

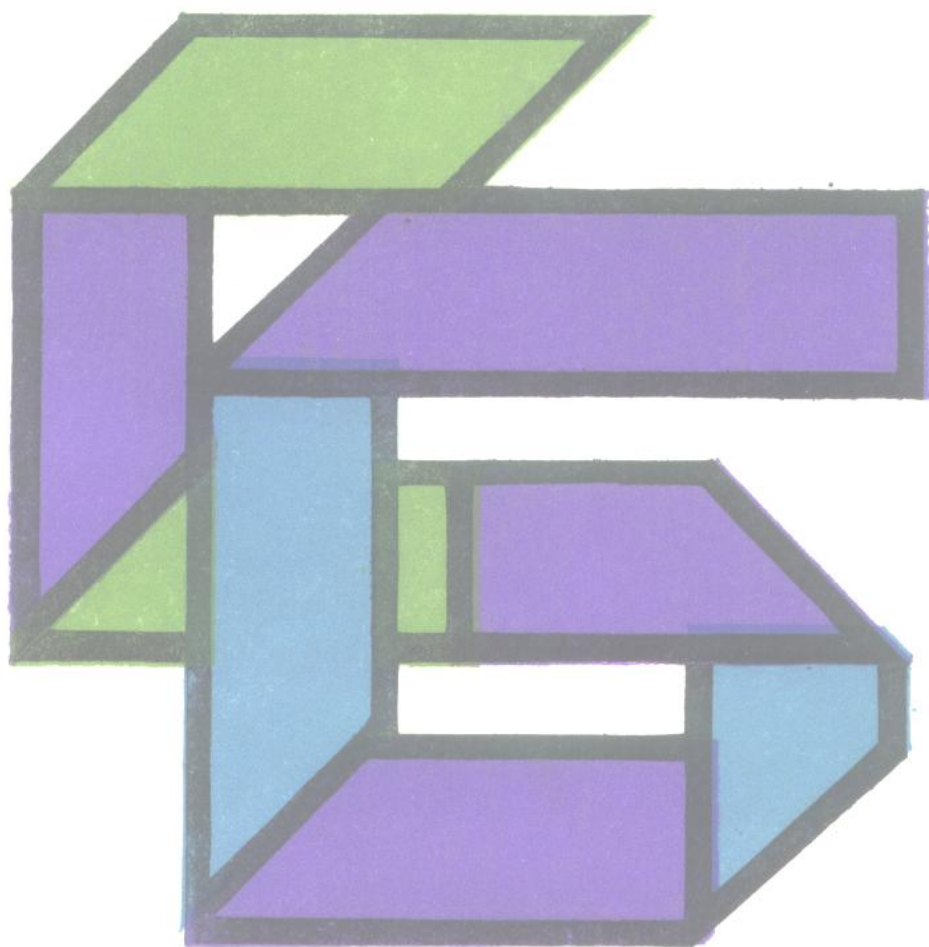
高等学校教材

工程材料及机械制造基础(I)——

工 程 材 料

(机械类各专业)

东南大学 戴枝荣 主编



高等教育出版社

工程材料及机械制造基础(I)——
工程材料

东南大学

戴枝荣 主编

ISBN

社

高等学校教材

工程材料及机械制造基础 (I) ——

工 程 材 料

机械类各专业

东南大学 戴枝荣 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

内 容 提 要

本书是在学校使用多年的教材基础上, 根据国家教委批准印发的高等工业学校《工程材料及机械制造基础教学基本要求》修订、编写而成。

本书是工程材料及机械制造基础课程的第一部分为“工程材料”, 第二部分为“热加工工艺基础”(清华大学张万昌主编), 第三部分为“机械加工工艺基础”(重庆大学吴桓文主编)均由高等教育出版社出版。这三部分书, 可以单独使用, 亦可配套使用。

本书在体系和内容上有较大的更新, 安排在“热、冷加工工艺基础”之前讲授, 不仅能节省学时、减少重复, 而且也使教学、教材改革不断深化。内容包括: 金属材料的机械性能, 晶体结构与结晶, 金属的塑性变形与再结晶, 二元合金, 铁碳合金, 钢的热处理, 合金钢, 铸铁, 有色金属及其合金, 非金属材料, 材料的选用等十一章。

本书经工程材料及机械制造基础课程教学指导小组复审通过, 并推荐出版。本书可作为高等工业院校机械类各专业的通用教材, 亦可供有关职工大学、工程技术人员参考和使用。

高等学校教材
工程材料及机械制造基础(红)——

工 程 材 料

机械类各专业

东南大学 戴叔荣 主编

高等教育出版社出版
新华书店总店北京科技发行所发行
上海市印刷四厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 12 字数 269,000

1992年4月第1版 1992年5月第1次印刷

印数 00,001—6,071

ISBN 7-04-003807-2/TH·301

定价 4.05 元

前 言

1986年工程材料及机械制造基础课程教学指导小组提出高等工业学校《工程材料及机械制造基础教学基本要求》(初稿)后,我们即在有关专业的班级中试行。试行结果,感到最大的问题是没有合适的教材。因为当时公开出版的教材——《金属材料及热处理》——是安排在《金属工艺学》、《材料力学》甚至《机械零件》之后才讲授,而且篇幅大。要把该教材放到《金属工艺学》之前来讲,教师既不好教,学生亦不好学。

1987年4月国家教委批准印发了高等工业学校《工程材料及机械制造基础教学基本要求》后,我们即着手编写了教材,并在机械类专业中试用。

本书是在试用三届教材的基础上,广泛听取了师生以及课程教学指导小组的意见后修改而成的。

本教材的第二、三、七、九、十章由杨克同志编写,第六章由赵小东同志编写,其余各章由戴枝荣同志编写并担任主编。

本书初稿第一次在校内印刷时,由东南大学材料系系主任谈荣生副教授负责审稿。胡怀纯副教授和工程师刘琳、肖乘午为我们提供了许多金相照片。在这次修编的过程中,承蒙工程材料及机械制造基础课程教学指导小组委托浙江大学黄振源(主审)、西安交通大学范全福、杭州电子工业学院何发昌等同志负责评选审阅工作,他们提出了许多宝贵意见。1990年课程教学指导小组南京会议上复审通过,并推荐出版。教研组的许多老师也为本书的修改提了许多好的建议,在此一并表示衷心的感谢。

这本书是工程材料及机械制造基础课程的第一部分;第二、第三部分分别为热加工工艺基础及机械加工工艺基础。本书安排在热、冷加工工艺基础之前讲授,与安排在《金属工艺学》之后讲授有所不同,这样可以避免一些不必要的重复,节省一些学时。因此在教材的取材及课程之间衔接配合上都得重新作些调整,所以从一定程度上讲,本书是一本新的教材。再者,编者水平有限,因此缺点错误在所难免,欢迎批评指正。

编 者

1991.9

目 录

绪论	1	二、单晶体的滑移变形	21
第一章 金属材料的机械性能	3	三、多晶体的塑性变形	23
第一节 静载时材料的机械性能	3	第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响	25
一、静拉伸试验	3	第三节 变形金属在加热时的组织和性能的变化	26
二、硬度	5	一、回复	26
第二节 动载时材料的机械性能	5	二、再结晶	26
一、冲击韧性	5	三、晶粒长大	28
二、疲劳强度	6	第四节 金属的热加工	28
第三节 高温下的机械性能	7	一、热加工的概念	28
第四节 断裂韧性	7	二、热加工对金属组织和性能的影响	29
第二章 晶体结构与结晶	8	第五节 超塑性	30
第一节 金属的晶体结构	8	第四章 二元合金	32
一、晶体概念	8	第一节 合金的相结构	32
二、常见的金属晶格	9	一、固溶体	32
三、单晶体的各向异性	10	二、化合物	34
第二节 实际金属结构	10	第二节 二元合金相图	37
一、多晶体结构	10	一、二元相图的建立	37
二、晶格缺陷	11	二、匀晶相图	38
第三节 非金属固体结构	13	三、共晶相图	40
一、离子晶体	13	四、包晶相图	44
二、共价晶体	13	五、共析相图	46
三、高分子晶体(高分子聚合物)	13	第三节 相图与性能的关系	46
第四节 金属的结晶	14	一、当合金形成单相固溶体	46
一、结晶的概念	14	二、当合金形成两相混合物	46
二、金属的结晶过程	14	第五章 铁碳合金	48
三、影响生核与长大的因素	15	第一节 铁碳合金的相结构与性能	48
四、金属的同素异构性	17	第二节 铁碳合金相图	48
五、金属铸锭的组织特点	18	一、相图分析	48
第三章 金属的塑性变形与再结晶	20	二、典型合金的结晶过程	50
第一节 金属的塑性变形	20	三、铁碳合金的成分与性能的关系	54
一、塑性变形的基本形式	20		

第三节 碳钢	55	二、合金元素对铁碳合金相图的影响	92
一、常存杂质对碳钢性能的影响	55	三、合金元素对钢的热处理的影响	93
二、碳钢的分类	55	第二节 合金钢的分类和编号方法	96
三、碳钢的编号和用途	57	一、分类	96
第六章 钢的热处理	61	二、合金钢牌号的表示方法	96
第一节 概述	61	第三节 合金结构钢	97
第二节 钢在加热时的转变	61	一、普通低合金钢	97
一、奥氏体的形成	62	二、渗碳钢	97
二、奥氏体晶粒的长大	63	三、调质钢	100
第三节 钢在冷却时的转变	64	四、弹簧钢	102
一、奥氏体等温转变曲线	64	五、滚动轴承钢	104
二、过冷奥氏体转变产物的组织与性能	65	六、易切钢	106
三、影响C曲线的因素	69	七、超高强度钢	107
四、奥氏体连续冷却转变曲线	70	第四节 工具钢	108
第四节 钢的退火与正火	72	一、刃具钢	109
一、钢的退火	72	二、模具钢	115
二、钢的正火	73	三、量具钢	117
第五节 钢的淬火	73	第五节 特殊性能钢	117
一、淬火工艺	73	一、不锈钢	117
二、淬火方法	75	二、耐热钢	119
三、钢的淬透性	76	三、耐磨钢	123
第六节 钢的回火	80	第八章 铸铁	124
一、淬火钢的回火转变	81	第一节 概述	124
二、回火的分类及应用	81	一、铸铁的成分和特性	124
第七节 钢的形变热处理	82	二、铸铁的石墨化	124
第八节 钢的表面淬火	83	三、铸铁的分类	126
一、感应加热表面淬火	83	第二节 常用铸铁	126
二、火焰加热表面淬火	84	一、灰铸铁	126
三、激光加热表面淬火	85	二、可锻铸铁	128
第九节 钢的化学热处理	85	三、球墨铸铁	129
一、钢的渗碳	85	第三节 合金铸铁	131
二、钢的氮化	87	一、耐磨铸铁	132
第十节 热处理对零件结构设计的要求	89	二、耐热铸铁	132
第七章 合金钢	91	三、耐蚀铸铁	132
第一节 合金元素在钢中的作用	91	第九章 有色金属及其合金	134
一、合金元素对钢中基本相的影响	91	第一节 铝及其合金	134
		一、纯铝	134

二、铝合金的分类	134	二、橡胶	162
三、铝合金的热处理	135	三、胶粘剂	164
四、形变铝合金	136	第三节 陶瓷	164
五、铸造铝合金	138	一、陶瓷材料的组织结构及特点	164
第二节 铜及其合金	140	二、陶瓷的基本性能	166
一、纯铜	140	三、常用工业陶瓷	166
二、黄铜	140	第四节 复合材料	168
三、青铜	141	一、纤维增强复合材料	168
第三节 钛及其合金	144	二、层状复合材料	170
一、纯钛	144	三、颗粒复合材料	170
二、钛合金	145	第十一章 材料的选用	171
第四节 轴承合金	147	第一节 选用材料的一般原则	171
一、锡基轴承合金	147	一、材料的使用性能	171
二、铅基轴承合金	148	二、材料的工艺性	172
三、铜基轴承合金	148	三、材料的经济性	173
四、铝基轴承合金	148	第二节 零件的失效与选材	173
第十章 非金属材料	150	一、零件的失效分析	173
第一节 高分子材料的基础知识		二、变形失效与选材	174
.....	150	三、断裂失效与选材	175
一、高分子化合物的组成与结构	150	四、表面损伤失效与选材	176
二、高分子的聚集态与性能	152	第三节 典型零件的选材与工艺	
三、高聚物的三态	152	177
四、高聚物的性能	153	一、轴的选材与工艺	177
第二节 高分子材料	157	二、齿轮的选材与工艺	179
一、塑料	157	三、箱体类的选材与工艺	180

绪 论

材料用来做器件、结构或其他产品。材料是生产和生活的物质基础。历史表明,生产中使用的材料性质直接反映人类社会的文明水平,所以历史学家根据制造生产工具的材料将人类生活的时代划分为石器时代,青铜器时代,铁器时代。国民经济的各个部门和人民的衣、食、住、行直至生活用品,都离不开各种类型的材料。材料、能源、信息合称为现代社会的三大支柱,而能源和信息的发展,在一定程度上又依赖于材料的进步。因此,许多国家都把材料科学作为重点发展学科之一,使之为新技术革命提供坚实的物质基础。

材料按经济部门可分为:土建工程材料,机械工程材料,电工材料,电子材料等等。按物质结构可分为:金属材料,有机高分子材料,陶瓷材料。按材料功用可分为:结构材料,功能材料。本教材所述及的主要是机械工程上所用的结构材料,并按物质的不同结构作些介绍。

约在 50 万年前,人类学会了用火。在六七千年以前,我们的祖先开始用火烧制了陶器,到东汉出现了瓷器,于 9 世纪传至东非和阿拉伯世界,13 世纪传到日本,15 世纪传到欧洲,对世界文明产生了很大的影响,瓷器已成为中国文化的象征。

远在 5 千年前,我们的祖先就冶炼了红铜和青铜等铜合金;在商周时代(公元前 16 世纪至公元前 8 世纪)我国的青铜冶铸技术已达到了很高的水平,出土的商周文物中的大量青铜礼器、生活用具、武器、农具等便是证明,而且有了相当大的生产规模,能制造重达 875kg 的司母戊鼎。湖北江陵楚墓中的两把越王勾践的剑,至今仍异常锋利,都是我国在青铜器方面的杰出成就。在春秋时期(公元前 8 世纪至公元前 5 世纪)的《考工记》中,记载着有关青铜的成分、性能和用途之间关系的“六齐”规律,乃是世界上最早的有关冶金的工艺总结。

铁的应用较晚,到春秋战国(公元前 770~475 年)时期,我国已开始大量使用铁器。兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇铸农具用的铁型,说明当时冶铸技术已由砂型铸造进入金属型铸造的高级阶段。在西汉后期,我国就发明了炼钢方法——炒钢法,这种方法在英国 18 世纪才获得应用。

至于高分子材料,古代主要是用一些天然高分子材料,如木材、丝绸、棉、麻之类。

在材料的生产和使用方面,我们的祖先有过辉煌的成就,为人类文明作出了巨大的贡献,直到 17 世纪,我国一直处于领先地位。由于长期的封建统治,劳动人民的生产经验得不到应有的重视,不能及时总结提高,再加上百年来受到帝国主义的侵略及压迫,科学技术受到极大的抑制,我国的科学技术才日渐处于落后的状态。

在国外,随着 18 世纪中期开始的工业革命的兴起,对金属材料在数量和质量上都提出了越来越高的要求。同时由于物理、化学、力学的发展,显微镜在金属研究中的应用,逐渐形成了一门材料科学——金属学,阐明金属的成分、组织与性能间的关系。近数十年来,由于电子显微镜、X

射线衍射、放射性同位素、扫描电镜等的应用,金属学得到了更进一步的发展。

目前或今后长时间内,在机械制造工业中应用最广的仍然是金属材料。例如,一台东风型内燃机车重126t,其中钢占95.5%,铸铁占2.0%,有色金属占2.5%。一辆50t的客车,消耗的金属材料就达47t。一辆载重汽车,其总重量的71%为钢,15%为铸铁,4%为橡胶,其余为各种有色金属、塑料、玻璃等。一般的机床,其自重的70%左右为铸铁,碳钢占20%,其余为合金钢及少量的有色金属、塑料等。建造一艘万吨轮,所耗用的钢材就达万吨,建设一公里的铁路,就需要钢轨百余吨。所以,一个国家金属材料的产量或耗用量就体现着国民经济发展的水平。现在我国的钢产量已从1949年的17万吨增至1990年的6604万吨。

金属材料虽然具有许多优良的性能,但由于科学技术的发展对材料的要求越来越高,越来越严格。例如要求高硬度、耐高温、耐腐蚀、高弹性、绝缘性能好、比强度大等等,金属材料已无法胜任。另一方面,由于近数十年开始使用了高纯度的原料代替过去的天然物料来制备现代陶瓷,使陶瓷具有了许多优异的性能;人们不再是只使用天然的有机高分子材料,还用人工合成有机高分子材料,来满足工农业生产及人们生活方面的需要。人们开始把注意力转移到陶瓷与有机高分子复合材料方面,例如航天飞机外壁瓦片就是新型的陶瓷材料;吸收电磁波的隐身材料,就是用高分子复合材料。近数十年来,非金属材料的用量正以数倍于金属材料的速度增长着。

鉴于以上情况,关于金属材料的介绍仍是本书叙述的重点,希望通过本课程的学习能了解常用金属材料的成分、组织、性能之间的关系;了解强化金属材料的基本途径;掌握钢的热处理原理的基本概念;了解热处理工艺在机械零件加工工艺流程中的位置和作用;熟悉常用金属材料的牌号、成分、组织、性能及用途。为正确地选用材料提供一些理论依据,本书适当介绍非金属材料的性能特点和应用。

本门课程是一门偏重于叙述性的课程,学生又缺乏实际生产经验与感性知识,所以在讲授时应辅之以课堂讨论,再配合以实验。

在后继课程(机械制造基础,机械零件)和生产实习、课程设计、毕业设计等的教学环节中,还会遇到和用到材料方面的知识,使用的过程也是进一步巩固和提高的过程。

第一章 金属材料的机械性能

作为结构材料应具备的最主要的性能是材料的机械性能,或称力学性能,即材料抵抗外力的能力。材料在各种外力作用下所表现出来的机械性能要通过各种不同的试验来测定。

第一节 静载时材料的机械性能

静载是指对试样缓慢加载。最常用的是静拉伸试验和硬度试验。

一、静拉伸试验

按 GB228—87 制作拉伸试样,在拉伸试验机上缓慢地进行拉伸,使试样承受轴向拉力 P ,并引起试样沿轴向产生伸长 $\Delta L(=L_1-L_0)$,直到试样断裂。将拉力 P 除以试样的原始截面积 F_0 为纵坐标(即拉应力 σ)。将 ΔL 除以试样原始长度 L_0 为横坐标(即应变 ϵ),则可画出应力-应变图,如图 1-1 所示。

(一) 弹性和刚度

试验时,如加载后应力不超过 σ_e ,若卸载,试样能即刻恢复原状,这种不产生永久变形的性能,称为弹性。 σ_e 为不产生永久变形的最大应力,称为弹性极限。

图中 OP 是直线,表示应力与应变成正比。 P 点是保持这种正比关系的最高点, σ_p 称为比例极限。

σ_s 、 σ_p 很接近,在实际应用时,两者常取同一数值。

OP 的斜率为试样材料的弹性模量,即

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

弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易程度的指标。 E 愈大,则使其产生一定量弹性变形的应力也应愈大。因此,工程上把它叫做材料的刚度。刚度表征材料弹性变形抗力的大小。

弹性模量 E 主要决定于材料本身,是金属材料最稳定的性能之一,合金化、热处理、冷热加工对它的影响很小。在室温下,钢的弹性模量 E 大都在 $190,000 \sim 220,000 \text{ N/mm}^2$ (或 MPa)之

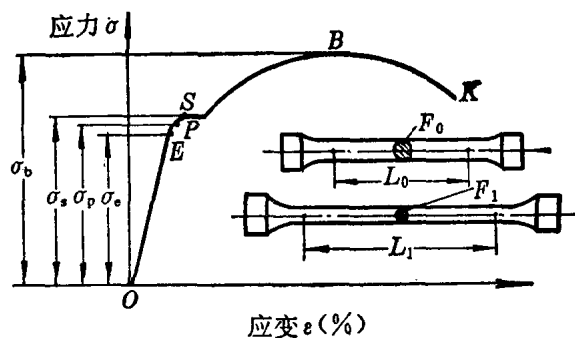


图 1-1 拉伸试样及低碳钢的应力—应变图

间。弹性模量随温度的升高而逐渐降低。

(二) 强度

在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。按外力作用方式不同,可分为抗拉、抗压、抗扭等,以抗拉强度最为常用。当承受拉力时,强度特性指标主要是屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

1. 屈服强度 如图 1-1 所示,在 S 点(称屈服点)出现一水平线段,这表示拉力虽然不再增加,但变形仍在进行,此时若卸载,试样的变形不能全部消失,将保留一部分残余的变形。这种不能恢复的残余变形,叫做塑性变形。 σ_s 即表示材料在外力作用下开始产生塑性变形的最低应力,表示材料抵抗微量塑性变形的能力。

有些材料的拉伸曲线上没有明显的屈服点 S,难于确定开始塑性变形的最低应力值,因此,规定试样产生 0.2% 残余应变时的应力值为该材料的条件屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

零(构)件在工作中一般不允许发生塑性变形。所以屈服强度 σ_s 是设计时的主要参数,是材料的重要机械性能指标。

2. 抗拉强度 抗拉强度为图 1-1 所示的 σ_b 值,是试样被拉断前的最大承载能力,故又称强度极限,它反映试样最大的均匀变形的抗力, σ_b 也是设计和选材的主要参数之一。

σ_s 与 σ_b 的比值叫做屈强比,屈强比愈小,工程构件的可靠性愈高,因为万一超载也不至马上断裂。屈强比太小,则材料强度的有效利用率太低。

合金化、热处理、冷热加工对材料的 σ_s 、 σ_b 数值会发生很大的影响。

(三) 塑性

材料在外力作用下,发生不能恢复原状的变形称为塑性变形,产生塑性变形而不断裂的性能称为塑性。塑性大小用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

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

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中: L_1 ——试样拉断后的长度;

L_0 ——试样原始长度;

F_1 ——试样拉断处的横截面积;

F_0 ——试样原始截面积。

δ 、 ψ 愈大,表示材料的塑性愈好。由于 δ 值与试样尺寸有关,故一般规定 $L_0 = 5d_0$ 或 $L_0 = 10d_0$ (d_0 为试样原始直径),分别以 δ_5 或 δ_{10} 表示两种不同尺寸的试样测得的伸长率。同一种材料测得的 δ_5 一般比 δ_{10} 要大些。

金属材料应具有一定的塑性才能顺利地承受各种变形加工;另一方面材料具有一定塑性,可以提高零件使用的可靠性,防止突然断裂。

二、硬度

硬度是指金属表面抵抗其它硬物压入的能力，或者说是材料对局部塑性变形的抗力。工程上常用的有布氏硬度和洛氏硬度。

(一) 布氏硬度

布氏硬度试验通常是以 3000 kgf 的压力 P ，将直径为 D 的淬火钢球压入金属材料的表层，经过规定的保持载荷时间后，卸除载荷，即得到一直径为 d 的压痕。见图 1-2，载荷除以压痕表面积所得之值即为布氏硬度，以 HB 表示。

从几何关系可求得：

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D\sqrt{D^2-d^2})}$$

当试验压力的单位为牛顿(N)时，则

$$HB = 0.102 \frac{2P}{\pi D(D\sqrt{D^2-d^2})}$$

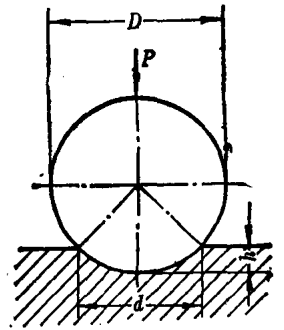


图 1-2 布氏硬度试验原理图

上式中只有 d 为变量，因此，只要在试验后测出压痕平均直径 d ，即可求得布氏硬度值。

太薄、太硬 ($>450HB$) 的材料不宜采用布氏硬度。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验的原理是在一特定的压头上加上一定的压力压入被测材料，根据压痕的深度来度量材料的软硬，压痕愈深，硬度愈低。如采用顶角为 120° 的金刚石圆锥压头和 150kgf 载荷，则以 HRC 表示之，一般用于测定淬火钢或其他硬度较高的材料的硬度。此外，还有 HRA，HRB 等，表示不同洛氏硬度的符号。

硬度测定的详细办法，在实验课中介绍。

第二节 动载时材料的机械性能

许多机械零件在动载下工作。材料对动载外力的抗力，就不能简单地用静载机械性能指标来衡量。动载主要有两种形式：一是载荷以较高的速度施加到零(构)件上，形成冲击；二是载荷的大小和方向作周期性变化，形成所谓交变载荷。

一、冲击韧性(a_{KV})

在工程上，冲击载荷是一类重要的动载形式，常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定金属材料抵抗冲击载荷的能力。材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧性 a_{KU} ^① (或冲击值)，其测试方法是按

注：① 采用 U 型缺口的冲击试样，GB229—84 规定以 a_{KV} 表示，采用 V 型缺口的试样，以 a_{KV} 表示，亦有冲击试样不加缺口，根据不同牌号的材料选用。

GB229—84 制成带有 U 型缺口的标准试样, 将具有质量 G (kg) 的摆锤举至高度为 H_1 (m), 使之自由落下(图1-3), 将试样冲断后, 摆锤升至高度 H_2 (m)。如试样断口处的载面积为 F (cm²),

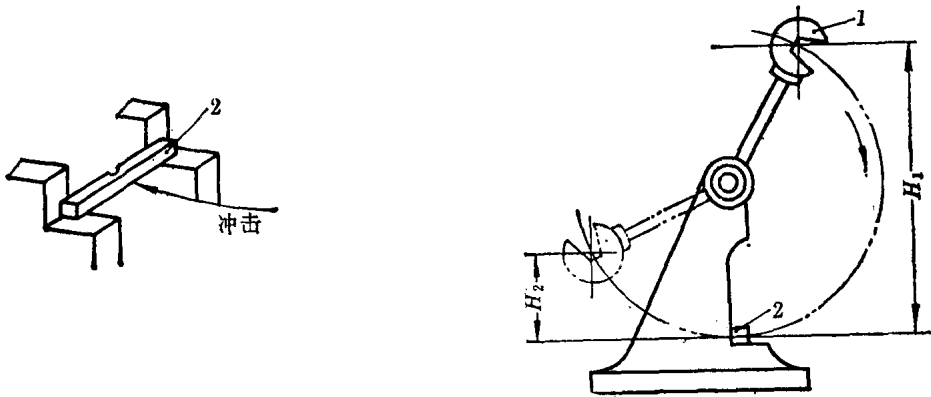


图 1-3 冲击试验示意图

1—摆锤; 2—试样

则冲击韧性 a_{KU} 为:

$$a_{KU} = \frac{GH_1 - GH_2}{F} \times 9.8 \text{ J/cm}^2$$

冲击韧性的大小除取决于材料本身外, 还受环境温度、试样大小、缺口形状等因素影响。

二、疲劳强度

许多机械零件的弹簧、轴、齿轮等, 在工作时承受交变载荷, 即使交变应力往往低于屈服强度, 但经一定循环次数后便发生断裂。实验证明, 金属材料能承受的交变应力 σ 与断裂前应力循环次数 N 有如图 1-4 所示的规律。

由图可知, 当 σ 低于某一值时, 曲线与横坐标平行, 表示材料可经无限次循环而不断裂, 这一应力称为疲劳强度或疲劳极限。用 σ_{-1} 表示光滑试样对称弯曲疲劳强度。

工程上指的疲劳强度, 是指在一定的循环次数下不发生断裂的最大应力, 一般规定钢铁材料的循环次数为 10^7 , 有色金属为 10^8 。

发生疲劳断裂的原因, 可能是由于材料内部的缺陷, 或是由于加工过程中所形成的磨痕、刀痕, 或是由于零件局部应力集中导致产生的裂纹等。

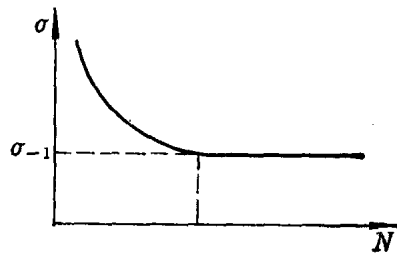


图 1-4 疲劳曲线

第三节 高温下的机械性能

许多机械零件在高温下工作，在室温下测定的性能指标就不能代表它在高温下的性能。一般来说，随着温度的升高，弹性模量 E 、屈服强度 σ_s 、硬度等值都将降低，而塑性将会增加。除此以外，还会发生蠕变现象。

蠕变是指金属在高温长时间应力作用下，即使所加应力小于该温度下的屈服强度，也会逐渐产生明显的塑性变形直至断裂。

有机高分子材料，即使在室温下亦会发生蠕变现象。

第四节 断裂韧性

工程上实际使用的材料中，常常存在一定的缺陷，例如夹杂物、气孔等，亦有可能是在加工过程中或是在使用过程中产生的缺陷。这些缺陷破坏了材料的连续性，如材料中存在着裂纹一样，如图 1-5 所示。

由于裂纹的存在，在裂纹尖端前沿存在着应力集中，形成裂纹尖端应力场，按断裂力学分析，其大小可用应力强度因子 K_I 来描述， K_I 可表达为：

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a}$$

式中： Y ——与试样和裂纹几何尺寸有关的量(无量纲)；

σ ——外加应力(N/mm^2)；

a ——裂纹的半长(mm)。

对一个有裂纹的试样施加拉伸时，其 Y 值是一定的，当拉应力 σ 逐渐增大时，裂纹尖端的应力强度因子 K_I 也逐渐增大，当 K_I 增大到某一定值时，就能使裂纹前沿的内应力大到足以使材料分离，从而使裂纹产生失稳扩展，发生断裂，这个应力强度因子的临界值，称为材料的断裂韧性，用 K_{Ic} 表示。它反应材料有裂纹存在时，抵抗脆性断裂的能力。 K_{Ic} 可通过试验来测定，它是材料本身的特性，与材料成分、热处理及加工工艺等有关。

断裂韧性为安全设计提供了一个重要的机械性能指标。

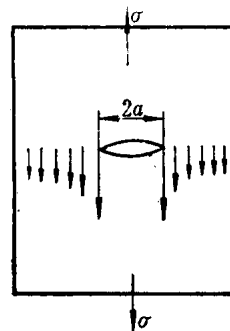


图 1-5 具有张开型裂纹的试样

第二章 晶体结构与结晶

自然界中的化学元素分为金属与非金属两大类。按固体材料的原子聚集状态来分，又可分为晶体和非晶体。固态金属基本上都是晶体物质，如钢铁、铜、铝等。在工业上应用较多的非金属材料大多也具有晶体结构，如金刚石、硅酸盐、氧化镁等。而常见的玻璃、松香等，则为非晶体物质。

第一节 金属的晶体结构

一、晶体概念

晶体是指原子(或离子)按一定的几何形状作有规律的重复排列的物体。如图 2-1a 所示，这是一个最简单的晶体模型。

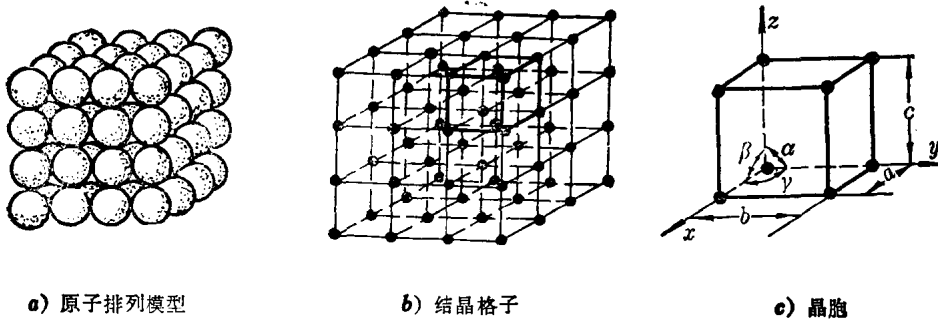


图 2-1 晶体中原子排列示意图

非晶体的原子则是无规律、无次序地堆聚在一起的。

为了便于分析各种晶体中的原子排列规律及几何形状，通常把晶体中的原子假想为几何结点，并用直线从其中心连接起来，使之构成一个空间格子，如图 2-1b 所示。这种表示晶体中原子排列形式的空间格子，称为“晶格”。

晶格中各种方位的原子面称为“晶面”。可以说晶体(晶格)是由层层晶面堆砌而成的。晶格中由原子(结点)所组成的任一直线，都能代表晶体空间的一个方向，这种方向称为“晶向”。

晶格实质上是由一些最基本的几何单元重复堆砌而成的。因此，只要取晶格中一个最基本的几何单元进行分析，便能从中找出整个晶格排列规律，如图 2-1c 所示。这种构成晶格的最基本的几何单元称为“晶胞”。晶胞的大小以其各边尺寸 a 、 b 、 c 表示，称为晶格常数，以 \AA (埃)为单位

来度量($1\text{\AA}=1\times 10^{-8}\text{cm}$)。晶胞各边之间的夹角分别以 α 、 β 及 γ 表示。在立方晶格的情况下,其晶格常数 $a=b=c$,而夹角 $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$,因此,在立方晶格中只取一个晶格常数 a 便足以表征其尺寸。

各种晶体由于其晶格类型和晶格常数不同,则呈现出不同的物理、化学及机械性能。

二、常见的金属晶格

由于金属键有很强的结合力,所以金属晶体中的原子具有密排的倾向,这便使晶格排列形式的类型大为减少,而且具有对称性和比较简单的几何形式的特点。而非金属晶体,则一般却具有比较复杂的晶格,其对称性也较低。

在金属元素之中,常见的晶格形式有以下三种:

(一) 体心立方晶格

体心立方晶格的晶胞如图 2-2 所示,由八个原子构成一个立方体,在立方体的体积中心还有一个原子。其晶格常数 $a=b=c$,故常以一个常数 a 表示。属于这类晶格的金属有: α -Fe(910°C 以下的纯铁)、铬(Cr)、钼(Mo)、钨(W)、钒(V)等。

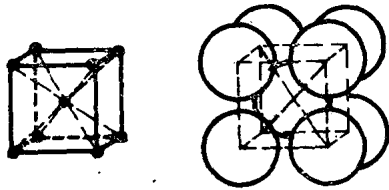


图 2-2 体心立方晶胞

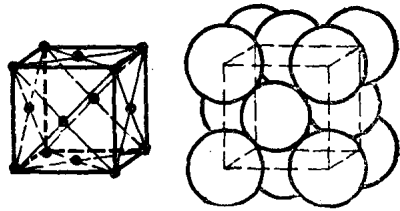


图 2-3 面心立方晶胞

(二) 面心立方晶格

面心立方晶格的晶胞如图 2-3 所示,由八个原子构成一个立方体,并在立方体的六个面的中心各有一个原子。属于这种类型晶格的金属有: γ -Fe($912\sim 1394^\circ\text{C}$ 的纯铁)、铜(Cu)、铝(Al)、镍(Ni)等。

(三) 密排六方晶格

密排六方晶格的晶胞如图 2-4 所示,是一个六方柱体。柱体的上、下底面六个角及中心各有一个原子,柱体中心还有三个原子。属于这类晶格的金属有:铍(Be)、镁(Mg)、锌(Zn)、镉(Cd)等。

上述三种晶格中,原子排列的致密程度不同。经计算表明:体心立方晶格中原子占总体积的 68%,而面心立方晶格和密排六方晶格中,有 74% 的体积被原子所占据。这就是在对钢铁进行热处理时,由一种晶格转变为另一种晶格时,产生比容变化的重要原因之一。

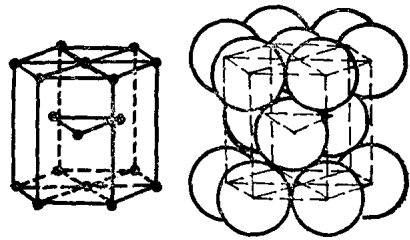


图 2-4 密排六方晶胞

三、单晶体的各向异性

在晶体中,由于各晶面和各晶向上的原子排列密度不同,因而在同一晶体的不同晶面和晶向上的各种性能不同,这种现象称为“各向异性”。

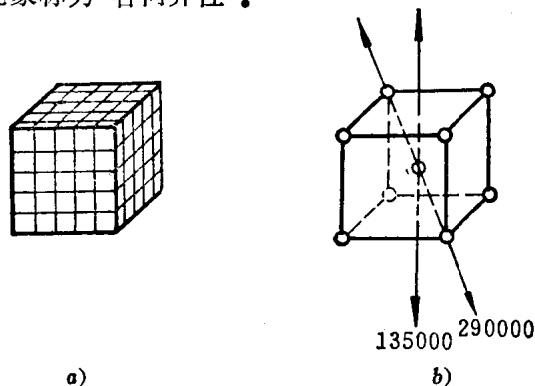


图 2-5 铁的单晶体及其各方向上的弹性模量示意图

结晶方位完全一致的晶体称为“单晶体”,如图 2-5a 所示。单晶体具有各向异性的特征,即在晶体的各个晶向上具有不同的物理、化学和机械性能。例如 α -Fe 的单晶体,由于它在不同晶向上的原子密度不同,则原子结合力便不同,因而其弹性模量 E 也不同,在体对角线方向上, $E=290000\text{N/mm}^2$,而沿立方体的一边方向上 $E=135000\text{N/mm}^2$,如图 2-5b 所示。

但是,工业上实际应用的金属材料,一般不具有各向异性的特征。例如对纯铁进行测定,无论从任何方向取样,其弹性模量均为 $E=210000\text{N/mm}^2$ 。这是因为上述晶体是理想的单晶体结构,而实际上工业用的金属晶体结构大多属于多晶体。

第二节 实际金属结构

一、多晶体结构

在工业生产中,单晶体的金属材料除专门制作外基本上是不存在的。实际的金属结构都包含着许多小晶体,每个小晶体内的晶格方位是一致的,而各小晶体之间彼此方位不同。如图 2-6 所示。由于每个小晶体都具有不规则的颗粒状外形,故称为“晶粒”;晶粒与晶粒之间的界面叫做“晶界”。由于晶界是两相邻晶粒不同晶格方位的过渡区,所以在晶界上原子排列总是不规则的。这种由多晶粒组成的晶体结构称为“多晶体”。在多晶体金属中,一般来说,不显示各向异性。这是因为在多晶体中各个晶粒的位向紊乱,其各向异性显示不出来,结果使多晶体呈现各向同性,这种状态也称“伪无向性”。但在某种条件下,多晶体也能显示出方向性来,这将在以后介绍。

晶粒的尺寸,钢铁材料一般为 $10^{-1}\sim 10^{-3}\text{mm}$ 左右,所以必须在显微镜下才能观察到。在显微镜下观察到的各种晶粒的形态、大小和分布情况,叫做“显微组织”。有色金属,如铜、铝、锡、锌等晶粒,一般都比钢铁的晶粒大些,通常用肉眼可看见,例如镀锌钢板表面的锌晶粒,其尺寸通常