

高等学校教材

机械工程材料

JIXIE GONGCHENG CAILIAO

(第二版)

杨瑞成
丁旭
季根顺
羊海棠

主编



重庆大学出版社

机械工程材料

(第二版)

杨瑞成 丁 旭 季根顺 羊海棠 主编

重庆大学出版社

内 容 简 介

机类、近机类专业的学生需要的是与工程设计制造紧密相关的材料知识,以及如何在具体零件的材料选择和加工工艺路线中应用这些知识。与从材料学出发的传统体系不同,本书以材料的概念知识为主,原理知识为辅,在精简传统理论知识的同时,将重点放在材料的性能与特征、材料选择以及应用上。因此,体系、框架与编写方式均与以往教材有很大的不同,注重工程背景、工程应用以及与机械设计制造的有机联系,既新颖又实用。全书分四篇 14 章,内容包括:机械工程对材料性能的要求、材料组成与结构、材料成形行为与性能、材料热处理及表面改性、金属材料、非金属材料、工程设计制造与材料选择,典型零构件(机器零件、工模具、压力容器等)和典型工况下(磨损、高温、腐蚀)选材及工艺路线、机械工程用材情况及节材。

本书在第一版的基础上做了修订和补充,内容有所增减和更新;同时配备了多媒体课件,以简洁、概括的方式体现本教材内容,并进一步外延和扩充,增加了部分三维动画、现场情景、工程实例及课堂讨论题等。

本书适用于机械设计及自动化专业本科学生使用,也可供大专生或有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械工程材料/杨瑞成等编. —2 版. —重庆:重庆大学出版社,2004. 7

(机械设计制造及其自动化本科系列教材)

ISBN 7-5624-3076-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 015641 号

机械工程材料

(第二版)

杨瑞成 丁 旭 季根顺 羊海棠 主编

责任编辑 曾显跃 版式设计 曾显跃

责任校对 何建云 责任印制 张立全

重庆大学出版社出版发行

出版人 张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编 400030

电话 (023) 65102378 65105781

传真 (023) 65103686 65103565

网址: <http://www.cqup.com.cn>

邮箱: fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆大学建大印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 14.5 字数: 362 千

2000 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月第 2 版 2004 年 7 月第 3 次印刷

印数: 8 001—13 000

ISBN 7-5624-3076-4/TH · 102 定价: 28.00 元(含光盘)

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有 翻印必究

6450601

序

当今世界,科学技术突飞猛进,知识经济已见端倪,综合国力的竞争日趋激烈。国力的竞争,归根结底是科技与人才的竞争。邓小平同志早已明确指出:科技是现代化的关键,而教育是基础。毫无疑问,高等教育是科技发展的基础,是高级专门人才培养的摇篮。我国高等教育在振兴中华、科教兴国的伟大事业中担负着极其艰巨的任务。

为了适应社会主义现代化建设的需要,在1993年党中央、国务院颁布《中国教育改革和发展纲要》以后,原国家教委全面启动和实施《高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划》,有组织、有计划地在全国推进教学改革工程。其主要内容是:改革教育体制、教育思想和教育观念;拓宽专业口径,调整专业目录,制定新的人才培养方案;改革课程体系、教学内容、教学方法和教学手段;实现课程结构和教学内容的整合与优化,编写、出版一批高水平、高质量的教材。

地处巴山蜀水的重庆大学,是驰名中外的我国重要高等学府。重庆大学出版社是一个重要的大学出版社,工作出色,一贯重视教材建设。从20世纪90年代初期开始实施“立足西部,面向全国”的战略决策,针对当时国内专科教材匮乏的情况,组织西部地区近20所院校编写、出版机械类、电类专科系列教材,以后又推出计算机、建筑、会计类专科系列教材,得到原国家教委的肯定与支持。在1998年教育部颁布《普通高等学校本科专业目录》之后,重庆大学出版社立即组织西部地区高校的数十名教学专家反复领会教学改革精神,认真学习全国的教育改革成果,充分交流各校的教学改革经验,制定机械设计制造及其自动化专业的教学计划和各门课程的教学大纲,并组织编写、出版机械类本科系列教材。为了确保教材的质量,重庆大学出版社采取了以下措施:

- 发挥教育理论与教育思想的指导作用,将教学改革思想和教学改革成果融入教材的编写之中。

- 根据人才培养计划中对学生知识和能力的要求,对课程体系和教学内容进行整合,不过分强调每门课程的系统性、完整性,重在实现系列教材的整体优化。

- 明确各门课程在专业培养方案中的地位 and 作用,理顺相关课程之间的关

系。

- 精选教学内容,控制教学学时数,重视对学生自主学习能力、分析解决工程实际问题能力和创新能力的培养。

- 增强 CAD、CAM 的内容,提高教材的先进性;尽可能运用 CAI 等现代化教学手段,提高传授知识的效率。

- 实行专家审稿制度,聘请学术水平高、事业心强、长期活跃在教学改革第一线的专家审稿,重点审查书稿的学术质量和是否具有特色。

这套教材的编写符合教学改革的精神,遵循教学规律和人才培养规律,具有明显的特色。与出版单科教材相比,有计划地将教材成套推出,实现了整体优化,这富有远见。

经过几年的艰苦努力,这套机械类本科教材已陆续面世了。它反映了西部高校多年来教学改革与教学研究的成果,它的出版必将为繁荣我国高等学校的教材建设作出积极的贡献,特别是在西部大开发的战略行动中,起着十分重要的作用。

高等学校的教学改革和教材建设是一项长期而艰巨的工作,任重道远,不可能一蹴而就。我希望这套教材能够得到读者的关注与帮助,并希望通过教学实践与读者不吝指教,逐版加以修订,使之更加完善,在高等教育改革的百花园中齐花怒放!我深深为之祝愿。

中科院院士 杨叔子

2000 年 4 月 28 日

第二版说明

本书自2000年7月初版以来,在多所院校作为教材或参考书使用,反映良好。尤其对于其主思路、与工程实际的紧密结合以及该书的第四篇(共8章,涉及多类典型零构件和典型工况的选材与应用)等给予充分肯定,认为是与其他同类教材明显不同的主要特色。当然,在使用过程中,兄弟院校也提出了不少建设性的宝贵意见,也曾发现一些不足之处,如有的概念、原理方面的叙述过于简单,少数概念未给出明确的定义等。

新版保持初版的特点,体系未做大的变动,仅局部有所调整。如将原金属材料合金化部分归入第4章,并增添高分子改性,这样使该章更加充实、完整。在主要章节中,适当补充了相关内容,以便学生课后温习与自学,弥补课堂教学学时偏少的矛盾。同时,增添了新材料的介绍,如超高强度钢、Ti合金和Mg合金,工模具材料中增加了塑料模具钢等。全书的所有章节都进行了全面的修改和必要的补充。

为了适应教改需要和兄弟院校教师使用,以及便于学生自学与总结,本版特地制作了配套的Authorware多媒体课件,其内容不仅简洁、概括,并注意归纳总结,还有所外延和扩充。重要概念、名词均配备了英文关键词,并且增加了部分三维动画、现场情景、工程实例及课堂讨论题等。这也属于尝试与探索,敬请广大读者不吝指教。

本书的第二版工作主要由杨瑞成(第2,3,4,6,7,8章及统稿定稿)、丁旭(第9~14章)、季根顺(第1,5章)和羊海棠(其他相关工作)完成,多媒体课件系杨瑞成、羊海棠和邢振军制作。贺志荣对新版大部分内容进行了审阅,并提出了许多宝贵意见。当然,毫无疑问,原第一版编者刘昌明、张方、邓文怀、张希俊、谢海华和贺志荣等人的贡献和影响仍然存在,其他为此书做出贡献的还有袁晓波、陈奎、杨海歌、杨钊、付公维、彭采宇、王凯旋、袁大伟、李永清、魏波滢、刘树旺、刘贤斌、王爱娟、马玉兰。

编 者
2004年7月

前 言

本书是为机械设计制造及其自动化专业编写的一本主干技术基础课教材。

机类近机类专业使用的《工程材料》教材国内外可分为两大体系。传统体系是单纯从材料出发,立足材料学本身,遵循的主线为成分—热处理工艺—组织、结构、性能的关系,国内近20年来的教材大都如此。新的体系是将机械工程设计制造和选材结合起来,介绍工程材料的基本原理和知识及其工程应用。传统体系由于造成材料与机械设计制造的脱节,学生难以理解及掌握,并难以将所学的材料知识运用到机械设计制造中去。事实上,对材料知识的需求,设计与制造工程师与材料工程师是很不相同的。本专业学生需要的是与工程设计与制造紧密相关的材料知识,并如何在具体零件的材料选择和加工工艺路线中应用它们。为体现本教材与机械工程的紧密关系及相互作用,本书在内封上加上副标题:材料性能、选择与应用。

鉴于以上考虑,本教材的总思路是立足机械工程需求,以及如何从材料角度予以保证。主线为:机械工程要求—力学及其他负荷特征—对应的材料性能—材料选择—材料成形加工特征和提高材料性能的热处理与表面处理—常见的工程材料及其典型应用。全书分四篇共14章。

第一篇为工程材料的基本特征。包括工程构件对材料性能的要求(第1章)和各种类型材料组成及内部组织结构特征(第2章)。

第二篇为工程材料的加工特性与热处理。包括材料凝固成形与塑性成形过程中行为与性能变化(第3章),以及提高材料性能的主要途径(热处理、表面改性等,第4章)。

第三篇为常见机械工程材料。包括金属材料(第5章)与非金属材料(第6章)。内容简洁概括,依据最新国家标准,强调各类材料特点、共性以及主要应用场合。

第四篇为机械工程材料的选择与应用。一般教材无此部分,或仅书末一章,且由于学时等原因,或不讲或匆匆而过。本书基于主思路则大为扩充,视为重点之一。首先是内容丰富的第7章,旨在介绍机械设计制造中材料选择和各种热处理工艺选择原则的同时,将它们纳入机械设计制造的流程中去,使材料与材料加工处理更好地为机械工程服务。然后用6章的篇幅介绍不同工作条件下典型零部件的选材与应用情况,具体为机器零件、工模具、磨损、腐蚀、高温及压力容器等。这6章可供不同性质院校与专业选用。最后(第14章)为机械工业用材情况与比较,并介绍与选材用材相关的、体现经济性与产业政策的选材问题。

总之,本书从机类近机类教材的性质与实际需求出发,加强工程背景,以材料学的概念知识为主,原理知识为辅,注重材料知识的工程应用。

根据各院校的教学具体情况,使用本书时建议保证基础章(第1,2章)及重点章(第3,4,5,6,7章),其他章节教师可采用选讲、略讲或学生自学(包括讨论)相结合的方法。

本书由杨瑞成(甘肃工业大学)担任主编并编写第 4,14 两章,刘昌明(重庆大学,编写第 1,2 章)和张方(昆明理工大学,编写第 9,13 章)担任副主编。参编人员为邓文怀(甘肃工业大学,第 6,7 章)、张希俊(昆明理工大学,第 3 章)、谢海华(桂林电子工业学院,第 10,11 章)、季根顺(甘肃工业大学,第 5 章)、贺志荣(陕西工学院,第 8 章)和丁旭(贵州工业大学,第 12 章)。最后由杨瑞成负责统稿。

由于本书是适应教育部 1998 最新专业目录及专业改革、教学改革的教材,在体系与内容上均有较大的改变。其中必有不少缺点与不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2000 年 4 月

目 录

第一篇 工程材料的基本特征

第1章 机械工程对材料性能的要求.....	1
1.1 工程构件及机械零件所受各种负荷概述	1
1.2 工程设计与加工工艺所需要的材料性能	3
1.3 工程材料类型及主要特征.....	13
复习思考题	14
第2章 材料的组成和内部结构特征	15
2.1 材料的结构.....	15
2.2 晶体材料的相图与相变.....	21
2.3 材料的组织与性能.....	32
复习思考题	36

第二篇 工程材料的加工特性及改性

第3章 工程材料成形过程中的行为与性能变化	37
3.1 金属的凝固.....	37
3.2 铸造、焊接过程中的材料行为及性能变化	41
3.3 冷塑性变形过程中的材料行为及性能变化.....	45
3.4 热塑性变形过程中的材料行为及性能变化.....	47
3.5 高分子材料的物理状态.....	49
复习思考题	50
第4章 改善材料性能的热处理、合金化及改性.....	51
4.1 金属材料在加热与冷却过程中的主要变化.....	51
4.2 改善材料成形加工组织与性能的热处理工艺(预先热处理)	58
4.3 提高材料性能的热处理工艺(最终热处理)	63
4.4 工程材料的表面改性.....	68
4.5 钢的合金化.....	74
4.6 聚合物的改性.....	77
复习思考题	78

第三篇 常用机械工程材料

第5章 常用金属材料及性能	79
5.1 工业用钢分类与牌号	79
5.2 结构钢	82
5.3 滚动轴承钢、工具钢、不锈钢和耐热钢	91
5.4 铸铁	98
5.5 有色金属及其合金	103
5.6 粉末冶金材料	111
复习思考题	112
第6章 非金属材料	114
6.1 高分子材料	114
6.2 工程陶瓷	123
6.3 复合材料	127
复习思考题	130

第四篇 机械工程材料的选择与应用

第7章 工程设计、制造与材料选择	131
7.1 零件失效与失效类型	131
7.2 零件设计中的材料选择	134
7.3 热处理在零件加工工艺路线中的位置及热处理方案的选择	137
7.4 变形开裂与热处理结构工艺性	143
复习思考题	148
第8章 常用机器零件选材	149
8.1 轴类零件选材	149
8.2 齿轮类零件材料选择	153
8.3 弹簧类零件材料选择	158
8.4 箱体支承类零件材料选择	160
复习思考题	162
第9章 工模具选材	163
9.1 刀具的选材及热处理特点	163
9.2 冷作模具与热作模具的选材	169
9.3 成形模模具用钢的选择	174
9.4 量具的选材	176
复习思考题	178

第 10 章 磨损条件下工作的零件的选材及防护	179
10.1 摩擦、磨损、润滑与磨损类型	179
10.2 减摩材料与轴承合金的应用	180
10.3 耐磨材料及应用	183
复习思考题	186
第 11 章 高温下工作的零件的选材及防护	187
11.1 材料在高温下的力学行为与蠕变现象	187
11.2 根据蠕变性能选择材料	188
11.3 高温氧化及抗氧化材料	189
复习思考题	190
第 12 章 腐蚀环境下工作的零件的选材及防护	191
12.1 化学腐蚀与电化学腐蚀	191
12.2 常见耐蚀材料与应用	192
12.3 改善金属材料抗蚀能力的防护措施	196
复习思考题	198
第 13 章 压力容器的选材及安全性	199
13.1 压力容器对材料性能的要求及安全性	199
13.2 压力容器的选材	201
13.3 压力容器的热处理特点	204
复习思考题	204
第 14 章 常用机械用材情况与机械工业节材	205
14.1 常用机械用材情况与趋向	205
14.2 机械工程中的节材	209
复习思考题	210
附录	212
附录 1 常用钢材在水、油中的临界淬透直径	212
附录 2 常用金属材料的相对价格	212
附录 3 常用工程塑料的相对价格	213
附录 4 常用热处理方法的相对加工费用	213
附录 5 金属热处理工艺的分类及代号(GB/T 12603—1990)	214
附录 6 本书涉及的部分(引进)新钢号对照表	217
附录 7 钢铁及合金牌号统一数字代号体系	218
参考文献	219

第一篇 工程材料的基本特征

第1章 机械工程对材料性能的要求

1.1 工程构件与机械零件所受各种负荷概述

工程构件与机械零件(以下简称零件或构件)在工作条件下可能受到力学负荷、热负荷或环境介质的作用。有时只受到一种负荷作用,更多的时候将受到两种或三种负荷的同时作用。在力学负荷作用条件下,零件将产生变形,甚至出现断裂;在热负荷作用下,将产生尺寸和体积的改变,并产生热应力,同时随温度的升高,零件的承载能力下降;环境介质的作用主要表现为环境对零件表面造成的化学腐蚀,电化学腐蚀及摩擦磨损等作用。

1.1.1 力学负荷

按载荷随时间变化的情况,可把载荷分成静载荷和动载荷。若载荷缓慢地由零增加到某一定值以后保持不变或变动很不显著,即为静载荷。机器的重量对基础的作用便是静载荷。若载荷随时间而变化,则为动载荷;按其随时间变化的方式,动载荷又可分为交变载荷与冲击载荷。交变载荷是随时间作周期性变化的载荷,例如齿轮转动时作用于每一个齿上的力都是随时间按周期性变化的。冲击载荷则是物体的运动在瞬时内发生突然变化所引起的载荷,例如,急刹车时飞轮的轮轴、锻造时汽锤的锤杆等都受到冲击载荷的作用。

作用在机械零件上的静载荷分为四种基本形式,即拉伸或压缩、剪切、扭转和弯曲。

(1) 拉伸或压缩载荷

图 1.1(a) 表示一简易吊车,在载荷 P 作用下, AC 杆受到拉伸载荷作用(图 1.1(b)),而 BC 杆受到压缩载荷作用(图 1.1(c))。拉伸载荷和压缩载荷是由大小相等、方向相反、作用线与杆件轴线重合的一对力引起的。这类载荷使杆件的长度发生伸长或缩短。起吊重物的钢索、桁架的杆件、液压油缸的活塞杆等在工作时都受到拉伸载荷或压缩载荷的作用,产生拉伸或

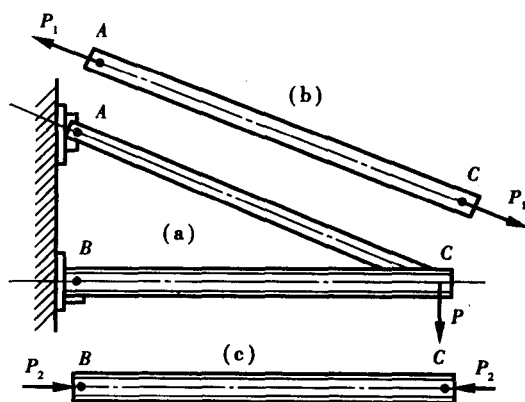


图 1.1 受力杆件

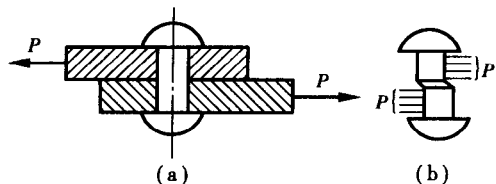


图 1.2 铆钉连接

压缩变形。

(2) 剪切载荷

图 1.2(a) 表示一铆钉连接, 在 P 力作用下, 铆钉连接中的铆钉受到剪切载荷作用。剪切载荷是由大小相等、方向相反、作用线垂直于杆轴且距离很近的一对力引起的。剪切载荷使受剪杆件的两部分沿外力作用方向发生相对的错动(图 1.2

(b))。机械中常用的连接件(如键、销钉、螺栓等)都受剪切载荷作用, 产生剪切变形。

(3) 扭转载荷

图 1.3(a) 所示为汽车转向轴在工作时发生扭转载荷作用。扭转载荷是由大小相等、方向相反、作用面垂直于杆轴的一对力偶引起的(图 1.3(b)), 扭转载荷使杆件的任意两个横截面发生绕轴线的相对转动。汽车的传动轴、电机和水轮机的主轴等都是受扭转载荷作用, 产生扭转变形。

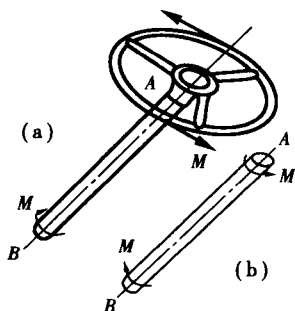


图 1.3 方向盘

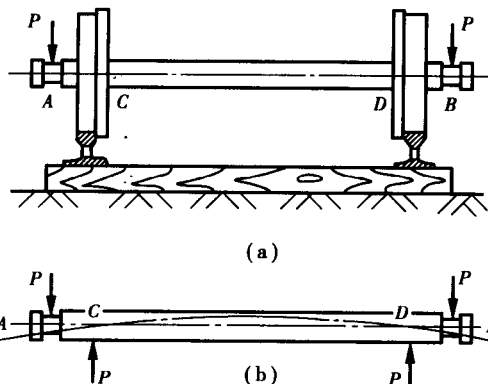


图 1.4 火车轮轴

(4) 弯曲载荷

图 1.4(a) 所示为火车轮轴发生弯曲变形。弯曲载荷是由垂直于杆件轴线的横向力, 或由作用于包含杆轴的纵向平面内的一对大小相等、方向相反的力偶引起的(图 1.4(b))。弯曲载荷使杆件轴线由直线变为曲线即发生弯曲。在工程中, 杆件受弯曲载荷作用是最常遇到的情况之一。桥式吊车的大梁、各种心轴以及车刀等都受弯曲载荷作用, 产生弯曲变形。

很多零件工作时同时承受几种载荷作用。例如, 车床主轴工作时承受弯曲、扭转与压缩三种载荷作用, 钻床立柱同时承受拉伸与弯曲两种载荷作用。在这种情况下, 产生组合变形。

1.1.2 热负荷

有些零件是在高温条件下工作的。高温使工程材料的力学性能下降, 并可能产生氧化。另外, 温度反复变化还会引起热疲劳。

首先, 高温下材料的强度随温度升高而降低; 其次, 高温下载荷持续时间对强度有显著影响, 强度随加载时间的延长而降低(在低温下, 材料的强度不受加载时间的影响)。例如, 20 钢在 450°C 的短时抗拉强度为 330 MPa。若试样仅承受 230 MPa 的应力, 在该温度下持续工作 300 h 就会发生断裂; 如果将应力降至 120 MPa, 持续 10 000 h 才会发生断裂。试验结果表明,

高温下钢的抗拉强度随载荷持续时间的延长而降低。在给定温度和规定的时间内,使试样发生断裂的应力叫做持久强度。

同时,材料在长时间的高温作用下,即使应力小于屈服强度,也会慢慢地产生塑性变形,这种现象称为高温蠕变。一般来说,只有当温度超过 $0.3T_m$ (T_m 为材料的熔点,以 K 为单位) 时,才出现较明显的蠕变。

另外,许多零件在不断变化的温度条件下工作,若作用时间甚短,零件将受到热冲击作用,如将 Al_2O_3 陶瓷管直接放入 $1200^\circ C$ 的盐浴中会立即发生爆裂。一般而言,如零件各部分受热(或冷却)不均匀引起的膨胀(或收缩)量不一致,而在零件内部产生的应力,叫做热应力。热应力将使零件产生热变形,或者降低零件的实际承载能力。温度交替变化引起热应力的交替变化,交变的热应力会引起材料的热疲劳。

1.1.3 环境介质的作用

环境介质对金属零件的作用主要在两个方面:腐蚀和摩擦磨损。环境介质对高分子材料零件的作用:老化。

(1) 腐蚀作用

由于金属材料的化学性质相对活泼,容易受到环境介质的腐蚀作用。根据腐蚀的过程和腐蚀机理,可将腐蚀分为化学腐蚀、电化学腐蚀和物理腐蚀三大类。化学腐蚀是指材料与周围介质直接发生化学反应,但反应过程中不产生电流的腐蚀过程。电化学腐蚀是指金属与电解质溶液接触时发生电化学反应,反应过程中有电流产生的腐蚀过程。物理腐蚀是指由于单纯的物理溶解而产生的腐蚀。

(2) 摩擦磨损作用

机器运转时,任何在接触状态下发生相对运动的零件(如轴与轴承、活塞环与汽缸套、十字头与滑块、齿轮与齿轮等)彼此之间都会发生摩擦。零件在摩擦过程中其表面发生尺寸变化和物质耗损的现象叫做磨损。磨损类型很多,最常见的有粘着磨损、磨粒磨损、腐蚀磨损、麻点腐蚀(即接触疲劳)四种。

(3) 老化作用

高分子材料在加工、储存和使用过程中,由于受各种环境因素的作用导致性能逐渐变坏,以致丧失使用价值的现象叫做老化。例如,农用薄膜经日晒雨淋,发生变色、变脆和透明度下降;玻璃钢制品长期暴露在大氣中,其表面逐渐露出玻璃纤维(起毛)、变色、失去光泽,并且强度下降;汽车轮胎和自行车轮胎储存或使用中发生龟裂等等。

1.2 工程设计与加工工艺所需要的材料性能

1.2.1 整机性能、零部件性能与材料性能

机器是零件(或部件)间有确定的相对运动、用来转换或利用机械能的机械。机器一般由零件、部件(若干零件的组合,具备一定功能)组成一个整体。因此,一部机器的整机性能除与机器构造、加工与制造等因素有关外,主要取决于零部件的结构与性能,尤其是关键件的性能。比如,金属切削机床(车床、铣床、磨床等)要能对金属坯料或工件进行有效而高质量的加工,

其主轴组件、支承件(床身等)、导轨及传动装置等必须处于良好的工作状态。主轴的刚度、强度或韧性不足,导轨的磨损,传动齿轮因种种原因造成破损或失效而影响功率与扭矩的传递以及传动精度的下降等,都会严重地妨碍机床的正常工作,以致无法进行切削加工。柴油机是以柴油作为燃料的往复式活塞式内燃机,靠燃油在汽缸内的高温高压空气中雾化、压缩、自动燃烧所释放的能量推动活塞做往复运动,并通过连杆和曲轴转换为旋转的机械功。柴油机的性能主要由喷油系统(喷油泵)、连杆、曲轴及活塞与汽缸的性能所决定。比如,喷油泵的喷油状况(即雾化程度,由三副精密偶件控制)决定了柴油机的燃烧质量与燃油消耗,汽缸缸套的磨损又决定了柴油机的大修期,而连杆与曲轴的力学性能则是柴油机安全可靠工作的基本保证。因此,可以认为,在合理而优质的设计与制造的基础上,机器的性能主要取决于其零部件的强度及其他相关性能来决定。

机械零件的强度一般表现为短时承载能力和长期使用寿命,它是由许多因素确定的,其中结构因素、加工工艺因素和材料因素起主要作用。此外,使用因素对寿命也起很大作用。结构因素指零件在整机中的作用、零件的形状和尺寸,以及与其他连接件的配合关系等。加工工艺因素指全部加工工艺过程中对零件强度所产生的影响。材料因素指材料的成分、组织与性能。这三个因素各自有独立的作用,又相互影响,在解决与零件强度有关的问题时必须综合加以考虑。在结构因素和加工工艺因素正确合理的条件下,大多数零件的体积、重量、性能和寿命主要由材料因素(即主要由材料的强度及其他力学性能)所决定。

在设计机械产品时,主要是根据零件失效的方式正确选择的材料的强度等力学性能判据指标来进行定量计算,以确定产品的结构和零件的尺寸。

1.2.2 工程材料的力学性能

材料的力学性能(也称机械性能)是指材料在不同环境因素(温度、介质)下,承受外加载荷作用时所表现的行为。这种行为通常表现为材料的变形和断裂。因此,材料的力学性能可以理解材料抵抗外加载荷引起变形和断裂的能力。当外加载荷的性质、环境温度与介质等外在因素不同时,对材料要求的力学性能也不相同。室温下常用的力学性能有:强度、塑性、刚度、弹性、硬度、冲击韧性、断裂韧性和疲劳极限等。

(1) 拉伸试验和应力—应变曲线

图 1.5 为低碳钢的拉伸应力—应变图(GB6397—1986)。

在图 1.5 所示的 σ - ϵ 曲线上,OA 段为弹性阶段,在此阶段,随载荷增加试样的变形增大,若去除外力,变形完全恢复,这种变形称为弹性变形,其应变值很小,A 点的应力 σ_e 称为弹性极限,为材料不产生永久变形的可承受的最大应力值,是弹性零件的设计依据。OA 线中 OA' 段为一斜直线,在 OA' 段应变与应力始终成比例,所以 A' 点的应力 σ_p 称为比例极限,即应变与应力成比例所对应的最大应力值。由于 A 点和 A' 点很接近,一般不做区分。

(2) 弹性和刚度

材料在弹性范围内,应力与应变的比值(σ/ϵ)称为弹性模量 E ,即

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (\text{MPa})$$

E 反映了材料抵抗弹性变形的能力,即材料刚度的大小,为刚度的度量指标。金属材料的 E 值主要取决于材料的本性,一些处理方法(如热处理、冷热加工、合金化等)对它的影响很小。提

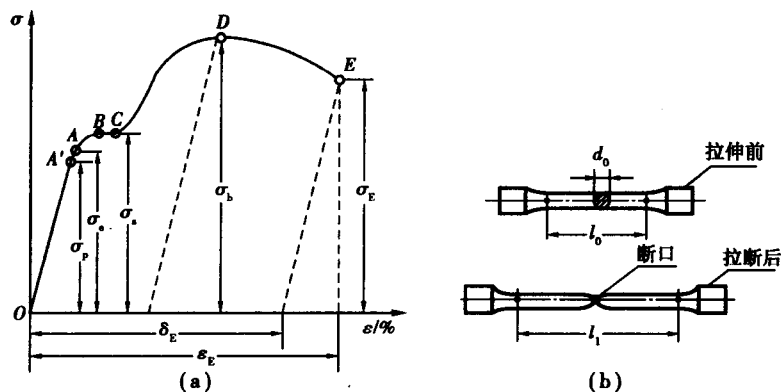


图 1.5 低碳钢的应力—应变图

(a) 低碳钢的应力—应变曲线; (b) 原始及拉伸试样

应力 $\sigma = \frac{P}{F_0}$; 应变 $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$; P ——外力; F_0 ——试样横截面积; l_0 ——试件标距长;

Δl ——试件变形过程中和 P 对应的总伸长 ($l_0 - l_1$); l_1 ——断裂后标距长; δ_e ——延伸率 (总塑性应变); ε_e ——E 点时的总应变 (含弹性应变及塑性应变)

高零件刚度的办法是增加横截面积或改变截面形状。金属的 E 值随温度升高逐渐降低。材料的弹性模量 E 与其密度 ρ 的比值 (E/ρ) 叫做比刚度。比刚度大的材料 (如铝合金、钛合金、碳纤维增强复合材料) 在航空航天工业上已得到了广泛应用。

(3) 强度、塑性和粘弹性

强度是材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力。塑性是材料在外力作用下产生塑性变形 (外力去除后不能恢复的变形) 而不断裂的能力。

1) 强度

根据外力的作用方式, 有多种强度指标, 如抗拉强度、抗弯强度、抗剪强度等, 其中以拉伸试验所得强度指标的应用最为广泛。

在图 1.5 中, 当试验应力 σ 超过 A 点时, 试件除产生弹性变形外还产生塑性变形; 在 BC 段, 应力几乎不增加, 但应变大量增加, 称为屈服。B 点的应力 σ_s 称为屈服强度, 即

$$\sigma_s = \frac{P_s}{F_0} \quad (\text{MPa})$$

式中 P_s ——试棒产生屈服时所承受的最大外力;

F_0 ——试棒原始横截面积。

有些塑性材料没有明显的屈服现象发生, 对这种情况用试件标距范围内产生 0.2% 塑性变形时的应力值作为该材料的屈服强度, 以 $\sigma_{0.2}$ 表示。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, 也是材料抵抗微量塑性变形的抗力。由于很多零件在工作时不允许产生塑性变形, 因此, 屈服强度是零件设计的主要依据, 也是材料最重要的强度指标。

材料发生屈服后, 试样应变的增加有赖于应力的增加, 材料进入强化阶段 (称应变强化或加工硬化), 如图 1.5 的 CD 段所示, 在此阶段, 试样的变形为均匀变形, 到 D 点应力达最大值 σ_b 。D 点以后, 试件在某个局部的横截面发生明显收缩, 出现“颈缩”现象, 此时试样产生不均

匀变形。由于试样横截面积的锐减,维持变形所需要的应力明显下降,并在 E 点处发生断裂。最大应力值 σ_b 称为抗拉强度,它是材料抵抗均匀变形和断裂所能承受的最大应力值,即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{F_0} \text{ (MPa)}$$

式中 P_b ——试棒拉断前承受的最大外力。

σ_b 也是零件设计和评定材料时的重要强度指标。 σ_b 测量方便,如果单从保证零件不产生断裂的安全角度考虑,或者是用低塑性材料或脆性材料制造零件,都可用 σ_b 作为设计依据,但所取安全系数要大些。绳类产品可选 σ_b 作为设计依据。

在航空航天及汽车工业中,为了减轻零件的重量,在产品 and 零件设计时经常采用比强度的概念。材料的强度指标与其密度的比值叫做比强度 (σ_b/ρ)。强度相等时,材料的密度越小 (即重量越轻),比强度越大。另外,屈强比 (σ_s/σ_b) 表征了材料强度潜力的发挥、利用程度以及和该种材料所制零件工作时的安全程度。

2) 塑性

材料的常用塑性指标有延伸率和断面收缩率。

延伸率即断后总伸长率,以 δ 表示,即

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

式中 l_0 ——标距原长;

l_1 ——断裂后标距长度。

断面收缩率以 Ψ 表示,即

$$\Psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中 F_0 ——试件原始横截面积;

F_1 ——断口处的横截面积。

同一材料的试样长短不同,测得的 δ 略有不同。如 l_0 为试样原始直径 d_0 的 10 倍,则延伸率常记为 δ_{10} (常简写成 δ)。考虑到材料塑性变形时可能有颈缩现象,故 Ψ 能较真实地反映材料的塑性好坏 (但均不能直接用于工程计算)。

良好的塑性能降低应力集中,使应力松弛,吸收冲击能,产生形变强化,提高零件的可靠性,同时有利于压力加工,这对工程应用和材料的加工都具有重大意义。

拉伸曲线与横坐标所包围的面积愈大,则材料从变形到断裂过程中所吸收的能量愈多,即所谓材料的韧性愈好。

3) 粘弹性

理想的弹性材料在加载时 (加载应力不超过材料的弹性极限) 立即产生弹性变形,卸载时变形立即消失,应变和应力是同步发生的。但实际工程材料尤其是高分子材料,加载时应变不是立即达到平衡值,卸载时变形也不立即消失,应变总是落后于应力。这种应变滞后于应力的现象称为粘弹性。具有粘弹性的物质,其应变不仅与应力大小有关,而且与加载速度和保持载荷的时间有关。

(4) 硬度

硬度是反映材料软硬程度的一种性能指标,它表示材料表面局部区域内抵抗变形或破裂