



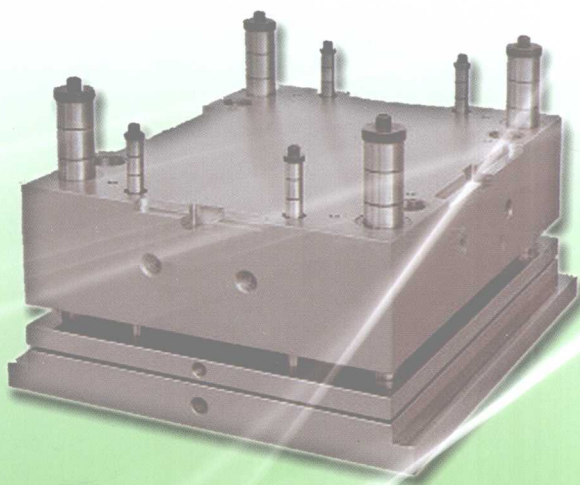
模具专业零起点教程

丛书主编 吴振远

MuJuCaiLiaoYuReChuLi

模具材料 与热处理

● 主编 张金凤



2.4



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TG162.4
Z121

模具专业零起点教材

丛书主编 吴振远

-67

模具材料与热处理

主 编 张金凤
副主编 王宇飞 杨宝君 李聚群
参 编 王长生 陈 永 孟 迪
杨洪涛 张晓杰 王金荣
邓 晶 张冠宇 赵 丹
杨 娟 孙华为 张兵权
杨胜衡
主 审 吴振远

TG162.4
Z121



机械工业出版社

本书根据模具行业职业特点,本着以综合素质为基础、以能力为根本、以实用为指导的原则,从生产实践角度精选内容,从零开始,系统介绍模具材料及热处理的相关知识和技能,帮助读者学习掌握模具加工的核心技术。全书分上、下两篇,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、钢的热处理、铸铁、合金钢、有色金属;模具材料的选择、冷作模具用钢及热处理、热作模具用钢及热处理、塑料模具用钢及热处理等。

本书可供模具制造领域的工程技术人员和一线工人阅读,特别适用于各模具专业学校和职工短期培训班作教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

模具材料与热处理/张金凤主编. —北京:机械工业出版社, 2010.1
模具专业零起点教程

ISBN 978-7-111-29024-7

I. 模… II. 张… III. 模具钢-热处理-教材 IV. TG162.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 205149 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:李万宇 责任编辑:庞 晖 版式设计:霍永明

封面设计:赵颖喆 责任校对:申春香 责任印制:李 妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2010 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·18 印张·347 千字

0001-3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-29024-7

定价:31.00 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

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

前 言

产品的竞争实际上是质量和价格的竞争。模具是工业之母，其制造技术是工业生产的核心技术，采用模具生产零件具有效率高、质量好、节能降耗、生产成本低等一系列优点，对国民经济和社会发展起到了巨大的作用。各国都把模具生产制造技术提到相当高的地位，并把先进的设计、制造、测量、检验及管理技术与设备应用到模具生产上。

目前，我国已成为全球最大的加工制造基地，模具工业是现代加工制造业一个重要的组成部分，但模具技术人员异常短缺，模具设计与制造技术人员已经成为“紧缺人才”，未来将有更多的人才要进入模具行业。为了满足模具领域工程技术人员和一线工人以及部分高职院校模具专业人员培训的需要，我们组织了郑州大学、河南科技大学、郑州市技师学院、郑州市交通技师学院、鹤壁职业技术学院、郑州市红旗职业培训学校等院校的具有丰富教学和培训经验的行业专家、老师，编写了本套“模具专业零起点教程”系列丛书，旨在帮助那些既无模具知识、又无机械基础的人学习模具设计与制造之用。

本套丛书首批推出《冲压工艺与模具设计》、《塑料成型工艺与模具设计》、《模具材料与热处理》三种，并将陆续扩充。

本套丛书以实用为目的，尽可能地减少繁琐的计算，并尽量使用设计图表或计算机辅助设计方法。内容深入浅出，语言通俗易懂，既阐述基础知识，又介绍有关方面的最新成果，特别适合从事模具设计与制造的人员自学使用，更适于作模具职业培训学校的教材，亦可以供模具专业的大专院校师生参考。

《模具材料与热处理》按照模具行业职业特点，本着以综合素质为基础、以能力为根本、以实用为指导的原则，从生产实践角度精选内容，从零开始，系统介绍模具材料及热处理的相关知识和技能，帮助读者学习掌握模具加工的核心技术。全书分上、下两篇，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、钢的热处理、铸铁、合金钢、有色金属；模具材

料的选择、冷作模具用钢及热处理、热作模具用钢及热处理、塑料模具用钢及热处理等。

本书具有如下特点:

1) 零起点。具有初中文化知识的人员,在没有任何模具专业基础的情况下,都可以自学本书,掌握模具材料及热处理的基本知识和部分综合实践技能。

2) 实用性强。精选典型实例,以实训形式介绍模具材料及热处理的应用技巧。

3) 简化难点,突出重点。舍弃大多数模具教材中关于理论知识方面的介绍,以实用为目的,深入浅出地讲述模具材料及热处理的有关知识和要点,为深入学习、进一步提高技能奠定基础。

本书可供模具制造领域的工程技术人员和一线工人阅读,特别适用于各模具专业学校和职工短期训练班作教材使用。

本书在编写过程中参考了大量的相关专著、文献及优秀教材,谨向这些作者表示衷心的感谢!

参加本书编写工作的有张金凤、王宇飞、杨宝君、李聚群、王长生、陈永、孟迪、杨洪涛、张晓杰、王金荣、邓晶、张冠宇、赵丹、杨娟、孙华为、张兵权、杨胜衡。主编张金凤,副主编王宇飞、杨宝君、李聚群,吴振远老师对全书进行了详细审阅。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前 言

上篇 金属材料与热处理 基础知识

第 1 章 金属材料的性能

1.1 金属材料的力学性能	3
1.1.1 强度	4
1.1.2 塑性	7
1.1.3 硬度	9
1.1.4 冲击韧性	14
1.1.5 疲劳强度	17
1.2 金属材料的物理性能与化学性能	18
1.2.1 金属材料的物理性能	18
1.2.2 金属材料的化学性能	20
1.3 金属材料的工艺性能	21
1.3.1 铸造性能	21
1.3.2 锻造性能	21
1.3.3 焊接性能	22
1.3.4 热处理性能	22
1.3.5 切削加工性能	22
1.3.6 冲压性能	22
练习题	23

第 2 章 金属的晶体结构与结晶

2.1 金属的晶体结构	25
-------------	----

2.1.1 晶体结构的基本知识	25
2.1.2 常见金属的晶格类型	26
2.1.3 实际金属的晶体结构	26
2.1.4 合金的组织结构	30
2.2 金属的结晶	32
2.2.1 金属结晶的条件	32
2.2.2 纯金属的结晶过程	33
2.2.3 细化晶粒的方法	34
2.3 金属的塑性变形与再结晶	35
2.3.1 金属的塑性变形	35
2.3.2 冷塑性变形对金属性能与组织的影响	38
2.3.3 塑性变形后的金属在加热时的组织和性能变化	39
2.3.4 金属的热塑性变形	41
练习题	43

第 3 章 铁 碳 合 金

3.1 纯铁的同素异晶转变	45
3.2 铁碳合金的基本组织	46
3.3 铁碳合金相图	48
3.3.1 Fe—Fe ₃ C 相图中的点和线的含义	49
3.3.2 铁碳合金的分类	50
3.3.3 典型铁碳合金的平衡结晶过程	51

3.3.4 含碳量对钢组织和性能的影响	54
3.3.5 铁碳合金相图的应用	55
3.4 碳素钢	57
3.4.1 常存元素对碳素钢性能的影响	57
3.4.2 碳钢的分类	58
3.4.3 碳素钢的编号和用途	59
3.4.4 钢的火花鉴别	63
练习题	67

第4章 钢的热处理

4.1 概述	69
4.2 钢在加热和冷却时的组织转变	70
4.2.1 钢在加热和冷却时的临界点	70
4.2.2 钢在加热时的组织转变	71
4.2.3 钢在冷却时的组织转变	73
4.3 钢的退火和正火	78
4.3.1 退火	78
4.3.2 正火及其应用	79
4.4 钢的淬火与回火	80
4.4.1 淬火	80
4.4.2 回火	85
4.5 钢的表面热处理	88
4.5.1 钢的表面淬火	89
4.5.2 钢的化学热处理	90
练习题	93

第5章 铸 铁

5.1 概述	96
5.1.1 铸铁的分类	96

5.1.2 铸铁的石墨化及影响石墨化的因素	97
5.2 灰铸铁	98
5.2.1 灰铸铁的组织 and 性能特点	98
5.2.2 灰铸铁的孕育处理	99
5.2.3 灰铸铁的牌号和用途	99
5.2.4 灰铸铁的热处理	100
5.3 可锻铸铁	101
5.3.1 可锻铸铁的组织 and 性能特点	102
5.3.2 可锻铸铁的生产	102
5.3.3 可锻铸铁的牌号和用途	103
5.4 球墨铸铁	104
5.4.1 球墨铸铁的组织 and 性能特点	104
5.4.2 球墨铸铁的牌号和用途	105
5.4.3 球墨铸铁的热处理	106
5.5 蠕墨铸铁和新型合金铸铁	107
5.5.1 蠕墨铸铁	107
5.5.2 新型合金铸铁	108
练习题	109

第6章 合 金 钢

6.1 合金元素在钢中的主要作用	110
6.2 合金钢的分类与牌号	112
6.2.1 合金钢的分类	112
6.2.2 合金钢的牌号	112
6.3 合金结构钢	114
6.3.1 低合金高强度结构钢	114
6.3.2 合金渗碳钢	116

6.3.3 合金调质钢	118
6.3.4 合金弹簧钢	121
6.3.5 滚动轴承钢	123
6.4 合金工具钢	124
6.4.1 合金刀具钢	125
6.4.2 模具钢	128
6.4.3 量具钢	131
6.5 特殊性能钢及硬质合金	133
6.5.1 不锈钢	133
6.5.2 耐热钢	134
6.5.3 耐磨钢	136
6.5.4 硬质合金	136
练习题	140

第7章 有色金属

7.1 铜及铜合金	142
7.1.1 工业纯铜	142
7.1.2 黄铜	143
7.1.3 青铜	145
7.2 铝及铝合金	148
7.2.1 纯铝	148
7.2.2 铝合金的分类	148
7.2.3 变形铝合金	149
7.2.4 铸造铝合金	151
7.3 钛及钛合金	152
7.3.1 工业纯钛	152
7.3.2 钛合金	155
7.4 轴承合金	156
7.4.1 概述	156
7.4.2 常用巴氏合金	157
7.4.3 铜基轴承合金	159
7.4.4 铝基轴承合金	160
练习题	161

下篇 模具材料及热处理

第8章 模具材料的选择

8.1 模具及模具材料的分类	165
8.1.1 模具的分类	165
8.1.2 模具材料的分类	166
8.2 模具材料的性能要求	168
8.2.1 冷作模具钢的性能要求	168
8.2.2 热作模具钢的性能要求	170
8.2.3 塑料模具钢的性能要求	171
8.3 模具材料的选择	172
8.3.1 模具选材原则	172
8.3.2 冷作模具的选材	173
8.3.3 热作模具的选材	174
8.3.4 塑料模具的选材	175
练习题	176

第9章 冷作模具用钢及热处理

9.1 冷作模具用钢的性能和应用	178
9.1.1 碳素冷作模具钢	178
9.1.2 高碳低合金冷作模具钢	179
9.1.3 高耐磨冷作模具钢	180
9.1.4 耐冲击冷作模具钢	184
9.1.5 冷作模具用硬质合金及结硬质合金	186
9.2 冷作模具钢的热处理	187
9.2.1 冷作模具制造工艺路线	188

9.2.2 冷作模具钢的基本热处理 工序	188
9.2.3 碳素冷作模具钢的热 处理	189
9.2.4 高碳低合金冷作模具钢热 处理	195
9.2.5 高耐磨冷作模具钢的热 处理	198
9.2.6 耐冲击冷作模具钢的热 处理	210
9.2.7 钢结硬质合金的热 处理	214
9.3 新型冷作模具钢的发展和 应用	215
练习题	217

第10章 热作模具用钢及 热处理

10.1 热作模具用钢的特性和 应用	219
10.1.1 低耐热高韧性热作模 具钢	219
10.1.2 中耐热韧性热作模 具钢	221
10.1.3 高耐热性热作模具钢 ..	222
10.1.4 特殊用途热作模具钢 ..	224
10.2 热作模具钢的热处理	226
10.2.1 低耐热高韧性模具钢的 热处理	226
10.2.2 中耐热韧性模具钢的热 处理	232
10.2.3 高耐热性热作模具钢的热 处理	235
10.2.4 特殊用途热作模具钢的热 处理	239

练习题	240
-----------	-----

第11章 塑料模具用钢及 热处理

11.1 塑料模具用钢的特性和 应用	241
11.1.1 碳素塑料模具钢	241
11.1.2 渗碳型塑料模具钢	242
11.1.3 预硬化型塑料模具钢 ..	244
11.1.4 时效硬化型塑料模 具钢	247
11.1.5 耐腐蚀型塑料模具钢 ..	249
11.2 塑料模具钢的热处理	250
11.2.1 碳素塑料模具钢的热 处理	251
11.2.2 渗碳型塑料模具钢的热 处理	254
11.2.3 预硬化型塑料模具钢的热 处理	256
11.2.4 时效硬化型塑料模具钢 的热处理	258
11.2.5 耐腐蚀型塑料模具钢的 热处理	259
练习题	261

附 录

附录A 常用值对照、换算表及经验 值表	263
表A-1 压痕直径与布氏硬度对 照表	263
表A-2 黑色金属硬度及强度换 算表	265
表A-3 常用钢的临界点	266
附录B 国内进口模具钢材的钢号、	

特性及应用	268	作模具钢简介	273
表 B-1 国内市场销售的美国冷 作模具钢简介	268	表 B-8 国内市场销售的德国热 作模具钢简介	274
表 B-2 国内市场销售的美国热 作模具钢简介	269	表 B-9 国内市场销售的德国塑 料模具钢简介	274
表 B-3 国内市场销售的美国塑 料模具钢简介	269	表 B-10 国内市场销售的奥地利 冷作模具钢简介	276
表 B-4 国内市场销售的日本冷 作模具钢简介	269	表 B-11 国内市场销售的奥地利 热作模具钢简介	276
表 B-5 国内市场销售的日本热 作模具钢简介	271	表 B-12 国内市场销售的奥地利 塑料模具钢简介	277
表 B-6 国内市场销售的日本塑 料模具钢简介	272		
表 B-7 国内市场销售的德国冷 作模具钢简介			

参 考 文 献

上 篇

金属材料与热处理 基础知识

第 1 章

金属材料的性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。使用性能是指为了保证零件的正常工作，材料应具备的性能，它包括物理性能、化学性能和力学性能；工艺性能是指金属材料在被加工过程中，适应各种加工工艺方法的性能，如铸造性能、焊接性能、锻造性能、热处理性能和切削加工性能等。

1.1 金属材料的力学性能

机械零件或其他结构件在使用过程中，会受到各种外力的作用。金属材料在外力作用下所表现出来的性能称为力学性能，它是保证零件和构件正常工作应具备的主要性能。衡量金属材料力学性能的指标主要有强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。力学性能不仅是机械零件设计、选材、验收、鉴定的主要依据，也是对产品加工过程实行质量控制的重要参数，所以学习金属材料的力学性能对今后学习各种金属材料具有重要的意义。

金属材料在加工和使用过程中所受到的外力称为载荷。根据作用性质不同，载荷可分为以下三种：

- 1) 静载荷，是指大小不变或变化过程缓慢的载荷。
- 2) 冲击载荷，是指在短时间内以高速度作用于零件上的载荷。
- 3) 交变载荷，是指大小、方向随时间发生周期性变化的载荷。

金属材料在载荷作用下发生的尺寸或形状的变化称为变形。按去除载荷后变形是否能完全恢复的情况，变形可分为弹性变形和塑性变形。去除载荷后零件的变形能立即恢复原状，即随载荷的作用而产生，随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形；若去除载荷后零件的变形不能完全消失而是保留一部分残余变形，这种不能恢复的残余变形称为塑性变形，也称为永久变形。根据载荷作

用方式的不同,变形又可分为拉伸、压缩、剪切、扭转和弯曲等五种变形方式,如图 1-1 所示。

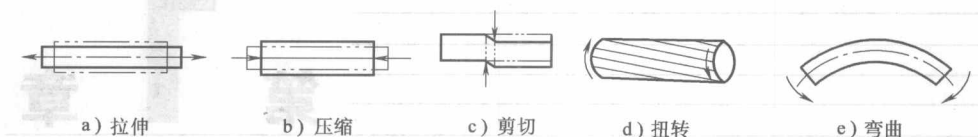


图 1-1 变形方式

金属材料在受外力作用时,为保持其不变形,在材料内部作用着与外力相抗衡的力,称为内力。单位面积上的内力叫做应力。金属材料受拉伸载荷或压缩载荷时,其横截面积上的应力可按式(1-1)计算:

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1-1)$$

式中 σ ——应力 (MPa)。

F ——外力 (N)。

S ——横截面积 (mm^2)。

1.1.1 强度

金属材料在静载荷作用下,抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。金属材料的强度越高,抵抗塑性变形和断裂的能力越大,在工作中所能承受的载荷就越大。金属材料的强度按受力类型分为抗拉强度、抗压强度、抗剪强度、抗弯强度和抗扭强度五种。一般情况下多用抗拉强度作为衡量金属材料强度的依据。

金属材料的抗拉强度是通过拉伸试验测定的。

1. 拉伸试验

拉伸试验的方法:先将被测金属材料制成的一定形状和尺寸的试样,装夹在拉伸试验机(见图 1-2)的上下夹头中,对试样缓慢施加轴向拉伸力(载荷),使试样沿其轴向伸长。随着拉伸力的缓慢增大,试样的有效伸长量不断增加,直至试样断裂,如图 1-3 所示。根据试验时测得的数据,即可计算出强度和塑性的衡量指标。

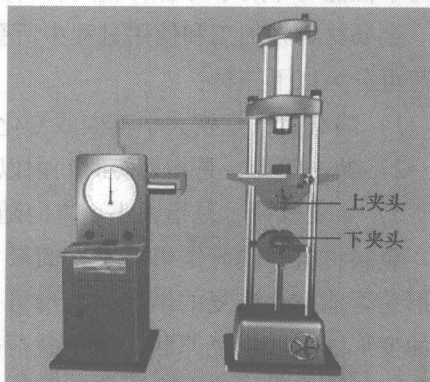


图 1-2 拉伸试验机

(1) 拉伸试样 拉伸试验所用的试

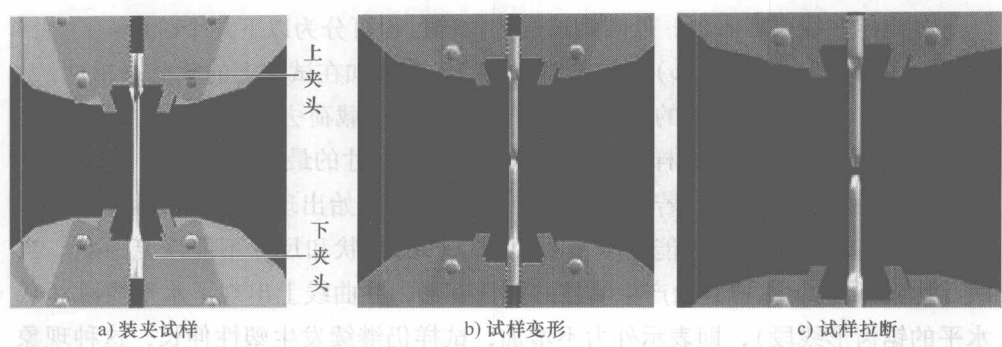


图 1-3 拉伸试验过程示意图

样必须按照国家标准制作，才能使测得的数据具有可比性。拉伸试样有圆形和矩形两类，通常采用圆形试样，如图 1-4 所示。圆形试样又分为长试样 ($L_0 = 10d$) 和短试样 ($L_0 = 5d$) 两种。

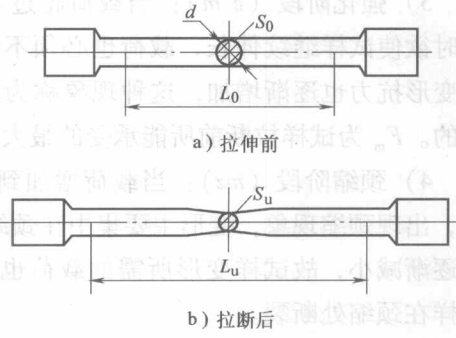


图 1-4 圆形拉伸试样

(2) 拉伸曲线 在拉伸试验过程中，试验机自动以拉伸力 F 为纵坐标，以伸长量 ΔL 为横坐标，画出一条拉伸力 F 与伸长量 ΔL 的关系曲线，称为力-伸长曲线或拉伸曲线。图 1-5a 所示为低碳钢的拉伸曲线示意图。

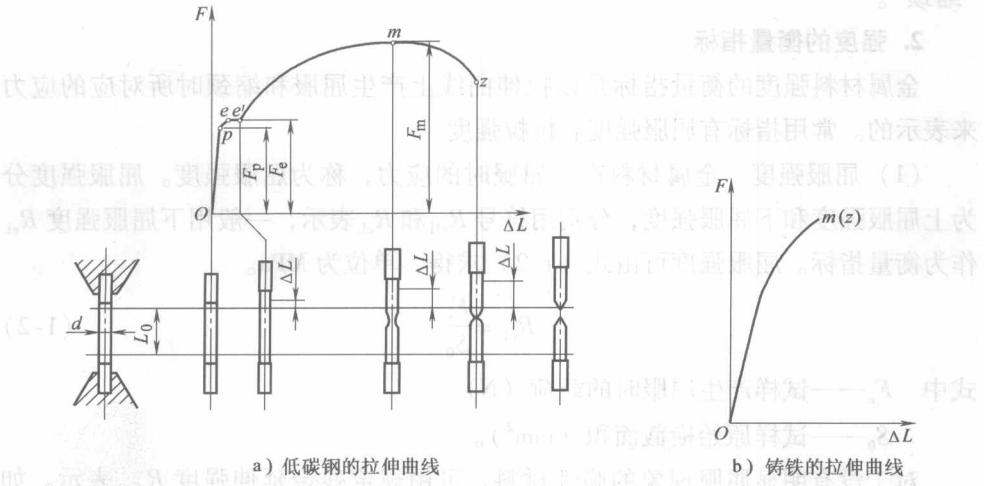


图 1-5 拉伸曲线示意图

由拉伸曲线可以看出,低碳钢试样的拉伸过程可分为以下几个阶段:

1) 弹性变形阶段 (op): 在拉伸试验时,若施加在试样上的载荷未超过 F_p ,那么在此阶段试样所发生的变形均为弹性变形,即载荷去除后试样的形状和尺寸可以恢复原状。 F_p 为试样能恢复到原始形状和尺寸的最大载荷。

2) 屈服阶段 (pe): 若载荷超过 F_p 时,试样开始出现微量的塑性变形,则卸除载荷后试样的变形不能完全消失,即试样的形状和尺寸不能恢复原状。当载荷达到 F_e 时,试样开始产生明显的塑性变形,在曲线上出现了水平线段(或水平的锯齿形线段),即表示外力不增加,试样仍继续发生塑性伸长,这种现象称为屈服。 F_e 称为屈服载荷。

3) 强化阶段 ($e'm$): 当载荷超过 F_e 后,材料开始出现明显的塑性变形,同时欲使试样继续伸长,载荷也必须不断增加,即随着塑性变形量的增加,试样变形抗力也逐渐增加,这种现象称为形变强化。此阶段试样的变形是均匀发生的。 F_m 为试样拉断前所能承受的最大载荷。

4) 颈缩阶段 (mz): 当载荷增加到最大值 F_m 时,试样开始局部截面面积缩小,出现颈缩现象,变形主要集中在颈缩部位,如图 1-3b 所示。由于试样截面面积逐渐减小,故试样变形所需的载荷也逐步降低,当达到图 1-5a 中的 z 点时,试样在颈缩处断裂。

屈服现象在低碳钢、中碳钢、低合金高强度结构钢和一些有色金属材料中可以观察到。但有些金属材料没有明显的屈服现象,如图 1-5b 所示的铸铁拉伸曲线。可以看出这些脆性材料不仅没有明显的屈服现象发生,而且也不产生“缩颈”。

2. 强度的衡量指标

金属材料强度的衡量指标是以拉伸曲线上产生屈服和缩颈时所对应的应力来表示的。常用指标有屈服强度和抗拉强度。

(1) 屈服强度 金属材料产生屈服时的应力,称为屈服强度。屈服强度分为上屈服强度和下屈服强度,分别用符号 R_{eH} 和 R_{eL} 表示,一般用下屈服强度 R_{eL} 作为衡量指标。屈服强度可由式 (1-2) 求得,单位为 MPa。

$$R_{eL} = \frac{F_e}{S_0} \quad (1-2)$$

式中 F_e ——试样产生屈服时的载荷 (N)。

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

对于没有明显屈服现象的脆性材料,可用规定残余延伸强度 $R_{0.2}$ 表示。如图 1-6 所示, $R_{0.2}$ 表示在卸除载荷后,试样标距部分残余的伸长量是原始长度的

0.2% 时所对应的应力, $R_{0.2}$ 的大小可由式 (1-3) 求得, 单位为 MPa。

$$R_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{S_0} \quad (1-3)$$

式中 $F_{0.2}$ ——残余伸长率为 0.2% 时的载荷 (N)。

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

屈服强度或规定残余延伸强度 $R_{0.2}$ 是材料开始产生微量塑性变形时的应力。对于大多数零件而言, 塑性变形就意味着零件的尺寸精度

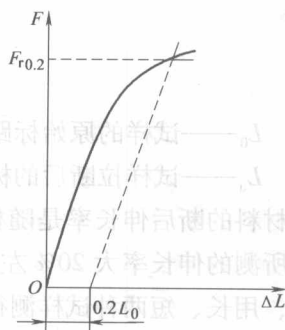


图 1-6 规定残余延伸强度的确定

下降或与其他零件的相互配合精度受到影响, 因而会造成零件失效。当零件工作时所受到的应力低于材料的屈服强度或规定残余延伸强度时, 则不会产生塑性变形。材料的屈服强度或规定残余延伸强度越高, 表示其抵抗微量塑性变形的能力越大, 允许的工作应力也越高, 机械零件的承载能力就越大, 因此零件的截面尺寸及自身重量就可以减小。所以屈服强度或规定残余延伸强度指标是设计机械零件时的重要依据, 同时也是评定金属材料强度的重要指标。

(2) 抗拉强度 材料在断裂前所能承受的最大应力, 称为抗拉强度或强度极限, 用符号 R_m 表示。其值大小可由式 (1-4) 求得, 单位为 MPa。

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-4)$$

式中 F_m ——试样拉断前承受的最大载荷 (N)。

S_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

零件在工作中所承受的应力不允许超过抗拉强度, 否则会产生断裂。可见抗拉强度指标既是机械零件设计时的重要依据之一, 也是评定金属材料强度的重要指标。

1.1.2 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力。塑性表示了金属材料在断裂前产生塑性变形的能力的大小。

金属材料的塑性也是通过拉伸试验测定的, 衡量指标有断后伸长率和断面收缩率两种。

1. 断后伸长率

断后伸长率是指试样拉断后, 标距的伸长量与原始标距之比率, 用符号 A