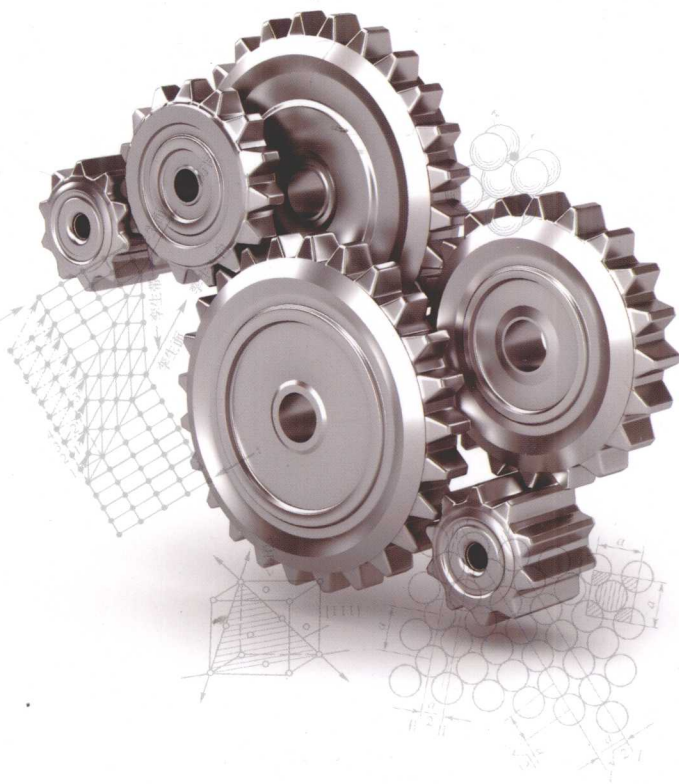


高等学校“十二五”规划教材
GAODENG XUEXIAO SHIERWU GUIHUA JIAOCAI

机械工程材料

JIXIE GONGCHENG CAILIAO

张建军 李世春 胡旭 张毅◎主编



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

高等学校“十二五”规划教材
GAODENG XUEXIAO SHIERWU GUIHUA JIAOCAI

机械工程材料

JIXIE GONGCHENG CAILIAO

张建军 李世春 胡旭 张毅◎主 编
张黎骅 李妙玲 王海霞 强华 马永昌◎副主编



西南师范大学出版社
国家一级出版社 全国百佳图书出版单位

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料 / 张建军等主编. —重庆:西南师范大学出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-5621-7252-9

I. ①机… II. ①张… III. ①机械制造材料—高等学校—教材 IV. ①TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 300502 号

机械工程材料

JIXIE GONGCHENG CAILIAO

主 编:张建军 李世春 胡 旭 张 毅

责任编辑:杜珍辉

封面设计:

出版发行:西南师范大学出版社

地址:重庆市北碚区天生路1号

邮编:400715 市场营销部电话:023-68868624

<http://www.xscbs.com>

经 销:新华书店

印 刷:重庆紫石东南印务有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:20.25

字 数:481千字

版 次:2015年3月 第1版

印 次:2015年3月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-5621-7252-9

定 价:36.00元

若有印装质量问题,请联系出版社调换

版权所有 翻印必究

前 言

本书根据教育部机械基础课程教学指导分委员会工程材料及机械制造基础课指组制定的《普通高等学校工程材料及机械制造基础系列课程教学基本要求》的工程材料课程教学要求,结合编者多年教学经验并吸收近年来工程材料课程教学改革成果编写。

本书系统地阐述了机械工程常用金属与非金属材料的基础理论,特别是机械工程常用材料及选用。内容包括:金属材料的力学性能、材料的结构、材料的凝固与结晶、铁碳合金、金属塑性变形和再结晶、钢的热处理及表面处理、合金钢、铸铁、有色金属及高分子材料、陶瓷材料、粉末冶金材料、复合材料、功能材料及应用,机械零件的失效分析,典型机械零件、工模具的选材与工艺分析。

本书注重基本理论和基本概念的阐述,内容新颖,信息量大,采用最新国家标准,在保证理论知识完整性、系统性的同时,适当增加新材料、新工艺、新技术内容,突出机械工程材料的应用。重视可读性和实用性,在合理编排章节内容的同时,每章首先给出导言,让读者了解每章基本知识要点。

参加本书编写的有西南大学张建军(绪论、第14章、第15章);长江师范学院李世春(第9章、第12章);重庆文理学院胡旭(第1章、第2章);重庆邮电大学张毅(第6章);四川农业大学张黎骅(第5章);洛阳理工学院李妙玲(第3章、第4章)、王海霞(第7章、第8章);重庆人文科技学院强华(第10章、第11章);西南大学马永昌(第13章、附录)。

本书由张建军、李世春、胡旭、张毅担任主编,张黎骅、李妙玲、王海霞、强华、马永昌担任副主编。全书由张建军统稿。

与本书配套的《工程材料实验教程》(张建军等主编)也同时由西南师范大学出版社出版,可供选用。

本书为高等学校机械类、近机械类本科各专业“机械工程材料”课程的教材,也可供高职高专、广播电视大学和网络教育等其他类型学校有关专业选用及有关工程技术人员参考。

在编写过程中,作者参阅了有关教材、标准、资料,在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中缺点和错误在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2014年9月

绪 论

0.1 材料的定义、地位和作用

材料是人们用来制造各种产品的物质,是人类生活和生产的物质基础。人类社会发展的历史表明,生产技术的进步和生活水平的提高与新材料的运用息息相关。材料的利用情况标志着人类文明的发展水平,历史学家把人类的历史按人类所使用的材料种类划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代,人类社会的发展伴随着材料的发明和发展。每一种新材料的出现和应用,都使社会生产和生活发生重大的变化,并有力地推动着人类文明进步。

如今,把材料、信息、能源称为现代技术的三大支柱,许多工业化国家都把材料学作为重点发展的学科之一,可见材料在现代技术中的重要地位和作用。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;强度高、重量轻的材料在交通运输领域中应用;某些高分子材料、陶瓷材料和金属材料在生物医学领域中应用;高温合金和陶瓷在高温装置中应用;半导体材料、超导材料在通信、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、抗热振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非常重视,它在工程技术中的作用是不容忽视的。

0.2 工程材料的分类

现代材料种类繁多,据粗略统计,目前世界上的材料总和已达 40 余万种,并且每年还以约 5% 的速率增加。材料有许多不同的分类方法。

按照材料的使用性能分为结构材料和功能材料两大类。结构材料是以力学性能为主要使用性能,用于工程结构和机械零件等;功能材料是以某些物理、化学或生物功能等为主要使用性能,用于特殊功能零件。

按照材料的化学组成为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类。

0.2.1 金属材料

目前,机械工业生产中,金属材料是最重要的工程材料。包括:①黑色金属——铁和以铁为基的合金(钢、铸铁和铁合金);②有色金属——黑色金属以外的所有金属及其合金。金属材料不仅来源丰富,而且还具有优良的使用性能与工艺性能。使用性能包括力学性能和物理、化学性能。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、尺寸的零件和工具。金属材料还可通过不同成分配制、不同加工和热处理来改变其组织和性能,从而进一步扩大其使用范围。其中,应用最广的是黑色金属,在机械产品中占整个用材的60%以上。

0.2.2 高分子材料

高分子材料为有机合成材料,亦称聚合物。其某些力学性能不如金属材料,但它们具有金属材料不具备的某些特性,如耐腐蚀、电绝缘性、隔声、减震、重量轻、原料来源丰富、价廉以及成型加工容易等优点,因而近年来发展极快。目前,它们不仅用作人们的生活用品,而且在工业生产中已日益广泛地代替部分金属材料,将成为可与金属材料相匹敌的、具有强大生命力的材料。

0.2.3 陶瓷材料

陶瓷材料是人类应用最早的材料。它坚硬、稳定,可以制造工具、用具;在一些特殊的情况下也可作为结构材料。新型陶瓷材料的塑性与韧性虽低于金属材料,但它们具有高熔点、高硬度、耐高温以及特殊的物理性能,可以制造工具、用具以及功能结构材料,已成为发展高温材料和功能材料方面具有很大潜力的新型工程材料。

0.2.4 复合材料

复合材料是两种或两种以上不同材料的组合材料,其性能优于它的组成材料。复合材料可以由各种不同种类的材料复合组成,所以它的结合键非常复杂。它在强度、刚度和耐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越,是一类特殊的工程材料,具有广阔的发展前景。目前,高比强度和比弹性模量的复合材料已广泛地应用于航空、建筑、机械、交通运输以及国防工业等部门。

机械工程材料主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中的材料,用于制造各类机械零件、构件的材料和在机械制造过程中所应用的工艺材料,也包括一些用于制造工具的材料和具有特殊性能(如耐腐蚀、耐高温等)的材料,是材料科学的一个分支。

0.3 材料发展简史及材料科学的形成

0.3.1 我国古代在材料及其加工工艺方面的辉煌成就

我国古代在材料及其加工工艺方面的科学技术曾遥遥领先同时代的欧洲,对世界文明

和人类进步做出了杰出的贡献。大约二三百百万年前,最先使用的工具材料是天然石头。用坚硬的容易纵裂成薄片的火燧石和石英石等天然材料制成石刀、石斧、石锄。到了原始社会末期(约六七千年之前)开始人工制作陶器,由此发展到东汉出现瓷器,成为最早生产瓷器的国家。瓷器于9世纪传到非洲东部和阿拉伯国家,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。直到今天,中国瓷器仍畅销全球,名誉四海。

早在4000年前,我国就开始使用天然红铜,夏朝(公元前2140年始)以前就开始了青铜冶炼,至公元前1000多年的殷商时代,我国的青铜冶铸技术已达到很高的水平,从出土的大量青铜礼器、生活用具、武器、工具,特别是重达875kg的司母戊大鼎,其体积庞大、花纹精巧、造型精美,是迄今世界上最古老的大型青铜器,如图0-1所示。从湖北隋县出土的战国青铜编钟是我国古代文化艺术高度发达的见证,如图0-2所示。这些都说明了当时已具备高超的冶铸技术和艺术造诣。



图0-1 司母戊大鼎



图0-2 战国青铜编钟

到春秋时期,我国已能对青铜冶铸技术做出规律性的总结,如《周礼·考工记》对青铜的成分和用途关系有如下的记载:“金有六齐,六分其金而锡居一,谓之钟鼎之齐;五分其金而锡居一,谓之斧斤之齐;四分其金而锡居一,谓之戈戟之齐;三分其金而锡居一,谓之大刃之齐;五分其金而锡居二,谓之削杀矢之齐;金、锡半,谓之鉴燧之齐。”这“六齐”规律是世界上最早的材料成分、性能和用途间关系的总结。

我国早在周代就开始了冶铁,这比欧洲最早使用生铁的时间约早2000年。春秋战国时期(公元前770年~公元前221年)已开始大量使用铁器。我国不仅具有使用钢铁的悠久历史,而且当时的技术也很发达,如河北武安出土的战国时期的铁镢,经金相检验证明,该材料就是现今的可锻铸铁。我国古代创造了三种炼钢方法。第一种是从矿石中直接炼出自然钢。用这种钢制作的剑在东方各国享有盛誉,东汉时传入欧洲;第二种是西汉时期的经过“百次”冶炼锻打的百炼钢;第三种是南北朝时期生产的灌钢。我国先炼铁后炼钢的两步炼钢技术要比其他国家早1600多年。钢的热处理技术也达到了相当高的水平。根据许多出土文物与历史记载,证明我国古代人民曾做出了很大的贡献。远在西汉时,司马迁所著的《史记·天官书》中就有“水与火合为焠”;东汉班固所著的《汉书·王褒传》中有“……巧冶铸干将之朴、清水焠其锋”等有关热处理技术方面的记载。从辽阳三道壕出土的西汉钢剑,经金相检验,发现其内部组织完全符合现在淬火马氏体组织。从河北满城出土的西汉佩剑及书刀,检验发现其中心为低碳钢,表层为明显的高碳层。这些都证明早在2000年以前,我国已采用了淬火工艺和渗碳工艺,热处理技术已达到相当高的水平。明代科学家宋应星在

《天工开物》一书中对钢铁的退火、淬火、渗碳工艺做了详细的论述。它是世界上有关金属加工工艺最早的科学著作之一,这充分反映了我国人民在金属加工工艺方面的卓越成就。

0.3.2 工程材料的工业化发展

人类虽早在公元前就已了解铜、铁、锡、铅、金、银等多种金属,但由于采矿和冶炼技术的限制,在相当长的历史时期内,很多器械仍用木材制造或采用铁木混合结构。1856年英国人H. 贝塞麦发明转炉炼钢法,1856~1864年英国人K. W. 西门子和法国人P. E. 马丁发明平炉炼钢以后,大规模炼钢工业兴起,钢铁才成为最主要的机械工程材料。到20世纪30年代,铝及铝合金、镁及镁合金等轻金属逐步得到应用。第二次世界大战后,科学技术的进步促进了新型材料的发展,球墨铸铁、合金铸铁、合金钢、耐热钢、不锈钢、镍合金、钛合金和硬质合金等相继形成系列并扩大应用。同时,随着石油化学工业的发展,促进了合成材料的兴起,工程塑料、合成橡胶和胶粘剂等机械工程材料中的比重逐步提高。另外,宝石、玻璃和特种陶瓷材料等也逐步扩大在机械工程中的应用。

0.3.3 材料科学的形成和发展

人们对材料的认识也是一个逐步深入的过程。由于技术手段原因,早期对材料的认识只局限于表面宏观感性认识。1863年光学显微镜第一次被用于金属研究,出现了金相学的研究,才使人们对材料的观察进入到微观领域;1912年应用X射线衍射技术对晶体微观结构进行研究;1932年又发明了电子显微镜以及后来出现的各种谱仪,把人们带到了微观世界的更深层次,现代科学技术的发展为人们认识材料提供了技术手段和理论基础。同时,与材料有关的一些基础学科(如物理、化学、量子力学等)的发展,有力地推动了材料研究的深化。所以,材料科学是在物理、化学、冶金学等基础上建立起来的以材料为研究对象的多科性科学。它是研究材料的化学成分和微观结构与材料性能之间关系的一门科学。同时,它还研究制取材料和使用材料的有关知识。随着科学技术的发展,尤其是材料测试分析技术的不断提高,如电子显微技术、微区成分分析技术等的应用,材料的内部结构和性能间的关系不断被揭示,对材料的认识将进入更加微观领域。在认识各种材料的共性基本规律的基础上,正在探索按指定性能来研发新材料的途径。

新中国成立后,我国工农业生产迅速发展,尤其是改革开放以来,作为其物质基础的材料也得到了高速发展。目前,各种金属材料品种较齐全,已基本满足国民经济高速发展的需要。我国粗钢产量自1996年的1.01亿吨到2013年7.79亿吨一直位居世界第一。近年来,我国从神舟号到玉兔号载人飞船相继发射成功、蛟龙号载人潜水器载人深潜成功以及在生物医学如骨科、齿科材料,人工器官材料,医用器械等方面所取得的显著成果,都是有材料科学与工程技术的支撑。随着现代科学技术的发展,对工程材料的要求也越来越高。如今,在发展高性能金属材料的同时,又迅速发展和应用了高性能的非金属材料及复合材料,不断满足生产和科学技术发展的需要。

0.4 机械工程材料的发展展望

目前,机械工业正朝着高速、自动、精密化的方向发展。在机械产品设计及其制造与维

修过程中,所遇到的有关机械工程材料和热处理及材料选用方面的问题日趋增多,使机械工业的发展与工程材料学科之间的关系更加密切。机械产品的可靠性和先进性,除设计因素外,在很大程度上取决于所选用材料的质量和性能。新型材料的发展是发展新产品和提高产品质量的物质基础。如各种高强度材料的发展,为发展大型结构件和逐步提高材料的使用强度等级,减轻产品自重提供了条件;高性能的高温材料、耐腐蚀材料为开发和利用新能源开辟了新的途径。现代发展起来的新型材料如新型纤维材料、功能性高分子材料、非晶质材料、单晶体材料、精细陶瓷和新合金材料等,对于研制新一代的机械产品具有重要意义。如碳纤维比玻璃纤维强度和弹性更高,用于制造飞机和汽车等结构件,能显著减轻自重而节约能源。精细陶瓷如热压氮化硅和部分稳定结晶氧化锆,有足够的强度,比合金材料有更高的耐热性,能大幅度提高热机的效率,是绝热发动机的关键材料。还有不少与能源利用和转换密切有关的功能材料的突破,将会引起机电产品的巨大变革。

0.5 本课程性质、教学目的、内容和学习方法

工程材料课程是高等学校机械类、近机械类工科专业必修的一门技术基础课。

教学目的是从机械工程材料的应用角度出发,学习并掌握机械工程材料的基本知识,掌握常用机械工程材料的成分、组织结构与性能间的关系以及有关加工工艺对其的影响;熟悉常用机械工程材料的性能和应用,并初步具备选用常用材料的能力;了解与本课程有关的新材料、新技术、新工艺及其发展概况。为学习其他有关课程和将来从事技术工作奠定必要的基础。

本课程主要内容包括:工程材料的基本理论(第一章~第六章)、机械工程常用材料(第七章~第十四章)、工程材料的选用(第十五章)等。基本理论部分由金属学基础知识和钢的热处理组成;主要介绍金属材料的力学性能、晶体结构部分,金属与合金的结晶、合金相图,钢的热处理,金属的塑性变形与再结晶;机械工程常用材料主要介绍各种钢铁材料及性能和应用,有色金属材料、陶瓷材料、粉末冶金材料、复合材料、功能材料简介等;材料选用部分主要介绍零件失效分析、典型机械零件和工模具材料的选用等。

本课程是以物理、化学、材料力学、机械制造基础实习为基础的课程,理论性、实践性和实用性都很强,涉及大量的组织、结构及相图方面的知识,知识面较广,内容较丰富,具有概念多而抽象、微观描述多的特点。学习本课程之前,学生应具有必要的机械制造基础实践的感性认识和一定的专业基础知识,具有一定的物理、化学、材料力学、机械制造基础知识。学习中应注重于分析、理解与运用,要充分利用图表理解其含义,并注意前后知识的衔接与综合应用,为了提高独立分析问题、解决问题的能力,除理论学习外,还要注意密切联系实际,认真完成课程实验,才能达到较好的学习效果。

目 录

绪 论	001
0.1 材料的定义、地位和作用	001
0.2 工程材料的分类	001
0.3 材料发展简史及材料科学的形成	002
0.4 机械工程材料的发展展望	004
0.5 本课程性质、教学目的、内容和学习方法	005
第 1 章 金属材料的力学性能	001
1.1 强度、刚度、弹性及塑性	002
1.2 硬 度	006
1.3 冲击韧性	011
1.4 疲劳强度与高温强度	013
1.5 断裂韧度	014
1.6 耐磨性	016
第 2 章 金属与合金的晶体结构	018
2.1 固态物质的结合键	018
2.2 金属的晶体结构	020
2.3 实际金属的晶体结构	026
2.4 合金的晶体结构	029
第 3 章 金属与合金的结晶	034
3.1 纯金属的结晶	034
3.2 合金的结晶	040
第 4 章 铁碳合金相图和碳钢	056
4.1 铁碳合金中的相与基本组织	056
4.2 Fe-Fe ₃ C 相图	059
4.3 铁碳合金的成分、组织、性能间的关系	068
4.4 铁碳合金相图的应用	071
4.5 碳素钢	072
第 5 章 金属的塑性变形及再结晶	082
5.1 金属塑性变形的实质	082
5.2 冷塑性变形对金属组织与性能的影响	086
5.3 冷变形金属在加热时的变化	089
5.4 金属的热塑性变形(热变形加工)	092

第 6 章 钢的热处理及表面处理	095
6.1 概述	095
6.2 钢在加热时的转变	095
6.3 钢在冷却时的转变	098
6.4 钢的退火与正火	105
6.5 钢的淬火	108
6.6 钢的淬透性	110
6.7 钢的回火	113
6.8 钢的表面淬火	115
6.9 钢的化学热处理	118
6.10 热处理新技术和新工艺	121
6.11 钢铁材料的表面处理	123
6.12 热处理技术条件的标注及工序位置的安排	128
第 7 章 合金钢	133
7.1 合金钢基本知识	133
7.2 低合金钢和合金结构钢	138
7.3 合金工具钢	151
7.4 特殊性能钢	162
第 8 章 铸 铁	172
8.1 概述	172
8.2 常用铸铁	176
8.3 铸铁的热处理	185
第 9 章 有色金属材料	189
9.1 铝及铝合金	189
9.2 铜及铜合金	197
9.3 镁及镁合金	202
9.4 钛及钛合金	207
9.5 轴承合金	210
第 10 章 高分子材料	215
10.1 高分子材料的基础知识	215
10.2 塑料	220
10.3 橡胶	226
10.4 胶粘剂	229
10.5 合成纤维	229
第 11 章 陶瓷材料	231
11.1 概述	231
11.2 陶瓷的组成相及其结构	232
11.3 陶瓷的性能及应用	233



11.4 常用陶瓷材料	235
第 12 章 粉末冶金材料	239
12.1 概述	239
12.2 机械制造中常用的粉末冶金材料	243
第 13 章 复合材料	253
13.1 概述	253
13.2 复合材料的复合增强原理	255
13.3 复合材料的性能特点	256
13.4 常用复合材料及应用	258
第 14 章 功能材料	262
14.1 概述	262
14.2 电功能材料	263
14.3 磁功能材料	265
14.4 热功能材料	268
14.5 光功能材料	270
14.6 传感器用敏感材料	271
14.7 智能材料	273
第 15 章 工程材料的选用	276
15.1 机械零件的失效概述	276
15.2 机械零件选材原则和步骤	278
15.3 典型零件选材及工艺分析	284
15.4 工模具选材	296
附 录	303
参考文献	307

第 1 章 金属材料的力学性能

材料的性能用来表征材料在给定外界条件下的行为参量,包括使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用过程中所表现出来的性能,主要有力学性能、物理性能和化学性能;工艺性能是指金属材料在各种加工过程中所表现出来的性能,主要有冶炼、铸造、锻造、焊接、热处理和切削加工等性能。

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,而且在使用过程中受到不同性质载荷(外力)的作用,所以设计零(构)件、选用材料、鉴定工艺质量时大多以力学性能为主要依据,因此,熟悉和掌握材料的力学性能是非常重要的。

机械工程材料中,金属材料性能优良,是机械工程上最主要的材料。本章主要介绍金属材料的强度、刚度、弹性、塑性、硬度、冲击韧性、断裂韧度和疲劳强度等力学性能。

金属材料的力学性能(mechanical properties)是指材料在载荷作用下所表现出来的特性,即金属材料在外力作用下所表现出来的各种性能。它取决于材料本身的化学成分和材料的微观组织结构。当载荷性质、环境温度与介质等外在因素不同时,材料会产生不同的变形、断裂过程与断裂方式,因此用来衡量材料力学性能的指标也不同。所以,力学性能的高低表征了金属抵抗各种损伤能力的大小,也是设计金属构件时选材和进行强度计算的主要依据。常用的力学性能指标有强度、刚度、硬度、塑性、韧性等。它们可通过各自的标准试验来测定。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同,可分为静载荷、冲击载荷及交变载荷三种:

- (1) 静载荷 是指大小不变或变化过程缓慢的载荷。
- (2) 冲击载荷 是在短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。
- (3) 交变载荷 是指大小、方向或大小和方向都随时间发生周期性变化的载荷。

根据作用形式不同,载荷又可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等,如图 1-1 所示。

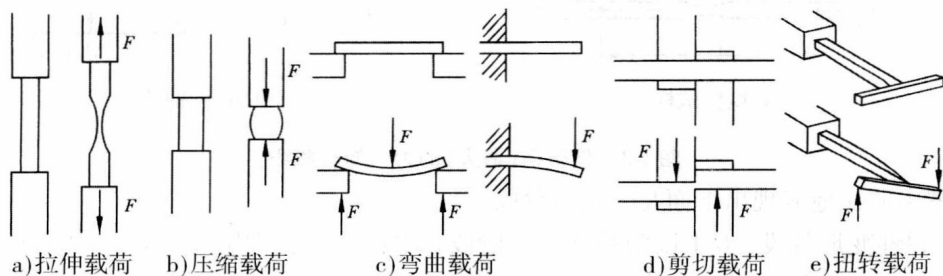


图 1-1 载荷的作用形式

1.1 强度、刚度、弹性及塑性

1.1.1 强度

强度(strength)是指金属材料抵抗塑性变形和断裂的能力。工程上常用室温下静载强度,根据外力作用的形式不同可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度。此外,还有高温强度和疲劳强度等。

金属材料的强度、刚度与塑性可通过静拉伸试验来测得。静拉伸试验通常指的是在室温大气环境中,测试光滑试样在静载荷作用下反映出的力学行为。其中以抗拉强度(tensile strength)、屈服强度(yield strength)等最为广泛。

1. 拉伸试验

被测材料的抗拉强度和屈服强度应依据国家标准 GB/T228.1 - 2010《金属材料拉伸试验 第1部分:室温试验方法》的规定进行。试验前,圆形材料制成如图 1-2 所示的标准拉伸试样。图中 d_0 为试样的原始直径(mm), L_0 为试样的原始标距长度(mm)。按照 GB/T6397 - 1986《金属拉伸试验试样》规定,试样分为长试样和短试样。对圆形拉伸试样,长试样 $L_0 = 11.3(S_0)^{1/2}$;短试样 $L_0 = 5.65(S_0)^{1/2}$ 。

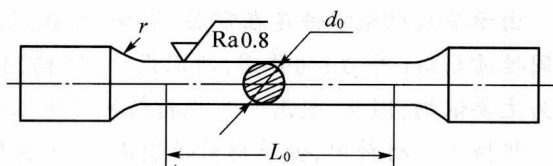


图 1-2 圆形标准拉伸试样

现以低碳钢经退火后为例。试验时,将试样装夹在拉伸试验机上缓慢施加拉伸载荷,试样则不断产生变形,直至被拉断为止。试验机自动记录装置可将整个拉伸过程中的拉伸载荷和伸长量描绘在以拉伸载荷 F 为纵坐标,伸长量 ΔL 为横坐标的图上,即得到力 - 伸长量曲线(也称拉伸曲线),如图 1-3b 所示。

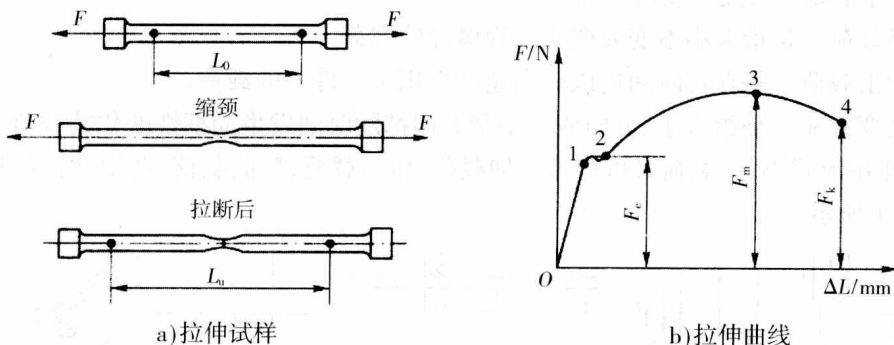


图 1-3 低碳钢(退火)的力 - 伸长曲线

从图中明显地表现出下面几个变形阶段:

- (1)弹性变形阶段 $O-1$ 段为弹性变形阶段,试样受外力作用产生变形,其变形量与外力成正比,外力去除后,试样将恢复到原始状态。
- (2)屈服阶段 $1-2$ 段为屈服阶段,试样受外力作用除发生弹性变形外,还发生了部分

塑性变形。当外力增大到 F_e 时,在 2 点的曲线几乎呈水平线段或锯齿形折线,说明外力不再增加(或波动不大)而试样仍继续变形,这种现象称为屈服。它表明材料开始发生塑性变形。外力去除后,一部分变形恢复,还有一部分变形不能恢复,这部分不能恢复的变形即塑性变形(又称永久变形)。

(3) 强化阶段 2-3 段为强化阶段,为使试样继续变形,外力由 F_e 增大到 F_m ,随着塑性变形的增大,材料变形抗力也逐渐增加。

(4) 缩颈和断裂阶段 3-4 段为缩颈和断裂阶段,当外力增加到最大值 F_m 时,试样的直径发生局部收缩现象,称为缩颈,如图 1-3a 中的缩颈。由于截面减小,使试样继续变形所需外力减小。当外力减至 F_k 时,试样在缩颈处断裂。

低碳钢等塑性材料在断裂前有明显的塑性变形,这种断裂称为韧性断裂。

某些脆性材料(如铸铁等)在尚未产生明显的塑性变形时已断裂,故不仅没有屈服现象,而且也不产生缩颈现象,这种断裂称为脆性断裂。图 1-4 为铸铁的力-伸长曲线。

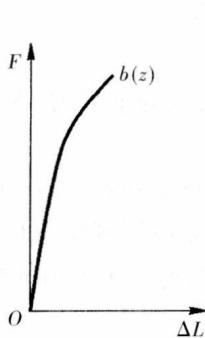


图 1-4 铸铁的力-伸长曲线

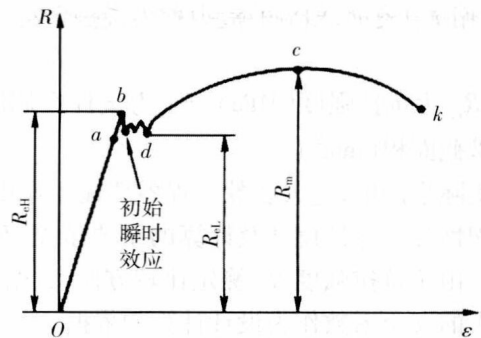


图 1-5 应力-应变曲线

为了消除试样尺寸的影响,引入应力-应变曲线,如图 1-5 所示。图中横坐标是把试样的伸长量 ΔL 除以试样的原标距长度 L_0 所得的商——应变(strain),用符号 ε 表示;纵坐标是把试样承受的载荷 F 除以试样的原始横截面积 S_0 所得的商——应力(stress),用符号 R 表示。应力-应变曲线的形状与力-伸长曲线相似,只是坐标和数值不同,从中可以看出金属材料的一些力学性能。

由上述可知:试样从开始拉伸到断裂,要经过弹性变形、屈服、形变强化、缩颈与断裂四个阶段。

2. 强度

强度是材料在载荷作用下,抵抗永久变形和断裂的能力。用应力来度量,常用的强度指标有:屈服强度(yield strength)和抗拉强度(tensile strength)。

(1) 屈服强度

1) 屈服强度 是材料屈服时的应力值。它表明材料对开始明显塑性变形的抗力,在 GB/T228.1-2010 中,将屈服强度分为上屈服强度和下屈服强度。上屈服强度是指试样发生屈服并且外力首次下降前的最大应力,用符号 R_{eH} 表示;下屈服强度是指不记初始瞬时效应时屈服阶段中的最小应力,用符号 R_{eL} 表示。由于材料的下屈服强度数值比较稳定,所以一般以它作为材料对塑性变形抗力的指标。

$$R_{eL} = F_{eL}/S_0 \quad (1-1)$$

式中： R_{eL} 为下屈服强度(MPa)； F_{eL} 为试样的下屈服力(N)； S_0 为试样原始横截面积(mm^2)。

2)规定残余延伸强度 有些材料(如铸铁等)在拉伸过程中没有明显的屈服现象,很难测出屈服强度,工程上用规定残余延伸强度 R_r 来表示它的屈服强度。规定残余延伸强度是指卸除拉伸力后,其标距部分的残余延伸率等于规定的原始标距或引伸计标距百分率时对应的应力。表示此强度的符号应附以下角标注明其规定的残余延伸率。例如: $R_{r0.2}$ 表示规定残余延伸率为0.2%时的应力值(通常写成 $R_{0.2}$),即有:

$$R_{r0.2} = F_{r0.2}/S_0 \quad (1-2)$$

式中： $R_{r0.2}$ 为规定残余延伸率为0.2%时的应力值(MPa)； $F_{r0.2}$ 为残余延伸率达0.2%时的载荷(N)； S_0 为试样原始横截面积(mm^2)。

(2)抗拉强度 R_m

试样在屈服阶段之后所能抵抗的最大力(对于无明显屈服的金属材料,为试验期间的最大力)用 F_m 表示,相应的应力称为抗拉强度,用符号 R_m 表示,即

$$R_m = F_m/S_0 \quad (1-3)$$

式中： R_m 为抗拉强度(MPa)； F_m 为试样在屈服阶段之后所能抵抗的最大力(N)； S_0 为试样原始横截面积(mm^2)。

实际生产中,绝大多数工程零件在工作中都不允许产生明显的塑性变形,因此 R_{eL} 是工程中塑性材料零件设计及计算的重要依据, $R_{r0.2}$ 则是不产生明显屈服现象零件的设计计算依据。由于抗拉强度 R_m 测定比较方便,数据比较准确,所以有时可直接采用抗拉强度 R_m 加上较大的安全系数作为设计计算的依据。

工程上,把“屈服强度与抗拉强度之比”称为屈强比(yielding-to-tensile ratio)。其值越大,越能发挥材料的潜力;其值越小,零件工作时的可靠性越高,因为万一超载也不致马上断裂;其值太小,材料强度的有效利用率降低。

合金化、热处理、冷热加工对材料的 R_{eL} 、 R_m 数值会产生很大的影响。

1.1.2 刚度

材料受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度(rigidity)。它表示材料产生弹性变形的难易程度。刚度等于材料的弹性模量(或切变模量)与零(构)件截面积的乘积,通常用弹性模量 E (单向拉伸或压缩时)及切变模量 G (剪切或扭转时)来评价。

弹性模量 E (或切变模量 G)是在弹性范围内应力与应变的比值($E = R/\varepsilon$)。其值越大,材料的刚度越大,即具有特定外形尺寸的零件或构件保持其原有形状尺寸的能力也越强,就是说弹性变形越不容易进行。弹性模量的大小主要取决于金属的本性(晶格类型和原子结构),而与金属的显微组织无关。温度的变化会影响弹性模量,温度升高,弹性模量减小。金属的合金化、热处理、冷变形等对弹性模量的影响很小。基体金属一经确定,其弹性模量值就基本确定了。在材料不变的情况下,只有改变零件的截面尺寸或结构,才能改变它的刚度。常见金属的弹性模量和切变模量见表1-1。

表 1-1 常见金属的弹性模量和切变模量

金 属	弹性模量 E / MPa	切变模量 G / MPa
铁(Fe)	196 000	79 000
镍(Ni)	210 000	84 000
钛(Ti)	118 010	44 670
铝(Al)	72 000	27 000
铜(Cu)	132 400	49 270
镁(Mg)	45 000	18 000

1.1.3 塑性

塑性(plasticity)是指材料在断裂前发生塑性变形的能力。常用的性能指标有断后伸长率和断面收缩率,可在静拉伸试验中,把试样拉断后将其对接起来进行测量而得到。

1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后标距长度的伸长量与原标距长度的百分比,用符号 A 表示,即:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

式中: A 为断后伸长率(%); L_0 为试样原始标距长度(mm); L_u 为试样拉断后对接的标距长度(mm)。如图 1-3a 所示。

伸长率的数值和试样标距长度有关。长试样的断后伸长率用符号 $A_{11.3}$ 表示,短试样的断后伸长率用符号 A 表示。同一种材料的 $A > A_{11.3}$,所以相同符号的断后伸长率才能进行比较。

2. 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后颈缩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 Z 表示,即:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中: Z 为断面收缩率(%); S_0 为试样原始横截面积(mm^2); S_u 为试样拉断后颈缩处最小横截面积(mm^2)。

一般情况下, A 或 Z 值越大,材料塑性越好。塑性好的材料可用轧制、锻造和冲压等方法加工成形,而且在工作时若超载,可因其塑性变形而避免突然断裂,提高了工作安全性。

目前,原有各有关手册、书籍和有关单位所使用的金属力学性能数据仍存在按照旧版国家标准 GB/T228-1987《金属拉伸试验方法》的规定,标注符号的现象,本书为方便读者阅读,列出了新、旧标准关于金属材料强度与塑性有关指标的名词术语及符号对照表,见表 1-2。