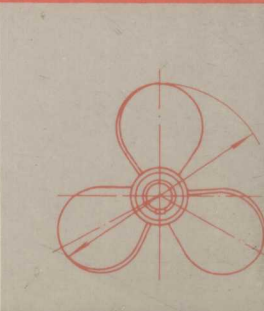
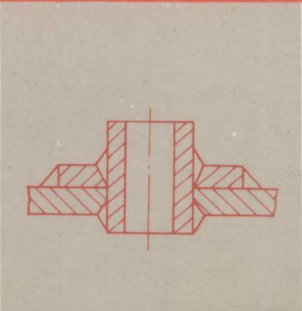
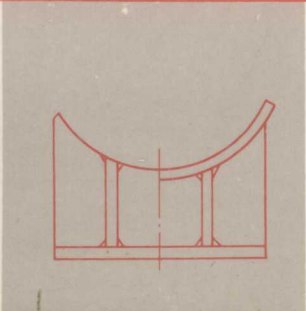
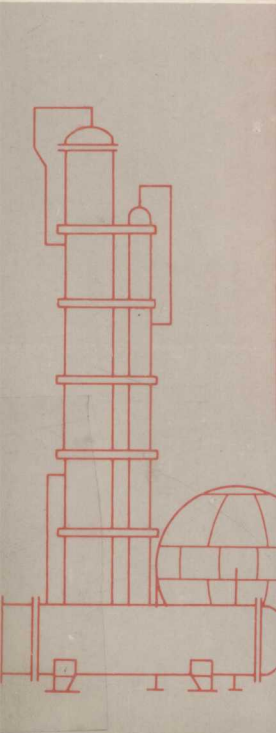
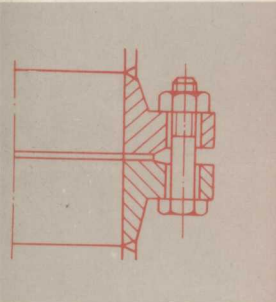
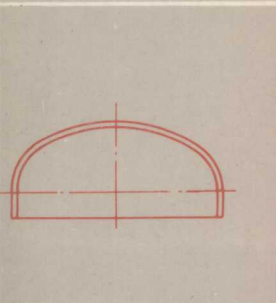
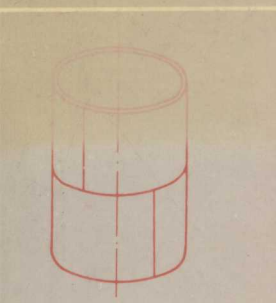
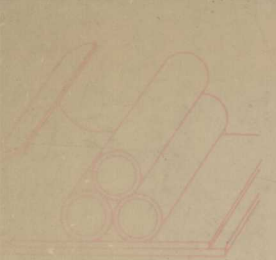


第二版

化工设备机械基础

刁玉玮 王立业 编

大连理工大学出版社



化工设备机械基础

(第二版)

刁玉玮 王立业 编

大连理工大学出版社

1993年

(辽)新登字 16 号

内 容 提 要

本书简要介绍了材料的各种性能,分析了影响材料性能的因素,并在此基础上对化工设备常用的材料作了较详细的介绍,可以根据工艺条件选用化工设备材料;以薄壁容器的应力分析为基础,讲述了薄壁容器器身与各种封头的强度设计,以及容器零部件的设计计算和标准选用,可使读者掌握中低压化工容器的强度设计方法;通过典型化工设备的机械设计的学习,可以掌握列管式换热器、塔设备和搅拌设备的结构设计方法与机械设计方法。

本书适于高等学校化工工艺类专业师生和有关工程技术人员使用。

化 工 设 备 机 械 基 础

Huagong Shebei Jixie Jichu

刁玉玮 王立业 编

大连理工大学出版社出版发行 (邮政编码: 116024)

大连海运学院印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 21 字数: 506 千字

1989 年 8 月第 1 版 1992 年 12 月第 2 版第 3 次印刷

1993 年 11 月第 2 版第 4 次印刷

印数: 16001—25000 册

责任编辑: 王君仁 王佳玉 封面设计: 姜严军

责任校对: 平 珊

ISBN 7-5611-0715-3/TQ·21 定价: 11.00 元

前 言

本书作为高等学校化工工艺类专业学生学习化工容器与设备机械设计基础知识的教材。

本教材在基本理论和基本概念方面较以往同类教材有所加强，同时注重了规范设计与实用方面的要求，采用最新标准。考虑到少学时和多种专业的需要这一特点，有些内容叙述较为详尽，适于自学。本书各章配有适量的例题和内容丰富的复习思考题与习题，并将计算与设计所需的必要数据、标准纳入附录。本书可供有关工程技术人员参考。

本书采用国际单位制。但考虑到读者由工程单位制向国际单位制过渡的过程，在某些地方仍同时附有工程单位制的数据。

本书第一章至第六章及附录由刁玉玮副教授编写，李荣华绘图；第七章至第九章由王立业副教授编写，李铭绘图。全书由刁玉玮副教授统稿并审核。

由于编者水平有限，加之时间仓促，难免有不妥之处，诚请广大读者批评指正。

编者 1987年10月

第二版说明

本教材 1989 年 8 月出版, 已两次印刷, 应大连理工大学出版社之邀进行再版印刷。这次再版根据国标 GB150—89《钢制压力容器》对第四~第六章作了较大的改动, 其它章节也作了适当修改, 同时考虑到化工工艺类专业的实际需要, 删掉了原版第五章压力容器的应力分类及各类应力的限制; 增加了第九章搅拌器的机械设计, 即反应设备的机械设计, 原版第六~九章依次改为第五~八章。

由本局向有关单位征集。编者 1992年6月

目 录

第一篇 化工设备材料

第一章 化工设备材料及其选择	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 材料的性能	(1)
一、机械性能	(2)
二、物理性能	(7)
三、化学性能	(7)
四、工艺性能	(8)
五、其它性能	(8)
第三节 金属材料的分类及牌号	(9)
一、分类	(9)
二、钢铁牌号及表示方法	(11)
三、有色金属及合金牌号和表示方法	(12)
第四节 碳钢与铸铁	(13)
一、铁碳合金的组织结构	(14)
二、铁碳合金状态图	(16)
三、碳钢	(18)
四、钢的热处理	(20)
五、铸铁	(22)
第五节 普通低合金钢及化工设备用的特种钢	(23)
一、合金元素对钢的影响	(23)
二、普通低合金钢	(24)
三、锅炉钢	(24)
四、容器钢	(24)
五、不锈钢耐酸钢	(25)
六、耐热钢	(27)
七、低温用钢	(28)
八、钢材的品种和规格	(29)
第六节 有色金属材料	(29)

一、铝及其合金	(29)
二、铜及其合金	(30)
三、铅及其合金	(31)
四、钛及其合金	(31)
第七节 非金属材料	(32)
一、无机非金属材料	(32)
二、有机非金属材料	(32)
第八节 化工设备的腐蚀及防腐措施	(34)
一、金属的腐蚀	(34)
二、金属腐蚀破坏的形式	(39)
三、金属设备的防腐措施	(40)
第九节 化工设备材料的选择	(41)
一、选用材料的一般原则	(41)
二、其它方面的选材原则	(42)
习 题	(44)
参考文献	(48)

第二篇 化工容器设计

第二章 概论	(49)
一、容器的结构与分类	(49)
二、容器机械设计的基本要求	(51)
三、容器零部件的标准化	(52)
习 题	(54)
第三章 内压薄壁容器的应力分析	(56)
第一节 内压薄壁圆筒的应力分析	(56)
一、薄壁容器及其应力特点	(56)
二、内压圆筒的应力计算公式	(57)
第二节 回转壳体的应力分析——薄膜应力理论	(59)
一、基本概念与基本假设	(59)

二、经向应力计算公式——区域平衡方程式..... (60)	三、碟形封头 (101)
三、环向应力计算公式——微体平衡方程式..... (61)	四、无折边球形封头 (102)
四、轴对称回转壳体薄膜理论的应用范围..... (63)	五、锥形封头 (103)
第三节 薄膜理论的应用..... (64)	六、平板封头 (109)
一、受气体内压的圆筒形壳体..... (64)	七、例题 (112)
二、受气体内压的球形壳体..... (65)	八、封头的选择 (116)
三、受气体内压的椭球壳(椭圆形封头)..... (65)	习 题 (117)
四、受气体内压的锥形壳体..... (68)	第五章 外压圆筒与封头的设计 (120)
五、受气体内压的碟形封头..... (69)	第一节 概述 (121)
六、承受液体静压作用的圆筒壳..... (72)	一、外压容器的失稳 (121)
七、例题..... (73)	二、容器失稳型式的分类 (121)
第四节 内压圆筒边缘应力的概念..... (76)	第二节 临界压力 (122)
一、边缘应力的概念..... (76)	一、临界压力 (122)
二、边缘应力的特点..... (76)	二、影响临界压力的因素 (122)
三、对边缘应力的处理..... (78)	三、长圆筒、短圆筒和刚性圆筒..... (123)
习 题..... (79)	四、临界压力的理论计算公式 (124)
第四章 内压薄壁圆筒与封头的强度设计..... (84)	五、临界长度 (125)
第一节 强度设计的基本知识..... (84)	第三节 外压圆筒的工程设计 (125)
一、关于弹性失效的设计准则..... (84)	一、设计准则 (126)
二、强度理论及其相应的强度条件..... (84)	二、外压圆筒壁厚设计的图算法..... (126)
第二节 内压薄壁圆筒的强度设计..... (86)	三、外压圆筒壁厚表 (133)
一、强度计算公式..... (86)	四、外压容器的试压 (133)
二、设计参数的确定..... (87)	五、例题 (134)
三、容器的最小壁厚..... (94)	第四节 外压球壳与凸形封头的设计..... (136)
四、压力试验及其强度校验..... (94)	一、外压球壳和球形封头的设计..... (136)
五、例题..... (96)	二、凸面受压封头的设计 (136)
第三节 内压圆筒封头的设计..... (99)	三、例题 (137)
一、半球形封头..... (99)	第五节 加强圈的设计 (138)
二、椭圆形封头..... (99)	一、加强圈的作用与结构 (138)
	二、加强圈的间距 (138)
	三、加强圈尺寸设计 (139)
	四、加强圈与筒体间的连接 (139)
	五、例题 (140)
	习 题 (142)

第六章 容器零部件	(145)	零部件	(191)
第一节 法兰联接	(145)	二、列管式换热器的分类	(192)
一、法兰联接结构与密封原理 ..	(145)	三、列管式换热器机械设计内容 ..	(193)
二、法兰的结构与分类	(146)	第二节 管子的选用及其与管板的 ..	(193)
三、影响法兰密封的因素	(147)	连接	(193)
四、法兰标准及选用	(152)	一、管子的选用	(193)
五、例题	(156)	二、管子与管板的联接	(194)
第二节 容器支座	(157)	第三节 管板结构	(197)
一、卧式容器支座	(157)	一、换热管排列形式	(197)
二、立式容器支座	(164)	二、管间距	(198)
第三节 容器的开孔补强	(165)	三、管板受力及其设计方法简介 ..	(198)
一、开孔应力集中现象及其原因 ..	(166)	四、管程的分程及管板与隔板的连 ..	(199)
二、开孔补强设计的原则与补强 ..	(168)	五、管板与壳体的连接结构	(201)
三、等面积补强的设计方法	(172)	第四节 折流板、支承板、旁路挡板 ..	(202)
四、整体补强	(175)	一、折流板及支承板	(202)
五、例题	(176)	二、旁路挡板	(205)
第四节 容器附件	(177)	三、拦液板	(205)
一、接口管	(177)	第五节 温差应力	(205)
二、凸缘	(177)	一、管壁与壳壁温度差引起的温 ..	(206)
三、手孔与人孔	(178)	二、管子拉脱力的计算	(207)
四、视镜	(178)	三、温差应力的补偿	(209)
第五节 容器设计举例	(179)	四、膨胀节的结构及设置	(211)
一、罐体壁厚设计	(179)	第六节 管箱与壳程接管	(213)
二、封头壁厚设计	(179)	一、管箱	(213)
三、鞍座	(180)	二、壳程接管	(213)
四、人孔	(181)	第七节 列管式换热器的机械设计 ..	(215)
五、人孔补强	(182)	一、管箱	(215)
六、接口管	(182)	二、壳程接管	(213)
七、设备总装配图	(183)	习 题	(222)
习 题	(186)		
参考文献	(190)		

第三篇 典型化工设备的机械设计

第七章 列管式换热器的机械设计 ..	(191)
第一节 概述	(191)
一、列管式换热器的结构及主要	

第八章 塔设备的机械设计	(226)
第一节 塔体、裙座的机械设计 ..	(226)
一、塔体壁厚的计算	(227)
二、裙座设计	(234)
第二节 塔体与裙座的机械设计举	

第一篇 化工设备材料

第一章 化工设备材料及其选择

第一节 概 述

化学工业是多品种的基础工业，为了适应化工生产的多种需要，化工设备的种类很多，设备的操作条件也比较复杂。按操作压力来说，有真空、常压、低压、中压以至高压和超高压；按操作温度来说，有低温、常温、中温和高温；处理的介质大多数又有腐蚀性，或为易燃、易爆、剧毒等。有时对于某种具体设备来说，既有温度、压力要求，又有耐腐蚀要求，而且这些要求有时还是互相矛盾的，有时某些条件又经常变化。

这种多样性的操作特点，给化工设备选用材料造成了复杂性，因此合理选用化工设备材料是设计化工设备的重要环节，在选择材料时，必须根据材料的各种性能及其应用范围综合考虑具体的操作条件，抓住主要矛盾，遵循适用、安全和经济的原则。

选用材料的一般要求是：

- (1) 材料品种应符合我国资源和供应情况；
- (2) 材质可靠，能保证使用寿命；
- (3) 要有足够的强度，一定的塑性和韧性，对腐蚀性介质能耐腐蚀；
- (4) 便于制造加工，焊接性能良好；
- (5) 经济上合算。

例如，对于压力容器用钢材来说，对中、低压和高压容器，经常处于有腐蚀性介质的条件下工作，除了承受较高的介质内压力（或外压）以外有时还会受到冲击和疲劳载荷的作用；在制造过程中，还要经过各种冷、热加工（如下料、卷板、焊接、热处理等）使之成型；因此，对压力容器用钢板有较高的要求：除随介质的不同要有耐腐蚀的要求以外，应有较高的强度，良好的塑性、韧性和冷弯性能，缺口敏感性要低，加工和焊接性能良好。对普通低合金钢板材要注意是否有分层、夹渣、白点和裂纹等缺陷，对后者是不允许的。对中、高温容器，由于钢材在中、高温的长期作用下，金相组织和机械性能等将发生明显的变化，又由于化工用的中、高温设备往往都要承受一定的介质压力，因此，选择中、高温设备用钢时，还必须考虑到材料的组织稳定性和中、高温的机械性能。对于低温设备用钢，还要着重考虑设备在低温下的脆性断裂问题。

第二节 材料的性能

材料的性能包括机械性能、物理性能、化学性能和工艺性能等。

一、机械性能

构件在使用过程中受力(载荷)超过某一限度时,就会发生变形,甚至断裂失效。我们把材料抵抗外力而不产生超过允许的变形或不被破坏的能力,叫做材料的机械性能。通常用材料在外力作用下表现出来的弹性、塑性、强度、硬度和韧性等特征指标来衡量材料的机械性能。

金属材料在外力作用下所引起的变形和破坏过程,大致可分为三个阶段:(一)弹性变形阶段;(二)弹-塑性变形阶段;(三)断裂。一般的断裂有两种形式:断裂之前没有明显塑性变形阶段的,称为脆性断裂;经过大量塑性变形之后才发生断裂的,称为韧性断裂。

1. 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。常用的强度指标有屈服极限和强度极限等。

(1) 屈服极限 (σ_s)

金属材料承受载荷作用,当载荷不再增加或缓慢增加时,仍继续发生明显的塑性变形,这种现象,习惯上称为“屈服”。发生屈服现象时的应力,即开始出现塑性变形时的应力,称为“屈服点”,用 σ_s (MPa) 表示。它即代表材料抵抗产生塑性变形的能力。

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (1-1)$$

式中 P_s 是负荷不增加,甚至有所降低时,试件还继续伸长的最小负荷 (N)。

除退火的或热轧的低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外,大多数金属合金没有明显的屈服点。因此,规定发生 0.2% 残余伸长时的应力,作为“条件屈服极限”,以 $\sigma_{0.2}$ (MPa) 表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{P_{0.2}}{F_0} \quad (1-2)$$

式中 $P_{0.2}$ 为产生 0.2% 残余伸长的负荷 (N)。

工程技术上,绝大部分构件和零件,都是在弹性状态下工作,不允许发生塑性变形,常因过量的塑性变形而失效。因此,常以开始塑性变形的强度作为的主要依据。实际上因不同零件允许塑性变形的程度有不同要求,通常分别选用比例极限、弹性极限或屈服极限作为设计的依据。

因为比例极限、弹性极限和屈服极限都可以代表材料的开始塑性变形的抗力,从实用意义上来看,它们之间没有原则差别,都是材料的微量塑性变形的抗力,只是规定的残余变形量不同。若要区别,弹性极限可以叫做开始塑性变形抗力的强度指标;屈服限可以叫做明显塑性变形抗力的强度指标。由于大部分构件和零件,在工作条件下允许产生塑性变形量并不十分严格,而且设计时还要加安全系数,所以最常用的是材料的屈服极限。屈服极限是金属材料最重要的机械性能指标之一,它是设计和选材的主要依据。

(2) 强度极限 (σ_b)

金属材料在受力过程中,从开始加载到发生断裂所能达到的最大应力值,叫做强度极限。由于外力形式的不同,有抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。抗拉强度是压力容器设计常用的性能指标,它是试件拉断前最大负荷下的应力,以 σ_b (MPa) 表示。

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (1-3)$$

式中 P_b 为拉断前试件所承受的最大负荷 (N)。

抗弯强度是铸铁等低塑性和脆性材料的强度指标之一，以 σ_{bb} (MPa) 表示。

$$\sigma_{bb} = \frac{M}{W} \quad (1-4)$$

式中 M —— 弯矩, N·m;

W —— 标准试件的抗弯断面模数, m^3 。

工程上所用金属材料，不仅希望具有高的 σ_s 值，而且还希望具有一定的屈强比 (σ_s/σ_b)。屈强比愈小，就具有较大的塑性储备，愈不容易发生危险的脆性破坏，但是，屈强比太低，材料的强度水平就不能充分发挥。反之，屈强比愈大，材料的强度水平能得到充分发挥，但塑性储备较小。实际上，一般还是希望屈强比高一些。

(3) 蠕变极限 (σ_n)

高温下材料的屈服极限、强度极限、塑性及弹性模数等性能均发生显著的变化。通常是，随着温度的升高，金属的强度降低，塑性提高。除此而外，金属材料在高温下还有一个重要特性，即“蠕变”。所谓蠕变，是指在高温时，在一定的应力下，应变随时间而增加的现象，或者金属在高温和应力作用下逐渐产生塑性变形的现象。

对某些金属如铅、锡等，在室温下也有蠕变现象。钢铁和许多有色金属，只有当温度超过一定值以后才会出现蠕变。例如，碳素钢在温度超过 420℃ 时，合金钢在温度超过 450℃ 时，轻合金在温度超过 50~150℃ 时，才发生蠕变。

在生产实际中，由于金属材料的蠕变而造成的破坏事例并不少见，例如：高温高压的蒸汽管道，由于存在蠕变，它的管径随时间的延长不断增大，壁厚减薄，最后可能导致破裂。

材料在高温条件下，抵抗发生缓慢塑性变形的能力，用蠕变极限 σ_n (MPa) 表示。常用的蠕变极限有两种。一种是在工作温度下，引起规定变形速度 (如 $V=1 \times 10^{-5}$ /小时或 $V=1 \times 10^{-4}$ /小时) 的应力值；另一种是在一定工作温度下，在规定的使用时间内，使试件发生一定量的总变形的应力值。如在某一温度下，在一万或十万小时内产生的总变形量为 1% 时的最大应力。

材料的蠕变极限与温度、蠕变速度有关。表 1-1 给出了不锈钢酸钢 (1Cr 18Ni 9Ti) 在各种温度及不同蠕变速度下的蠕变极限值。

表 1-1 1Cr 18Ni 9Ti 的蠕变极限 MPa(kgf/cm²)

蠕变速度 (mm/mm·n)	温 度 (°C)			
	425	475	520	560
10^{-6}	172(1760)	89.2(910)	32.3(330)	5.9(60)
10^{-7}	—	86.2(880)	18.6(190)	—

(4) 持久极限 (σ_D)

在给定温度下，促使试样或工件经过一定时间发生断裂的应力叫做持久极限，以 σ_D (MPa) 表示。在化工容器用钢中，设备的设计寿命一般为十万小时，以 σ_{10^5} (σ_D) 表示试件经

十万小时断裂的应力。

持久强度是一定温度和一定应力下材料抵抗断裂的能力。在相同的条件下，能支持的时间越久，则该材料抵抗断裂的能力越大。

(5) 疲劳极限

很多构件与零件，经常受到大小及方向变化的交变载荷，这种交变载荷，使金属材料在应力远低于屈服极限即发生断裂，这种现象称为“疲劳”。金属在无数次交变载荷作用下，而不致引起断裂的最大应力，称为“疲劳极限”。

实际上不可能进行无数次的试验，而把经 $10^6 \sim 10^8$ 次循环试验作为疲劳强度。如钢在纯弯曲交变载荷下循环 5×10^6 次时，所测得不发生断裂的最大应力，即算作它的弯曲疲劳强度，用 σ_{-1} (MPa) 表示。一般钢铁的弯曲疲劳强度值，只是抗拉强度的一半，甚至还低一些。

金属的疲劳强度与很多因素有关，如合金成分、表面状态、组织结构、夹杂物的多少与分布状况以及应力集中情况等。

2. 塑性

金属的塑性，是指金属在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。常用的塑性指标是延伸率和断面收缩率。

(1) 延伸率 (δ)

试件受拉力拉断后，总伸长的长度与原始长度之比的百分率，称为延伸率，以 δ (%) 表示。

$$\delta = \frac{\Delta l_K}{l_0} \times 100\% = \frac{l_K - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

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。

$$\Delta l_K = \Delta l_B + \Delta l_u$$

其中 Δl_B 为均匀伸长， Δl_u 为缩颈处的集中伸长变形。

由于试件的总伸长为均匀伸长与产生局部缩颈后伸长之和，故 δ 值的大小与试件尺寸有关。为了便于比较，试件必须标准化。常用的试件计算长度规定为其直径的 5 倍或 10 倍，其延伸率分别用 δ_5 或 δ_{10} 表示。

(2) 断面收缩率 (ψ)

试件受拉力拉断后，断面缩小的面积同原始截面面积比值的百分率，叫做断面收缩率，以 ψ (%) 表示。

$$\psi = \frac{F_0 - F_K}{F_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中 F_K —— 断裂后试件的最小截面积，mm²；

F_0 —— 试件的原始截面积，mm²。

断面收缩率 ψ 与试件尺寸无关，它能更可靠、更灵敏地反映材料塑性的变化。

延伸率和断面收缩率，都是用来度量金属材料塑性大小的，延伸率和断面收缩率愈大，表示金属材料的塑性愈好。如纯铁的延伸率几乎为 50%，而普通铸铁的延伸率还不到 1%，因

此，纯铁的塑性远比铸铁好得多。

上述塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。首先，良好的塑性可顺利地进行某些成型工艺，如弯卷、锻压、冷冲、焊接等。其次，良好的塑性使零件在使用中能由于塑性变形而避免突然断裂，故在静载荷下使用的容器和零件，都需要具有一定的塑性。当然，塑性过高，材料的强度必然低下，这是不利的。

3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗其它更硬物体压入表面的能力。硬度不是一个单纯的物理量，而是反映材料弹性、强度与塑性等的综合性能指标。

常用的硬度测量方法都是用一定的载荷（压力）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，压痕面积愈大或愈深，硬度就愈低。根据压头和压力的不同，常用的硬度指标可分为布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HR）、维氏硬度（HV）等。

布氏硬度

布氏硬度是以直径为 D （10、5 或 2.5mm）的钢球，在压力 P （N）下压入金属表面而测得，如图 1-1 所示。

P 与 D 成一定比例，对于钢铁而言；

$$P = 294D^2$$

对应于 D 为 10、5、2.5mm， P 分别为 29400、7350、1837.5N（3000、750、187.5kgf）。

根据一定的压力、压出的压痕面积和直径，可以求出布氏硬度值 HB。

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{MPa} \quad (1-7)$$

式中 P —— 压力，N；

D —— 钢球直径，mm；

d —— 压痕直径，mm。

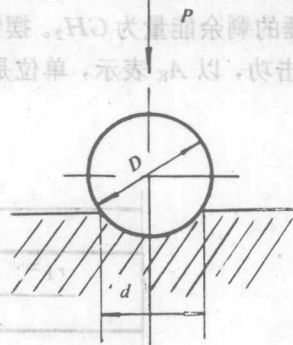


图 1-1 布氏硬度试验示意图

布氏硬度的特点是比较准确，因此用途很广，但不能测硬度更高的金属，如 HB44.1MPa（450kgf/mm²）以上和测太薄的试样，而且压痕较大，易损坏表面等。

硬度是材料的重要性能指标之一。一般说来，硬度高强度也高，耐磨性较好。大部分金属硬度和强度之间有一定的关系，因而可用硬度近似地估计抗拉强度值。根据经验，它们的关系为：

对于低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36HB$

对于高碳钢 $\sigma_b \approx 0.34HB$

对于灰铸铁 $\sigma_b \approx 0.1HB$

4. 冲击韧性 (α_k)

冲击韧性是衡量材料韧性的一个指标。目前工程技术上常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属受冲击载荷的能力。其实验方法和原理如图 1-2 和图 1-3 所示。

将欲测定的材料先加工成标准试样，如图 1-4 所示。然后放在试验机的机座上，又将具有

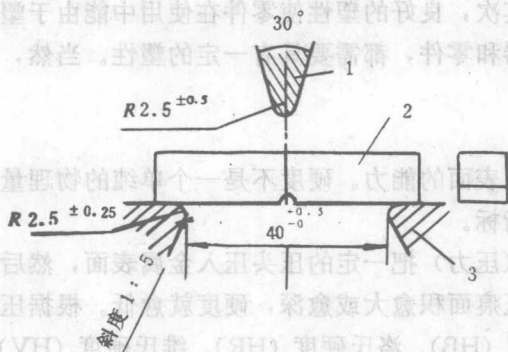


图 1-2 冲击试样的安放

1—摆锤；2—试样；3—机座。

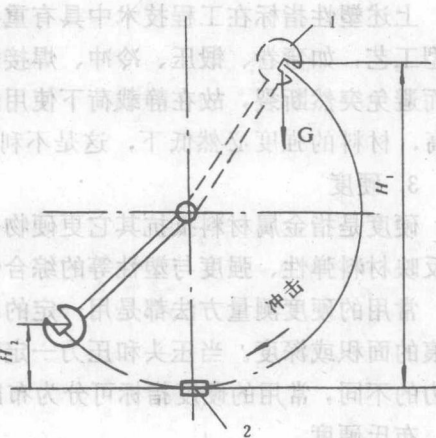


图 1-3 冲击试验原理

1—摆锤；2—试样

一定重量 G 的摆锤举至一定的高度 H_1 ，使其获得一定的位能 (GH_1)，再将其释放，冲断试样，摆锤的剩余能量为 GH_2 。摆锤冲断试样所失去的位能，即冲击负荷使试样破断所做的功，称为冲击功，以 A_K 表示，单位是 $N \cdot m$ ，则 $A_K = GH_1 - GH_2 = G(H_1 - H_2) N \cdot m$ 。用试样

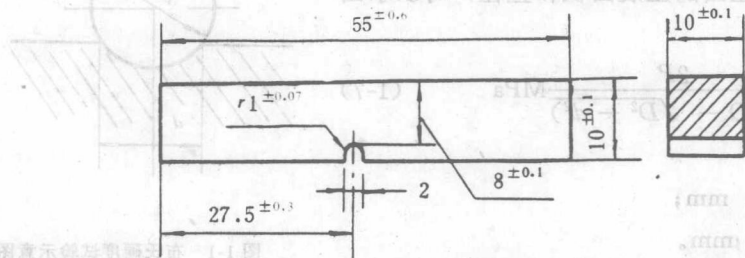


图 1-4 冲击试验的标准试样

缺口处截面积 F (cm^2) 去除 A_K ，即得到冲击韧性 a_K ：

$$a_K = \frac{A_K}{F} \quad N \cdot m/cm^2 (J/cm^2) \quad (1-8)$$

冲击试样在受到摆锤突然打击发生断裂时，它的断裂过程是一个裂纹发生和扩展的过程，在裂纹向前发展的道路中，如果塑性变形能发生在它的前面，就可以制止裂纹的长驱直入。它要继续发展，就需另找途径，这样，就能消耗更多的能量。因此，冲击值的高低，决定于材料有无迅速塑性变形的能力。

根据上述断裂机理，我们对韧性可以作这样的理解：韧性是材料在外加动载荷突然袭击时的一种及时和迅速塑性变形的能力。韧性高的材料，一般都有较高的塑性指标；但塑性较高的材料，却不一定都有高的韧性。其所以如此，就是因为静载荷下能够缓慢塑性变形的材料，在动载荷下不一定能迅速塑性变形。

5. 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。但它和材料的冲击韧性不同,是在静载荷下抵抗裂纹扩展的性能。而冲击韧性是指材料承受动载荷时抵抗裂纹扩展的能力。

一种常用缺敏感性试验方法是:从垂直钢材轧制面方向开出带有 60° 角的“V”形缺口,缺口深度为 2mm,在油压机上进行弯曲试验,弯曲时支点的跨距为 40mm,求得载荷 P —挠度 f 曲线,根据曲线的陡降程度判定缺口敏感性是否合格(参见参考文献 5)。

二、物理性能

金属材料的物理性能有相对密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性、磁性、弹性模数与泊桑比(有时也将其归入机械性能)等,其中:

1. 热膨胀性

金属及合金受热时,一般说来体积都要胀大(即几何尺寸要伸长),这一特性称为热膨胀性。通常应用的是线膨胀系数,以 α 表示。

$$\alpha = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} \quad (\text{mm}/^\circ\text{C} \cdot \text{mm}, \text{简作 } 1/^\circ\text{C}) \quad (1-9)$$

式中 l ——试件原始长度, mm

Δl ——试件伸长量, mm;

Δt ——温度差, $^\circ\text{C}$ 。

异种钢的焊接,要考虑到它们的线膨胀系数是否接近,否则会因膨胀量不等而使构件变形或损坏。有些设备的衬里及组合件,应注意材料的线膨胀系数要和基体材料相同或接近,以免受热后因膨胀量不同而松动或破坏。

2. 弹性模数

材料在弹性范围为,应力和应变成正比,这个比例系数称为弹性模数,以 E (MPa) 表示。金属的弹性模数主要取决于金属原子结构、结晶点阵和温度等因素,而合金化、热处理和冷热加工等因素对它的影响很小,因此它是金属材料最稳定的性能之一。 E 值随温度的升高而逐渐降低。

常用金属材料的物理性能、钢材弹性模数、钢材平均线膨胀系数见附录一表 1、表 2 和表 3。

三、化学性能

金属的化学性能是指材料在所处的介质中的化学稳定性,即材料是否会与介质发生化学和电化学作用而引起腐蚀。金属的化学性能主要是耐腐蚀性和抗氧化性。

1. 耐腐蚀性

金属和合金对周围介质,如大气、水汽、各种电解液侵蚀的抵抗能力叫做耐腐蚀性。常用金属材料在酸碱盐类介质中的耐腐蚀性见表 1-2。

2. 抗氧化性

在现代工业生产中的许多设备,如各种工业锅炉、热加工机械、汽轮机及各种高温化工设备等,它们在高温工作条件下,不仅有自由氧的氧化腐蚀过程,还有其他气体介质如水蒸汽、 CO_2 、 SO_2 等的氧化腐蚀作用。因此锅炉给水中的含氧量和其它介质中的硫及其它杂质的

含量对钢的氧化是有一定影响的。

表 1-2 几种材料在不同温度和浓度的酸、碱和盐类介质中的耐腐蚀性

材 料	硝 酸		硫 酸		盐 酸		氢氧化钠		硫酸铵		硫化氢		尿 素		氨	
	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃
灰铸铁	×	×	70~100 (80~100)	20 (70)	×	×	(任)	(480)	×	×			×	×		
高硅铁 Si-15	≥40 <40	≤沸 <70	50~100	<120	(<35)	(30)	(34)	(100)	耐	耐	潮湿	100	耐	耐	(25)	(沸)
碳 钢	×	×	70~100 (80~100)	20 (70)	×	×	≤35 ≥70 100	120 260 480	×	×	80	200	×	×		(70)
18-8 型 不锈钢	<50 (60~80) 95	沸 (沸) 40	80~100 (<10)	<40 (<40)	×	×	≤90	100	饱	250		100			溶液 与 气体	100
铝	(80~95) >95	(30) 60	×	×	×	×	×	×	10	20		100			气	300
铜	×	×	<60 (80~100)	20 (20)	(<27)	(55)	50	35	(10)	(40)	×	×			×	×
铅	×	×	<75 (96)	50 (20)	×	×	×	×	(浓)	(110)	干燥 爆 气	20			气	300
钛	各	沸	5	35	<10	<40	10	沸					耐	耐		

注：① 此表中列出的材料耐腐蚀的一般数据，“各”表示各种浓度，“沸”表示沸点，“饱”表示饱和浓度。

② 带有括弧“()”者表示尚耐腐蚀，腐蚀速度为 0.1~1 mm/年；不带括弧者表示耐腐蚀，腐蚀速度为 0.1 mm/年以下；有符号“×”者不耐腐蚀或不宜用。空白为无数据。

四、工艺性能

金属和合金的工艺性能是指铸造性、可锻性、可焊性、切削加工性、热处理性能和冷弯性能等。这些性能直接影响化工设备和零部件的制造工艺方法，也是选择材料时必须考虑的因素。

五、其它性能

1. 组织稳定性

钢经长期时效（在工作温度下长期保温或在应力状态下长期保温）后，其室温冲击值往往因组织不稳定（如渗碳体分解造成石墨化；珠光体内的片状渗碳体转变成尺寸较大球状渗碳体）而有所降低。某些珠光体耐热钢在 400~600℃ 长期保温发生脆化后，只是冲击值显著降低，而其它机械性能指标，包括塑性则无明显变化。出现这种脆性的原因，一般认为是由于溶质原子在固溶体晶粒间界上发生偏析，降低了晶粒间的结合强度。

奥氏体耐热钢和合金出现这种时效脆性的温度范围是 600~800℃。出现脆性后，与珠光体耐热钢不同，不只是引起冲击韧性降低，塑性指标也会发生显著变化，往往还会引起强度