



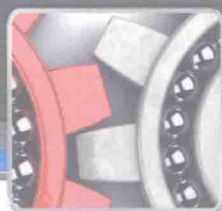
“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

模具材料及 材料成形工艺

第2版

MUJU CAILIAO JI CAILIAO CHENGXING GONGYI

◎ 艾小玲 石淑琴 主编



配教学资源



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定

模具材料及材料成形工艺

第2版

主 编	艾小玲	石淑琴	
副主编	熊承刚		
参 编	朱 红	陈训杰	徐 立
	葛莉玲	张均红	
主 审	熊其兴		



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是“十二五”职业教育国家规划教材,是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准(试行)》,同时参考热处理工和模具钳工职业资格标准编写的。本书主要内容有金属材料的性能、金属材料的组织结构、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、工业用钢、铸铁、模具材料概述、热作模具材料及其热处理、塑料模具材料及其热处理、冷作模具材料及其热处理、非铁金属及粉末冶金材料、非金属材料及新型材料简介、金属材料的铸造成形工艺、金属材料的锻压成形工艺和金属材料的焊接成形工艺。本书的主要特色是将工程材料与模具材料有机地融合起来,避免模具设计与制造专业的学生重复学习,同时每章后都有案例分析,以便于学生理解。为便于教学,本书配套有电子教案、助教课件、教学视频等教学资源,选择本书作为教材的教师可来电(010-88379193)索取,或登录 www.cmpedu.com 网站,注册、免费下载。

本书可作为高等职业院校(三年制或五年制)模具设计与制造、机械制造及自动化及近机类等相关专业的教材,也可作为机械类工程技术人员岗位培训的教材。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料及材料成形工艺/艾小玲,石淑琴主编. —2版. —北京:机械工业出版社,2014.7

“十二五”职业教育国家规划教材

ISBN 978-7-111-47191-2

I. ①模… II. ①艾…②石… III. ①模具-工程材料-高等职业教育-教材②模具-工程材料-成型加工-高等职业教育-教材 IV. ①TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第140811号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:汪光灿 责任编辑:吕芳 责任校对:张征

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2014年8月第2版第1次印刷

184mm×260mm·14印张·331千字

0 001—2 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-47191-2

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

第2版前言

本书是按照教育部《关于开展“十二五”职业教育国家规划教材选题立项工作的通知》，经过出版社初评、申报，由教育部专家组评审确定的“十二五”职业教育国家规划教材，是根据《教育部关于“十二五”职业教育教材建设的若干意见》及教育部新颁布的《高等职业学校专业教学标准（试行）》，同时参考热处理工和模具钳工职业资格标准编写的。

本书主要内容有金属材料的性能、金属材料的组织结构、金属的塑性变形与再结晶、钢的热处理、工业用钢、铸铁、模具材料概述、热作模具材料及其热处理、塑料模具材料及其热处理、冷作模具材料及其热处理、非铁金属及粉末冶金材料、非金属材料及新型材料简介、金属材料的铸造成形工艺、金属材料的锻压成形工艺和金属材料的焊接成形工艺。本书编写过程中力求体现工学结合、案例分析的特色，编写模式新颖，主要以模具材料及其热处理过程为主线，系统地介绍和阐述了一般金属材料、热作模具材料、塑料模具材料、冷作模具材料及案例和新工艺，将模具材料的性能、分类与应用及金属材料热处理的基本知识、基本原理、工艺与实践紧密结合，使学生对模具材料及其热处理有一个全面的认识，达到学以致用、学而会用的目的。同时，邀请了中石化江汉石油管理局第四石油机械厂培训中心主任陈训杰高级工程师参加本书的编写工作。

本书在内容处理上主要有以下几点说明：在教学上注重案例分析，将理论与实践密切结合；可以采取讨论的方式进行教学；适合40~60学时；注意前后知识的衔接与综合应用，重视实验、实习教学环节，把握重点，以点带面。

本书由武汉职业技术学院艾小玲、石淑琴任主编，熊承刚任副主编，参与编写人员及分工如下：艾小玲编写绪论和第1、2、4、5章，并负责全书统稿；朱红编写第3、6章；石淑琴编写第7、8章；徐立编写第9章；葛莉玲编写第10章；陈训杰编写第11、12章；熊承刚编写第13、14章；张均红编写第15章。本书由武汉职业技术学院熊其兴高级工程师任主审。本书经全国职业教育教材审定委员会审定，教育部专家在评审过程中对本书提出了很多宝贵的建议，在此对他们表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者

第1版前言

本书是根据教育部职业教育关于职业技术教学改革的意见、职业教育的特点和近几年材料的发展以及对职业院校学生的培养要求,在总结近几年职业教育专业基础课程改革经验的基础上编写的。

随着高等职业教育的发展,重整课程,优化教学资源,突出实用性、综合性和先进性成为了课程改革的新方向。本书采用最新国家标准,结合先进科学技术,充分考虑高职高专的特色,将原工程材料、模具材料和材料成形工艺等内容有机地融合在一起,并对原有内容和结构进行了相应的调整和补充。因此,编写本书的目的,就是使学生在掌握了一般机械工程材料及普通热处理工艺的知识后,能够进一步较全面地了解各种模具材料的性能、热处理工艺和表面处理技术,进而制订正确的热处理工艺,以提高模具的使用寿命,降低生产成本,提高产品的经济效益,这也是本书与其他同类教材的不同之处。

本书共 15 章,涵盖工程材料及热处理、金属热加工工艺等知识。

本书由艾小玲和石淑琴任主编,由熊承刚任副主编,朱红、徐立、葛莉玲、张均红参加编写。其中艾小玲编写绪论和第 1、2、4、5 章,并负责全书统稿;石淑琴编写第 7、8 章;徐立编写第 9 章;葛莉玲编写第 10 章;朱红编写第 3、6、11、12 章;熊承刚编写第 13、14 章;张均红编写第 15 章。本书由熊其兴主审。

本书在编写过程中得到了武汉职业技术学院、浙江机电职业技术学院、武汉船舶职业技术学院等院校老师的指导和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中错误和缺点在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第2版前言

第1版前言

绪论

第1章 金属材料的性能	3
1.1 金属材料的力学性能	3
1.1.1 强度	3
1.1.2 刚度	5
1.1.3 塑性	6
1.1.4 硬度	6
1.1.5 冲击韧度	9
1.1.6 疲劳强度	10
1.1.7 断裂韧度	11
1.2 金属材料的高温力学性能	12
1.3 案例	13
思考题	14
第2章 金属材料的组织结构	15
2.1 金属的结构	15
2.1.1 金属的晶体结构	15
2.1.2 金属的实际晶体结构	17
2.1.3 合金的晶体结构	19
2.2 金属的结晶	20
2.2.1 纯金属的结晶	20
2.2.2 合金的结晶	22
2.2.3 铁碳合金的结晶	24
2.2.4 典型铁碳合金的冷却过程及其组织	27
2.3 案例	33
思考题	34
第3章 金属的塑性变形与再结晶	35
3.1 金属的塑性变形	35
3.1.1 单晶体的塑性变形	35
3.1.2 多晶体的塑性变形	37
3.2 冷塑性变形对金属组织和性能的影响	38
3.2.1 冷塑性变形对金属组织的影响	38
3.2.2 冷塑性变形对金属性能的影响	38

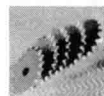
3.2.3 冷塑性变形使金属产生残余应力	39
3.2.4 冷变形强化在生产中的影响	39
3.3 回复与再结晶	40
3.3.1 回复	40
3.3.2 再结晶	40
3.3.3 晶粒长大	41
3.4 金属的热塑性变形	42
3.4.1 热加工与冷加工的区别	42
3.4.2 热加工对金属组织和性能的影响	42
3.5 案例	43
思考题	44

第4章 钢的热处理

4.1 钢的热处理基础	45
4.1.1 钢的奥氏体化	46
4.1.2 奥氏体的晶粒大小及其影响因素	47
4.2 钢在冷却时的组织转变	48
4.2.1 过冷奥氏体的等温转变	48
4.2.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	51
4.2.3 等温转变与连续冷却转变的比较	53
4.3 钢的普通热处理	53
4.3.1 钢的预备热处理	53
4.3.2 钢的最终热处理	56
4.4 钢的表面热处理	61
4.4.1 钢的表面淬火	61
4.4.2 钢的化学热处理	62
4.5 金属材料热处理工艺设计	65
4.5.1 热处理的技术条件	65
4.5.2 常见的热处理缺陷	67
4.5.3 热处理零件的结构工艺性	67
4.5.4 热处理工序位置的确定	67
4.6 案例	69
思考题	70

第5章 工业用钢

5.1 铁碳合金	72
5.1.1 钢的分类	72
5.1.2 铸铁的分类	73
5.2 常存元素和合金元素对钢性能的影响	74
5.2.1 常存杂质元素对钢性能的影响	74
5.2.2 合金元素在钢中的作用	74
5.3 碳素钢	77
5.4 合金钢	80

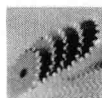


5.4.1 合金钢的分类及牌号	81
5.4.2 合金结构钢	81
5.4.3 合金工具钢	88
5.4.4 特殊性能钢	91
5.5 案例	94
思考题	95
第6章 铸铁	96
6.1 铸铁的石墨化	96
6.2 常用铸铁	97
6.2.1 灰铸铁	97
6.2.2 球墨铸铁	99
6.2.3 蠕墨铸铁	101
6.2.4 可锻铸铁	101
6.3 案例	102
思考题	102
第7章 模具材料概述	103
7.1 模具及模具材料的分类	103
7.1.1 模具的分类	103
7.1.2 模具材料的分类	103
7.2 模具材料的主要指标	104
7.2.1 模具材料的使用性能	104
7.2.2 模具材料的工艺性能	105
7.2.3 模具选材的一般原则	105
7.3 模具材料	106
7.3.1 模具材料的种类	106
7.3.2 模具材料的硬度	106
7.3.3 模具材料的冶金质量	106
7.4 模具的制造工艺	107
7.4.1 锻造工艺	107
7.4.2 热处理工艺	107
7.5 模具的使用与维护	107
7.6 案例	108
思考题	109
第8章 热作模具材料及其热处理	110
8.1 热作模具的工作条件及失效形式	110
8.1.1 锤锻模	110
8.1.2 热挤压模	110
8.1.3 压铸型	111
8.1.4 热冲裁模	111
8.2 热作模具材料的性能要求	112

8.2.1 热作模具材料的使用性能要求	112
8.2.2 热作模具材料的工艺性能要求	112
8.3 热作模具材料的选材及热处理	113
8.3.1 热作模具钢	113
8.3.2 其他热作模具材料	116
8.3.3 热作模具的选材	117
8.3.4 热作模具的制造工艺路线	117
8.4 案例	117
思考题	119

第9章 塑料模具材料及其热处理	120
9.1 塑料模具的工作条件及失效形式	120
9.1.1 塑料模具的工作条件	120
9.1.2 塑料模具的失效形式	121
9.2 塑料模具材料的性能要求	121
9.2.1 塑料模具材料的使用性能要求	121
9.2.2 塑料模具材料的工艺性能要求	122
9.3 塑料模具材料的分类及热处理	122
9.3.1 塑料模具钢及其热处理	122
9.3.2 其他塑料模具材料	125
9.4 塑料模具的选材及热处理实例	125
9.4.1 塑料模具的选材原则	125
9.4.2 塑料模具的选材方法	125
9.5 塑料模具的热处理特点	127
9.5.1 淬硬钢塑料模的热处理	128
9.5.2 渗碳钢塑料模的热处理	128
9.5.3 时效硬化钢塑料模的热处理	128
9.6 案例	129
思考题	130

第10章 冷作模具材料及其热处理	131
10.1 冷作模具的工作条件及失效形式	131
10.1.1 冲裁模	131
10.1.2 拉深模	131
10.1.3 冷镦模	132
10.1.4 冷挤压模	132
10.2 冷作模具材料的性能要求	133
10.2.1 冷作模具材料的使用性能要求	133
10.2.2 冷作模具材料的工艺性能要求	134
10.3 冷作模具材料的分类及热处理	135
10.3.1 冷作模具钢	135
10.3.2 硬质合金	144
10.4 案例	145

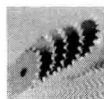


思考题	146
第 11 章 非铁金属及粉末冶金材料	147
11.1 铝及铝合金	147
11.1.1 工业纯铝	147
11.1.2 铝合金	147
11.2 铜及铜合金	151
11.2.1 工业纯铜	151
11.2.2 铜合金	151
11.3 轴承合金	154
11.3.1 轴承合金的性能特点	154
11.3.2 轴承合金的组织特征	155
11.3.3 常用的轴承合金及其牌号	155
11.4 粉末冶金及硬质合金	156
11.4.1 粉末冶金	156
11.4.2 硬质合金	157
11.5 案例	158
思考题	158
第 12 章 非金属材料及新型材料简介	159
12.1 工程塑料	159
12.1.1 塑料的组成	159
12.1.2 工程塑料的分类	159
12.1.3 常用工程塑料的性能和用途	160
12.2 工业橡胶	161
12.2.1 橡胶的组成	161
12.2.2 橡胶的分类	161
12.2.3 橡胶的性能特点	162
12.3 陶瓷材料	162
12.3.1 陶瓷材料的性能特点	163
12.3.2 常用工程陶瓷的种类、性能和用途	163
12.4 复合材料	163
12.4.1 复合材料的性能	164
12.4.2 常用复合材料	164
12.5 案例	165
思考题	165
第 13 章 金属材料的铸造成形工艺	166
13.1 概述	166
13.2 铸造方法	166
13.2.1 砂型铸造	166
13.2.2 熔模铸造	170
13.2.3 金属型铸造	171

13.3 铸造工艺	172
13.3.1 浇注位置与分型面的选择	172
13.3.2 浇注系统和冒口的设计	173
13.3.3 铸造工艺参数的选择	175
13.3.4 铸造工艺图	177
13.4 案例	178
思考题	179

第14章 金属材料的锻压成形工艺	180
14.1 概述	180
14.2 坯料的加热与锻件的冷却	180
14.2.1 坯料的加热	180
14.2.2 锻件的冷却	181
14.3 锻压方法与工艺	181
14.3.1 自由锻	181
14.3.2 模锻	184
14.3.3 胎模锻	185
14.3.4 冲压	185
14.4 案例	190
思考题	190

第15章 金属材料的焊接成形工艺	192
15.1 概述	192
15.2 焊接方法与工艺	192
15.2.1 熔化焊	192
15.2.2 压焊	192
15.2.3 钎焊	193
15.2.4 焊条电弧焊	193
15.3 气焊和气割	198
15.3.1 氧乙炔焰	199
15.3.2 气焊的设备及工具	199
15.3.3 气焊的焊丝与焊剂	200
15.3.4 气焊工艺	201
15.3.5 气焊基本操作	201
15.3.6 气割	201
15.4 埋弧焊	202
15.5 电阻焊	202
15.6 常用金属材料的焊接	204
15.6.1 碳素钢的焊接	204
15.6.2 低合金结构钢的焊接	204
15.6.3 不锈钢的焊接	204
15.6.4 铸铁的补焊	205
15.6.5 铝及其合金的焊接	205



15.6.6 铜及其合金的焊接	205
15.6.7 不锈钢与碳素钢的焊接	206
15.6.8 铸铁与低碳钢的焊接	206
15.6.9 钢与铜及其合金的焊接	207
15.7 焊接缺陷分析	207
15.8 案例	210
思考题	211
参考文献	212

绪 论

1. 材料科学与模具材料的概述

材料是人类生活和生产的物质基础,是社会发展的基石。翻开人类进化史,我们不难发现,材料的开发、使用和完善贯穿其始终,从天然材料的应用到陶瓷、青铜器的制造,从钢铁的冶炼到材料的合成,人类成功地生产出满足自身需求的材料,从而使自身走出深山,奔向茫茫平原、辽阔的海洋,飞向广袤的太空。由此可见,材料的划时代作用是不容忽视的,它犹如支撑万丈高楼的基石,支撑着人类文明,成为人类文明进步的标志。

材料的用途很多,广义地讲,食品、药品、燃料、木材、沙石、肥料、水、空气等都是材料,但一般工业和工程领域中所说的材料是指工程材料,即用于制造工程构件、机械零件、工模具等的材料,如金属材料、陶瓷材料、聚合物和复合材料等。

模具是一种重要的加工工艺装备,是国民经济各工业部门发展的重要基础之一。模具性能的好坏、寿命的长短,直接影响产品的质量和经济效益。而模具的材料与热处理、表面处理是影响模具寿命的主要因素。所以,目前世界各国都在不断地开发模具新材料,改进强韧化热处理新工艺和表面强化新技术。

成形技术的发展也同样促进了科学技术的发展。如实型铸造方法的出现,使铸造的质量精度、工人的作业环境得到了大幅度的改善;又如精密模锻锻造出的齿轮,无须再进行切削加工,就可以使流线合理分布,提高了零件的承载能力,减少了制造工序,缩短了生产周期,提高了生产率。

2. 本教材的内容、特点及性质

(1) 内容 本教材介绍了钢铁、铝、铜、轴承合金、塑料、橡胶、陶瓷、复合材料等常用材料的牌号、性能及应用,并围绕材料的化学成分、组织、结构及加工工艺对性能的影响规律而展开,突出了工程材料特别是模具材料的选择、使用、强化和热加工等工程应用方面的内容。其中模具材料及其加工方法的选择是一个非常复杂的问题,使学生掌握这方面的知识是本课程的主要任务之一。

近几年,我国模具材料发展迅速,在冷作模具用钢方面开发出了一批高性能的新钢种如 7Cr7Mo2V2Si (LD)、7CrSiMnMoV (CH-1)、9Cr6W3Mo2V2 (GM),这些钢种具有较高的强韧性、耐磨性和良好的综合工艺性能。在热作模具用钢方面,结合国内资源研制了十几种新钢种,如 4CrMnSiMoV 和 5Cr2NiMoVSi,其性能优于 5CrMnMo;热锻、热挤、精锻用的 4Cr3Mo3W4VNb (GR)、3Cr3MoVNb (HM3) 和 3Cr3Mo3W2V (HM1),具有高的热稳定性、高温强度、热疲劳性及耐磨性。这些模具用钢经过强韧化处理和表面处理后,其模具的综合性能和使用寿命得到了显著提高。

除此之外,本教材还讲述了铸、锻、焊成形方法和热处理的基本原理。

(2) 特点及性质 本课程是机械、模具类专业的专业基础课,课程内容以定性描述为

主,具体表现为“三多”,即名词、概念、术语多,定性描述、经验总结多,记忆性的内容、规律多。这会使学生在学习过程中感到枯燥,产生厌学、畏难情绪。因此,学生在学习本课程的过程中一是应了解材料的成分、组织、结构及工艺之间的关系;二是应掌握各种工程材料(重点是金属材料)和模具材料的基本特性和应用范围;三是要注意前后知识的衔接与综合应用,重视实验、实习教学环节,把握重点、以点带面,这样才能高效率地学好本课程。

模具是一种重要的加工工艺装备,是国民经济各工业部门发展的重要基础之一。模具性能的好坏、寿命的长短,直接影响产品的质量。因此,本课程前面几个知识点讲授工程材料的基础理论,在此基础上重点讲述模具材料的选择及应用,将普通工程材料与模具材料有机地结合起来。

3. 学习目的及任务

(1) 目的 通过本课程的学习,学生可掌握有关机械工程材料的基本理论和基本知识及成形加工工艺方法,为将来应用工程材料及模具材料和学习有关课程奠定坚实的基础。

“模具材料”是模具设计与制造专业的一门专业课程。学生在学过一些工程材料的知识后,对材料及热处理等有了初步了解,但缺少对模具选材、加工等综合分析方法的训练,缺少模具新材料、新工艺技术方面的知识,与模具设计、制造工艺之间的联系不够紧密。同时,由于模具材料种类繁多,性能各异,而模具的使用性能和使用寿命都与合理选择模具材料、确定合适的热处理工艺、采用适当的表面处理技术等有密切的关系。

学习本课程的目的,就是使学生在掌握了一般模具材料及热处理的知识后,能够较全面地了解各种模具材料的性能、热处理工艺和表面处理技术,从而合理地选择模具材料,制订正确的热处理工艺流程,以提高模具的使用寿命,降低生产成本,提高产品的经济效益。

(2) 任务 通过本课程的学习,学生应了解材料的成分、组织结构、工艺手段及外界条件改变对其性能的影响;掌握各种模具材料(重点是金属材料)的基本特性和应用范围及其强化和改善性能的途径、基本原理与方法;了解模具材料及模具表面处理技术的现状和发展趋势,掌握各类模具材料的特性、强韧化方法和使用范围,初步具备选用常用模具材料及其热处理方法的能力;初步具有正确选择一般机械零件的热处理工艺、成形加工方法及确定其工序位置的能力。

第 1 章 金属材料的性能

从图 1-1 和图 1-2 中可以看出油轮和模具出现了断裂和裂纹，说明零部件发生了破坏，不能满足使用要求。零部件出现破坏的现象与材料的性能是密切相关的。

为了更好地研究材料的成分、组织和性能之间的关系，合理选择和使用材料，应充分了解材料的性能。材料的性能包括使用性能和工艺性能。材料的使用性能是指材料在保证机械零件或工具正常使用状态下应具备的性能，包括力学性能、物理性能和化学性能等。材料的工艺性能是指材料在机械零件或工具制造中应具备的性能，包括切削加工性能和热加工性能。

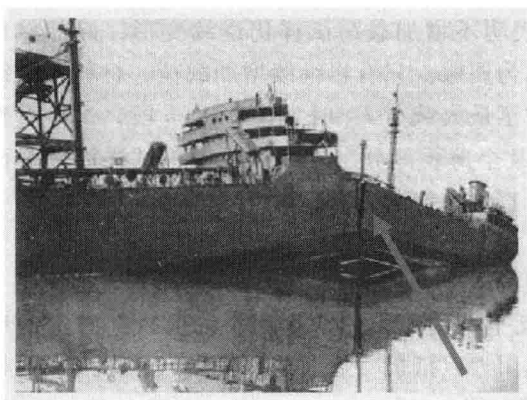


图 1-1 万吨油轮断裂

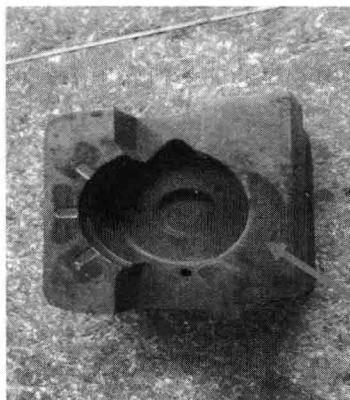


图 1-2 压铸模的龟裂

1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指材料抵御载荷（即外力）作用的能力，包括强度、刚度、硬度、塑性、韧性和疲劳强度等。力学性能是设计和制造零件最重要的指标，也是控制材料质量的主要参数，制造各类构件的金属材料都要满足规定的力学性能指标。

1.1.1 强度

1. 拉伸试验

拉伸试验是指用静拉力对拉伸试样进行缓慢的轴向拉伸，直至拉断的一种试验方法。在拉伸试验中和拉伸试验后，可测量力的变化与试样相应的伸长量，从而得出材料的强度与塑性的关系。材料在拉伸力作用下一般会出现三个过程，即弹性变形、塑性变形和断裂。弹性

变形是指材料在载荷卸除后能恢复到原形的变形，而塑性变形是载荷卸除后永久保留下来的变形。对于不同类型的载荷，这三个过程的发生和发展是不同的，使用中一般多用静拉伸试验法来测定金属材料的强度和塑性指标。低碳钢试样的拉伸过程具有典型意义。试验时，拉伸试样如图 1-3 所示，在拉伸试验机上缓慢增加载荷，记录载荷与伸长量的数值，直至试样拉断，便可获得如图 1-4 所示的载荷与伸长量之间的关系曲线，即拉伸曲线。

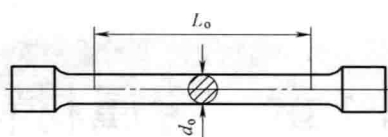


图 1-3 钢的拉伸试样

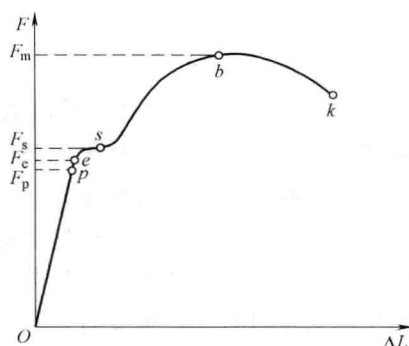


图 1-4 退火低碳钢拉伸曲线

当载荷不超过 F_e 时，若除去载荷，则试样恢复到原来的形状，这一阶段 (Oe 段) 称为弹性变形阶段，在此阶段，载荷与伸长量成正比关系，载荷 F_e 是使试样只产生弹性变形的最大载荷。

当载荷超过 F_e 时，卸除载荷后，试样不能恢复到原来的状态，即产生了塑性变形。当载荷增加到 F_s 时，即 (es 段) 曲线出现一个小平台，此平台表明不增加载荷试样仍继续变形，好像材料已经失去抵御外力的能力而屈服了，这种现象称为屈服。只有再继续增加载荷，材料才继续伸长，此时试样已产生大量的塑性变形，直到增至最大载荷 F_m 时为止。在 sb 段，试样沿整个长度均匀伸长。当载荷达到 F_m 后，试样就在某个薄弱部分出现缩颈。由于试样局部截面积逐渐减小，试样所能承受的载荷也逐渐减小，直到最终断裂。

2. 常用的强度指标

强度是指材料在载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。

无论何种材料，其内部原子之间都受到相互平衡的原子力的作用，以保持其固定的形状。材料在外力作用下，其内部会产生相应的作用力以抵抗变形，这种作用力称为内力。材料单位截面积上承受的内力称为应力，用 σ 表示，即

$$\sigma = \frac{F}{S_0}$$

式中 F ——载荷 (N)；

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

金属材料的强度是用应力来表示的。常用的强度指标有弹性极限、屈服强度和抗拉强度。

(1) 弹性极限 弹性极限是指试样在弹性范围内承受的最大拉应力，用符号 $\sigma_e^\ominus$ 表示，即

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

式中 F_e ——载荷 (N)；

$\ominus$ GB/T 228.1—2010 中未列出。

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

(2) 屈服强度 试样屈服时的应力称为屈服强度, 上屈服强度用 R_{eH} 表示, 下屈服强度用 R_{eL} 表示。屈服强度表示金属抵抗小量塑性变形的能力, 即

$$R_e = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 F_s ——试样屈服时的载荷 (N);

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

有些金属材料, 如大多数合金钢、高碳钢和铸铁等, 其拉伸曲线不出现平台, 即没有明显的屈服现象, 因此工程上规定将试样产生微量塑性变形 (0.2%) 时的应力作为该材料的屈服强度, 称为材料的条件屈服强度, 用 $\sigma_{0.2}^{\ominus}$ 表示, 如图 1-5 所示。

屈服强度是评定材料质量的重要力学性能指标, 许多机械零件在使用中是不允许发生塑性变形的, 例如气缸螺栓若发生塑性变形, 就会使气缸漏气。

(3) 抗拉强度 抗拉强度是指试样在拉断前所承受的最大拉应力, 即

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

式中 R_m ——抗拉强度 (MPa);

F_m ——试样在断裂前的最大载荷 (N);

S_0 ——试样的原始横截面积 (mm^2)。

R_m 代表金属材料抵抗大量塑性变形的能力, 表征材料在拉伸条件下所能承受的最大拉力的应力值, 因此 R_m 越大, 说明材料抵抗断裂的能力越强, 即强度越高。抗拉强度是工程技术上的主要指标。

一般情况下, 机器构件都是在弹性状态下工作的, 不允许发生微小的塑性变形, 所以在机械设计时应采用屈服强度指标, 并适当加上安全系数。评价冷作模具材料塑性变形能力的指标主要是常温下的屈服强度, 评价热作模具材料塑性变形能力的指标则应为高温屈服强度。

屈服强度与抗拉强度的比值称为屈强比, 它是一个很有意义的指标。一般情况下, 要求屈强比稍高些为好, 且比值越大越能发挥材料的潜力, 也能减轻结构的自重。但为了安全起见, 此值不宜过大, 适合的比值为 0.65 ~ 0.75。

1.1.2 刚度

在外力作用下, 材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。衡量刚度大小的指标是弹性模量。弹性模量是材料在弹性变形范围内, 应力与应变 (试样的相对伸长量 $\Delta L/L_0$) 的比值, 即

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_{\text{弹}}}$$

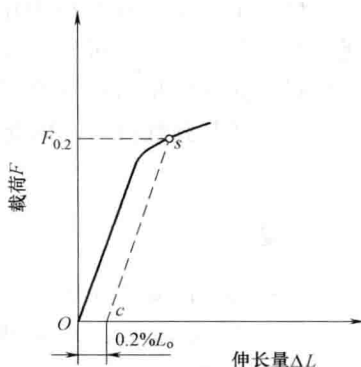


图 1-5 条件屈服强度的确定

$\ominus$ GB/T 228.1—2010 中未列出。