

压力容器与传热设备

侯佐岗 陆楞严 编著

压力容器与传热设备

侯佐岗 陆楞严 编著



大连理工大学出版社

TQ 051-292

压力容器与传热设备

侯佐岗 陆楞严 编著

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

内 容 提 要

本书对压力容器与传热设备中常用的金属材料作了简要介绍;以薄壁容器的应力分析为理论基础,讲述了工业生产过程中常用的中、低压容器器壁及其封头的强度计算,以及容器零部件的设计与标准选用;同时,还阐述了常用传热设备的原理、结构与计算,重点介绍了管壳式换热器、套管式换热器、螺旋板式换热器及热管与热管换热器的传热计算与结构设计,并通过典型换热器的计算示例,较为详细地阐述了常用传热设备的传热工艺、结构设计及强度计算的方法与步骤。

本书可作为大专院校学生学习压力容器与传热设备的教材,也可供各工业部门有关工程技术人员参考。

压 力 容 器 与 传 热 设 备

Yali Rongqi Yu Chuanre Shebei

侯佐岗 陆楞严 编著

大连理工大学出版社出版发行 (邮政编码:116024)
大连理工大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:21 $\frac{3}{8}$ 字数:520 千字
1994 年 1 月第 1 版 1994 年 1 月第 1 次印刷
印数 1—2000 册

责任编辑:王君仁 封面设计:姜严军
责任校对:文 辉

ISBN 7-5611-0816-8/TQ·25 定价:15.80 元

前 言

压力容器与传热设备是有关工业生产和传热过程中的通用设备,在石油化工、热能动力、供热与空调、冶金、轻工等许多工业部门有着广泛的应用。随着现代技术的发展,各个领域对压力容器与传热设备的合理设计及选用有越来越高的要求。本书从实际需要出发,讲述了工业生产中常用的中、低压容器的设计及传热设备的原理、结构与计算,并通过典型传热设备的计算示例,较为详细地介绍了常用传热设备的传热工艺、结构设计及强度计算的方法与步骤。

本书内容新颖,与同类书相比,具有如下几方面特点:

1. 对中、低压容器与传热设备除阐述基本理论、工作原理、计算方法与设计步骤外,还列举了一些结合生产实际的例题,其步骤有序,便于采用微机进行计算。

2. 在叙述原理和计算方面,除给出有关的计算公式之外,对目前还不太成熟的计算方法,则通过收集及查阅有关文献,介绍了为工程上已证明的行之有效的某些经验公式,使内容更为丰富。

3. 为了便于读者设计计算,除给出计算公式外,在内容和附录中还提供了必要的图表和数据,灵活运用这些知识,读者可以自行设计工业生产中常用的中、低压容器与传热设备,这对从事工程技术的人员是非常有用的。

4. 在进行设计计算时,有的章节给出了几种设计计算方法;有的提供了设计后进行校核及选用的方法,整个设计计算过程是详尽面全面的。

5. 为了提高设计计算速度,对某些典型的传热设备,采用微机计算,并赋予详尽的计算程序,以供参考,这在国内同类图书中也是不多见的。

6. 本书所有单位采用最新国家标准,法定计量单位,在各章后附有习题,提供了演练的内容和有关数据。

7. 书中介绍了一些较为新颖的容器结构与传热设备,这些理论与技术,将日臻成熟,并具有很强的生命力。

全书由侯佐岗副教授 陆楞严高级工程师编著;在编写过程中,得到了大连锅炉厂领导的大力支持,作者在此表示由衷的感谢。

书中插图由李慧捷描绘。

由于编者水平有限,难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

作者 1993. 8.

目 录

第一篇 金属材料简介

第二篇 压力容器设计

第一章 金属材料及热处理..... 1	第二章 压力容器设计的理论基础 29
第一节 金属材料的基本理论及 钢的热处理..... 1	第一节 概述 29
一、金属材料的主要性能 1	一、容器的分类..... 29
二、金属的晶体结构 5	二、容器总体结构介绍..... 31
三、铁碳合金的组织、结构及状 态图 6	三、压力容器设计的基本要求..... 31
四、钢的热处理 9	四、材料的选择..... 32
第二节 碳钢与铸铁 12	第二节 壳体的无力矩理论 33
一、碳钢的分类、编号和用途 12	一、薄壁圆筒的应力分析..... 33
二、钢中常存杂质的影响..... 15	二、一般薄壁壳体的应力分析..... 35
三、铸铁..... 16	第三节 无力矩理论在几种典型 壳体中的应用 40
第三节 普通低合金钢及特殊 性能合金钢 17	一、承受气体压力的壳体..... 40
一、合金结构钢..... 17	二、承受液体静压力的壳体..... 44
二、不锈钢..... 18	第四节 无力矩理论的应用范围 及边缘应力 47
三、耐热钢..... 19	一、无力矩理论的应用范围..... 47
四、锅炉钢..... 21	二、受内压圆筒边缘应力的概念 及特点..... 47
五、容器钢..... 21	三、对边缘应力的处理..... 48
六、钢材的品种和规格..... 22	习题 49
第四节 有色金属材料简介 22	第三章 内压薄壁容器设计 51
一、铜及铜合金..... 22	第一节 内压圆筒和球形壳体 的设计计算 51
二、铝及铝合金..... 23	一、内压圆筒的强度计算..... 51
三、铅及铅合金..... 23	二、球形壳体的强度计算..... 53
四、钛及钛合金..... 24	第二节 容器封头设计 53
第五节 金属材料的腐蚀及无 损探伤简介 24	一、半球形封头..... 53
一、金属腐蚀的基本概念..... 24	二、椭圆形封头..... 54
二、化学腐蚀..... 25	三、碟形封头..... 56
三、电化学腐蚀..... 25	四、无折边球形封头..... 57
四、金属设备的防腐蚀措施..... 25	五、锥形封头..... 57
五、金属材料的无损探伤..... 26	六、平盖封头..... 61
习题 27	

第三节 筒体和封头设计参数的选择	63
一、设计压力	63
二、设计温度	64
三、许用应力和安全系数	65
四、焊缝系数	65
五、壁厚附加量	66
六、直径系列与板材厚度	67
七、最小壁厚	67
第四节 压力试验及密封性检查	67
一、液压试验	68
二、气压试验	69
三、气密性试验	70
习题	71
第四章 外压容器设计	73
第一节 外压容器的稳定性	73
一、稳定性的概念	73
二、临界压力	73
第二节 外压圆筒的设计	74
一、理论公式计算法	74
二、图算法	77
第三节 外压球壳及封头的设计	83
一、外压球壳和球形封头的图算法	83
二、凸面受压封头设计	83
第四节 加强圈的设计	84
一、加强圈的作用	84
二、加强圈的结构	85
三、加强圈尺寸的计算	85
习题	90
第五章 容器零部件的设计	92
第一节 法兰连接设计	92
一、法兰连接结构与密封原理	92
二、法兰的结构与分类	93
三、法兰密封面的型式	93
四、垫片的选择	95
五、螺栓的计算	96
六、压力容器法兰标准及选用	101
第二节 容器的开孔与补强	103
一、接管、人孔、手孔、视镜	104
二、开孔附近的应力分析	105
三、开孔补强	107
四、等面积补强的设计方法	110
五、开孔补强的注意事项	113

第三节 容器支座	116
一、立式容器支座	116
二、卧式容器支座	117
习题	119

第三篇 传热设备的原理、结构与计算

第六章 传热设备的原理、结构及一般适用场合	121
第一节 概述	121
第二节 管壳式换热器	122
一、固定管板式换热器	122
二、浮头式换热器	123
三、U形管式换热器	124
四、釜式换热器	125
第三节 管式换热器	126
一、蛇管式换热器	126
二、套管式换热器	126
三、翅片管式换热器	127
第四节 紧凑式换热器	128
一、板式换热器	128
二、螺旋板式换热器	129
三、板翅式换热器	130
四、伞板式换热器	131
第五节 板壳式换热器	131
第六节 蓄热式换热器	133
第七节 直接接触式换热器	134
一、冷水塔	135
二、混合式冷凝器	136
习题	137

第七章 间壁式传热设备的传热计算	138
-------------------------------	-----

第一节 传热计算中的基本参数及方程	138
第二节 传热热阻计算	139
一、间壁的导热热阻	139
二、流体与洁净壁表面间的热阻	140
三、流体与结垢壁表面间的热阻	141
第三节 传热计算的基本方法	143
一、平均温差法(MTD法)	143
二、传热单元数法(NTU法)	145

三、 Ψ - P 法	148	二、系列标准换热器的选用	
第四节 传热计算的步骤	150	计算	222
一、设计计算	150	习题	229
二、校核计算	151	第九章 套管式换热器	231
第五节 传热设备中的流动阻力	152	第一节 概述	231
习题	154	第二节 套管式换热器的设计	
第八章 管壳式换热器	155	计算	231
第一节 概述	155	一、结构设计	231
一、管壳式换热器计算的任		二、换热系数的计算	232
务、条件及原始数据	155	三、平均温差的计算	233
二、设计计算的一般原则及		四、 E - NTU 关系	233
主要步骤	155	五、压降计算	231
三、管壳式换热器的标准		六、强度计算	234
和主要参数简介	156	习题	235
第二节 操作条件的确定	158	第十章 螺旋板式换热器	236
一、流速和允许压降的选取	158	第一节 概述	236
二、流体的定性温度及壁面		第二节 螺旋板式换热器的工作	
温度计算	161	特点及分类	236
三、管程和壳程介质的确定	162	一、工作特点	236
第三节 管壳式换热器的结构设		二、分类	236
计	163	第三节 螺旋板式换热器的结构	
一、管子	163	设计	239
二、管子在管板上的固定	164	一、密封结构	239
三、管板结构	166	二、螺旋板式换热器的壳体	241
四、折流板、支承板、旁路挡板、		三、螺旋板的刚度	241
拦液板的作用及结构设计	172	四、进、出口接管的布置	242
五、管箱与进、出口接管的设计	176	五、螺旋通道的几何计算	242
六、管板厚度的设计计算	178	第四节 螺旋板式换热器的传热	
七、温差应力及管子拉脱力的		及压降计算	244
计算	179	一、传热计算中应考虑的问题	244
八、膨胀节的设置条件	184	二、传热计算	244
九、管壳式换热器的结构设计及		三、压降计算	252
强度计算示例	185	第五节 螺旋板式换热器的强度	
第四节 管壳式换热器的传热		与刚度计算	255
及压降计算	189	一、螺旋板的强度计算	255
一、管内换热系数计算	189	二、螺旋板的挠度计算	257
二、管外换热系数计算	191	三、螺旋板式换热器的稳定性	
三、压降计算	195	校核	258
四、管壳式换热器的传热及压降		第六节 螺旋板式换热器的制造	
计算示例	197	简介	271
第五节 管壳式换热器设计计算		第七节 螺旋板式换热器计算	
的一般步骤	206	示例	272
第六节 管壳式换热器计算示例	208	一、传热计算	272
一、非系列标准换热器的设计		二、流体压降 Δp 计算	276
计算	208		

三、螺旋板的强度、挠度的计算	
与校核	279
四、螺旋板式换热器的结构尺寸 ..	280
五、电算(BASIC 语言)计算	
示例	282
习题	291
第十一章 热管与热管换热器	293
第一节 热管	293
一、概述	293
二、热管的种类	293
三、热管的工质	296
四、热管的管芯结构	297
五、热管的工作极限	298
六、热管壁厚及端盖壁厚的	
计算	298
七、热管的应用	298
第二节 热管换热器	300
一、气—气热管换热器	300
二、气—液热管换热器	301
三、气—蒸气热管换热器	301
第三节 热管换热器的传热计算	301
一、 $E-NTU$ 法	301
二、离散型传热计算法	306
三、电算(BASIC 语言)计算	
示例	311
习题	315

附 录

附录一 常用金属材料的物理	
性能	317
附录二 常用锅炉钢板机械性能	319
附录三 常用不锈钢的机械性能	
及用途	319
附录四 常用钢板许用应力	320
附录五 常用无缝钢管许用应力	
及尺寸范围	321
附录六 常用螺栓材料许用应力	322
附录七 常用间壁式传热设备的	
传热系数大致范围	323
附录八 污垢热阻 r_f 的参考值	326
附录九 间壁式传热设备的平均	
温差及温差修正系数	328
附录十 间壁式传热设备的温度	
效率	330
附录十一 当量直径计算方法	332
附录十二 壳程压降结垢影响校	
正系数	332
附录十三 螺旋板式换热器系列	
产品	333
附录十四 热管中常用工质的物理	
性质	333
参考文献	334

第一篇 金属材料简介

金属材料是构成压力容器及传热设备的物质基础。压力容器与传热设备使用的材料品种很多,最常用的金属材料是碳钢、普通低合金钢、不锈钢、铸铁及有色金属等。由于压力容器与传热设备所处的生产工艺条件较为复杂,不同的工艺条件对金属材料有不同的要求,因此,必须掌握金属的各种基本性能,从使用条件、加工工艺、经济价格等各方面作综合考虑,并做到合理选择。

第一章 金属材料及热处理

金属材料是现代工业上使用最广泛的材料,在机械动力、石油化工、热能工程行业中金属材料设备约占 90% 左右。因此对金属材料的研究及合理使用,掌握一定的材料知识,对于从事设计、制造、生产和管理的工程技术人员来说是十分重要的。

工业上使用的金属材料分为两大类:一类是黑色金属,包括铁、锰、铬及铁基合金,如生铁、钢和铁合金等。另一类是有色金属,指除黑色金属以外的其它金属与合金,常见的如铜、铝及其合金等。

本章主要介绍常用金属材料的基本性能及影响这些性能的因素,并着重介绍压力容器及传热设备中常用钢材的性能及应用范围。对有色金属材料及腐蚀与防腐蚀措施仅作一般介绍。

第一节 金属材料的基本理论及钢的热处理

一、金属材料的主要性能

金属材料的性能主要包括机械性能、物理性能、化学性能和制造工艺性能。

1. 机械性能

金属及其合金在受外力作用时,所表现出抵抗破坏的能力,总称为金属机械性能。如强度、弹性、塑性、韧性及硬度等。关于材料的弹性、强度和塑性已在工程力学中阐述,这里仅介绍硬度、冲击韧性和高温强度等方面的知识。

(1) 硬度

硬度是指金属表现抵抗其它更硬物体压入的能力。也可以说是材料对局部塑性变形的抗力。测定硬度最常采用的方法是布氏硬度法、洛氏硬度法和维氏硬度法三种。

① 布氏硬度法

布氏硬度试验通常是采用直径 10mm 淬火钢球,用 30000N 的载荷压入金属材料表面,经过规定的加载时间后卸除载荷,即得直径为 d 的压痕。载荷除以压痕表面积所得之值即为布氏硬度,以 HB 表示。见图 1-1。

$$HB = \frac{P}{A} \quad \text{Pa} \quad (1-1)$$

因测量压痕深度 h (见图 1-1) 较为困难,而测量压痕直径 d 比较容易,因此可把 h 改用 d 表示:

$$A = \pi D \cdot \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2} \quad \text{m}^2 \quad (1-2)$$

$$HB = \frac{2P}{\pi D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{Pa} \quad (1-3)$$

式中 P ——压力, N;
 D ——钢球直径, m;
 d ——压痕直径, m。

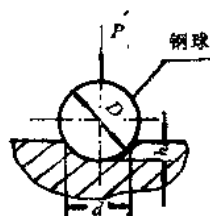


图 1-1 布氏硬度试验示意图

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

在生产中, 如采用的载荷 $P = 30000\text{N}$, 钢球直径 $D = 10\text{mm}$, 则布氏硬度的表示方法可写成 D_{10}^{30000} , 例如 $D_{10}^{30000} = 3.2 \sim 3.4$, 表示压痕直径是 $3.2 \sim 3.4\text{mm}$, 查表可知 $HB = 321 \sim 364$ 。如果选用另一种载荷与钢球直径, 则应注意换算。

布氏硬度法的测量误差小, 试验数据比较稳定。布氏硬度与 σ_b 之间有下列近似关系:

退火状态的低、中碳钢 ($HB \approx 120 \sim 175$), $\sigma_b \approx 0.36HB$

调质后的低、中碳钢 ($HB > 175$), $\sigma_b \approx 0.34HB$

灰口铸铁 $\sigma_b \approx 0.1HB$

测量时应该注意, 对于太薄或者加工后的零件, 不允许有较大压痕时, 不宜采用布氏硬度法; 在测量硬度较高的金属材料时 ($HB > 450$), 由于钢球变形难以测得精确数据, 所以也不能采用布氏硬度法。

② 洛氏硬度法

洛氏硬度法常用的试验条件是 120° 角的圆锥形金刚石压头和 $P = 1500\text{N}$ 载荷, 其测量原理与布氏硬度法基本相同, 但洛氏硬度值的测定是以试样被测试点的压痕深度为依据的, 压痕越深, 硬度值越低 (见图 1-2)。

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。此法用于淬火后或其它硬度较高的零件, 是生产中广泛用的一种硬度测量方法。洛氏硬度值规定以符号 HR 表示, 根据压头与载荷不同分别为 HRA、HRB、HRC。金刚石锥压头和 1500N 载荷的, 一般称为 HRC。HRC 与 HB 关系大约为 $1:10$, 例如 HRC40 相当于 HB400 左右, 但在 $HB < 220$ 的硬度范围内不能用这种方法换算。

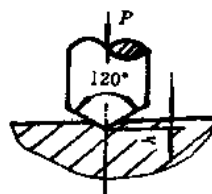


图 1-2 洛氏硬度试验示意图

HRB 是用直径为 1/16 英寸 (约为 1.588mm) 的淬火钢球压头和 1000N 的载荷测得的洛

氏硬度。用于测量退火钢、铸铁及有色金属等较软材料的硬度。

HRA 是用 120° 角的金刚石压头及 600N 载荷测得的洛氏硬度。压痕较小, 用于测量硬而薄的零件, 如硬质合金及很薄的淬火件的硬度。

洛氏硬度法, 操作迅速、简便, 生产率高, 测量范围广, 零件表面上留下的压痕小, 基本上不损伤零件表面。但由于压痕小, 若材料内部组织不均匀, 有粗大的第二相组织(如铸铁中的石墨), 则测量的硬度不准确。

③ 维氏硬度

维氏硬度试验原理基本上和布氏硬度试验相同, 其试验原理如图 1-3 所示。它是用一个两相对面间夹角为 136° 的金刚石正四棱锥压头, 在规定的载荷 P 作用下压入被测金属表面, 卸载后测出压痕对角线的长度 d , 算出压痕的表面积 A , 然后以单位面积的压力值表示维氏硬度值, 用符号 HV 表示, 即

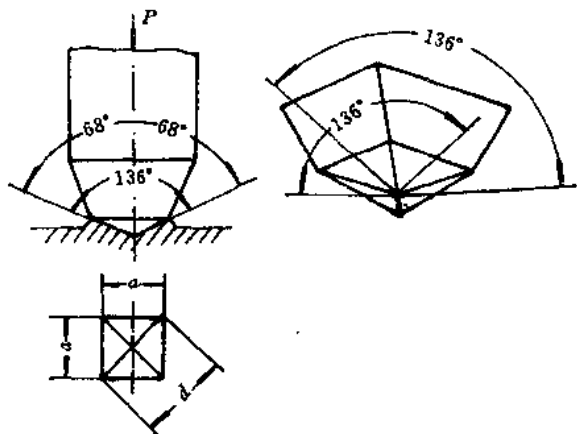


图 1-3 维氏硬度试验示意图

$$\text{HV} = \frac{P}{A} = \frac{P}{\frac{d^2}{2\sin 68^\circ}} = 1.8544 \frac{P}{d^2} \quad \text{Pa} \quad (1-4)$$

式中 P ——载荷, N;

A ——压痕表面积, m^2

d ——压痕对角线的平均长度, m。

维氏硬度试验所用的载荷可根据试件的大小, 厚薄等条件进行选择, 常用的载荷有 5、10、50、100、300N 等几种。

在实际应用中, 维氏硬度一般不进行计算, 可根据压痕对角线的长度, 直接从表中查得。

维氏硬度因试验时所加的载荷小, 压入深度浅, 故常测量较薄的材料, 也可测量表面渗碳、氮化层的硬度。而且维氏硬度值具有连续性 (HV10 ~ 1000), 故可测定从极软到极硬的各种金属材料的硬度。但是因需测量对角线长度, 测试手段较繁, 并且压痕小, 对试件的表面质量要求较高。

(2) 冲击韧性

冲击韧性是材料抵抗冲击功的能力。很多零件是在动力作用下工作, 例如, 正在运转的空气压缩机的零件; 温度与压力有急剧波动的容器都承受冲击力, 实践可知, 静力强度 σ_s 、 σ_b 大的材料, 在受冲击作用下的性能并不一定是良好的, 还应知道材料在冲击作用下的性能。

冲击韧性的大小是在冲击试验机上测定的。试验时将具有 U 形缺口的标准试样(图 1-4) 放在冲击试验机上, 将摆锤举到一定的高度来冲断试样, 见图 1-5, 试样在缺口截面断裂时, 试样断面的单位面积上所消耗的功即为冲击韧性值, 用符号 α_k 表示。

$$\alpha_K = \frac{A_K}{A} \quad \text{N} \cdot \text{m}/\text{m}^2 \quad (1-5)$$

式中 A_K ——冲断试样所消耗的功, $\text{N} \cdot \text{m}$;

A ——试样断口处的截面积, m^2 。

冲击试样有梅氏及夏氏两种。试样尺寸及缺口形状见图 1-4。试验示意图见图 1-5。

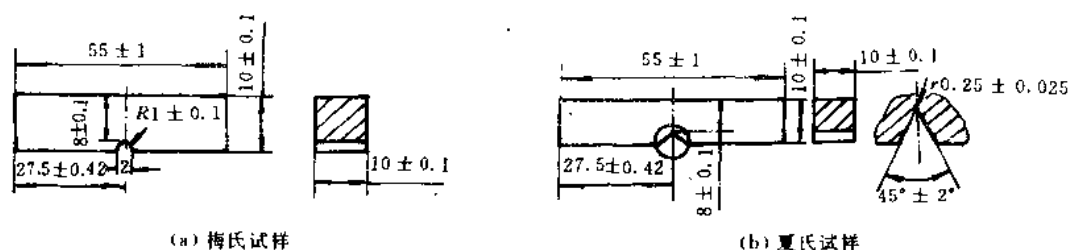


图 1-4 冲击试样

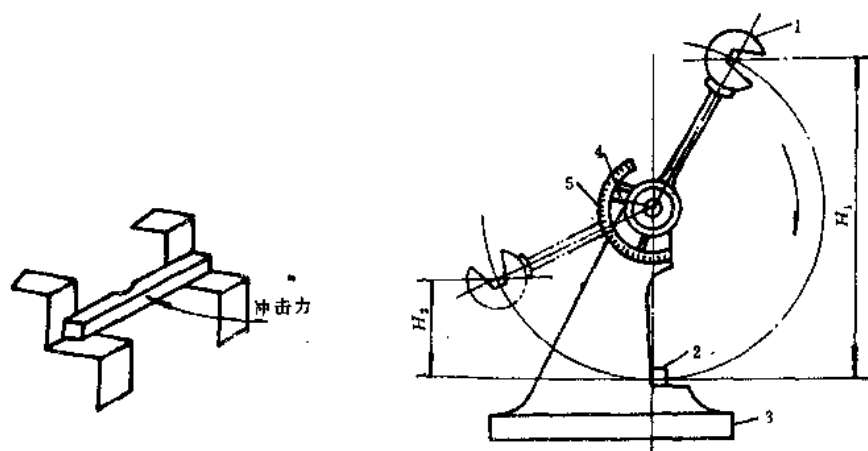


图 1-5 冲击试验示意图

冲击韧性和强度、塑性虽不是同一指标,但有一定的关系,一般说来,强度高,塑性也好的材料,其冲击韧性值也高些,脆性大的材料韧性值就低。

对于绝大多数材料,温度升高塑性提高;温度降低则塑性降低,脆性增加。这可以通过冲击韧性值的下降反映出来。

2. 物理性能

材料的物理性能指标有:导热系数 λ 、熔点、线膨胀系数 α 、电阻率、磁性、弹性模量等。例如,换热器用的传热管子或板要求导热系数 λ 大的材料,保温材料则需用导热性差的材料,作衬里用的材料要求与基体材料的膨胀系数相接近。常用金属材料的物理性能见附录一。

3. 化学性能

金属材料的耐腐蚀性(或化学稳定性)是表示材料抵抗介质腐蚀作用的能力。

常用金属材料在酸、碱、盐介质中的耐腐蚀性可查阅有关手册。

4. 制造工艺性能

金属及合金通常经过铸造、锻造、焊接、热处理、切削加工和冷压卷板等方法制成机器或设备的零部件。标志材料经受这些加工方法的能力称为制造工艺性能。

选择材料时,首先要从零件所处的实际工作环境出发,选择具有适宜的机械、物理和化学性能的材料,同时要考虑此种材料应具有较好的制造工艺性能。这样才能保证材料在技术上是可靠的,在经济上是合理的。

对压力容器主要采用焊接的方法制成,因此选择材料时要考虑材料的焊接性(或称可焊性)是否良好,材料的可焊性一般说与材料的塑性有关,塑性好的材料焊接性也好,脆性大的材料焊接性较差。例如,钢是可焊的,但中碳钢,合金钢难焊,因钢的塑性与碳的含量,合金元素含量有关。

在制造压力容器时,钢板需卷滚、翻边、冲压;有时尚需切削加工,如焊接坡口、刨边、法兰密封面加工等,因而对材料的塑性和切削加工性能都要有较高的要求。

二、金属的晶体结构

1. 晶体的概念

一切固态物质都可以分为晶体与非晶体两大类;金属都属于晶体。

所谓晶体就是指内部原子呈规则排列的固体。如图1-6(a)所示,即为一种简单的晶体结构的模型。

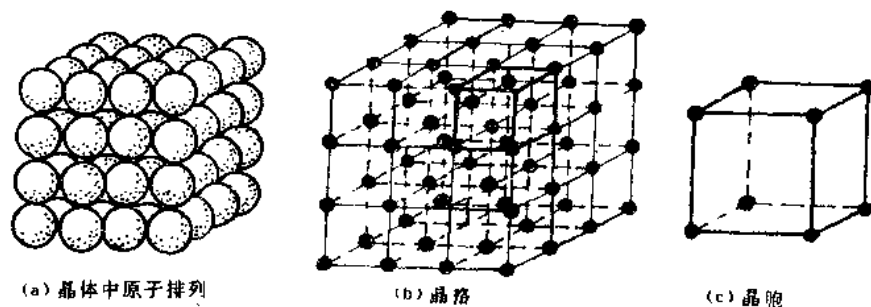


图1-6 简单立方晶格的模型

为了便于分析各种晶体中原子排列的规律及几何形状,可用线条将各原子的中心连接起来,使之构成一个空间格子。图1-6(a)所示的晶体可描述为如图1-6(b)所示的空间格子,此时假想各原子都是位于该空间格子的各结点上。这种用以描述原子在晶体中排列形式的空间格子叫做“晶格”。图1-6(b)所示的是一种简单的立方晶格。

晶格中各种方位的原子层叫做“晶面”。因此,可以说晶体或晶格就是由层层晶面堆砌而成的。晶格中由原子或结点所组成的任一直线能代表晶体空间内的一个方向,这个方向称为“晶向”。

由于晶格实质上都是由一些最基本的几何排列形式重复堆砌而成的,因此,只取其中一个最基本的几何单元进行分析,便能找出整个晶格的排列规律。如图1-6(c)即从图1-6(b)的晶格中所取出的一个这种几何单元。这种晶格的最基本的几何排列形式或单元叫做“晶胞”。晶胞各边尺寸 a 、 b 、 c 称之为“晶格常数”,大小以埃($1\text{\AA} = 1 \times 10^{-8}\text{cm}$)来量度的。

各种金属元素晶体构造的主要差别,就在于晶格类型及晶格常数的不同。其机械性能与

金属晶体的晶格常数有着密切的关系。

2. 晶体结构

金属晶体结构的类型很多,常见的有下列三种:

(1) 体心立方晶格(图 1-7(a))

属于体心立方晶格的金属有 α -Fe、铬、钨、钼等。体心立方晶格的晶胞是一个立方体,在立方体的八个结点上分别有一个与其它晶胞共有的原子。

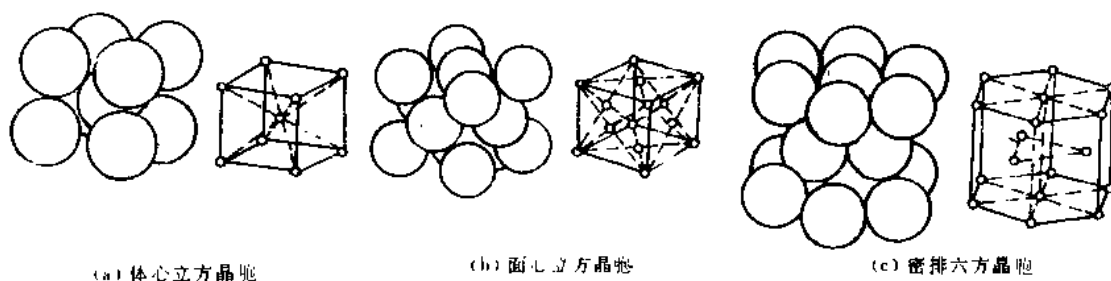


图 1-7 金属的晶体结构

(2) 面心立方晶体(图 1-7(b))

属于这类晶格的金属有 γ -Fe、铝、铜、镍等。面心立方晶格的晶胞也是一个立方体,在立方体的每一个面的中心和立方体的八个结点上,均分别有一个与其它邻近晶胞共有的原子。

(3) 密排六方晶格(图 1-7(c))

属于这类晶格的金属有镁、锌、钛等。密排六方晶格的晶胞,是由七个与其它邻近晶胞共有的原子,构成其上下两个六方底面,在两个六方底面的中间尚有三个原子。

从上述三种晶格类型中可以看出,由于晶格各晶面和各晶向上的原子排列密度不同,从而使晶体在不同方向上的性能出现差异,这种现象叫做“各向异性”

三、铁碳合金的组织、结构及状态图

钢和铸铁是现代工业中应用最广泛的金属材料,它们都是由铁和碳两种元素为主构成的合金。为了合理地使用钢铁材料,必须掌握铁碳合金的成分、结构组织与性能之间的关系。

1. 组织与结构

工程上使用的金属材料多数属于黑色金属,而黑色金属表面上看来似乎一样,但是它们内部的晶体结构及微观情况却有着很大的差别。如果用金相分析的方法,在金相显微镜下就可以看到它们的差别。

通常在低于 1500 倍的显微镜下观察的金属的晶粒,称为金属的显微组织,简称组织,如图 1-8 所示。如果用 X 光和电子显微镜则可以观察到金属原子的各种晶体结构,简称结构。金属内部不同的显微组织和结构,直接影响着金属材料的性质。如图 1-9 所示为灰口铸铁中石墨的不同组织形式,其中球状石墨的铸铁强度最好,粗片状石墨最差。

在工业上所用的钢,除含不同量的碳外,钢中还含有少量的硅(Si)、锰(Mn)、硫(S)、磷(P)和氧等杂质。杂质往往是产生碳钢某些不良性质的原因。碳是钢中的主要元素之一,对钢的机械性能影响最大。含碳越多,强度硬度越高,塑性、韧性越差。

(1) 铁素体——是碳溶解在 α -Fe 中形成的固溶体。由于 α -Fe 是体心立方晶格,可以

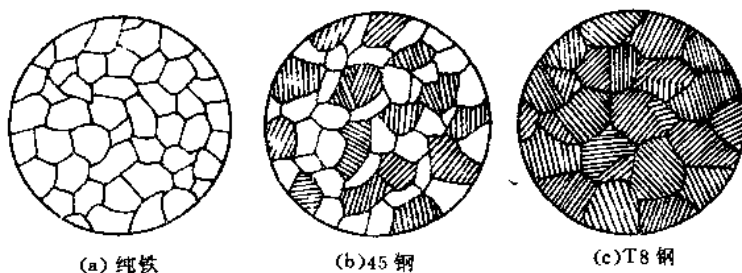


图 1-8 纯铁、45 钢、T8 钢显微组织示意图

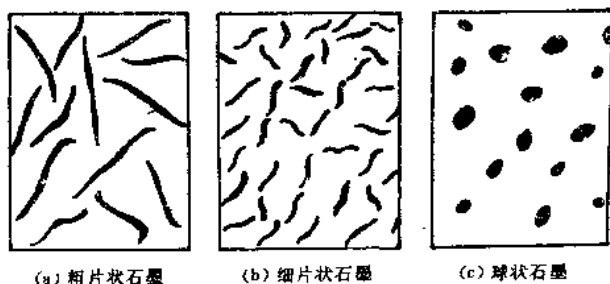


图 1-9 灰铸铁和球墨铸铁中石墨分布示意图

容纳碳原子的间隙就比较小,如图 1-10 所示。因此在室温下只能溶解 0.008%,在 723℃ 最多也只能溶解 0.02%,故其性能近于纯铁,硬度低,HB = 80,强度低, $\sigma_s = 250\text{MPa}$,而塑性、韧性高, $\delta = 50\%$, $\alpha_k = 3.0 \times 10^5 (\text{N} \cdot \text{m}/\text{m}^2)$ 。

(2) 奥氏体 — 是碳溶解在 $\gamma\text{-Fe}$ 中形成的固溶体。奥氏体具有面心立方晶格,奥氏体内铁原子之间的空隙较大,故溶解碳的能力较大,如图 1-11 所示。在 723℃ 时溶碳量为 0.8%。温度升高,溶碳量不断增加,在 1147℃ 时,溶碳量达到最大为 2.06%。

奥氏体是一种单一的固溶体,它的强度、硬度较低、塑性良好,所以钢材锻造时要加热到奥氏体状态。

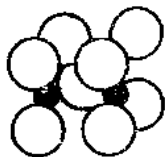


图 1-10 碳溶解于 $\alpha\text{-Fe}$ 中的示意图

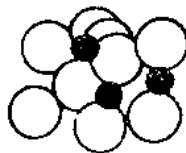


图 1-11 碳溶解于 $\gamma\text{-Fe}$ 中的示意图

(3) 渗碳体 — 是铁与碳的化合物,可以用化学式 Fe_3C 来表示。渗碳体的含碳量为 6.67%。这种化合物硬度极高,HB = 800,强度低, $\sigma_s = 35\text{MPa}$,非常脆,延伸率和冲击韧性值几乎等于零。

(4) 珠光体 — 是由铁素体和渗碳体组成的机械混合物。珠光体中渗碳体呈片层状分布于铁素体基本上。珠光体的机械性能介于纯铁和渗碳体之间,如硬度一般在 HB = 180 左右。

2. 铁碳合金状态图

铁碳合金状态图是用来研究铁碳合金的成分、温度、组织之间的关系,如图 1-12 所

示。它能表示出不同含碳量的钢和铸铁在缓慢加热或冷却过程中组织变化的规律、是研究钢铁组织与性能的基础,对于钢铁各种热加工工艺,也具有重要的指导意义。

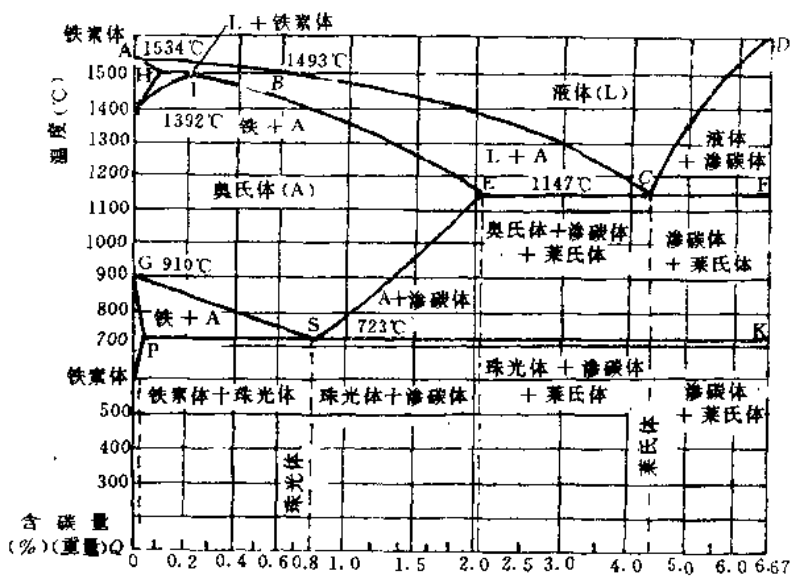


图 1-12 铁碳合金状态图

(1) 纯铁的同素异构转变

由分析图 1-13 纯铁的冷却曲线,可以看到在 1390°C 及 910°C 分别有两个平台。这表明纯铁在凝固后的继续冷却过程中,还有两次晶体结构的转变。这种在固态下晶体结构随温

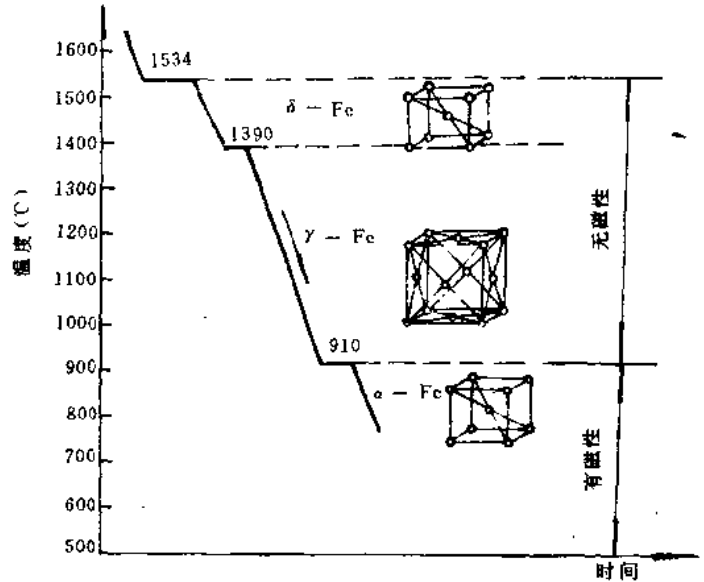
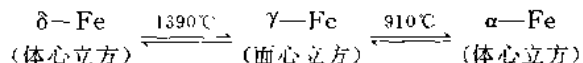


图 1-13 纯铁的冷却曲线

度发生改变的现象,称为“同素异构转变”。其变化过程如下:



纯铁在910℃以下及在1390~1534℃之间,呈体心立方晶格,分别用 $\alpha\text{-Fe}$ 与 $\delta\text{-Fe}$ 表示;在910~1390℃之间,呈面心立方晶格用 $\gamma\text{-Fe}$ 表示。铁的同素异构转变,是铁原子重新排到的过程,实质上也是一种结晶过程(一般称为“重结晶”)。

(2) 钢的常温组织

含碳量小于2.06%的铁碳合金称为钢。含碳量大于2.06%的铁碳合金称为生铁。因生铁在压力容器中的应用很少,故只分析铁碳合金中 $C < 2.06\%$ 的碳钢部分。

含碳量为0.8%的钢是由单一的珠光体所组成,称为共析钢。含碳量低于0.8%的钢,是由铁素体加珠光体所组成,称为亚共析钢。含碳量大于0.8%的钢,是由珠光体加渗碳体所组成,称为过共析钢。

(3) 临界温度线及其含义

钢在加热或冷却过程中,其内部组织发生转变的温度线叫临界温度线。

在铁碳合金状态图1-12中,PSK线即奥氏体转变为珠光体的相变温度线,称为 A_1 线;把GS线称为 A_3 线;把ES线称为 A_{cm} 线。在实际生产中,因加热和冷却时,钢的组织转变总有迟滞现象,即钢中各相的转变温度在加热时稍高于、冷却时稍低于状态图中所指出的相变温度。因此,钢在加热时附以小字母 h ,冷却时附以小字母 c 以示区别。钢的各临界点含义如下:

A_{h_1} ——加热时,珠光体向奥氏体转变的温度;

A_{c_1} ——冷却时,奥氏体向珠光体转变的温度;

A_{h_2} ——加热时,铁素体向奥氏体转变的终了温度;

A_{c_2} ——冷却时,奥氏体向铁素体转变的起始温度;

$A_{h_{cm}}$ ——加热时,所有渗碳体完全溶解到奥氏体的温度;

$A_{c_{cm}}$ ——冷却时,奥氏体开始析出渗碳体的温度。

状态图中的ABCD线为液相线,即液态合金开始结晶温度的连线。AECF线为固相线,即液态合金结晶终了温度的连线。

通过对铁碳合金状态图的分析可知,碳钢的组织主要取决于含碳量的多少。当含碳量极少时($< 0.006\%$),碳原子全部溶解到铁中,通常组成单一的铁素体组织。随着含碳量的增加,珠光体量逐渐增加,而铁素体量逐渐减少。当含碳量达到0.8%时,碳钢的组织全部为珠光体。含碳量超过0.8%时,碳钢组织中除了珠光体外,开始出现渗碳体。随着含碳量的增加,渗碳体量不断增多且呈网状分布在晶界上,正是由于上述组织的变化,引起钢的性能随含碳量而变化。如珠光体量不断增加,钢的强度和硬度不断提高,而塑性和韧性有所降低,当网状渗碳体出现时,又使强度略有降低。

四、钢的热处理

所谓热处理是将钢材加热到一定的温度,在此温度下保持一定的时间(一般以保证钢材内各处温度均匀,即所谓热透为准),然后以不同的速度冷却下来,这种处理方法称为热处