



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

PUTONG GAODENG JIAOYU SHIERWU GUIHUA JIAOCAI GAOZHI GAOZHUAN JIAOYU

电厂金属材料

DIANCHANG JINSHU CAILIAO

谢亚清 王文波 主 编 ●
蔡铎如 苏子青 副主编 ●



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育）

职业教育电力技术类专业教学用书

电厂金属材料

DIANCHANG JINSHU CAILIAO

主 编 谢亚清 王文波
副主编 蔡铎如 苏子青
编 写 袁 懿 吴芳红
主 审 刘东雨



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是普通高等教育“十二五”规划教材（高职高专教育），全书共分十章，主要讲述了金属材料的性能、金属学基础知识、金属的塑性变形及其对金属性能的影响、合金相图、碳钢和铸铁、钢的热处理、合金钢、耐热钢、有色金属及其合金、电厂主要机器设备用钢及失效分析。

本书可作为电力技术类、能源类相关专业电厂金属材料课程教材，也可供相关技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

电厂金属材料/谢亚清，王文波主编. —北京：中国电力出版社，2011. 12

普通高等教育“十二五”规划教材. 高职高专教育

ISBN 978 - 7 - 5123 - 2541 - 8

I. ①电… II. ①谢…②王… III. ①发电厂－金属材料－高等职业教育－教材 IV. ①TG14②TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2011）第 278049 号

中国电力出版社出版、发行

（北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>）

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 4 月第一版 2012 年 4 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 8.75 印张 212 千字
定价 17.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

随着社会经济和文化的不断发展，高等职业教育正在以前所未有的速度普及，高等职业技术学院的生源以及就业情况等也因此发生了很大的变化。在高职教学中如何适应这种变化，是教学中面临的一个重要课题。与此同时，我国电力工业近些年发展很快，节能减排增效、上大压小已成为电力发展和改造的共识。各地新建的火电厂通常都采用 30 万、60 万 kW 或更大的机组，而大机组因运行参数等不同，所用材料也与过去的机组有些差异，这使得过去电厂金属材料教材的一些内容已经无法适应新形势所提出的要求。以上种种因素促使我们编写了这本《电厂金属材料》。

本书共分十章，其中第一章由苏子青编写，第二、三、六章和第十章的第一节由谢亚清编写，第四章由袁懿编写，第五章由吴芳红编写，第七章由蔡锌如编写，第八、九章和第十章的二~四节由王文波编写。

本书由华北电力大学刘东雨教授主审。

由于编者水平所限，书中可能存在不足之处，真诚欢迎读者批评指正。联系邮箱：xieyaqing@yahoo.com.cn。

编者

2012 年 3 月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 金属材料的性能	3
第一节 金属材料的使用性能和基本性能	3
第二节 金属材料的工艺性能	10
第二章 金属学基础知识	12
第一节 金属的晶体结构	12
第二节 金属的结晶	15
第三节 金属的同素异晶转变	17
第三章 金属的塑性变形及其对金属性能的影响	18
第一节 金属的冷塑性变形	18
第二节 热加工和冷加工	21
第四章 合金相图	22
第一节 合金的基本知识	22
第二节 合金相图简介	24
第三节 铁碳合金相图	26
第五章 碳钢和铸铁	36
第一节 碳钢（非合金钢）	36
第二节 铸铁	40
第六章 钢的热处理	47
第一节 钢在加热时的转变	47
第二节 钢在冷却时的转变	50
第三节 淬火	57
第四节 回火	60
第五节 退火和正火	62
第六节 钢的表面热处理	63
第七章 合金钢	67
第一节 合金元素对钢的影响	67
第二节 合金钢的分类和编号	69
第三节 合金结构钢	70
第四节 合金工具钢	72
第五节 电厂常用特殊性能钢	74
第八章 耐热钢	76
第一节 耐热钢的高温性能	76

第二节	耐热钢的化学稳定性	78
第三节	耐热钢的组织稳定性	81
第四节	耐热钢中的合金元素及其作用	82
第五节	耐热钢的分类	83
第九章	有色金属及其合金	85
第一节	铝及其合金	85
第二节	铜及其合金	88
第三节	轴承合金	92
第四节	钛及其合金	94
第十章	电厂主要机器设备用钢及失效分析	96
第一节	锅炉主要零部件用钢及失效分析	96
第二节	汽轮机主要零部件用钢及失效分析	103
第三节	螺栓用钢及失效分析	110
第四节	易磨损件用材及失效分析	113
附录		118
附录 A	主要符号表	118
附录 B	国内外钢号对照表	119
附录 C	锅炉受热面、蒸汽管道和联箱常用钢材	124
附录 D	火电机组汽水管道推荐选材	129
附录 E	超（超）临界压力机组受热面常用材料的许用应力	129
附录 F	锅炉汽包常用钢材	130
附录 G	锅炉受热面固定件和吹灰器常用钢	130
附录 H	叶片用钢的化学成分及应用范围	132
附录 I	叶片用钢的热处理及力学性能	133
参考文献		134

绪 论

一、本课程的研究对象

电厂金属材料是电厂热能动力类专业的技术基础课程，该课程主要研究以下四个方面的内容。

1. 金属材料的性能指标

我们研究材料，当然应该对如何评价材料的性能有一定的了解。评价金属材料性能的指标有很多，如强度、硬度、疲劳强度、铸造性能、切削性能等。在不同的条件下使用金属材料，评价材料性能所用的指标往往是不同的。如常温静载荷下，屈服强度常被用来评价塑性材料性能的好坏；处于交变应力作用下的金属材料，疲劳极限通常是衡量材料性能好坏的重要指标；流动性是评价铸件材料性能好坏的一个重要指标等。

2. 常用金属材料

金属材料是使用最为广泛的材料。为了今后能够胜任电厂的工作，作为热能动力类专业的学生，对常用金属材料的基本性能必须有一定的了解。

3. 改善金属材料性能的基本理论和方法

金属材料的性能通常并非是一成不变的，往往可以通过一些方法加以改善和提高。运用各种方法改善和提高金属材料的性能，在生产实践中有着非常重要的现实意义。因此，我们应该了解和掌握一些改善和提高金属材料性能的基本理论和方法，如固溶强化、冷作硬化以及各种热处理方法等。

4. 电厂主要机器设备用钢及失效分析

电厂主要机器设备的一些零部件往往处在高温、高压以及腐蚀性介质作用等比较恶劣的工作环境中，在这种环境下工作的机器设备，其零部件的制作材料通常都有一些特殊的要求。作为热能动力类专业的学生，对电厂主要机器设备的一些零部件所处的工作环境、失效形式及原因、材料的选择原则及电厂常用的金属材料等显然应该有一定的了解。

二、学习本课程的意义

高等职业技术教育的目标，是以就业为导向，面向产业第一线，培养适应生产、建设、管理、服务第一线需要的高等技术应用型专门人才。作为热能动力类专业的高职毕业生，工作岗位主要面向火电厂的运行、检修、设备安装等技术工种。按照国家制定的《电力工人技术等级标准》，若不具备一定的电厂金属材料方面的知识，就很难胜任这些工作。因此，从今后工作的角度出发，学好本课程对热能动力类高职学生来说具有重要的现实意义。

三、本教材的特点

电厂金属材料课程的特点是难度不大，但内容细碎繁多，且内容间逻辑关联性不太强，这常使得学生感到该课程枯燥无味。解决这一问题，除采用常规的深入浅出、理论联系实际等教学方法外，还可以引入“问题导向学习”模式，使课堂教学由以老师讲授为主，转变为以学生自主学习和课堂讨论为主，教师主要是启发和引导学生，讲授在教学中退居次要地位。从我们的实践结果看，这样不仅能提高学生的自学能力，为他们今后的“终身学习”

打下良好的基础，还能大大改善课堂纪律、显著提高教学效果，同时还可减轻教师上课时的体力负担。为了适应这种教学模式，我们在教材编写过程中特别强调教材要通俗易懂、便于自学，同时将习题以“带着问题学”的形式表现出来，并将它们安排在每一节的起始处。“带着问题学”中的题目覆盖了本课程的主要内容，掌握了这些内容就较好地实现了本课程的教学目标。题目放在每一节的开头，有利于学生在自主学习时抓住关键，以期在尽可能短的时间内获得尽可能好的学习成效。此外，在附录 A 中还列出了本书涉及的一些主要符号及其含义，方便学生查找和复习。

显然，本书同样适用于以讲授为主的教学方式。

考虑到今后高职教育的普及化以及高职毕业生的就业趋势，本教材在内容的选择上遵循以下原则：高职生在毕业后的基层工作中实用、够用即可；除非特别重要，内容尽量简要，点到为止，不做没有实用价值的深入介绍；可要可不要的内容一律不要。“带着问题学”中未涉及的内容为参考内容，教师可根据需要决定讲授与否。

第一章 金属材料的性能

金属材料是指金属元素或以金属元素为主构成的具有金属特性的材料,包括纯金属、合金、金属间化合物和特种金属材料等。金属材料是现代工业、农业、国防及科学技术的重要物质基础。制造各种机械设备、车辆、船舶、仪器仪表等,都需要大量的金属材料。

金属材料之所以获得广泛应用,是由于它具有各种优良的性能。金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两大类。所谓使用性能是指机械零件在使用条件下,金属材料表现出来的性能,它包括力学性能、物理性能、化学性能等。金属材料使用性能的好坏,决定了它的使用范围与使用寿命。

所谓工艺性能是指在加工过程中,材料对不同加工方法的适应性。金属材料工艺性能的好坏,决定了它在制造过程中对加工成形的适应能力。由于加工条件不同,所要求的工艺性能也就不同,常见的金属材料工艺性能有铸造性能、可焊性、可锻性、切削加工性和热处理性能等。

第一节 金属材料的使用性能和基本性能



带着问题学

1. 什么是材料的力学性能?常用力学性能包括哪些?
2. 什么是应力?在工程实际中其常用单位是什么?
3. 什么是抗拉强度?什么是屈服极限?
4. “塑性越好,材料断裂前所能产生的塑性变形量也越大”对不对?
5. HRC 是表示什么硬度的符号?“硬度越高,耐磨性越好”对不对?
6. 什么是疲劳极限?
7. 什么是韧性?
8. 什么是蠕变?什么是应力松弛?

一、金属材料的力学性能

金属材料在载荷作用下抵抗变形和破坏的性能,称为力学性能。金属材料的力学性能是零件设计和选材时的主要依据。外加载荷性质不同(如拉伸、压缩、扭转、弯曲、冲击、循环载荷等),对金属材料要求的力学性能也不同。常用的力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳极限、蠕变极限和持久强度等。

(一) 强度和塑性

1. 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗塑性变形(塑性变形是指载荷卸除后仍不会消失的那部分变形)和断裂的能力。

强度用应力 R 表示

$$R = \frac{F}{S}$$

式中 F ——拉力, N;

S ——面积, mm^2 ;

R ——应力, 指单位截面上所受的力, MPa。

在国际单位制中, 应力的单位为 Pa (帕), $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$ 。Pa (帕) 的单位很小, 在工程实际中, 常用 MPa (兆帕) 和 GPa (吉帕) 作为单位, 其关系为 $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$, $1\text{GPa} = 10^9\text{Pa}$ 。

因为载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等形式, 所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。各种强度之间常有一定的联系, 使用中多以抗拉强度和屈服极限作为最基本的强度指标。

抗拉强度和屈服极限可以通过材料拉伸实验获得。材料力学的拉伸破坏实验是一个经典的传统实验。如图 1-1 所示, 试验前在试样的中间取长为 L_0 的一段作为试验段, L_0 称作标距。试件被拉长后, 试验段的长度由 L_0 变为了 L 。

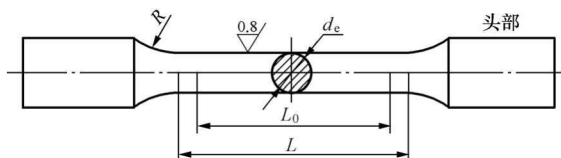


图 1-1 试样

试验时将试件夹在试验机夹头上, 开动试验机, 对试件缓慢施加拉力, 使它产生伸长变形, 直至破坏。每隔一定时间, 记下拉力的数值及标距段的伸长量 $\Delta L = L - L_0$ 。以纵坐标表示拉力 F , 横坐标表示试件的伸长量 ΔL , 作出的图形称为拉伸图。

图 1-2 (a) 就是低碳钢的拉伸图。由于拉伸图不仅与材料的性能有关, 还与试件的尺寸有关, 为了消除试件尺寸的影响, 反映材料自身的性质, 人们将纵坐标改用应力 R 表示; 将横坐标改以应变 ε 表示 (应变 ε 是单位长度的变形, 即 $\varepsilon = \Delta L/L$), 所绘出的曲线称为应力—应变曲线, 见图 1-2 (b)。

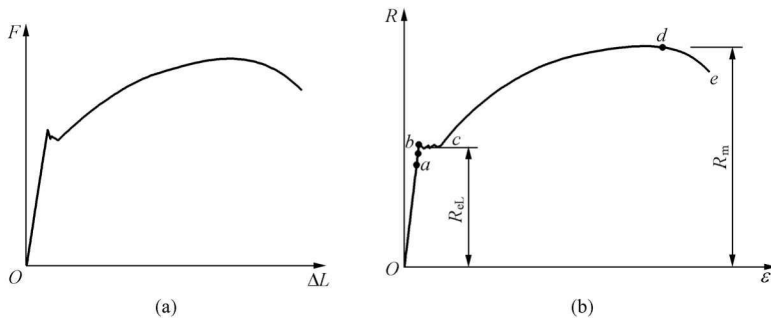


图 1-2 低碳钢的拉伸图和应力—应变曲线

根据应力—应变曲线, 低碳钢的拉伸可分为 4 个阶段。

(1) 弹性阶段。在应力—应变曲线的 Ob 阶段中, 若去掉外载荷, 变形将会消失, 试件恢复原状, 这个阶段称为弹性阶段。

(2) 屈服阶段。应力值超过 b 点后, 曲线出现接近水平的小锯齿形波动, 也就是应力变化很小, 而应变不断增加, 且此时产生的变形是不能恢复的塑性变形。这种应力基本不变, 应变不断增大, 从而产生明显的塑性变形的现象称为屈服, 对应的 bc 阶段称为屈服阶

段。屈服阶段波动最高点的应力称为屈服上限，最低点的应力 R_{eL} 称为屈服下限。通常将屈服下限 R_{eL} 作为材料的屈服极限。对屈服现象不明显的材料，常用 $R_{p0.2}$ 来表示材料的屈服极限。

应力达到屈服极限时，材料将出现显著的塑性变形，这在工程中一般是不允许的。所以屈服极限是衡量材料强度的一个重要指标，通常屈服极限值越高，材料的强度就越高。

(3) 强化阶段。经过屈服阶段后，材料又恢复了抵抗变形的能力。应力—应变曲线中的 cd 段称为强化阶段。强化阶段的最高点 d 所对应的应力 R_m 是整个拉伸过程中试件承受的最大应力值，称为抗拉强度。低碳钢的抗拉强度极限 $R_m \approx 400\text{MPa}$ 。 R_m 值越大，金属材料抵抗断裂的能力越大，强度越高。抗拉强度是材料不被破坏所允许的最大应力值，是衡量材料强度的又一重要指标。

(4) 颈缩阶段。 de 阶段称为颈缩阶段，即试件在某个局部发生明显的变形收缩，并很快在该处发生断裂。

2. 塑性

塑性是指金属材料在载荷作用下产生稳定的塑性变形而不断裂的能力。塑性越好，材料断裂前所能产生的塑性变形量也越大。反映塑性好坏的指标有伸长率和断面收缩率。伸长率和断面收缩率越大，金属材料的塑性就越好。伸长率和断面收缩率也是由拉伸试验测得的。

(1) 伸长率。金属材料受拉力作用断裂时，伸长量与原长度的百分比叫做伸长率，以 A 表示，即

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试样的原标距长度，mm；

L_u ——试样拉断后标距部分的长度，mm。

(2) 断面收缩率。金属材料受拉力作用断裂时，拉断处横截面缩小的面积与原始截面积的百分比叫做断面收缩率，以 Z 表示，即

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_u ——试样拉断后，拉断处横截面面积， mm^2 ；

S_0 ——试样标距部分原始的横截面面积， mm^2 ；

Z ——截面收缩率，%。

通常把 $A > 5\%$ 的材料称为塑性材料，如碳钢、黄铜、铝合金等；把 $A < 5\%$ 的材料称为脆性材料，如灰铸铁、玻璃、石料、陶瓷等。低碳钢的平均延伸率 $A = 20\% \sim 30\%$ ， $Z = 60\%$ 。普通铸铁由于塑性很低（延伸率不足1%），只能铸造，不能进行轧制、挤压、拉伸，所以不能以型材供应。

(二) 硬度

硬度是指材料抵抗另一物体压入其表面的能力。硬度是衡量金属材料软硬程度的一项重要力学性能指标，它综合反映了材料的弹性、塑性、强度和韧性等力学性能。硬度与耐磨性具有直接关系，硬度越高，耐磨性越好。

测试金属硬度的最普通方法是用锉刀在工件边缘上锉擦，由其表面所呈现的擦痕深浅判

定其硬度的高低。这种方法称为划痕法，也叫莫氏硬度试验。划痕法虽然操作方便、迅速，但不够科学，现仅用于陶瓷和矿物的硬度测定。

目前生产中测定硬度的最常用方法是压入法。它是用一定几何形状的压头压入被测试的金属材料表面，然后根据压入程度的大小来测定其硬度值。在压头和负荷相同的情况下，被测材料的压坑大，材料的硬度就小；压坑小，硬度就大。我国常用的压入硬度测定方法有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度测定法。

1. 布氏硬度

布氏硬度测定方法是：在一定载荷 F 作用下，将直径为 D 的钢球或硬质合金球压入被测金属表面，保持规定时间后卸去载荷，再测量被测表面的压痕直径 d ，如图 1-3 所示。布氏硬度值是载荷除以压痕球形表面积所得的商，以符号 HB 表示，即

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

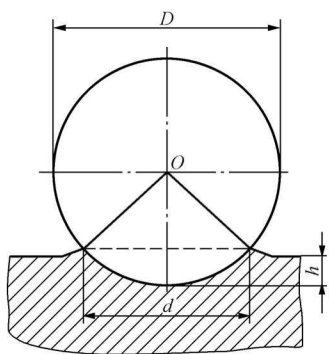


图 1-3 布氏硬度试验示意

式中 F ——试验力，kgf；
 S ——压痕面积， mm^2 ；
 d ——压痕直径，mm。

根据实验方法的差异，布氏硬度有两种不同的表示形式，HBS 表示用钢球做实验时得到的布氏硬度，HBW 表示用硬质合金球做实验时得到的布氏硬度。压头为钢球时一般用来测定布氏硬度值在 450 以下的材料；压头为硬质合金时一般用来测定布氏硬度值在 650 以下的材料。

布氏硬度的表示方法为：HBS 或 HBW 前的数字为硬度值，后面依次表示压头的球体直径、载荷、试验载荷保持时间（10 ~ 15s 不标注）。如 130HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 的钢球，在 1000kgf 载荷的作用下，保持了 30s 后测得的布氏硬度值为 130；520HBW5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球，在 750kgf 试验载荷作用下，保持 10 ~ 15s 时测得的布氏硬度值为 520。

布氏硬度一般用于较软的材料，如有色金属、退火后的钢铁。

布氏硬度的压痕较大，硬度值较准确，但试验过程比较费事，不宜检测太硬的材料，也不适宜于大批量的材料检验。同时，试验有较大的压痕，不适合检验成品和薄片以及表面质量要求较高的零件。

2. 洛氏硬度

当 $HB > 450$ 或者试样过小时，往往采用洛氏硬度试验。洛氏硬度是用一个顶角为 120° 的金刚石圆锥体或者直径为 1.59mm 或 3.18mm 的钢球，在一定载荷下压入被测材料表面，然后根据压痕深度来求出材料的硬度（见图 1-4）。洛氏硬度值用 HR 表示。根据实验方法的差异，洛氏硬度有三种不同的表示形式：

HRA：采用 60kgf 载荷和金刚石圆锥压头求得的硬度，用于硬度极高的材料（如硬质合金等）。

HRB：采用 100kgf 载荷和直径 1.58mm 淬硬的钢球求得的硬度，用于硬度较低的材料（如退火钢、铸铁等）。

HRC: 采用 150kgf 载荷和金刚石圆锥压头求得的硬度, 用于硬度较高的材料 (如淬火钢等)。

洛氏硬度的数值可直接从硬度计上的刻度盘读出。

洛氏硬度表示方法是在硬度符号前注明硬度数值, 如 60HRC 表示用 150kgf 载荷和金刚石圆锥压头求得的洛氏硬度值为 60。

洛氏硬度操作简便, 硬度可直接读出, 压痕很小, 可测定不同软硬的金属和厚薄不一的试样的硬度, 适用于成品和薄片, 因而广泛应用于各种热处理质量检验。但它的测量值代表性差, 不如布氏硬度准确, 且需测数个点来求平均值 (一般试件要测试 3 个点以上)。

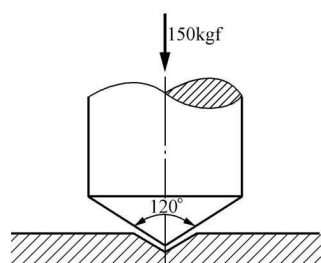


图 1-4 洛氏硬度试验示意

3. 维氏硬度

维氏硬度的测定原理基本上和布氏硬度相同, 但压头改为 136° 的金刚石正四棱锥体, 如图 1-5 所示。压头在试验力 F 作用下将试样表面压出一个四方锥形的压痕, 经一定时间后卸除试验力, 测量出压痕对角线长度 d , 计算出压痕面积 S , 再将试验力 F 除以压痕面积 S 所得的商即为维氏硬度。

实际应用中, 维氏硬度可根据 d 值查维氏硬度表即可求出硬度值。

维氏硬度的表示方法与布氏硬度相同, 如 660HV30/30, 表示在 30kgf 压力下保持 30s 的情况下测得的维氏硬度值为 660。

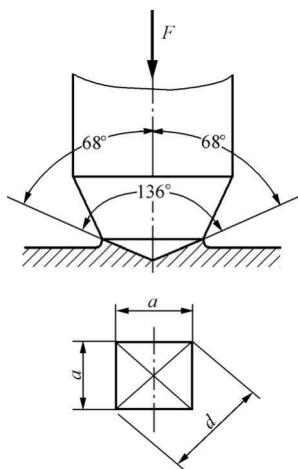


图 1-5 维氏硬度试验示意

维氏硬度载荷常用范围为 5 ~ 100kgf, 若要测较薄的表面层硬度, 可选用较小的试验力。

维氏硬度的优点是可测硬度范围大, 压痕尺寸小, 测量精度高, 可测较薄的表面层的硬度; 其缺点是硬度值要通过测量压痕对角线才能进行计算或查表, 工作效率低。

以上三种硬度测量法, 相互间没有理论换算关系, 其试验结果不能直接进行比较, 要查阅硬度换算表进行比较。

(三) 疲劳极限

前面所讨论的强度、塑性、硬度都是金属在静载荷作用下的力学性能指标。实际上, 许多机器零件都是在循环载荷下工作的, 即零件所承受的外力不仅大小可能改变, 方向也可能会改变。这种交变的外力在零件内部将引起交变的应力。零件在长期交变应力作用下, 虽然它承受的应力远小于材料的屈服极限, 但由于零件中存在疲劳源 (如裂纹、刀痕、夹杂等), 在循环力或交变力作用下, 疲劳源处会发生疲劳裂纹, 并不断扩展, 导致零件发生突然断裂。这种在没有明显塑性变形的情况下, 发生断裂的现象称为金属的疲劳破坏。

材料经受无数次交变载荷而不发生断裂的最大应力, 称为材料的疲劳极限。实际上我们不可能做无数次的交变载荷实验, 一般规定钢铁材料循环 10^7 次、非铁金属和高强度钢循环 10^8 次不发生断裂的最大应力即为疲劳极限。

疲劳失效是金属材料常见的失效形式, 疲劳强度是金属材料的一项重要力学性能指标, 长期在交变应力下工作的零件都要求有较高的疲劳强度。

疲劳强度与硬度、强度和韧性有较大关系,为了提高钢材抵抗疲劳破坏的能力,应在保持材料一定强度的基础上尽可能提高钢材的塑性及韧性。

(四) 韧性

韧性是体现材料强度与塑性的一个综合指标,韧性好的材料有着较高的强度和较好的塑性。通俗的说,把一个东西摔在地下,容易碎的韧性差,也就是脆性大,不容易碎的韧性好。描述材料韧性的指标通常有冲击韧性和断裂韧性两种。

(1) 冲击韧性。冲击韧性是在冲击载荷作用下,材料抵抗冲击力的作用而不被破坏的能力。实际生产中,很多零件会受到冲击力作用,此时不能用材料在静载荷下的性能来描述其在冲击载荷下的性能。有些金属在静载下强度较高,但受到冲击载荷时却非常脆弱,所以对受冲击的构件应考虑其冲击韧性。冲击韧性通常用指标 a_K 来度量,即

$$a_K = \frac{A_K}{F}$$

式中 a_K ——试件在一次冲击实验时的冲击韧度, J/cm^2 ;

A_K ——冲击吸收功, J ;

F ——试样缺口处的横截面积, cm^2 。

a_K 值越大,表示材料的冲击韧性越好。实际工作中,承受冲击载荷的机械零件很少因一次大能量冲击而遭破坏,绝大多数是因多次能量冲击导致裂纹产生和扩展的结果。实践证明,材料的多次冲击抗力由强度和塑性综合决定。当冲击能量较小时,主要取决于强度;当冲击能量较大时,主要取决于材料的塑性。

(2) 断裂韧性。一般认为,材料在低于屈服强度的状态下工作不会发生塑性变形,更不会发生断裂。但事实并非如此,工程上一些用高强度材料制造的零件,如高压容器、船舶、桥梁等,常常在远低于屈服强度的状态下发生脆性断裂。通过大量研究,普遍认为这种破坏与零件本身存在裂纹以及裂纹的扩展有关。

断裂韧性用 K_{Ic} 来表述。 K_{Ic} 称为断裂韧度,它反映了材料抵抗裂纹扩展和抗脆断的能力。 K_{Ic} 值越高,材料阻止裂纹扩展的能力越强。材料的断裂韧度 K_{Ic} 与裂纹的形状、大小无关,也和外加应力无关,只取决于材料本身的特性(如成分、加工工艺等),是一个反映材料性能的常数。

(五) 蠕变和松弛

金属在温度、应力的长期作用下,发生缓慢而连续的塑性变形的现象称为金属的蠕变。钢材在高温和应力作用下,应变不变,但应力却随着时间的延长逐渐降低的现象,称为应力松弛。松弛现象与蠕变现象有着内在的联系,都是高温和应力作用的结果,两者的区别仅在于蠕变时应力基本恒定不变,松弛时应力则不断降低。

二、金属材料的物理性能和化学性能

(一) 物理性能

金属材料的物理性能是指金属固有的属性,有密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性和耐磨性等。

1. 密度

密度是单位体积内物质的质量,其计算公式为

$$\rho = \frac{m}{V}$$

式中 ρ ——密度, g/cm^3 ;

m ——物质的质量, g ;

V ——物质的体积, cm^3 。

一般将密度大于 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属称为重金属, 密度小于 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属材料称为轻金属。

2. 熔点

金属材料在缓慢加热的条件下, 由固态开始熔化为液态时的温度, 称为该金属的熔点, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。工业上常用的金属中, 锡的熔点最低, 为 231.9°C ; 而钨的熔点最高, 为 3380°C 。但大多数合金材料在熔化时, 其熔化过程一般是在一个温度范围内进行的, 即它们没有一个固定的熔点。

掌握各种金属材料和合金的熔点, 对于铸造、焊接、镀锡以及配制合金等方面都很重要。如熔点低的金属或合金, 可以用来制造焊锡、熔丝等; 熔点高的金属材料可以用来制造锅炉高温部件、汽轮机叶片等耐热零件。

3. 导热性

导热性是指金属材料传导热量的能力。金属的导热性越差, 其加热或冷却时, 部件表面和内部的温度差就越大, 由此产生的内应力就越大, 就越易发生裂纹。纯金属导热性优于合金, 而且纯度越高, 导热性越好。银的导热性最好, 其次是铜和铝, 铁的导热性较差。

4. 导电性

金属材料传导电流的能力叫材料的导电性。导电性以银最好, 其次是铜和铝。合金的导电性一般比纯金属差。一般来说, 导电性好的材料, 其导热性也好。金属材料的导电性还与温度有关, 当材料的横截面积及其他条件相同时, 金属的导电性越好, 电流通过时产生的热量就越小, 输电过程中的电能损失就越小。电气工程上广泛采用纯铜或纯铝作为导体。

5. 热膨胀性

金属材料在加热时体积增大这种性能叫做热膨胀性。一般来说, 升高相同的温度, 不同金属的膨胀程度不同。常用线膨胀系数来表示金属材料热膨胀性的大小, 其计算公式如下

$$\alpha = \frac{L_2 - L_1}{L_1 \Delta t}$$

式中 α ——线膨胀系数, $1/^{\circ}\text{C}$;

L_1 ——膨胀前长度, m ;

L_2 ——膨胀后长度, m ;

Δt ——升高的温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

在生产实践中, 必须考虑金属材料热膨胀性所产生的影响。如汽轮机转子与静子之间要留有足够的间隙, 以防止机组启动加热时, 因其膨胀的差异, 产生转子与静子间的磨损。紧固件则要求与被紧固部件的线膨胀系数相近, 精密仪器的零件就要求采用线膨胀系数小的材料来制造。在异种材料焊接时, 也要考虑它们的线膨胀系数是否相近, 否则会因为热膨胀不同而使零件变形或损坏。

6. 磁性

金属被磁化或被磁力吸引的性能称为磁性。根据磁性的不同, 金属材料可分为铁磁材料、顺磁材料和逆磁材料三种。铁磁材料有铁、钴、镍等, 它们在外磁场中能被强烈磁化; 顺磁材料有锰、铬、钨、钼等, 它们在外加磁场中只是微弱地被磁化; 逆磁材料有铜、锡、

铅、锌等，它们能抗拒或削弱外加磁场对材料本身的磁化作用。铁磁性材料是电动机、电气制造中不可缺少的材料，如变压器、电动机及测量仪表的铁芯是用硅钢片、工业纯铁制造的。

7. 耐磨性

金属抵抗磨损的性能称为耐磨性，它可以用磨损量来表示。磨损量越小，耐磨性越高。火电厂中的风机叶片、磨煤机等在工作时都会发生磨损；汽轮机最后几级叶片由于受到水滴的冲击也存在机械磨损；水电站的水轮机涡轮受水流及泥沙的冲刷作用同样会产生磨损。磨损严重到一定程度时将影响零件的正常工作，甚至引发事故。

(二) 化学性能

1. 抗氧化性

金属材料在高温时抵抗空气、水蒸气、燃气等氧化性气体腐蚀作用的能力称为抗氧化性。金属材料的高温抗氧化性是一项重要的材料性能指标。热力设备中的高温部件，如锅炉的过热器、汽轮机的汽缸、叶片等，易产生氧化腐蚀，所以它们除了应具有合适的高温力学性能外，还要求具有一定的高温抗氧化性能。

2. 耐腐蚀性

金属材料抵抗各种介质（如大气、酸、碱、盐等）侵蚀的能力称为耐腐蚀性。化工、热力设备中许多部件是在腐蚀条件下长期工作的，所以选材时必须考虑钢材的耐腐蚀性。铬镍不锈钢可耐含氧酸的腐蚀，而铜及铜合金、铝及铝合金能耐大气的腐蚀。

第二节 金属材料的工艺性能



带着问题学

1. 金属材料的切削性能指的是什么？用什么来衡量切削性能的好坏？
2. “金属材料的流动性越好，越容易铸造出细薄精致的铸件”对不对？
3. “焊接性能好的金属在焊缝部位不易产生裂纹、气孔、夹渣等缺陷”对不对？

金属材料要经过一系列加工以后，才能制作成符合要求的机械零件或结构件，因此金属材料还要满足加工工艺方面的要求。金属材料的工艺性能可以反映金属材料在各种加工过程中，适应加工工艺要求的能力。在机械设计中选择材料和工艺方法等时，都要考虑金属材料的工艺性能，以便合理地利用各种材料的特性以及各种工艺方法的长处。本节主要讨论切削加工性能、铸造性能、锻造性能、焊接性能及热处理性能。

一、切削性能

切削性能指金属材料被刀具切削加工后成为合格工件的难易程度。切削加工性好坏常用加工后工件的表面粗糙度、允许的切削速度以及刀具的磨损程度来衡量。切削加工性能好的材料在加工时刀具磨损小，切削速度快，加工表面粗糙度低。切削性能与金属材料的化学成分、力学性能、导热性及加工硬化程度等诸多因素有关。通常金属材料的硬度越高越难切削，硬度较低时切削性能较好。但是，如果碳钢硬度太低，则容易出现粘刀现象，光洁度也差。硬度不高但韧性大，切削也较困难。金属材料的硬度在 170 ~ 230HB 之间时比较适宜于切削加工。

二、铸造性能

铸造性能是指液体金属浇注成型的能力，主要包括流动性、收缩性和偏析倾向等。

流动性是指液态金属充满铸模的能力。铸铁的流动性优于钢，青铜的流动性比黄铜好。流动性越好，越易铸造细薄精致的铸件，浇注出来的零件外观整齐、结构多样。

收缩性是指铸件冷却凝固时体积收缩的程度，收缩越小，铸件凝固时变形越小。对于铸件来说，要求金属的收缩率要小。液态金属冷凝过程中由于体积收缩，容易在铸件内部形成孔洞。其中集中出现的孔洞称为缩孔，分散而细小的孔洞称为缩松。缩孔和缩松对铸件的质量都将产生不良影响。

偏析是指金属凝固后，铸件各个部位的化学成分分布不匀的现象。偏析会造成金属材料各部分的力学性能不一致。偏析越严重，铸件各部位的性能越不均匀，铸件的可靠性就越小，从而影响材料的使用性能。

三、锻造性能

锻造性能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。锻造性能的好坏主要与金属材料的化学成分有关，它实际上是金属塑性好坏的一种表现。金属材料塑性越好，变形抗力就越小，锻造性能就越好。在碳钢中，低碳钢的锻造性能最好，随着含碳量的增加，钢的可锻性降低。铸铁不能进行锻造加工。此外，锻造性能的好坏还与金属的组织、变形温度、变形速度及应力状态等因素有关。加热温度对金属可锻性的影响较大，温度提高，金属的可锻性也提高。

四、焊接性（可焊性）

焊接性指金属材料对焊接加工的适应性能。换句话说，是指两块相同的金属材料或两块不同的金属材料，在局部加热到熔融状态下，能否牢固地焊合在一起的性能。焊接性反映了在一定的焊接工艺条件下，获得优质焊接接头的难易程度。金属的焊接性又叫可焊性。焊接性能好的金属，在焊缝部位不易产生裂纹、气孔、夹渣等缺陷，同时焊接接头具有一定的力学性能。金属材料焊接性能的好坏取决于材料的化学成分、焊接工艺等。通常，低碳钢的焊接性能较好，高碳钢和铸铁的焊接性能较差。

五、热处理

热处理是将金属加热到预定的温度，保温预定的时间，然后以一定的方式冷却下来，以改变金属的内部组织，从而得到所需金属力学性能的一种工艺。零件经适当热处理后，可以提高强度和硬度，增强耐磨性或改善塑性、切削加工性等。

热处理性能是指金属材料通过热处理改变其内部组织和性能的难易程度。钢的热处理性能包括淬透性、回火稳定性、变形与开裂倾向等。

热处理是一种非常重要的金属加工工艺，后面将有专门的章节予以介绍。