的中间。属于这种晶格类型的金属有锌、镁、铍等。

二、合金的结构

纯金属虽具有优良的导电性和导热性，但是强度及硬度较低，且价格昂贵。因此，工业上大量使用的金属材料都是合金。合金是两种或两种以上的化学元素（其中至少一种是金属）溶合在一起所得到的具有金属特性的物质。合金可以具有比纯金属更高的机械性能和某些特殊的物理性能、化学性能，例如纯铁的强度和硬度都很低， $\sigma_b = 25$ 公斤/毫米²、 $HB = 80$ 。如果在纯铁中加入 0.8% 的碳元素组成铁与碳的合金，其机械性能将大大提高，即 $\sigma_b = 100$ 公斤/毫米²， $HB = 270$ （正火状态下）。合金的性能发生这种变化的原因是因为铁碳合金的组织结构与纯铁不同。合金按其结构形式可分为三种：固溶体、金属化合物和机械混合物。

1. 固溶体

如果把糖溶于水就可得到糖的水溶液——糖水，其中水是溶剂，糖是溶质。如果糖水结成冰，便得到糖在固态水中的固溶体。同理，组成合金的两元素不仅在液态时能互相溶解，而且在固态时仍能互相溶解。当一种基体金属（溶剂）在固态下溶有其它元素（溶质）的原子组成一种仍具有基体金属晶格的金属晶体，这种金属晶体称为固溶体。

固溶体中，含量较多的元素称为溶剂，它保持原有晶格结构类型；含量较少的元素称为溶质，它不保持原有晶格结构类型。例如工业上广泛应用的含 Cu 70%、Zn 30% 的铜锌合金（即七三黄铜），就是锌（溶质）溶解于铜（溶剂）中所形成的固溶体。经 x 射线结构分析表明，它仍保持着铜的晶格类型，即具有面心立方结构，而锌的密排六方结构的晶

格类型消失了。

根据溶质原子在溶剂晶格中所占据的位置不同, 固溶体又可分为间隙固溶体和置换固溶体两种类型。

(1) 间隙固溶体: 若溶质的原子直径较小, 则它们常嵌入溶剂原子的间隙中形成固溶体, 这种固溶体叫做间隙固溶体, 如图 2-5 (a) 所示。例如碳溶解于铁中所形成的固溶体就属这种类型。

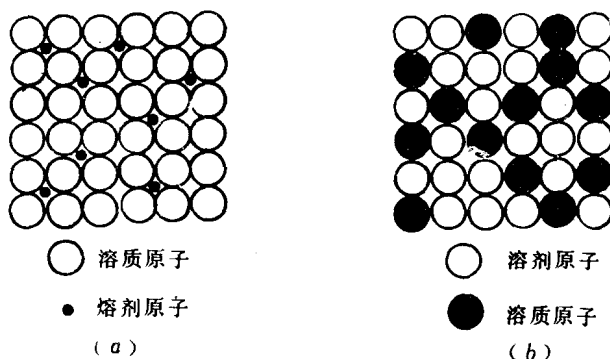


图 2-5 固溶体结构示意图
(a) 间隙固溶体; (b) 置换固溶体

(2) 置换固溶体: 若溶质原子取代溶剂晶格中原子的部分位置而形成固溶体, 则这种固溶体称为置换固溶体, 如图 2-5 (b) 所示。这类固溶体有铜锌合金、铜镍合金等。

形成固溶体时, 若溶质在溶剂中的溶解度具有一定的限度, 则这种固溶体称为有限固溶体; 若溶质元素和溶剂元素可以无限互溶, 则称为无限固溶体。在一定条件下, 置换固溶体能形成无限固溶体; 由于溶剂晶格的空隙位置是有限的, 所以间隙固溶体只能形成有限固溶体。

在形成固溶体时, 由于溶质原子的半径不同于溶剂原子半径, 致使固溶体晶格中原子间距离发生变化, 即晶格发生歪扭。其原子大小差别愈大, 晶格歪扭就愈严重, 从而导致固溶体的强度、硬度升高, 这种现象称固溶强化。在工业上已广泛采用这种固溶强化措施来提高金属材料的强度。不仅如此, 固溶体还具有比纯金属高的电阻、低的热膨胀性、较好的塑性和抗蚀性等特点, 所以固溶体合金在工业上得到了广泛的应用, 例如用来制造结构材料、电阻材料等。

2. 金属化合物

金属化合物是金属与金属或金属与某些非金属所形成的化合物的总称。金属化合物的晶体结构完全不同于任一组成元素的结构, 例如铁和碳组成的碳化铁 (Fe_3C) 就是一种金属化合物, 其中铁原子占 75%、碳原子占 25%, 其晶体结构既不同于铁的体心立方晶格, 也不同于石墨的六方晶格, 比较复杂。

金属化合物有它自己独特的性能特点, 如熔点、硬度较高, 而塑性、韧性很差。因此合金中出现金属化合物时, 能提高合金的硬度、强度和耐磨性, 但却会降低其塑性和韧性。