

轮机工程材料

主 编 李香琪

副主编 涂志平

主 审 郭祖平



大连海事大学出版社

轮机工程材料

主 编 李香琪
副主编 涂志平
主 审 郭祖平

大连海事大学出版社

© 李香琪 2010

内容简介

本书共九章,内容包括金属材料的性能、金属与合金的晶体结构及结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属及其合金、轮机主要零件的材料等。本书较系统地介绍了有关金属力学性能、金属与合金的晶体结构、钢的热处理原理及工艺、常用工程材料、轮机零件的选材及热处理等知识。

本书为航海类院校轮机工程专业少学时(30~40学时)教材,也可作为轮机管理人员及其他相关人员的培训教材和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

轮机工程材料 / 李香琪主编. — 大连: 大连海事大学出版社, 2010.5

ISBN 978-7-5632-2439-5

I. ①轮… II. ①李… III. ①轮机—工程材料 IV. ①U668

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 089334 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮政编码:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连美跃彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2010年5月第1版

2010年5月第1次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm 印张:8

字数:176 千

印数:1~1500 册

责任编辑:史洪源

版式设计:海 韵

封面设计:王 艳

责任校对:高 炯

ISBN 978-7-5632-2439-5

定价:16.00 元

前 言

《轮机工程材料》一书是根据高职高专教育基础课程教学基本要求以及船舶轮机管理专业轮机工程材料课程教学大纲而编写的轮机工程专业少学时教材。在编写过程中,一方面遵循“以应用为目的,以掌握概念、强化应用为教学重点,以必需、够用为度”的原则;另一方面借鉴其他同类教材的优点,精选教学内容,注重专业性、适用性,突出“够用、少而精”的特色。为方便读者学习,各章均配有复习题。

全书由李香琪担任主编,涂志平担任副主编,郭祖平担任主审,其中第一章、第三至第六章由李香琪编写,第二、八章由黄勇编写,第七、九章由涂志平编写,全书由李香琪统稿。

本书为航海类院校轮机工程专业和船舶机械制造与修理专业的教材,也可作为轮机管理人员及其他相关人员的培训教材和自学用书。

本书在编写和出版过程中,得到了大连海事大学、青岛远洋船员学院许多老师的大力支持和帮助,在此谨向他们表示衷心的感谢!由于编者水平有限,编写时间短促,书中不妥之处恳请读者批评指正。

编 者
2010年3月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 工程材料的分类	(1)
第二节 热处理工艺的发展概况	(2)
第三节 本课程的内容、目的和要求	(3)
第二章 金属材料的性能	(4)
第一节 金属的机械性能	(4)
第二节 金属的工艺性能和物理、化学性能	(12)
复习题	(14)
第三章 金属与合金的晶体结构及结晶	(16)
第一节 金属的晶体结构	(16)
第二节 金属的结晶	(20)
复习题	(23)
第四章 铁碳合金相图	(24)
第一节 概述	(24)
第二节 铁碳合金组织中的组成物	(24)
第三节 铁碳合金相图的分析	(26)
第四节 铁碳合金相图的应用	(31)
复习题	(33)
第五章 钢的热处理	(36)
第一节 概述	(36)
第二节 钢的热处理原理	(37)
第三节 整体热处理	(44)
第四节 钢的表面热处理	(51)
第五节 常见热处理缺陷	(56)
复习题	(57)
第六章 工业用钢	(61)
第一节 概述	(61)
第二节 碳素钢	(65)
第三节 合金钢	(69)
复习题	(81)
第七章 铸铁	(84)
第一节 灰口铸铁	(86)
第二节 可锻铸铁	(88)

第三节	球墨铸铁	(90)
第四节	蠕墨铸铁	(92)
第五节	合金铸铁	(93)
复习题		(95)
第八章	有色金属及其合金	(97)
第一节	铜及铜合金	(97)
第二节	轴承合金	(101)
复习题		(103)
第九章	轮机主要零件的材料	(105)
第一节	机械零件材料的选用原则及柴油机结构	(105)
第二节	曲轴的选材及热处理	(106)
第三节	连杆的选材及热处理	(108)
第四节	气缸套的选材及热处理	(109)
第五节	活塞组件的选材及热处理	(111)
第六节	柴油机气阀的选材及热处理	(114)
第七节	精密偶件的选材及热处理	(115)
第八节	船舶动力装置中重要螺栓的选材及热处理	(117)
第九节	涡轮叶片的选材	(118)
第十节	螺旋桨的选材	(119)
复习题		(120)
参考文献		(122)

第一章 绪 论

第一节 工程材料的分类

现代材料种类繁多,据粗略统计,目前世界上的材料总和已达到 40 多万种,且每年以大约 5% 的速率增加。材料、能源、信息已成为发展现代化社会生产的三大支柱,而材料又是能源与信息发展的物质基础。材料的品种、数量和质量又是衡量一个国家科学技术和国民经济水平及国防力量的重要标志。在这些材料中,用于机械制造的各种材料称为工程材料,它是制造机械产品所必需的物质基础,是工业的“粮食”。

机械工程材料按化学组成可分为金属材料与非金属材料。

金属材料是机械工业生产中应用最广、最重要的机械工程材料,可分为黑色金属和有色金属。黑色金属主要包括以铁为基的合金,如钢、铸铁和铁合金等;有色金属材料,如铜及其合金、铝及其合金等。金属材料不仅来源丰富,而且还具有优良的使用性能和工艺性能;此外还可通过不同的成分配制、不同的加工和热处理方法来改变组织和性能,从而进一步扩大其使用范围。

在机械制造中常用的非金属材料主要有高分子材料、陶瓷材料和复合材料,它们具有金属材料所不具备的某些特性。

高分子材料是由大量的分子量特别大的分子化合物组成的有机合成材料,根据其性质用途,主要有塑料、橡胶及胶黏剂等。高分子材料具有很高的强度、良好的韧性、较强的耐腐蚀性能及良好的绝缘性等,是工程上发展最快的新型结构材料,其中塑料是应用最广的有机高分子材料,它是以合成树脂为主要成分,加入各种添加剂,在一定温度、压力下加工塑制成型材料,塑料具有密度小、耐腐蚀、耐磨及减摩性好,良好的电绝缘性等特点,可制作船舶构件及用于船机零件防腐。

陶瓷材料主要是金属氧化物和非金属氧化物的无机非金属材料。它具有高熔点、高硬度、耐高温以及抗氧化能力强等特点,一般可分为普通陶瓷和特种陶瓷两大类。普通陶瓷是以天然硅酸盐矿物为原料,经粉碎、压制成型和高温烧结而成,主要用于日用品、建筑和卫生用品,以及工业上的低压和高压瓷瓶、耐酸制品等。特种陶瓷是以人工制造的纯度较高的金属氧化物、碳化物、硅酸盐等化合物为原料,经配制、烧结而成,这类陶瓷具有独特的力学及理化性能,主要用于化工、冶金、机械、电子、能源和一些新技术中。

复合材料是由两种或两种以上物理、化学性质不同的物质,经人工合成的多相固体材料。

它集各类材料的优越性于一体,以其无可比拟的优越性能,站在现代工程材料的前列。可以说,人工复合材料的使用,标志着人类社会的发展已进入了一个崭新的时代。这类材料具有较高的比强度和比弹性模量、良好的抗疲劳性、减振性和耐高温性以及密度小、隔音、隔热、减振、阻燃等优良的物理性能和力学性能,已被广泛用于航空、建筑、机械、交通运输以及国防工业等部门。

第二节 热处理工艺的发展概况

随着国民经济的高速发展,机械工程材料的使用量越来越大。在机械产品的设计和制造过程中,所遇到的有关机械工程材料的选用和热处理方面的问题也日益增多。

实践证明,生产中往往因为选材不当或热处理方法不妥,会使机械零件的使用性能达不到规定的技术要求,从而导致零件在使用过程中发生过量变形、磨损或断裂等早期失效,所以在生产中合理选用工程材料固然重要;但正确制定热处理工艺路线,是充分发挥工程材料的性能潜力、获得理想的使用性能,从而提高产品质量、节约材料、降低成本的重要保证。因此,除了掌握工程材料的性能外,还要了解有关热处理的知识。

金属热处理工艺学和其他自然科学相同,是随着生产力的发展而发展的,同时又和其他科学技术的发展紧密相关。热处理工艺是古代冶金技术发展的结果,是作为冶金技术的一部分,逐渐发展而形成一门学科的。

在我国历史上,热处理工艺出现于铁器时代。当铸铁一出现,就出现了如何提高其韧性的问题,铸铁的柔化处理就是根据这一要求最早出现的热处理工艺,它包括石墨化退火及脱碳退火。这种处理方法出现于春秋时期(公元前 770 年—公元前 470 年),至西汉已发展得比较成熟。例如 1974 年在洛阳出土的战国早期的几件铁器,经分析,发现其中一件铁铤、一件铁铲都是生铁铸成的,其表面脱碳,稍向内为相当于黑心可锻铸铁的组织。

我国古代的炼钢是采用铸铁脱碳退火及反复锻打方法进行的,即所谓“百炼成钢”,随着炼钢技术的发展,热处理技术也得到发展。公元前 6 世纪,钢铁兵器逐渐被采用,为了提高钢的硬度,淬火工艺遂得到迅速发展。1974 年河北省易县燕下都出土了一批战国中、晚期钢铁兵器,据分析,其中的两把剑和一把戟都经过淬火处理,金相组织中有马氏体存在,这说明在战国中、晚期,我国已发明了淬火技术。在这些兵器中也发现曾进行过正火及淬火钢的回火处理。至西汉,我国的热处理技术已发展到了相当水平,不仅能进行一般热处理,而且还能进行局部热处理。当时,化学热处理主要是渗碳和碳氮共渗两个方面,例如出土的西汉(公元前 206 年—公元 24 年)中山靖王墓中的宝剑,芯部碳的质量分数最低处为 0.05%,而表面碳的质量分数却高达 0.6% 以上,有一定的碳浓度梯度,说明那时已有渗碳技术。但当时作为个人“手艺”的秘密,不肯外传,因而发展很慢。

随着淬火技术的发展,人们逐渐发现冷剂对淬火质量的影响。三国蜀人蒲元曾在今陕西

斜谷为诸葛亮打制 3 000 把刀,相传是派人到成都取水淬火的,这说明中国在古代就注意到不同水质的冷却能力了。

1863 年,英国金相学家和地质学家展示了钢铁在显微镜下的六种不同的金相组织,证明了钢在加热和冷却时,内部会发生组织改变,钢中高温时的相在急冷时会转变为一种较硬的相。法国人奥斯蒙德确立的铁的同素异构理论,以及英国人奥斯汀最早制定的铁碳相图,为现代热处理工艺初步奠定了理论基础。与此同时,人们还研究了在金属热处理的加热过程中对金属的保护方法,以避免加热过程中金属会产生氧化和脱碳现象。

20 世纪以来,随着金属物理的发展和其他新技术的移植应用,使得热处理工艺得到更大发展,更多新的热处理方法在工业生产中不断得以推广应用。

第三节 本课程的内容、目的和要求

轮机工程材料是轮机工程、轮机管理专业必修的技术基础课。其目的是使学生获得有关机械工程材料的基本理论和基础知识,掌握船舶系统中主要零件的选材及热处理方法,为学习后续专业课程和将来从事轮机管理工作奠定必要的基础。

本课程的内容主要由金属材料的性能,金属学的基本知识,钢的热处理,常用工程材料的成分、分类、牌号、性能特点及应用,船机主要零件的选材及热处理等几部分组成。

学完本课程,学生应达到以下基本要求:

- (1) 获得有关材料组织结构与材料性能方面的基本理论知识。
- (2) 掌握热处理的基本原理与基本工艺。
- (3) 掌握常用工程材料的成分、组织、性能、用途。
- (4) 熟悉船舶系统中主要零件的常用材料及常规热处理方法。

本课程的理论性、专业性、应用性都较强,在学习中首先应注重理解、分析,并注意前后知识的衔接与综合应用。在理论学习的同时,还要注意联系生产实际,重视实践环节。教材中有关热处理方法及工程材料的选用等内容,需要在金工实习过程及有关后续课程的学习中反复练习、巩固与提高后,才能达到掌握与应用的要求。

第二章 金属材料的性能

在机械制造、交通运输、国防工业、石油化工、日常生活等各个领域需要使用大量的工程材料。生产实践中,往往由于选材不当而造成机械达不到使用要求或过早失效。因此,了解和熟悉材料的性能是合理选材、充分发挥工程材料内在性能潜力的重要依据。

金属材料的性能主要是指其在加工和使用过程中所表现出来的特性,包括机械性能、工艺性能和物理化学性能。

第一节 金属的机械性能

材料在加工和使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质不同,可分为静载荷、冲击载荷和交变载荷三种。

静载荷:大小不变或变动很缓慢的载荷,如主轴箱对机床床身的压力。

冲击载荷:突然增加或消失的载荷,如空气锤锤头下落时锤杆所受的载荷。

交变载荷:大小和方向随时间做周期性变化的载荷,如柴油机曲轴、连杆都是在交变载荷作用下工作的。

金属的机械性能(或力学性能)是指材料在各种载荷作用下所表现出来的抵抗变形或失效的能力。根据零件的使用温度不同,分为室温和高温机械性能指标。

一、室温下的机械性能指标

金属材料的机械性能指标是通过各种试验测定的,常用的有拉伸试验、硬度试验、冲击试验和疲劳试验等。

图 2-1 是用低碳钢制作的标准试样进行拉伸试验所得的应力—应变曲线。应力 $\sigma = P/F_0$ (MPa), 应变 $\varepsilon = \Delta L/L_0$, 式中: P 为拉力; F_0 为试样横截面积; ΔL 为试样在外力 P 作用下的伸长量; L_0 为试样原长。

从图 2-1 的应力—应变曲线可以看出,试样在拉伸过程中,自受力起到试样被拉断为止,曲线分为三个阶段。

(1) oa ——弹性变形阶段:应力与应变是直线关系,外力增加,变形增加;外力消除,变形消失。 a 点的应力最大,称为弹性极限。

(2) ak ——从弹性变形阶段后到断裂前,为塑性变形阶段,其中:

① sc ——塑性变形阶段的前期,称屈服阶段。在此阶段内,即使外力不增加,试样也会继

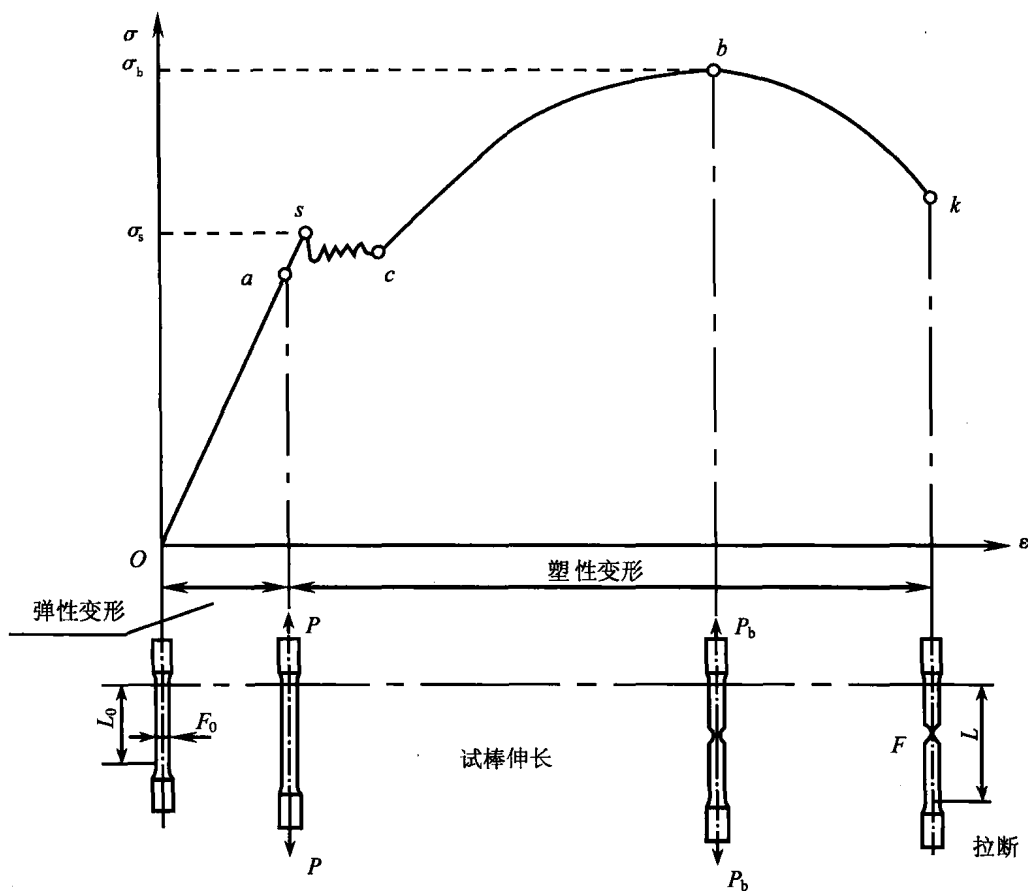


图 2-1 低碳钢标准试样的应力—应变($\sigma-\varepsilon$)曲线

续伸长, sc 呈水平状态; 外力消除, 试样出现残余变形 (ΔL)。

② cb ——塑性变形阶段的中期。外力增加, 塑性变形加大, 试样产生均匀塑性变形, b 点应力达最大值。

③ bk ——塑性变形阶段的后期。试样产生不均匀塑性变形, 外力增大到 b 点后, 变形集中于试样的局部, 产生“颈缩”现象。因颈缩使试样截面积骤减, 使变形所需外力减小, 故 bk 呈下降趋势。

(3) k 点——试样断裂: 不同的金属材料其试样拉伸曲线不同。塑性好的材料在断裂前有明显的塑性变形, 此种断裂称韧性断裂; 塑性差的材料断裂前无明显塑性变形, 则称脆性断裂。

依应力—应变曲线可有以下几项性能指标:

1. 刚度

刚度是指金属材料在外力作用下抵抗弹性变形的能力。衡量材料刚度的指标是弹性模量 E , 即弹性变形阶段内的应力与应变之比, $E = \sigma/\varepsilon$, 其值大小反映了金属材料弹性变形的难易程度。 E 越大, 材料的刚度越大, 即在一定应力作用下产生的弹性变形量越小。一般机器零件大都在弹性变形状态下工作, 故应具有一定的刚度。工程上将构件产生弹性变形的难易程度称为构件刚度, E 是决定构件刚度的材料性能指标,

因为

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\frac{P}{F_0}}{\frac{\Delta L}{L_0}} = \frac{PL_0}{\Delta LF_0}$$

所以

$$\Delta L = \frac{PL_0}{EF_0}$$

由上式可知,当外力 P 和试样长度 L_0 一定时,构件的弹性变形量 ΔL 取决于材料的弹性模量 E 和试样截面积 F_0 。材料的弹性模量 E 主要取决于材料金属本性、晶格类型和原子间距,而与显微组织关系不大。

2. 强度

强度是金属材料在外力作用下抵抗产生塑性变形和断裂的能力。工程上,强度指标有屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

(1) 屈服强度

屈服强度又称屈服极限,用 σ_s 表示。屈服强度是材料抵抗微量塑性变形的能力,也就是材料在外力 P_s 作用下刚刚开始产生塑性变形时的应力

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中: P_s —— 材料产生屈服时的外力, N。

在 $\sigma - \varepsilon$ 曲线上,当应力达到 s 点时,应力不再增加,试样的塑性变形继续增大,使曲线产生微小波动的水平段的现象称为屈服。不同材料的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线可能有不同的屈服情况,如图 2-2 所示。

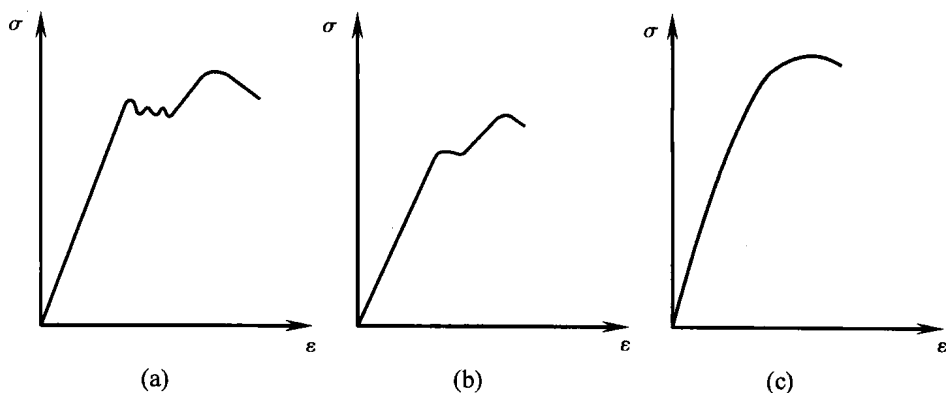


图 2-2 三种不同材料的 $\sigma - \varepsilon$ 曲线

(a) σ_s 有微小波动; (b) σ_s 恒定; (c) 无屈服现象

图 2-2(a) 与 (b) 有明显的屈服现象,而 (c) 则无屈服现象。除退火或热轧低碳钢和中碳钢等少数合金有屈服现象外,大多数金属合金都没有屈服点和屈服现象。因此,工程上规定将产生 0.2% 残余伸长量的应力值作为屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。 σ_s 是具有屈服现象的材料特有的强度指标。

(2) 抗拉强度

抗拉强度又称强度极限,用 σ_b 表示。抗拉强度是金属材料抵抗断裂的能力,也就是材料断裂时所能承受的最大应力值,是 $\sigma - \varepsilon$ 曲线上 b 点对应的应力,即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中: P_b ——试样断裂时所承受的最大拉力,N。

屈服强度是评定金属材料优劣的重要指标,抗拉强度是材料工作时的安全保证,二者均是机械设计和选材的主要依据。

屈服比是 σ_s 与 σ_b 之比,即 σ_s/σ_b ,是工程上常用的参数。材料的屈服比越小,表示材料的 σ_s 较小,零件的储备强度越大,工作可靠性大,因而可避免由于超载而突然断裂的危险,但是材料潜力未能充分发挥。一般制造弹性零件的材料应具有较高的屈服比,通常 $\sigma_s/\sigma_b \geq 0.8$ 。

3. 塑性

金属材料在外力作用下产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。衡量金属材料塑性的指标有延伸率和断面收缩率。

(1) 延伸率

在拉伸试验时,试样拉断后的标距增长量与原标距长度之比称为延伸率,用 δ 表示,即

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

式中: L_0 ——试样原标距长度,mm;

L ——试样拉断后的标距长度,mm。

根据试样标距长度与其直径相比的倍数不同,延伸率又分为 δ_5 (标距长度为其直径的 5 倍)和 δ_{10} (标距长度为其直径的 10 倍)。通常 δ_{10} 写成 δ ,一般同一材料的 $\delta_5 = (1.2 \sim 1.5) \delta_{10}$ 。

根据延伸率的大小,工程材料分为两种: $\delta > 5\%$ 的称为塑性材料,如钢、铝、铜等; $\delta < 5\%$ 的称为脆性材料,如铸铁等。

(2) 断面收缩率

在拉伸试验时,试样拉断后的截面积缩小量与原截面积之比称为断面收缩率,用 ψ 表示,即

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

式中: F_0 ——试样原截面积,mm²;

F ——试样拉断处的截面积,mm²。

δ 和 ψ 数值越大,表明材料的塑性越好。断面收缩率不受试样尺寸的影响,因此更能可靠地反映材料的塑性大小。良好的塑性对机械零件的加工和使用都具有重要意义。例如,塑性

良好的材料易于进行压力加工(锻造、冲压、轧制等);如果过载,由于产生塑性变形而不至于突然断裂,可以避免事故发生。

4. 硬度

硬度是金属表面抵抗局部塑性变形的能力,是衡量金属材料软硬程度的指标。

金属材料硬度的测定方法简单、方便,不需制备标准试样。测定的基本原理都是采用一定形状的压头在一定力的作用下压入金属表面,测定压痕面积或深度,通过计算获得硬度值。在作用力一定的情况下,压痕越大,材料的硬度越低。依测量方法不同,有不同的硬度指标。

常用的硬度指标有以下几种:

(1) 布氏硬度

图 2-3 为布氏硬度试验原理图。它是用一定直径的淬火钢球或硬质合金球作压头,以相应试验力压入被测材料表面,经规定保持时间后卸载,以压痕单位面积上所受试验力的大小来确定被测材料的硬度值,用符号 HB 表示,即

$$HB = \frac{P}{F} \quad (\text{MPa})$$

式中: P ——外力, N ;

F ——压痕面积, mm^2 。

布氏硬度测定方法依 GB/T231. 1—2002《金属布氏硬度试验第一部分:试验方法》进行,根据被测材料的硬度不同,选用不同材质的压头。一般当材料布氏硬度值 < 450 时采用淬火钢球压头,用符号 HBS 表示;硬度值 ≥ 450 ,选用硬质合金球压头,用符号 HBW 表示。 HB 值越大,材料越硬。布氏硬度压痕面积较大,能较真实地反映出材料的平均性能,而不受个别组成相和微小不均匀度的影响,具有较高的测量精度。因压痕较大,布氏硬度不适宜检验薄件和成品零件。布氏硬度计主要用来测量普通碳钢、灰铸铁、有色金属等材料。

此外,可根据布氏硬度近似估算出材料的抗拉强度,换算关系为

低碳钢 $\sigma_b \approx 0.36HB$; 合金调质钢 $\sigma_b \approx 0.325HB$;

高碳钢 $\sigma_b \approx 0.34HB$; 灰铸铁 $\sigma_b \approx 0.1HB$ 。

(2) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是采用锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球压头,在一定载荷下压入材料表面,依据压痕深度确定硬度值。

图 2-4 为洛氏硬度试验原理图,试验时先施加初载荷,目的是使压头与试样表面接触良好,保证测量结果准确,然后施加主载荷,保持规定时间后卸除主载荷。0—0 为 120° 金刚石压头没有与试样表面接触时的位置;1—1 为加初载荷后的位置;2—2 为压头加主载荷后的位置,此时压头压入深度为 ac ;卸除主载荷后,由于弹性变形恢复,压头位置提高到 3—3 位置。最

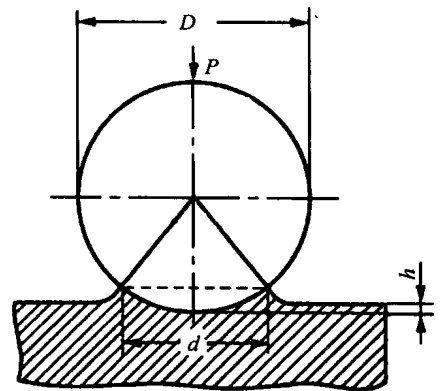


图 2-3 布氏硬度试验原理

后,压头受主载荷后实际压入表面的深度为 bd ,洛氏硬度用 bd 大小来衡量。

实际应用时,洛氏硬度可直接从硬度计表盘上读出。压头端点每移动 0.002 mm,表盘上转过一小格,压头移动 bd 距离,指针应转 $bd/0.002$ 格,计算公式为

$$HR = K - \frac{bd}{0.002}$$

式中: K ——常数(金刚石作压头, $K = 100$;钢球作压头, $K = 130$)。

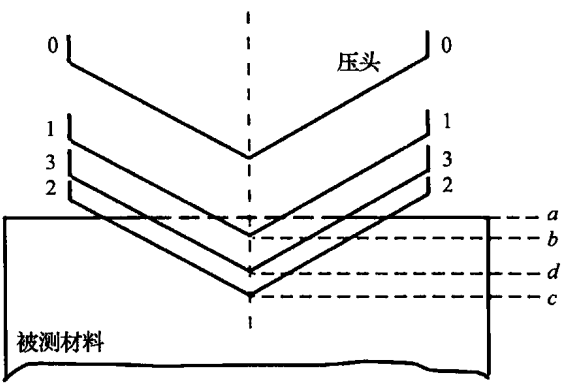


图 2-4 洛氏硬度试验原理

根据压头及所加外力的不同,分别有 HRA、HRB、HRC 三种洛氏硬度。各种洛氏硬度所用压头、载荷及适用范围如表 2-1 所示。

表 2-1 各种洛氏硬度所用压头、载荷及适用范围

符号	压头	载荷/N	测量范围	适用范围
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4	70 ~ 85HRA	极硬材料,如硬质合金
HRB	φ1.558 mm 淬火钢球	980.7	20 ~ 100HRB	较软材料,如退火钢、有色金属等
HRC	120°金刚石圆锥体	1471	20 ~ 67HRC	较硬材料,如淬火钢、白口铸铁等

洛氏法测硬度简便、迅速、压痕小,可测定的材料范围广。洛氏硬度中以 HRC 应用最普遍,但不宜测定硬脆薄层,如渗碳层、渗氮层等。由于压痕小,只表示试样局部的硬度,当材料组织或成分不均匀时,容易产生误差。

(3) 维氏硬度

采用夹角为 136°的四棱锥体金刚石压头,在规定的试验载荷作用下压入材料表面,计算出单位压痕面积上的力,即为维氏硬度,用 HV 表示。

维氏法测硬度较布氏、洛氏精确,压入深度浅,适用于测定薄件或经处理的表面层硬度,测量范围广,可测定从极软到极硬的各种材料,但操作较麻烦。

(4) 显微硬度

利用显微硬度计可测定材料内部的组织或相组成物的硬度,显微硬度用 HM 表示。

以上各种硬度在工厂生产、科学研究及学校实验室广泛应用。需要注意的是,三种硬度之间不能直接比较大小,应通过硬度对照表来比较。表 2-2 给出部分 HRC、HB、HV 三种硬度值的对照。

5. 冲击韧性

许多机械零件是在冲击载荷下工作的,例如锻锤的锤杆、冲床的冲头、火车挂钩等。冲击载荷比静载荷的破坏能力大,对于承受冲击载荷的材料,不仅要求具有高的强度和一定塑性,而且必须具备足够的冲击韧性。金属材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性,用 a_k 表示。冲击韧性值 a_k 长期采用一次摆锤冲击试验测定。

摆锤式一次冲击试验是目前最普遍的一种试验方法。为了使试验结果可以相互比较,按国家标准 GB/T229 - 1994 规定,将金属材料做成带有 U 形或 V 形缺口的标准冲击试样。

表 2-2 三种硬度的对照表

HRC	HB	HV	HRC	HB	HV	HRC	HB	HV
70		1037	52		543	34	314	320
69		997	51	501	525	33	306	312
68		959	50	488	509	32	298	304
67		923	49	474	493	31	291	296
66		889	48	461	478	30	283	289
65		856	47	449	463	29	276	281
64		825	46	436	449	28	269	274
63		795	45	424	436	27	263	268
62		766	44	413	423	26	257	261
61		739	43	401	411	25	251	255
60		713	42	391	399	24	245	249
59		688	41	380	388	23	240	243
58		664	40	370	377	22	234	237
57		642	39	360	367	21	229	231
56		620	38	350	357	20	225	226
55		599	37	341	347	19	220	221
54		579	36	332	338	18	218	218
53		561	35	323	329	17	211	211

摆锤冲击试验原理如图 2-5 所示。将标准试样安放在摆锤式试验机的支座上,试样缺口背向摆锤,将具有一定重力 G 的摆锤举至一定高度 H_1 ,使其获得一定势能 GH_1 ,然后由此高度落下将试样冲断,摆锤剩余势能为 GH_2 。冲断试样时断口单位面积所消耗的冲击功即为材料的冲击韧性值 a_k ,计算公式为

$$a_k = \frac{A_K}{F} = \frac{G(H_1 - H_2)}{F} \quad (\text{J/cm}^2)$$

式中: A_K —— 冲断试样时所消耗的功,J;

G —— 摆锤的重力,N;

H_1 —— 摆锤举起的高度,cm;

H_2 —— 冲断试样后,摆锤的高度,cm;

a_k —— 冲击韧性,J/cm²;

F —— 试样缺口处截面积,cm²。

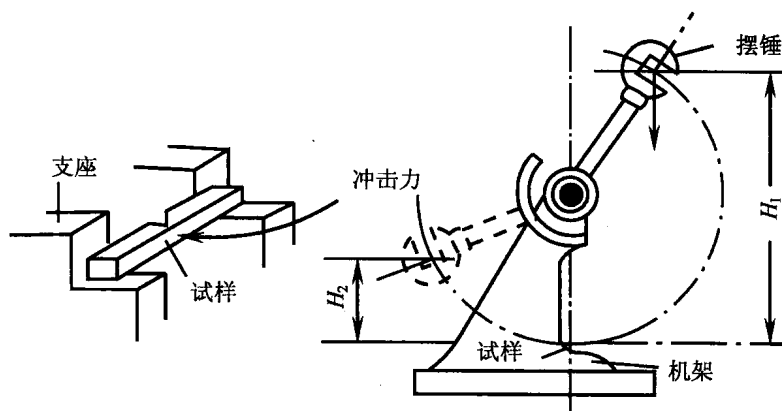


图 2-5 冲击试验示意图

冲击韧性值 a_k 越大,表明材料的韧性越好,受到冲击时不易断裂。 a_k 值的大小受很多因素影响,不仅与试样形状、表面粗糙度、内部组织有关,还与试验时的温度密切相关。因此,冲击韧性值一般只作为选材时的参考,而不能作为计算依据。

某些材料的 a_k 值与温度有关, a_k 值随工作温度降低而减小,并在某一温度范围时 a_k 值显著降低,这种现象称为冷脆(或脆性转变),使 a_k 值显著降低的温度称为脆性转变温度。在脆性转变温度以下,材料由韧性状态转变为脆性状态,材料的脆性转变温度低,说明材料的低温冲击韧性越好。因此,应对在低温和严寒地区工作的构件(如船体、桥梁)或零件材料的脆性转变温度、在最低使用温度下应具有的最小韧性值作出规定。

在生产实践中,绝大多数在动载荷下工作的零件和构件都是在小能量多次重复冲击载荷下工作,很少因为一次超载冲击而破坏,所以材料的冲击韧性应以小能量多次重复冲击试验来测定。试验证明,材料在多次冲击下的破坏过程是裂纹的产生和扩展过程,它是多次冲击损伤积累发展的结果。因此,材料的多次冲击抗力是一项取决于材料强度和塑性的综合性指标。冲击能量高时,材料的多次冲击抗力主要取决于塑性;冲击能量低时,主要取决于强度。

6. 疲劳强度

许多机械零件,例如轴、齿轮、轴承、弹簧等,在工作中承受交变载荷。在这种载荷作用下,虽然零件所受应力远低于材料的屈服极限,但在长期使用中往往会突然发生断裂,这种破坏过程称为疲劳断裂。

疲劳强度又称疲劳极限,是指金属材料在无限多次交变载荷作用下而不破坏的最大应力,通过疲劳试验测定。实际上,金属材料并不可能做无限多次交变载荷试验。一般试验时规定,黑色金属在经受 10^7 、有色金属和某些高强度钢经受 10^8 交变载荷作用时不产生断裂时的最大应力称为疲劳强度。当施加的交变应力是对称循环应力时,所得的疲劳强度用 σ^{-1} 表示。

疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一。据统计,在机械零件失效中有 80% 以上属于疲劳破坏,而且疲劳破坏前没有明显的变形,疲劳破坏经常造成重大事故,所以对于轴、齿轮、轴承、叶片等承受交变载荷的零件要选择疲劳强度较好的材料来制造。