

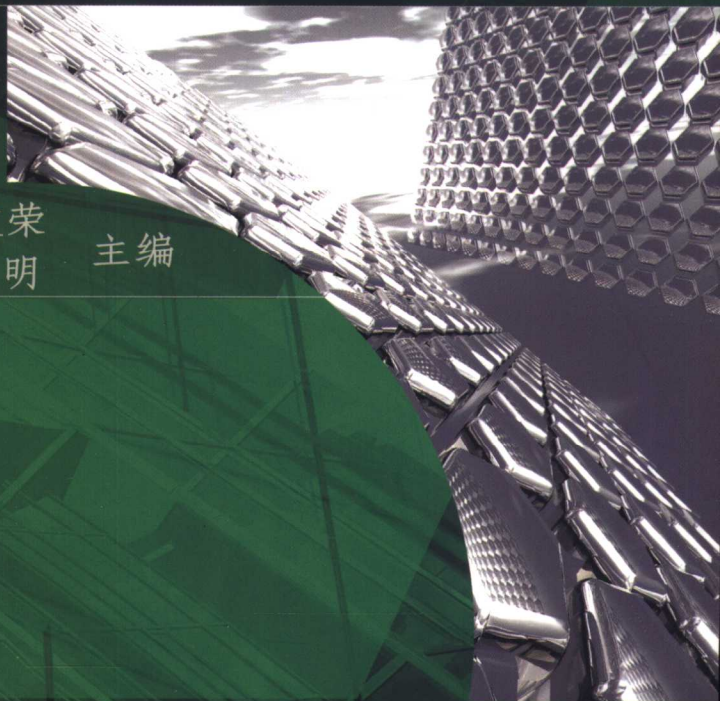
高等学校教材

工程材料及机械制造基础(I) ——工程材料

第二版

● 东南大学

戴枝荣 主编
张远明



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

工程材料及机械制造基础(I) ——工程材料

(第二版)

东南大学 戴枝荣 张远明 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是在第1版的基础上,根据国家教育部机械基础课程教学指导分委员会制定的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》和高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革的有关研究成果并结合机械制造工程专业的发展和实际需要而进行修订编写的。本书除保留原教材特色之外,适当地增加了一些新概念、新材料、新工艺及其应用的内容。有关计量单位、名词术语、工艺数据和材料编号等均采用了最近颁布的国家标准。

全书包括工程材料的性能、晶体结构与结晶、金属的塑性变形、二元合金、铁碳合金、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料、材料的选用等内容。

本书主要供机械类各专业使用,教学时数为32~48学时(含实验),也可供其他近机类专业选用和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及机械制造基础. (I), 工程材料 / 戴枝荣, 张远明主编. —2版. —北京: 高等教育出版社, 2006.3

ISBN 7-04-018466-4

I. 工... II. ①戴... ②张... III. ①工程材料 - 高等学校 - 教材 ②机械制造 - 高等学校 - 教材 IV. TG

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第155480号

策划编辑 宋晓 责任编辑 卢广 封面设计 李卫青 责任绘图 吴文信
版式设计 胡志萍 责任校对 杨雪莲 责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京泽明印刷有限责任公司

开本 787×1092 1/16
印张 13.75
字数 330 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 1992年4月第1版
2006年3月第2版
印次 2006年3月第1次印刷
定价 17.60元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18466-00

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

第 2 版前言

《工程材料及机械制造基础》(I)曾获国家教委高等学校优秀教材二等奖,从出版至今已十多年,期间多次印刷,累计印数近 10 万册,被全国几十所高等学校作为机械类各专业的技术基础课教材。该教材在符合《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》前提下,着重论述材料结构—工艺—性能—应用之间的关系,强调工程应用的重要性。整个教材内容新颖、简洁,结构合理,层次鲜明,各章节处理恰到好处,成为当时各高等学校公认的好教材之一。

近十多年来,一方面随着计算机技术、网络技术的不断发展,机械工程学科(或机械类各专业)已完全从过去的纯机械制造发展到以计算机技术、网络技术为支撑平台(或系统)的先进的制造工程。机械工程(或制造)实际上已成为机、电、信息、材料、控制等为主的多学科综合的载体。另一方面,在材料科学与工程领域,一批新型的工程结构材料、功能材料等以及一些材料改性新工艺不断涌现并在机械制造中广泛应用。这些都促使工程材料课程和所使用的教材作相应的调整。因此根据国家教育部机械基础课程教学指导分委员会制订的《工程材料及机械制造基础课程教学基本要求》和高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目“机械类专业人才培养方案及教学内容和课程体系改革的研究与实践”的研究成果,结合机械制造工程专业的发展和实际需要,本教材在修订编写时,除保留原教材特色之外,仍以材料的成分—结构—工艺—性能—应用为主线,适当地增加一些新概念、新材料、新工艺及其应用的内容。同时,本教材还进一步加强在工程中选材、选工艺等应用方面的知识及范例。

修订后的教材反映了当前工程材料研究领域的最新成果和进展。本教材在重点讲述基本概念、基本理论和基本方法的前提下,力图建立起与现代机械工程(或制造)相适应的工程材料课程内容体系。本教材有关计量单位、名词术语、工艺数据和材料编号等均采用了最近颁布的国家标准。

本书主要供机械类各专业使用,其教学时数为 32~48 学时(含实验)。对于其他近机类专业,可根据具体情况进行删减或补充。

参加本书修订的有东南大学戴枝荣(第一、四、五、八、十一章),张远明(第二、三、六章),何红媛(第七、九、十章)。并由戴枝荣、张远明担任主编。

本书由山东大学孙康宁教授审阅。在编写的过程中,本书第 1 版作者东南大学赵小东教授、杨克副教授提供了许多宝贵意见,在此谨表示谢意!

由于编者水平有限,书中缺点错误在所难免,恳请广大读者和师生指正。

编 者

2005 年 4 月 30 日

目 录

| | | | |
|--------------------------|----|-----------------------------|----|
| 绪论 | 1 | 第二节 塑性变形对金属组织和性能的影响 | 25 |
| 第一章 工程材料的性能 | 3 | 第三节 变形金属在加热时的组织和性能的变化 | 26 |
| 第一节 静载时材料的力学性能 | 3 | 一、回复 | 27 |
| 一、静拉伸试验 | 3 | 二、再结晶 | 27 |
| 二、硬度 | 5 | 三、晶粒长大 | 29 |
| 第二节 动载时材料的力学性能 | 6 | 第四节 金属的热加工 | 29 |
| 一、冲击韧度(a_{KU}) | 6 | 一、热加工的概念 | 29 |
| 二、疲劳强度 | 6 | 二、热加工对金属组织和性能影响 | 29 |
| 第三节 断裂韧性 | 7 | 第五节 超塑性 | 30 |
| 复习与思考题 | 8 | 复习与思考题 | 31 |
| 第二章 晶体结构与结晶 | 9 | 第四章 二元合金 | 32 |
| 第一节 金属的晶体结构 | 9 | 第一节 合金的相结构 | 32 |
| 一、晶体概念 | 9 | 一、固溶体 | 32 |
| 二、常见的金属晶格 | 10 | 二、化合物 | 34 |
| 三、单晶体的各向异性 | 10 | 第二节 二元合金相图 | 36 |
| 第二节 实际金属结构 | 11 | 一、二元相图的建立 | 37 |
| 一、多晶体结构 | 11 | 二、匀晶相图 | 38 |
| 二、晶体缺陷 | 12 | 三、共晶相图 | 40 |
| 第三节 非金属晶体 | 13 | 四、包晶相图 | 43 |
| 一、离子晶体 | 13 | 五、共析相图 | 45 |
| 二、共价晶体 | 14 | 第三节 相图与性能的关系 | 45 |
| 三、结晶型高分子聚合物 | 14 | 一、当合金形成单相固溶体 | 45 |
| 第四节 金属的结晶 | 14 | 二、当合金形成两相混合物 | 46 |
| 一、结晶的概念 | 14 | 复习与思考题 | 46 |
| 二、金属的结晶过程 | 15 | 第五章 铁碳合金 | 47 |
| 三、影响生核与长大的因素 | 16 | 第一节 铁碳合金的相结构与性能 | 47 |
| 四、金属的同素异构性 | 18 | 第二节 铁碳合金相图 | 47 |
| 五、金属铸锭的组织特点 | 19 | 一、相图分析 | 47 |
| 复习与思考题 | 20 | 二、典型合金的结晶过程 | 49 |
| 第三章 金属的塑性变形 | 21 | 三、铁碳合金的成分与性能的关系 | 54 |
| 第一节 单晶体、多晶体的塑性变形 | 21 | 第三节 碳钢 | 55 |
| 一、塑性变形的基本形式 | 21 | 一、常存杂质对碳钢性能的影响 | 55 |
| 二、单晶体的塑性变形 | 22 | | |
| 三、多晶体的塑性变形 | 24 | | |

| | | | |
|-------------------------|-----------|------------------------|-----------|
| 二、碳钢的分类 | 55 | 二、热处理技术条件的标注 | 92 |
| 三、碳钢的编号和用途 | 56 | 第十二节 材料改性处理的新进展 | 95 |
| 复习与思考题 | 60 | 一、离子注入 | 95 |
| 第六章 钢的热处理 | 61 | 二、电子束热处理 | 95 |
| 第一节 概述 | 61 | 三、计算机辅助热处理生产 | 95 |
| 第二节 钢在加热时的转变 | 61 | 复习与思考题 | 96 |
| 一、奥氏体的形成 | 62 | 第七章 合金钢 | 98 |
| 二、奥氏体晶粒的长大 | 63 | 第一节 合金元素在钢中的作用 | 98 |
| 第三节 钢在冷却时的转变 | 64 | 一、合金元素对钢中基本相的影响 | 98 |
| 一、奥氏体等温转变曲线 | 64 | 二、合金元素对铁碳合金相图的影响 | 99 |
| 二、过冷奥氏体转变产物的组织与性能 | 65 | 三、合金元素对钢的热处理的影响 | 100 |
| 三、影响C曲线的因素 | 69 | 第二节 合金钢的分类和编号方法 | 103 |
| 四、奥氏体连续冷却转变曲线 | 70 | 一、分类 | 103 |
| 第四节 钢的退火与正火 | 72 | 二、合金钢的编号方法 | 104 |
| 一、钢的退火 | 72 | 第三节 合金结构钢 | 105 |
| 二、钢的正火 | 73 | 一、低合金高强度结构钢 | 105 |
| 第五节 钢的淬火 | 74 | 二、渗碳钢 | 106 |
| 一、淬火工艺 | 74 | 三、调质钢 | 109 |
| 二、淬火方法 | 75 | 四、弹簧钢 | 112 |
| 三、钢的淬透性 | 77 | 五、滚动轴承钢 | 113 |
| 第六节 钢的回火 | 81 | 六、易切钢 | 117 |
| 一、淬火钢的回火转变 | 81 | 七、超高强度钢 | 118 |
| 二、回火的分类及应用 | 82 | 第四节 工具钢 | 120 |
| 第七节 钢的形变热处理 | 83 | 一、刃具钢 | 120 |
| 第八节 钢的表面淬火 | 84 | 二、模具钢 | 126 |
| 一、感应加热表面淬火 | 84 | 三、量具钢 | 128 |
| 二、火焰加热表面淬火 | 85 | 第五节 特殊性能钢 | 129 |
| 三、激光加热表面淬火 | 85 | 一、不锈钢 | 129 |
| 第九节 钢的化学热处理 | 86 | 二、耐热钢 | 132 |
| 一、钢的渗碳 | 86 | 三、耐磨钢 | 133 |
| 二、钢的渗氮 | 88 | 四、低温用钢 | 135 |
| 第十节 表面复层处理 | 89 | 第六节 工程材料的新进展 | 135 |
| 一、化学膜层保护 | 89 | 一、形状记忆合金 | 135 |
| 二、镀层处理 | 90 | 二、减振合金 | 136 |
| 三、离子沉积 | 90 | 三、功能梯度材料 | 136 |
| 四、热喷涂 | 91 | 四、智能材料 | 136 |
| 五、非金属复层 | 91 | 五、超导材料 | 137 |
| 第十一节 热处理对零件结构设计的 | | 六、纳米材料 | 137 |
| 要求及技术条件标注 | 91 | 七、非晶态材料 | 138 |
| 一、热处理对零件结构设计的要求 | 91 | 八、磁性材料 | 138 |

| | | | |
|---------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 复习与思考题 | 138 | 二、铅基轴承合金 | 171 |
| 第八章 铸铁 | 140 | 三、铜基轴承合金 | 171 |
| 第一节 概述 | 140 | 四、铝基轴承合金 | 171 |
| 一、铸铁的成分和特性 | 140 | 复习与思考题 | 172 |
| 二、铸铁的石墨化 | 140 | 第十章 非金属材料 | 173 |
| 三、铸铁的分类 | 142 | 第一节 高分子材料的基础知识 | 173 |
| 第二节 常用铸铁 | 142 | 一、高分子化合物的组成与结构 | 173 |
| 一、灰铸铁 | 142 | 二、高聚物的物理状态 | 177 |
| 二、可锻铸铁 | 145 | 三、高聚物的性能 | 178 |
| 三、球墨铸铁 | 146 | 第二节 高分子材料 | 181 |
| 四、蠕墨铸铁 | 148 | 一、塑料 | 181 |
| 第三节 合金铸铁 | 148 | 二、橡胶 | 186 |
| 一、耐磨铸铁 | 148 | 三、胶粘剂 | 188 |
| 二、耐热铸铁 | 149 | 第三节 陶瓷 | 190 |
| 三、耐蚀铸铁 | 149 | 一、陶瓷材料的组织结构及特点 | 190 |
| 复习与思考题 | 149 | 二、陶瓷的基本性能 | 192 |
| 第九章 有色金属及其合金 | 151 | 三、常用工业陶瓷 | 193 |
| 第一节 铝及其合金 | 151 | 第四节 复合材料 | 195 |
| 一、纯铝 | 151 | 一、纤维增强复合材料 | 195 |
| 二、铝合金的分类 | 151 | 二、层状复合材料 | 197 |
| 三、铝合金的热处理 | 152 | 三、颗粒复合材料 | 197 |
| 四、形变铝合金 | 154 | 复习与思考题 | 198 |
| 五、铸造铝合金 | 156 | 第十一章 材料的选用 | 199 |
| 第二节 铜及其合金 | 158 | 第一节 选材的一般原则 | 199 |
| 一、纯铜 | 158 | 一、材料的使用性能 | 199 |
| 二、黄铜 | 159 | 二、材料的工艺性 | 200 |
| 三、青铜 | 160 | 三、材料的经济性 | 201 |
| 第三节 钛及其合金 | 164 | 第二节 零件的失效与选材 | 201 |
| 一、纯钛 | 164 | 一、零件的失效分析 | 201 |
| 二、钛合金 | 164 | 二、变形失效与选材 | 202 |
| 第四节 镁及其合金 | 167 | 三、断裂失效与选材 | 203 |
| 一、纯镁 | 167 | 四、表面损伤失效与选材 | 204 |
| 二、镁合金 | 167 | 第三节 典型零件的选材与工艺 | 205 |
| 第五节 锌及其合金 | 168 | 一、轴的选材与工艺 | 205 |
| 一、纯锌 | 168 | 二、齿轮的选材与工艺 | 207 |
| 二、锌合金 | 168 | 三、箱体类的选材与工艺 | 209 |
| 第六节 轴承合金 | 169 | 复习与思考题 | 209 |
| 一、锡基轴承合金 | 169 | 参考文献 | 210 |

绪 论

材料用来制作器件、结构或其他产品,是生产和生活的物质基础。历史表明,生产中使用的材料品质直接反映人类社会的文明水平,所以历史学家根据制造生产工具的材料将人类生活的时代划分为石器时代、青铜器时代和铁器时代。国民经济的各个部门和人民的衣、食、住都离不开各种类型的材料。材料、能源、信息合称为现代社会的三大支柱,而能源和信息的发展,在一定程度上又依赖于材料的进步。因此,许多国家都把材料科学作为重点发展学科之一,使之成为新技术革命提供坚实的物质基础。

材料按经济部门可分为:土建工程材料、机械工程材料、电工材料、电子材料等;按物质结构可分为:金属材料、有机高分子材料、陶瓷材料等;按材料功用可分为:结构材料、功能材料等。本教材所述及的主要是机械工程上所用的结构材料,并按物质的不同结构作些介绍。

约在 50 万年前,人类学会了用火。在六七千年以前,我们的祖先开始用火烧制陶器,到东汉出现了瓷器,于 9 世纪传至东非和阿拉伯世界,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,瓷器已成为中国文化的象征。

远在 5 千年前,我们的祖先就冶炼了红铜和青铜等铜合金;在商周时代(公元前 16 世纪至公元前 8 世纪)我国的青铜冶炼技术已达到了很高的水平,出土的商周时期的大量青铜礼器、生活用具、武器、农具等便是证明,而且有了相当的生产规模,能制造重达 875 kg 的司母戊鼎。湖北江陵楚墓中出土的两把越王勾践的剑,至今仍异常锋利,都是我国青铜器方面的杰出成就。在春秋时期(公元前 8 世纪至公元前 5 世纪)的《考工记》中,记载着有关青铜的成分、性能和用途之间关系的“六齐”规律,乃是世界上最早的有关冶金的工艺总结。

铁的应用较晚,到春秋时期(公元前 770—公元前 475 年),我国已开始大量使用铁器。兴隆战国铁器遗址中发掘出了浇注农具用的铁型,说明当时冶铸技术已由砂型铸造进入金属型铸造的高级阶段。在西汉后期,我国就发明了炼钢方法——炒钢法,这种方法在英国 18 世纪才获得应用。

至于高分子材料,古代主要是用一些天然高分子材料,如木材、丝绸、棉、麻之类。

在材料的生产和使用方面,我们的祖先有过辉煌的成就,为人类文明做出了巨大的贡献,直到 17 世纪,我国一直处于领先地位。由于长期的封建统治,劳动人民的生产经验得不到应有的重视,不能及时总结提高,再加上百年来受到帝国主义的侵略及压迫,科学技术受到极大的抑制,我国的科学技术才日渐处于落后的状态。

在国外,随着 18 世纪中期开始的工业革命的兴起,对金属材料在数量和质量上都提出越来越高的要求。同时由于物理、化学、力学的发展,显微镜在金属研究中的应用,逐渐形成了一门材料科学——金属学。金属学是阐明金属的成分、组织与性能间关系的一门学科。近数十年来,由于电子显微镜、X 射线、放射性同位素和扫描电镜的应用,金属学得到了更进一步的发展。金属材料在各生产部门、世界各国,得到极其广泛的应用。例如,一台东风型内燃机车重 127 t,其中钢占 95.5%,铸铁占 2.0%,有色金属占 2.5%;一辆载重汽车,其总重量的 71% 为钢,15% 为铸

铁,4%为橡胶,其余为各种有色金属、塑料、玻璃等;一般的机床,其自重的70%左右为铸铁,碳钢占20%,其余为合金钢及少量的有色金属、塑料等;造一艘万吨轮,所耗用的钢材就达万吨;建设一公里的铁路,就需要钢轨百余吨。所以,一个国家金属材料的产量或耗用量就体现着国民经济发展水平。现在我国的钢产量已从1949年的17万吨增至2004年的2亿5千万吨。可以肯定地说,在今后相当长的时间内,在机械制造业中应用最多的仍然是金属材料。

金属材料虽然具有许多优良的性能,但是一方面由于科学技术的发展对材料的要求越来越高,越来越严格,例如要求高硬度、高耐磨性、耐高温、耐腐蚀、高弹性、绝缘性能好、比强度大等,金属材料已难于胜任。另一方面,由于近数十年开始使用了高纯度的原料代替过去的天然物料来制备现代陶瓷,用人工方法合成新型有机高分子材料,使现代陶瓷和有机高分子材料具有了许多优异的性能,从而满足工农业生产及人们生活方面的需要。因此,人们开始把注意力转移到陶瓷和有机高分子复合材料方面,例如航天飞机外壁瓦片就是新型的陶瓷材料,吸收电磁波的隐身材料中就有高分子复合材料。2004年3月召开的国家技术发明奖大会颁发了二个一等奖,一个是高性能炭/炭航空制动材料,另一个是耐高温、长寿命、抗氧化陶瓷基复合材料。它们都属于材料学科方面的新成就,必将对我国航空航天工业的发展起到促进作用。

鉴于以上情况,关于金属材料的介绍仍是本书叙述的重点,希望通过本课程的学习能了解常用金属材料的成分、组织、性能之间的关系,了解强化金属材料的基本途径;掌握钢的热处理原理的基本概念,了解热处理工艺在机械零件加工工艺流程中的位置和作用;熟悉常用金属材料的牌号、成分、组织、性能及用途,为正确地选用材料提供理论依据;本书亦适当介绍非金属材料的性能特点和应用。

本门课程是一门偏重于叙述性的课程,考虑到低年级学生缺乏实际生产经验与感性认识,所以在讲授时辅之以课堂讨论,并配合实验和作业。

在后继课程(机械制造基础、机械设计等)和生产实习、课程设计、毕业设计等教学环节中,还会遇到和用到材料方面的知识,希望通过这些教学过程进一步巩固对材料方面知识的掌握。

第一章

工程材料的性能

作为结构材料应具备的最主要的性能是力学性能,即材料抵抗外力的能力。材料在各种外力作用下所表现出来的性能要通过各种不同的试验来测定。

第一节 静载时材料的力学性能

静载是指对试样缓慢加载。最常用的是静拉伸试验和硬度试验。

一、静拉伸试验

按 GB 228—87 制作拉伸试样,在拉伸试验机上缓慢地进行拉伸,使试样承受轴向拉力 F ,并引起试样沿轴向产生伸长 ΔL ($\Delta L = L_1 - L_0$),直到试样断裂,将拉力 F 除以试样的原始截面 S_0 为纵坐标(即拉应力 σ)。将 ΔL 除以试样原始长度 L_0 为横坐标(即应变 ε),则可画出应力-应变图,如图 1-1 所示。

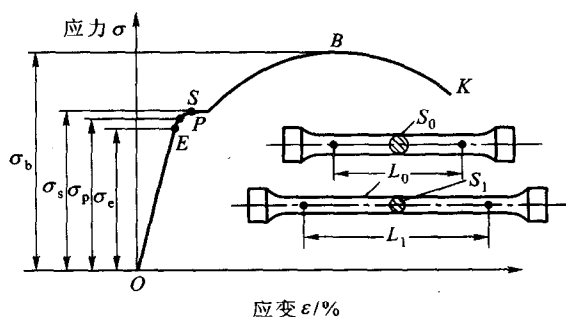


图 1-1 拉伸试样及低碳钢的应力-应变图

(一) 弹性和刚度

试验时,应力 σ 不超过 σ_p 时,应力与应变成正比,也就是说 OP 是直线, P 点是保持这种关系的最高点, σ_p 称为比例极限。只要加载后的应力不超过 σ_e ,若卸载,试样能即刻恢复原状,这种不产生永久变形的性能,称为弹性。 σ_e 为不产生永久变形的最大应力,称为弹性极限。

σ_e 、 σ_p 很接近,在工程实际应用时,两者常取同一数值。

OP 的斜率为试样材料的弹性模量,即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

弹性模量 E 是衡量材料产生弹性变形难易的指标。 E 愈大,则使其产生一定量弹性变形的应力也愈大。因此,工程上把它叫做材料的刚度。刚度表征材料弹性变形抗力的大小。

弹性模量 E 主要决定于材料本身,是金属材料最稳定的性能之一,合金化、热处理、冷热加工对它的影响很小。在室温下,钢的弹性模量 E 大都在 $1.9 \times 10^5 \sim 2.2 \times 10^5$ MPa 之间。弹性模量随着温度的升高而逐渐降低。

(二) 强度

在外力作用下,材料抵抗变形和断裂的能力称为强度。按外力作用方式不同,可分为抗拉、抗压、抗扭等,抗拉强度最常用。当承受拉力时,强度特性指标主要是屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

1. 屈服点 如图 1-1 所示,在 S 点出现一水平线段,这表示拉力虽然不再增加,但变形仍在进行,此时若卸载,试样的变形不能全部消失,将保留一部分残余的变形。这种不能恢复的残余变形,叫做塑性变形。 σ_s 即表示材料在外力作用下开始产生塑性变形的最低应力,表示材料抵抗微量塑性变形的能力。

有些材料的拉伸曲线上没有明显的屈服点 σ_s ,难于确定开始塑性变形的最低应力值,因此,规定试样产生 0.2% 残余应变时的应力值为该材料的条件屈服强度,以 $\sigma_{0.2}$ 表示。

零(构)件在工作中一般不允许发生塑性变形。所以屈服点 σ_s 或 $\sigma_{0.2}$ 是设计时的主要参数,是材料的重要力学性能指标。

2. 抗拉强度 抗拉强度为图 1-1 所示的 σ_b 值,是试样被拉断前的最大承载能力,故又称强度极限,它反映试样最大的均匀变形的抗力, σ_b 也是设计和选材的主要参数之一。

σ_s 与 σ_b 的比值叫做屈强比,屈强比愈小,工程构件的可靠性愈高,因为万一超载也不至马上断裂。屈强比太小,则材料强度的有效利用率太低。

合金化、热处理、冷热加工对材料的 σ_s 、 σ_b 数值会发生很大的影响。

(三) 塑性

材料在外力作用下,产生塑性变形而不断裂的性能称为塑性。塑性大小用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 来表示。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

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

式中: L_1 ——试样拉断后的长度;

L_0 ——试样原始长度;

S_1 ——试样拉断处的横截面积;

S_0 ——试样原始截面积。

δ 、 ψ 愈大,表示材料的塑性愈好。由于 δ 值与试样尺寸有关,故一般规定 $L_0 = 5d_0$ 或 $L_0 = 10d_0$ (d_0 为试样原始直径),分别以 δ_5 或 δ_{10} 表示两种不同尺寸的试样测得的伸长率。同一种材料测得的 δ_5 一般比 δ_{10} 要大些。

金属材料应具有一定的塑性才能顺利地承受各种变形加工;另一方面材料具有一定塑性,可以提高零件使用的可靠性,防止突然断裂。

二、硬度

硬度是指金属表面抵抗其他硬物压入的能力,或者说是材料对局部塑性变形的抗力。工程上常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

(一) 布氏硬度

布氏硬度试验通常是以 3 000 kgf 的压力 F ,将直径为 D 的淬火钢球(或硬质合金球)压入金属材料的表层,经过规定的保持时间后,卸除载荷,即得到一直径为 d 的压痕,见图 1-2。载荷除以压痕表面积所得之值即为布氏硬度,以 HB 表示。

从几何关系可求得

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

当试验压力的单位为 N 时,则

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

上式中只有 d 为变量,因此,只要在试验后测出压痕平均直径 d ,即可求得布氏硬度值。单位为 MPa,但习惯上不标出。

试验所用钢球,有的是淬火钢球,有的是用硬质合金制成,则硬度值分别以 HBS、HBW 表示之。

太薄、太硬 (>450 HB) 的材料不宜采用布氏硬度。

(二) 洛氏硬度

洛氏硬度试验是以一特定的压头加上一定的压力压入被测材料,根据压痕的深度来度量材料的软硬,压痕愈深,硬度愈低。被测材料的硬度可直接在硬度计刻度盘上读出。

按压头和载荷的不同,洛氏硬度分为如表 1-1 所示的三种。

表 1-1 洛氏硬度符号、试验条件和应用举例

| 硬度符号 | 压头类型 | 总压力/kgf | 应用举例(被测材料) |
|------|-------------|---------|------------|
| HRA | 120°金刚石圆锥 | 60 | 硬质合金、表面淬火钢 |
| HRB | φ1/16 吋淬火钢球 | 100 | 软钢、退火钢、铜合金 |
| HRC | 120°金刚石圆锥 | 150 | 淬火钢件 |

洛氏硬度测量简便易行,压痕小,甚至可以检测较薄工件或表面较薄的硬化层的硬度。在生产中以 HRC 应用最多。

(三) 维氏硬度

维氏硬度的测试原理与布氏硬度基本相同,不同之处在于压头采用锥面夹角为 136°的金刚石正四棱锥体,其压痕为一正四方锥形,如图 1-3 所示。只要测出压痕对角线的长度 d 即可计

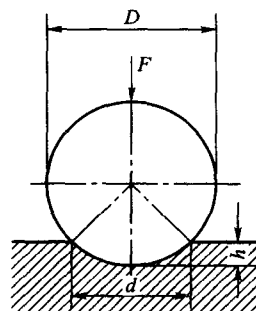


图 1-2 布氏硬度试验原理图

算压痕的表面积,再将压力 F 除以压痕的表面积,所得之值,即为维氏硬度,用 HV 表示。

由于维氏硬度测定所用的载荷小,压痕浅,故特别适用于测定零件表面的薄硬化层、镀层及薄片材料的硬度。此外,载荷可调范围大,对软、硬材料均适用。

值得注意的是,上述三种硬度值之间不能直接进行比较,必须通过相应的硬度换算表换算成同一种硬度值后,才可进行比较。

由于硬度测试方便、迅速,又不必破坏工件,而且硬度与抗拉强度之间存在一定的对应关系。例如,工程上已总结出如下的经验公式:

低碳钢: $\sigma_b \approx 3.53 \text{ HBS}$

高碳钢: $\sigma_b \approx 3.33 \text{ HBS}$

合金调质钢: $\sigma_b \approx 3.19 \text{ HBS}$

灰铸铁: $\sigma_b \approx 0.98 \text{ HBS}$

退火铝合金: $\sigma_b \approx 4.70 \text{ HBS}$

硬度测定的详细办法,实验课中介绍。

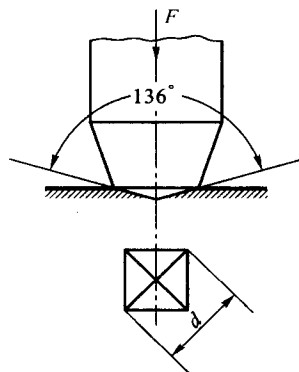


图 1-3 维氏硬度试验原理图

第二节 动载时材料的力学性能

许多机械零件在动载下工作。材料对动载外力的抗力,就不能简单地用静载力学性能指标来衡量。动载主要有两种形式:一是载荷以较高速度施加到零构件上,形成冲击;二是载荷的大小和方向作周期性变化,形成交变载荷。

一、冲击韧度 (a_{KU})

在工程上,冲击载荷是一类重要的动载形式,常用一次摆锤冲击弯曲试验来测定材料抵抗冲击载荷的能力。材料抵抗冲击载荷的能力称为冲击韧度 a_{KU} ^①(或冲击值),其测试方法是按 GB 229—84 制成带有 U 型缺口的标准试样,将具有质量 $G(\text{kg})$ 的摆锤举至高度为 $H_1(\text{m})$,使之自由落下(图 1-4),将试样冲断后,摆锤升至高度 $H_2(\text{m})$ 。如试样断口处的截面积为 $S(\text{cm}^2)$,则冲击韧度 a_{KU} 为:

$$a_{KU} = \frac{GH_1 - GH_2}{S} \times 9.8 \text{ J/cm}^2$$

冲击韧度的大小除取决于材料本身外,还受环境温度、试样大小、缺口形状等因素影响。

二、疲劳强度

许多机械零件,如弹簧、轴、齿轮等,在工作时承受交变应力,即使交变应力往往低于屈服强

^① 采用 U 型缺口的冲击试样,GB 229—84 规定以 a_{KU} 表示,采用 V 型缺口的试样,以 a_{KV} 表示,亦有冲击试样不加缺口,根据不同牌号的材料选用。

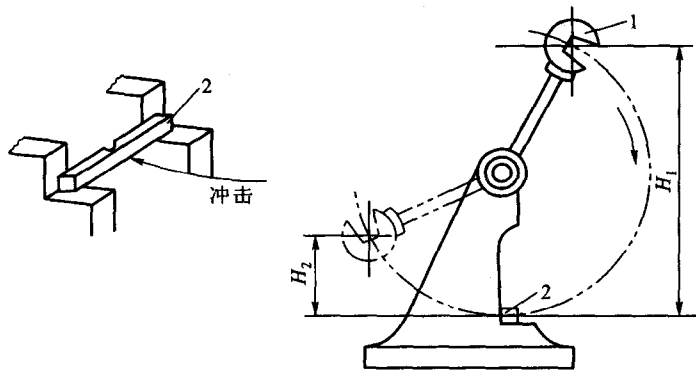


图 1-4 冲击试验示意图

1—摆锤;2—试样

度,但经一定循环次数后便发生断裂。实验证明,金属材料能承受的交变应力 σ 与断裂前应力循环次数 N 有如图 1-5 所示的规律。

由图可知,当 σ 低于某一值时,曲线与横坐标平行,表示材料可经无限次循环而不断裂,这一应力称为疲劳强度。用 σ_{-1} 表示光滑试样对称弯曲疲劳强度。

工程上指的疲劳强度,是指在一定的循环次数下不发生断裂的最大应力,一般规定钢铁材料的循环次数为 10^7 ,有色金属为 10^8 。

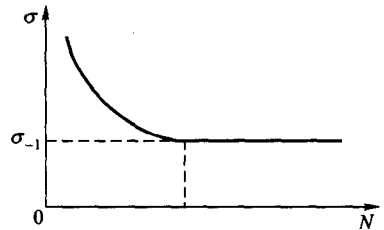


图 1-5 疲劳曲线

发生疲劳断裂的原因,可能是由于材料内部的缺陷,或是由于加工过程中所形成的磨痕、刀痕,或是由于零件局部应力集中导致产生的裂纹等。

第三节 断裂韧性

工程上实际使用的材料中,常常存在一定的缺陷,例如夹杂物、气孔等,亦有可能是在加工过程中或是在使用过程中产生的缺陷。这些缺陷破坏了材料的连续性,如材料中存在着裂纹一样,如图 1-6 所示。

由于裂纹的存在,在裂纹尖端前沿存在着应力集中,形成裂纹尖端应力场,按断裂力学分析,其大小可用应力强度因子 K_1 来描述, K_1 可表达为:

$$K_1 = Y\sigma\sqrt{a}$$

式中: Y ——与试样和裂纹几何尺寸有关的量(量纲一的量);

σ ——外加应力(MPa);

a ——裂纹的半长(mm)。

对一个有裂纹的试样施加拉伸时,其 Y 值是一定的,当拉

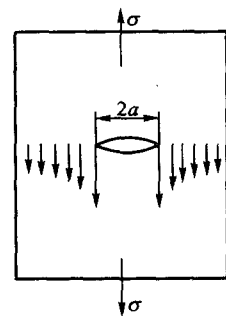


图 1-6 具有张开型裂纹的试样

应力 σ 逐渐增大时,裂纹尖端的应力强度因子 K_I 也逐渐增大,当 K_I 增大到某一定值时,就能使裂纹前沿的内应力大到足以使材料分离,从而使裂纹产生失稳扩展,发生断裂,这个应力强度因子的临界值,称为材料的断裂韧性,用 K_{Ic} 表示。它反映材料有裂纹存在时,抵抗脆性断裂的能力。 K_{Ic} 可通过试验来测定,它是材料本身的特性,与材料成分、热处理及加工工艺等有关。

断裂韧性为安全设计提供了一个重要的力学性能指标。

上面介绍了结构材料的几个主要性能,但零(构)件服役的环境是多种多样的,如有的零件在高温下工作,有的零件在低温下工作,那么在室温下测定的性能指标就不能代表它在高温或低温下的性能;有的零件在腐蚀性的介质中工作,有的零件在严重的磨损条件下工作,那么就要研究它的耐蚀或耐磨性能;各种材料要经不同加工方法加工成零件才能使用,各种加工方法又对各种材料提出各工艺性能要求,这些将在以后有关章节中介绍。

复习与思考题

1-1 名词解释

σ_b 、 σ_s 、 σ_p 、 σ_r 、 $\sigma_{0.2}$ 、 E 、 δ 、 ψ 、 δ_5 、 δ_{10} 、HBS、HBW、HRC、HRB、 a_{KU} 、 a_{KV} 、HV、 σ_{-1} 、 K_{Ic} 。

1-2 试分别讨论布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度适用及不适用于什么场合。

第二章

晶体结构与结晶

自然界中的化学元素分为金属与非金属两大类。按固体物质的原子聚集状态来分,又可分为晶体和非晶体。固态金属基本上都是晶体物质,如钢铁、铜、铝等。在工业上应用较多的非金属材料大多也具有晶体结构,如金刚石、硅酸盐、氧化镁等。而常见的玻璃、松香等,则为非晶体物质。

第一节 金属的晶体结构

一、晶体概念

晶体是指其原子(原子团或离子)按一定的几何形状作有规律的重复排列的物体。图 2-1a 所示就是一个最简单的晶体原子排列模型。

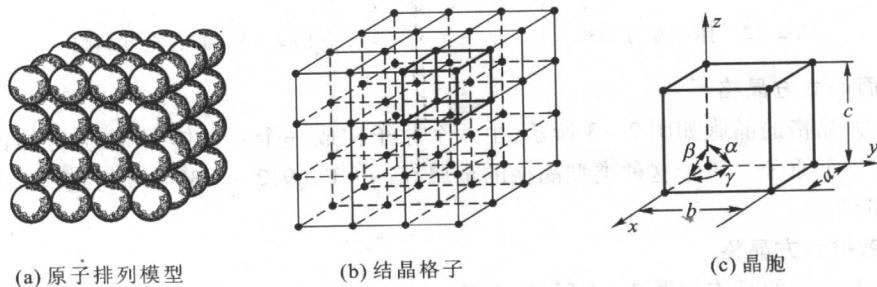


图 2-1 晶体中原子排列示意图

非晶体的原子则是无规律、无次序地堆聚在一起的。

为了便于分析各种晶体中的原子排列规律及几何形状,通常把晶体中的原子假想为几何结点,并用直线从其中心连接起来,使之构成一个空间格子,如图 2-1b 所示。这种表示晶体中原子排列形式的空间格子,称为“晶格”。

晶格中各种方位的原子面称为“晶面”。可以说晶体(晶格)是由层层晶面堆砌而成的。晶格中由原子(结点)所组成的任一直线,都能代表晶体空间的一个方向,这种方向称为“晶向”。

晶格实质上是由一些最基本的几何单元重复堆砌而成的。因此,只要取晶格中一个最基本的几何单元进行分析,便能从中找出整个晶格排列规律,如图 2-1c 所示。这种构成晶格的最基