



新世纪高职高专
焊接技术及自动化类课程规划教材

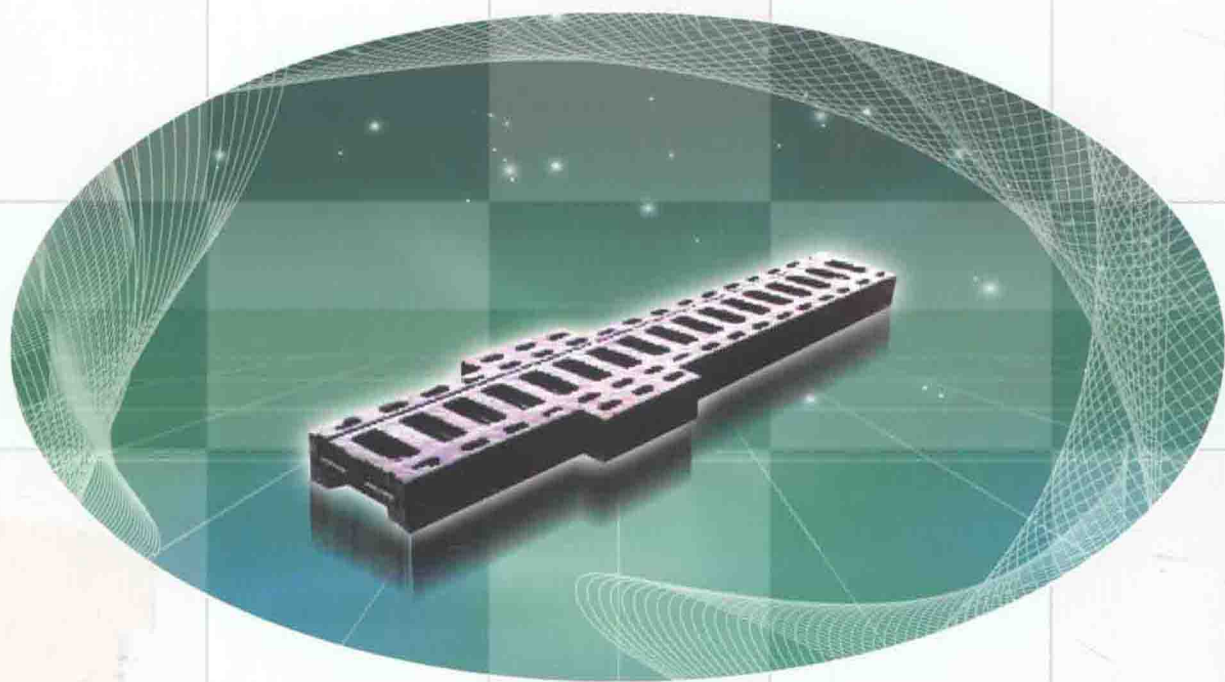
金属材料与热处理

JINSHU CAILIAO YU RECHULI

新世纪高职高专教材编审委员会 组编

主 编 黄丽荣

主 审 李志宏



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



新世纪高职高专
焊接技术及自动化类课程规划教材

金属材料与热处理

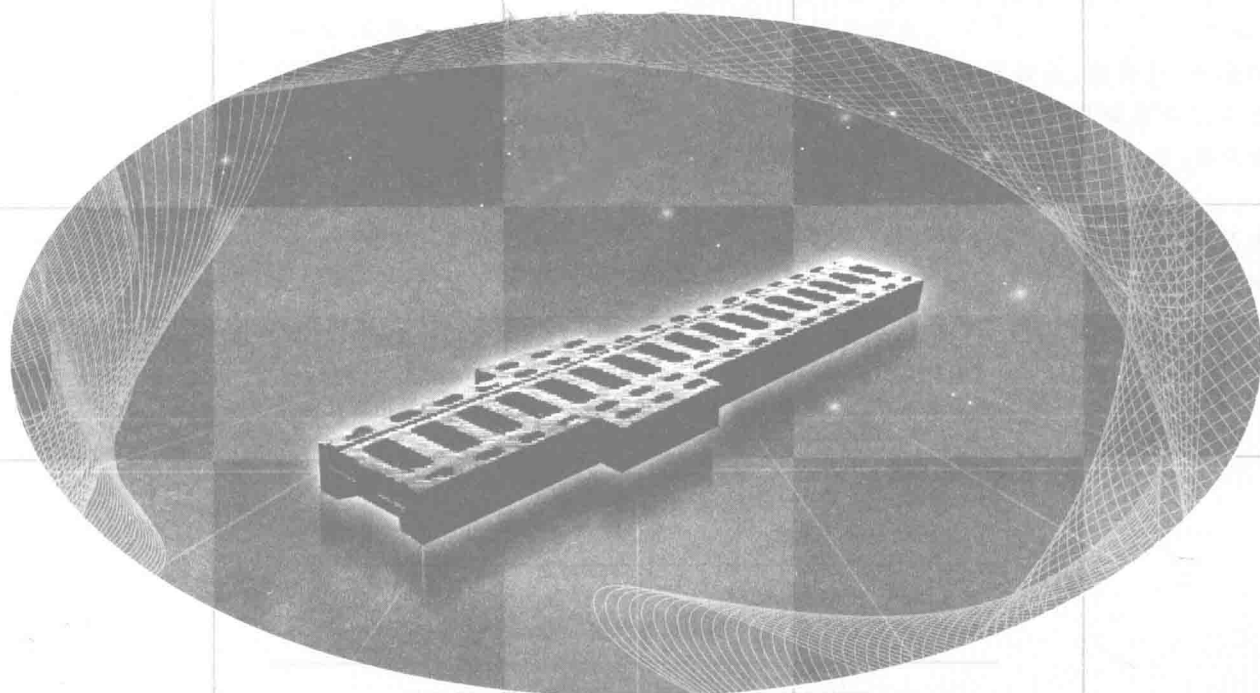
JINSHU CAILIAO YU RECHULI

新世纪高职高专教材编审委员会 组编

主 编 黄丽荣

副主编 姚永红 王 博 刘志敏

主 审 李志宏



大连理工大学出版社
DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

金属材料与热处理/黄丽荣主编. —大连:大连理工大学出版社, 2011.1

新世纪高职高专焊接技术及自动化类课程规划教材
ISBN 978-7-5611-5939-2

I. ①金… II. ①黄… 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. ①TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 238039 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路80号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 邮购:0411-84703636 传真:0411-84701466

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

丹东新东方彩色包装印刷有限公司印刷 大连理工大学出版社发行

幅面尺寸: 185mm×260mm 印张: 13.75 字数: 335千字

印数: 1~3000

2011年1月第1版

2011年1月第1次印刷

责任编辑: 吴媛媛

责任校对: 胡文金

封面设计: 张莹

ISBN 978-7-5611-5939-2 定 价: 27.00 元

我国教育事业发展取得巨大成就，同时面临许多新挑战，必须深化教育改革，提高教育质量，办好人民满意的教育。

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视教育，作出了一系列重大决策部署，推动我国教育事业发生历史性变革。

当前，我国正处于实现中华民族伟大复兴的关键时期，教育作为民族振兴、社会进步的基石，肩负着重大使命。

总 序

党的十八大以来，我国教育事业取得历史性成就，为经济社会发展培养了大量人才。

我们已经进入了一个新的充满机遇与挑战的时代，我们已经跨入了 21 世纪的门槛。

20 世纪与 21 世纪之交的中国，高等教育体制正经历着一场缓慢而深刻的革命，我们正在对传统的普通高等教育的培养目标与社会发展的现实需要不相适应的现状作历史性的反思与变革的尝试。

20 世纪最后的几年里，高等职业教育的迅速崛起，是影响高等教育体制变革的一件大事。在短短的几年时间里，普通中专教育、普通高专教育全面转轨，以高等职业教育为主导的各种形式的培养应用型人才的教育发展到与普通高等教育等量齐观的地步，其来势之迅猛，发人深思。

无论是正在缓慢变革着的普通高等教育，还是迅速推进着的培养应用型人才的高职教育，都向我们提出了一个同样的严肃问题：中国的高等教育为谁服务，是为教育发展自身，还是为包括教育在内的大千社会？答案肯定而且唯一，那就是教育也置身其中的现实社会。

由此又引发出高等教育的目的问题。既然教育必须服务于社会，它就必须按照不同领域的社会需要来完成自己的教育过程。换言之，教育资源必须按照社会划分的各个专业（行业）领域（岗位群）的需要实施配置，这就是我们长期以来明乎其理而疏于力行的学以致用问题，这就是我们长期以来未能给予足够关注的教育目的问题。

众所周知，整个社会由其发展所需要的不同部门构成，包括公共管理部门如国家机构、基础建设部门如教育研究机构和各种实业部门如工业部门、商业部门，等等。每一个部门又可作更为具体的划分，直至同它所需要的各种专门人才相对应。教育如果不能按照实际需要完成各种专门人才培养的目标，就不能很好地完成社会分工所赋予它的使命，而教育作为社会分工的一种独立存在就应受到质疑（在市场经济条件下尤其如此）。可以断言，按照社会的各种不同需要培养各种直接有用人才，是教育体制变革的终极目的。



新世紀

随着教育体制变革的进一步深入,高等院校的设置是否会同社会对人才类型的不同需要一一对应,我们姑且不论。但高等教育走应用型人才培养的道路和走研究型(也是一种特殊应用)人才培养的道路,学生们根据自己的偏好各取所需,始终是一个理性运行的社会状态下高等教育正常发展的途径。

高等职业教育的崛起,既是高等教育体制变革的结果,也是高等教育体制变革的一个阶段性表征。它的进一步发展,必将极大地推进中国教育体制变革的进程。作为一种应用型人才培养的教育,它从专科层次起步,进而应用本科教育、应用硕士教育、应用博士教育……当应用型人才培养的渠道贯通之时,也许就是我们迎接中国教育体制变革的成功之日。从这一意义上说,高等职业教育的崛起,正是在为必然会取得最后成功的教育体制变革奠基。

高等职业教育还刚刚开始自己发展道路的探索过程,它要全面达到应用型人才培养的正常理性发展状态,直至可以和现存的(同时也正处在变革分化过程中的)研究型人才培养的教育并驾齐驱,还需要假以时日;还需要政府教育主管部门的大力推进,需要人才需求市场的进一步完善发育,尤其需要高职教学单位及其直接相关部门肯于做长期的坚忍不拔的努力。新世纪高职高专教材编审委员会就是由全国100余所高职高专院校和出版单位组成的旨在以推动高职高专教材建设来推进高等职业教育这一变革过程的联盟共同体。

在宏观层面上,这个联盟始终会以推动高职高专教材的特色建设为己任,始终会从高职高专教学单位实际教学需要出发,以其对高职教育发展的前瞻性的总体把握,以其纵览全国高职高专教材市场需求的广阔视野,以其创新的理念与创新的运作模式,通过不断深化的教材建设过程,总结高职高专教学成果,探索高职高专教材建设规律。

在微观层面上,我们将充分依托众多高职高专院校联盟的互补优势和丰裕的人才资源优势,从每一个专业领域、每一种教材入手,突破传统的片面追求理论体系严整性的意识限制,努力凸现高职教育职业能力培养的本质特征,在不断构建特色教材建设体系的过程中,逐步形成自己的品牌优势。

新世纪高职高专教材编审委员会在推进高职高专教材建设事业的过程中,始终得到了各级教育主管部门以及各相关院校相关部门的热忱支持和积极参与,对此我们谨致深深谢意,也希望一切关注、参与高职教育发展的同道朋友,在共同推动高职教育发展、进而推动高等教育体制变革的进程中,和我们携手并肩,共同担负起这一具有开拓性挑战意义的历史重任。

新世纪高职高专教材编审委员会

2001年8月18日

前言

《金属材料与热处理》是新世纪高职高专教材编审委员会组编的焊接技术及自动化类课程规划教材之一。

为了进一步贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革和发展的决定》的文件精神,切实解决目前焊接专业及材料成型等热加工类专业教材不能满足高等职业技术学院教学改革和培养高等技术应用型人才需要的问题,编者在多年的教学经验基础上,深入企业调研,结合高等职业教育教学的需要编写了本教材。

本教材采用模块化设计,以生产实际案例和生活常识为切入点,内容安排合理,深浅适宜,注重工程应用,强调职业特征。

本教材共分九个模块,分别是金属的力学性能、金属的晶体结构、金属的结晶、铁碳合金、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、工业用钢、铸铁、非铁合金。通过本教材的学习,可使学生获得金属的成分、组织结构和性能间的关系及其变化规律的基本理论、基本知识和基本技能,了解工程产品的热处理原理及工艺方法,初步具备正确选择和合理使用金属材料的能力,为学习焊接及热加工类专业课以及从事生产工作打下基础。

本教材主要适用于高等职业院校的焊接专业及材料成型等热加工类专业学生,也可用于成人高校、普通中专等热加工类专业学生,还可供工程技术人员参考。

本教材由沈阳职业技术学院黄丽荣任主编,陕西工业职业技术学院姚永红、王博以及陕西国防工业职业技术学院刘志敏任副主编。具体编写分工如下:黄丽荣编写模块一、模块七、模块八和模块九;姚永红编写模块三、模块六中的热处理原理部分;王博编写模块五、模块六中的热处理工艺部分;刘志敏编写绪论、模块二和模块四。全书由黄丽荣负责统稿和定稿。四川工程职业技术学院李志宏老师审阅了全书并提出了许多宝贵的意见和建议,在此深表感谢!另外本教材在编写过程中还参考了大量的文献资料,主要文献列于书后,在此谨向所有参考文献的作者以及对本教材编写给予了大力支持的有关企业专家一并表示衷心的感谢!

尽管我们在教材建设的特色方面做出了许多努力,但由于编者水平有限,教材中仍可能存在一些疏漏和不妥之处,恳请各教学单位和读者在使用本教材时多提宝贵意见,以便下次修订时改进。

所有意见和建议请发往:dutpgz@163.com

欢迎访问我们的网站:<http://www.dutpgz.cn>

联系电话:0411-84707424 84706676

编者

2011年1月



绪 论	1
模块一 金属的力学性能	4
课题 1 强度与塑性	4
课题 2 硬 度	11
课题 3 冲击韧性与疲劳极限	17
小 结	23
模块二 金属的晶体结构	25
课题 1 金属的晶体结构	25
课题 2 合金的相结构	32
小 结	35
模块三 金属的结晶	36
课题 1 纯金属的结晶	36
实验 1 盐类结晶过程的观察	43
课题 2 合金的结晶	46
实验 2 金相显微试样的制备	59
小 结	67
模块四 铁碳合金	68
课题 1 铁碳合金的基本相与铁碳合金相图	68
课题 2 典型铁碳合金的冷却过程及组织转变	74
实验 3 铁碳合金平衡组织的观察	79
课题 3 碳含量对铁碳合金平衡组织和性能的影响	83
课题 4 Fe-Fe ₃ C 相图的应用及局限性	86
课题 5 合金元素对铁碳合金的影响	89
小 结	92
模块五 金属的塑性变形与再结晶	94
课题 1 金属的塑性变形	94
课题 2 冷变形金属在加热时的变化	100
课题 3 金属的热变形加工	104
小 结	106

■ 6 金属材料与热处理

模块六 钢的热处理	108
课题1 热处理基本原理	108
课题2 钢的热处理基本工艺	121
实验4 钢的热处理操作及钢的不平衡组织观察	135
小 结	147
模块七 工业用钢	149
课题1 工程结构用钢	150
课题2 机器零件用钢	155
课题3 工具钢	161
课题4 特殊性能钢	171
小 结	177
模块八 铸 铁	179
课题1 铸铁的石墨化及影响因素	179
课题2 灰铸铁	183
课题3 球墨铸铁	186
实验5 铸铁组织观察	196
小 结	198
模块九 非铁合金	199
课题1 铝合金	199
课题2 铜合金	205
课题3 其他非铁合金简介	210
小 结	211
参考文献	212

绪 论

材料是人类用来制作各种产品的物质,是人类生活和生产的物质基础。金属材料是最重要的机械工程材料,是现代工业、农业、国防及科学技术的重要物质基础,可以用来制造各种机器设备、船舶、车辆、仪器仪表等,应用十分广泛。金属材料之所以得到广泛应用,是由于它不但具有优良的机械性能以及物理、化学性能,能满足生产和生活的需要,而且还具有一些优良的工艺性能,易于采用各种工艺方法制成各种不同形状的零件和工具。

金属材料的各种性能取决于它的内部结构。材料不同,结构不同,性能就不一样,也就有着不同的使用场合,所以,要正确地选择金属材料并且通过不同的热处理方法改变金属材料的结构,来制造不同使用环境下的零件,就有必要掌握金属材料的内部组织结构及其变化规律。金属材料与热处理就是研究金属材料的性能与它的成分以及内部组织结构和用途之间的关系、改变金属材料性能的途径以及各种常用金属材料的一门学科。

一、金属材料与热处理课程的性质

1. 金属材料与热处理的发展史

我国是世界上最早使用金属材料与热处理技术的国家之一,并且取得了辉煌的成就,对人类社会的发展作出了巨大的贡献。

材料学科是在生产实践中发展起来的。我国金属材料的发展史可以追溯到公元前,早在四千多年前,我国就开始使用青铜器,我们的祖先不但认识了金属铜,可以将天然存在的铜锻打成器,熔铸成小件器物,而且可以冶炼青铜等铜合金。早在三千年前,我国劳动人民就已经接触了铁,我国是世界上最早冶炼生铁的国家,早在春秋时代,我国就出现了用生铁铸造的农具和兵器,比欧洲早一千九百多年。在长期的生产实践中,我国古代劳动人民创造了在较低温度下,使铁矿石在固态下还原成铁的炼铁方法,并且掌握了生铁冶炼技术以及炼钢技术。

在热处理方面,我国古代人民也有极大的贡献。战国时期已经开始采用脱碳退火处理,使白口铸铁表面的碳含量降低,以减小其脆性;也已经开始利用淬火工艺,以获得马氏体组织,从而提高炼制钢剑的硬度。到秦汉以后,钢铁热处理技术得到了很大的发展,表面淬火工艺也开始广泛采用。

当今世界各国的科学技术都在迅速发展,我国在工程材料科学方面与工业发达国家相比仍有一定的差距,因此,我们要加倍努力学习,刻苦钻研,掌握必要的知识,为赶超世界先进水平作出贡献。

2. 金属材料与热处理课程的性质

金属材料与热处理是一门从生产实践中发展起来的,而又直接为生产服务的科学,是一

门密切联系实际的科学,同时也是金属压力加工、铸造、焊接等加工工艺的基础。所以,这门课程是机械类各专业必修的专业技术基础课程,而且实践性、综合性很强。

二、金属材料与热处理课程的内容与学习要求

金属材料与热处理课程的主要内容包括金属材料的基本知识、金属的性能、金属学基础知识和热处理的基本知识及常用的金属材料及其使用等。课程内容是按照金属材料的基本规律进行安排的,这个规律就是金属材料的成分决定组织,组织又决定了它的性能,而性能又决定了它的应用。

金属材料的基本知识主要介绍金属的晶体结构及结晶的相关知识;金属的性能主要介绍金属的力学性能和工艺性能等;金属学基础知识主要讲述铁碳合金的组织及铁碳合金相图;热处理基本知识主要利用铁碳相图讲述热处理的原理(钢在加热、保温、冷却时的组织转变)和利用等温转变曲线图讲述热处理的工艺(退火、正火、淬火、回火、表面热处理等),这部分内容里有两张重要的图形,分别是铁碳合金相图和等温转变曲线图,可以帮助我们很容易地学好这门课程;常用的金属材料讲述黑色金属材料即非合金钢(碳素钢)、合金钢、铸铁,有色金属及硬质合金等三类金属材料的常用牌号、成分、组织、性能、热处理及用途。

金属材料与热处理课程的实践性、综合性强,学习本课程的基本要求是:

- (1)掌握金属力学性能、晶体结构、铁碳合金相图等金属学的基本知识。
- (2)熟悉金属材料的成分、组织结构、性能之间的关系和变化规律。
- (3)掌握常用金属材料的牌号、性能及应用,初步具有合理选择材料的技能。
- (4)了解热处理的原理,掌握各种热处理方法的特点、工艺过程及应用,初步具有正确选定一般零件的热处理方法及确定热处理工序位置的能力。
- (5)获得一定的实验技能,具有一定的分析问题和解决问题的能力。

三、金属材料与热处理课程的学习方法

金属材料与热处理课程来源于实践,又服务于实践,不同于学生以前的学习内容。本课程的开课时间处于文化基础课与专业课的过渡时期,课程特点是:名词、概念、术语多;定性描述总结多;各模块、课题之间的逻辑性差;记忆性内容、规律多。

本课程应结合学生特点和课程特点进行学习,才能很好地掌握这门课程的知识,学习方法如下:

1. 理清思想,改变学习方法,按规律学习

作为高职高专学生,首先应了解普通教育与高等教育的区别,高等教育是专业教育,是进入“术业有专攻”的学习阶段,这个阶段的学习是为将来走向工作岗位打下基础的阶段。其次在学习方法上要改变原来普通教育被动接受知识的方法,要充分发挥主观能动性,积极主动地去学习各方面的专业知识。通过这个阶段的学习使学生达到既有一定的专业理论知识,同时又有一定的实际动手操作能力,增强学生的就业竞争力。这门课程有一定的规律,按它的规律去学习,肯定能学好。

2. 注意感性认识的积累

高职教育是专业教育,其特点是要学生学习并掌握实际生产中的某一个具体的行业的

知识和技能,专业性强,而且各专业知识来源于实践,服务于实践,又在实践中不断地发展。金属材料与热处理课程也是这样,所以要学好这门课程,在平时要注意多观察,多实践,勤思考,对本专业的感性认识积累得多了,对一些知识自然就容易理解了。

3. 积极参加各种试验和生产实习,理论联系实际

为了学生更好地学习和掌握这门课程,在教学过程中适当地安排一些试验和生产实习,充分利用学生有好奇心、容易接受新事物的特点,使他们可以在试验和生产实习中进一步地学习和理解书中所述知识,同时也使他们掌握一定的操作技能。

4. 注重分析问题和解决问题能力的培养

学生学习专业知识的目的是要服务于实际生产中的行业,而在实际生产中会出现各种意想不到的问题,作为从业人员要能够顺利快速地解决。所以在平时的学习中就要多动脑,善于发现问题,并且针对出现的问题进行分析,从而找出解决问题的方法。养成这样的习惯并具备这样的能力,将来在自己的工作岗位上肯定能成就一番事业。

材料科学与工程 1 课果

出版发行

中国工业出版社出版,北京,上海,天津,南京,武汉,西安,重庆,成都,昆明,贵阳,长沙,杭州,宁波,温州,福州,厦门,广州,深圳,珠海,汕头,佛山,惠州,东莞,中山,珠海,澳门,香港,台北,高雄,基隆,台中,台南,新竹,苗栗,彰化,南投,雲林,嘉義,屏東,花蓮,台東,澎湖,金門,馬祖。

模块一

金属的力学性能

知识点

1. 理解常用力学性能指标强度、硬度、塑性、韧性及疲劳极限等的含义；
2. 了解常用物理性能和化学性能对材料的应用范围、产品质量及工艺性能，特别是对焊接性能的影响。

技能点

1. 掌握常用力学性能指标硬度测试方法及其应用；
2. 了解强度、塑性、冲击韧度以及疲劳极限等力学性能指标的测试方法及其应用；
3. 能根据机件或工具的工作条件，分析对其制造材料力学性能的要求。

金属材料之所以应用广泛，是由于它具有许多优良的性能。金属材料的性能包含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，表现出来的性能，它包括力学性能、物理性能和化学性能等。使用性能的好坏，决定了它的使用范围和使用寿命。而工艺性能是指金属材料在加工制造过程中的适应加工的性能，它包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。工艺性能直接影响零件加工后的工艺质量，是选材和制定零件加工路线时必须考虑的因素之一。这里主要介绍金属的力学性能。

金属在加工或服役过程中，都要承受各种不同外力的作用，当外力超过一定限度时，金属就会发生变形，甚至断裂。金属的力学性能是指金属在外力作用下抵抗变形与断裂的能力及发生变形的能力。这种能力的大小、强弱用力学性能指标来衡量和比较，常用的力学性能指标有强度、塑性、硬度、韧性及疲劳极限等。

课题1 强度与塑性

任务提出

我们知道，钢丝绳被广泛应用在煤炭、矿山、港口码头、油田等现代物料起重及搬运中。

在机械加工过程中,也常常使用吊车吊起比较重的零件或构件。现在有两根同样材料的钢丝绳,其中一根是24股 $\phi 1.2\text{ mm}$,另一根则是20股 $\phi 2\text{ mm}$ 。有5吨货物需要吊起,选用哪一根钢丝绳比较合适?

任务分析

在起吊货物时,钢丝绳起到承受载荷的作用,其性能主要由钢丝决定。钢丝是非合金钢或合金钢通过冷拉或冷轧而成的圆形(或异形)丝材,具有很高的强度和韧性。钢丝绳能承受多大载荷,即能吊起多少货物,主要取决于钢丝绳的材料和粗细。

在材料一定的情况下,如果钢丝绳太细在吊起货物时可能就会有发生断裂的危险。因此需要进行计算,其依据就是所选用材料的强度等力学性能指标。

相关知识

一、载荷、变形与应力

1. 载荷

金属材料在使用和加工过程中所受到的各种外力统称为载荷,用符号 F 表示。载荷按其作用的性质不同,可分为静载荷、冲击载荷及变动载荷三种。

静载荷是指大小和方向不变化或变化缓慢的载荷。如钢丝绳吊起货物过程中所承受的载荷;在很短时间内作用金属材料上的载荷称为冲击载荷,如冲床的冲头、风动工具等;变动载荷是指载荷大小,甚至方向随时间发生变化的载荷,如齿轮、弹簧等。

2. 变形

金属材料受到载荷作用而产生的几何变形和尺寸的变化称为变形。变形分为弹性变形和塑性变形。随载荷的存在而产生、随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。载荷去除后仍不能恢复的变形称为塑性变形。

3. 应力

金属材料在受到外力作用时,其内部作用着与外力相对抗的力,称为内力。单位面积上的内力称为应力,应力能够准确地反映金属材料内部的受力状态,因此,强度指标都是用应力表示的。生产中最常用、最基本的金属力学性能指标屈服强度、抗拉强度、塑性等均是通

二、金属室温静拉伸试验

单向室温静拉伸试验是在试样两端缓慢施加载荷,使试样的工作部分受轴向拉力,引起试样沿轴向伸长,直至拉断为止。它是应用最广泛的金属力学性能试验方法之一。

1. 拉伸试样

试验表明,所用试样的形状和尺寸及加工质量对其性能测试结果有一定影响。为了测定金属材料或零部件的拉伸性能,并使金属材料拉伸试验的结果具有可比性,拉伸试样的形状和尺寸及取样和制样应符合《金属材料 室温拉伸试验方法》(GB/T 228—2002),常用拉伸试样如图1-1(a)所示。图中 d_0 是圆形截面试样的直径, L_0 为试样的有效工作部分长度,称做原始标距。根据原始标距(L_0)与圆形截面试样直径(d_0)之间的关系,试样分长比例试样($L_0 = 10d_0$)和短比例试样($L_0 = 5d_0$)两种。拉伸试验时,一般优先选用短比例试样。

2. 拉伸曲线

试验前应检查试样外观是否符合要求。试样原始标距一般采用细画线或细墨线进行标定。拉伸试验机一般用液压万能试验机或电子万能试验机。

将拉伸试样安装在拉伸试验机上,缓慢且均匀施加轴向力 F ,观察并测定试样在外力作用下的变形过程,直至试样断裂为止。外力 F 与试样绝对伸长量之间的关系曲线称为力-伸长曲线。力-伸长曲线形象地描绘出材料的变形特征及各阶段受力与变形间的关系,可由该图形的形状来判断材料弹性与塑性好坏,断裂时的韧性脆性程度及不同变形下的承载能力。在拉伸试验时,利用试验机的自动绘图器可绘出力-伸长曲线。图1-1(b)所示是低碳钢力-伸长曲线($F-\Delta L$ 曲线),图中纵坐标为拉伸力,横坐标是绝对伸长量。

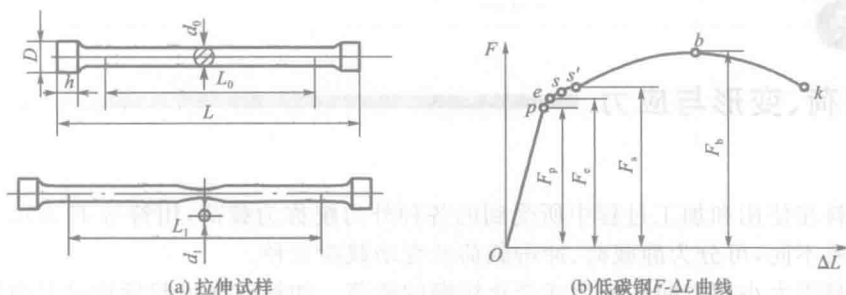


图 1-1 拉伸试样和低碳钢 $F-\Delta L$ 曲线

由图1-1(b)可知,试样伸长量随拉伸力增大而增大。拉伸力在 F_p 以下阶段(Op 段),试样在受力时发生变形,在此阶段中拉伸力和伸长量成正比例关系,卸除拉伸力后变形能完全恢复,该阶段为完全弹性变形阶段。在曲线的 pe 段,伸长量与拉伸力不再是正比例关系,拉伸曲线也就不再是直线,但仍处于弹性变形阶段。一般来说 p 点和 e 点是很接近的,实际过程中 p 点和 e 点一般不易分辨。

当所加的拉伸力 F 超过 F_e 后,拉伸力不增大或变化不大,试样仍继续伸长,开始出现明显的塑性变形。曲线上出现平台或锯齿(曲线 ess' 段),试验机示力盘上的主指针暂停转动或开始回转并往复运动。这种现象表明试样在承受的拉伸力不继续增大或稍微减少的情况下试样却继续伸长,这种现象称为材料的屈服。

在曲线的 $s'b$ 段,拉伸力增大,伸长沿整个试样长度均匀进行,继而进入均匀塑性变形阶段。同时随着塑性变形的不断增加,试样的变形抗力也逐渐增加,产生形变强化,这个阶段是材料的强化阶段。

在曲线的最高点(b 点),达到最大拉伸力 F_b 时,试样再次产生不均匀的塑性变形,变形主要集中于试样的某一局部区域,该处横截面积急剧减小,结果就形成了所谓“缩颈”现象。随着缩颈处截面不断减小,承载能力不断下降,到 k 点时,试样发生断裂。

由此可知,低碳钢在拉伸力作用下的表现过程可分为弹性变形阶段、屈服阶段、均匀塑性变形阶段、缩颈(集中塑性变形阶段)和断裂阶段。正火、退火碳素结构钢和一般低合金结构钢,也都具有类似的力-伸长曲线,只是力的大小和伸长量变化不同而已。

并非所有金属材料都具有相同类型的力-伸长曲线,即使是同一材料在不同条件下其力-伸长曲线也不相同。工程上使用的金属材料,多数在断裂前没有明显的塑性变形。有些材料不仅没有屈服现象,而且不产生“缩颈”现象。

3. 应力-应变曲线

力-伸长曲线只代表试样的力学性质,同一种材料的力-伸长曲线,横、纵坐标会因试样尺寸不同而各异。为了使同一种材料不同尺寸试样的拉伸过程及其特性点便于比较,以消除试样几何尺寸的影响,将力-伸长曲线的横、纵坐标分别用拉伸试样的原始标距 L_0 和原始横截面积 S_0 去除,则得到应力-应变曲线。因坐标数值均以一常数相除,故应力-应变曲线与力-伸长曲线形状相似,但消除了几何尺寸的影响。单向拉伸条件下的金属材料的力学性能指标就是在应力-应变曲线上定义的。如果试验能提供一条精确的应力-应变曲线,那么单向拉伸条件下的主要力学性能指标就可精确地确定。

三、金属的弹性变形

金属的弹性变形是一种可逆变形,弹性变形量一般不超过 $0.5\% \sim 1\%$ 。

1. 弹性模量

金属材料在弹性变形阶段,其应力 σ 和应变 ϵ 成正比例关系,即 $\sigma = E\epsilon$,其比例系数 E 称为弹性模量。在应力-应变曲线上, E 就是直线(Op 段)的斜率。弹性模量表示金属材料对弹性变形的抵抗能力, E 值越大,则产生相同的弹性变形量需要的外力越大,弹性变形越困难。

在工程技术中,机件在服役过程中都处于弹性变形状态,但过量的弹性变形则使机件丧失稳定性,特别是对于一些需严格限制变形的结构。机件在载荷作用下抵抗弹性变形的能力称为刚度。刚度的大小取决于机件的几何形状和材料的弹性模量。在机件横截面积不变的情况下,机件的刚度就取决于材料的弹性模量。

2. 弹性极限

弹性极限是金属材料在外力作用下,只发生弹性变形而不发生塑性变形时所能承受的最大应力。在应力-应变曲线上,弹性极限相当于 e 点所对应的应力值,用 σ_e 表示。

由于弹性极限是金属材料由弹性变形过渡到弹-塑性变形时的应力,由于测试条件的限制,在工程测试中很难测出准确而唯一的数值,所以实际测量时是测量规定非比例延伸率时的应力。在《金属材料 室温拉伸试验方法》(GB/T 228—2002)中称之为规定非比例延伸强度,并以脚注说明,用 R_p 表示。如测定试样标距部分的非比例延伸率 0.001% 时的应力,记为 $R_{p0.001}$ 。由此可见,弹性极限是表征最大弹性变形的抗力,或者说是表征微量塑性变形的抗力。

在实际工程应用中,几乎所有的弹性元件在工作时都不允许产生微小的塑性变形,只允许在弹性范围内工作。为此,弹性极限就成了这些零件的失效抗力指标。如测力弹簧就是依靠其应力与应变成正比例关系来显示负荷值的大小。制造这类工件的材料应以能保持弹性变形按正比例变化的最大抗力作为失效抗力指标。

3. 弹性比功

弹性比功是表示金属材料吸收弹性变形功的能力,一般用金属开始塑性变形前单位体积吸收的最大弹性变形功表示。金属拉伸时的弹性比功可表示为

$$\alpha_e = \frac{\sigma_e^2}{2E} \quad (1-1)$$

式中 α_e ——弹性比功；

σ_e ——弹性极限；

E ——弹性模量。

由上式可知,提高材料的弹性比功有两种途径:一是提高弹性极限 σ_e ,二是降低弹性模量 E 。但弹性模量是对组织不敏感的指标,金属材料的合金化和热处理对它影响不大。因此对于一般金属材料,只有用提高弹性极限的方法才能提高弹性比功。但是要提高一个具体零件的弹性比功,除采取提高弹性极限或降低弹性模量外,还可以增加零件的体积。

弹簧是典型的弹性零件,其主要作用是减震和储能驱动等。因此,弹簧在弹性范围内应有尽可能高的弹性比功,以便在弹性过程吸收弹性变形功,将其转变为弹性势能储存在弹簧内部。

四、强度与强度指标

1. 强度及其意义

强度是指金属材料抵抗塑性变形或断裂的能力,是工程技术上重要的力学性能指标。这里主要介绍生产中常用的单向静拉伸条件下的强度指标。

材料强度的大小,通常用单位面积所受的力来表示,其单位为 MPa。强度越高,相同截面积的材料在工作时所能承受的载荷就越大。当载荷一定时,选用高强度的材料,就可以减小机件的截面尺寸,从而减小其自重,对于汽车、船舶等交通运输工具的意义更加突出。

2. 屈服强度

金属材料在单向拉伸试验过程中,当应力超过弹性极限后,变形增加较快,此时除了弹性变形外,还产生部分塑性变形。随后在拉伸力不增加或上下波动的情况下,试样仍能继续伸长变形,在力-伸长曲线上出现一个波动的小平台,这便是屈服现象。金属材料拉伸试样发生屈服现象时,力所对应的点称为屈服点。用应力表示的屈服点称为屈服强度。

屈服现象是材料在拉伸时开始塑性变形的一个标志。屈服强度可以理解为金属材料开始产生明显塑性变形的最小应力值,其实质是金属材料对初始塑性变形的抗力。

屈服强度用符号 σ_s 表示,在《金属材料 室温拉伸试验方法》(GB/T 228—2002)中,用 R_{eL} (下屈服强度)选作为屈服强度指标。计算公式如下

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 σ_s ——屈服强度(MPa);

F_s ——试样屈服时的载荷(N);

S_0 ——试样原始横截面积(mm^2)。

有些金属材料(如高碳钢、黄铜等)在拉伸试验时无明显的屈服现象,对于这类材料用规定微量塑性伸长应力表征材料对微量塑性变形的抗力。规定微量塑性伸长应力是人为规定拉伸试样标距部分产生一定的微量塑性伸长率(如 0.01%、0.02%、0.2%等)时的应力。一般用试样发生 0.2% 塑性伸长率时的应力,称为条件屈服强度,用 $\sigma_{0.2}$ 表示。新标准中用