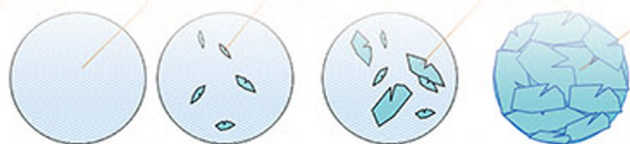
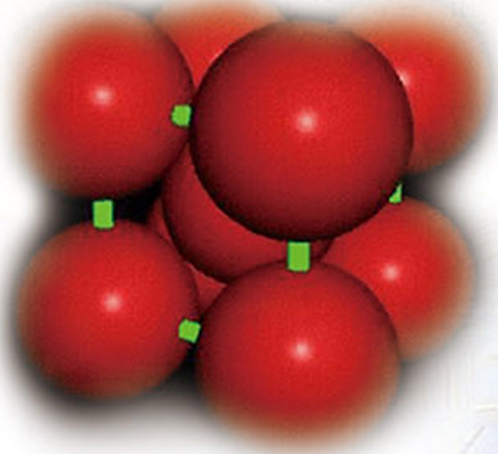


校企合作双元开发新形态“互联网+”创新型教材
高等职业教育机械设计制造类“十四五”应用型人才培养规划教材

工程材料及热处理

(智媒体版)

主 编◎许桂云 宋绍峰 杨 阳
副主编◎袁 秋 马朝平 刘秀珍 柳光利
主 审◎林昌华

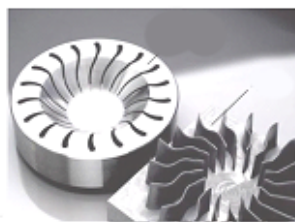


校企合作双元开发新形态“互联网+”创新型教材
高等职业教育机械设计制造类“十四五”应用型人才培养规划教材

工程材料及热处理

(智 媒 体 版)

主 编 许桂云 宋绍峰 杨 阳
副 主 编 袁 秋 马朝平 刘秀珍 柳光利
参 编 陈亚茹 黄 印 孙汇彬
主 审 林昌华
企业顾问 谢志敏 张德勇 孟晓敏 袁国兵
宁国松 马一龙



西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书以培养适应现代机械制造业发展的应用型高层次技术技能人才为目标,以工程材料的选用及实践技能训练为重点,注重培养学生分析问题、解决问题的能力,使其具备工程材料的选择应用能力和工程实践能力,既保证足够的理论知识深度,又强化专业技能实践。本书共分为9个项目,内容包括工程材料及其性能、金属与合金、钢的热处理、工业用钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料、新型材料、工程材料的合理选用,各项目由浅入深讲解理论知识,并设置针对性强的技能训练任务,强化学生实践技能的培养,以满足当前及未来制造业发展需要,助力“中国制造2025”。

本书可作为本科层次职业院校机械类、机电类及近机类专业教材,也可作为应用型本科院校、高职专科院校自学用书和职业技能培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及热处理:智媒体版 / 许桂云, 宋绍峰,
杨阳主编. —成都:西南交通大学出版社, 2022.3
校企合作双元开发新形态“互联网+”创新型教材
高等职业教育机械设计制造类“十四五”应用型人才培
养规划教材
ISBN 978-7-5643-8465-4

I. ①工… II. ①许… ②宋… ③杨… III. ①工程材
料-高等职业教育-教材②热处理-高等职业教育-教材
IV. ①TB3②TG15

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第253517号

校企合作双元开发新形态“互联网+”创新型教材
高等职业教育机械设计制造类“十四五”应用型人才培
养规划教材
Gongcheng Cailiao ji Rechuli (Zhimeiti Ban)
工程材料及热处理(智媒体版)

主编 许桂云 宋绍峰 杨 阳

责任编辑 李 伟
封面设计 何东琳设计工作室

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段111号
西南交通大学创新大厦21楼)

邮政编码 610031
发行部电话 028-87600564 028-87600533
网址 <http://www.xnjdcbs.com>
印刷 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 15.5
字数 405 千
版次 2022年3月第1版
印次 2022年3月第1次
书号 ISBN 978-7-5643-8465-4
定价 49.00 元

课件咨询电话:028-81435775
图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话:028-87600562

数字资源列表

序号	项目	资源名称	资源类型	页码
1	项目 1	低碳钢拉伸各阶段试样的变化	动画	008
2		拉伸曲线	动画	008
3		布氏硬度测量过程	动画	010
4		布氏硬度试验原理	动画	010
5		洛氏硬度测量过程	动画	010
6		洛氏硬度试验原理	动画	010
7		维氏硬度试验原理	动画	010
8		摆锤式冲击试验原理	动画	011
9		项目 1 答案	文本	020
10	项目 2	晶胞动画	动画	023
11		体心立方晶胞模型	动画	024
12		螺型位错	动画	028
13		渗碳体	动画	043
14		Fe-Fe ₃ C 相图分析 铁碳相图组织转变	动画	044
15		项目 2 答案	文本	057
16	项目 3	共析钢中奥氏体形成过程	动画	060
17		下贝氏体的形成过程	动画	066
18		片状马氏体的形成过程	动画	067
19		退火	视频	068
20		淬火	视频	071
21		调质处理	视频	074
22		感应淬火	视频	074
23		项目 3 答案	文本	084

续表

序号	项目	资源名称	资源类型	页码
24	项目 4	项目 4 答案	文本	119
25	项目 5	铸铁冶炼	视频	121
26		铸铁石墨化过程	动画	123
27		铸铁的分类	动画	124
28		灰铸铁和球墨铸铁	视频	126
29		可锻铸铁与灰口铸铁	视频	134
30		项目 5 答案	文本	139
31	项目 6	项目 6 答案	文本	166
32	项目 7	螺杆式注射机注射成型	视频	174
33		挤出成型原理	视频	175
34		项目 7 答案	文本	190
35	项目 8	形状记忆合金	视频	194
36		超导材料	动画	197
37		非晶态合金	动画	202
38		储氢合金	动画	205
39		纳米材料	动画	207
40		项目 8 答案	文本	213
41	项目 9	减速器主要零件选材	视频	221
42		项目 9 答案	文本	237



前言 PREFACE

“工程材料及热处理”是高等职业教育机械类专业的一门基础课。本书针对国家关于职业教育强化实践教学的要求,开展校企合作开发教学内容,让学生在完成具体项目理论基础知识的过程中,掌握金属材料性能及测试,二元合金相图、金相组织观察分析,热处理工艺知识,工业用钢、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料及新型材料的性能及应用,机械零件材料选择原则及方法,了解新材料、新技术、新工艺及其发展概况,培养工程应用专业技能。

《国家职业教育改革实施方案》指明职业本科教育要注重实践教学、促进校企合作,《职业教育提质培优行动计划(2020—2023年)》提出培养高素质创新型技术技能人才的要求,我校与企业工程技术人员进行深度合作,坚持理论知识够用、实践技能规范的原则,应用“互联网+”技术作为辅助教学手段,对项目的知识重点与难点配置了三维可视化图像及视频,可通过二维码扫码获取,有利于学生自学或课前预习、课后复习。教材体系结构分为两部分:理论基础知识和实践技能训练,注重实践教学,创新意识培养。

本书包括9个项目,每个项目内容按照基础理论知识、实践技能任务的顺序编写,基本按照企业真实的工作环境来设置实践训练项目。

本书由许桂云、宋绍峰、杨阳担任主编,袁秋、马朝平、刘秀珍、柳光利担任副主编,具体分工如下:项目1由柳光利编写,项目2由马朝平编写,项目3、项目7由袁秋编写,项目4由刘秀珍编写,绪论、项目5及项目8由宋绍峰编写,项目6、项目9由许桂云编写,杨阳参与项目1、5、6的编写,陈亚茹、黄印、孙汇彬参与教材编写、教学资源收集和整理工作等,许桂云、宋绍峰负责统稿。全书由林昌华教授担任主审,重庆红宇精密工业集团有限公司品质部部长谢志敏高级工程师、重庆嘉陵特种装备有限公司国家级大师工作室领衔人/高级技师张德勇、重庆诺奖二维材料研究院有限公司工程师孟晓敏、北京元道航空科技有限责任公司工程师袁国兵、重庆华数机器人有限公司工程师宁国松、重庆长安汽车股份有限公司工程师马一龙等担任企业顾问。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和不足之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2021年10月



目录

CONTENTS

0	0	绪论	001
1	项目 1	工程材料及其性能	004
	任务 1.1	工程材料及其分类认知学习	005
	任务 1.2	金属材料的性能认知学习	006
	任务 1.3	实践技能训练	017
2	项目 2	金属与合金	021
	任务 2.1	纯金属的晶体结构与结晶认知学习	022
	任务 2.2	合金的相结构与结晶认知学习	031
	任务 2.3	铁碳合金相图认知学习	041
	任务 2.4	实践技能训练	053
3	项目 3	钢的热处理	058
	任务 3.1	钢加热时的组织转变认知学习	060
	任务 3.2	钢冷却时的组织转变认知学习	062
	任务 3.3	钢的退火与正火认知学习	068
	任务 3.4	钢的淬火与回火认知学习	071
	任务 3.5	钢的表面热处理认知学习	074
	任务 3.6	其他热处理技术认知学习	077
	任务 3.7	热处理方案选择及工艺位置安排	079
	任务 3.8	实践技能训练	081

4

项目 4 工业用钢 085

- 任务 4.1 钢及其分类认知学习 086
- 任务 4.2 碳钢认知学习 087
- 任务 4.3 合金钢认知学习 092
- 任务 4.4 特殊性能钢认知学习 109
- 任务 4.5 实践技能训练 116

5

项目 5 铸 铁 120

- 任务 5.1 铸铁及其分类认知学习 121
- 任务 5.2 灰口铸铁认知学习 125
- 任务 5.3 球墨铸铁认知学习 128
- 任务 5.4 蠕墨铸铁认知学习 132
- 任务 5.5 可锻铸铁认知学习 133
- 任务 5.6 合金铸铁认知学习 135
- 任务 5.7 实践技能训练 137

6

项目 6 有色金属及其合金 140

- 任务 6.1 铜及铜合金认知学习 142
- 任务 6.2 铝及铝合金认知学习 147
- 任务 6.3 钛及钛合金认知学习 153
- 任务 6.4 镁及镁合金认知学习 156
- 任务 6.5 轴承合金认知学习 160
- 任务 6.6 其他有色金属及其合金认知学习 163
- 任务 6.7 实践技能训练 164

7

项目 7 非金属材料 167

- 任务 7.1 高分子材料认知学习 168
- 任务 7.2 陶瓷材料认知学习 183
- 任务 7.3 复合材料认知学习 184
- 任务 7.4 实践技能训练 188

8

项目 8

新型材料 191

- 任务 8.1 形状记忆合金认知学习 193
- 任务 8.2 超导材料认知学习 196
- 任务 8.3 非晶态金属认知学习 202
- 任务 8.4 储氢合金认知学习 204
- 任务 8.5 纳米材料认知学习 207
- 任务 8.6 吸能合金认知学习 210
- 任务 8.7 实践技能训练 211

9

项目 9

工程材料的合理选用 214

- 任务 9.1 机械零件选材的一般原则 215
- 任务 9.2 零部件的失效形式 218
- 任务 9.3 典型零件的选材及热处理 221
- 任务 9.4 工程材料的应用案例 229
- 任务 9.5 实践技能训练 235

参考文献 238

现代材料种类繁多,据统计,目前世界上的材料总和已达 40 万种,而工程材料是机械产品制造所必需的物质基础,是工业的“粮食”。工程材料的使用与人类文明进步密切相关,人类文明的历史就是材料发展的历史,其众多成果标志着人类文明的发展水平。至此,历史学家们将人类的历史按材料的使用情况划分成了石器时代、陶器时代、青铜器时代、铁器时代、新材料时代和纳米时代等。早在公元前 2000 年左右的青铜器时代,人类就开始对材料进行冶炼和加工制造。在夏代,我国就掌握了青铜冶炼术,到距今 3000 多年的殷商、西周时期,该技术达到了当时的世界高峰,用青铜制造的生产工具、生活用具、兵器和马饰得到普遍应用。河南安阳武官村挖掘出来的重达 875 kg 的后母戊鼎,不仅体积庞大,而且花纹精巧、造型美观。湖北江陵楚墓中发现的埋藏 2000 多年的越王勾践的宝剑仍金光闪闪,说明当时人们已掌握了锻造和热处理技术。春秋战国时期,我国开始大量使用铁器,白口铸铁、灰口铸铁、可锻铸铁等相继出现。公元 1637 年,明代科学家宋应星编著了闻名世界的《天工开物》,该书详细记载了冶铁、铸造、锻铁、淬火等各种金属加工制造方法,是最早涉及工程材料及成型技术的著作之一。对于陶瓷及天然高分子材料(如丝绸),我国也曾远销欧亚诸国,踏出了举世闻名的丝绸之路,为世界文明史添上了光辉的一页。19 世纪以来,工程材料获得了高速发展,到 20 世纪中期,金属材料的使用达到鼎盛时期,在机械制造业(如电工设备、农用机械、化工和纺织机械等)中,钢铁材料使用占比约 90%,有色金属占比约 5%;而汽车制造业中,有色金属与塑料的比例稍稍提高。工程材料的发展趋势将是传统材料不断扩大品种规模,降低成本提高性能质量;新材料应用推广特别是人工合成材料等的快速发展,形成金属、高分子、陶瓷及复合材料三分天下的时代。另外,功能材料、纳米材料等高科技材料的加速研究,逐渐成熟并获得应用。显然,工程材料已成为所有科技进步的核心关键。

实践证明,生产制造中往往由于选材不当或热处理不妥,致使机械零件使用性能达不到规定技术要求,从而导致零件在使用服役过程中诱发过量变形、过早磨损或诱发裂纹等而早期失效。所以,在生产实践中合理选定材料和热处理方法、正确制定工艺路线,对充分发挥材料本身的性能潜力,保证材料具有良好的加工性能,获得理想可靠的使用性能,对提高产品质量、节约材料、降低成本等都起着至关重要的作用。

目前,金属材料仍是机械产品应用中最主要的材料,它包括铁和以铁为基的合金(俗称黑色金属),如钢、铸铁和铁合金等;非铁金属材料(俗称有色金属),如铜及铜合金、铝及铝合金等。金属材料的性能与其化学成分、显微组织及加工工艺之间有着密切的联系,了解它们之间的关系,掌握它们之间的一些变化规律,是有效使用材料的必备之需。本书在概括阐述材料及合金的一般规律的基础上,以最常用的金属材料钢为实例,较详细地介绍了钢的性能与化学成分、显微组织和热处理工艺之间的关系。

0.2

本课程在教学中的地位

随着机械化生产规模的日益扩大,机械工业正朝着高速、自动、精密方向迅速发展,在机械产品的设计制造过程中,所遇到的材料及热处理方面的问题日益增多。在冶金、动力、化工、石油、轻纺、采矿、食品等许多部门工作的工作人员,都会经常触及不同类型的材料,这要求他们必须对材料具备一定的基础知识。因此,工程材料及热处理如同机械设计、机械制造、电工学、计算机应用技术一样,是高等学校工科的一门重要的技术基础课。

工程材料及热处理将为有关专业学生学习机械类、机电类课程提供必要的理论基础。

工程材料及热处理将使从事产品设计、工艺制定、管理等技术人员在了解产品结构、选材、选购设备、使用维护、产品故障分析等方面获得必要的基本知识。

通过本课程的基础理论和课程实践学习,学生可初步掌握材料性能知识、材料热处理工艺设计、工程材料的选用及维护等知识和技能,为日后产品技术革新创造条件。

工程材料及热处理是机械类多学科理论和实践的基础。其应放在机械类主干专业课程前必修,之后再行机械设计、机械制造、金属切削机床、金属切削原理及刀具等课程的学习。

更加广泛地应用低成本、高效率、高性能、高可靠的材料于工程各界,升级优化传统、研发推广更加先进适用的材料,全面实现机械化、自动化,对发展我国国民经济、加速推进实现我国现代化建设具有十分重要的意义。可以预见,在实现我国第二个百年奋斗目标的进程中,工程材料及热处理这门学科必将发挥越来越大的作用,而它自身也将会得到更大的发展。

0.3

本课程的内容及学习要求

本书包括9个项目,项目1重点阐述了工程材料的性能及其对应关系;项目2重点阐述了金属与合金相关知识;项目3重点阐述了钢的热处理原理,常见工程材料的热处理方法及应用;

项目 4 重点阐述了工业用钢分类、特性及其应用；项目 5 重点阐述了铸铁的相关知识；项目 6 重点阐述了有色金属及其合金；项目 7 重点阐述了非金属材料；项目 8 重点阐述了新型材料；项目 9 重点阐述了工程材料的合理选用。

工程材料及热处理的教学目的和任务是使学生获得常用工程材料的基础知识，为学习其他有关课程和将来从事生产技术工作奠定必要的基础。学完本课程后应达到下列基本要求：

- (1) 掌握常用工程材料的成分、组织结构、热处理工艺与性能之间的关系及变化规律；
- (2) 掌握常用工程材料的性能与应用，具备选用常用机械工程材料和改变材料性能方法的初步能力；
- (3) 了解与课程有关的新材料、新技术、新工艺及其发展概况。

0.4

本课程的学习方法

本课程立足实践性和实用性，强化实践环节，坚持科学性、适用性、特色性原则，以培养适应现代智能制造业发展的高层次技术技能人才为目标，注重培养学生分析问题、解决问题的能力，既保证足够的理论知识深度，又强化了专业技能实践。因此，学习本书时必须重视实践环节，必须通过试验、现场实习、金工实习及工厂实训来更好地体会、理解，在不断的实训中加深对书中理论知识的理解和应用。

本书体系结构分为两部分：理论基础知识和技能实践。重点项目设置了针对性强的技能训练任务，强化学生实践技能培养，以满足当前及未来制造业发展需要。为了强化理论性效果，增强学生的学习直观性，提高学生的学习兴趣，结合“互联网+”技术，在书中增加模拟动画、视频等数字化教学资源，通过扫描二维码即可查看。

各类学校不同专业在应用本书时，可根据需要灵活安排项目和学时。书中有些项目除可以采取课堂教授外，还可根据学校资源酌情采取认知实习、专家讲座、参与企业活动、课程设计等方式强化学习。

项目 1

工程材料及其性能

知识目标

- 了解工程材料的概念、分类及常用性能。
- 掌握金属材料的常用力学性能指标。
- 了解金属材料的物理、化学及工艺性能。

技能目标

- 熟练掌握金属材料的力学性能等基本概念。
- 能够根据零件的使用条件，选择金属材料的使用性能指标。
- 能够根据零件的使用条件，选择金属材料的工艺性能指标。

素养目标

- 培养听课专注、思维积极、独立完成作业、刻苦耐劳的精神。
- 培养科学严谨、勤劳务实、坚忍不拔的品格，遵守纪律、忠恕任事。
- 培养工匠精神，养成“怀匠心、铸匠魂、守匠情、践匠行”的精神，促进学生生成“匠意、匠思、匠智”。

任务导航

- 任务 1.1 工程材料及其分类认知学习
- 任务 1.2 金属材料的性能认知学习
- 任务 1.3 实践技能训练

引导案例

1998年6月3日,由慕尼黑开往汉堡的德国ICE884次高速列车,以速度200 km/h运行至距汉诺威东北方向附近的小镇埃舍德时,发生了第二次世界大战后德国最为惨重的列车脱轨行车事故。该列车由2节机车和12节车厢组成,事故发生后12节车厢全部脱轨。第一节车厢被抛向空中,接着又摔落在地面,后面的车厢则相互碰撞,扭曲地挤压在一起。在短短100多秒的时间里,车厢内的400名乘客有101人丧生,105人受重伤。

事后经过调查,人们发现造成事故的原因竟然是因为一节车厢的车轮“内部疲劳断裂”引起的。首先是一个车轮的轮箍发生断裂,导致车轮脱轨,进而造成车厢横摆,此时列车正好过桥,横摆的车厢以其巨大的力量将桥墩撞断,造成桥梁坍塌,压住了通过的列车车厢,并使已通过桥洞的车头及前5节车厢断开,而后面的几节车厢则在巨大惯性的推动下接二连三地撞在坍塌的桥体上,从而导致了这场惨重的铁路事故,如图1-1所示。



(a) 事故现场



(b) 损坏的车轮

图 1-1 事故现场及损坏的车轮

造成事故的原因是车轮“内部疲劳断裂”,属于金属疲劳现象。金属疲劳是工程材料的一项力学性能指标,那什么是“金属疲劳”呢?除了金属疲劳,工程材料还有哪些性能指标呢?这些问题就是本项目所要讲解的内容:工程材料及其性能。

知识导学

任务 1.1 工程材料及其分类认知学习

材料是人类赖以生存和发展的物质基础。20世纪70年代,人们把信息、材料和能源誉为当代文明的三大支柱。80年代以高技术群为代表的新技术革命,又把新材料、信息技术和生物技术并列为新技术革命的重要标志。这主要是因为材料与国民经济建设、国防建设和人民生活密切相关。

工程材料是指在机械、船舶、化工、建筑、车辆、仪表、航空航天等工程领域中用于制造工程构件和机械零件的材料。工程材料有各种不同的分类方法，一般都将工程材料按化学成分分为金属材料、非金属材料、高分子材料和复合材料四大类。

1. 金属材料

金属材料具有良好的导电性、导热性、塑性和金属光泽，是目前用量最大、应用最广泛的工程材料，包括金属和以金属为基的合金。工业上把金属和其合金分为两大部分：

(1) 黑色金属材料：铁和以铁为基的合金（钢、铸铁和铁合金）。

(2) 有色金属材料：黑色金属以外的所有金属及其合金。

应用最广的是黑色金属。以铁为基的合金材料占整个结构材料和工具材料的 90.0%以上。黑色金属材料的工程性能比较优越，价格也较便宜，是最重要的工程金属材料。有色金属按照性能和特点可分为轻金属、易熔金属、难熔金属、贵金属、稀土金属和碱土金属。它们是重要的有特殊用途的材料。

2. 非金属材料

非金属材料也是重要的工程材料。它包括耐火材料、耐火隔热材料、耐蚀（酸）非金属材料 and 陶瓷材料等。

3. 高分子材料

高分子材料为有机合成材料，也称聚合物。它具有较高的强度、良好的塑性、较强的耐腐蚀性能、很好的绝缘性和质量轻等优良性能，在工程上是发展最快的一类新型结构材料。高分子材料种类很多，工程上通常根据机械性能和使用状态将其分为三大类：塑料、橡胶、合成纤维。

4. 复合材料

复合材料就是用两种或两种以上不同材料组合的材料，其性能是其他单质材料所不具备的。复合材料可以由各种不同种类的材料复合组成。它在强度、刚度和耐蚀性方面比单纯的金属、陶瓷和聚合物都优越，是特殊的工程材料，具有广阔的发展前景。复合材料分为金属基复合材料、陶瓷基复合材料、石墨基复合材料和聚合物基复合材料。

工程材料的常用性能主要指材料的使用性能和工艺性能。

使用性能指材料在使用条件下表现出的性能，包括强度、塑性和韧性等力学性能，声、光、电磁等物理性能，以及耐蚀性、抗氧化、耐热性等化学性能。

工艺性能指材料在加工过程中表现出的性能，如金属材料的铸造性能、锻造性能等。

任务 1.2 金属材料的性能认知学习

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两类。所谓使用性能，是指机械零件在使用

条件下金属材料表现出来的性能，包括力学性能、物理性能和化学性能等。金属材料使用性能的好坏，决定了它的使用范围与使用寿命。所谓工艺性能，是指机械零件在加工制造过程中，金属材料在特定的冷、热加工条件下表现出来的性能。金属材料工艺性能的好坏，决定了它在制造过程中加工成型的适应能力。由于加工条件不同，要求的工艺性能也就不同，如铸造性能、可焊性、可锻性、热处理性能、切削加工性等。

1.2.1 使用性能

1. 力学性能

材料的力学性能是指材料在不同环境（温度、介质、湿度）下，承受各种外加载荷（拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等）时所表现出的力学特征。衡量材料力学性能的主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。材料的力学性能是零件设计、材料选择及工艺评定的主要依据。

1) 强度和塑性

材料在外力作用下抵抗永久变形和破坏的能力称为强度。根据外力性质不同，强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等。当承受拉力时，强度性能指标主要表现为屈服强度和抗拉强度。塑性是指材料在断裂前发生永久变形的能力。常用的塑性指标有断后伸长率（延伸率）和断面收缩率。

材料的强度指标和塑性指标是通过拉伸试验测定的。拉伸试验的试件要按国家标准规定的形状和尺寸，做成标准试样，以便比较不同材料的试验结果。对于金属材料，通常采用如图 1-2 所示的圆柱形标准试样。低碳钢是工程上使用最广泛的材料，同时，低碳钢试样在拉伸试验中所表现出的变形与抗力间的关系也比较典型。下面就以低碳钢的拉伸试验为例，介绍材料的强度指标和塑性指标。

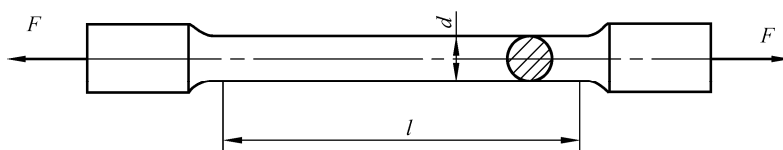


图 1-2 标准拉伸试样

在拉伸试验机上夹紧试样两端，缓慢施加轴向载荷，使之发生变形直至断裂。通过试验可以得到拉力与试样伸长量之间的关系曲线（即拉伸图）。试样的拉伸图与试样的几何尺寸有关，为了消除试样几何尺寸的影响，将拉伸过程中试样所受的力转化为试样单位截面积上所受的力（称为应力），试样伸长量转化为试样单位长度上的伸长量（称为应变），得到应力-应变曲线，如图 1-3 所示，其形状与拉伸图完全一致。

低碳钢的拉伸试验大致可分为以下 4 个阶段。

(1) 弹性阶段。由图 1-3 可知，应力-应变曲线中 OP 段为一条倾斜直线，此时应力和应变成比例关系， P 点所对应的应力为保持这种比例关系的最大应力，称为比例极限，用 R_p 表示。图中的 PA 段，应力超过比例极限 R_p ，应力与应变不再是线性关系。但当应力不超过 A 点所对应的应力时，卸载后，变形仍可完全消失，这种变形为弹性变形， R_A 称为弹性极限。

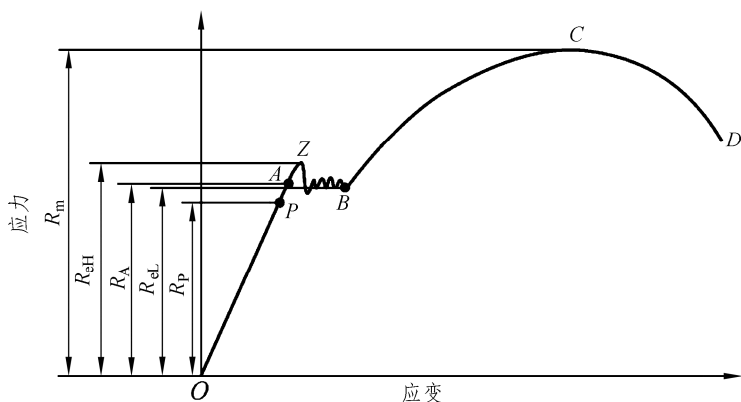


图 1-3 低碳钢的应力-应变曲线

材料在 OP 段, 其应力和应变成正比, 其比值称为弹性模量, 用 E 表示, 单位符号为 MPa 。刚度是指材料在受力时抵抗弹性变形的能力, 是材料产生弹性变形难易程度的表征。材料的刚度通常用弹性模量 E 来衡量。弹性模量越大, 材料产生一定量的弹性变形所需的应力就越大, 表明材料越不易产生弹性变形, 即材料的刚度大。如果材料的刚度不足, 则易发生过大的弹性变形而产生失效。弹性模量的大小主要取决于材料的本性, 一些处理方法 (如热处理、合金化、冷热加工等) 对它影响很小。常见金属的弹性模量见表 1-1。

表 1-1 常见金属的弹性模量

金属	弹性模量 E/MPa	金属	弹性模量 E/MPa
铝 (Al)	72 000	铁 (Fe)	214 000
铜 (Cu)	132 400	镍 (Ni)	210 000
镁 (Mg)	45 000	钛 (Ti)	118 000

(2) 屈服阶段。当应力超过 A 点增加到某一数值时, 在应力-应变曲线上出现锯齿形线段 ZB , 此时应力几乎不变, 而应变却显著增大, 暂时失去抵抗变形的能力, 这种现象称为屈服或流动。若卸去外加载荷, 则试样会留下不能恢复的残余变形, 这种不能随载荷去除而消失的残余变形称为塑性变形。在金属材料呈现屈服现象时, 在试验期间发生塑性变形而力不增加的应力点称为屈服点, 其所对应的强度称为屈服强度, 屈服强度又分为上屈服强度 R_{eH} 和下屈服强度 R_{eL} , 单位符号为 MPa 。

对没有明显屈服现象的材料, 国家标准规定取试样产生 0.2% 的塑性应变时的应力值作为该材料的名义屈服强度, 用 $R_{p0.2}$ 表示。机械零件在使用时, 一般不允许发生塑性变形, 所以屈服强度是衡量材料强度的一个重要指标。

(3) 强化阶段。屈服阶段后, 材料抵抗变形的能力有所恢复, 在应力-应变曲线上自 B 点开始继续升高到 C 点为止。这种材料又恢复抵抗变形的能力的现象称为材料的强化。曲线最高点 C 对应的应力值用 R_m 表示, 称为材料的抗拉强度, 单位符号为 MPa , 它是材料所能承受的最大应力。抗拉强度是衡量材料强度的另一个重要指标。