

普通高等教育“十五”国家级规划教材配套用书

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

化工设备机械基础 学习指导

喻健良 主编



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

“十五”国家级规划教材配套用书
普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套用书

化工设备机械基础 学习指导

主编 喻健良

参编 张晓冬 马 源

伊 军 喻健良

化学工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

化工设备机械基础学习指导 / 喻健良主编. — 大连:
大连理工大学出版社, 2012. 1
ISBN 978-7-5611-6678-9

I. 化… II. ①喻… III. 化工原理—高等学校—
教学参考资料②化工机械—高等学校—教学参考资料
IV. ①TQ05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 280806 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84706041 传真:0411-84707310 邮购:0411-84706041

E-mail: dulp@dulp.cn URL: <http://www.dulp.cn>

大连力佳印务有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸:140mm×203mm	印张:7.375	字数:254千字
2012年1月第1版	2012年1月第1次印刷	

责任编辑:于建辉

责任校对:刘华夏

封面设计:宋 蕾

ISBN 978-7-5611-6678-9

定 价:19.80 元

前 言

《化工设备机械基础》(第六版)是大连理工大学王玉玮、王立业、喻健良教授多年从事本科教学工作的经验总结,也是大连理工大学化工设备机械基础教学团队教学成果的积累。承蒙厚爱,《化工设备机械基础》多年来一直是受全国高校相关专业教师和学生欢迎的本科教材。特别是教材的习题是同类相关教材中最具特色的内容之一,为教师提高教学质量、学生消化吸收课堂内容起到了非常好的促进作用。但是,由于本教材一直没有出版完整的习题解答,许多院校师生纷纷通过多种渠道希望本教材配套习题解答正式出版,基于此,我们正式出版了《化工设备机械基础学习指导》。

本书具有如下特点:

(1)根据原教材内容的章节顺序,对教材每一部分内容进行了简要概括和重点描述,有助于学生快速掌握教材基本内容,宏观串联重要知识点;

(2)增加了典型例题的分析解答,丰富了原教材的内容,突出了教学内容中复杂习题和工程问题的解决思路和方法;

(3)尊重原教材的习题内容,给出了教材全部习题的解答,帮助教材使用者达到教学的基本要求。

本书1、2章由大连锅炉压力容器检验研究院伊军编写,2、3、5章由大连理工大学张晓冬编写,4、6章由大连理工大学马源编写,7、8章由大连理工大学喻健良编写。全书由喻健良教授负责统稿并最后定稿。

本书内容会根据 GB 150 和 GB 151 以及监察规程的更新不断进行修订完善。

本书首次出版,敬请各位专家同行和使用者多提宝贵意见,及时反馈书中出现的疏漏,以便我们再版时更正。

您有任何意见或建议,请通过以下方式与出版社联系:

邮箱 jcf@dup.cn

电话 0411-84707962 84708947

编 者

2012 年 1 月

目 录

第 1 章 化工设备材料及其选择 / 1		
基本要求 / 1	内容概要 / 1	例题解析 / 31
习题解答 / 32	思考题 / 38	
第 2 章 容器设计的基本知识 / 39		
基本要求 / 39	内容概要 / 39	例题解析 / 43
习题解答 / 46	思考题 / 47	
第 3 章 内压薄壁容器的应力分析 / 49		
基本要求 / 49	内容概要 / 49	例题解析 / 54
习题解答 / 57	思考题 / 65	
第 4 章 内压薄壁圆筒与封头的强度设计 / 67		
基本要求 / 67	内容概要 / 67	例题解析 / 82
习题解答 / 84		
第 5 章 外压圆筒与封头的设计 / 103		
基本要求 / 103	内容概要 / 103	例题解析 / 111
习题解答 / 118	思考题 / 134	
第 6 章 容器零部件 / 136		
基本要求 / 136	内容概要 / 136	例题解析 / 152
习题解答 / 154		
第 7 章 管壳式热交换器的机械设计 / 168		
基本要求 / 168	内容概要 / 168	例题解析 / 174
习题解答 / 187	思考题 / 193	
第 8 章 塔设备的机械设计 / 194		
基本要求 / 194	内容概要 / 194	例题解析 / 199
习题解答 / 221	思考题 / 227	

第1章 化工设备材料及其选择

● 基本要求 ●

选材是设计制造容器设备的第一步。当对容器设备及其他元件进行选材时,首先必须考虑材料的有关性能。学习本章的目的是使学生了解化工设备材料的一般知识,了解常用材料的分类、性能、参数以及用途,使学生初步具有合理选用化工设备材料的能力。

本章的基本要求为:

- (1)熟悉材料的性能及参数;
- (2)熟悉金属材料的分类及牌号;
- (3)了解碳钢及铸铁的组织结构及热处理;
- (4)掌握压力容器用钢的特殊要求;
- (5)了解常见的有色金属材料及非金属材料;
- (6)了解化工设备的腐蚀及防腐措施;
- (7)熟悉化工设备材料选择的一般原则。
- (8)常用材料标准及新旧材料对照表。

● 内容概要 ●

一、材料的性能

1. 性能种类

材料的性能主要包括力学性能、物理性能、化学性能和加工工艺性能等,见表 1-1。

表 1-1 材料性能

性能	定义	衡量指标
力学性能	在外力作用下不产生超过允许的变形或不被破坏的能力	弹性、塑性、强度、硬度、韧性等

(续表)

性能	定义	衡量指标
物理性能	材料本身具有的物理性质	相对密度、熔点、比热容、导热系数、线膨胀系数、电阻率、磁导率、弹性模量、泊松比等
化学性能	材料在所处介质中的化学稳定性	耐腐蚀性、抗氧化性
加工工艺性能	保证加工质量的前提下加工过程的难易程度	铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等

2. 力学性能

(1) 材料的破坏过程

低碳钢在承受拉载直至破坏的应力-应变曲线如图 1-1 所示。

在图中的 $\sigma\epsilon$ 曲线上, $0\sim\sigma_e$ 段称为弹性段, 即去掉外力后, 变形立即恢复, 这种变形称为弹性变形, 其对应的应变值很小, σ_e 称为弹性极限。在弹性极限内, 当应力小于 σ_p 时, 应力与应变始终成比例关系, σ_p 称为比例极限。由于 σ_e 和 σ_p 很接近, 一般不加区别。

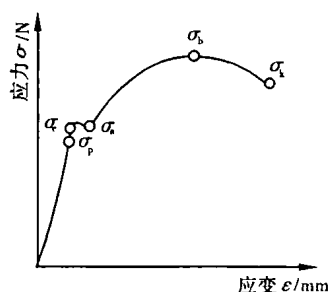


图 1-1 低碳钢应力-应变曲线

当试验应力 σ 超过 σ_e 时, 试件除弹性变形外, 还将产生塑性变形。在 $\sigma_e\sim\sigma_s$ 段, 表现为应力几乎不增加而应变增加的现象, 称为屈服, σ_s 称为屈服强度。

材料发生屈服后, 继续增大应力, 应变也同时增大, 直至达到应力最大值 σ_b 。应力最大值 σ_b 称为抗拉强度。 σ_b 以后, 试件产生“颈缩”, 迅速伸长, 应力明显下降, 最后当应力下降到 σ_k 时断裂。

根据以上分析, 金属材料在外力作用下破坏, 分三个过程:

①弹性变形阶段; ②弹-塑性变形阶段; ③断裂阶段。

金属断裂的形式有两种: 经过大量塑性变形之后才发生断裂, 称为韧性断裂, 如图 1-2(a) 所示; 断裂之前没有明显塑性变形阶段, 称为脆性断裂, 如图 1-2(b) 所示。

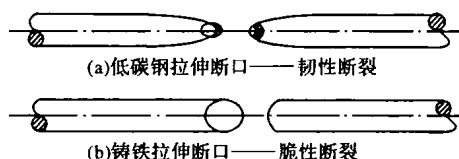


图 1-2 低碳钢和铸铁断口图

(2) 强度

强度是固体材料在外力作用下抵抗产生塑性变形和断裂的特性。强度指标主要有以下几种。

① 屈服点(σ_s)

出现塑性变形时的应力,称为屈服点,用 σ_s (单位:MPa)表示,代表金属材料抵抗产生塑性变形的能力。

除了少部分退火或热轧的低碳钢和中碳钢外,大多数金属并没有明显的屈服点。对这种情况,工程上规定发生0.2%残余伸长时的应力为条件屈服点,称为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ (单位:MPa)表示。

② 抗拉强度(σ_b)

金属材料在拉伸时,从开始加载到发生断裂所能承受的最大应力值,叫做抗拉强度,以 σ_b (单位:MPa)表示。当外力为其他形式时,抗拉强度相应地变为抗压强度、抗弯强度、抗剪切强度等。

③ 屈强比(σ_s/σ_b)

屈强比定义为材料屈服强度与抗拉强度的比值,即 σ_s/σ_b 。屈强比越小,材料塑性储备越大,越不容易发生脆性破坏;但屈强比太小,材料的强度水平就不能充分发挥。一般情况下,希望材料的屈强比大一些。

④ 蠕变极限(σ_n)

材料在高温下抵抗发生缓慢塑性变形的能力,用蠕变极限 σ_n (单位:MPa)来表示。材料的蠕变极限与温度、蠕变速度有关。

⑤ 持久强度(σ_D)

给定温度下,促使试件经过一定时间发生断裂的应力叫持久强度,以 σ_D (单位:MPa)来表示。持久强度是一定温度和应力下材料抵抗断裂的能力。在相同的条件下,能持续的时间越久,则该材料抵抗断裂的能力越强。

⑥ 疲劳强度(σ_{-1})

金属在无数次交变载荷作用下,不致引起断裂的最大应力,称为“疲劳极限”。

实际试验时不可能进行无数次,因此一般把经过 $10^6 \sim 10^8$ 次循环试验不发生断裂的最大应力作为疲劳极限,又称疲劳强度。影响金属疲劳强度的因素有很多,如合金成分、表面状态、组织结构、夹杂物的多少和分布及是否有应力集中等。

(3) 塑性

塑性是金属材料在断裂前发生不可逆永久变形的能力。塑性指标有断后伸长率(A)和断面收缩率(ψ)。

①断后伸长率(A)

断后伸长率是试件受拉力断裂后,总伸长长度与原始长度之比的百分率。

$$A = \frac{\Delta l_k}{l_0} \times 100\% = \frac{l_k - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_k ——试件断裂后的标距长度,mm;

l_0 ——试件的原始标距长度,mm;

Δl_k ——断裂后试件的绝对伸长,mm,它是在试件整个拉伸至断裂时所产生的塑性变形量。

断后伸长率的指标与试样尺寸有关,采用不同尺寸试样的断后伸长指标,应按照 GB/T17600.1~17600.2《钢的伸长率换算》进行换算,换算后的指标符合表 1-2 的规定。

表 1-2 钢板断后伸长率指标

钢板标准抗拉强度下限值 σ_s/MPa	断后伸长充 A/%
≤ 420	≥ 23
$> 420 \sim 550$	≥ 20
$> 550 \sim 680$	≥ 17

注 钢板标准中断后伸长率指标高于本表规定,还应符合材料标准的规定。

②断面收缩率(ψ)

断面收缩率是试件断裂后,断面缩小的面积与原始截面积之比的百分率。

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

式中 F_k ——试件断裂后的最小横截面积,mm²;

F_0 ——试件的原始横截面积,mm²。

断面收缩率与试件尺寸无关,因此它能更可靠地反映材料塑性的变化。

③冷弯角

冷弯角是衡量金属材料和焊缝塑性的指标之一,由冷弯试验测定得到。在容器制造过程中,对焊接工艺试板和产品试板均需做冷弯试验。

(4)硬度

硬度是指在外力作用下,材料抵抗局部变形,尤其是抵抗塑性变形、压痕或划痕的能力。硬度是反映材料弹性、强度、塑性和韧性等的综合性能指标。

硬度测量一般采用压入硬度法。即用一定的载荷把一定的压头压入金属表面,然后测定压痕的面积或深度。当压头和压力一定时,压痕越深或者面积越大,硬度越低。根据硬度测量时,压头和压力的不同,硬度指标可分为布氏硬度(HBS、HBW)、洛氏硬度(HRA、HRB、HRC)、维氏硬度(HV)和肖氏硬度(HS)等。

硬度是材料的重要性能指标之一。一般来说,材料硬度高,强度也高,耐磨性好。大部分金属硬度和强度之间有一定的关系,因而可用硬度估算抗拉强度。经验关系式如下:

对于碳钢,当 $HBS \leq 140$ 时, $\sigma_b \approx (3.68 \sim 3.76) HBS$; 当 $140 < HBS \leq 450$ 时, $\sigma_b \approx (3.40 \sim 3.51) HBS$;

对于碳钢及低合金钢,当 $450 < HBW \leq 650$ 时, $\sigma_b \approx (3.36 \sim 4.08) HBW$ 。

(5)冲击韧性

冲击韧性是材料在冲击作用下吸收塑性变形功和断裂功的能力,常以标准试样的冲击功 $KV_2(J)$ 表示。一般工程上用一次摆锤冲击 V 形缺口试样来测定。

韧性高的材料,一般有较高的塑性指标;但塑性较高的材料,却不一定都有高的韧性。

(6)缺口敏感性

缺口敏感性是指在带有一定应力集中的缺口条件下,材料抵抗裂纹扩展的能力,属于材料的韧性范畴。但与冲击韧性不同,缺口敏感性是反映材料在静载荷下抵抗裂纹扩展的性能。

3. 物理性能

(1)线膨胀系数 α_l

金属或合金受热时,体积膨胀的特性称为热膨胀性。膨胀量大小通常用线膨胀系数来定量,用 α_l 表示。

$$\alpha_l = \frac{1}{l} \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

式中 l ——试件原始长度, mm;

Δl ——试件伸长量, mm;

Δt ——温度差, $^{\circ}\text{C}$ 。

在异种金属焊接时,线膨胀系数差异较大的材料容易因膨胀量不等而使构件变形或损坏,因此焊接前必须考虑膨胀问题。有些设备的衬里和组合件,应注意材料的线膨胀系数是否和基体材料相同或相近,以防止受热后因膨胀量不同而松动或破坏。

(2) 弹性模量 E 和泊松比 μ

材料在弹性范围内,应力和应变的比值 σ/ε 称为弹性模量 E ,单位为 N/m^2 。弹性模量可用来衡量材料产生弹性变形的难易程度,用以表示材料的刚度。材料的弹性模量越大,使它产生一定量的弹性变形的应力也越大。

弹性模量主要取决于各种材料的本性,如金属原子结构、结晶点阵等,而合金化、热处理和冷热加工等因素对其影响较小。提高零件刚度的方法是增加截面面积或改变截面形状。同一种材料的弹性模量随温度的升高而降低。

泊松比是拉伸试验中试件单位横向收缩与单位纵向伸长之比,以 μ 表示。对各种钢材,约为常数 0.3。

4. 化学性能

(1) 耐腐蚀性

金属和合金对周围介质,如大气、水汽、各种电解质侵蚀的抵抗能力叫做耐腐蚀性。

(2) 抗氧化性

一些设备材料,在高温条件下,会有自由氧或其他气体介质如水蒸气、 CO_2 、 SO_2 等的氧化腐蚀作用,因此在工艺上需要加以注意。

5. 加工工艺性能

加工工艺性能直接影响化工设备和零部件的制造工艺方法,因此是选择材料时必须考虑的因素。加工工艺性能主要有:铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。

二、金属材料的分类及牌号

1. 钢材分类

钢材的分类方法有很多。比较常用的几种分类方法如下:

(1)按冶炼方法分为沸腾钢 F、半镇静钢 b 和镇静钢 Z

镇静钢在浇注前用 Si、Al 等元素对钢液进行完全脱氧,把 FeO 中的氧还原出来,使得钢中含氧量不超过 0.01%。钢锭模上大下小,浇注后钢液从底部向上、向中心顺序地凝固。钢锭上部形成集中缩孔,内部紧密坚实。镇静钢性能较好,因此有重要用途的优质碳钢和合金钢大多是镇静钢。压力容器用钢应当是氧气转炉或电炉冶炼的镇静钢。

沸腾钢在冶炼时只用弱脱氧剂 Mn 脱氧,是脱氧不完全的钢。其锭模上小下大,浇注后钢液在锭模中发生自脱氧反应,放出大量 CO 气体,造成沸腾现象。沸腾钢锭中没有缩孔,凝固收缩后气体分散为很多形状不同的气泡,布满全锭之中,因而内部结构疏松。沸腾钢成材率高,成本低。

半镇静钢介于镇静钢和沸腾钢之间。浇注前在盛钢桶内或钢锭模内加入脱氧剂。锭模也是上小下大,钢锭内部结构下半部像沸腾钢,上半部像镇静钢。

(2)按化学成分分为碳素钢和合金钢

碳素钢按含碳量分为低碳钢(含碳量 $\leq 0.25\%$)、中碳钢(含碳量 $0.25\% \sim 0.6\%$)、高碳钢(含碳量 $> 0.6\%$);合金钢按合金元素总含量分为低合金钢(合金元素总含量 $\leq 5\%$)、中合金钢(合金元素总含量 $5\% \sim 10\%$)、高合金钢(合金元素总含量 $> 10\%$)。

(3)按质量分为普通钢、优质钢、高级优质钢

2. 钢材牌号

(1)普通碳素结构钢

这类钢的硫、磷含量以及金属夹杂物较多(含硫量 $\leq 0.050\%$,含磷量 $\leq 0.045\%$),但是由于容易冶炼、工艺性好、价格便宜,在力学性能上一般能够满足普通要求,因此用量很大。适用于一般工程用热轧钢板、钢带、型钢、棒钢等。可供焊接、铆接、栓接构件使用。在化工容器与设备中应用最多的是 Q235-B 和 Q235-C。

这类钢的牌号由代表钢材屈服点的字母、屈服点的数值、质量等级符号、脱氧方法符号等四部分组成。以 Q235-B·F 为例:

Q——钢材屈服点“屈”字汉语拼音首字母;

235——钢材试件厚度(直径) ≤ 16 mm 时屈服点的数值,单位为 MPa;

A、B、C、D——钢材质量等级;

F、b、Z——F 为脱氧方法中沸腾钢“沸”字汉语拼音首字母;b 为半镇静钢“半”字汉语拼音首字母;Z 为镇静钢“镇”字汉语拼音首字母。

为了适应各种专门用途,在碳素结构钢的基础上,对成分和性能稍加调整,发展为某些专用钢。如锅炉用钢,用“g”表示;容器用钢,用“R”表示;船舶用钢,用“C”表示。随着冶炼技术的提高,已将锅炉用钢和容器用钢加以整合,统一为锅炉压力容器用钢。

(2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢供货时,既保证化学成分、又保证力学性能,而且比普通碳素结构钢规定严格。其硫、磷的含量较低(均不高于 0.04%),非金属夹杂物也较少,质量级别较高,一般是在热处理后使用。

这类钢的牌号用两位数字表示,两位数字表示钢中平均含碳量的万分之几。如 20 号钢,表示平均含碳量为 0.2%。这类钢按含锰量不同,分为普通含锰量(0.35%~0.8%)和较高含锰量(0.7%~1.2%)。含锰量较高的一组,在牌号后加“Mn”字,如 20Mn,表示平均含碳量 0.2%、含锰量为 0.7%~1.2%的优质碳素钢。普通含锰量的钢号有 08、10、15、20 等,较高含锰量的钢号有 30Mn、40Mn 等。化工设备中常用的优质碳素钢有 10、15、20 等。

这类钢随牌号的数字增加,含碳量增加,组织中的珠光体含量增加,铁素体含量减少,因此钢的强度也随着增加,而塑性指标越来越小。

(3) 高级优质碳素钢

这类钢的特点是硫、磷含量比优质碳素钢的更少,均不高于 0.03%。其表示方法是在优质碳素钢钢号后面加“A”字,如 20A。

(4) 低合金高强度结构钢

这类钢是在碳素结构钢的基础上,加入少量的合金元素发展起来的。低合金是指合金元素的含量小于 3%,高强度是指相对于碳素结构钢,其强度较高。例如 Q390 就相当于在 Q235 钢中多加入 0.6%的 Mn 和 0.015%Nb,可使屈服强度 σ_s 提高 50%以上。低合金高强度钢一般要求塑性好、焊接性好,大多是低碳钢。主要添加的元素是 Mn,原因如下:

- ①Mn 资源丰富;
- ②Mn 强化铁素体的效果显著;
- ③Mn 能降低钢的冷脆温度;
- ④Mn 能使组织中的珠光体含量增加,从而提高强度。

除 Mn 外,加入 V、Ti、Nb、RE 等微量元素可细化晶粒,提高钢的韧性。

GB/T 1591—94 中规定:这类钢的牌号由代表屈服点的汉语拼音首字母 Q、屈服点数值(单位:MPa)、质量等级代号(A、B、C、D、E,试样尺寸 ≤ 16 mm)三个部分按顺序排列。例如 Q345B 代表屈服强度 $\sigma_s = 345$ MPa、质量等

级为 B 的低合金高强度钢。

本指导书配套教材中低合金钢钢号采用的是 GB 1591—88 标准中规定的钢材牌号。这类钢的牌号依次为:平均含碳量的万分之几、主要合金元素、主要合金元素含量、其他合金元素。当主要合金元素含量小于 1.5% 时可不标含量,当含量为 1.50%~2.49% 时标 2,当主要合金元素含量为 2.50%~3.49% 时标 3,依次类推。如 15MnVR 代表含碳量为 0.15%,主要合金元素为 Mn,含量小于 1.5%,并加入合金元素 V 的低合金高强度容器用钢。

GB/T 1591—94 标准的牌号与 GB 1591—88 标准中的对应牌号对照见表 1-3。

表 1-3 新旧低合金结构钢标准牌号对比

GB/T 1591—94	GB 1591—88
Q295	09MnV, 09MnNb, 09Mn2, 12Mn
Q345	12MnV, 14MnNb, 16Mn, 16MnRE, 18Nb
Q390	15MnV, 15MnTi, 16MnNb
Q420	15MnVN, 14MnVTiRE
Q460	

(5) 合金结构钢

合金结构钢又可分为渗碳钢、调质钢、弹簧钢、轴承钢、耐磨钢等。

对某些有冲击和磨损工况的零部件,一般要求表面硬、耐磨,而零部件心部则要求有较高的韧性和强度以承受冲击,因此需要用渗碳钢。首先选择低碳钢,以保持较高的韧性,然后经过渗碳,使表面达到极高的硬度,满足耐磨要求。这类钢常使用的合金元素为铬、锰、镍、钼、钨、钛等。

例如,为了改善 20 号钢的淬透性和强化铁素体,加入约 1% 的 Cr 就得到 20Cr 钢。由 20Cr 钢进一步强化可形成 20CrNi、18Cr2Ni4WA 等,这是品质较高、价格较贵的渗碳钢,其中,18Cr2Ni4WA 有“王牌钢”之称,只在承受大载荷的重要零件上才选用。

调质钢是将优质碳素钢和合金结构钢调质处理,即淬火+高温回火后使用。

这类钢的牌号由表示平均含碳量万分之几的数字、主要合金元素、主要合金元素含量、其他合金元素组成。当主要合金元素的含量小于 1.5% 时可不标含量,含量为 1.50%~2.49% 时标 2,含量为 2.50%~3.49% 时标 3,依此类推,标含量时,一般以百分数表示。其他合金元素一般含量较少,但因此

有意加入,故应标出元素符号。对高级优质钢于钢号末加注“A”字。如 30CrMnSiA 表示平均含碳量为 0.3%,主要合金元素 Cr 含量小于 1.5%,其他合金有 Mn、Si 的高级优质合金钢。

(6) 特殊性能钢

特殊性能钢是指具有特殊的物理性质、化学性质的钢,常见的是不锈钢和耐热钢。

这类钢的含碳量很低,通常前面的数字表示含碳量的千分之几。“0”表示平均含碳量小于 0.08%，“00”表示平均含碳量小于 0.03%，“000”表示平均含碳量小于 0.01%。其后依次标注主要合金元素及其含量,含量以百分数表示。如 00Cr19Ni10 表示平均含碳量小于 0.03%,合金元素 Cr 含量为 19%,Ni 含量为 10%的不锈钢。常见特殊性能钢有 0Cr13、1Cr13、1Cr18Ni9、0Cr18Ni9Ti、00Cr19Ni10 等。

三、碳钢与铸铁

1. 铁碳合金组元和基本相

(1) 纯铁的同素异构体转变

同一种元素在不同条件下具有不同的晶体结构。当温度等外界条件变化时,晶格类型会发生转变,称为同素异构体转变,如图 1-3 所示,为纯铁的同素异构体转变。

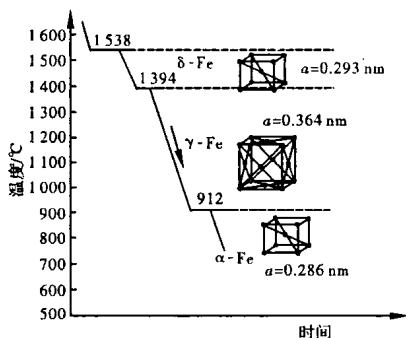


图 1-3 纯铁的同素异构转变

纯铁的晶体结构一般有两种:面心立方晶格和体心立方晶格。面心立方晶格的纯铁称为 $\alpha\text{-Fe}$,体心立方晶格的纯铁称为 $\gamma\text{-Fe}$ 。 $\alpha\text{-Fe}$ 的塑性比 $\gamma\text{-Fe}$ 好,但 $\gamma\text{-Fe}$ 的强度比 $\alpha\text{-Fe}$ 高。 $\alpha\text{-Fe}$ 经加热可转变为 $\gamma\text{-Fe}$,反之,高温下的 γ -

Fe 冷却可转变为 α -Fe。这种在固态下晶体结构随温度变化的现象,即为同素异构转变。同素异构转变过程实质上就是原子重新排列的过程。

(2) 铁碳合金的基本相及其性能

① 液相(L)

铁碳合金在融化温度以上形成的均匀液体称为液相,用 L 表示。

② 铁素体(F)

碳溶解在 α -Fe 中所形成的固溶体叫做铁素体,以 F 表示。由于 α -Fe 的原子间隙很小,所以溶碳能力极低,在室温下仅能溶解 0.006% 的碳。所以铁素体的强度和硬度低,但塑性和韧性很好。因此铁素体钢具有软而韧的性能。

③ 奥氏体(A)

碳溶解在 γ -Fe 中形成的固溶体叫做奥氏体,以 A 表示。由于 γ -Fe 原子间隙较大,所以碳在 γ -Fe 中的溶解度大于在 α -Fe 中的溶解度。如在 727 °C 时可溶解 0.77%,在 1 148 °C 时可达最大值 2.11%。碳钢只有加热到 727 °C (称为临界点) 以上,组织发生转变时才存在奥氏体。奥氏体强度、硬度高,韧性较好,但塑性较低。奥氏体没有磁性。

④ 渗碳体(C)

铁和碳以化合物形态出现的碳化铁,称为渗碳体,以 C 表示。渗碳体是具有复杂晶格的间隙化合物,每个晶胞中有一个碳原子和三个铁原子,即 Fe_3C ,所以含碳量为 6.69%。

渗碳体熔点高,约为 1 600 °C,硬度很高并且脆,但是塑性几乎为零。因此纯粹的 Fe_3C 在工业上用处不大。但渗碳体在钢和铸铁中,一般呈片状、网状或球状存在。它的形状和分布对钢的性能影响很大,是铁碳合金重要的强化相。

渗碳体是一个亚稳定化学物,在一定条件下,能分解成石墨状的游离碳。当铁碳合金中碳的含量小于 2% 时,其组织为铁素体分布着渗碳体,此即碳素钢;当碳的含量大于 2% 时,渗碳体分解的部分游离石墨存在于合金中,此即为铸铁。石墨质软,强度低,相当于在铸铁中挖了很多孔洞,因此铸铁的抗拉强度和塑性均比钢低。

⑤ 珠光体(P)

珠光体是铁素体和渗碳体组成的机械混合物,以 P 表示。碳素钢中珠光体组织的平均含碳量约为 0.77%。它的力学性能介于铁素体和渗碳体之间,即其强度、硬度比铁素体显著增高,但韧性要比铁素体差。