

21 CENTURY

21世纪全国高等职业院校 **机械制造与自动化专业** 通用教材
机电一体化专业

21SHIJI QUANGUO GAODENG ZHIYEJISHU YUANXIAO
JIXIEZHIZAORYUZIDONGHUAZHUYANYE JIDIAN YITIHUAZHUYANYE
TONGYONGJIAOCAI

金属材料与热处理(第2版)

JINSHU CAILIAO YU RECHULI



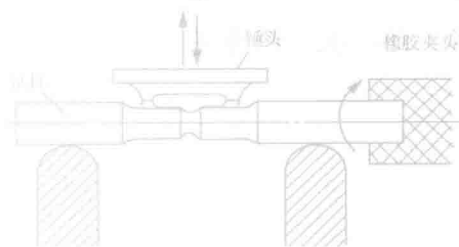
山东科学技术出版社
www.lkj.com.cn

JIN SHU CAI LIAO YU RE CHU LI

金属材料与热处理

(第2版)

◎主 编 李国平 郭丽波



图书在版编目 (CIP) 数据

金属材料与热处理/李国平,郭丽波主编. —济南:山东科学技术出版社,2010

21 世纪全国高等职业院校机械制造与自动化专业(机电一体化专业)通用教材

ISBN 978-7-5331-5629-9

I. ①金... II. ①李... ②郭... III. ①金属材料—高等学校:技术学校—教材 ②热处理—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TG14 ②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 120904 号

21 世纪全国高等职业院校机械制造
与自动化专业(机电一体化专业)通用教材

金属材料与热处理

(第 2 版)

主编 李国平 郭丽波

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098088

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:莱芜市圣龙印务有限责任公司

地址:山东莱城工业区

邮编:271114 电话:(0634)6115012

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:15

版次:2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-5331-5629-9

定价:30.00 元

NEI RONG TI YAO

内 容 提 要

本书共分十个模块,内容包括金属材料的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金相图、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属及其合金、粉末冶金材料、非金属材料、机械零件的选材。为方便学习、加深理解和学用结合,每个模块后均进行小结并列出了习题。

本书可作为高等职业技术学院、本科学校的二级学院等学校的机械类、机电类、钢铁冶炼、汽车维修、数控技术等专业的教材,也可作为电大、中专及职工技能培训各相关专业的教材,还可供工程技术人员参考。

随着我国经济的快速持续发展,对高等职业教育提出了更高更新的要求。经济和社会的发展需要越来越多的高质量人才,高等职业教育的目的就是培养具有一定的理论文化知识和较强实践技能以及较强创新能力的新型人才。目前,高等职业教育正面临着一个难得的良好发展机遇。

从高等职业学校建校的基础来看,多数是由原来的中等职业学校、职工培训学校等合并升格而成,少数由原来的高等专科学校组建而成。并且,高等职业教育的发展时间并不长,少数发达地区高等职业教育的发展历史也不过二十多年,多数地区的高等教育发展时间甚至不到十年,在培养目标、教育教学管理、培养模式、教材与课程改革、实践教学、学生就业等方面有待进一步明确和改进。因此,基于目前经济和社会发展的情况,重新审视高等职业教育的培养目标、办学模式、教育教学改革就很有必要。单从教材选择方面来看,很多高等职业院校在很大程度上选择高等本科教材,或者是职工培训教材和技工教育教材。尽管国家有关部门对高等职业教育的教材编写做了大量的工作与改革,也编写了许多高职高专专用教材,但很多是本科教材的翻版,职业教育也就成了本科教育的缩短形式,远远跟不上经济和社会发展的步伐。因此,立足于经济发展水平和社会需要,以及学生的特点,编写真正适合高等职业教育培养目标、教育教学模式的高职专用教材就显得尤为迫切和必要,这本教材就是在这种情况下编写的。

本书采用了基于“任务驱动法”的模块式的编写方式,既保持了理论知识的系统性和完整性,又具有很强的可操作性和实践应用性,同时兼顾部分理论与知识的前瞻性和先进性。根据高职高专人才培养的目标和要求以及科学技术发展的需要,遵循高职教材理论的“必需、够用”的原则,无论是内容选择,还是结构形式布局,都体现了实际应用的目的,注重对学生动手能力和创新能力的培养,主要特点有:

1. 教材内容的结构形式新颖 教材采取了基于工作过程的“任务驱动法”编写形式,实现教材与教法的紧密结合,改变了传统的理论教学与实践教学相脱离的模式,在系统地讲解理论知识的同时,更注重学生实践技能的培养,同时兼顾学生创新和开拓能力的培养,实现知识传授、技能训练、创新能力培养三方面的有机结合与统一。特别是在当前高职教育中实习实训条件显著改善、学校越来越注重理论教学与生产实践相结合情况下,实现教学、实践的一体化,具有很强的操作性。

2. 教材内容选择注重体现学科的发展趋势和发展前景 本书在内容选择上注意吸收本专业领域的新理论、新技术、新工艺和新方法,体现了知识的代表性和技术的前瞻性。

3. 突出职教特色,注重学生实践能力及创新能力的培养 本书突出了理论知识的实践应用性,实现理论与实践的紧密结合,增强学生的实践动手能力。另外,针对高职院校人才培养中高级应用型人才培养的要求,要求学生具有一定的创新能力和开拓精神,学生在系统

地掌握本专业的基本理论、知识和技能的同时,通过实践训练,具有一定的创新和开展新技术、新工艺、新材料研究的能力。因此,在选材和编写形式上充分体现了对学生创新能力的培养,实现学生在知识、能力、素质等方面的全面协调发展。

本书由莱芜职业技术学院组织教师编写,并邀请大型企业的技术人员参与编写。编写过程中,莱芜钢铁股份有限公司品质保证部特钢物理室工程师卢爱凤、鲁中冶金矿山集团公司机修厂工程师郇静等参与编写并给予很大的帮助,提供了许多现场图片及检测分析数据、结果等,部分内容为企业技术人员的研究结论与研究成果,在此表示衷心感谢。

由于时间仓促及编者水平的局限,书中难免存在错误及不足之处,恳请各校任课教师 and 读者提出批评指正。

编者

>>> 编审委员会

主 任：王平嶂 王洪琳

副主任：刘 杰 陈 文 王超林 刘永海

委 员：（按姓氏笔画排列）

王叶青 王整风 朱宝杰 孙振强 张永生 张彦江
张雪筠 杜来平 迟京瑞 周文彬 姚瑞珊 贾利敏
燕居怀 魏玉梅

总策划：王洪胜

>>> 本书编审人员

主 编：李国平 郭丽波

副主编：曹凤霞 卢爱凤 郇 静 刘现存

编 者：陈 文 徐立亚 卢 栋 崔鑫鑫 柳 宏 冯博楷
赵亮培 赵 蕾 杜 皎 王拥军 刘心孔 张翠芝
王本玉 徐善春 安 杰

目 录

CONTENTS

金属材料与热处理

绪论	(1)
模块一 金属材料的性能	(5)
概述	(5)
任务一 材料的强度和塑性测定	(6)
任务二 材料的硬度测定	(11)
任务三 材料的韧性测定	(15)
小 结	(21)
习 题	(21)
模块二 金属的晶体结构与结晶	(23)
概述	(23)
任务一 金属的晶体结构	(23)
任务二 纯金属的结晶	(29)
任务三 合金的结晶过程	(36)
任务四 金属的塑性变形与再结晶	(48)
小 结	(56)
习 题	(57)
模块三 铁碳合金相图	(58)
概述	(58)
任务一 铁碳合金相图	(59)
任务二 典型铁碳合金的结晶过程及其组织	(63)
小 结	(70)
习 题	(70)

模块四 钢的热处理	(72)
概述	(72)
任务一 钢的热处理原理	(73)
任务二 钢的退火与正火	(83)
任务三 钢的淬火与回火	(86)
任务四 钢的表面热处理方法的选用	(94)
任务五 钢的化学热处理方法的选用	(96)
任务六 典型工件的热处理	(102)
小 结	(107)
习 题	(107)
模块五 工业用钢	(109)
概述	(109)
任务一 碳钢零件材料的选用	(109)
任务二 合金元素在钢中的作用	(116)
任务三 合金结构钢零件材料的选用	(120)
任务四 合金工具钢零件材料的选用	(127)
任务五 特殊性能钢零件材料的选用	(134)
小 结	(137)
习 题	(138)
模块六 铸铁	(140)
概述	(140)
任务一 铸铁的石墨化	(140)
任务二 铸铁零件材料的选用	(143)
任务三 合金铸铁零件材料的选用	(151)
小 结	(154)
习 题	(155)
模块七 有色金属及其合金	(156)
概述	(156)
任务一 铝及铝合金零件材料的选用	(157)
任务二 铜及铜合金零件材料的选用	(164)
任务三 钛及钛合金零件材料的选用	(171)

任务四 滑动轴承合金零件材料的选用	(174)
小 结	(178)
习 题	(178)
模块八 粉末冶金材料	(180)
概述	(180)
任务一 粉末冶金材料的特点及应用	(180)
任务二 硬质合金的特点及应用	(191)
小 结	(196)
习 题	(196)
模块九 非金属材料	(197)
概述	(197)
任务一 高分子材料的特点及应用	(197)
任务二 陶瓷材料的特点及应用	(208)
任务三 复合材料	(211)
小 结	(215)
习 题	(215)
模块十 机械零件的选材	(217)
概述	(217)
任务一 机械零件的失效与分析	(217)
任务二 机械零件选材的基本原则	(220)
任务三 典型机械零件的选材	(222)
小 结	(226)
习 题	(227)
参考文献	(228)

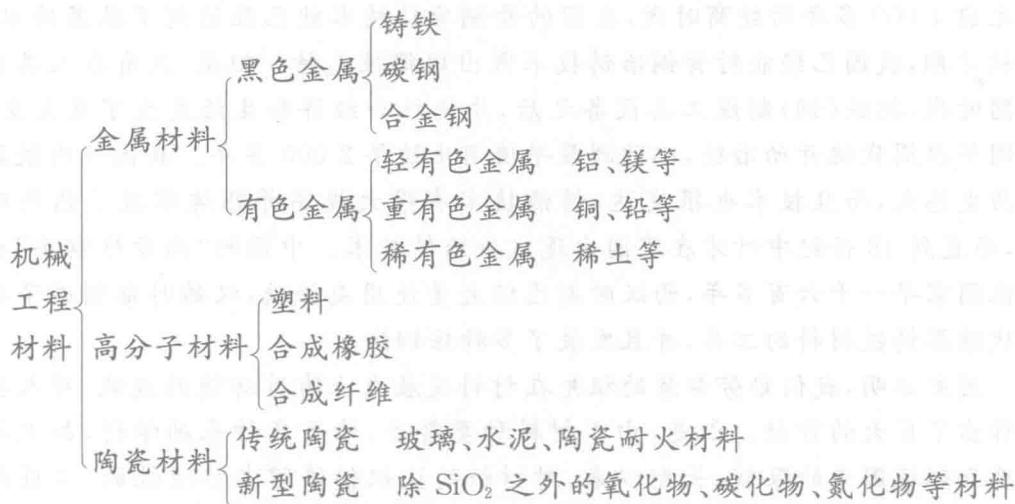
绪论

一、材料的分类及其在工程技术中的应用

材料是人类用来制造各种产品的物质,人类的生产和生活都离不开材料,它的品种、数量和质量是衡量一个国家现代化程度的重要标志。现在,材料、能源、信息已成为发展现代化生产的三大支柱,而材料又是能源和信息发展的物质基础。

材料的发展虽然离不开科学技术的进步,但科学技术的发展又依赖于工程材料的发展。在人们的日常生活和现代化工程技术的各个领域,材料的重要作用是很明显的。例如,耐腐蚀、耐高压的材料在石油化工领域中的应用;高强度、质量轻的材料在交通运输领域中的应用;高温合金和陶瓷在高温装置中的应用;某些高聚物和金属材料基复合材料在外科移植领域中的应用;半导体材料在计算机、通讯、航空航天和日用电子器件领域中的应用;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,一项创造发明能否成功用于工业生产,一个科学理论能否实施于技术应用,合适的材料往往成为关键的制约因素。因此,世界各国对材料的研究发展是非常重视的,它在工程技术中的重要作用是不容忽视的。

现代材料种类繁多,据不完全统计,目前世界上的材料总和已达 40 多万种,而且每年以 5% 的速率递增。材料有许多不同的分类方法,工程中应用的材料按化学成分可分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料三大类。



目前,机械工业生产中应用最广的仍然是金属材料,在各类机械设备所用材料中,金属材料的用量约占 90% 以上,这不仅是因为金属材料来源丰富,关键是金属材料还具有优良的使用性能和工艺性能,能够满足生产和生活的各种需求。金属材料还可以通过不同成分配制、不同的加工和热处理工艺来改变材料的组织与性能,从而进一步扩大了应用范围。

另外,高分子材料和陶瓷材料虽然某些力学性能不如金属材料,但它们具备金属材料不具备的一些特性,如耐腐蚀、绝缘减振、耐高温(陶瓷材料)、质轻、价廉、原料来源丰富、成型加工容易等优点,因而发展很快,目前已经在工程领域及人们的日常生活中得到广泛应用。

上述三类材料在性能上各有优缺点,因此,近年来人们倾向于将各种材料的优点集于一体,以充分发挥各种材料的潜力,制成了各种复合材料。随着科技进步,复合材料的种类、制备工艺、设备得到了迅速发展,所以说复合材料是材料研究、发展和应用的重要方向。

二、材料的发展与社会进步

自从地球上人类诞生,为了生存、生活的需要,总在不停地探索、寻找制造生产生活工具的材料。人类的基本活动改善了自身的生活环境,提高了生活质量,创造了人类的物质文明和精神文明,这些活动都离不开物质和材料。

人类的生活和生产活动与材料的发展息息相关,并一起经历了各个历史发展阶段。根据人类使用的材料,把古代史分为石器时代、陶器时代、青铜器时代和铁器时代。现在,人类正进入人工合成材料和复合材料的新时代。

我们的祖先对材料的发展做出了杰出的贡献。据资料记载,大约二、三百万年以前,人类最先使用的工具是天然石头。到了原始社会末期(约六七千年之前),我们的祖先开始制作陶器、瓷器,并先后传至世界各国,对世界文明产生了巨大影响。早在 4 000 多年前,我们的祖先就已经开始使用天然存在的红铜。到公元前 1 000 多年的殷商时代,我国的青铜冶铸技术就已经达到了很高的水平。春秋时期,我国已经能对青铜冶铸技术做出规律性总结。但是,只有在人类进入铁器时代,把铁(钢)制成工具设备之后,才使社会经济和生活发生了巨大变化。我国早在周代就开始冶铁,比欧洲最早使用生铁早 2 000 多年。我国使用铁器不仅历史悠久,而且技术也很发达,铸锻技术有很大提高并熟练掌握了热处理技术,而直到 18 世纪中叶才在英国出现这种冶铸技术。中国的“两步炼钢法”也比其他国家早一千六百多年,西汉时期已经大量使用灰铸铁,汉魏时期制造了类似现代球墨铸铁材料的工具,并且发展了多种炼钢法。

历史证明,我们勤劳智慧的祖先在材料发展史上有过辉煌的成就,对人类文明作出了巨大的贡献。但是,由于材料种类繁多,涉及多种基础学科,加上社会制度和环境因素的限制,长期以来,对材料的认识仍停留在非理性的、工匠或艺

人的经验技术水平上。后来,随着经验的积累,出现了“材料工艺学”,这比工匠的经验又前进了一大步,但它只记录了一些制造过程和规律,还没有上升到“知其所以然”的理性认识水平。直到1863年光学显微镜第一次被用于研究金属,出现了“金相学”后,才使人类对材料的观察进入微观领域,并上升到理性认识水平。1905年发现了伦琴射线(X射线),随后于1912年用X射线衍射技术研究材料的晶体微观结构。1932年的电子显微镜的发明以及后来出现的各种谱仪等分析工具,将人类对材料的微观研究带入了更深的层次。此外,随着现代工业的迅速发展,对钢铁的需求急剧增加,与材料相关的基础学科(如化学、物理化学、高分子化学、量子力学、固体物理学)也迅速发展起来,极大地促进了材料研究的深入开展。在此基础上,逐步形成了跨越多学科的材料科学。材料科学是研究材料的化学组成和微观结构与材料性能之间关系的一门科学,同时还研究制取材料和材料使用有关的知识。

近五十多年来,我国在材料工业的生产和科研方面已取得了巨大成就。钢铁产量居世界前列,在金属材料生产方面建立了符合我国资源特点的合金钢、低合金钢系列,研制出具有世界先进水平的稀土镁球墨铸铁,低合金超高强度钢的超细晶粒化技术取得重要突破;钢铁生产及其深加工的新技术新工艺不断得到应用和推广,各种有色金属和特种合金在质量和品种上基本满足了国防和科学技术的需要。目前,随着我国工业化进程的大大加快,不仅对高性能金属材料需求迫切,对高性能非金属材料、复合材料的需求也越来越强烈,因此要求工程技术人员应具备更加广泛的各種工程材料的知识,不仅要了解各种金属材料,也要了解各种高分子材料、陶瓷材料及复合材料。

三、本课程的目的任务和学习方法

本课程是高职高专院校机械、机电、材料工程等专业的技术基础课,其目的是使学生获得有关工程材料的基本理论、基本知识,为合理选用材料和学习有关课程奠定必要的基础。

本课程的具体任务是:(1)熟悉常用工程材料的成分、加工工艺、组织结构与性能间的关系及其变化规律。(2)初步掌握常用工程材料的性能和应用,并初步具备选用常用材料的能力。(3)初步具有正确选择一般机械零件的热处理方法及工艺规程的能力。

本课程采用了基于“任务驱动法”的模块式的编写方式,既保持了该课程理论知识的系统性和完整性,教学过程中又具有很强的可操作性和实践应用性,同时兼顾部分理论与知识的前瞻性和先进性。学习中要注重分析、理解以及前后知识的综合运用。学习过程中,既要学好理论知识,又要注意密切联系生产实际,重视实践环节,认真完成作业。学习本课程之前,学生应具备必要的生产实践知识和专业基础知识,所以,本课程一般在完成物理、化学、材料力学、金工实

习及金属工艺学等课程后开设。

当代世界各国的科学技术都在迅速发展,材料工业作为一个国家的产业支柱之一,新理论、新技术、新工艺、新材料不断开发应用。纵观材料发展的历史,我们应当有强烈的自豪感和自信心。但与发达国家相比,我国在材料科学技术方面的差距还很大,需要我们必须认真学习,不懈探索,努力赶超世界先进水平。

模块一 金属材料的性能

概 述

金属材料是现代机械制造的基本材料,广泛应用于现代工业、农业、国防等各个领域。金属材料之所以得到广泛应用,是由于金属具有许多优良的性能,通常情况下,金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两个方面。使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能,它包括物理、化学和力学性能等;工艺性能是指金属材料在被制成各种零件、构件和工具的过程中,材料适应各种冷、热加工的性能,包括铸造、锻造、焊接、切削加工、热处理等方面的性能等。为了合理地选用金属材料,就必须充分了解金属的性能。

金属材料在加工和使用过程中都要承受不同形式的外力作用,当外力达到或超过某一时,材料就会发生变形,甚至断裂。材料在外力的作用下表现出的性能,称为材料的力学性能,主要指强度、刚度、硬度、塑性和韧性等。它不仅是设计零件、选择材料的重要依据,而且也是验收鉴定材料性能的重要依据;对冶金产品的生产来讲,还是改进生产工艺、控制产品质量的重要参数之一。

根据载荷性质,零件受力情况可分为静载荷和动载荷两类。静载荷是指逐渐而缓慢作用在工件上的力,如机床床头箱对床身的压力、钢索的拉力、梁的弯矩、轴的扭矩和剪应力等。动载荷包括冲击载荷和交变载荷等,如各类齿轮、弹簧等所承受的力大小和方向随时间而变化等等。

金属材料受到载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形,二者之间的根本区别是当外界载荷去掉后,弹性变形可以恢复,而塑性变形不能恢复。

无论何种固体材料,其内部原子之间都存在相互平衡的原子结合力的相互作用。当工件材料受外力作用时,原来的平衡状态受到破坏,材料中任何一个小单元与其邻近的各小单元之间诱发产生了新的力,称为内力。单位截面积上所受的力,称为应力,用 σ 表示。金属材料受拉伸载荷或压缩载荷时,其横截面上的应力按下式计算:

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

式中: σ ——应力,MPa;

F ——载荷,N;

S ——受力面积,mm²。

本模块共有三项任务:材料的强度和塑性测定;材料的硬度测定;材料的韧性测定。

任务一 材料的强度和塑性测定

基本知识

- 拉伸试验
- 强度及其指标测定
- 塑性及其指标测定

能力培养目标

• 通过拉伸试验来测定材料的强度和塑性,根据测试结果分析材料的承载能力,能够做到合理选材。

一 任务分析

金属材料在使用过程中,常常受到外力的拉伸作用,当外力超过其本身抗力时,导致零件发生变形,甚至断裂,这是由于零件的强度较低或塑性较差造成的。强度是指金属材料抵抗永久变形和断裂的能力。金属材料的强度越高,所承受载荷的能力就越大。塑性是指金属材料在外力作用下而不断裂的能力,具有一定塑性的零件,偶尔过载时发生一定量的变形而不致于立即断裂,对于保护工程结构零件的使用安全具有重要意义。材料强度指标的测定是通过拉伸试验来进行的,同时在该试验中还可以反映材料的塑性,从而正确评判材料的基本性能。因此,应首先明确拉伸试验的操作过程。

二 基础理论知识

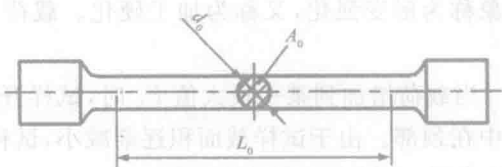
金属材料的强度按照载荷方式的不同,分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和扭转强度五种,一般情况下,用抗拉强度作为判定金属材料强度的指标。强度和塑性指标通过拉伸试验来测定。

1. 拉伸试验

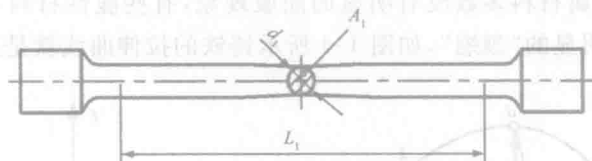
(1) 拉伸试样的制备 根据被测材料的材质选取材料,按照国家有关标准制作标准试样。国标(GB/T 6397—1986)中对试样的形状、尺寸及加工要求作了明确的规定。拉伸试样的形状尺寸一般随金属产品的品种、规格及试验目的的不同而分为圆形、矩形和异型。图1-1为截面为圆形的拉伸标准试样,一般又分为长试样($L_0=10d_0$)和短试样($L_0=5d_0$)两种。

(2) 试验过程

- 1) 了解试验机结构(图1-2)及工作原理,校准。
- 2) 把试样装夹在试验机的上下夹头的钳口中。
- 3) 检查测力及绘图机构是否正常。
- 4) 按下启动电机按钮开始加载,仔细观察载荷及试样变形情况。当测力盘指针来回摆动或几乎不动时(绘图纸上出现水平或锯齿形线段),这时材料发生屈服现象,记录下载荷



(a) 拉伸前



(b) 拉断后

图 1-1 圆形拉伸试样

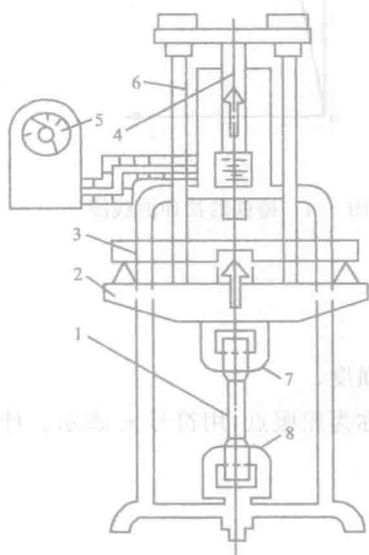


图 1-2 拉伸试验机示意图

- 1-试样 2-工作台 3-立柱 4-工作
活塞 5-表盘 6-拉杆 7-上夹头
8-下夹头

F_s ;屈服阶段过后,指针继续转动,曲线又开始上升,载荷达到一定的数值后,指针开始回转,此时,试样开始出现颈缩现象,曲线向下,记录下此时的载荷 F_b ,它是试样断裂前承受的最大载荷。

5) 试样拉断后立即按下停止按钮,机器停止工作。

6) 取下拉断的试样,测量并记录下颈缩处的最小直径 d_1 ,并将试样断裂处对接在一起,测量并记录下断后标距长度 L_1 。

(3) 拉伸曲线图及分析 拉伸试验中得出的拉力与伸长量的关系曲线称为拉伸曲线图。图 1-3 是低碳钢的拉伸曲线图,图中纵坐标表示拉力 F ,单位为 N;横坐标表示试样的伸长量,单位是 mm,从图中可以明显地看出低碳钢在拉伸过程中出现的几个变形阶段。

1) 弹性变形阶段(ob 段) 在图 1-3 低碳钢的拉伸曲线中, oa 段为一条直线,说明材料拉伸变形量 ΔL 与拉力 F 成正比关系,当除去外力后,试样恢复到原来的尺寸,这一现象符合胡克定律,称为弹性变形阶段。 ab 段载荷与伸长量已不成正比关系,成为伸长量比载荷量增加得快的曲线,但此时变形仍为弹性变形阶段。外力 F_s 是试样只产生弹性变形的最大载荷。

2) 屈服阶段(bc 段) 从拉伸曲线上可以看出,当载荷增加至超过 F_s 后,卸载后试样的变形不能完全消失,保留一部分残余变形,其后曲线呈现了水平或锯齿形,说明载荷不增加,伸长量却继续增加。去除载荷后,材料已不能恢复原状,这种变形称为塑性变形,也称为永久变形。此时表明材料已经失去了抵抗外力的能力而屈服了, F_s 称为屈服载荷。

3) 强化阶段(cd 段) 在拉伸曲线 cd 段,此时载荷已超过 F_s ,材料开始出现明显的塑性变形。在该区间若要使试样也继续增长,则载荷也需继续增加,即经过屈服后,材料的变形