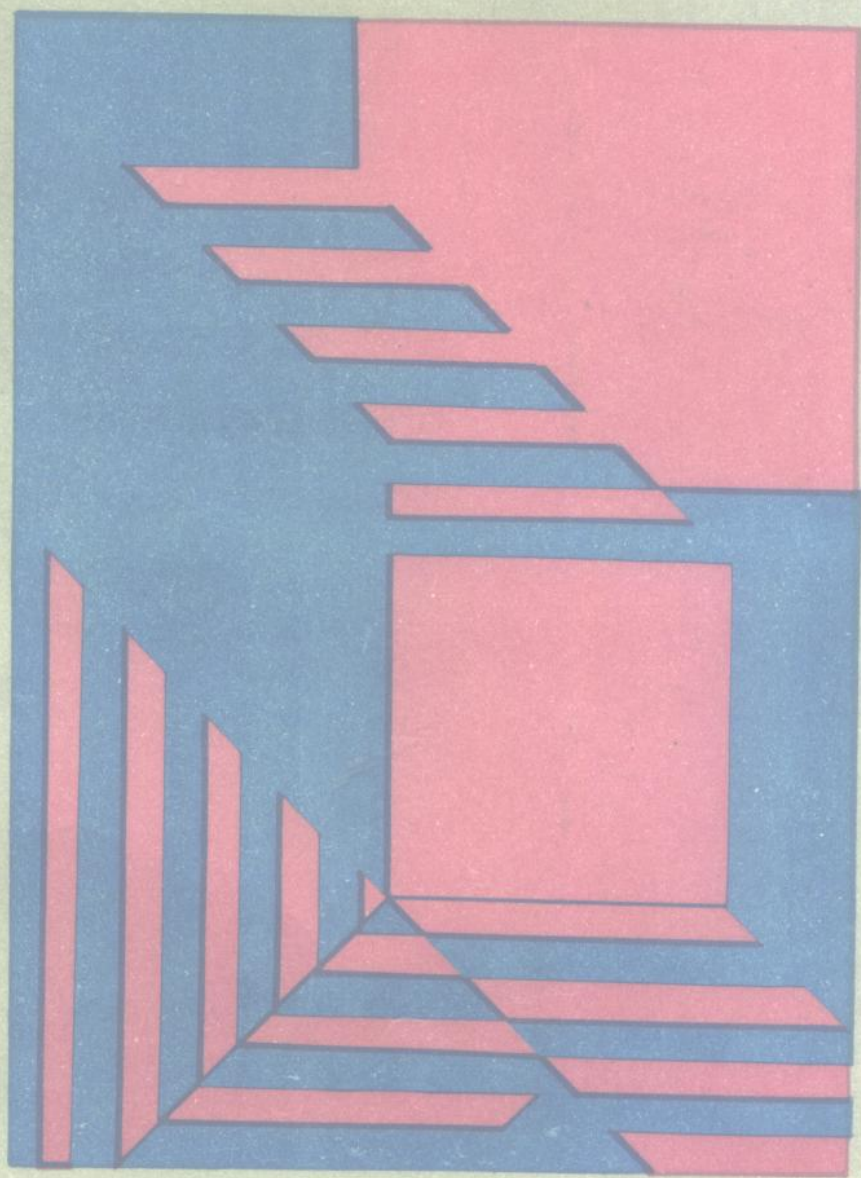


高等工科院校系列教材

机械工程材料

王敬端 肖开淮 刘廷芬 主编



重庆大学出版社

392070

TH16
V24

机械工程材料

王敬端 肖开淮 刘廷芬 主编



重庆大学出版社

内容提要

本书从高等工程专科学校机械类专业教学实际需要出发,扼要阐明机械工程材料的基本知识与基本理论,介绍常用机械工程材料及其应用。全书共分十章:包括金属材料的机械性能;金属的晶体结构与结晶;二元合金;钢的热处理;碳素钢与合金钢;铸铁;有色金属材料;非金属材料;机械零件选材及热处理工序位置的安排。本书对传统、繁琐的理论内容根据专业需要有所简化,适当引进新技术、新工艺和新材料,尽量突出实际应用。每章后附有习题与思考题。

本书为高等院校专科机械类或近机类教材,也可作为职工大学、业余大学及培训班的教材,亦可作有关技术人员的参考书。



王敬端 肖开淮 刘廷芬 主编
责任编辑 蒋怒安

重庆大学出版社出版发行
新华书店经销
重庆大学印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10.75 字数:268千
1994年12月第1版 1994年12月第1次印刷
印数:1-8000

ISBN 7-5624-0841-6/TH·38 定价:7.50元

(川)新登字 020号

序

近年来我国高等专科教育发展很快,各校招收专科生的人数呈逐年上升趋势,但是专科教材颇为匮乏,专科教材建设工作进展迟缓,在一定程度上制约了专科教育的发展。在重庆大学出版社的倡议下,中国西部地区14所院校(云南工学院、贵州工学院、宁夏工学院、新疆工学院、陕西工学院、广西大学、广西工学院、兰州工业高等专科学校、昆明工学院、攀枝花大学、四川工业学院、四川轻化工学院、渝州大学、重庆大学)联合起来,编写、出版机类和电类专科教材,开创了一条出版系列教材的新路。这是一项有远见的战略决策,得到国家教委的肯定与支持。

质量是这套教材的生命。围绕提高系列教材质量,采取了一系列重要举措:

第一,组织数十名教学专家反复研究机类、电类三年制专科的培养目标和教学计划,根据高等工程专科教育的培养目标——培养技术应用型人才,确定了专科学生应该具备的知识和能力结构,据此制订了教学计划,提出了50门课程的编写书目。

第二,通过主编会议审定了50门课程的编写大纲,不过分强调每门课程自身的系统性和完整性,从系列教材的整体优化原则出发,理顺了各门课程之间的关系,既保证了各门课程的基本内容,又避免了重复和交叉。

第三,规定了编写系列专科教材应该遵循的原则:

1. 教材应与专科学生的知识、能力结构相适应,不要不切实际地拔高;
2. 基础理论课的教学应以“必须、够用”为度,所谓“必须”是指专科人才培养规格之所需,所谓“够用”是指满足后续课程之需要。

3. 根据专科的人才培养规格和人才的主要去向,确定专业课教材的内容,加强针对性和实用性;

4. 减少不必要的数理论证和数学推导;

5. 注意培养学生解决实际问题的能力,强化学生的工程意识;

6. 教材中应配备习题、复习思考题、实验指示书等,以方便组织教学;

7. 教材应做到概念准确,数据正确,文字叙述简明扼要,文、图配合适当。

第四,由出版社聘请学术水平高、教学经验丰富、责任心强的专家担任主审,严格把住每门教材的学术质量关。

出版系列专科教材堪称一项“浩大的工程”。经过一年多的艰苦努力,系列专科教材陆续面市了。它汇集了中国西部地区14所院校专科教育的办学经验,是西

部地区广大教师长期教学经验的结晶。

纵观这套教材,具有如下的特色:它符合我国国情,符合专科教育的教学基本要求和教学规律;正确处理了与本科教材、中专教材的分工,具有很强的实用性;与出版单科教材不同,有计划地成套推出,实现了整体优化。

这套教材立足于我国西部地区,面向全国市场,它的出版必将对繁荣我国的专科教育发挥积极的作用。这套教材可以作为大学专科及成人高校的教材,也可作为大学本科非机类或非电类专业的教材,亦可供有关工程技术人员参考。因此我不揣冒昧向广大读者推荐这套系列教材,并希望通过教学实践后逐版修订,使之日臻完善。

吴云鹏

1993年
仲夏

前 言

本书是在西部地区工科院校专科教材建设委员会组织领导下,根据国家教委批准的高等工程专科学校机械类专业《机械工程材料》教学基本要求,遵循既有针对性又有适应性,既加强学生的基本功训练又传授先进技术知识,符合国家教委要求的大专生培养目标和基本要求的教材。

《机械工程材料》是机械制造专业的一门必修技术基础课。本书从机械工程材料的应用出发,通过基本理论和基本知识的阐述,掌握材料的成分、组织和性能的关系,了解常用机械工程材料的性能与应用范围,使学生具备为满足机械零件的使用条件和性能要求下,进行合理选择材料、确定热处理方法及其工序位置的能力。本书适用学时数为50~60,各校可根据具体情况进行删减或补充。

本书力图简化理论内容,突出实际应用,适当引用新材料、新技术和新工艺。贯彻国家新标准。每章后附有习题和思考题。

参加本书编写的教师,具有相当理论水平和丰富教学经验,他们是云南工学院王敬端(绪论、第五章)、攀枝花大学肖开淮(第二、七、三和十章部分)、昆明工学院刘廷芬(第六章)、陕西机械学院苏建璋(第一、十章部分)、贵州工学院陈钟琼(第三章)、渝州大学全钰泰(第八、九章)、四川轻化工学院简德(第四章)。本书由王敬端任主编,肖开淮、刘廷芬任副主编,全书由王敬端统稿,昆明工学院黄国钦教授主审。

由于编者水平所限,加之时间仓促,书中难免有错误和不足之处,恳请各位老师和读者批评指正。

编者

1993年7月

目 录

绪论	1
第一章 金属材料的机械性能	3
§ 1-1 弹性与刚度	3
§ 1-2 强度	4
§ 1-3 塑性	4
§ 1-4 冲击韧性	5
§ 1-5 疲劳强度	5
§ 1-6 硬度	5
§ 1-7 断裂韧性	8
§ 1-8 常用机械性能指标在工程中的意义	8
习题与思考题	10
第二章 金属的晶体结构与结晶	11
§ 2-1 纯金属的晶体结构	11
§ 2-2 实际金属的晶体结构	13
§ 2-3 金属的结晶	15
习题与思考题	18
第三章 二元合金	19
§ 3-1 合金的相结构	19
§ 3-2 二元合金相图	22
§ 3-3 铁碳合金	30
习题与思考题	41
第四章 金属的塑性变形与再结晶	43
§ 4-1 金属与合金的塑性变形	43
§ 4-2 塑性变形对金属组织与性能的影响	46
§ 4-3 变形金属在加热过程中组织和性能的变化	47

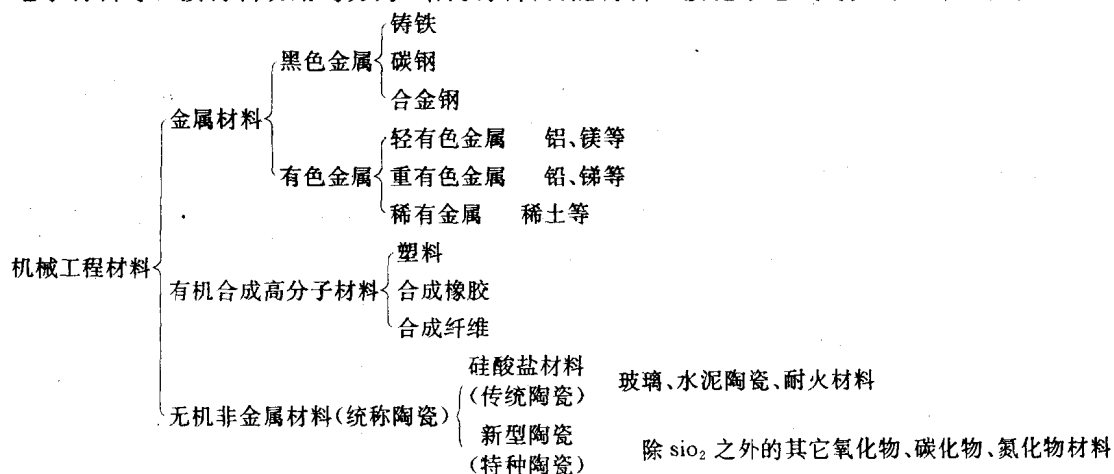
§ 4-4 金属热塑性变形后组织和性能的变化	49
习题与思考题	50
第五章 钢的热处理	52
§ 5-1 钢在加热时的转变	52
§ 5-2 钢在冷却时的转变	54
§ 5-3 钢的退火与正火	60
§ 5-4 钢的淬火	62
§ 5-5 淬火钢的回火	67
§ 5-6 钢的表面淬火	69
§ 5-7 钢的化学热处理	71
习题与思考题	75
第六章 碳素钢与合金钢	77
§ 6-1 碳素钢	77
§ 6-2 合金元素在钢中的作用	82
§ 6-3 合金钢的分类和编号	85
§ 6-4 合金结构钢	85
§ 6-5 合金工具钢	94
§ 6-6 特殊性能钢	100
§ 6-7 硬质合金	105
习题与思考题	106
第七章 铸铁	108
§ 7-1 概述	108
§ 7-2 灰铸铁	109
§ 7-3 可锻铸铁	113
§ 7-4 球墨铸铁	115
§ 7-5 合金铸铁简介	117
习题与思考题	119
第八章 有色金属及其合金	120
§ 8-1 铝及铝合金	120
§ 8-2 铜及铜合金	125
§ 8-3 轴承合金	128
习题与思考题	131
第九章 非金属材料	132
§ 9-1 塑料	132

§ 9-2 橡胶	136
§ 9-3 陶瓷	137
§ 9-4 复合材料	138
习题与思考题	139
第十章 机械零件的选材及热处理工序位置的安排	141
§ 10-1 机械零件的失效	141
§ 10-2 机械零件的选材	143
§ 10-3 热处理零件的结构工艺性及热处理工序位置的安排	146
§ 10-4 典型零件的选材及热处理	149
习题与思考题	155
参考文献	157

绪 论

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,使之成为新技术革命提供坚实的物质基础。

材料的种类繁多,用途广泛。按工程类别可分为:土建工程材料,机械工程材料,电工材料,电子材料等。按材料功用可分为:结构材料,功能材料。按化学组成可分为以下三大类:



本教材所述及的主要是机械工程上所用的结构材料,并按成分分类加以介绍。

目前在机械制造业中应用最广泛的仍是金属材料。在各种机器设备中,金属材料约占90%以上。例如,一般的机床,其自重的70%左右为铸铁,20%为碳钢,其余是合金钢及少量有色金属、塑料等。这是由于金属材料不仅来源丰富,而且具有优良的使用性能和工艺性能。优良的使用性能可满足生产和生活上的各种需要;优良的工艺性能,则可使金属材料易于采用各种加工方法,制成各种形状、尺寸的零件和工模具等。

金属材料具有许多的优良性能,仍是机械制造业中应用最广泛的材料,但是由于科学技术的发展对材料的要求越来越高,越来越严格。对某些零件的使用性能要求很高的情况下,例如,要求高硬度、高弹性、耐高温、耐腐蚀、绝缘性能好,比强度大等等,金属材料已无法满足;另一方面,由于矿产资源日益减少和其它新型材料的兴起,金属材料的统治地位已逐渐被削弱。近数十年来,开始使用高纯度的原料代替过去的天然物料来制备现代陶瓷,使陶瓷具有许多优异的性能;不仅使用天然的有机高分子材料,还使用人工合成有机高分子材料,来满足工农业生产及生活的需要。因此,人们开始把注意力转移到陶瓷与有机高分子合成材料的研究和使用。非金属材料的用量正以数倍于金属材料的速度增长着。

随着机械工业产品向着高速度、高效能、高参数和精密、大型、轻量等方向发展,在机械产

品的设计和制造过程中,如何从品种繁多的工程材料中,合理地选用材料、正确地制定材料的加工工艺,这对于充分发挥材料的性能潜力,保证材料具有良好的加工工艺性能,获得理想的使用性能,提高产品零件的质量,节省材料,降低生产成本等方面产生重大的影响。要想获得先进产品的高质量和高性能,除了先进的设计外,在很大程度上还和所选用的材料有关。因此机械产品在市场上的竞争力,也取决于所选用材料的性能、价格和加工成本。大量的事实告诉我们,由于选材不当或加工工艺不妥,使机械零件的使用性能达不到规定的技术要求,而导致在使用中发生早期损坏,如产生变形、断裂或磨损等,而导致零件失效。因此掌握机械工程材料的知识对于机械制造工作者来说是必须具备的。

《机械工程材料》是机械类和近机类各专业的技术基础课。学习本课程前学生应先学完材料力学,参加过金工实习,对机械工程材料的工艺过程及应用要具有一定的感性认识。本课程的主要任务是从机械工程材料的应用角度出发,阐明材料的基本理论;熟悉常用机械工程材料的成分、加工工艺、组织结构与性能之间关系;熟悉常用机械工程材料的性能与应用范围。目的是使学生获得有关机械工程材料的基本理论、基本知识,具有根据机械零件使用条件和性能要求,进行合理选用材料、确定热处理方法及其工序位置的初步能力。

本课程的内容主要由两大部分组成。第一部分是金属学的理论基础,主要讨论金属及合金的晶体结构和结晶,金属在固态下的组织转变、热处理工艺及金属的塑性变形等。学习这部分的基础理论知识,在于掌握工程材料内部组织结构和变化规律,采用适当的方法和手段,从而改善材料的性能。第二部分是讲述机械工程所用的各类材料,其中主要是介绍钢铁材料和常用的有色金属材料以及新兴的各种非金属材料,着重阐述各种材料的性能特点和应用范围。最后一章机械零件的选材及热处理工序位置的安排,是选材的综合运用。

本课程具有一定的理论性和较强的应用性,学习中应注意重于分析、理解与运用,应注意所学知识的综合运用。除了系统的基础理论、基础知识学习外,还要密切联系生产实际,重视实践和实验环节,认真完成作业,以利于提高分析问题、解决问题的能力。

第一章 金属材料的机械性能

机械零件在使用过程中,要承受或传递载荷,彼此间往往有相对运动,有的还要受到高温、低温或腐蚀介质的作用。为了保证零件正常工作,材料必须具备相应的使用性能,它包括强度、刚度、硬度、塑性、韧性等机械性能(或称力学性能),密度、熔点、热膨胀系数、热导率、电导率、磁导率等物理性能,以及耐蚀性、抗氧化性等化学性能。此外,为适应零件制造过程中各种加工工艺的需要,材料还应具有良好的工艺性能,如铸造性能、压力加工性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能等。

机械零件除在特殊条件下要求材料具有一定的物理、化学性能外,一般在选用材料及设计制造时,都以机械性能指标作为主要依据。

§ 1-1 弹性与刚度

在标准试样的两端缓慢地施加拉伸载荷,使试样在工作部分受轴向拉力 P ,并引起试样沿轴向产生伸长 ΔL 。随着 P 值的增加, ΔL 也相应增大,直到断裂为止。把这种关系用图表示出来就是拉伸图。图 1-1 为退火低碳钢的拉伸图,如果把图中纵坐标所表示的载荷除以试样的原始截面积 F_0 ,就得到拉应力 σ (单位截面上的拉力),用横坐标表示的伸长量 ΔL 除以试样原始标距长度 L_0 ,就得到应变 ϵ (单位长度的伸长量),所得应力-应变图,如图 1-2 所示。应力-应变图不受试样尺寸的影响,可以从图上直接读出受检材料的常规力学性能指标。

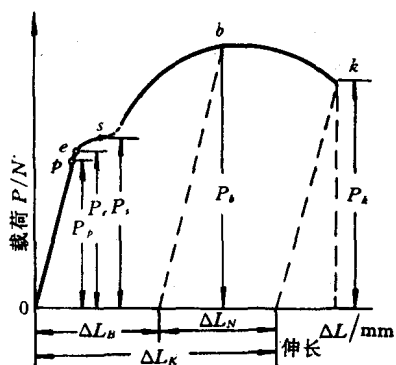


图 1-1 退火低碳钢的拉伸图

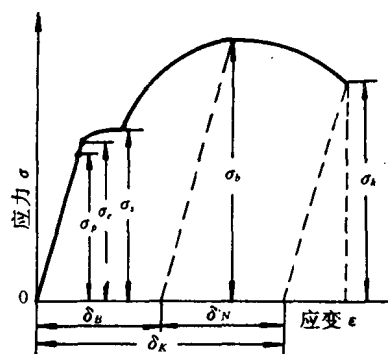


图 1-2 退火低碳钢的应力-应变图

在图 1-1 中 e 点以前若去掉载荷,试样能恢复原状,这种不产生永久变形的能力称为弹性。 e 点为试样不产生永久变形所能承受的最大拉应力,称为弹性极限。用 σ_e 表示,单位为 N/mm^2 (或 MPa),其值为

$$\sigma_e = P_e / F_0$$

式中, P_e 是拉伸到 e 点时的外加载荷, 单位为 N ; F_0 是试样的原始截面积, 单位为 mm^2 。

OP 段是直线, 表示应力与应变成正比关系。对应于 P 点所加载荷的应力称为比例极限, 用 σ_p 表示, 单位为 MPa 。其值为

$$\sigma_p = P_p / F_0$$

当应变与应力成正比关系时, 应力和应变的比值是个常数。其值为

$$\sigma / \varepsilon = E$$

E 称为弹性模量。 E 值愈大, 表示在产生相同变形量时外加应力的值愈大, 说明材料产生弹性变形困难。反之则易。所以弹性模量 E 值的大小可以衡量材料产生弹性变形的难易程度。工程上把它叫材料的刚度。刚度愈大, 则材料在一定应力下产生的弹性变形愈小。

§ 1-2 强 度

在外力作用下, 材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。当试样承受拉力时, 强度特性的指标主要是屈服强度和抗拉强度。

屈服强度 在图 1-1 中, 拉伸曲线在 S 点出现一水平线段。这表明拉力虽然不再增加, 但变形仍在增大。此刻若卸去载荷, 则试样的变形不能完全恢复, 这种不能恢复的残余变形叫做塑性变形。所以, S 点就是材料从弹性变形状态过渡到塑性变形状态的临界点。它所对应的应力为材料在外力作用下开始发生塑性变形的最低应力值, 称为屈服极限或屈服强度, 用 σ_s 表示, 其单位为 MPa 。计算方法为

$$\sigma_s = P_s / F_0$$

有些材料在拉伸曲线上没有明显的屈服点, 无法确定开始塑性变形的最低应力值。因此, 规定试样产生 0.2% 残余伸长时的应力值为该材料的条件屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

抗拉强度 是试样被拉断前的最大承载应力, 对应于图 1-1 中拉伸曲线上 b 点的应力值, 用 σ_b 表示, 单位为 MPa 。其值的计算法为

$$\sigma_b = P_b / F_0$$

抗拉强度的物理意义在于它反映材料最大均匀变形的抗力, 表征材料在拉伸条件下所能承受的最大载荷的应力值。它是设计选材的主要依据之一。

屈服强度与抗拉强度的比值叫屈强比。屈强比愈小, 工程构件的可靠性愈高, 万一超载不至于马上断裂。此值太小, 材料强度的有效利用率太低。

§ 1-3 塑 性

材料断裂前发生塑性变形的能力叫塑性。塑性以材料断裂后残留塑性变形的大小来表示。在拉伸时它们分别为伸长率(δ)和断面收缩率(ψ)表示。

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

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

式中, L_K 和 F_K 分别是拉断时试样的长度和拉断处的截面积。

δ 和 ψ 都是材料塑性的指标, 它们的值越大, 材料的塑性愈好。

§ 1-4 冲击韧性

材料抵抗冲击载荷的能力叫冲击韧性。由材料力学实验可知, 对冲击韧性测定时其试样带的缺口形状不同, 可分为梅氏试样和夏氏试样。其冲击韧性值用 a_K 表示。梅氏试样带有半圆缺口, 而夏氏试样的缺口为 V 形。我国国家标准规定用梅氏试样。英、美、日等国用夏氏试样。近年来, 国内使用夏氏试样的已日渐增多。梅氏试样测得的冲击值的单位是 J/cm^2 , 而夏氏试样测得的冲击韧性是用冲击功表示, 其单位是 J。

§ 1-5 疲劳强度

有一类动载荷, 它的大小和方向呈周期性变化, 称为交变载荷。最简单的交变载荷如图 1-3 所示。

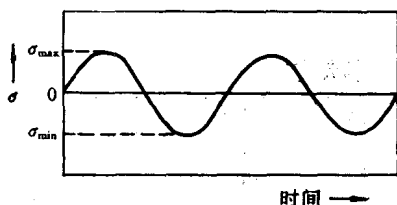


图 1-3 交变载荷示意图

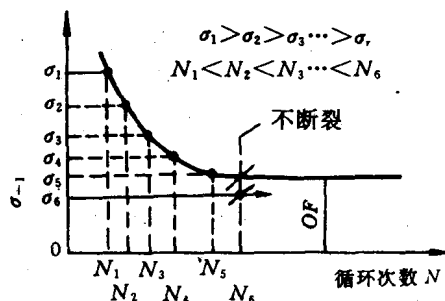


图 1-4 疲劳曲线示意图

零件受交变载荷作用时, 即使工作应力低于屈服强度, 但经过一定循环周次后仍会发生断裂, 称之为疲劳断裂。交变应力大小和断裂循环周次之间的关系通常用疲劳曲线来描述(图 1-4)。疲劳曲线表明, 当应力低于某一值时, 即使循环周次无穷多也不发生断裂, 此应力值称为疲劳强度或疲劳极限。光滑试样的对称弯曲疲劳极限用 σ_{-1} 表示, 单位为 MN/m^2 。在疲劳强度的测定中, 不可能把循环次数作到无穷大, 而是规定一定的循环次数作为基数, 超过这个基数就认为不再发生疲劳破坏。常用钢材的循环基数为 10^7 , 有色金属和某些超高强度钢的循环基数为 10^8 。

影响疲劳强度的因素甚多, 其中主要有循环应力特性、温度、材料的成分和组织、表面状态、残留应力等。钢的疲劳强度约为抗拉强度的 40~50%, 有色金属约为 25~50%。

§ 1-6 硬度

硬度是指材料表面抵抗塑性变形或破坏的能力。它是衡量材料软硬程度的性能指标。硬度的物理意义随试验方法的不同而异。在应用广泛的压入法硬度试验中, 硬度为材料表面抵抗其它物体压入的能力。工程上常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

布氏硬度 其试验是用一定的载荷 P , 将直径为 D 的圆球压入被测材料的表面(图 1-5),

保持一定时间后卸去载荷,以载荷与压痕表面积 F 的比值作为布氏硬度值。表示布氏硬度的符号为 HB。从几何关系可求得

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

式中只有 d 是变量,只要在试验后测出压痕直径 d ,就可求出 HB 值。其单位一般都不标出。布氏硬度值愈高,表示材料愈硬。

布氏硬度计压头中圆球的材质对测得的硬度值有影响,一般说来,用不易变形的圆球的压头试验所得值高,特别是当试样的硬度高时,这种现象尤为严重。通常淬火钢球的使用界限为 450HB,硬质合金球的使用界限为 650HB。

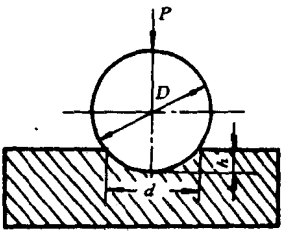


图 1-5 布氏硬度试验原理示意图

加载保持时间对布氏硬度测定值也有影响,其值随加载保持时间增长而降低。所以,在布氏硬度符号中要把圆球材质、圆球直径(mm)、加载数量(N)、保持时间(s)都表示出来。通常只用数字表示,并不标出上述各量的单位。例如 240HBS5/7500/30,表示用直径为 5mm 的圆球、载荷为 7500N、载荷保持时间为 30 秒,测得的硬度值为 240。圆球的材质在布氏硬度符号中也表示出来,淬火钢球用 S 表示,硬质合金球用 W 表示。240HBS5/7500/30 是压头中的圆球为淬火钢球测出的。240HBW5/7500/30 是压头中的圆球为硬质合金球测出来的。只有当使用 $D=10\text{mm}$ 、 $P=30\text{kN}$ 、载荷保持时间为 10 秒的标准试验规范测得的硬度值不标出试验条件。记为 240HBS 或 240HBW。

表 1-1 布氏硬度试验规程

被测金属类型	试件厚度 mm	布氏硬度值(HB) 范围	载荷 P 与钢球 直径 D 的相互 关系	钢球直 径 D mm	载荷 P N	加载保 持时间 s
黑色 金属	6~3	140~450	$P=30D^2$	10	30000	10
	4~2			5	7500	
	<2			2.5	1875	
金 属	>6	<140	$P=10D^2$	10	10000	10
	6~3			5	2500	
	<3			2.5	625	
有 色 金 属	6~3	>130	$P=30D^2$	10	30000	30
	4~2			5	7500	
	<2			2.5	1875	
金 属	>6	36~130	$P=10D^2$	10	10000	30
	6~3			5	2500	
	<3			2.5	625	
属	>6	8~35	$P=2.5D^2$	10	2500	60
	6~3			5	625	
	<3			2.5	156	

由于被测材料有软有硬,所测工件有薄有厚,如果只采用一个标准的载荷 P (如 $P=30\text{kN}$) 和钢球直径 D (如 $D=10\text{mm}$) 时,对于硬材料(如钢铁)合适,对于软材料(如铅、铝)就不合适,整个钢球都会陷入金属中;同样,若对于厚件合适,对于薄件(工件厚度小于 2mm)就不合适,这时工件可能被压透。此外,压痕直径与钢球直径 D 的比值不能太小或太大。此值在

0.25D<d<0.6D 范围内时,测得的数据才可靠。因此,在生产上应用这一试验时,要求采用不同的 P 和 D 的搭配,具体情况如表 1-1 所示。

在硬度试验时,由于压痕的形成和发展,压痕附近金属的性能要发生变化,其影响深度可达压痕深度的 8~10 倍。所以试样的厚度不应小于压痕深度的 10 倍。在布氏硬度试验中,P 和 D 的搭配不同,压痕深度也不同,所对应的试样最小厚度也不同。设计者为了能做到根据零件厚度正确标注硬度技术条件,就不可忽视布氏硬度试验中试样厚度的最小允许尺寸。其数据可参见有关试验。

洛氏硬度试验是在先后两次施加载荷(初载荷 P_0 和总载荷 P)的条件下,将标准压头(顶角为 120° 的金刚锥或直径为 1.59mm 的钢球)压入试样表面来进行的。试验原理如图 1-6 所示。图中 0-0 为压头的初始位置;1-1 为压头与试样接触并施加初载荷 P_0 后压头压入试样表面,其深度为 h_0 时的位置;2-2 为施加主载荷 P_1 后压头再压入深度为 h_1 时的位置;3-3 是卸去主载荷 P_1 但保留初载荷 P_0 时压头的位置。由于试样压痕处弹性变形的恢复,压头位置提高了 h_2 ,此时,压头在主载荷作用下实际压得的印痕深度为 h 。显然, h 值越小,材料越硬; h 值越大,材料越软。为了照顾人们易于接受正比表示的习惯,把上述规律转换成数值越大硬度越高的正比表示法。用一个常数 K 与 h 的差来表示硬度值的大小,并规定每 0.002mm 为一个硬度单位值来进行刻度。因此,洛氏硬度值没有单位,为一无名数。洛氏硬度用 HR 表示。

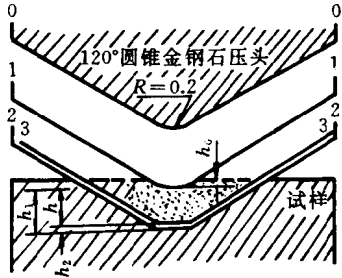


图 1-6 洛氏硬度试验原理图

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

式中,用金刚石圆锥体作压头时 $K=0.2\text{mm}$;用钢球作压头时 $K=0.26\text{mm}$ 。为了便于用洛氏硬度计测定从软到硬较大范围的材料硬度,采用不同的压头和载荷搭配,组成不同的洛氏硬度标尺,搭配方法示于表 1-2 中。

表 1-2 洛氏硬度的试验规范

标尺符号	压头种类	初载荷 N	总载荷 N	表盘刻度	应用范围
HRA	120°金刚石圆锥	100	600	黑色	70~85
HRB	直径为 1.588mm 钢球	100	1000	红色	25~100
HRC	120°金刚石圆锥	100	1500	黑色	20~67

由于常规洛氏硬度试验所用的载荷较大,不宜用来测定极薄工件、氮化层、渗硼层及金属镀层等的硬度。为了解决表面硬度测量,应用洛氏硬度的原理设计制造出一种表面洛氏硬度计。初载荷为 30N,总载荷为 150、300、450N 三种,以每 0.001mm 压痕深度为一个硬度单位,常数 K 为 0.1mm。表面洛氏硬度的标尺及试验规范示于表 1-3 中。

和布氏硬度试验一样,为获得可靠的试验结果,洛氏硬度和表面洛氏硬度试验对试样的最小厚度也有要求,其数据查阅有关试验。

除了布氏、洛氏硬度之外,还有许多其它类型的硬度试验方法,例如,属于压入法的维氏硬度 HV、克努普(努氏)硬度 HK;属于回跳法的肖氏硬度 HS 等等。可以根据具体情况进行选用。

表 1-3 表面洛氏硬度标尺及试验规范

压头类型	120°金刚石圆锥			直径为 1.588mm 淬火钢球		
标尺符号	HR15N	HR30N	HR45N	HR15T	HR30T	HR45T
总载荷(N)	150	300	450	150	300	450

从长期的科学实验和生产实践中知道,材料的强度和硬度之间存在着一个普遍规律,即材料的强度高时,它的硬度也高。经过长期的校验与积累,得到如表 1-4 所示的对照关系。根据此表能很方便地把设计计算用的抗拉强度变换成施工图纸上用来控制零件热处理质量的热处理技术条件。

§ 1-7 断裂韧性

有的大型转动零件、高压容器、桥梁等,常在其工件应力远低于 σ_s 的情况下,突然发生低应力脆断。这种破坏与制件本身存在裂纹和裂纹扩展有关。工程上实际使用的材料中,常常存在一定冶金和加工缺陷,都相当于裂纹或在使用中发展为裂纹。

材料中存在裂纹时,裂纹尖端就是一个应力集中点,而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 值的大小与裂纹尺寸($2a$)和外加应力(σ)有下列关系:

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

式中, Y 为与裂纹形状、加载方式和试样几何尺寸有关的一个无量纲的系数; σ 为外加应力(N/mm^2); a 为裂纹的半长(mm)。

由上式可见,随应力的增大, K_I 不断增大,当 K_I 增大到某一定值时,这可使裂纹前沿的内应力大到足以使材料分离,从而导致裂纹突然失稳、扩展而发生断裂,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。

§ 1-8 常用机械性能指标在工程中的意义

生产实际中,常根据零件在服役过程中的受力情况和损坏方式提出对机械性能的要求。常用的机械性能指标中有一些可用于定量的设计计算,如微量塑性变形抗力(比例极限 σ_p 、弹性极限 σ_e 、屈服强度 $\sigma_{0.2}$)、抗拉强度 σ_b 、疲劳极限 σ_{-1} 等;另外一些指标,如塑性(延伸率 δ 、断面收缩率 ψ)、冲击韧性(a_k)以及硬度(HB、HRC)等则不能直接用于定量计算。对于能用于定量计算的机械性能指标,也应该注意它们各自获得的条件与适用范围。

硬度虽然不能用于定量计算,但硬度仍是最常用的机械性能指标。生产中控制或检查零件质量最简便的方法就是作硬度试验。因为硬度和抗拉强度之间存在一定的关系,而抗拉强度与其它机械性能指标之间有一定关系,见图 1-7。因此,当对材料施行的热处理得当时,通过硬度试验可以预测材料的抗拉强度及其它力学性能指标 σ_s 、 δ 、 ψ 、 σ_{-1} 和 a_k 。

硬度还和磨损抗力有关。例如,对于工作过程中主要以磨损而失效的零件,一般希望材料