

高等学校教材

船舶工程材料

徐轶群 陈清林 吕江波 万隆君 林兰芳 编著



大连海事大学出版社

高等学校教材

船舶工程材料

徐轶群 陈清林 吕江波 编著
万隆君 林兰芳

大连海事大学出版社

© 徐轶群 陈清林 吕江波 万隆君 林兰芳 2010

图书在版编目(CIP)数据

船舶工程材料 / 徐轶群等编著. —大连: 大连海事大学出版社, 2010. 4
ISBN 978-7-5632-2433-3

I. ①船… II. ①徐… III. ①船舶—工程材料 IV. ①U668

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 074624 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮政编码: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail: cbs@dmupress.com

大连美跃彩色印刷有限公司印装 大连海事大学出版社发行

2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 13.25

字数: 328 千 印数: 1 ~ 3000 册

责任编辑: 李雪芳 封面设计: 王 艳

ISBN 978-7-5632-2433-3 定价: 27.00 元

前 言

随着各行业对高技能人才的需求越来越大,轮机工程专业已成为特色专业并得到快速发展。本书结合高校各专业学时压缩的现状,以必需与够用为原则,精简了现有教材的内容体系,重点突出金属材料的组织、性能、工艺三者的关系。

在本书编写过程中,立足于目前轮机专业少学时、宽口径、重技能的教学要求,侧重于应用技术,由浅入深,循序渐进,突出重点,以掌握基本概念、强化应用、扩大知识面为教学重点,以注重能力培养为宗旨,尽量多列举常见的典型船用零件选材及工艺,并增加与实际生产有关图表资料等,以便于查阅使用;同时在各个工艺环节编写中,既注意增加生产中急需解决的实际问题,又注意拓宽并加深解决问题的思路与方法,还注意介绍新材料、先进技术的应用与发展趋势,以便培养学员对新技术的兴趣,从而提高其科技创新能力。

本书共十一章,主要介绍金属材料性能与组织结构、金属材料热处理、表面处理、钢材与铸铁材料、非铁与非金属材料、工程材料及工艺选择。可作为高等工科院校轮机工程专业和船舶与海洋工程专业的工程材料通用教材,也可作为民办高校近机类专业教材、高等工业专科院校轮机工程技术专业的工程材料教材,还可作为相关教师及机械类工程技术人员与职业技能培训的参考教材。

本书由集美大学轮机工程学院组织编写,其中徐轶群教授编写绪论、第一章和第二章,万隆君副教授编写第三章和第四章,吕江波副教授编写第六章和第七章,林兰芳副教授编写第八章和第九章,陈清林编写第五章、第十章和第十一章。

本书在编写过程中参考了诸多相关文献,征求了有关同仁的见解和建议,黄国雄副教授在本书的编写过程中给每位编写者提供了许多帮助,林少芬教授在新工艺方面提供了许多资料,研究生董海婷帮助绘制了许多图表,在此一并表示感谢。

本书的编写力求适应高等教育的改革与发展,但由于编者水平有限,难免有不妥之处,敬请读者批评指正,不胜感激。

编 者

2010年2月

目 录

绪 论	(1)
第一章 金属材料的性能	(4)
第一节 金属材料的机械性能	(4)
一、室温下的机械性能	(4)
二、高温下的机械性能	(11)
第二节 金属材料的工艺性能和物理、化学性能	(11)
一、工艺性能	(11)
二、物理性能	(12)
三、化学性能	(12)
第二章 金属的晶体结构和塑性变形	(14)
第一节 金属的晶体结构	(14)
一、晶体结构的基本概念	(14)
二、常见的金属晶格类型	(15)
三、金属材料的晶格缺陷	(17)
第二节 金属的结晶过程	(19)
一、纯金属的冷却曲线和过冷度	(19)
二、纯金属的结晶过程	(20)
三、细化晶粒的方法	(21)
四、晶体的同素异构转变	(23)
第三节 金属的塑性变形	(24)
一、单晶体金属的塑性变形	(24)
二、多晶体金属的塑性变形	(28)
第四节 塑性变形对金属组织和性能的影响	(29)
一、塑性变形对金属组织结构的影响	(29)
二、塑性变形对金属性能的影响	(29)
第五节 回复与再结晶	(30)
一、冷变形金属在加热时的组织和性能变化	(30)
二、再结晶温度	(32)
三、再结晶退火后的晶粒度	(33)
第六节 金属的热加工	(34)
一、冷加工与热加工的区别	(34)
二、热加工对金属组织和性能的影响	(34)

第三章 合金构造和二元合金相图	(36)
第一节 合金的基本概念	(36)
第二节 合金的相结构	(36)
一、固溶体	(36)
二、金属化合物	(38)
三、机械混合物	(38)
第三节 二元合金相图	(38)
一、二元合金相图的建立	(38)
二、二元合金的基本相图	(39)
第四章 铁碳合金	(44)
第一节 铁碳合金的基本组织	(44)
一、铁素体	(44)
二、奥氏体	(45)
三、渗碳体	(45)
四、珠光体	(46)
五、莱氏体	(46)
第二节 Fe-Fe ₃ C 相图分析	(47)
一、Fe-Fe ₃ C 相图中的主要特点及意义	(47)
二、图中主要特性线及其意义	(48)
三、相图中的相区	(50)
四、铁碳合金的分类	(50)
第三节 典型铁碳合金的结晶过程	(50)
一、共析钢	(50)
二、亚共析钢	(52)
三、过共析钢	(52)
四、共晶白口铸铁	(53)
五、亚共晶白口铸铁	(54)
六、过共晶白口铸铁	(55)
第四节 铁碳合金相图的应用	(56)
一、碳的质量分数对平衡组织的影响	(56)
二、 ω_c 对铁碳合金机械性能的影响	(57)
三、Fe-Fe ₃ C 相图在生产中的应用	(57)
第五章 钢的热处理	(60)
第一节 钢在加热时的组织转变	(61)
一、共析钢的奥氏体化	(61)
二、非共析钢的奥氏体化	(62)
三、奥氏体晶粒的长大和影响因素	(63)
第二节 钢在冷却时的转变	(64)
一、过冷奥氏体等温转变曲线	(65)

二、过冷奥氏体的等温转变曲线分析	(65)
三、过冷奥氏体等温转变的产物与性能	(66)
四、影响过冷奥氏体等温转变的因素	(69)
五、过冷奥氏体连续转变曲线图	(70)
第三节 钢的退火和正火	(72)
一、退火和正火的目的	(72)
二、退火和正火工艺及应用	(72)
第四节 钢的淬火	(75)
一、淬火的目的	(75)
二、淬火温度的选择	(75)
三、淬火冷却介质	(76)
四、常用的淬火方法	(78)
第五节 钢的淬透性	(81)
一、淬透性的概念	(81)
二、影响淬透性的因素	(81)
三、淬透性的评定	(82)
四、淬透性的实际意义	(82)
五、淬硬性	(83)
第六节 钢的回火	(83)
一、回火的目的	(83)
二、淬火钢在回火时的转变	(83)
三、回火的种类及应用	(85)
四、回火脆性	(86)
第七节 钢的表面热处理	(86)
一、钢的表面热处理	(86)
二、钢的化学热处理	(89)
第六章 船用碳素钢	(94)
第一节 钢铁生产对碳钢性能的影响	(94)
一、冶炼方法对碳钢质量的影响	(94)
二、脱氧程度对碳钢质量的影响	(95)
第二节 杂质元素对碳钢性能的影响	(96)
第三节 碳钢的分类、牌号和用途	(97)
一、碳素结构钢	(97)
二、优质碳素结构钢	(98)
三、专用碳素结构钢(专用钢)	(98)
四、铸钢	(106)
五、碳素工具钢	(106)
第七章 船用合金钢	(109)
第一节 合金元素对钢的组织 and 性能的影响	(109)

一、强化铁素体或奥氏体	(109)
二、形成合金碳化物	(109)
三、对钢热处理的影响	(110)
第二节 合金钢的分类及牌号	(111)
一、合金钢的分类	(111)
二、合金钢的牌号	(112)
三、国标 ISC 表示方法简介	(113)
第三节 合金结构钢	(115)
一、低合金高强度结构钢	(116)
二、合金渗碳钢	(116)
三、合金调质钢	(117)
四、合金弹簧钢	(118)
五、滚动轴承钢	(119)
第四节 合金工具钢	(120)
一、低合金刀具钢	(120)
二、高速钢	(121)
第五节 特殊性能钢	(124)
一、不锈钢	(124)
二、耐热钢	(126)
三、耐磨钢简介	(128)
第八章 铸铁	(129)
第一节 概述	(129)
一、铸铁的种类	(129)
二、铸铁的石墨化过程	(130)
三、影响石墨化的因素	(131)
第二节 灰口铸铁	(132)
一、灰口铸铁的组织 and 性能	(133)
二、灰口铸铁的孕育处理	(134)
三、灰口铸铁的牌号及用途	(134)
四、灰口铸铁的热处理	(135)
第三节 球墨铸铁	(136)
一、球墨铸铁的组织 and 性能	(136)
二、球墨铸铁的牌号和用途	(136)
三、球墨铸铁的热处理	(136)
第四节 蠕墨铸铁	(138)
一、蠕墨铸铁的组织 and 性能	(138)
二、蠕墨铸铁的牌号及用途	(139)
第五节 可锻铸铁	(139)
一、可锻铸铁的生产	(139)

二、可锻铸铁的牌号、性能及用途	(141)
第六节 合金铸铁	(141)
一、耐磨铸铁	(141)
二、耐热铸铁	(142)
三、耐蚀铸铁	(143)
第九章 有色金属及其合金	(144)
第一节 铜及其合金	(144)
一、工业纯铜	(144)
二、黄铜	(145)
三、白铜	(148)
四、青铜	(148)
第二节 铝及其合金	(152)
一、纯铝	(152)
二、铝合金	(152)
第三节 滑动轴承合金	(153)
一、对轴承合金的性能要求	(153)
二、滑动轴承合金的组织	(154)
三、常用的轴承合金	(154)
第十章 常用非金属材料与复合材料	(157)
第一节 高分子材料	(157)
一、高分子材料的基本概念	(157)
二、高分子材料的结构	(159)
三、高分子材料的性能	(161)
第二节 塑料	(163)
一、塑料的组成	(163)
二、塑料的分类	(164)
三、塑料的性能	(165)
四、常用的工程塑料	(165)
五、塑料成型及加工方法	(166)
六、工程塑料在船舶上的应用	(167)
第三节 橡胶和胶粘剂	(167)
一、橡胶	(167)
二、胶粘剂	(169)
第四节 陶瓷材料	(171)
一、陶瓷材料的结构特点	(171)
二、陶瓷材料的性能	(171)
三、常用的工程陶瓷材料	(173)
第五节 复合材料	(174)
一、复合材料概述	(174)

二、复合材料的分类	(174)
三、复合材料的性能	(175)
四、复合材料的增强机理	(176)
五、常用的复合材料	(177)
第十一章 船舶常用零件的材料和热处理	(179)
第一节 材料的选用	(179)
一、失效分析	(179)
二、选材的原则	(181)
第二节 动力装置零件的材料和热处理	(182)
一、曲轴	(182)
二、连杆	(184)
三、气缸套	(185)
四、活塞	(187)
五、活塞销	(189)
六、活塞环	(190)
七、气阀	(192)
第三节 船用其他零件的材料和热处理	(194)
一、精密偶件	(194)
二、滑动轴承	(195)
三、重要螺栓	(195)
四、涡轮叶片	(196)
五、螺旋桨	(196)
六、船舶管系	(198)
七、凸轮和凸轮轴的材料及热处理	(200)
参考文献	(201)

绪 论

材料是人类生产和生活所必需的物质基础。新材料的发展大大推动了生产力的发展,改变了社会制度,因此,历史学家把人类的历史按所使用工具的材料划分为石器时代、青铜器时代、铁器时代等。20 世纪半导体材料的开发和应用,为今天的信息化社会奠定了基础。相信 21 世纪的纳米材料将翻开科学技术崭新的一页。

在材料生产和应用的历史上,我们的祖先曾有过辉煌的成就,为人类的文明做出过重大的贡献。我国在夏代就开始了青铜的冶炼,到商周时代,青铜的冶铸技术就达到很高的水平,形成了灿烂的青铜文化。春秋战国时代,我国就已经大量使用铁器,比欧洲国家早了 1800 多年。在河南辉县出土的战国殉葬品中,许多殉葬品的耳和足是采用钎焊方法与本体连接的,比欧洲国家应用钎焊技术早了 2000 多年。明朝科学家宋应星编著的《天工开物》一书,详细记载了冶铁、铸钟、锻铁、淬火等多种金属的加工方法,充分展示了我国劳动人民的聪明才智和取得的辉煌成就。

英国科学家 Cahn 在他主编的 *Physical Metallurgy* 一书中把金属材料的发展史分为四个阶段:

第一阶段——原始钢铁生产。

铁的熔炼始于大约公元前 2800 年。最初的钢是由熟铁渗碳得到的。我国东汉时就发明了反复锻打钢铁的方法,也就是最原始的形变热处理工艺。当时淬火技术已有较大的发展,“浴以五牲之溺,淬以五牲之脂”,实际上就相当于现在的水淬、油淬。

第二阶段——建立金属材料学科的基础。

19 世纪人类对铁的研究与发展奠定了金属材料科学的基础,如技术学、金相学、相变和合金钢等。

第三阶段——微观组织理论大发展(1900 ~ 1940)。

这一时期的主要成就是金相图、X 射线的发明及应用、位错理论的建立。这些成就打破了晶体完整的传统观念,提出了晶体中存在的各种缺陷,并用于解释材料的塑性变形。这个时期出现了许多新的合金,如奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢,还发明了布氏硬度计。

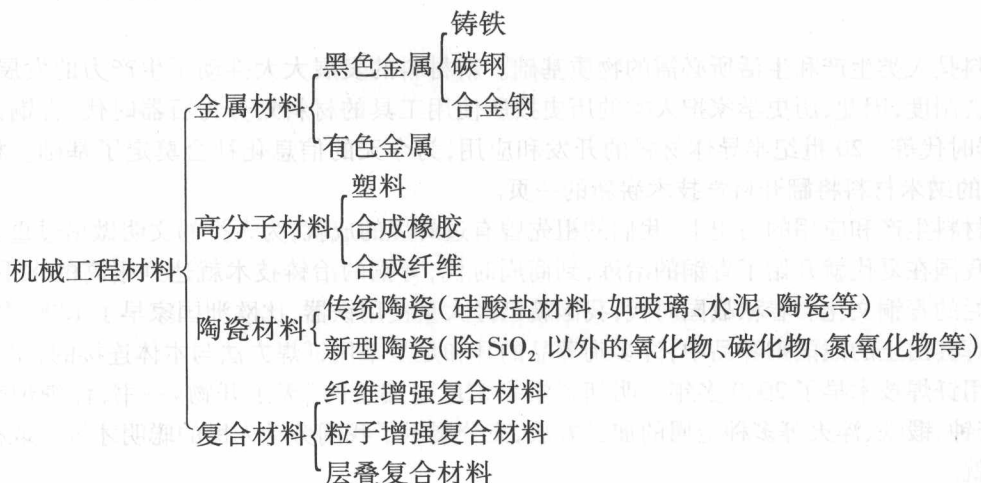
第四阶段——微观理论的深入研究(1940 年至今)。

随着电子显微镜的发明,金属学得到了飞跃性的发展。许多专家进行了原子扩散的研究,提出了扩散驱动力不是浓度梯度,其本质是化学位梯度。通过电子显微镜,不仅看到钢中的相沉淀析出的情况,还可以看出位错的滑移等,发现了不全位错、层错、位错墙、亚结构等现象。许多金属学理论方面的问题都得到了更深入的研究。

21 世纪由于科学技术和生产力的发展,对材料使用性能的要求越来越高了,可以预期,新型材料的发展和应用将成为 21 世纪材料工业的重要特征之一。其中,主要是为适应特殊条件的金属、合金材料和复合材料。如超高强度钢、高韧性钢、低温钢、抗辐射钢、耐磨钢、抗氧化钢等高性能合金钢,先进不锈钢、高温合金钢、低温合金高强钢;还有铸造稀土镁合金、新型稀土

发光材料、高性能稀土永磁材料、稀土磁致伸缩材料、形状记忆合金及制品、高性能钛合金、粉末冶金高强度材料及制品、高性能硬质合金、各种金属基复合材料；此外还有各种性能优良的塑料、陶瓷材料及各种胶粘剂。这些都是我国未来工程材料的发展重点。

人们在生产、生活中使用的材料种类繁多，目前世界上的材料据悉已达到 40 余万种，而且每年以 5% 的速度增加。材料有多种不同的分类方法，按材料的化学成分可以分为四大类：



各类材料具有各自的特征：

1. 金属材料的特征

金属材料具有良好的导电性、导热性、塑性，正的电阻系数，具有金属光泽。金属原子构造的特点是其最外层电子数少，电子与原子核的结合力微弱，易于脱离原子核而成为自由电子。因此，只要金属两端具有电位差，就会使自由电子向正极流动，形成电流，这便是金属具有良好导电性的原因。借助于金属中正离子和自由电子的热振动和碰撞可以传递热量，使金属具有良好的导热性。金属原子间以金属键结合在一起，而金属键没有方向性，原子间也没有选择性，所以在外力的作用下原子位置发生相对位移时，金属键不会被破坏，这使金属具有良好的塑性。随着温度的升高，金属正离子的热振动幅度加剧，从而加大了电子流动的阻力，这又使金属材料表现为正的电阻系数。因此，在生产生活中，金属材料获得了广泛的应用。钢制船只上大约 90% 的船体和船机都采用金属材料。

2. 高分子材料的特征

高分子材料是以相对分子量大于 500 的高分子化合物为主要成分的材料，又称聚合物。工程使用的有机高分子材料通常是由相对分子量大于 10000 的以碳、氢元素为主的有机化合物组成，分为塑料、合成橡胶、合成纤维三大类；具有高弹性、耐磨性、绝缘性、抗腐蚀性及质量轻等优良性能，而且易于成型，原料来源丰富；广泛应用于船舶构件和船机零件的制作、防腐，船机零件的修复及主辅机的安装、调整工艺中。

3. 陶瓷材料的特征

陶瓷是一种无机非金属材料，是一种或多种金属、非金属元素（通常是氧）的化合物。陶瓷材料的熔点高、硬度高、化学稳定性高，具有耐高温、耐腐蚀、耐磨损、绝缘等优点，在有些情况下成为唯一能选用的材料。例如内燃机的火花塞，引爆时瞬间温度可达 2500℃，并要求绝

缘和耐化学腐蚀,只有陶瓷材料才能满足要求。

4. 复合材料的特征

复合材料是由两种或两种以上的不同材料复合而成的一种多相材料。它们保留了组成材料各自的优点,从而获得单一材料无法具备的优良性质。它在强度、刚度等性能上都比单纯金属、聚合物或陶瓷材料优越,是一类具有广阔发展前景的特殊工程材料。

我国具有漫长的海岸线,改革开放以来国民经济突飞猛进向前发展。中国已发展成为造船大国、航运强国,庞大的远洋船队在四大洋来往穿梭。船舶零件和构件的工作环境复杂,有的需要在高温条件下工作(如柴油机排气阀),有的需要在低温下工作(如冰机、冷库),再加上海洋性气候的腐蚀等,都要求船用材料有一定的特殊性。作为一名合格的轮机员,就必须了解工程材料的有关知识,掌握常用材料的成分、组织、性能与加工工艺之间的关系和用途,懂得合理选用材料,初步具有正确确定加工方法及工艺的能力,从而胜任船舶航行中的设备管理、使用、保养及航修、厂修中轮机员的工作。同时,学习好船舶工程材料还可以为学习主机、辅机等后续课程打好基础。

本课程是一门理论性和实践性结合很强的课程,而且叙述性的内容较多。学生在学习过程中应充分运用以前学过的物理、化学、材料力学、金工实习等有关的知识,课后及时复习,认真完成实验和课外作业,努力消化和理解船舶工程材料的基本知识,达到能初步应用的目的。

第一章 金属材料的性能

金属材料的性能主要是指金属材料在加工和使用过程中表现出来的特性,它包括机械性能、工艺性能和物理化学性能。金属材料的性能是机器在设计过程中选用材料的主要依据。

第一节 金属材料的机械性能

金属材料的机械性能也称金属材料的力学性能,它主要反映金属材料在外力作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。金属零件或构件在工作时通常承受不同性质的外力作用,相应地在零件或构件中往往同时存在着多种应力。在不同应力作用下就需要不同的力学性能指标,而各种力学性能指标都是通过相应的试验测定的。

一、室温下的机械性能

1. 静态力学性能

静态力学性能指标包括刚度、强度、塑性、硬度。其中刚度、强度、塑性是通过拉伸试验获得的。

(1) 拉伸试验

按国家标准 GB6397 - 86《金属拉伸试验试样》制作标准拉伸试样,对于试验段直径为 d_0 的圆截面试样如图 1-1 所示。 d_0 为试样截面的原始直径,其截面积为 F_0 , l_0 为试样的原始标距。按国标规定拉伸试样分长试样和短试样,长试样 $l_0 = 10d_0$,短试样 $l_0 = 5d_0$ 。

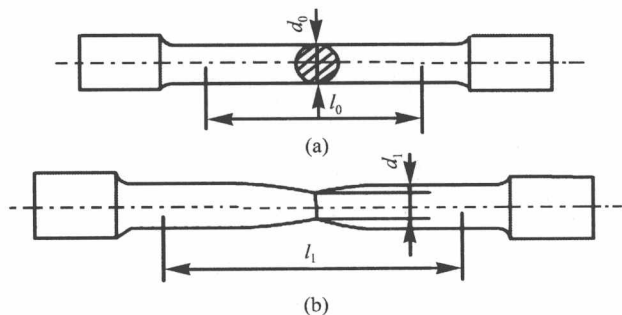


图 1-1 标准拉伸试样

(a) 拉伸前; (b) 拉伸后

把拉伸试样夹在拉伸试验机上缓慢增大拉伸力,使试样承受轴向拉力 P ,并引起试样沿轴向伸长 $\Delta l = l_1 - l_0$,直至将试样拉断。将拉力 P 除以试样原始截面积 F_0 ,得拉应力 σ ;将伸长量 Δl 除以试样原始标距 l_0 ,得应变 ε 。画出应力—应变图。低碳钢是工程中广泛应用的金属材料,

其应力—应变图也非常具有典型意义。图 1-2 是低碳钢 Q235 的应力—应变曲线。

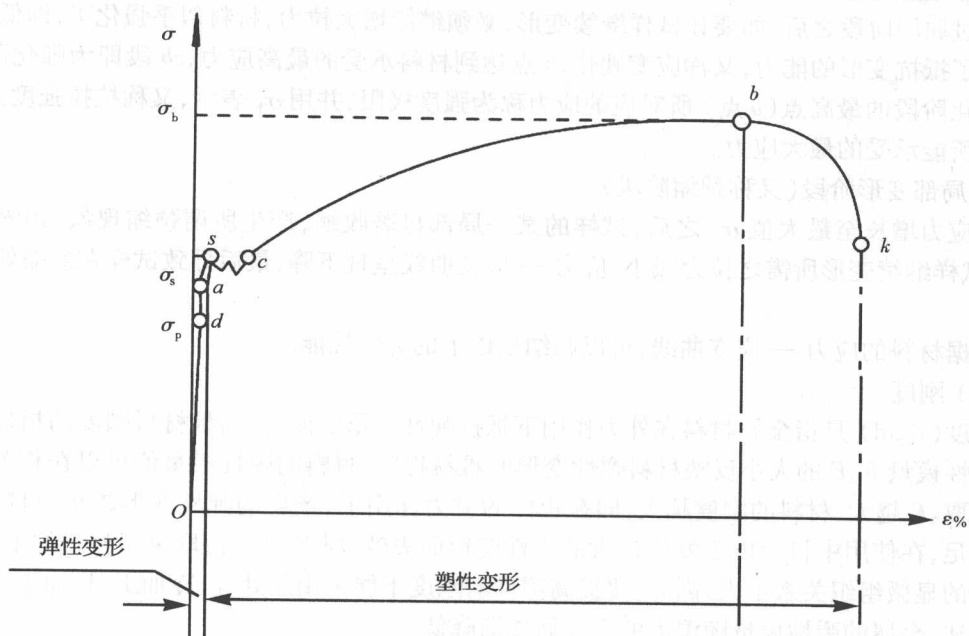


图 1-2 低碳钢的应力—应变图

由图 1-2 曲线可以看出低碳钢的应力—应变之间具有下列特性。

① 弹性变形阶段(又称线性阶段)

在拉伸的初始阶段, σ 与 ε 的关系为一直线(图中 od), 说明在此阶段内, 应力与应变成正比。即

$$\sigma = E\varepsilon$$

式子中 E 称为弹性模量, d 点所对应的应力称为比例极限, 并用 σ_p 表示。 d 到 a 点之间 σ 与 ε 关系不再是直线, 但解除拉力后变形仍然可以完全消失, 因此 oa 阶段的变形称为弹性变形。 a 点所对应的应力称为弹性极限, 用 σ_s 表示。低碳钢的应力—应变图上, a 、 d 两点非常接近, 因此, 一般对低碳钢的 σ_p 和 σ_s 并不严格区分。

当应力大于弹性极限, 在曲线的 as 段, 将拉力解除后, 试样变形的一部分随之消失, 但还遗留下一部分不能消失的变形, 称之为残余变形或塑性变形。

② 屈服阶段(又称流动阶段)

超过弹性极限之后, 应力与应变之间不再保持正比关系。当应力增加至某一定值时, 应力应变曲线出现水平阶段(可能有微小波动)。在此阶段内应力几乎不变, 而变形却急剧增大, 材料失去抵抗继续变形的能力。当应力达到一定值时, 应力虽不增加(或在微小范围内波动), 而应变却急剧增大的现象, 称为屈服。使发生屈服的应力称为屈服应力或屈服极限, 并用 σ_s 表示, 又称屈服强度。在屈服阶段, 材料产生了显著的塑性变形(此时若卸载, 应变不会完全消失, 而存在残余变形)。所以 σ_s 是衡量材料强度的重要指标。

如果试样表面光滑, 则当材料屈服时, 试样表面将出现与轴线约成 45° 倾角的线纹, 这是由于材料内部晶格相对滑移形成的, 通常称为滑移线。

③ 强化阶段(又称硬化阶段)

经过屈服阶段之后,如要让试样继续变形,必须继续增大拉力,材料似乎强化了,即低碳钢又恢复了抵抗变形的能力,又称应变硬化, b 点达到材料承受的最高应力, cb 段即为强化阶段。应变强化阶段的最高点(b 点)所对应的应力称为强度极限,并用 σ_b 表示,又称抗拉强度。它表示材料所能承受的最大应力。

④ 局部变形阶段(又称颈缩阶段)

当应力增长至最大值 σ_b 之后,试样的某一局部显著收缩,产生所谓颈缩现象。颈缩出现后,使试样继续变形所需之拉力减小,应力—应变曲线呈现下降,最后导致试样在颈缩处 k 点断裂。

根据材料的应力—应变曲线,可以归纳出以下的力学性能。

(2) 刚度

刚度(rigid)是指金属材料在外力作用下抵抗弹性变形的能力。衡量材料刚度的指标是材料的弹性模量 E 。 E 的大小反映材料弹性变形的难易程度,材料的弹性模量值可以在相关的手册中查取。 E 越大,材料的刚度越大,即在相同的应力作用下,产生的弹性变形越小。材料如果刚度不足,在使用中将会由于发生过大的弹性变形而失效。材料的 E 值取决于材料的本性,而与材料的显微组织关系不大,因此,要提高零件的刚度不能采用热处理、冷加工、热加工或合金化的方法。金属的弹性模量随温度的升高而逐渐降低。

构件或零件的刚度除与采用的材料刚度有关外,还与构件或零件的截面积有关:截面积大,刚度大;截面积小,刚度小。

(3) 强度

强度(strength)是材料在外力作用下抵抗产生塑性变形或断裂的能力。零件承受拉力时的强度指屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

① 屈服强度

屈服强度(yield limit)又称屈服极限,它是屈服阶段内的最低应力,用 σ_s 表示。屈服强度是材料抵抗微量塑性变形的能力,也是材料在外力作用下开始产生塑性变形的应力。

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

式中: P_s ——材料产生屈服时的外力,N;

F_0 ——标准试样的原始截面积, mm^2 。

除退火或热轧的低碳钢和中碳钢有屈服现象外,大多数金属材料都没有屈服点和屈服现象。图1-3是铸铁的应力—应变图,它表示铸铁没有屈服和颈缩现象。对于这些没有屈服点和屈服现象的材料,工程中通常以卸载后具有0.2%的残余应变所对应的应力值作为屈服强度或名义屈服极限,并用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

$\sigma_{0.2}$ 和 σ_s 都是表征金属材料产生微量塑性变形的抗力,是机械设计和选材的主要依据。

② 抗拉强度

抗拉强度(tensile strength)又称强度极限,用 σ_b 表示。抗拉强度是表示材料抵抗断裂的能力,也是材料抵抗最大外力时的应力。在图1-2中表现为 b 点相应的应力。

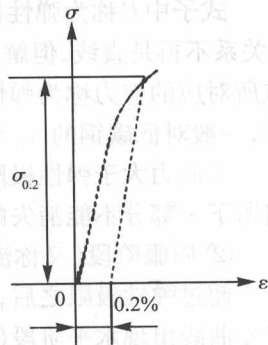


图 1-3 铸铁的应力—应变图

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

式中: P_b ——试样从开始受力到断裂为止所能承受的最大拉力, N;

F_0 ——标准试样的原始截面积, mm^2 。

工程上将 σ_s/σ_b 称为屈强比。屈强比越小, 表示材料达到 σ_s 时还有比较大的储备强度, 可以避免由于超载而突然断裂, 因此工作可靠性就越大, 但是材料潜力未能充分发挥。制造弹性零件时, 应具有较高的屈强比。

(4) 塑性

塑性(plasticity) 是材料在外力作用下产生塑性变形而不被破坏的能力。常用的衡量材料塑性的指标有延伸率 δ 和断面收缩率 ψ 。

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

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

式中: l_0, l_1 ——分别为试样的原始标准长度和拉断后的长度, mm;

F_0, F_1 ——分别为试样的原始截面积和拉断之后的截面积, mm^2 。

显然, 材料的 δ 和 ψ 越大, 其塑性越好。塑性材料 $\delta \geq 5\%$, 脆性材料 $\delta < 5\%$ 。塑性好的材料, 在轧制或冷压成型时不易断裂, 并能承受较大的冲击载荷。结构钢与硬铝等为塑性材料; 而工具钢、灰口铸铁与陶瓷等则属于脆性材料。

对于标距长度为其截面直径 5 倍的短试样, 测得的结果用 δ_s 表示, 一般 $\delta_s = (1.2 \sim 1.5)\delta$, δ 是用标距长度为其直径 10 倍的长试样测得。

(5) 硬度

硬度(hardness) 是材料抵抗更硬物体压入的能力, 是衡量材料软硬程度的指标。或者说, 硬度反映出材料表面抵抗局部塑性变形(压痕、划痕、擦伤或划破) 的能力。通常硬度越高, 耐磨性越好。

材料硬度的测量方法都是采用一定形状和材质的压头, 在一定力的作用下压入材料表面, 测定压痕面积或深度, 通过计算获得硬度值。压痕越大或越深, 材料的硬度值越低。常用的硬度指标有布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HR)、维氏硬度(HV) 和显微硬度(HM)。

① 布氏硬度

布氏硬度(brinell hardness) 值在布氏硬度计上测定。布氏硬度是把一定直径(一般为 10 mm) 的淬火钢球或硬质合金球, 在一定压力 P 的作用下压入金属表面, 以单位面积上的压力作为硬度值, 用 HB 来表示, 即:

$$\text{HB} = \frac{P}{F} = 0.204 \times \frac{P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (\text{MPa})$$

式中: P ——作用于压头的力, N;

F ——压痕面积, mm^2 ;

D ——压头球体直径, mm;

d ——压痕直径, mm。

国标(GB231 - 84) 规定, 布氏硬度值 < 450 时, 采用淬火钢球压头, 测定值用 HBS 表示;