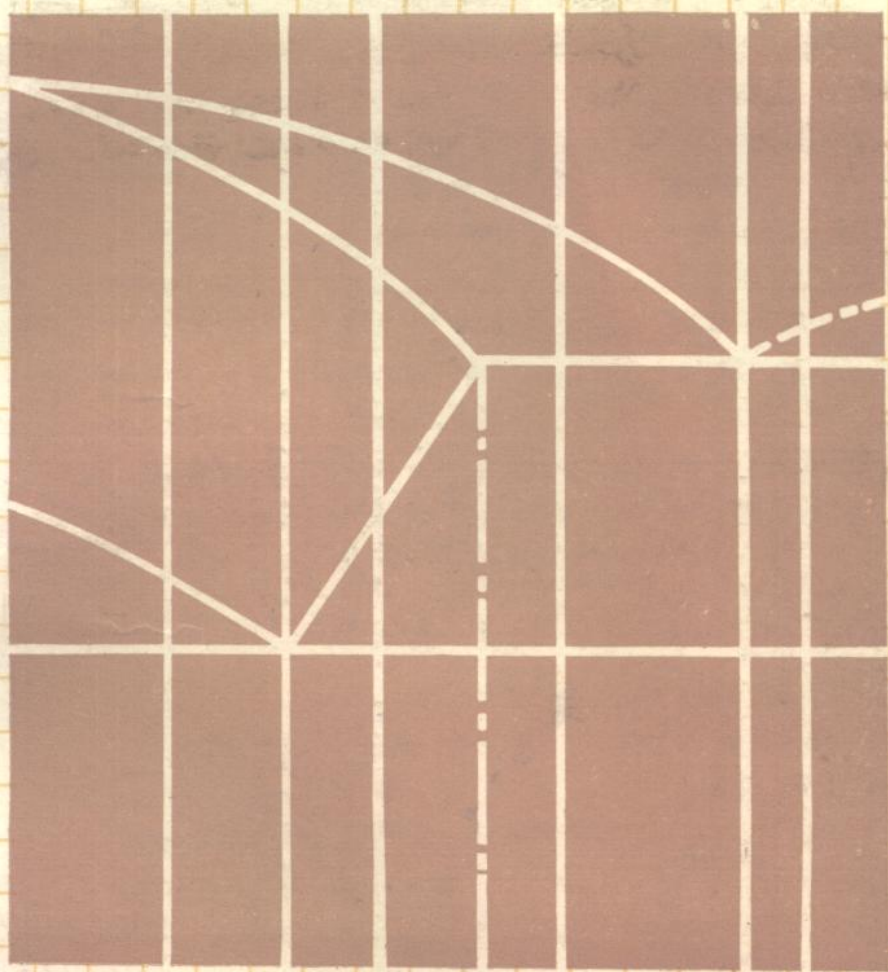




机械工程材料学

JI XIE GONG CHENG CAI LIAO XUE

孙鼎伦 陈全明 主编

同济大学出版社

7114
S92

高等学校教材

机械工程材料学

孙鼎伦 陈全明 主编

同济大学出版社

(沪)新登字204号

内 容 提 要

本书是根据国家教委高等工业学校工程材料及机械制造基础 I (工程材料)课程基本要求,在长期教学实践的基础上编写而成的,内容包括有金属材料的机械性能、金属的晶体结构与结晶、金属的塑性变形与再结晶、合金的结构与相图、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及合金、机械工程非金属材料、机械零件的选材以及实验指导书。内容丰富、实用。

本书可作为高等工业院校机械类专业用教材,也可供有关工程技术人员参考。

责任编辑 陆菊英

封面设计 陈益平

机械工程材料学

孙鼎伦、陈全明 主编

同济大学出版社出版

(上海四平路1239号)

新华书店上海发行所发行

江苏启东市印刷三厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 15.5 字数 390千字

1992年11月第1版 1992年11月第1次印刷

印数1—2000 定价 4.45 元

ISBN7-5608-1036-5/TH·27

前 言

本书是根据国家教委制订的《高等工业学校工程材料及机械制造基础I(工程材料)课程基本要求》及同济大学金属工艺学教研室编写的《机械工程材料学》讲义,在总结长期教学实践经验的基础上编写而成的。

机械工程材料学是机械制造和设计各专业的重要技术基础课,其主要目的和任务是:(1)掌握选用机械工程材料的基本原则。根据零件的使用性能、材料的工艺性能及经济性,能合理地选用材料;(2)掌握金属热处理原理,具有正确选用热处理方法及合理安排工艺路线的初步能力;(3)对金相分析和热处理操作具有一定的动手能力。学生学完本课程后,能为学习其它有关课程及从事机械制造和设计奠定必要的基础。

本书编写过程中,在以下几个方面作了一定的努力和考虑:

1. 加强基础理论,密切联系生产实际和符合少而精原则,使学生加深对工程材料、热处理工艺实质和特点的理解,以期培养学生分析问题和解决问题的能力。

2. 适当地反映了新材料、新工艺、新技术;对机械工程中应用日益广泛的非金属材料也给予足够的重视。

3. 为了便于学生巩固和深化课堂上学到的知识,每章末编有复习思考题。选题时力求做到具有思考性和启发性。书末附有实验指导书,以方便教学。

4. 计量单位统一采用国际单位制(SI),并以国际代号表示,材料牌号采用新的国家标准。

参加本书编写工作的有:孙鼎伦(第一、六、九、十一章)、陈全明(第四、五、八、十章及附录)、张庆云(第六、九、十一章及附录)、毕振扬(第二、三章)、李金伯(第七、九章)、郭敏(第十一章)。全书由孙鼎伦、陈全明主编。

本书承同济大学钱增新教授、上海城市建设学院潘宗岳教授审阅。在编写过程中曾得到国家教委《工程材料及机械制造基础》课程教学指导小组及兄弟院校、科研单位和工厂的热忱帮助和支持,参考并引用了有关专著、教材的资料和插图,谨在此表示诚挚的感谢。

由于我们水平有限,实践经验不够,对于书中的缺点和疏漏之处,恳请读者指正。

编 者

1991年3月于同济大学

目 录

第一章 金属材料的机械性能

第一节 强度和刚度	(1)
一、强度	(1)
二、刚度	(2)
第二节 塑性	(2)
第三节 硬度	(3)
一、布氏硬度	(3)
二、洛氏硬度	(4)
三、维氏硬度	(4)
第四节 冲击韧性	(5)
一、一次摆锤冲击试验	(5)
二、多次冲击试验	(6)
第五节 疲劳强度	(7)
一、金属疲劳断裂的特点	(7)
二、疲劳曲线	(8)
三、影响疲劳强度的主要因素	(8)
第六节 断裂韧性	(9)
一、基本概念	(9)
二、断裂韧性的评定	(9)
复习思考题	(10)

第二章 金属的晶体结构与结晶

第一节 金属特性与金属键	(12)
第二节 金属的晶体结构	(12)
一、晶体的基本概念	(13)
二、三种常见的金属晶格	(13)
三、晶体中原子排列的紧密程度	(15)
四、晶面及晶向	(17)
五、金属的实际晶体结构	(19)
第三节 金属的结晶	(22)
一、结晶的概念	(22)
二、结晶过程	(24)
三、影响晶粒大小的因素	(25)
四、金属铸锭的组织特征	(25)

复习思考题	(26)
-------	------

第三章 金属的塑性变形和再结晶

第一节 金属的塑性变形	(28)
一、单晶体金属的塑性变形	(28)
二、多晶体金属的塑性变形	(31)
三、位错密度与金属强度的关系	(32)
第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	(33)
一、塑性变形对金属组织的影响	(33)
二、塑性变形对金属性能的影响	(35)
第三节 变形金属在加热时组织和性能的变化	(36)
一、回复、再结晶和晶粒长大	(36)
二、再结晶温度和再结晶后的晶粒度	(37)
第四节 金属的热变形	(39)
复习思考题	(40)

第四章 合金的结构与相图

第一节 固态合金中的相结构	(41)
一、固溶体	(41)
二、化合物	(43)
第二节 二元合金相图的建立	(45)
第三节 匀晶相图	(46)
一、相图分析	(46)
二、合金的结晶过程	(46)
三、固溶体合金中的偏析	(47)
四、二元合金相图的杠杆定律	(48)
第四节 共晶相图	(49)
一、简单共晶相图	(49)
二、一般共晶相图	(51)
第五节 其它类型的二元合金相图	(54)
一、包晶相图	(54)
二、共析相图	(55)
三、形成稳定化合物的相图	(55)
第六节 合金性能与相图的关系	(55)
一、合金机械性能与相图的关系	(56)
二、合金铸造性能与相图的关系	(56)
复习思考题	(56)

第五章 铁碳合金

第一节 纯铁的同素异晶转变	(59)
第二节 铁碳合金的基本组织	(60)
一、铁素体	(60)
二、奥氏体	(61)
三、渗碳体	(61)
四、珠光体	(61)
五、莱氏体	(62)
第三节 铁碳合金相图	(62)
一、Fe-Fe ₃ C 相图的主要特性点	(62)
二、Fe-Fe ₃ C 相图的主要特性线	(63)
三、铁碳合金的分类	(63)
四、典型铁碳合金结晶过程分析	(65)
五、铁碳合金成分、组织和性能的变化规律	(69)
六、Fe-Fe ₃ C 相图的应用	(71)
第四节 钢铁生产简介	(71)
一、钢铁生产过程	(71)
二、生铁的冶炼	(73)
三、钢的冶炼	(74)
四、镇静钢、半镇静钢和沸腾钢	(75)
第五节 碳钢	(76)
一、常存杂质对钢性能的影响	(76)
二、碳钢的分类、编号和用途	(77)
复习思考题	(82)

第六章 钢的热处理

第一节 钢在加热时的组织转变	(83)
一、奥氏体的形成	(84)
二、奥氏体晶粒的长大	(85)
第二节 钢在冷却时的组织转变	(87)
一、过冷奥氏体等温转变曲线图	(87)
二、过冷奥氏体连续冷却转变曲线图	(95)
第三节 钢的退火和正火	(96)
一、退火	(96)
二、正火	(97)
第四节 钢的淬火	(98)
一、淬火目的	(98)
二、淬火温度的选择	(98)

三、淬火冷却介质	(99)
四、常用淬火方法	(100)
五、钢的淬透性	(101)
第五节 钢的回火	(104)
一、回火目的	(104)
二、钢在回火时的组织转变	(105)
三、钢在回火时的机械性能变化	(107)
四、回火种类及应用	(108)
第六节 钢的表面淬火	(108)
一、感应加热表面淬火	(109)
二、火焰加热表面淬火	(110)
第七节 钢的化学热处理	(111)
一、化学热处理的基本过程	(111)
二、钢的渗碳	(112)
三、钢的氮化	(114)
四、钢的碳氮共渗	(116)
第八节 热处理新技术简介	(117)
一、真空热处理	(117)
二、形变热处理	(118)
三、离子氮化	(119)
四、离子沉积	(120)
第九节 热处理应力、变形及裂纹	(121)
一、热处理应力	(121)
二、热处理变形	(122)
三、淬火裂纹	(124)
第十节 热处理与零件设计的关系	(124)
一、热处理对零件结构工艺性的要求	(124)
二、合理制订热处理的技术条件	(125)
三、热处理技术条件在图纸上的标注	(126)
第十一节 热处理工艺的优化设计概念	(127)
一、基本概念	(127)
二、热处理工艺流程及规范的优化设计	(128)
复习思考题	(128)

第七章 合金钢

第一节 合金元素对钢性能及热处理的影响	(131)
一、合金元素对钢机械性能的影响	(131)
二、合金元素对钢的物理、化学性能的影响	(133)
三、合金元素对热处理的影响	(134)

第二节 合金钢的分类及编号	(136)
一、合金钢的分类	(136)
二、合金钢的编号	(136)
第三节 合金结构钢	(137)
一、低合金结构钢	(137)
二、易切削结构钢	(138)
三、合金渗碳钢	(138)
四、合金调质钢	(140)
五、合金弹簧钢	(143)
六、滚动轴承钢	(145)
第四节 合金工具钢	(146)
一、刃具钢	(146)
二、模具钢	(152)
三、量具钢	(154)
第五节 特殊性能钢及硬质合金	(155)
一、不锈钢	(155)
二、耐热钢	(157)
三、耐磨钢	(159)
四、硬质合金	(160)
复习思考题	(161)

第八章 铸 铁

第一节 铸铁中的石墨化过程	(163)
一、铸铁中碳的存在形式	(163)
二、铁碳合金的双重相图	(163)
三、影响铸铁中石墨化的因素	(165)
四、铸铁中石墨的作用	(166)
第二节 灰铸铁	(166)
第三节 可锻铸铁	(169)
一、黑心可锻铸铁	(169)
二、珠光体可锻铸铁	(171)
三、白心可锻铸铁	(171)
第四节 球墨铸铁	(171)
第五节 合金铸铁	(173)
一、耐磨铸铁	(173)
二、耐热铸铁	(174)
三、耐蚀铸铁	(174)
复习思考题	(174)

第九章 有色金属及其合金

第一节 铝及铝合金	(176)
一、铝	(176)
二、铝合金	(176)
第二节 铜及铜合金	(181)
一、铜	(181)
二、黄铜	(182)
三、青铜	(184)
四、白铜	(187)
第三节 钛及钛合金	(187)
一、钛	(187)
二、钛合金	(187)
三、钛及钛合金的应用	(189)
第四节 滑动轴承合金	(189)
一、锡基轴承合金	(190)
二、铅基轴承合金	(191)
三、铜基轴承合金	(191)
四、铝锡轴承合金	(191)
五、各类轴承合金的比较	(192)
复习思考题	(192)

第十章 机械工程非金属材料

第一节 高分子材料的基本知识	(194)
一、高分子化合物的组成	(194)
二、高分子化合物的聚合方法	(195)
三、大分子链的几何结构	(196)
四、大分子的聚集态结构	(196)
五、高聚物的物理状态	(198)
六、高聚物的强化途径和防老化措施	(198)
第二节 工程塑料	(200)
一、塑料的组成	(200)
二、塑料的分类	(201)
三、工程塑料的特性	(201)
四、常用的工程塑料	(202)
五、塑料的成形和加工	(203)
第三节 合成橡胶	(206)
第四节 陶瓷	(207)
第五节 复合材料的概念	(208)

复习思考题	(209)
-------	-------

第十一章 机械零件的选材

第一节 金属零件的失效分析	(210)
第二节 选用材料的一般原则	(212)
一、使用性能	(212)
二、工艺性能	(213)
三、经济性	(214)
第三节 齿轮的选材及其热处理	(215)
一、齿轮的工作条件及损坏形式	(215)
二、对齿轮材料的性能要求	(216)
三、齿轮常用材料及热处理	(216)
第四节 轴的选材及其热处理	(217)
一、轴的工作条件及损坏形式	(217)
二、对轴材料的性能要求	(217)
三、轴的常用材料及热处理	(217)
第五节 机座及箱体类零件的选材及其热处理	(219)
一、机座及箱体类零件的工作条件及损坏形式	(219)
二、对机座及箱体类零件材料的性能要求	(219)
三、机座及箱体类零件的常用材料及热处理	(219)
第六节 塑料零件的选材	(220)
一、常用工程塑料的相对价格	(220)
二、几种主要类型塑料零件的选材	(221)
复习思考题	(221)

附录 实验指导书

实验一 金相试样制备及工业纯铁组织观察	(222)
实验二 铁碳合金平衡组织观察	(227)
实验三 金属材料的硬度试验	(228)
实验四 碳钢的热处理操作	(233)
实验五 碳钢不平衡组织、铸铁和有色金属的组织观察	(234)

第一章 金属材料的机械性能

材料、能源与信息是现代技术的三大支柱。金属材料,特别是钢铁,在机械制造业中得到了广泛的应用。这是因为它具有制造机器所需要的物理、化学和机械性能,并且可以用不同的工艺方法,如铸造、锻压、焊接和切削加工等方法制成所需要的机械零件,即具有良好的工艺性能。本章主要介绍金属材料的机械性能。

金属材料的机械性能是在外力作用下,所表现出来的特性,主要有强度、刚度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度、断裂韧性等。

第一节 强度和刚度

一、强度

在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。为了测定金属材料的强度,广泛采用拉伸试验的方法。试验时,首先将材料制成图 1-1 所示的标准拉力试棒,把它夹持在拉伸试验机的夹头上,然后逐渐增加拉力,直至试棒被拉断为止。在拉伸过程中,试验机自动记录了拉力和伸长量,并绘出它们之间的关系曲线,称为拉伸曲线。图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。图

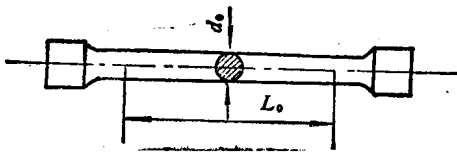


图 1-1 拉力试棒

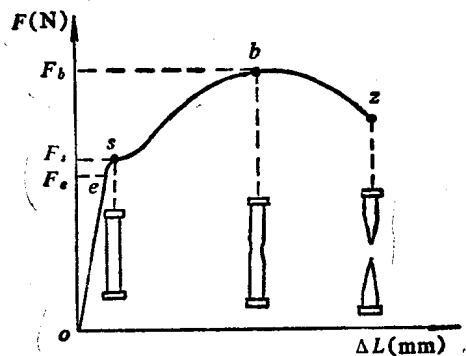


图 1-2 低碳钢的拉伸图

中 oe 段,即外力不超过 F_e 时,试棒只产生弹性变形,当外力去除后,试棒就恢复到原来长度。当外力超过 F_e 时,试棒除发生弹性变形外,还发生塑性变形,外力去除后,试棒不能恢复到原有长度。如继续增大外力,超过 s 点时,拉伸曲线上就出现了近似水平的线段,此时试棒所受外力虽不再增加,但变形却继续增加,这种现象称为“屈服”, s 点称为屈服点。屈服后试棒开始产生明显的塑性变形。当外力继续增加至 b 点时,试棒截面出现局部变细的“缩颈”现象。因为截面变小,继续变形所需的外力也就减少,外力达到 F_b 时,试棒在缩颈处被拉断。

为了进行比较,强度指标通常以应力形式表示。当材料受外力而未破坏时,其内部产生与外力相平衡的抵抗力,单位截面上的抵抗力称为应力,即应力 $(\sigma) = \text{拉力 } (F) / \text{原始截面积}$

(A_0)。

根据拉伸图,可以得出强度、刚度和塑性等常用的机械性能指标。

(一)屈服强度(屈服极限)

材料产生屈服现象时的应力称为屈服强度,以 σ_s 表示。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_s ——试棒产生屈服时所承受的最大外力(N);

A_0 ——试棒原始截面面积(mm^2)。

除低碳和中碳钢(包括合金钢)等少数金属材料有屈服现象外,大多数金属的屈服点很难测定,通常规定产生 0.2% 的塑性变形时的应力作为屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(二)抗拉强度(强度极限)

材料在断裂前能承受最大外力时的应力称为抗拉强度,以 σ_b 表示。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 F_b ——试棒拉断前能承受的最大外力(N)。

材料的强度愈高,所能承受的外力愈大。对于大多数机械零件,不允许产生塑性变形,所以屈服强度指标是塑性材料设计时的依据;对于脆性材料(如灰口铸铁),拉伸时没有屈服现象,则用抗拉强度指标作为零件设计时的依据。

二、刚 度

材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。刚度的大小以弹性模量 E 衡量。在弹性范围内:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

式中 ϵ ——应变,试棒的相对伸长量($\epsilon = \frac{\Delta L(\text{伸长量})}{L_0(\text{原始长度})}$)

弹性模量相当于引起单位变形所需的应力,在拉伸曲线上表现为 oe 的斜率。弹性模量愈大,表明在一定应力作用下,产生的弹性变形愈小,即刚度愈大。

一般机器零件都在弹性状态下工作,均有较大的刚度要求。如镗孔用的镗刀杆,若刚度不足,加工的内孔就会有锥度,影响加工精度。所以,对于要求精度高的机械零件,如精密机床的主轴、箱体、床身等,都应具有大的刚度,选择弹性模量大的材料。钢的弹性模量 E ,在室温下约在 $1.9 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^5$ MPa 之间,并随温度升高而降低。

弹性模量是一个对金属组织不敏感的机械性能指标,其大小和组织关系不大。因此,热处理、合金化、冷变形等金属强化手段对其作用都很小。

第二节 塑 性

材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力称为塑性。塑性指标用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 L_0 ——试棒的原始标距长度(mm);
 L_1 ——试棒拉断后的标距长度(mm);
 A_0 ——试棒原始截面面积(mm²);
 A_1 ——试棒断口处截面面积(mm²)。

对于同样材料,用不同长度的试棒测得的伸长率数值是不同的。因为试棒拉断后其伸长包括均匀伸长与颈缩处的局部伸长两部分。对于一定直径的试棒,其标距长度愈大,则局部伸长对试棒总伸长量的影响就愈小,延伸率也就愈小。因此,对不同尺寸的试棒应标以不同的符号。例如,长度为直径 5 倍的试棒,测得的伸长率用 δ_5 表示;用长度为直径 10 倍的试棒,则以 δ_{10} 表示, δ_{10} 通常写成 δ 。

断面收缩率 ψ 与试棒尺寸无关,但对材料质量引起的塑性改变, ψ 比 δ 敏感,所以断面收缩率能更可靠地代表材料的塑性。

伸长率和断面收缩率愈大,材料的塑性愈好。材料具有一定的塑性才能进行压力加工,如冲压、锻造等。此外,具有良好塑性的零件,万一超载不致于立即断裂,因此重要的机械零件必须具有一定的塑性。一般认为 $\delta < 5\%$ 的材料为脆性材料。

第三节 硬 度

金属表面局部体积内抵抗更硬物体压入的能力称为硬度。硬度愈高,表明金属抵抗局部塑性变形的能力愈大,塑性变形愈困难。

测试金属硬度常用的方法有:布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

一、布 氏 硬 度

布氏硬度试验原理是用一个直径 D 的淬硬钢球或硬质合金球,以一定的载荷 F ,将其压入金属表面(图 1-3),并保持一定的时间,而后卸除载荷,测量在金属表面上压出的压痕直径 d ,即可计算压痕面积 A 。然后根据所加载荷 F 的大小,求出单位面积上所承受的平均应力值,其值就作为硬度指标,称为布氏硬度。根据国家标准(GB231—84)规定:硬度值写在布氏硬度符号前。当压头用淬硬钢球时,符号为 HBS;压头用硬质合金球时,符号为 HBW。写成公式如下:

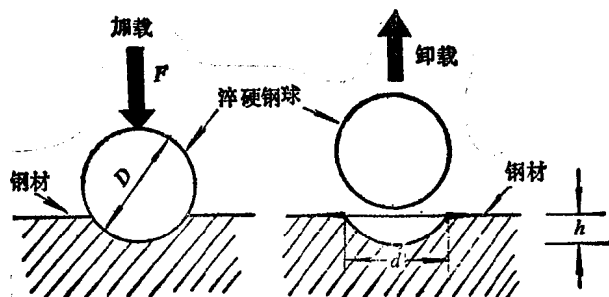


图 1-3 布氏硬度试验原理示意图

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

上式中 F 和 D 都是已知的定值(试验钢铁时 F 为 3000 kgf, D 为 10 mm), 只有压痕直径 d 是变数, 所以测得压痕直径后, 可通过上式算出或根据 d 查有关表格, 即可确定 HBS 值。标注时一般只写出其大小, 而不注明单位。

布氏硬度试验比较准确, 用淬火钢球压头只能测 $\text{HBS} < 450$ 的材料。因为硬度太高时, 将使试验所用的钢球产生变形, 影响试验结果的准确性, 在这种情况下可换用硬质合金球压头, 测定 HBW 值。

二、洛氏硬度

洛氏硬度试验原理是利用一定的载荷, 将夹角为 120° 的金刚石锥体或直径 1.588 mm 的淬火钢球压入试样, 去除载荷后, 根据压痕深度确定硬度值, 其值可直接从硬度机的刻度表盘上读出。材料愈软, 压入愈深; 反之材料愈硬, 压入深度愈浅。

使用金刚石锥体压头, 在总载荷 150 kgf 下测得的硬度值用符号 HRC 表示; 当总载荷为 60 kgf 时, 用符号 HRA 表示。使用淬火钢球压头, 所加总载荷为 100 kgf, 测得的硬度值用 HRB 表示。

HRC 和 HRA 适用于测量淬火钢等较硬材料的硬度; HRB 适用于退火钢、有色金属等较软的材料。

为了解决表面薄层硬度的测量, 常用洛氏表面硬度试验方法, 其原理与洛氏硬度试验方法相同, 但其所用的金刚石圆锥压头及刻度盘更为精密, 所加的总载荷分别为 15、30、45 kgf, 相应的标度和符号为 HR 15 N、HR 30 N、HR 45 N, 除用于一般硬化层测量外, 可用于表面硬化层和薄钢材硬度测量。此外, 还有其它一些标度, 主要用于有色金属及较软材料的硬度测量。

洛氏硬度的优点是操作迅速、简便, 可直接读出硬度值, 压痕小, 基本上不损伤零件表面, 可以测量较软到极硬的或较薄材料的硬度。缺点是由于压痕直径小, 材料如有组织不均匀等情况, 结果的再现性较差, 通常测定三点硬度再取其平均值。

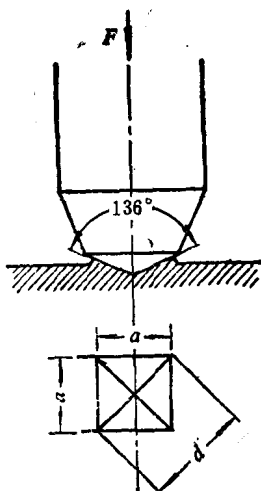


图 1-4 维氏硬度试验原理示意图

三、维氏硬度

维氏硬度是采用锥面夹角为 136° 的金刚石四方角锥体(图 1-4)的压头, 在载荷 F 作用下, 使试样上压出一个对角线长度为 d 的正方形压痕, 测量 d 的平均长度, 即可计算压痕面积 A_v , 单位面积上所承受的力作为维氏硬度的指标, 用符号 HV 表示, 写成公式如下:

$$\text{HV} = \frac{F}{A_v} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

载荷 F 的大小, 可根据试样材料厚度及其它条件的不同, 选用 5~100 kgf, 可测得硬度值为 HV 8~1000。

维氏硬度值可根据测得的压痕对角线的平均值 d , 从有关手册的表格中查出。

维氏硬度试验的优点是载荷可任意选择, 而所得的硬度值相同; 试验时所加的载荷小, 压入深度浅, 适用于测量表面很薄的硬化层。缺点是操作较麻烦。

上述布氏硬度、洛氏硬度与维氏硬度之间没有直接的换算公式，但在 200~350 HBS 之间，HBS 与 HV 非常接近。

洛氏硬度值与布氏硬度值之间存在着如下的近似关系：

$$\text{HRC} \approx \frac{1}{10} \text{HBS}$$

硬度不是一个单纯的物理量，它与强度指标（如 σ_b, σ_s ）和塑性指标（ δ, ψ ）之间有一定的联系，但无理论上的关系。下面的经验数据可供参考：

低碳钢 $\sigma_b \approx 3.6 \text{ HBS}$ ；

高碳钢 $\sigma_b \approx 3.4 \text{ HBS}$ 。

第四节 冲击韧性

许多机械零件工作时要受到冲击载荷的作用，如汽车刹车以及速度突然改变都会受到冲击，还有一些机械本身就是利用冲击能量来工作的，如锻锤、冲床、破碎机等。因此，在机械设计中必须考虑冲击问题。

材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性。由于冲击载荷是一种能量，所以冲击韧性指标是以材料受到冲击破坏时，单位面积上所消耗的能量来表示的。

一、一次摆锤冲击试验

冲击韧性的测试方法是在摆锤冲击试验机上进行的。图 1-5 为一次摆锤冲击试验所用的试样及其试验方法。将被测材料制成标准试样（图 1-5 a），安放在试验机的支座上，把具有一定重量 G 的摆锤（图 1-5 c）提高到高度 H_1 的位置，此时摆锤的位能为 GH_1 ，然后使其下落，冲断试样，摆锤的剩余能量为 GH_2 ，则冲断试样所做的功 $A_K = G(H_1 - H_2)$ ， A_K 除以试样缺口处的原始截面面积 A_0 ，即得冲击韧性 a_K 。

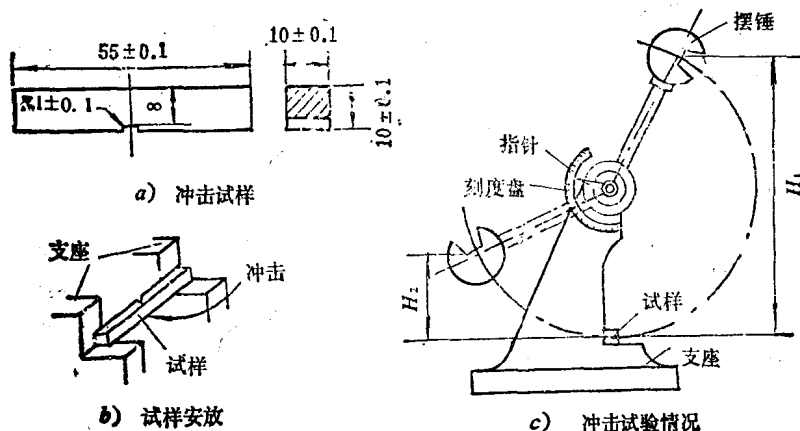


图 1-5 摆锤冲击试验示意图

$$a_K = \frac{A_K}{A_0} \quad (\text{J/cm}^2)$$

实践证明,组织缺陷对 a_K 值的影响很大,冲击韧性灵敏地反映出材料的品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化。因而冲击试验是生产上用来检验冶炼、热加工、热处理工艺质量的有效方法之一。冲击值一般只作为选择材料的参考,不直接用于强度计算。

冲击韧性试验还经常用于测定材料由韧性向脆性的转变温度,即韧脆(也称冷脆)转变温度。

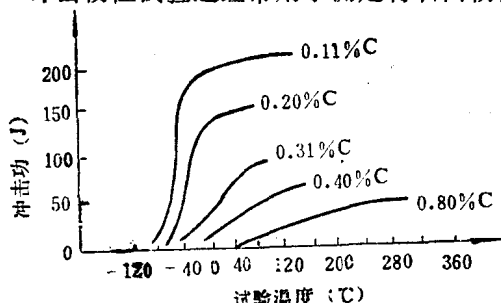


图 1-6 不同含碳量钢的冲击能与温度的关系

这一温度的高低,对于评断钢的脆性倾向非常重要。一般来说,低碳钢和低强度钢的韧脆转变温度较低且比较明显,而高碳钢和高强度钢看不出明显的韧脆转变温度。图 1-6 所示为不同含碳量钢的冲击功随温度变化的曲线。材料的韧脆转变温度愈低,则材料在使用中愈可靠。由图中曲线可知,为了避免发生脆性破坏,多采用 0.20% C 以下的低碳钢。钢中加入

适量的锰、镍等合金元素,可使韧脆转变温度降低。

对于高碳和高强度钢,由于看不出明显的韧脆转变温度,往往人为地规定一定的能量值(冲击功),而与此数值相对应的温度就作为该材料的韧脆转变温度。

由于冷脆而造成船舶、桥梁等大型结构脆性断裂事故,曾在世界各国多次发生,造成巨大的损失。尤其是今后液化石油储存罐以及其它低温结构件使用增多,更应该注意冷脆问题。所以对于大型金属结构(如船体、桥梁等)都对钢材的韧脆转变温度以及最低使用温度所应具有最低韧性值作出规定,否则,将会导致灾难性后果。

二、多次冲击试验

在冲击载荷下工作的机械零件,很少是受到大能量一次冲击而破坏的,绝大多数是承受小能量多次冲击载荷。材料在多次冲击下的破坏过程也是裂纹产生和扩展的过程,但它是多次冲击损伤积累发展的结果,根本不同于一次冲击的破坏过程,所以,多次冲击抗力不能用冲击韧性值简单代替。

多次冲击抗力是一个取决于材料强度和塑性的综合机械性能,为了试验材料强度和塑性对多冲抗力的影响,采用三种材料进行多次冲击试验,其结果如图 1-7 所示,图中右上角为所用试样及试验方法。

由图可见,三种材料的多冲抗力曲线位置不同,存在着交点 A、B、C。在交点 C 的左方,即在很高的冲击能量下,以强度低而塑性高的 25 钢的多冲抗力最高,此时塑性对多冲抗力起主导作用;在交点 A 的右方,即在低冲击能量下,以强度高而塑性差的 T8 钢多冲抗力高,此时,强度对多冲抗力起主导作用。大量生产实践表明,多数承受冲击的零件,其工作寿命要求的冲击周次总在数万甚至数百万次以上,都在图中 A、B、C 交点以右,属于小能量多次冲击,因此,其多冲抗力主要决定于材料的强度。所以在选用材料时,应该尽量发挥材料的强度,而不应该盲目追求塑性和冲击值。例如,球墨铸铁的 a_K 值仅为 $10 \sim 25 \text{ J/cm}^2$ (45 钢调质后 $a_K > 100 \text{ J/cm}^2$),却能满意地用来制造一般内燃机的曲轴。

应当指出:中低强度材料制成的中小型零件,由于其断裂韧性高,一般不会发生脆性断裂,因而可以应用多冲抗力结论。而用这些材料制成的大型铸锻件、焊接件及高强度钢制成的零件,内部难免会出现一些缺陷,在没有进行严格的无损探伤情况下,应慎重应用上述多冲抗力