

国家精品课程 国家“十一五”规划教材配套实验教程

材料的宏微观力学性能 实验指导

杨 丽 黄勇力 周益春 编著

湘潭大学出版社

国家精品课程 国家“十一五”规划教材配套实验教程

材料的宏微观力学性能 实验指导

杨丽 黄勇力 周益春 编著

湘潭大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

材料的宏微观力学性能实验指导 / 杨丽, 黄勇力, 周益春编著. — 湘潭: 湘潭大学出版社, 2009.9

ISBN 978-7-81128-109-5

I. 材… II. ①杨…②黄…③周… III. 材料力学—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TB301-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 128610 号

材料的宏微观力学性能实验指导

杨 丽 黄勇力 周益春 编著

责任编辑: 罗 联

封面设计: 胡 瑶

出版发行: 湘潭大学出版社

社 址: 湖南省湘潭市 湘潭大学出版大楼

电话(传真): 0731-58298966 邮编: 411105

网 址: <http://xtup.xtu.edu.cn>

印 刷: 长沙瑞和印务有限公司

经 销: 湖南省新华书店

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 11

字 数: 265 千字

版 次: 2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-81128-109-5

定 价: 22.00 元

(版权所有 严禁翻印)

内容简介

本书是国家精品课程、国家“十一五”规划教材《材料的宏微观力学性能》(高等教育出版社出版)的配套实验指导教材。全书共分三部分:基础性实验部分、综合性实验部分和创新性实验部分。全书共 45 个实验,内容涉及材料的常规力学性能测试,如基本力学性能、硬度、断裂韧性和残余应力;在工程应用中应用最广的金属材料的力学性能表征,如金属的疲劳、蠕变、疲劳和蠕变的交互作用以及金属材料在环境介质中的力学性能;一些特殊材料如智能材料、薄膜材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料的某些宏微观力学性能的表征;设计了一些采用专门的计算机软件来模拟分析材料的宏微观力学性能方面的实验。在每个实验中,对实验原理、实验目的、实验方法与步骤等均有较详细的叙述和较严格的要求。

本书可作为材料科学与工程、力学、机械等专业本科生的实验指导教材,亦可作为有关专业研究生、教师、科研及工程技术人员的参考书。

序

材料的宏微观力学性能是材料科学的一个重要领域,结构型和功能型材料在制备(制造)、加工和使用过程中都涉及一系列的力学问题。材料高效、安全、低耗和环保性能的实现,材料的使用效率及使用寿命的预测,都建立在其力学性能的系统分析之上。对材料的宏微观力学性能进行科学分析的能力是材料专业本科生和研究生必备的素质之一。周益春教授主编的《材料的宏微观力学性能》为相关教学和科研人员提供了一套高水平的教材。

该教材比较系统地介绍了金属结构材料、非金属结构材料和各种功能材料的宏微观力学性能,以及在各种载荷作用下材料的宏微观破坏机制。在编写过程中注重“结构”与“功能”、“宏观”与“微观”、“科学理论”与“工程应用”的结合,融进了国内外前沿的研究成果,如应变梯度理论与尺度效应、跨尺度数值模拟、微观破坏力学分析、智能材料力学性能、薄膜材料力学性能、涂层材料力学性能等。

这套教材的编写体现出了三个显著特征。

一是科学方法与科学理论的有机结合。现代材料科学的发展日新月异,真正掌握该学科的科学方法比单纯死记硬背一些基本理论更为重要。该教材在介绍本学科基本理论、主要结论的同时,始终重视研究方法的介绍,并将三者有机串联起来,增强了教学内容的吸引力,有助于激发学生科研兴趣和创新活力。

二是教学改革与科学研究的有机结合。该教材凝聚了该教学团队十多年坚持给本科生讲授材料力学性能课程的宝贵经验,融合了该团队在材料学科人才培养方面的一系列教育教学改革成果。不仅如此,该教材还融入了该团队在材料力学性能方面的许多科研成果,引入和介绍了材料和力学学科的最新研究方法和前沿成果,提升了教材的学术品位。

三是理论与工程应用的有机结合。材料科学是工程实践与实际应用性很强的学科。该教材注重科学理论与工程应用的关联,从宏观与微观、理论计算与实验、材料制备与性能检测等方面,把基本理论与应用研究成果融为一体,丰富了教材内容,能够全面培养学生的动手能力和创新能力。

该教材的编写成员长期从事力学和材料学科的教学和科研工作,其中主编周益春教授是“国家杰出青年科学基金”和“国家教学名师”获得者,目前任湘潭大学“低维材料及其应用技术教育部重点实验室”主任。该教材副主编郑学军教授也是“国家杰出青年科学基金”获得者。《材料的宏微观力学性能》课程于2005年被确定为国家精品课程,其教材于2006年

被确定为国家“十一五”规划教材。以该教材作者作为中坚力量的“材料与器件”教研组于2007年获得首批国家级教学团队称号。

我相信该教材的出版将在材料学科人才培养、推动力学与材料学科的交叉融合方面发挥良好的作用。为此,我乐于作序并向读者推荐!

黄伯云

中国工程院院士
中国科学技术协会副主席
中南大学校长

前 言

本书是国家精品课程、国家“十一五”规划教材《材料的宏微观力学性能》(高等教育出版社出版)的配套实验指导教材。书中实验的选编秉承了“厚基础、宽口径、高素质”的教育思想。除了《材料的宏微观力学性能》第1、2章基本理论外,其余每章均配有实验,原则是:每章必有基础性实验,以巩固和深化学生在课堂上学到的知识;根据各章节特点,并结合国际上和编著者最新的科研成果,适当设计部分综合性实验和创新性实验,旨在进一步提高学生的动手能力,更好地将理论用于实践,培养他们的科学素养,激发他们的创新思维能力。

本书实验共有45个,分为基础性实验、综合性实验和创新性实验三大部分。

每个实验均包括实验目的、原理、步骤、报告要求等内容,是教师安排实验、学生完成实验的依据。实验最后还附有主要参考文献,使学生有迹可循。大部分实验提供了仪器照片,以便学生在预习时能事先熟悉设备,更好地了解实验步骤。此外,还附有一定数量的思考题。

本书的编写亦由《材料的宏微观力学性能》教材编写组成员完成,他们是周益春、郑学军、李江宇、罗文波、龙士国、陈尚达、毛卫国、谢淑红、杨丽和黄勇力。全书由杨丽、黄勇力和周益春修改、整理,最后由周益春审阅。

本书的许多成果直接来自于有关教材、专著和学术论文。本书编著者的部分研究成果得到了2个国家自然科学基金杰出青年基金项目(周益春、郑学军)、2个国家自然科学基金重点项目、2个国家863材料领域项目、20个国家自然科学基金面上项目和青年项目、1个教育部重大项目培育基金项目的资助。黄伯云院士还专门为《材料的宏微观力学性能》教材作了序,我们也把这个序作为本书的序。在此,我们对黄伯云院士、对所有引用成果的作者、项目支持的有关部门、参与编写的有关老师和同学表示深深的感谢。

由于我们水平有限,书中难免有不当之处,敬请同行和读者批评指正。

周益春

湘潭大学低维材料及其应用技术教育部重点实验室

2009年4月

目 录

绪论	(1)
第一部分 基础性实验	
实验 1 拉伸法测定材料的弹性模量	(7)
实验 2 低碳钢和铸铁的拉伸实验	(10)
实验 3 金属材料的压缩实验	(15)
实验 4 真应力-真应变曲线的测试	(18)
实验 5 金属材料的布氏硬度测定	(21)
实验 6 金属材料的洛氏硬度测定	(25)
实验 7 金属材料的维氏硬度与显微硬度测定	(29)
实验 8 用三点弯曲方法测定平面应变断裂韧性 K_{IC}	(32)
实验 9 材料表面残余应力的测量	(37)
实验 10 SUS304 不锈钢高温蠕变行为实验	(40)
实验 11 低碳钢材料的疲劳曲线及疲劳极限的实验测定	(43)
实验 12 极化曲线的测定与分析	(48)
实验 13 恒位移法测量金属抗应力腐蚀断裂的临界应力强度因子 K_{ISCC}	(51)
实验 14 恒载荷法测量金属抗应力腐蚀断裂的临界应力强度因子 K_{ISCC}	(54)
实验 15 金属材料的腐蚀疲劳寿命曲线测量	(57)
实验 16 利用 ANSYS 模拟材料的拉伸变形实验	(60)
实验 17 利用 ANSYS 模拟材料的压缩变形实验	(63)
实验 18 透射电镜观察形状记忆合金相变的微观结构	(65)
实验 19 铁电陶瓷压电系数 d_{33} 的测量	(69)
实验 20 高聚物拉伸力学性能实验	(72)
第二部分 综合性实验	
实验 21 纳米压痕法测量薄膜/涂层材料的硬度	(79)
实验 22 用纳米压痕法表征压电薄膜的界面强度	(83)
实验 23 微观应力与亚晶尺寸的测量	(88)
实验 24 用纳米压痕法测量薄膜材料的残余应力	(90)
实验 25 利用 ANSYS 模拟残余应力的产生	(94)

实验 26	用 Material Explorer 模拟金属的轴向拉伸	(96)
实验 27	纳米压痕技术表征薄膜/涂层体系的应力应变关系	(100)
实验 28	用纳米划痕法表征压电薄膜的界面强度	(103)
实验 29	铁电薄膜的电滞回线测量	(106)
实验 30	小负荷压痕法测试陶瓷材料的维氏硬度和断裂韧性	(111)
实验 31	高温环境下热障涂层材料的拉伸力学性能测试分析	(115)
实验 32	热障涂层的弯曲破坏实验	(118)
实验 33	扫描电子显微镜下颗粒增强金属基复合材料损伤的观察	(121)
实验 34	扫描电子显微镜下纤维增强金属基复合材料损伤的观察	(124)
实验 35	颗粒增强金属基复合材料激光热-力疲劳破坏特性实验	(126)

第三部分 创新性实验

实验 36	纳米压痕法表征薄膜材料的尺度效应	(131)
实验 37	拉伸载荷作用下材料损伤与断裂的声发射实时检测	(135)
实验 38	材料损伤的超声检测	(139)
实验 39	电化学和声发射测试技术在环境敏感断裂试验中的应用	(142)
实验 40	铁磁材料在不同应力下的磁滞回线的测量	(146)
实验 41	铁电薄膜铁电疲劳特性	(150)
实验 42	铁电薄膜半导体特性	(153)
实验 43	MFIS 结构铁电薄膜场效应晶体管原型器件的制备与性能表征	(155)
实验 44	拉伸变形对金属薄膜力学性能的影响	(158)
实验 45	热障涂层热力耦合屈曲破坏实验	(161)

主题索引	(165)
------------	-------

绪 论

材料的宏微观力学性能是材料科学的一个重要领域,结构型和功能型材料在制备(制造)、加工和使用过程中都涉及一系列的力学问题。材料高效、安全、低耗和环保性能的实现,材料的使用效率及使用寿命的预测,都建立在其力学性能的系统分析之上。对材料的宏微观力学性能进行科学分析的能力是材料专业本科生和研究生必备的素质之一。基于此,我们编写了国家“十一五”规划教材《材料的宏微观力学性能》(高等教育出版社出版),该教材比较系统地介绍了金属结构材料、非金属结构材料和各种功能材料的宏微观力学性能,以及在各种载荷作用下材料的宏微观破坏机制。在编写过程中注重“结构”与“功能”、“宏观”与“微观”、“科学理论”与“工程应用”的结合,融进了国内外前沿的研究成果,如应变梯度理论与尺度效应、跨尺度数值模拟、微观破坏力学分析、智能材料力学性能、薄膜材料力学性能、涂层材料力学性能等。为了配合该教材的实验教学,我们编写了本教材。

一、实验在材料学科人才培养中起着重要作用

“材料”是早已存在的名词,但“材料科学”的提出却是 20 世纪 60 年代初的事。材料科学所包含的内容往往被理解为研究材料的组织、结构与性质的关系,探索自然规律,这属于基础研究。实际上材料是面向实际、为经济建设服务的,是一门应用科学。研究与发展材料的目的在于应用,而具有实用价值的材料又必须通过合理的工艺流程才能制造出来,通过批量生产才能成为工程材料。所以,继“材料科学”这个名词出现后不久,就提出了“材料科学与工程”。材料工程是指研究材料在制备过程中的工艺和工程技术问题。因此,“材料科学与工程”是研究材料组成、结构、生产过程、材料性能与使用效能以及它们之间关系的一门学科。“材料科学与工程”是物理、力学、化学、冶金学、计算科学相互融合与交叉的结果,它又是一门正在发展中的科学,不像物理学、力学、化学已经有一个很成熟的理论体系,它将随各有关学科的发展而得到充实和完善^[1,2]。

基于材料科学与工程学科的“科学”与“工程”的双重性,我们认为培养材料科学与工程科学学生的理念应该是:掌握“一个工具”(数学),会熟练使用“两种语言”(中文和英文),具备“三个基础”(物理、力学、化学),具有“两个实践”(实验室的实验和学校车间或者企业车间的实践)能力。

我们认为材料科学与工程实验教学的定位是:将实验教学视为培养学生“动手能力、创新能力、具备跨学科综合交叉知识结构的应用能力、合作精神、宏观管理与协调能力”的必要教学环节,通过这个教学环节使学生能够研究和开发出与社会及其生态和谐相处的高性能新材料、改善传统材料。应紧紧抓住“材料”、“科学”与“工程”三个关键词,以“材料制备-组织结构-性能-应用”为主线来建立实验教学体系。将最新的研究成果引入实验教学中,使实

验教学内容体现从“精”到“宽”、从“旧”到“新”和从“学”到“研”的思想。通过实验室的理论性实验和车间的实践,让学生从材料制备、组织结构观察到性能检测,最后投入使用的完整过程有切身体会。使学生既具备较深的理论基础,能进行材料的深入研究,又具备丰富的工程知识,能将成果尽快转化为生产力。因此,实验在材料学科人才培养中起着重要作用。

二、材料力学性能实验的发展情况

力学的起源是和人类活动紧密相关的。从人的生产活动、生活活动开始便出现了力学。比如你要搬一块石头,用手搬不动就用棍子去撬,这就是一个基本的力学规律。固体力学主要研究可变形固体在外界因素(如载荷、温度、湿度等)作用下,其内部各个质点所产生的位移、运动、应力、应变以及破坏等的规律。材料的力学性能是指材料在外载荷作用下的力学行为。最常用的力学性质包括:弹性模量,描述应力和应变之间的比例关系;屈服强度,指材料发生塑性形变的最小应力;硬度,描述材料软硬的程度等。

人类最早学会利用的材料性质便是力学性质,如石器时代利用的强度和硬度。认识和开始系统地理解材料的力学性质起始于19世纪中叶,这时人们利用金相显微镜对材料细微组织进行研究。材料的力学性能主要由其先天的才能(材料的成分)和后天的努力(材料的微观结构)决定^[3]。随着科学技术的发展,人们对结构材料的力学性能要求越来越高;由于器件的小型化与集成化,对其所使用的功能材料力学性能的要求也越来越高。同时,结构材料与功能材料也在结合,既要求结构材料具有一定的功能,又要求功能材料有一定的结构强度。提高结构材料和功能材料的力学性能的主要途径便是从微观结构即提高其微观力学性能入手。另外,材料设计是人们发展材料的目标,要实现材料设计,也必须了解材料的微观性能。因此,材料的宏微观力学性能是材料与力学的一个重要交叉点。也正因如此,对材料力学性能的测试不再停留在宏观尺度的材料上。随着一系列具有特殊性能的低维材料的出现,如何通过实验手段定量或半定量地测试或表征出材料的各种力学性能参数,并探究低维材料的微观结构与其优异性能之间的关系,已成为现今材料领域的研究热点。与此同时,各种新的性能检测技术和表征技术也不断涌现,如纳米压痕技术、原子力显微镜表面成像技术等等。此外,鉴于固体物理计算方法与电子计算机的快速发展,以及小尺度对材料实验测试带来的局限性,计算机模拟受到了众多科研工作者和工程师的重视。基于实验与计算机模拟的材料力学性能表征已发展成为材料领域的一个重要营地。理论-计算机模拟-实验三者相结合已发展成为材料研究的重要方法。

三、材料微观结构表征与宏观力学性能测试同等重要

在“材料科学与工程”四要素图中,材料的“结构/成分”占据了四面体的一角,足以表明了解材料结构的重要性。材料的成分和结构很大程度上决定了材料的宏观性能。如实地表征材料的微观结构对正确分析材料所表现出来的宏观性能十分重要。正是因为有了材料中微缺陷“裂纹”的发现,才有断裂力学的诞生,才能打破传统强度理论的禁锢。人们运用“断裂力学”理论分析,使得带裂纹的材料不仅可以使用而且还可以预测其寿命。

随着材料科学的发展,人们对材料的研究已从以往单纯宏观尺度的研究深入到微观乃

至微观尺度的研究。除了关注纳米和低维材料的尺度问题外,还关注两相界面、剪切带、纳米颗粒团聚、电磁畴、微裂纹尖端场等等高度非均匀和局部化的尺度问题。以往将材料力学行为的描述建立于宏观力学的框架之上,虽然强度和韧性等力学性能的指标可以量化,但却无法表述它们的科学依据及其与材料微结构的关系。正如断裂力学是在二次世界大战期间和其后大量的舰船、飞机的脆断事故中诞生的一样,固体细观力学是随着复合材料、低维材料、生物材料、智能材料、高速计算机技术、高精度测量技术的发展和广泛应用而形成的。力学与材料科学近年来的交缘与结合,推动固体力学研究从宏观尺度经由细观尺度逐步深入到微观尺度,使得材料的细微观结构设计逐步地从定性走向半定量和定量阶段。而且,由于各种新型材料的微结构复杂、价格昂贵,传统的配方型设计已不能满足要求,必须对材料的整体结构进行多组分设计,才能有效地提高材料的强度、韧性等力学性能指标。

信息技术的飞速发展,包括以 NEMS 为代表的微电子器件,以光绝缘体、光导体、光半导体为代表的光电子器件对材料实验力学的发展起到了巨大的推动作用;但是由于材料科学与工程的发展,使得材料实验力学的研究对象发生了极大的变化,相应传统的测试技术不适用,突出的严重挑战是没有合理的理论模型。我们知道,任何实验数据都是在一定的理论模型下才能获得的。实验表征可能是在微纳米尺度下、在多场耦合下、在极端条件下等等,目前现时实验表征的理论模型五花八门,例如涂层与薄膜界面强度实验表征的理论模型就达 200 多个^[4]。更多的是完全没有理论模型,例如纳米线、薄膜和涂层的本构关系、弹性模量等力学参量目前无法实验确定。因此,材料微观结构表征与宏观力学性能测试同等重要。

四、功能材料力学性能的测试和表征越来越重要

功能材料是指那些具有优良的电学、磁学、光学、热学、声学、力学、化学、生物医学功能,特殊的物理、化学、生物学效应,能完成功能相互转化,主要用来制造各种功能元器件而被广泛应用于各类高科技领域的高新技术材料。它是新材料核心领域之一,在全球新材料研究领域中,功能材料约占 85%。新型功能材料对高新技术的发展起着重要的推动和支撑作用,是 21 世纪信息、生物、能源、环境、空间等高新技术领域的关键材料,成为世界各国新材料领域研究发展的重点。例如从 2008 年“多场耦合理论与智能材料”高级讲习班暨全国研究生暑期学校上对智能材料的多场耦合理论研究领域的现状与发展趋势的研讨来看,人们主要关注以下三个方面^[5]:智能材料及其电子装置的发展为多场耦合力学提出的挑战与机遇,用于新型存储器等相关器件的智能材料及其相关物理力学问题,器件微型化、集成化拓展了微电子、材料、力学交叉学科的发展空间。这些功能材料及以其为主体制成的器件在实际使用过程中往往受到多重载荷,而且它们是相互耦合的,如力-电耦合、力-热耦合、力-电-磁-热耦合等。在如此复杂的工作环境中,器件何时失效?在哪个部位失效?如何失效?器件寿命如何预测?这些问题都是目前国内外十分关注的问题,具体包括功能材料及其器件力学性能测试技术的开发,实验设备的研制,传统力学性能指标如断裂韧性、本构关系、疲劳等概念的内涵,力学性能表征的理论模型等等。因此,功能材料力学性能的测试和表征越来越重要。

五、内容概述

本书以“材料的制备-组织结构-性能-应用”为主线,处处体现“科学”(即基础理论知识的深入理解)与“工程”(即实际的工程应用)相结合。实验内容的设置涵盖了“三层次一体化”理念,即实验内容包括“基础性实验”、“综合性试验”和“创新性实验”三个层次,由浅入深、循序渐进,形成一体化的有机整体。基础性实验希望读者通过实验基本操作、实验基本技能与对应的理论知识的衔接,使两者相辅相成,互相促进;通过实验基本操作、实验基本技能的培养与实际应用相衔接,做到学以致用。综合性实验从制备加工方法到组织结构表征、性能测试分析,再到工程应用的深化,培养学生综合运用所学知识的能力,培养学生的工程意识。创新性实验以开发新材料、改进传统材料,设计新方法、新技术,掌握并应用新兴的计算机模拟技术等为方向,全面培养学生的创新意识和科研能力。

本书共 45 个实验,分三个模块。第一模块是基础性实验。这是《材料的宏微观力学性能》课程各章节所列的学生应当掌握的材料力学性能的测试方法,包括材料的基本力学性能、硬度、断裂韧性和残余应力,在工程中应用最广的金属材料的力学性能表征如金属的疲劳、蠕变、应力腐蚀,一些特殊材料如智能材料、高分子材料的某些宏微观力学性能的表征,应用 ANSYS 软件模拟分析材料的拉压变形。第二模块是综合性实验。这部分实验的测试环节相对复杂一些,需要学生进行思考、综合分析。第三模块是创新性实验。这部分实验学生是主体。学生在实验教材的指导下自行查找文献,经与老师讨论后制订切实可行的详细的实验方案,在老师指导下完成实验,对于实验结果的分析也由学生完成,老师在整个实验过程中只起引导作用。

参考文献

- [1] 冯端,师昌绪,刘治国. 材料科学导论. 北京:化学工业出版社,2002.
- [2] 周益春. 材料固体力学(上). 北京:科学出版社,2005.
- [3] 谭毅,李敬锋. 新材料概论. 北京:冶金工业出版社,2004.
- [4] Volinsky A A, Moody N R, Gerberich W W. Interfacial toughness measurements for thin films on substrates. *Acta Materialia*, 2002, 50(3): 441—466.
- [5] 周益春,方岱宁,郑学军,等. 多场耦合理论与智能材料的研究进展. 中国科学基金, 2009 (2): 78—81.

第一部分

基础性实验

实验 1 拉伸法测定材料的弹性模量

一、实验目的

1. 了解球铰式引伸仪的构造、原理和使用方法。
2. 学会用万能材料试验机测定材料的弹性模量。
3. 学习用最小二乘法进行实验数据拟合。
4. 验证虎克定律。

二、实验原理

测定材料的弹性模量^[1~5]一般采用比例极限内的拉伸试验。材料在比例极限内服从虎克定律,其载荷与变形的关系为

$$\Delta l = \frac{Fl}{EA_0} \quad (1.1)$$

式中: F 为载荷; l 为试样原长; A_0 为试样初始截面积; E 为材料的弹性模量; Δl 为拉伸时的试样伸长。若已知载荷 F 及试样尺寸 l , 只要测得试样伸长 Δl , 即可得出弹性模量 E 。

$$E = \frac{Fl}{(\Delta l)A_0} \quad (1.2)$$

通常,材料试验机的绘图装置所绘的 $F-\Delta l$ 曲线中的 Δl 不能作为计算弹性模量 E 的依据,因为此处的 Δl 不仅是试样标距内外各部分的伸长,而且还包括了试验机的上、下夹具之间和绘图装置系统的弹性变形及其间隙等引起的位移。

为了准确地测定材料的弹性模量 E , 就要精确地测量试样标距内的变形,因而要使用引伸仪。

为了验证载荷与变形的线性关系,需采用增量法,逐级加载。分别测量在各相同载荷增量 ΔF 作用下,试样所产生的变形增量 $\Delta(\Delta l)$, 并求其平均值 $\Delta(\Delta l)_{均}$ 。设试样横截面面积为 A_0 , 弹性模量 E 的计算式为

$$E = \frac{(\Delta F)l}{A_0 \Delta(\Delta l)_{均}} \quad (1.3)$$

增量法可以验证载荷与变形间的线性关系。若各级载荷量 ΔF 相等,相应的由引伸仪读出的变形量 $\Delta(\Delta l)$ 也大致相等,则线性关系成立,从而验证了虎克定律。

在拟定增量加载方案时通常要考虑以下情况:

- (1) 最大应力值。由于要求在材料的比例极限内进行试验,故最大应力值不能超过材

料的比例极限,但也不能小于它的一半,一般取屈服极限 σ_s 的70%~80%,通常可取最大试验载荷为

$$F_{\max} = 0.8A_0\sigma_s \quad (1.4)$$

(2) 最大试验载荷值。最大试验载荷值要与试验机测量范围相适应,即 $F_{\max}$ 值应落在满量程的60%~80%之内。

(3) 初载荷。初载荷可按所用的测力度盘满量程的10%或稍大于此值来选定。

(4) 加载级数。应至少有5级加载,每级载荷增量要使变形读数有明显的变化。

用增量法进行试验,还可以判断出试验是否有错误,若各次测出的变形不按一定规律变化,就说明试验有问题,应进行检查。

三、实验仪器和设备

1. 万能材料试验机(WDT I-5 型微机控制电子万能试验机,其构造见图 1.1);
2. 游标卡尺;
3. 球铰式引伸仪(见图 1.2)。

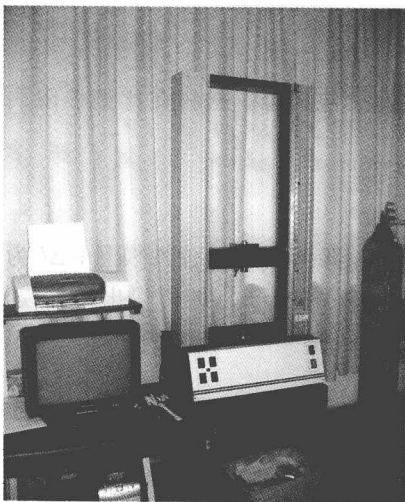


图 1.1 电子万能试验机

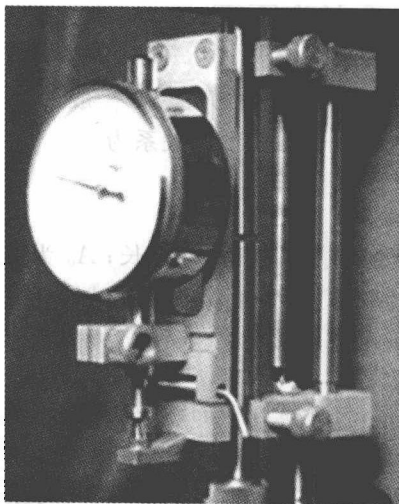


图 1.2 球铰式引伸仪

四、实验方法和步骤

1. 试样的准备

在试样标距长度的两端及中间选3处,每处在两个相互垂直的方向上各测1次直径,取其算术平均值。然后,再取这3处的平均值来计算横截面面积。根据试样材料的 σ_s 拟定加载方案。

2. 试验机的准备

熟悉试验机的操作规程。按照加载方案,选用合适的载荷量程。