

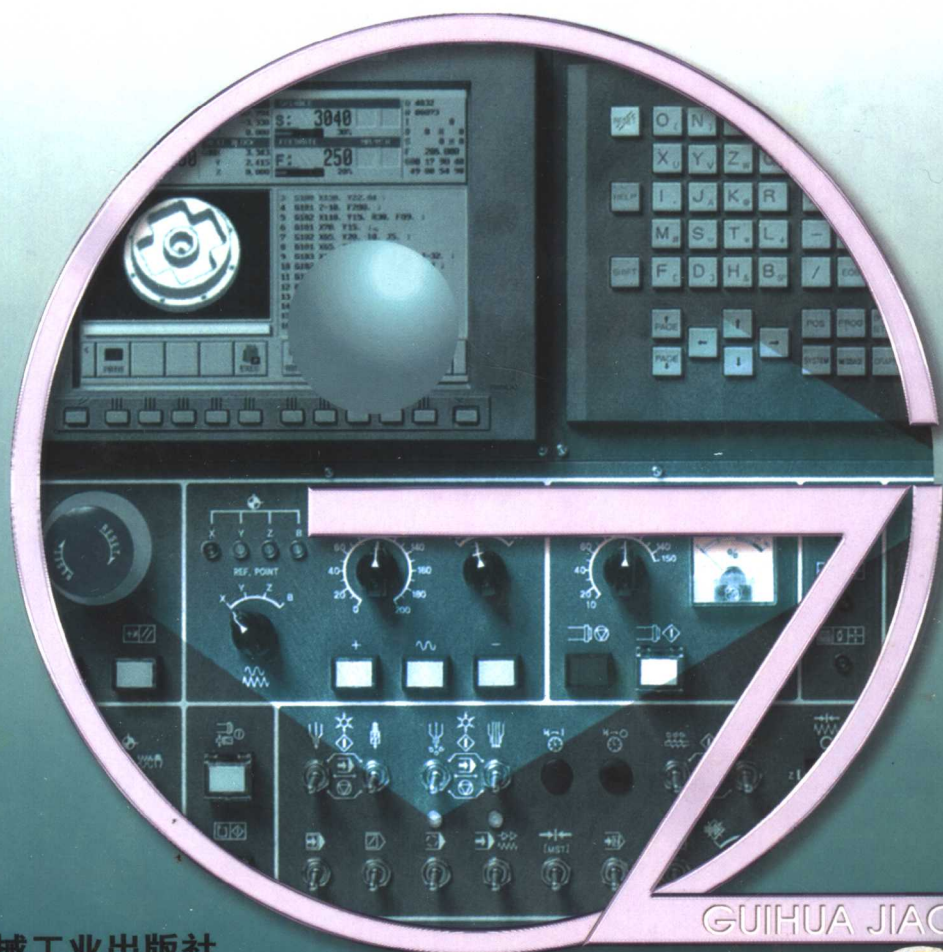


教育部职业教育与成人教育司推荐教材
数 控 专 业 教 学 用 书

工程材料及成形技术基础

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会

凌爱林 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

GUIHUA JIAOCAI

gz



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
数控专业教学用书

工程材料及成形技术基础

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编
中国机械工业教育协会

主 编 凌爱林

副主编 宋 杰

参 编 王月琴 王彩玲 王新江

张 敏 阎锡忠 宫成立

主 审 吴兆祥



机械工业出版社

本书是根据五年制高职数控技术应用专业“工程材料及成形技术基础”课程教学大纲编写的,教学时数为70~90学时。

本书内容主要包括材料及零件的力学性能、纯金属的晶体结构与结晶、合金的相结构与相图、铁碳合金、非合金钢(碳素钢)、金属热处理、工程材料的表面处理、合金钢、工程铸铁、非铁金属材料与粉末冶金材料、非金属材料 and 复合材料、新型材料及应用、工程材料的选用、铸造成形、锻压成形、焊接与胶结成形、非金属材料及复合材料成形、零件毛坯的选择、金属切削基础与装配技术简介等十九章。主要供五年制高职数控技术应用专业使用,亦可供机电类其他专业的三年制、二年制高职学生使用,还可作为有关技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及成形技术基础/凌爱林主编. —北京:机械工业出版社, 2005.1

数控专业教学用书

ISBN 7-111-15846-6

I. 工… II. 凌… III. 工程材料-成形-高等学校:技术学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第136661号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王世刚 王英杰

责任编辑:王海峰 版式设计:霍永明 责任校对:樊钟英

封面设计:姚毅 责任印制:石冉

三河市宏达印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005年2月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm 1/16·20.75印张·512千字

定价:27.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾	问	郝广发			
组	长	杨黎明			
成	员	刘亚琴	李超群	惠新才	王世刚
		姜立增	李向东	刘大康	鲍风雨
		储克森	薛 涛		

数控技术应用专业教材编委会名单

司徒渝	朱志宏	李向东	李登万	王明耀
王茂元	郭士义	周晓宏	斐炳文	马进中
郑晓峰	林 彬	张光跃	晏初宏	刘力群
许 箐	刘振兴	刘魁敏	杜伟明	凌爱林
吴兆祥				

前 言

本书是根据机械工业教育发展中心“机电类五年制高等职业技术教育专业教学计划及教材编写工作会议精神”，遵循五年制高职数控技术应用专业“工程材料及成形技术基础”课程教学大纲编写的，主要使用对象为五年制高职数控技术应用专业，同时也可供机电类其他各专业使用。教学总时数为70~90学时。非工程技术类各专业也可根据需要选用。

本书具有下列特点：

(1) 淡化理论，突出应用性 适当加大了材料的力学性能、钢铁材料、非金属材料等应用性较强知识的比例，并强调理论联系实际，贯彻“以人为本”的教育思想，注重培养技术文化素养，提高综合素质。这对学生学习后续课程以及今后工作和未来发展都极为有用。

(2) 深入浅出，增强可读性 文字表述通俗易懂，简明扼要；由浅入深，循序渐进；图文对照，形象清晰。不仅便于教师教学，更有利于学生自学。

(3) 优化组合，具有新颖性 采用了最新国家标准，如优质碳素结构钢 GB/T 699—1999，钢铁及合金牌号统一数字体系 GB/T 17616—1998 等；增加了新材料、新技术、新工艺，如形状记忆合金、永磁合金，纳米材料、里氏硬度、表面处理、非金属材料及复合材料成形工艺等。另外，在教材的结构上采用了每章开头有教学目标，教学活动建议，章尾有本章小结的全新编排方式。为正确把握教学内容，开展教学活动提供了可借鉴的方法和实例，为提高教学质量奠定了良好的基础。

本书由山西机电职业技术学院凌爱林（前言、绪论、第一、二、四、六章）、王月琴（第三章）、烟台技术学院王彩玲（第五、七章）、辽宁机电职业技术学院宋杰（第八、九、十、十一章）、丹东农业机械职业中等专业学校王新江（第十二、十三、十七章）、太原理工大学长治学院张敏（第十四、十五、十六章）、辽宁机电职业技术学院阎锡忠（第十八章、附录）、沈阳职业技术学院宫成立（第十九章）共同编写。凌爱林副教授任主编，宋杰副教授任副主编。安徽机电职业技术学院副教授吴兆祥担任本书主审。本书在编写过程中得到了机械职业教育基础课教学指导委员会金工学科组的大力支持，同时还引用了许多同行所编著的教材和著作中的大量资料，在此一并表示衷心感谢！

由于编者水平有限，编写时间短促，书中不妥之处，恳请批评指正。

编 者

目 录

前言		
绪论	1	
第一章 材料及零件的力学性能	4	
第一节 强度与塑性	5	
第二节 硬度	7	
第三节 韧性	16	
第四节 疲劳极限	18	
本章小结	20	
思考练习题	20	
第二章 纯金属的晶体结构与结晶	21	
第一节 纯金属的晶体结构	21	
第二节 纯金属的结晶	24	
本章小结	30	
思考练习题	30	
第三章 合金的相结构与相图	31	
第一节 合金的基本概念	31	
第二节 固态合金的相结构	32	
第三节 二元合金相图与二元合金的结晶	34	
第四节 相图与合金性能的关系	38	
本章小结	39	
思考练习题	39	
第四章 铁碳合金	40	
第一节 铁碳合金的相结构	41	
第二节 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图	42	
第三节 典型铁碳合金平衡结晶过程	46	
第四节 $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$ 相图的应用	50	
本章小结	52	
思考练习题	53	
第五章 非合金钢(碳素钢)	55	
第一节 钢铁生产	55	
第二节 常存杂质元素对非合金钢性能的影响	58	
第三节 非合金钢的分类	59	
第四节 非合金钢的牌号、性能及用途	59	
本章小结	64	
思考练习题	64	
第六章 金属热处理	65	
第一节 钢的热处理原理	65	
第二节 工件的正火与退火	76	
第三节 工件的淬火与回火	79	
第四节 工件的表面热处理和化学热处理	87	
第五节 非铁合金的固溶处理	92	
第六节 其他热处理与热处理新技术简介	93	
第七节 热处理零件的结构工艺性	94	
第八节 热处理工艺的应用	95	
本章小结	98	
思考练习题	98	
第七章 工程材料的表面处理	99	
第一节 概述	99	
第二节 气相沉积	100	
第三节 化学转化膜技术	104	
第四节 电镀和化学镀	106	
第五节 涂料与涂装工艺	107	
本章小结	108	
思考练习题	108	
第八章 合金钢	109	
第一节 合金元素在钢中的作用	109	
第二节 钢的分类方法及数字代号	113	
第三节 低合金钢	114	
第四节 机械结构用合金钢	115	
第五节 合金工具钢和高速工具钢	122	
第六节 特殊性能钢	128	
本章小结	133	
思考练习题	134	
第九章 工程铸铁	135	
第一节 铸铁中的主要元素及影响	135	
第二节 普通灰铸铁	137	
第三节 球墨铸铁	140	
第四节 可锻铸铁	143	
第五节 蠕墨铸铁	144	
第六节 合金铸铁	144	
本章小结	146	
思考练习题	146	
第十章 非铁金属材料与粉末冶金材料	148	
第一节 铝及铝合金	148	

第二节 铜及铜合金	152	第四节 自由锻件结构工艺性	230
第三节 其他非铁金属材料	156	第五节 冲压	232
第四节 滑动轴承合金	157	第六节 锻压新技术、新工艺简介	237
第五节 粉末冶金材料	158	本章小结	239
本章小结	160	思考练习题	240
思考练习题	161	第十六章 焊接与胶接成形	241
第十一章 非金属材料 and 复合材料	162	第一节 焊接的特点、分类及应用	241
第一节 非金属材料的组织结构	162	第二节 焊条电弧焊	242
第二节 常用高分子材料	164	第三节 其他焊接方法及焊接新技术、 新工艺简介	249
第三节 陶瓷材料	167	第四节 常用金属材料的焊接	255
第四节 复合材料	169	第五节 焊件的结构工艺性	257
第五节 其他非金属材料	171	第六节 焊接质量和焊件质量检验	262
本章小结	172	第七节 胶接成形	263
思考练习题	172	本章小结	266
第十二章 新型材料及应用	174	思考练习题	266
第一节 形状记忆合金	174	第十七章 非金属材料及复合 材料成形	267
第二节 纳米材料及其应用	176	第一节 高分子材料的成形	267
第三节 新兴永磁合金	177	第二节 陶瓷材料的成形	269
第四节 非晶态合金	178	第三节 复合材料成形	271
第五节 超导材料	179	本章小结	273
本章小结	180	思考练习题	273
思考练习题	180	第十八章 零件毛坯的选择	274
第十三章 工程材料的选用	181	第一节 毛坯的种类	274
第一节 零件的失效分析	181	第二节 毛坯质量及毛坯生产的经济性 对比分析	276
第二节 工程材料的选用原则及方法步骤	184	第三节 毛坯生产方式的选择原则及典型毛坯 选择举例	277
第三节 典型零件的选材	190	本章小结	282
本章小结	199	思考练习题	282
思考练习题	199	第十九章 金属切削基础与装配 技术简介	284
第十四章 铸造成形	201	第一节 金属切削基础知识	284
第一节 铸造生产的特点、分类及应用	201	第二节 车床及其加工	285
第二节 砂型铸造	202	第三节 其他常用机床及其加工	290
第三节 金属的铸造性能	205	第四节 装配技术简介	292
第四节 铸造工艺图与铸件图	208	本章小结	297
第五节 铸件的结构工艺性	209	思考练习题	298
第六节 特种铸造	212	附录	299
第七节 液态成形技术的发展	216	附录 A 金工实验	299
第八节 铸件缺陷和检验	218	附录 B 布氏硬度 (HB) 数值表	319
本章小结	220	参考文献	324
思考练习题	221		
第十五章 锻压成形	222		
第一节 概述	222		
第二节 自由锻的特点、基本工序及应用	223		
第三节 模锻	228		

绪 论

人类生产、生活中使用的各种各样的机器设备、生活用品等，都是由各种不同的材料通过各种不同的加工方法制造而成。其工艺流程如图 0-1 所示。一般来说，制造一台机器设备，需首先根据零件的性能要求选择相应材料，然后通过成形技术使材料成为零件毛坯，再对零件毛坯进行切削加工并穿插改性工艺，制成合格零件，最后将零件进行装配，即成为完整的、可供直接使用的机器设备。

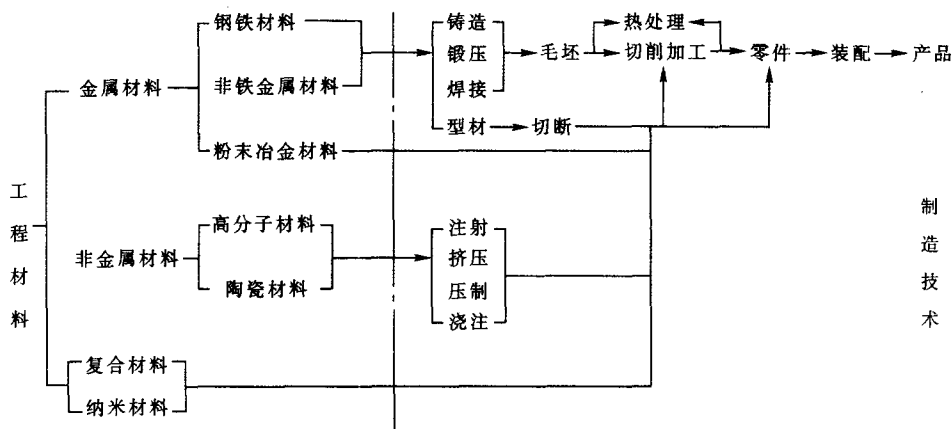


图 0-1 常规机械制造工艺流程示意图

本课程主要研究的是机械制造过程中工程材料的应用以及零件毛坯的成形。它是一门综合性技术基础课，是机械类、近机械类等专业的必修课。

1. 课程内容

(1) 工程材料 工程材料是机械产品制造所必须的物质基础，是工业的“粮食”。它的使用与人类进步密切相关，标志着人类文明的发展水平。所以，历史学家将人类的历史按使用材料的种类划分成了石器时代、陶器、铜器时代和铁器时代等。早在公元前五千年的青铜器时代，人类就开始了对工程材料的冶炼和加工制造。公元前二千多年的夏代，就掌握了青铜冶炼术，到距今三千多年前的殷商、西周时期，技术达到当时世界高峰，用青铜制造的生产工具、生活用具、兵器和马饰，得到普遍应用。重达 875kg 的祭器司母戊大方鼎，不仅体积庞大，而且花纹精巧，造型美观。春秋战国时期，我国开始大量使用铁器，白口铸铁、灰铸铁、可锻铸铁相继出现。公元 1368 年，明代科学家宋应星编著了闻名世界的《天工开物》，详细记载了冶铁、铸造、锻铁、淬火等各种金属加工制造方法，是最早涉及工程材料及成形技术的著作之一。在陶瓷及天然高分子材料（如丝绸）方面，我国也曾远销欧亚诸国，踏出了名垂千古的丝绸之路，为世界文明史添上了光辉的一页。19 世纪以来，工程材料获得了高速发展，到 20 世纪中期，金属材料的使用达到鼎盛时期，由钢铁材料所制造的产品约占机械产品的 95%。今后的发展趋势是传统材料不断扩大品种规模，不断提高质量

并降低成本,新材料特别是人工合成材料等将得到快速发展,从而形成金属、高分子、陶瓷及复合材料三分天下的新时代。另外,功能材料、纳米材料等高科技材料将加速研究,逐渐成熟并获得应用。工程材料业已成为所有科技进步的核心。

(2) 成形技术 成形技术是人们把原材料或半成品加工制造成所需形状和尺寸毛坯的过程。任何机器设备,大到火箭、卫星、汽车、轮船,小到仪器、仪表、生活用具,都是用不同材料通过各种成形、加工等技术制造而成的。几千年来,随着原材料的变化,成形技术也在不断地演变和进化。早在远古的石器时代,人类最初使用的是天然石块,慢慢学会了用石块相互撞击,制造简单工具;后来发展到磨制石器,制成了石刀,石斧,石矛等工具。到了陶瓷时代,人类发现了用粘土制造陶器,由于粘土强度低,可塑性、粘结性好,所以制出了形状更加复杂的各种陶瓷制品。进入青铜器时代后,冶铸工艺迅速发展,铸出的青铜制品尺寸更大,花纹更精美,(如前述司母戊大方鼎)。公元前一千二百年左右,人类进入铁器时代,铸造、锻造、锡焊、银焊等成形技术相继出现并广泛应用,到目前为止定向凝固技术、快速成形技术、高速锤锻、精密模锻、气体保护自动焊、激光焊、等离子焊等各种新的成形技术,以及自动线、加工中心、数控系统、柔性制造系统等已是屡见不鲜。未来正向着快速、精密、自动化的方向飞速发展。

先进材料是先进技术的奠基石,人们所享用的所有物质都是由材料组成的;先进材料是技术大厦的砖石,当材料按特定方式加工时,技术才得以发展。不仅如此,高质量的材料还能为我们创造千千万万的就业机会,并成为处理诸如环境污染、自然资源减少及其价格膨胀等问题的工具。所以,先进的材料及先进材料工艺对一个国家人民的生活水平、国家的安全及经济实力起着关键性的作用。作为一名高素质的应用型技术人才,了解工程材料及其成形技术,掌握制造技术的基础知识,提高自身技术文化素养,构建工程技术基础平台,对后续课程的学习以及今后和未来的发展都至关重要。

2. 课程特点

(1) 综合性强 系统介绍了从工程材料到成形技术,包括铸造、锻压、焊接、热处理等诸多工艺在内的机械产品生产过程。为各类工程人员正确选择、使用材料,熟悉了解机械产品成形技术,正确选用成形工艺,制定加工工艺路线等奠定初步的基础。并可提高综合素质,获得综合发展,进行综合创造。

(2) 实践性强 有利于培养实践技能,提高动手能力,为获取“双证”提供保障,20世纪80年代以来,各国职业教育普遍重视技能训练。我国的职业教育近年来也进行了较大的改革,其主要方向就是加强实践性教学环节。但目前仍存在着认识不够,理解不够,重视不够的问题。工程材料及成形技术基础课程包括理论教学和实训教学两部分,是不可分割的一个整体。学习本课程不仅能获得理论知识、实践技能,更重要的是能够培养工程意识,提高综合素质,开发创造能力。任何分割理论与实训或只讲理论不搞实训的教学,都是不合格、不完整的教学。

3. 课程目标

1) 了解常用工程材料及其改性工艺的类别和用途,初步具有正确选用常用金属材料 and 常规热处理工艺的能力。

2) 了解金属成形的工艺特点和应用范围、金属毛坯和零件的常用成形方法,初步具有选用毛坯和确定机械加工工艺路线的能力。

3) 了解机械产品的制造过程、加工设备及工艺过程,通过实习,初步具有钳工、铸工、焊工和热处理工等的操作技能,为形成综合职业能力打下基础。

4) 了解实验的基本原理和设备,通过实验,达到具有一定的实验操作技能和正确分析实验结果的能力,培养严谨的工作作风。

5) 运用已获得的综合性知识,通过综合性大作业、项目教学、案例教学、课程设计等形式,在学科边缘和学科交叉处发现问题,探究创新。

6) 领略工程材料及制造技术的辉煌历史与广阔发展前景,初步形成对工程材料及制造技术的好奇心和求知欲,产生热爱祖国,积极向上的学习情感。

7) 初步形成热爱工厂、热爱技术的工程素养和一丝不苟、艰苦创业、不怕苦、不怕累的良好思想品德,培养文明生产、环境保护和质量与效益的意识。

8) 了解并体会工程材料及制造技术对经济、社会发展的贡献,关注并思考与工程材料及制造技术相关的热点问题,能在力所能及的范围内,为社会的可持续发展作出贡献。

9) 尊重科学,勇于探索,关注国内外科技发展现状与趋势,有振兴中华的使命感和责任感,有将科学技术服务于人类的意识。

4. 教学建议

1) 体现“知识与技能、过程与方法以及情感态度与价值观”三位一体的课程功能,促进教育教学重心的转移,使素质教育的理念切实体现到日常的教学过程中。

2) 突破学科体系,精选学生终身学习必备的最符合时代要求的、最有用、最有价值的知识和技能,密切与学生生活及现代社会、科技发展的联系,打破单纯强调学科本身的系统性、逻辑性局限,尽可能体现以学生为本,为学生终身发展服务,构建工程技术平台的功能。

3) 倡导自主—探究—合作—创新的学习方式,创造宽松的学习环境,增大教学的开放性,充分利用计算机技术、网络技术等现代化手段获取新知识、新信息,改变过分强调知识传承的倾向,加强过程性、体验性目标;引导学生主动参与、亲身实践、独立思考、合作研究;进一步发展自主处理信息的能力、获取新知识的能力、分析和解决问题的能力,以及交流与合作的能力;培养探索精神和创新思维。

4) 建立多元化,激励性评价机制,既关注学习效果,更关注学习过程以及学习过程中的情感、态度、行为的变化;实行评价目标多元化,评价手段多样化。形成性评价与终结性评价并举,定性评价与定量评价相结合的评价机制,创设“认识自我、发现自我、鼓励自信”的激励性氛围,促进学生和谐发展。

5) 重视教学资源开发与利用,借助挂图、幻灯、录像,特别是计算机辅助教学等手段,直观、准确、清晰地描述微观的、抽象的空间概念,能够大大提高教学效果,激发学习兴趣。另外,加大实验、实训项目的开发,探索理论与实践相结合的教学模式,最大限度地利用实验室、实训基地的设备和条件,亲身实践,学做结合。

6) 综合性训练。工程技术是综合性活动,综合运用所学知识解决工程实际问题是工程技术人员必备的基本素质,应多采用综合性大作业、综合性实践训练等教学方法进行培养。

第一章 材料及零件的力学性能

教学目标

- 1) 理解力学性能主要指标（强度、硬度、塑性、韧性、疲劳强度等）的测定方法及其内涵，掌握并记忆其表示符号、标注方法以及主要用途。
- 2) 初步掌握布氏、洛氏硬度的正确操作方法。

教学活动建议

- 1) 拉伸试验演示，观察并了解材料宏观变形的过程以及力 - 伸长曲线的获得。

通过进一步对力 - 伸长曲线的分析，得出强度和塑性指标。重点分析屈服点，屈服强度和抗拉强度的不同内涵，不同应用场合。领悟强度指标在机械零件设计及选材中的重要作用。

- 2) 亲自动手操作布氏、洛氏硬度计，针对不同材料和零件进行硬度测定，获得硬度试验的感性知识和初步操作技能。结合硬度试验的特点分析，明确其应用范围，以便正确选用；结合硬度实验原理的简单分析，领悟压入硬度实验的本质属性，揭示硬度与强度之间的内在联系。

- 3) 通过冲击、疲劳等演示试验和介绍，重点理解冲击载荷、交变载荷与静载荷的本质区别。明确在冲击、交变载荷作用下工作的零件，不能沿用静载荷下测定的力学性能指标，必须测定其相应载荷下的性能指标，才能保证正常运行。

工业生产中使用的各类机器设备以及日常生活中使用的诸多生活用品，都是由各种各样的材料经过加工制造而成。可以说，材料是科学技术发展、现代化工业生产以及人们日常生活的重要物质基础。因此，了解和熟悉这些材料的性能，不仅是机械零件设计、选材和制定各种加工工艺的主要依据，同时也是生活在工业现代化社会中的每个人必须具备的基础知识。

材料的性能是指材料对产品设计、制造、使用等要求的满足程度，主要包括使用性能，如物理性能（密度、熔点、热导性、电导性、磁性等）、化学性能（耐腐蚀性、抗氧化性、化学稳定性等）、力学性能（强度、塑性、韧性、硬度等）；工艺性能，如材料的铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削加工性能、热处理性能等。只有全面了解材料的各种性能，才能做到正确、经济、合理使用材料。

由于多数机械零件是在常温、常压、非强烈腐蚀性介质中工作，所以物理、化学性能一般可不予考虑。但各种机械零件在使用过程中都将受到不同力的作用，所以材料在力的作用下表现出来的特性是各性能中最常用、最重要的性能。我们把这一性能称为力学性能。力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性、疲劳极限等。材料的这些性能指标一般可通过各种试验测定，常用的方法有拉伸实验、硬度实验、冲击实验和疲劳实验等。

第一节 强度与塑性

材料受力时，内部原子的相对位置发生改变，宏观表现为形状、尺寸的变化，这种变化叫做变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形（又称永久变形）。外力不大时，一旦去除外力，变形随之消失，这种变形称为弹性变形；如果外力继续加大，材料将产生不能自行恢复的、卸除外力之后被保留下来的永久性变形，这样的变形称为塑性变形或永久变形。

一、拉伸试验及力 - 伸长曲线

测定强度与塑性指标时，一般需要在拉伸试验机上通过拉伸试验进行。WE-60 型液压万能材料试验机如图 1-1 所示。试验时先将被测材料制成标准拉伸试样，如图 1-2 所示。然后将试样装夹在拉伸试验机上，随着拉伸力的增加，试样不断产生变形，最后在“缩颈”处断裂（试验方法详见 GB/T 228—1987《金属拉伸试验》）。根据拉伸力与试样变形量之间的对应关系，可以绘制出力 - 伸长曲线图（一般由拉伸试验机自动绘出）如图 1-3a 所示。通过力 - 伸长曲

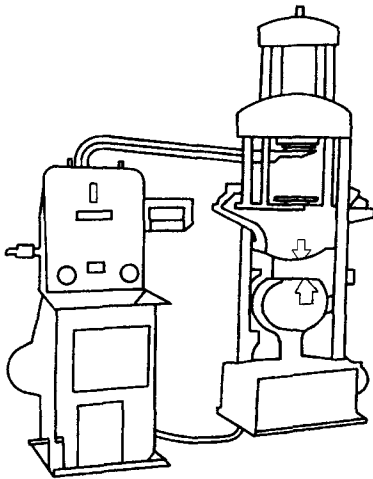


图 1-1 WE-60 型液压万能材料试验机

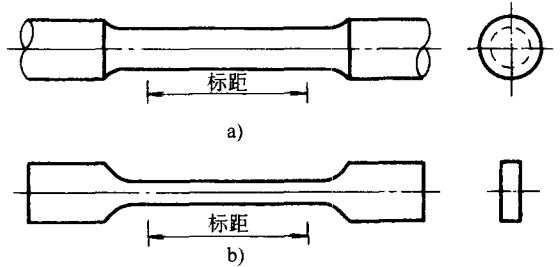


图 1-2 拉伸试样

a) 圆柱试样 b) 扁平试样

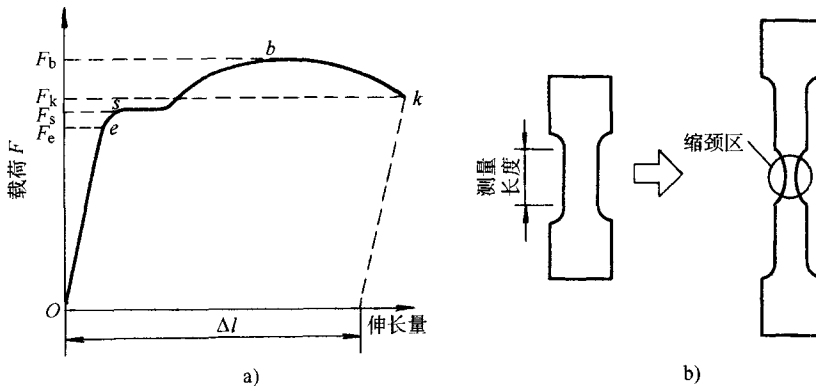


图 1-3 力 - 伸长曲线及“缩颈”断裂

a) 力 - 伸长曲线 b) “缩颈”现象

线，即可计算得出强度指标和塑性指标，这些指标是评定材料质量的主要判据。

二、强度指标

强度是指材料抵抗塑性变形和断裂的能力。强度的大小通常用应力表示。应力是指试验过程中的力除以试样原始横截面积的商，即试样单位横截面积上所受到的力，用符号 σ 表示，单位为 MPa（兆帕）。常用的强度判据主要有屈服点、条件屈服强度（也称为规定残余伸长应力）和抗拉强度等。

1. 屈服点与条件屈服强度

屈服点是指试样开始产生屈服现象时的最低应力，即试验过程中力不增加（保持恒定）试样仍能继续伸长时的应力。用符号 σ_s 表示。其计算公式为：

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s —— 试样屈服时所承受的拉伸力 (N)；

S_0 —— 试样原始横截面积 (mm^2)。

实际中只有少数材料在拉伸时出现屈服现象，大多数材料在拉伸试验中没有明显的屈服现象，难以测出屈服点。为了获得这一重要性能指标，国家标准规定：试样产生 0.2% 的残余伸长变形时所对应的应力称为条件屈服强度，简称屈服强度，以 $\sigma_{0.2}$ 表示（如图 1-4 所示）。

条件屈服强度是材料在外力作用下产生 0.2% 塑性变形时的应力值。当材料的实际工作应力大于其条件屈服强度时，就有可能产生过量塑性变形而失效。因此， $\sigma_{0.2}$ 是大多数机械零件设计时的重要参数，是材料最关键的力学性能指标之一。

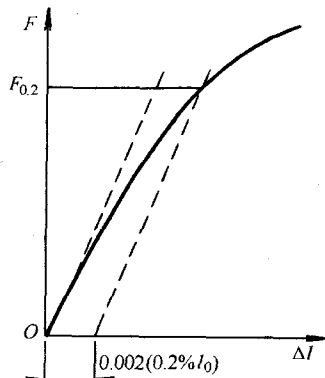


图 1-4 条件屈服强度示意图

2. 抗拉强度

抗拉强度是指试样拉断过程中所能承受的最大应力值，用符号 σ_b 表示：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 F_b —— 试样所承受的最大拉伸力 (N)；

S_0 —— 试样原始横截面积 (mm^2)。

抗拉强度的物理意义在于它反映了材料最大均匀变形的抗力，表明了材料在拉伸条件下，单位截面积上所能承受的最大应力。显然，机器零件工作时，所承受的拉应力不允许超过 σ_b ，否则就会产生断裂。所以，它也是机械设计和选材的主要依据。特别是对于脆性材料来说，拉伸过程中几乎不发生塑性变形即突然断裂， $\sigma_{0.2}$ 也常常难以测出，所以，脆性材料没有屈服强度指标，只有抗拉强度指标用于零件的设计计算。

在工程上，把 σ_s/σ_b 的值称为屈强比。其值越高，材料强度的有效利用率越高，但会使零件的安全可靠性降低。不过在性能允许的情况下，还是屈强比大一点好，一般在 0.75 左右。

三、塑性指标

材料产生塑性变形而不破坏的能力称为塑性。常用的塑性指标是断后伸长率 δ 和断面

收缩率 ψ 。一般通过拉伸实验测定。

1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后标距的伸长量与原标距长度的百分比。用符号 δ 表示。

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中 l_0 ——试样原标距长度 (mm);

l_1 ——试样拉断后对接的标距长度 (mm)。

拉伸试样按长径比分为长试样 ($l_0/d_0 = 10$) 和短试样 ($l_0/d_0 = 5$) 两种, 长试样的断面伸长率以 δ_{10} 或 δ 表示。短试样的断后伸长率以 δ_5 表示。一般把 $\delta \geq 5\%$ 的材料称为塑性材料, $\delta < 5\%$ 的材料称为脆性材料。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 用符号 ψ 表示。

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2);

S_1 ——试样拉断后缩颈处最小横截面积 (mm^2)。

塑性直接影响到零件的成形及使用。塑性好的材料, 不仅能顺利地进行轧制、锻压等成形工艺, 而且在使用中万一超载, 由于变形, 能避免突然断裂。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外, 还必须有一定的塑性。一般情况下, 断后伸长率达5%或断面收缩率达10%的材料, 即可满足大多数零件的使用要求。

第二节 硬 度

硬度是指材料抵抗局部变形, 特别是塑性变形、压痕或划痕的能力, 它是衡量材料软硬度的指标。

工业上应用广泛的是压入法硬度试验, 即在规定的试验力下将压头压入被测材料或零件表面, 用压痕深度或压痕表面面积来评定硬度。常用的主要有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

一、布氏硬度

布氏硬度数值通过布氏硬度试验测定。布氏硬度试验是指用一定直径的球体 (钢球或硬质合金球) 以相应的试验力压入被测材料或零件表面, 经规定保持时间后卸除试验力, 通过测量表面压痕直径来计算硬度的一种压痕硬度试验方法 (如图 1-5 所示, h 为球冠形压痕的高, ϕ 为压入角)。

布氏硬度值是试验力除以压痕球形表面积所得的商。使用淬火钢球压头时用符号 HBS, 使用硬质合金球压头时用符号 HBW, 计算公式如下:

$$\text{HBS (HBW)} = 0.102 \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 F ——试验力 (N);

D ——球体直径 (mm);
 d ——压痕平均直径 (mm)。

由上式可以看出, 当 F 、 D 一定时, 布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关。所以在测定布氏硬度时, 只要先测得压痕直径 d , 即可根据 d 值查附录 B 布氏硬度 (HB) 数值表得出 HB 值, 并不需要进行上述计算。

国家标准 GB/T 231—1984 规定, 在进行布氏硬度试验时, 首先应选择压头材料, 布氏硬度值在 450 以下 (如灰铸铁、非铁金属及经退火、正火和调质处理的钢材等) 时, 应选用钢球作压头; 当材料的布氏硬度值在 450 ~ 650 时, 则应选用硬质合金球作压头。其次是根据被测材料种类和试样厚度, 按照表 1-1 所示的布氏硬度试验规范正确地选择压头直径 D 、试验力 F 和保持时间 t 。

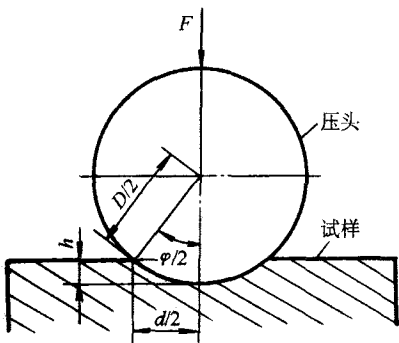


图 1-5 布氏硬度试验原理示意图

表 1-1 布氏硬度试验规范 (GB/T 231—1984)

材料种类	布氏硬度使用范围 (HBS)	球直径 D/mm	$0.102 F/D^2$	试验力 F/N	试验力保持时间/s	注
钢 铸铁	≥ 140	10		29420	10	压痕中心距试样边缘距离不应小于压痕平均直径的 2.5 倍 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍 试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。试验后, 试样支撑面应无可见变形痕迹
		5	30	7355		
		2.5		1839		
	< 140	10		9807	10 ~ 15	
		5	10	2452		
		2.5		613		
非铁金属材料	≥ 130	10		29420	30	
		5	30	7355		
		2.5		1839		
	35 ~ 130	10		9807	30	
		5	10	2452		
		2.5		613		
	< 35	10		2452	60	
		5	2.5	613		
		2.5		153		

布氏硬度习惯上只写出硬度值而不必注明单位, 其标注方法是, 符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值, 符号后面按以下顺序用数值表示试验条件: 球体直径、试验力, 试验力保持时间 (10 ~ 15s 不标注)。例如:

120HBS10/1000/30, 表示直径 10mm 钢球在 9.80kN (1000kgf) 的试验力作用下, 保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

500HBW5/750, 表示用直径 5mm 的硬质合金球在 7.35kN (750kgf) 试验力作用下, 保持 10 ~ 15s 测得的布氏硬度值为 500。

布氏硬度值的测量误差小, 数据稳定, 重复性强, 常用于测量退火、正火、调质处理后的零件以及灰铸铁、结构钢、非铁金属及非金属材料等毛坯或半成品零件的硬度。但因测量费时, 压痕较大, 不适宜测量成品零件或薄件。

二、洛氏硬度

洛氏硬度值由洛氏硬度试验测定。

1. 洛氏硬度试验原理与方法

洛氏硬度试验是在初始试验力 F_0 及总试验力 F_1 的先后作用下，将压头（金刚石圆锥或钢球）压入被测材料或零件表面，经规定保持时间后，卸除主试验力，用测量的残余压痕深度增量计算硬度值的一种压痕硬度试验方法。如图 1-6 所示。实际测定时，试件的洛氏硬度值由硬度计的表盘上直接读出，材料越硬，则表盘上示值越大。

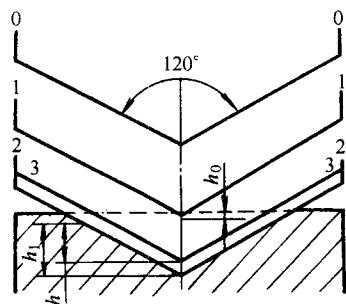


图 1-6 洛氏硬度试验原理示意图

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，根据被测试对象的不同，国家标准 GB/T 230—1991 规定可采用不同类型压头、试验力及硬度公式，组合成为不同的洛氏硬度标尺。现将常用的三种洛氏硬度标尺的硬度符号、试验规范列于表 1-2，以供参考。

表 1-2 常用洛氏硬度试验规范 (GB/T 230—1991)

洛氏硬度标尺	硬度符号	测量范围	初试验力 F_0/N	主试验力 F_1/N	总试验力 F/N	压头类型	应用举例
A	HRA	20 ~ 88	98.07	490.3	588.4	金刚石圆锥	硬质合金 表面淬火层 渗碳层等
B	HRB	20 ~ 100	98.07	882.6	980.7	1.5875mm 钢球	非铁金属 退火钢 正火钢
C	HRC	20 ~ 70	98.07	1373	1471	金刚石圆锥	调质钢 淬火钢等

以上三种常用洛氏硬度中，以 HRC 应用最多，一般经过淬火处理的零件和工具都用其测试硬度。根据 GB/T 230—1991 规定，洛氏硬度的标注方法为，硬度数值在前，硬度符号在后。因洛氏硬度是无名数，所以硬度符号之后一律不标单位。如 50HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 50。必须注意的是，硬度值应在有效测量范围内（例如 HRC 为 20 ~ 70）方为有效。HRC 与 HB 的数值关系（当 HBS > 220 时）约为 1:10。

2. 表面洛氏硬度

由于洛氏硬度试验所用载荷较大，不宜测定极薄零件和表面硬化层（如渗氮及金属镀层）的硬度。因此，根据洛氏硬度的试验原理，发展了表面洛氏硬度试验。表面洛氏硬度试验是初始试验力为 29N，总实验力为 147N (15kgf)，249N (30kgf) 或 441N (45kgf) 的洛氏硬度试验。

表面洛氏硬度用符号 HR 表示，HR 前面为硬度数值，HR 后面为使用的标尺。例如 70HR30kgf 表示用 30kgf 标尺（总试验力为 249N）测定的表面洛氏硬度值为 70。

表面洛氏硬度的试验条件及适用范围等见 GB/T1818—1994《金属表面洛氏硬度试验方法》。

3. 洛氏硬度试验的特点及应用

洛氏硬度测定简单，方便快捷，可直接从表盘上读出硬度数值，压痕小，多用来测较硬

材料的硬度或成品零件硬度，测试范围大，能测较薄零件的硬度。但由于压痕小，测定结果波动较大，稳定性较差，故需测试三点，取其算术平均值，一般不适宜测试组织不均匀的材料。

三、维氏硬度

维氏硬度值由维氏硬度试验测定。维氏硬度是将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头以选定的试验力（49.03 ~ 980.7N）压入被测材料或零件表面，经规定保持时间后卸除试验力，用测量的压痕对角线长度计算硬度的一种压痕硬度试验。试验原理如图 1-7 所示。

压痕对角线长度是用附在试验计上的测微器来测量的。根据 GB4340—1999 规定，测量时应测出压痕两条对角线的长度 d_1 与 d_2 ，求出算术平均值作为压痕对角线长度 d ，然后就可以计算或查表得出维氏硬度值（维氏硬度值是试验力除以压痕表面积所得的商）。

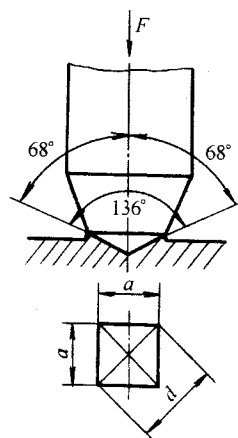


图 1-7 维氏硬度试验原理

维氏硬度的表示符号为 HV，测量范围是 5 ~ 1000HV，标注方法与布氏硬度相同。硬度数值写在符号的前面，试验条件写在符号的后面。对于钢及铸铁的试验力保持时间为 10 ~ 15s 时，可以不标出。例如：640HV30 表示用 294.2N (30kgf) 试验力保持 10 ~ 15s 测定的维氏硬度值为 640。

维氏硬度的适用范围宽，从极软到极硬的材料都可以测量，弥补了布氏硬度因压头变形而不能测高硬度材料，洛氏硬度由于试验力与压头直径比的约束而使硬度值不能相互换算的不足；压痕轮廓清晰，采用对角线长度计量，精确可靠，误差小，能够更好地测量极薄零件的硬度，尤其是经化学热处理的渗层硬度等。但维氏硬度需测量对角线长度，然后计算或查表才可获得硬度值，而且试样表面质量要求高，所以测量效率较低，不适宜于大批生产，不适合测量组织不均匀的材料（如铸铁的硬度）。

四、里氏硬度简介

里氏硬度测试方法是于 1978 年引入硬度测量技术的，该方法是用规定质量的冲击体在弹力作用下以一定速度冲击被测材料或零件表面，用冲头在距被测材料或零件表面 1mm 处的回弹速度与冲击速度的比值计算硬度值。其表示符号为 HL。当使用不同冲击装置时，应在 HL 之后附以相应型号，如 HLD 表示用 D 型装置测定的里氏硬度。里氏硬度的表示方法为符号前示出硬度数值，符号后示出冲击装置类型，例如 700HLD 表示用 D 型冲击装置测定的里氏硬度值为 700。适用于大型金属零件及部件的硬度测定。

常用的 HLN-11 系列里氏硬度计，是一种手持式硬度测试仪器。具有易携带（总质量 0.675kg），测试精度高（相对误差 $\pm 0.8\%$ ），测量范围宽（可实现六种硬度 HL；HRC；HRB；HB；HV；HSD 之间的相互转换及硬度与强度 σ_b 间的相互转换），操作方便（可反复显示各测试结果，并可删除粗大误差等），并适用于所有常用金属等特点，可广泛用于石油、化工、机械、电子等各种行业。具体测试方法及要求等见 GB/T 17394—1998《金属里氏硬度测试方法》。

五、硬度指标的实用性

硬度实际上反映了金属材料的综合力学性能。它不仅从金属表面层的一个局部反映了材