

©主 编 李书伟

工程材料与热加工工艺

GONGCHENGCAILIAOYU
REJIAGONGGONGYI



南京大学出版社

工程材料与热加工工艺

主 编 李书伟

副主编 曹 卫 汪洪林



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热加工工艺 / 李书伟主编. — 南京 :
南京大学出版社, 2011. 12

ISBN 978 - 7 - 305 - 09142 - 1

I. ①工… II. ①李… III. ①工程材料—高等学校—
教材 ②热加工—高等学校—教材 IV. ①TB3 ②TG306

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 242802 号

出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093
网 址 <http://www.NjupCo.com>
出 版 人 左 健

书 名 工程材料与热加工工艺
主 编 李书伟
责任编辑 刘 波 编辑热线 025 - 83686531

照 排 南京南琳图文制作有限公司
印 刷 南京人民印刷厂
开 本 787×1092 1/16 印张 25 字数 619 千
版 次 2011 年 12 月第 1 版 2011 年 12 月第 1 次印刷
ISBN 978 - 7 - 305 - 09142 - 1
定 价 47.00 元

发行热线 025 - 83594756 83686452
电子邮箱 Press@NjupCo.com
Sales@NjupCo.com(市场部)

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

本书依据教育部高等学校教学指导委员会颁发的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》，汲取国内相关院校教学改革和课程建设的成果，力求适应高等教育的改革和发展，并结合编者的工程 and 教学实践编写而成。

全书分四个知识模块十一章：第一模块为工程材料基础理论，包括材料的分类与性能、材料的结构与结晶、钢的热处理；第二模块为常用工程材料，包括黑色金属材料、有色金属材料和其他工程材料；第三模块为金属材料热加工工艺，包括金属液态成形、金属塑性成形和焊接成形；第四模块为工程材料与热加工工艺的选用。本书以培养选择和使用工程材料及成形工艺能力为目的，整合和精简基础理论，力求贯彻最新国家标准，介绍新型工程材料和金属材料热加工工艺新方法。

本书注重理论联系实际，从应用角度出发，引入实例以启发，努力把基础理论和工程实际有机结合起来，培养正确运用材料的能力，掌握分析和解决工程技术实际问题的本领，同时注重工程素养和创新思维能力的培养。

本书可作为高等院校机械类及近机类专业教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书由李书伟任主编，曹卫和汪洪林任副主编。具体编写分工如下：李书伟（前言、绪论、第七章、第八章、第十章第四节），曹卫（第四章、第五章、第十章第三节），汪洪林（第三章），窦沙沙（第一章、第二章），张红蕾（第六章、第九章、第十章第一至二节）。

本书由葛友华教授审阅，本书的编写得到了盐城工学院教材基金的资助，参考了大量有关文献资料，编者在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，难免有错误和不足之处，敬请读者提出宝贵意见，以求改进。

编 者

2011 年 9 月

目 录

绪 论	1
第一章 工程材料的分类与性能	4
第一节 工程材料的分类	4
第二节 材料的使用性能	6
第三节 材料的工艺性能	23
第四节 材料的其他性能	25
思考题	28
第二章 材料的结构与结晶	29
第一节 结合键	29
第二节 晶体结构理论	31
第三节 晶体缺陷理论	36
第四节 纯金属结晶	41
第五节 合金的结晶与相图	47
第六节 铁碳合金相图	60
第七节 铸态组织与冶金缺陷	75
思考题	76
第三章 钢的热处理	78
第一节 钢的热处理基础	79
第二节 钢的整体热处理	92
第三节 钢的表面热处理	102
第四节 钢的化学热处理	105
第五节 热处理新技术简介	110
思考题	113
第四章 黑色金属材料	116
第一节 概述	116
第二节 结构钢	126

第三节 工具钢	132
第四节 滚动轴承钢	140
第五节 特殊性能钢	142
第六节 铸钢与铸铁	146
思考题	155
第五章 有色金属材料	157
第一节 铝及其合金	157
第二节 铜及其合金	162
第三节 钛及其合金	164
第四节 滑动轴承合金	166
第五节 硬质合金与粉末冶金	168
思考题	172
第六章 其他工程材料	173
第一节 高分子材料	173
第二节 陶瓷材料	192
第三节 复合材料	199
第四节 新型工程材料简介	206
思考题	214
第七章 金属液态成形	215
第一节 金属液态成形基础理论	215
第二节 常用铸造方法	226
第三节 铸造工艺设计	241
第四节 铸件结构设计	253
第五节 铸造实用新方法简介	262
思考题	265
第八章 金属塑性成形	268
第一节 金属塑性成形基础理论	268
第二节 常用塑性成形方法	273
第三节 塑性成形结构工艺性	294
第四节 塑性成形工艺规程	299
第五节 塑性成形实用新方法简介	309
思考题	313

第九章 焊接成形	315
第一节 焊接成形基础理论.....	315
第二节 焊接方法.....	325
第三节 常用金属的焊接.....	336
第四节 焊接结构及工艺设计.....	343
第五节 焊接新技术简介.....	353
思考题.....	357
第十章 工程材料与热加工工艺的选用	359
第一节 零件的失效分析.....	359
第二节 材料与成形工艺的选择原则.....	363
第三节 典型零件的选材.....	369
第四节 常用机械零件成形方法的选择.....	384
思考题.....	389
主要参考文献	391

绪 论

一、工程材料与热加工工艺的发展

材料是人类生产和生活的物质基础,它可以直接反映出人类社会的文明程度,从某种意义上讲,人类的文明史就是材料的发展史。人类社会所经历的石器时代、青铜器时代、铁器时代以及当今人工合成材料时代就是按生产活动中起主要作用的工具和材料来划分的。材料既是一门古老学科,又是一门不断焕发青春的学科,它既具有悠久的发展历史,又处于当今科学技术发展的主导地位。

工程材料与热加工工艺来源于人类的生产实践,它对人类文明进步起到了积极的推动作用。早在远古时代,人类的祖先以石器为主要工具,石块是人类历史最早使用的工程材料,并在不断改进石器的过程中发现了天然铜块和铜矿石,在陶器的制造过程中发现了冶铜术,后来又将锡矿石和铜矿石一起冶炼,生产出了更加坚韧和耐磨的青铜,人类社会从此进入青铜器时代。公元前 1200 年左右,人类开始使用铁,人类社会进入铁器时代,后来钢铁工业迅速发展,成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。

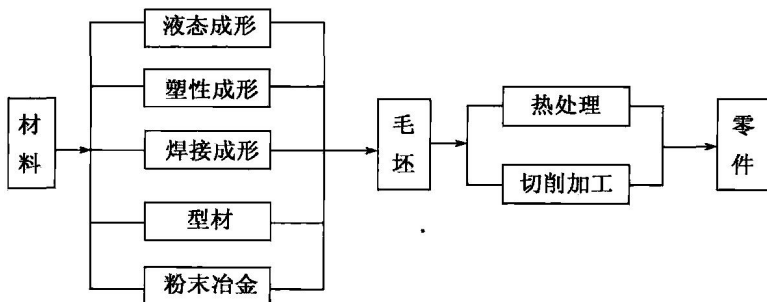
在材料生产和热加工技术方面,中华民族取得过辉煌的成就。我国使用铜的历史有 4000 年左右,在商代(公元前 1600~公元前 1046)就有高度发达的青铜加工技术。我国铁的使用比欧洲早 1900 余年,在春秋时期就大量使用了铁器。东汉时期我国就掌握了炼钢技术,比其他国家早 1600 余年。河南安阳出土的司母戊大方鼎,重达 875kg,它不仅体积庞大,而且上面花纹精巧、造型精美,反映了我国古代高超的铸造技术。湖北江陵楚墓中的越王勾践宝剑在地下埋藏 2000 多年,出土时仍金光闪闪、锋利无比,经研究发现是因为越王勾践宝剑经过了硫化处理,说明当时人们就掌握了运用热处理技术改变材料的性能。秦皇陶俑剑是采用了铬盐氧化法的钝化处理,这方法至今仍是重要的表面防护技术。到明朝就有比较完整的文字著作,宋应星所著的《天工开物》一书,记载了冶铁、炼钢、锻铁和淬火等各种金属加工方法,是世界上最早比较全面阐述材料与加工技术的科学文献之一。

新中国成立后,我国在金属材料、非金属材料及其加工工艺方面取得了长足进步,原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星等重大项目的研究与试验得以成功。改革开放以来,神七、神八、大飞机工程等航空航天取得突破,“鸟巢”、跨海大桥等建设工程令世人瞩目,不断出现新材料、新工艺、新技术和新设备,都标志着我国在材料生产和热加工技术方面达到了很高的水平。

当今社会进入了新的技术革命,计算机、生物工程、空间技术、新材料、新能源等,构成了新兴技术的主体,而材料科学在其中发挥着关键性的作用。飞机、火箭、卫星要求飞得更高、更快、更远,微电子产品要求更小、寿命要求更长,汽车要求更安全、更舒适和更美观,建筑要求更坚固、更耐火等,这一切无不依赖于新的材料和新的加工技术的诞生和发展。

二、工程材料与热加工工艺的地位和作用

制造业是国民经济的物质基础和工业化的产业主体,是社会进步与富民强国之本。任何一个国家为了自身的发展和安,都将制造业的发展和升级作为国家战略来对待。高度发达的制造业是实现工业化的必备条件,也是一个国家综合竞争力的重要标志。机械制造是制造业的重要组成和基础,在国民经济建设和人们的生活中,都离不开机械产品。工程材料与热加工工艺是机械制造生产过程的重要组成部分。机械制造的生产过程一般是先用金属液态成形、塑性成形或焊接成形等方法将材料制作成零件的毛坯(或半成品),再经切削加工制成尺寸精确的零件,最后将零件装配成机器。机械零件的制造工艺过程主要包括零件材料的选择、毛坯的生产、切削加工、热处理等,如下图所示。



对于从事工程的技术人员而言,无论是设计、制造、运行、维护等都必然要面对零件的材料选择、改性工艺拟定及坯件成形结构工艺性等问题,因此掌握工程材料尤其是钢铁材料的组织性能、改性及成形是工程岗位要求所不可缺少的知识。

在工程设计过程中,不仅要确定各种零部件的结构形状,还必须确定材料、工艺及成形方法,在设计、选材、制造三者间拟定多种方案,经分析比较择优确定。由于每种结构均需选择相应成分的材料来满足性能要求,而每种材料的性能又取决于其组织结构和成形方法,因此结构设计、选材及改性、选择毛坯及成形方法,不仅成了相互关联的综合技术问题,还是机械设计的重要基础。

在制造过程中,由于工艺过程十分复杂,加工工序繁多,不仅有液态成形、塑变成形、焊接成形,还会穿插各种热处理等工艺。因此合理选择成形方法及工艺路线,是保证获得优质机械零件的重要依据。

工程材料与热加工工艺的选用直接影响零件的质量、成本和生产率。要合理选择毛坯种类和制造方法,必须掌握各种材料的性能、特点、应用及其成形过程,包括各种成形方法的工艺实质、成形特点和选用原则等。

尽管各种新技术、新工艺应运而生,新的制造理念不断形成,但铸造、压力加工、焊接和热处理等传统的常规成形工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术。因此,常规工艺的不断改进和提高,并通过各种途径实现成形的高效化、精密化、轻量化和绿色化,具有很大的技术经济意义。本课程也是学习上述新知识的入门课程。

三、本课程的目的、特点和教学要求

课程旨在培养学生正确选用材料、合理加工材料的能力,熟悉常用材料的结构特点和基

本特性,了解材料的使用特性和分析方法,掌握合理使用常用材料的基本技能,根据零部件的工作状况、失效形式、力学性能等因素,合理选择工程材料及生产工艺,在知识结构、分析问题、解决问题能力等方面进行素质培养,为后续有关课程的学习和工作打好基础。

机械制造三大基础为工程材料、热加工工艺和机械加工工艺,本课程承担了前两大基础。工程材料是产品的物质载体和质量保证,热处理是关键,热加工是重要手段。本课程在工科院校机械类、近机类专业课程配置中,占有重要的位置,是培养学生合理选材、正确用材能力必修的重要课程,在专业知识结构中具有承前启后的作用。因此,本课程为机械类、近机类专业必修的学科基础课。

本课程主要介绍材料的成分、组织、结构、性能、用途及其热处理和金属液态成形、金属塑性成形、焊接成形等热加工工艺等方面基本知识。课程的重点是常用工程材料、常用加工方法的基本知识和能力,课程的难点是材料的组织转变,常用材料的热处理和热加工工艺。

工程材料与热加工工艺是由多门课程整合而成,其体系较为庞杂,涉及面较宽。名词、术语、概念多,既有一定的理论性,更具有较强的实践性;内容主要是建立在实验观察和工业实践基础之上,以实质性和规律性的描述为主,加之成分、组织和结构看不见、摸不着,因此,是一门理论性和实践应用性很强的课程。

第一章 工程材料的分类与性能

材料是人类文明与社会进步的物质基础和先导,是实施可持续发展战略的关键。人类生活与生产都离不开材料,它的品种、数量和质量是衡量一个国家现代化程度的重要标志。如今,材料、能源、信息已成为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。

材料的发展虽然离不开科学技术的进步,但科学技术的继续发展又依赖于工程材料的发展。在人们日常生活用品和现代工程技术的各个领域,工程材料的重要作用都是很明显的。例如,耐腐蚀、耐高压的材料在石油化工领域中应用;高强度、重量轻的材料在交通运输领域中应用;某些高聚物和金属材料在外科移植领域中应用;高温合金和陶瓷在高温装置中应用;半导体材料在通信、计算机、航天和日用电子器件等领域中应用;强度高、重量轻、耐高温、抗热震性好的材料在宇宙飞船、人造卫星等宇航领域中应用;在机械制造领域中,从简单的手工工具到复杂的智能机器人,都应用了现代工程材料。在工程技术发展史上,每一项创造发明能否推广应用于生产,每一个科学理论能否实现技术应用,其材料往往是解决问题的关键。因此,世界各国对材料的研究和发展都是非常重视的,它在工程技术中的作用是不容忽视的。

第一节 工程材料的分类

工程材料是指固体材料领域中与工程(结构、零件、工具等)有关的材料,主要应用于机械制造、航天航空、化工、建筑与交通等部门。工程材料种类繁多,有许多不同的分类方法。

一、按照材料的化学属性分类

现代材料种类繁多,据粗略统计,目前世界上的材料种类已达40余万种,并且每年还以约50%的速率增加。材料有许多不同的分类方法,机械工程中使用的材料通常分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料及其由此三者组合而成的复合材料四大类。

(一) 金属材料

金属材料由金属键结合而成,因此金属有比高分子材料高得多的模量,有比陶瓷高得多的韧性、可加工性、磁性和导电性。金属材料是用量最大、用途最广的主要工程材料,历来占据材料消费的主导地位,在相当长的时间内还将延续下去。

金属材料又可以分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属指铁及铁基合金材料,即钢铁材料,因其具有优良的力学性能、工艺性能和低成本等综合优势,使之长期处于主导地

位。有色金属指除铁基合金之外的所有金属及其合金材料,有色金属材料种类很多,按照它们特性的不同,又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多种,其中以铝及其合金、铜及其合金用途最广。

(二) 陶瓷材料

陶瓷是泛指一切经高温处理而获得的无机非金属材料,除先进(特种)陶瓷外,还包括玻璃、搪瓷、水泥和耐火材料等。从狭义上讲,用无机非金属化合物粉体,经高温烧结而成,以多晶聚积体为主的固态物均称为陶瓷。

陶瓷的化学键是由共价键与离子键组成,具有优良的耐高温、耐磨、耐腐蚀的特点。分为传统陶瓷、特种陶瓷和金属陶瓷三类。

陶瓷材料是指硅酸盐、金属与非金属元素的化合物(主要是氧化物、氮化物、碳化物等)。工业上常分为三大类,其一是传统陶瓷,由粘土、石英、长石等组成,主要成分是天然硅、铝的氧化物及硅酸盐,常用作建筑材料;其二是特种陶瓷(新型陶瓷),主要成分是人工氧化物、碳化物、氮化物和硅化物的烧结材料,常用作工业上耐热、耐蚀、耐磨等零件;其三是金属陶瓷,即金属粉末与陶瓷粉末的烧结材料,主要用作工具、模具等。

陶瓷具有许多优异的性能,如高硬度、高耐磨性、高的抗压性能、高的耐热性和耐蚀性能,其最大缺点是塑性低、韧性差、易脆断、且不易加工成形,故限制了它作为结构材料的使用范围;对陶瓷结构材料的增强增韧是今后的主要研究课题。此外,由于陶瓷具有独特的光、电、热等物理性能,因而是主要的功能材料之一。

(三) 高分子材料

高分子材料又称聚合物,是由相对分子质量很大的大分子组成,其主要原料是石油化工产品。高分子材料按材料来源可分为天然高分子材料(蛋白、淀粉、纤维素等)和人工合成高分子材料(合成塑料、合成橡胶、合成纤维);按性能及用途可分为塑料、橡胶、纤维、胶黏剂、涂料。

塑料是最主要的高分子材料,常分为通用塑料和工程塑料。通用塑料主要用于制作薄膜、容器和包装用品,聚乙烯是其典型代表;工程塑料是指力学性能较高的聚合物,聚酰胺(尼龙)是这类材料的代表。由于高分子材料具有金属材料所不具备的某些优异性能(如重量轻、电绝缘性、隔热保温性、耐蚀性等),其发展速度相当快。

(四) 复合材料

由于多种金属材料不耐腐蚀,无机非金属材料脆性大,高分子材料不耐高温,人们把上述两种或两种以上的不同材料组合起来,使之取长补短、相得益彰就构成了复合材料。复合材料由基体材料和增强材料复合而成。基体材料有金属、塑料、陶瓷等,增强材料有各种纤维和无机化合物颗粒等。

在新制成的材料中,原来各材料的特性得到了充分的应用,而且复合后可望获得单一材料得不到的新功能材料。复合材料包括:

(1) 软质复合材料,具有高强度、高质量的特点。如橡胶与纺织材料结合在一起,人造丝、尼龙、金属纤维等。

(2) 硬质复合材料,“玻璃钢”代表增强纤维与合成树脂制成的复合材料。

金属、高分子、陶瓷材料各有优缺点,若将以上两种或两种以上的材料微观地组合在一起形成的材料,便是复合材料。复合材料发挥了其组成材料的各自长处,又在一定程度上克服了它们的弱点,按其基体不同,复合材料常分为三大类型:树脂基复合材料、金属基复合材料和陶瓷基复合材料。

近年来人们为集中各类材料的优异性能于一体,充分发挥各类材料的潜力,制成了各种复合材料。因而复合材料是一种很有发展前途的材料。目前,高的比强度和比弹性模量的复合材料已广泛应用于航空、建筑、机械、交通运输以及国防工业等部门。

二、按材料的性能特点分类

(一) 结构材料

结构材料是以强度、刚度、塑性、韧性、硬度、疲劳强度、耐磨性等力学性能为性能指标,用来制造承受载荷、传递动力的零件和构件的材料,可以是金属材料、高分子材料、陶瓷材料或复合材料。

(二) 功能材料

功能材料是以声、光、电、磁、热等物理性能为指标,用来制造具有特殊性能的元件的材料,如大规模集成电路材料、信息记录材料、充电材料、激光材料、超导材料、传感器材料、储氢材料等都属于功能材料。目前功能材料在通信、计算机、电子、激光和空间科学等领域中扮演着极其重要的角色。

在人类漫长的历史发展过程中,材料一直是社会进步的物质基础与先导。21 世纪,材料科学必将在当代科学技术迅猛发展的基础上朝着精细化、超高性能化、高功能化、复杂化(复合化和杂化)、生态环境化和智能化的方向发展,从而为人类的物质文明建设做出更大贡献。

第二节 材料的使用性能

材料是人类社会经济地制造有用器件的物质。所谓有用,是指材料满足产品使用需要的特性,即使用性能,它包括力学性能、物理性能和化学性能;制造是指将原材料变成产品的全过程,材料对其所涉及的加工工艺的适应能力即为工艺性能,它包括液态成形性能、塑性加工性能、切削加工性能、焊接性能和热处理性能等。全面地理解材料性能及其变化规律,是机械设计、选材用材、制订加工工艺及质量检验的重要依据。作为材料性能的两个方面,使用性能和工艺性能既有联系又有区别,两者有时是统一的,但更多的情况下却互相矛盾,合理地解决两者间的矛盾并使之不断改善和创新,是材料研究与应用的主要任务之一。

一、材料性能依据

材料的性能是一种参量,用于表征材料在给定的外界条件下所表现出来的行为。材料本身是一个复杂的系统,它包含材料的化学成分和内部结构,因此可以说,材料的化学成分和内部结构是性能的内部依据。而性能则是指确定成分和结构的材料外部表现。这里的结构是一个广泛的概念,它包括原子结构、结合键、原子排列方式(晶体、非晶体与晶体缺陷)以及组织(显微组织与宏观组织)四个层次。由于材料的性能一般必须量化表示,因而它通常是依照标准规定通过不同的试验来测定表述的,这便是我们从材料手册或设计资料上获得的性能参数。实际工件的性能当然首先取决于材料的性能,但须考虑到工件的形状尺寸、加工工艺过程和使用条件对其重要的影响。

材料科学与工程是依据“工艺—结构—性能”这条思路去控制或改造材料的性能,即工艺决定结构、结构决定性能。在此,“结构”是惯用的“成分、结构”的简称,“工艺”则主要是指材料的制备和加工工艺,但也应考虑材料在使用过程中可能的结构变化以及由此对性能产生的影响。

在改变结构时,应注意它的可变性以及因这种改变对于性能改变的敏感性。有些结构是难于改变的,如原子结构;有些结构虽然可以通过工艺来改变,但性能改变的敏感性却不同。某些性能如熔点、弹性模量主要取决于成分而对其结构改变不敏感,因此称之为结构不敏感性能;而强度、塑性、韧性等性能对结构的改变非常敏感,则称之为结构敏感性能。这是选择材料和制定加工工艺所必须考虑的问题。例如弹簧钢的弹性、刚性及疲劳性能是其主要要求,选择不同成分(含碳量及合金元素量)的弹簧钢并经过不同的加工工艺(如冷、热塑性加工,热处理,表面喷丸等)来改变其内部结构,弹簧的弹性与疲劳性能有着明显的不同,而其刚性却差异甚微。这说明对弹簧钢而言,试图用工艺去改变组织结构不敏感性的性能——刚性,显然是徒劳无功的,即便是将普通弹簧钢改选成合金弹簧钢,刚性也无明显改善,其原因是碳钢与合金钢均是以Fe为主的材料,而金属材料的刚性主要取决于其主要成分,次要成分的微小变化对它影响不大。

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。材料是在一定的外界条件下使用的,如在载荷、温度、介质、磁场等作用下将表现出不同的行为,此即材料的使用性能,包括力学性能(强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等)、物理性能(密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性等)和化学性能(耐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是金属材料从冶炼到成品的生产过程中,适应各种加工工艺(如冶炼、铸造、冷热压力加工、焊接、切削加工、热处理等)应具备的性能。由于工程结构与机器零件以传递力和能、实现规定的机械运动为其主要功能,因此力学性能是最主要的。

二、力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在载荷作用时所表现的性能。这些性能是机械设计、材料选择、工艺评定及材料检验的主要依据。

通过不同的标准试验测定相关参量的临界值或规定值,即可作为力学性能指标。力学性能的类型依据载荷特性的不同而不同,若按加载方式不同则可分为拉伸、压缩、弯曲、扭转与剪切等性能;若按载荷的变化特性不同又可分为静载荷力学性能和动载荷力学性能等。

不论何种情况,材料在外力作用下均会产生形状与尺寸的变化——变形。依照外力去除后变形能否恢复,变形可分为弹性变形(可恢复的变形)和塑性变形(不可恢复的残余变形)。当变形到一定程度而无法继续进行时,材料便发生断裂现象。断裂前有明显宏观塑性变形的称为韧性断裂,反之则称为脆性断裂。

材料的变形与断裂是其受到外力作用时所表现出的普遍力学行为,试验测定的力学性能指标也很多,常用的力学性能有强度、塑性、刚度、弹性、硬度、韧性、疲劳性能和耐磨性等。

(一) 强度

强度是指材料在外力作用下对变形与断裂的抵抗能力,若将断裂看成变形的极限,则可将强度简称为变形的抵抗能力。强度是依据国家标准(GB/T228)的规定进行静拉伸试验得到的。

拉伸试样的形状通常有圆柱形和板状两类。图 1-1(a)所示为圆柱形拉伸试样。在圆柱形拉伸试样中 d_0 为试样直径, l_0 为试样的标距长度,根据标距长度和直径之间的关系,试样可分为长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)。

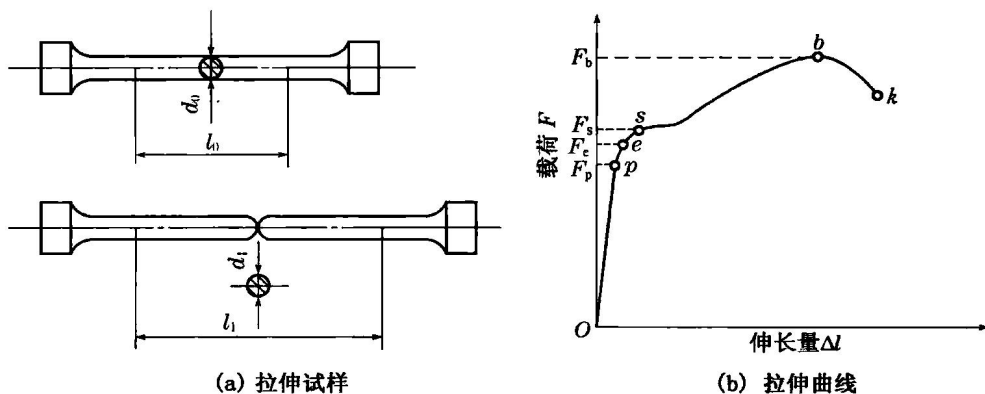


图 1-1 拉伸试样与拉伸曲线

试验时,将试样两端夹装在试验机的上下夹头上,随后缓慢地增加载荷,随着载荷的增加,试样逐步变形而伸长,直到被拉断为止。在试验过程中,试验机自动记录了每一瞬间负荷 F 和变形量 Δl ,并给出了它们之间的关系曲线,故称为拉伸曲线(或拉伸图)。拉伸曲线反映了材料在拉伸过程中的弹性变形、塑性变形和直到拉断时的力学特性。

由图 1-1(b)低碳钢的拉伸曲线可知:在载荷较小的 oe 段,试样的变形随载荷增加而线性增加,若除去外力后则变形完全恢复,故 oe 阶段为弹性变形阶段;外力超过 p 点后,试样进入弹性-塑性变形阶段,此时若除去外力,则变形不可完全恢复(弹性变形可恢复,塑性变形则成为不可恢复的永久变形);当达到 s 点时,试样产生屈服现象——即外力不增加而变形明显继续进行;超过 s 点后,随着外力的提高,塑性变形逐渐增加,并伴随着形变强化现象,即变形需要不断增加外力才能继续进行,在 $s \sim b$ 点之间,试样发生的是均匀塑性变形;当达到并超过 b 点之后,试样开始产生不均匀的集中塑性变形即缩颈,并随着变形的继续伴有载荷下降现象;当达到 k 点时,试样于缩颈处产生断裂。

综上所述,典型的拉伸曲线(如低碳钢试样)表征的力学行为可分为弹性变形阶段(oe

段)、弹塑性变形阶段(ek 段)和断裂阶段(k 点),其中弹塑性变形阶段又可细分为屈服塑性变形(es 段)、均匀塑性变形(sb 段)和不均匀集中塑性变形(bk 段)。但并非所有材料的拉伸曲线均有以上明显的全部特征,如塑性极低的铸铁或淬火高碳钢、陶瓷等材料则几乎只有弹性变形阶段,这说明材料的成分和组织结构不同,在相同的实验下所表现出来的力学行为有着明显的差异。

在拉伸试验中得到的拉伸曲线图,为排除试样原始尺寸对拉伸曲线的影响,用数学方法处理即可得到工程上常用的应力-应变的关系曲线,即应力-应变曲线(如图 1-2)。从中得到一些有价值的临界或规定的点来确定材料的一系列强度指标。由于一般强度是指对塑性变形的抗力,依照塑性变形量的允许程度不同,则有以下强度指标。

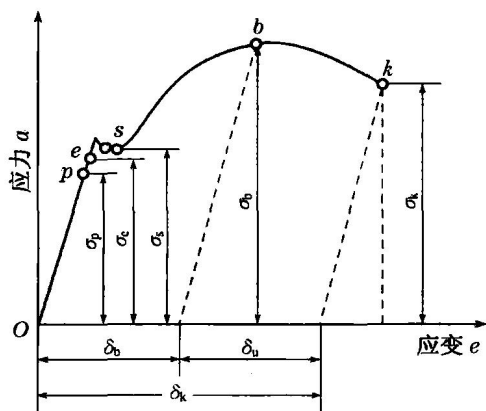


图 1-2 应力-应变曲线图

1. 比例极限

在弹性变形阶段,应力和应变关系完全符合胡克定律的极限应力即为比例极限。如火炮炮筒,为保证炮弹的弹道准确性,则要求炮筒只能产生弹性变形且其变形与应力之间应严格保持正比关系,否则炮筒会产生不符合要求的微量塑性变形,炮弹就会偏离射击目标。故炮筒设计时应采用比例极限为强度指标。

2. 弹性极限

金属材料在载荷作用下产生弹性变形时所能承受的最大应力称为弹性极限,用符号 σ_e 表示:

$$\delta_e = F_e / A_0 \quad (1-1)$$

式中: F_e 为试样产生弹性变形时所承受的最大载荷(N); A_0 为试样原始横截面积(cm^2)。

弹性极限受测量仪器的精度影响而难于确定,故国家标准一般以残余应变量为(即微量塑性变形量)为 0.01% 时的应力值作为“规定弹性极限”(或称“条件弹性极限”)。工程上,弹性元件(如汽车板簧、仪表弹簧等)均是按弹性极限来进行设计选材的。

3. 屈服强度

金属材料开始明显塑性变形时的最低应力称为屈服强度,用符号 σ_s 表示:

$$\sigma_s = F_s / A_0 \quad (1-2)$$

式中: F_s 为试样屈服时的载荷(N); A_0 为试样原始横截面积(cm^2)。

生产中使用的某些金属材料,在拉伸试验中不出现明显的屈服现象,无法确定其屈服点 σ_s 。所以国标中规定,以试样塑性变形量为试样标距长度的 0.2% 时,材料承受的应力称“条件屈服强度”,并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。 $\sigma_{0.2}$ 的确定方法如图 1-3 所示:在拉伸曲线横坐标上截取 C 点,使 $OC = 0.2\% l_0$,

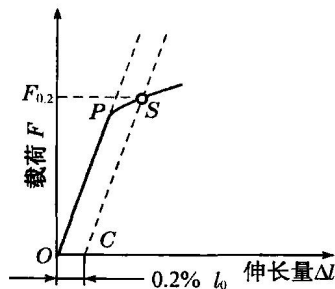


图 1-3 屈服强度测定

过C点作OP斜线的平行线,交曲线于S点,则可找出相应的载荷 $F_{0.2}$,从而计算出 $\sigma_{0.2}$ 。

屈服强度表示了材料由弹性变形阶段过渡到弹-塑性变形阶段的临界应力,可认为是材料对明显塑性变形的抗力。绝大多数零件,如紧固螺栓、汽车连杆、机床丝杠等,在工作时都不允许有明显的塑性变形,否则将丧失其自身精度或影响与其他零件的相互配合,因此屈服强度是设计与选材的主要依据。

4. 抗拉强度

金属材料在断裂前所能承受的最大应力称为抗拉强度(又称强度极限),用符号 σ_b 表示:

$$\sigma_b = F_b / A_0 \quad (1-3)$$

式中: F_b 为试样在断裂前的最大载荷(N); A_0 为试样原始横截面积(cm^2)。

对塑性较好的材料, σ_b 表示了材料对最大均匀变形的抗力;而对塑性较差的材料,一旦达到最大载荷,材料迅即发生断裂,故 σ_b 是其断裂抗力(断裂强度)指标。不论何种材料, σ_b 均是其最大允许承载能力的度量,且因 σ_b 易于测定,故适合于作为产品规格说明或质量控制标志,广泛出现在标准、合同、质量证明等文件资料中。 σ_b 在设计选材中的应用不及 σ_s 普遍,但如钢丝绳、建筑结构件等对塑性变形要求不严而仅要求不发生断裂的零件, σ_b 就是其设计与选材的参数。

所有以上强度指标均可作为设计与选材的依据,为了应用的需要,还有一些从强度指标派生出来的指标:

(1) 比强度

它是各种强度指标与材料密度之比,在对零件自身重量有要求或限制的场合下(如航空航天构件、汽车等运行机械),比强度有着重要的应用意义。

(2) 屈强比

它是材料屈服强度与抗拉强度之比,表征了材料强度潜力的发挥、利用程度和该种材料零件工作时的安全程度。

这里应该强调指出,材料强度指标是其组织结构敏感性参数,合金化、热处理及各种冷热加工可在很大程度上改变它的大小。

(二) 刚度

1. 概念

绝大多数机器零件在工作时基本上都是处于弹性变形阶段,即均会发生一定量的弹性变形。但若弹性变形过大,则工件也不能正常工作,由此引出了材料对弹性变形的抵抗能力——刚度(或刚性)指标。如果说强度保证了材料不发生过量塑性变形甚至断裂,刚度则保证了材料不发生过量弹性变形。从这个角度来看,刚度和强度具有相同的技术意义而同等地重要,因而机械设计时既包括强度设计又包括刚度设计。

在应力-应变曲线上的弹性变形阶段,应力与应变的比值即为材料刚度,也就是材料的弹性模量。它在数值上等于该直线的斜率即 $\tan \alpha$,常用的有正弹性模量 E 。实际工件的刚度首先取决于其材料的弹性模量 E ,又与该工件的形状和尺寸(如截面积)有关,因此工件刚度代表了工件产生单位弹性变形所需的载荷大小。刚度的对立面是挠度,即外力作用下工