

机械工程材料及应用

主编 邹莉

副主编 陈玮

重庆大学出版社

内 容 提 要

摇摇本教材是为了适应高职高专学校专业教学改革的需要,结合高职高专机械制造类(机电一体化、数控、汽车运用等)专业的特点而编写的。全书共分 10 章,扼要阐述了机械工程材料的基本理论和基本规律。内容包括材料的力学性能、材料的结构、材料的凝固、金属塑性变形、二元合金及铁碳合金、钢的热处理、工业用钢及铸铁、有色金属等,讨论了机械零件的失效与材料选择。

本书可作为高职高专机械制造类专业使用教材,亦可供机械设计和生产部门的工程技术人员阅读参考。

摇图书在版编目(CIP)数据

摇机械工程材料及应用 鞠莉主编 重庆:重庆大学

出版社, 2009.10

摇(高职高专机械系列教材)

摇 ISBN 978-7-5613-4880-9

摇 I 鞠莉主编 II 鞠莉主编 III 机械工程材料—高等学校:

技术学校—教材 IV 鞠莉编

摇中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 183829 号

机 械 工 程 材 料 及 应 用

主 编 鞠 莉

副 主 编 陈 瑶

责任编辑 彭瑶宁 赵庆康 版式设计 彭瑶宁

责任校对 任卓惠 摇摇摇 责任印制 秦瑶梅

*

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 100 号重庆大学(南区)内

邮编 401331

电话:(023) 23204400 23204401

传真:(023) 23204401 23204402

网址 <http://www.cqup.com.cn>

邮箱 zhanggs@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 787mm×1092mm 1/16 印张 10.5 字数 260 千字

2009 年 10 月第 1 版 2009 年 10 月第 1 次印刷

印数 1—5000 册

ISBN 978-7-5613-4880-9 定价 25.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究。

前言

摇摇开发和使用材料的能力是衡量社会技术水平和未来技术发展的尺度。本书致力于帮助所有的工程师更好地理解和使用材料,以保证未来技术的发展。

“机械工程材料及应用”课程是高职高专院校机械制造类专业的一门专业技术基础课。“机械工程材料及应用”课程的任务是从机械工程的应用角度出发,阐明机械工程材料的基本理论,了解材料的成分、加工工艺、组织结构与性能之间的关系,介绍常用机械工程材料及其应用等基本知识。学生通过本课程的学习,在掌握机械工程材料基本理论的基础上,具备能根据机械零件服役条件和使用性能的要求,对结构零件进行合理选材及制订机械零件加工工艺路线的初步能力。由于能源、材料、信息是现代社会和现代科学技术的三大支柱,学习并掌握工程材料的基本知识,对于高职高专工科院校机械制造类专业的学生是十分必要的。

本书根据高职高专院校专业调整与改革、为培养生产一线和工作现场的技术、管理、服务等应用型人才的需要,并结合高职高专院校机械制造类专业的特点,除常规内容外,还注意吸收新材料、新工艺、新标准。

全书共包括金属学基础、热处理原理和工艺、机械工程材料(金属材料)以及机械零件的失效及选材等内容。其中第1章圆猿源缘远章属于金属学基础,包括材料的性能、凝固、结构、二元合金及塑性变形,目的在于为读者建立材料成分、组织结构、性能和加工应用之间的密切关系奠定理论基础。第2章苑章属于钢的热处理,主要介绍钢的各种热处理工艺和表面改性技术的应用。第3章愿怨章包括工业用钢及铸铁、有色金属及其合金等工程材料基础知识,介绍各种常用金属材料的成分、结构、性能特点及应用。第4章苑章介绍了机械零件的失效与选材的知识。本书的重点内容应是金属材料组织和性能的控制与常用金属材料及选材。

本书根据大纲要求,教学时数约 远园学时,其中包括实验时数 远~愿学时。

摇摇本书由昆明冶金高等专科学校邹莉老师担任主编。淮安信息职业技术学院陈玮老师担任副主编,昆明冶金高等专科学校李莲珍老师、江苏经贸技师学院王志慧老师担任编委。各参编者分工如下:绪论、第 圆章、第 缘章、第 远章、第 苑章由邹莉编写,第 愿章、第 怨章和附录由陈玮编写,第 员章、第 猿章、第 源章由王志慧编写,第 苑章由李莲珍编写。

本书在编写过程中参阅了部分国内外有关教材、科技著作和学术论文。在此特向有关作者表示深切的谢意。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,恭请广大读者批评指正。

编摇者

圆缘年 缘月

目 录

绪 论	员
第 1 章 中华民族对材料发展的贡献	员
第 2 章 材料与新技术革命	猿
第 3 章 材料的主要类别	缘
第 4 章 工程材料的综合方法	苑
第 5 章 材料的力学性能	愿
第 5.1 节 静载时材料的力学性能	怨
第 5.2 节 动载时材料的力学性能	愿
本章小结	圆
第 6 章 凝固	圆
第 6.1 节 凝固基础	圆
第 6.2 节 金属凝固过程	圆
第 6.3 节 晶粒大小及其控制	圆
本章小结	圆
第 7 章 材料的结构	圆
第 7.1 节 原子间的结合键	圆
第 7.2 节 晶体结构	猿
第 7.3 节 实际金属的晶体结构及晶体缺陷	猿
本章小结	猿
第 8 章 塑性变形与再结晶	源
第 8.1 节 金属的塑性变形	源
第 8.2 节 塑性变形对金属组织和性能的影响	源
第 8.3 节 回复与再结晶	缘
第 8.4 节 金属材料热加工	缘
本章小结	缘

第 缘章 摇二元合金	缘
摇缘援摇二元合金的相结构	缘
摇缘圆摇二元合金相图	缘
摇缘猿摇相图—性能的关系	苑
摇本章小结	苑
第 远章 摇铁碳合金相图	苑
摇远援摇铁碳合金中的相	苑
摇远圆摇铁碳合金相图分析	苑
摇远猿摇典型合金的凝固	苑
摇远源摇铁碳合金成分、组织与性能之间的关系(成分— 组织—性能)	苑
摇远缘摇云母图的应用	愿
摇本章小结	愿
第 苑章 摇钢的热处理	愿
摇苑援摇概述	愿
摇苑圆摇钢在加热时的转变	愿
摇苑猿摇钢在冷却时的转变	愿
摇苑源摇钢的普通热处理工艺	愿
摇苑缘摇钢的表面热处理	员
摇苑远摇其他热处理简介	员
摇苑苑摇表面改性技术	员
摇苑愿摇机械制造过程中的热处理	员
摇本章小结	员
第 愿章 摇工业用钢及铸铁	员
摇愿援摇钢的分类与编号	员
摇愿圆摇合金结构钢	员
摇愿猿摇合金工具钢	员
摇愿源摇特殊性能钢	员
摇愿缘摇铸铁	员
第 怨章 摇有色金属及其合金	员
摇怨援摇铝及铝合金	员
摇怨圆摇铜及铜合金	员
摇怨猿摇钛及钛合金	员
摇怨源摇滑动轴承合金	员

第 4 章 机械零件失效与选材	4
4.1 机械零件失效概述	4
4.2 材料选择原则	5
4.3 典型零件选材实例分析	5
附录 国内外常用钢号对照表	6
参考文献	6

绪 论

材料是人类社会所能接受的能为人类经济地制造有用器件的物质。材料是所有科技进步的核心。由于材料合成、开发及工艺技术的成熟,开辟了许多在短短几十年前都不曾梦想的新领域。当我们回忆包括在能源、通信、多媒体、计算机、建筑以及交通等广泛领域中取得的举世瞩目的进步时,你就会体会到这句话的正确性。如果没有专门为飞机发动机设计的材料,就没有靠飞机旅行的今天;如果没有固体微电子电路,就没有我们大家都了解的计算机。历史学家早就按人类社会所使用的“材料”来划分历史发展的阶段。远古时代,人类只能使用天然的石头作为工具,称之为石器时代。火的发现使人类多了一种改造自然的武器,人类对材料的使用由天然材料向人工材料发展,进入了陶器时代,随着冶炼技术的发展,人类进入了青铜器时代、铁器时代、钢铁时代。而今,人类已跨入了人工合成材料的新时代。不断开发和使用材料的能力是任何一个社会发展的基础之一,是人类物质文明的支柱。

0.1 中华民族对材料发展的贡献

在人类的发展史上,最先使用的工具是石器。早在新石器时代(约公元前 6010 年—约公元前 5600 年),据考古工作者对“后李遗址”出土的陶器考证,生活在这一地区的先民们在距今约八千年前已开始用粘土(主要成分是 SiO_2 、 Al_2O_3)制作陶器,是我国最早制作陶器的产地之一;在仰韶文化(约公元前 4040 年—约公元前 2240 年)、大汶口文化时期(约公元前 4040—约公元前 2240 年)和山东龙山文化(约公元前 2010—约公元前 1530 年)时,其制陶技术已经发展到能在氧化性气氛的窑中($950\text{ }^\circ\text{C}$)烧制红陶,在还原性气氛的炉中($1\ 050\text{ }^\circ\text{C}$)烧制薄胎黑陶和白陶。在 3 000 多年前的殷、周时期,发明了釉陶,烧成温度近于 $1\ 200\text{ }^\circ\text{C}$ 。如甘肃马家窑出土的彩陶就有壶、罐、瓶、钵、盆等。我国在东汉时期发明了瓷器,成为最早生产瓷器的国家。东汉青瓷的出现,打开了我国瓷器发展史上的新纪元。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 世纪传入欧洲。瓷器在中华文明的历史长河里,闪耀着灿烂的光辉。

我国古代青铜文明,肇始于夏,盛于商周,曾辉煌了 10 多个世纪之久。几乎每件青铜器都凝聚了中华祖先的卓越才思与伟大创造,成为不朽的艺术品。时光虽已跨越了千余载,许多青



图 0.1 司母戊鼎

铜器至今仍具有无穷的艺术感染力,令人为之叹赞,为之叫绝。如 1939 年于河南安阳殷墟商代晚期墓出土的司母戊鼎(因腹内壁铸有“司母戊”三字而得名),见图 0.1 所示。该鼎造型庄严雄伟,长方形,四足中空,高 1.33 m,长 1.10 m,重达 875 kg,用陶范铸造,鼎体(包括空心鼎足)浑铸,其合金成分为:铜 84.77%,锡 11.44%,铅 2.76%,其他 0.9%。司母戊鼎是目前已发现的中国古代形体最大和最重的青铜器,在世界上也是仅见的,反映出我国商代青铜冶铸业具有极高水平。

1986 年在四川广汉三星堆遗址发现的两个大型祭祀坑,从中出土的 1 000 多件美妙绝伦的珍贵文物,其中的青铜礼器与商代中原的礼器造形十分相似。另一类青铜器则是具有浓郁宗教色彩的造型奇异的人面像。如青铜大型立人像,通高 2.62 m,重 180 kg,见图 0.2 所示。该铜像采用分段浇注法铸成。



图 0.2 青铜立人像

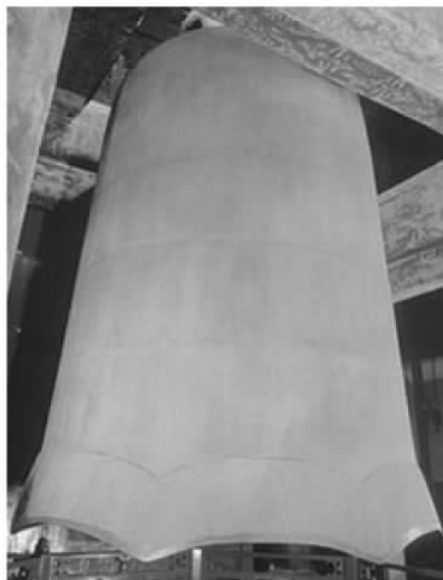


图 0.3 永乐大钟

现悬挂于北京西郊大钟寺(原觉生寺)钟楼里一枚明代永乐年间铸造的享有“古代钟王”之誉的永乐大钟,亦是我国古代文化艺术高度发达的见证。见图 0.3 所示。永乐大钟用泥范铸造,合金成分为:铜 80.54%、锡 16.40%、铅 1.12%。钟身用圈形外范分七层,逐层与范芯套合,到钟顶部,将先铸成的钟纽嵌入,浇铸后连成一体。永乐大钟通高 6.75 m,肩外径 2.4 m,口沿外径 3.3 m,全重约 46 t。该钟构造合理,工艺精湛,造型精美,形体宏伟,历时 500 多年,至今仍音响圆润洪亮,穿透性强,具有明显的音乐效果,钟声可传四五十公里,余音达 2 分钟之久。

这些青铜器在制造时,采用了精湛的铸造技术。在泥模塑造、陶范翻制、合范、熔炼、浇注等铸造全过程中,充分体现了我国古代劳动人民的聪明才智和优秀的技艺。春秋末期成书的

《周礼·考工记》中记载了钟、鼎、斧等六类青铜器中锡含量,称为“六齐”。书中写到:“金有六齐,六分其金而居锡一,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。”这是世界上已知关于合金成分规律的最早记载。其中的“金”可理解为青铜或纯铜,与古代青铜器的化学分析结果相对照,虽不尽一致,但从原理上看,表明战国时期人们对合金成分、性能和用途之间的关系已有所认识。

蕴含着巨大之力的铁器,在春秋战国时期(公元前 770 年—公元前 221 年)初露锋芒,显示出了不可阻挡的发展趋势,并在秦汉时期显得更为强劲,最终迎来了一个全新的铁器时代。春秋晚期生铁的出现是因为中国烧陶窑和冶铜炉炉温较高,具备了高温冶铁的条件,铁矿石在温度较高的炼铁炉中高温还原并渗碳,得到含碳 3%~4% 的生铁。战国初期出现了用热处理方法使白口铁中的渗碳体分解出石墨析出的韧性铸铁工艺。从而铸铁大量广泛应用于军事、农业生产。战国后期,发明了能重复使用的铁范。汉以后,在一些考古发现的汉代冶铁炉渣中,发现含有氧化钙与氧化镁的成分,表明了冶炼时曾加入过碱性熔剂,使矿石原料的熔化性更为良好,还能同时降低硫的含量。炼铁设备改进、提高的同时,钢铁的新品种产生了出来。首先是灰口铁的产生,灰口铁比白口铁的质地更好,更耐磨,且有润滑性。因此,用来制作农具尤为适宜。汉代又生产出了球墨铸铁,它的性能比灰口铁更佳。世界上的球墨铸铁是在 20 世纪的 40 年代才发展起来的,而我国在二千年前的汉代已经能生产了。据对汉代铁镬的测定表明,其球墨铸铁的组织基本上达到了现行国家标准的一类 A 级品,见图 0.4 所示。即使在现代也属于优质品,要炼成也是很不容易的。在古代冶炼球墨铸铁,很可能是用灰口铁加入镁、钇或稀土金属才能使石墨形成球状的。

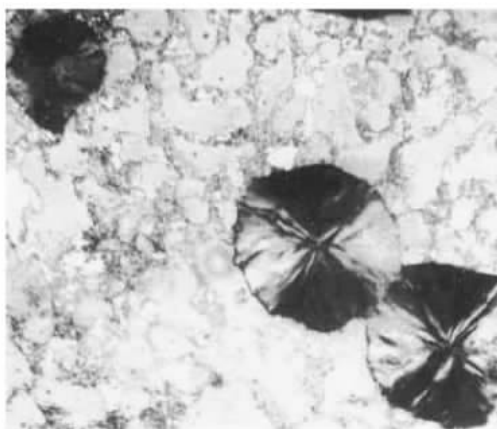


图 0.4 中国古代铁器的金相组织

在汉代先后发明了几种生铁制钢的方法。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术我国要比其他国家早 1 600 多年。钢的热处理技术也达到了相当高的水平。明代科学家宋应星在《天物开工》一书中详细论述了钢铁的退火、淬火、渗碳等工艺。钢铁生产工具的发展对社会进步起到了巨大的推动作用。

在我国材料领域的发展中还应该提到丝绸,丝绸是一种天然高分子材料,在我国有着悠久的历史。丝绸通过著名的丝绸之路,于 11 世纪传到波斯、阿拉伯、埃及,并于 1470 年传到意大利的威尼斯,从此才进入欧洲。

历史充分说明,我们勤劳智慧的祖先,在材料的创造和使用上有着辉煌的成就,为人类文明世界进步作出了巨大贡献。

0.2 材料与新技术革命

在全部历史中,技术上的重大突破都是与材料的发展和加工合成相联系的。精确地控制

材料的成分、组织结构的加工和工艺的发展,使晶体管微型化成为可能,则一个芯片上可以容纳更多的晶体管,结果导致了电子技术革命,生产出了计算机、蜂巢式移动电话和 CD、VCD、DVD、MP3 播放器等产品。这一技术革命影响了人们现代生活的各个方面。半导体材料是整个电子技术和计算机产业的基础,一个国家在芯片技术方面的成就决定了这个国家在整个战略产业、高技术产业方面的成就。

若光有计算机没有远程通信技术,整个世界的发展不会有今天这样快,而远程通信技术的发展又与光导纤维(光纤)的问世密切相关。光导纤维被誉为百年不遇的发明,它是用高纯石英玻璃制造出的比头发还细的丝。使用光纤通信增加了信息的传输量和传输速度,它所携带的信息量比铜缆大几个数量级。传输的可靠性也大大改善。同时,玻璃纤维的生产材料和制造过程对环境具有良好的效应,因而减轻了由于开采铜矿对环境造成的不利影响。

材料作为进步的跳板的另一领域是航空航天工业,材料在太空探索中的作用十分重要。目前已投入使用的各种载从、载物航天飞机每运载 1 kg 有效载荷成本费 1 万美元,这样昂贵的费用使人类征服太空受到很大限制。所以选用尽可能轻的、性能满足要求的新材料来制作各种航天器势在必行,重量轻、强度高的铝、钛合金促进了更有效的机身的发展,镍基高温合金的发明和改进,促进了强力、高效的喷气发动机的发展,复合材料和陶瓷取代传统材料则使飞机获得更进一步的改善。此外,航天飞机当重返和通过地球大气层时,它与大气层间的摩擦会使机身产生极高的温度(可能超过 1 600 °C),会使今天用于机架的任何金属熔化。而陶瓷瓦片有能力承受这样的高温,并有优异的绝热性能,它提供了保护航天飞机铝机身的方法。图 0.5 显示了航天飞机重返大气层时,其表面温度的大体分布。温度为 400~1 260 °C 的区域由大约 30 000 个氧化硅瓦片进行保护。瓦片上表面涂有一层硼硅酸盐玻璃用以绝缘表面,并辐射来自航天飞机的热量。在温度达到 1 600 °C 的区域中,涂上碳/碳增强复合材料或用

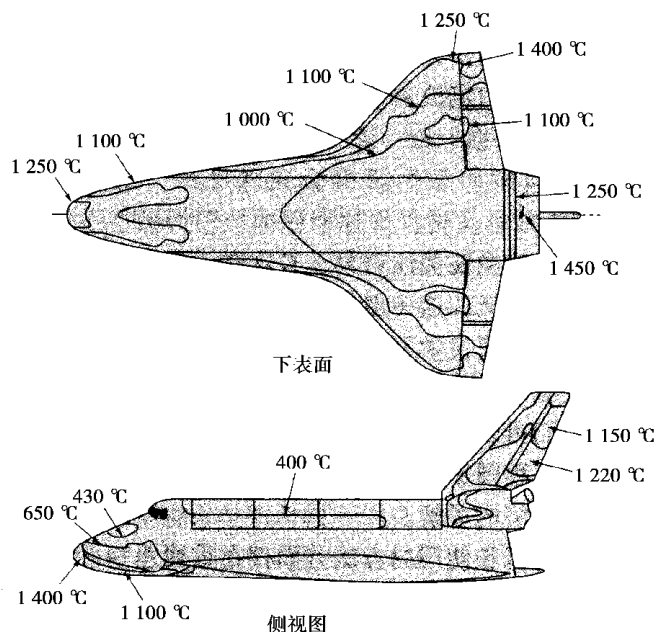


图 0.5 航天飞机重返地球通过大气层时的表面温度分布

Ni-Cr-Fe 合金制造航天飞机外壳,外层的隔热板由一层 TiAl 合金与一层绝热材料组成。如果没有这些材料,我们怀疑是否有可能拥有能重复使用的空间交通工具。

由上述这些例子中,我们可以清楚地看到,高新技术是推动现代经济和社会发展的强大动力,而新材料是高新技术的基石,新材料的发现推动了高新技术的发展。

0.3 材料的主要类别

工程材料的主要类别可以考虑划分为:1 金属材料;2 陶瓷;3 聚合物;4 复合材料;5 半导体。我们熟悉的金属可能包括铁、铜、铝等;普通陶瓷金包括砂、砖和泥灰、玻璃和石墨;熟悉的聚合物例子是尼龙、聚苯乙烯、纤维素、聚乙烯等;我们已经讨论过的如碳/碳增强复合材料(用于航天飞机的隔热片)和环氧树脂基/碳纤维复合材料(可用于网球拍等);最简单的半导体是硅和锗。了解这些材料的特性,将使你处在一个能面对现代技术挑战又能合理选择材料的地位。

因为材料的性质与它的结构相关,因此了解加工处理材料的方法影响其组织结构从而影响材料性能是重要的。

下面各节中,分别对这 5 类材料作简要讨论。

0.3.1 金属材料

固态金属材料(纯金属和合金)是电的良好导体,强度高,可以通过塑性变形成为各种复杂形状,当经受高速冲击力时有抵抗脆性断裂的能力。这些物理性能和力学性能使金属材料在导电和结构应用上成为最重要的材料之一。在汽车、飞机、建筑物、桥梁、机床、轮船和综合要求高强度和抗脆性断裂的很多场合中广泛地使用金属材料。事实上,金属作为结构材料应用有如此吸引力,很大程度上缘于它在强度和韧性两方面具有的优异综合性能。

我们对金属及其性能的了解是深入的,所以把它看作是成熟的材料,它产生重大突破的潜力比较小。但是,由于生产过程的进步和先进加工工艺的出现使金属材料有了明显的改进,而且还在继续改进。如下两个例子可以说明。

1)在喷气发动机上通过控制凝固工艺生产的汽轮机叶片可以获得较高的工作温度。叶片由镍基合金或其他金属的合金制成,通过先进的传感器和计算机的实时控制技术,生产过程会更精细化,并且这种改善还会继续下去。

2)粉末冶金工艺可以降低零件的制造成本,减少材料性能的波动,可以更安全地增加工作载荷。通过粉末冶金工艺降低生产成本将会继续影响航天和汽车领域。

0.3.2 陶瓷

陶瓷通常由金属和非金属原子组成。很多陶瓷是晶体,其中非金属原子经常是氧,如 Al_2O_3 、 MgO 、 CaO 这些典型的陶瓷。陶瓷和金属的显著区别是它们的键合类型不同,陶瓷为共价键/或离子键。所以陶瓷一般不是电的良导体,在电器设备中通常用作绝缘体。陶瓷材料在本质上比金属材料更强,但受力时由于离子或原子不易相对移动,而倾向于脆性断裂,这种脆性限制了它作为结构材料使用。但它的这种刚性键结构也赋予了陶瓷材料包括高温力学性

能、化学稳定性能(抗高温氧化和耐酸碱腐蚀)以及功能转换效应(压电效应、磁电效应、光电效应)等优点。这样陶瓷材料可以成为应用于如航天飞机这样的高温场合、化学试剂容器和能量转换、信号接收与转换等方面的理想材料。某些陶瓷不是晶体,如玻璃。它主要的成分是 SiO_2 ,并添加了各种金属氧化物。玻璃的光学性质是最重要的,它可通过成分和加工过程控制。此外,还可控制玻璃的热学和力学性质。安全玻璃就是经过简单热处理的玻璃,热处理使表面处于受压状态从而能抵抗开裂。

陶瓷材料现有和潜在的应用对社会有很大影响,这主要表现在:

1)在汽车工业中,陶瓷的耐热性和强度使它们在发动机元件中具有很大的吸引力。例如,如果制成全陶瓷汽车发动机,燃料的效率可提高20%以上,其重量可以下降2/3左右。这一应用的材料是经过处理后具有一定抗脆性断裂的 Si_3N_4 和 SiC 。

2)基于 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (钇钡铜氧化物)和 $\text{Ba}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_x$ (钡铜氧化物)的化合物陶瓷,其超导临界温度大于95 K。这意味着超导膜可用作微波装置的内衬和各种类型应用的导线。承载电流的能力和连接技术的提高是这些材料的普及应用必不可少的。

3)下一代计算机将会采用陶瓷光-电元件,它将会提高计算机的运行速度和效率。

0.3.3 聚合物

聚合物是由分子内具有重复性化学结构的大分子链构成,其中大部分是共价键结合,主链中的常见元素包括C、O、N和Si。由于它们所包含的都是一些普通元素,并且能比较容易地进行人工合成,所以它们的价格低廉,此外,它们的密度低,易于加工成复杂形状,因此它们在汽车和飞机的模压零件中可以取代金属。与金属的陶瓷一样,它们的性质亦可以通过改变成分以及加工处理过程来改变。

聚合物的某些现有及潜在的应用包括:

1)能被生物降解的聚合物的发展,提供了潜在的可能性来减小因我们社会产生的数量惊人的废物对我们周围环境产生的负面影响。

2)液晶聚合物技术的发展使我们有可能开发轻质的结构材料。

3)在重量轻起关键作用的应用(如太空交通工具)上,导电聚合物可取代传统的金属导线。

0.3.4 复合材料

其实,对于复合材料我们并不陌生,我们早就使用的在粘土中掺和稻草制作土坯。稻草和粘土是两种性质截然不同的材料,稻草的增强作用增加了土坯的耐用性,由它们混合而制成的土坯就是早期的复合材料。大约在1942年,人们开始用玻璃纤维(相当于稻草的作用)强化塑料(相当于粘土),从而使复合材料进入了一个加速发展的新时代。单一材料(金属材料、陶瓷、聚合物)具有各自鲜明的性能特点,其应用往往受到某些性能不能满足使用要求的限制,如果用特殊的工艺方法,将性质不同的材料复合在一起形成一种新的材料——复合材料,则产生单一材料所不具备的特殊性能。最普通应用的纤维增强复合材料是一种刚度大、强度高并且密度低的结构材料。现在很多网球拍、比赛用自行车、滑雪板等都是用碳纤维-环氧树脂复合材料制成的。

若将强度高的陶瓷纤维嵌入金属基体中,则可以生产出高强度和高刚度的金属基复合材料,它用作诸如飞机机身外壳等承受中等载荷的飞机机体部件材料。

将金属纤维嵌入陶瓷基体的方法得到的复合材料(陶瓷基复合材料),目的是利用陶瓷的强度和金属纤维增强材料的韧性。

复合材料某些鼓舞人心的新发展和可能性包括如下方面:

- 1)对减轻飞机自重和增加装载量,金属基复合材料将扮演越来越重要的角色。
- 2)高温陶瓷基复合材料将使发动机的工作温度提高。

0.3.5 半导体

主要的半导体材料是共价键结合的元素硅和锗以及一系列共价键化合物,包括CaAs、CdTe、InP等。因为微电子工业要求这些材料性能的再现性程度非常高,半导体的生产工艺中必须能精细地控制其成分和结构。

半导体及微电子器件在现代和将来的某些应用:

- 1)占有统治地位的信息传输模式正由电信号转变为光信号模式,光通信技术已经成熟,虽然光子计算机所需的材料与装置仍处在研究阶段,但可以相信,由于技术的发展将会使我们拥有运算速度更快、功能更强的计算机。
- 2)微电子器件的尺寸继续减小。
- 3)出现显微切削加工技术。

0.4 工程材料的综合方法

为了帮助你了解材料的结构、性能和合成加工间的关系,本书大致分为四个部分。

第一部分是基础,重点在工程材料的结构与显微组织的演变与控制。建立原子键、晶体结构、晶体缺陷等概念。

第二部分为材料改性,主要介绍钢的各种热处理工艺和表面改性技术的应用。讨论控制材料在微观尺度上的组织结构的方法。

第三部分为工程应用中常用的金属材料——工业用钢及铸铁、有色金属及其合金等,介绍各种常用金属材料的成分、结构、性能特点及应用。

第四部分为机械零件的失效与选材。

据估计,目前非金属材料在工业中的应用约为5%~6%,在不久的将来也不会超过7%~8%,所以在相当长的时间内,金属材料仍是主要的工程材料,本书将重点介绍当前应用最广的金属材料,特别是黑色金属材料——钢铁。

第 1 章

材料的力学性能

材料的性能是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。使用性能是材料在使用条件下所表现出来的性能,如力学性能,物理性能(如密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性等),化学性能(如耐腐蚀性、抗氧化性等)。工艺性能是材料在制造加工过程中反映出来的各种性能,如铸造、焊接、热处理和切削加工性能等。材料的使用性能决定了材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命等。

力学性能是工程结构材料研究和应用中最关键性的问题。因为,各种工程结构或机械零部件的设计通常是力学性能作为最重要的设计依据;一种新材料能否由研究状态进入工程应用,通常也是以力学性能作为基本的考核指标,特别是其综合性能的优劣常常是决定性的因素;此外,任何机械结构的失效虽然形式多种多样,究其原因,除设计不当外,一般都可归于机械零部件在服役条件(载荷形式、环境条件)下未能达到所要求的力学性能。显然,在材料科学与工程中,在机械制造的选材中,材料的力学性能占有很重要的地位。

力学性能是指材料在载荷(外力)作用下所表现出来的行为或指材料在力的作用下,显示与弹性和非弹性反应相关或涉及应力-应变关系的性能。常温力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

材料在加工及使用过程中所受的外力,称为载荷,也称为负载或负荷。根据载荷的作用性质不同,它可以分为静载荷、冲击载荷和交变载荷等三种。

(1) 静载荷

大小不变或变化过程缓慢的载荷。

(2) 冲击载荷

短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。

(3) 交变载荷

大小、方向或大小和方向随时间发生周期性变化的载荷。

根据作用形式,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。

材料受载荷作用后,作为对于载荷作用的响应,所有材料都会发生几何形状和尺寸的变化,这种现象我们称为变形。变形按卸载后能否完全消失,分为弹性变形和塑性变形。

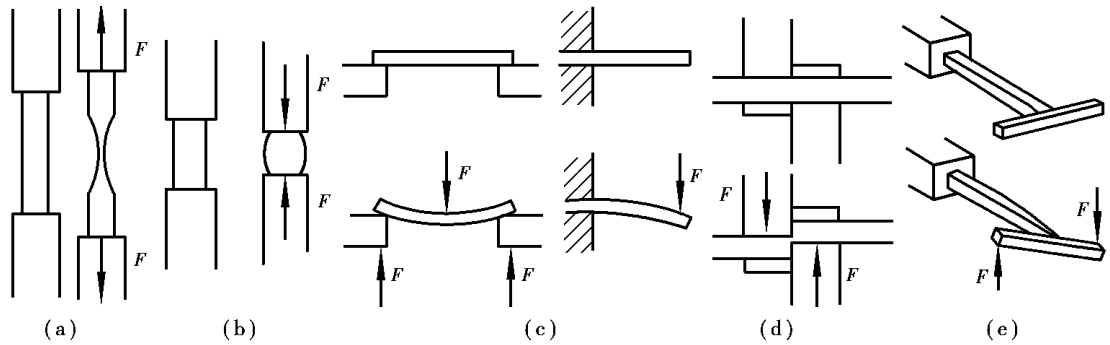


图 1.1 载荷的作用形式

(a)拉伸载荷 (b)压缩载荷 (c)弯曲载荷 (d)剪切载荷 (e)扭转载荷

(1) 弹性变形

材料在载荷的作用下发生变形,当载荷卸除后,变形也随之完全消失。这种随载荷的卸除而消失的变形称为弹性变形。

(2) 塑性变形

当作用在材料上的载荷超过某一限度,此时若卸除载荷,大部分变形随之消失(弹性变形部分),但是留下了部分变形不能消失。这种不随载荷的去而消失的变形为塑性变形,又称永久变形。

材料受外力作用时,为保持其不变形,在材料内部存在着与外力相对抗的力,称为内力。内力的大小与外力相等,方向与外力相反,和外力保持平衡。单位面积上的内力称为应力。金属受拉伸载荷或压缩载荷作用时,其横截面积为 A 时的应力按下式计算:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

式中 σ ——应力,Pa。1 Pa=1 N/m²。当面积用 mm² 时,则应力可用 MPa 为单位。

$$1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2 = 10^6 \text{ Pa}$$

F ——外力,N。

A ——横截面积,mm²。

1.1 静载时材料的力学性能

1.1.1 拉伸试验及拉伸曲线

(1) 拉伸试样

拉伸试验用于定量测定结构材料的一些主要力学性能。为便于比较不同材料的试验结果,必须将试验材料按照国家标准制成标准试样。在国家标准中,对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定,拉伸试样的形状一般有圆形和矩形两类。图 1.2 所示为圆形拉伸试样。图中 d_0 是试样直径, l_0 为试样标距长度。根据标距长度与直径之间的关系,试样可分为长试样($l_0 = 10d_0$)和短试样($l_0 = 5d_0$)两种。

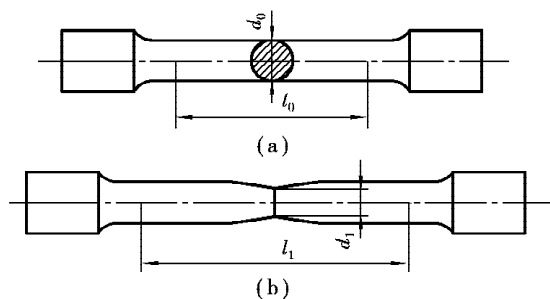


图 1.2 圆形拉伸试样(拉伸前和拉伸后)
(a)拉伸前 (b)拉伸后

如图 1.3(a) 所示的拉伸试验, 试样一端被夹紧在固定于拉伸试验机静止端的卡具上, 另一端紧固在试验机的运动部分上。运动部分以固定不变的速率移动并给试样施加载荷, 持续进行到试样断裂为止。对应每一个载荷 F , 试样标距 l_0 有一伸长量 Δl , 表示 F 和 Δl 关系的曲线称为拉伸曲线或 $F-\Delta l$ 的曲线。可由载荷-伸长量曲线直接获得应力-应变关系曲线。如图 1.3(b) 所示是金属拉伸试验获得的典型 $\sigma-\epsilon$ 曲线。

(2) 拉伸曲线

拉伸过程可分为以下四个阶段。

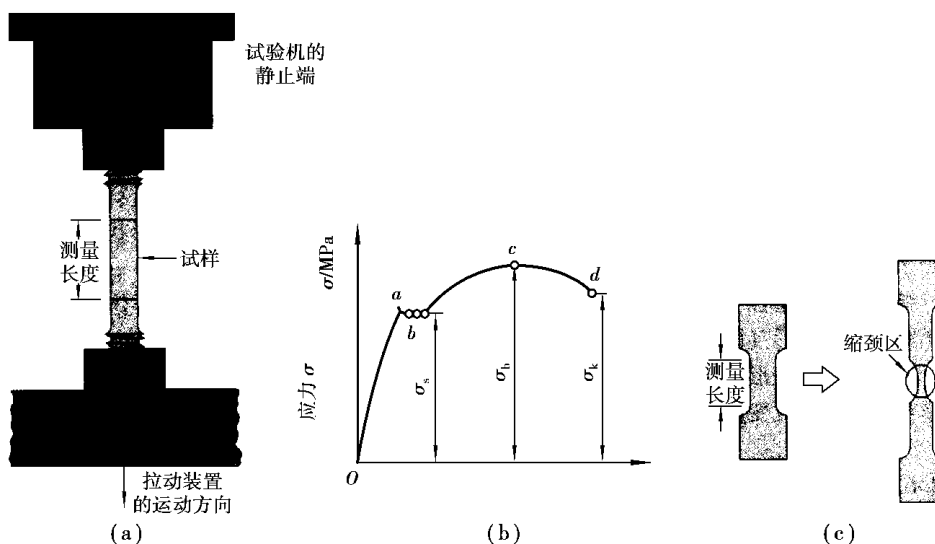


图 1.3 材料的拉伸试验
(a)金属拉伸试验的完整装置 (b)由拉伸试验所获得的应力-应变曲线
(c)在试样标距内形成一个“缩颈”

1) 弹性变形阶段 曲线起始部分。多数直线形式, 符合虎克定律。

2) 屈服阶段 超出弹性变形范围之后, 当载荷增加到某一数值时, 变形有非常明显的增加, 而载荷在很小的范围内波动, 应力-应变曲线图上形成一段接近水平线的小锯齿状线段。这种载荷变化不大而变形显著增加的现象称为屈服。 F_s 为屈服载荷, 屈服后, 材料开始出现明显的塑性变形。

3) 均匀变形阶段(强化阶段) 屈服后, 欲使试样继续变形, 则必须不断加载。这种随着塑性变形增大, 试样变形抗力逐渐增加的现象称为加工硬化。此阶段的变形是均匀的, 达到曲线最高点时, 均匀变形阶段结束。此阶段最高点对应的载荷是材料断裂前所能承受的最大载荷。

4) 局部塑性变形阶段(缩颈阶段) 当载荷达到最大值后, 试样的直径发生局部收缩, 称为“缩颈”, 变形局限在试样的小区域内进行。在缩颈过程中, 变形只在缩颈区域中增加并且是不