



高职高专“十一五”规划教材



# 工程材料基础 与 模具材料

徐勇军 主编  
刘志凌 刘强 副主编



化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

# 工程材料基础与模具材料

徐勇军 主编

刘志凌 刘强 副主编

第1版 (2011) 自出版以来

本书可作为高职高专院校材料成型与控制技术专业及相关专业的教材，也可供从事模具设计、制造、维修、检测、管理等工作的工程技术人员参考。

本书由徐勇军主编，刘志凌、刘强副主编。



化学工业出版社

北京

本教材从高职高专学生实际应用的角度,将模具材料及表面处理与工程材料及金属材料与热处理有机结合,全面精练地介绍工程材料基础知识,在此基础上使得学习者能合理进行模具材料的选择。主要内容包括材料的性能、材料的组织结构、材料的强韧化、工业用钢、其他材料、冷作模具材料、热作模具钢、塑料模具钢、其他模具材料、进口模具钢、模具的表面技术等。

本书可作为高职高专院校模具设计与制造专业学生教材,也可供材料热处理专业以及从事模具设计与制造和应用模具的技术人员阅读。

## 工程材料基础与模具材料

徐勇军 主编

化学工业出版社

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料基础与模具材料/徐勇军主编. —北京:化学工业出版社, 2008. 1

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-01948-6

I. 工… II. 徐… III. ①工程材料-高等学校: 技术学院-教材②模具-材料-高等学校: 技术学院-教材  
IV. TB3 TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第009467号

---

责任编辑: 韩庆利 王金生 高 钰

责任校对: 王素芹

装帧设计: 郑小红

---

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装: 化学工业出版社印刷厂

787mm×1092mm 1/16 印张15 字数373千字 2008年2月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询: 010-64518888(传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价: 24.00元

版权所有 违者必究

# 前 言

本书是根据“模具设计与制造专业”教学计划和“模具材料与表面处理”课程教学大纲编写的，主要供高职高专院校模具设计与制造专业学生使用，也可供材料热处理专业，以及从事模具设计与制造和应用模具的技术人员阅读。

模具材料是模具设计和制造的基础，对模具的使用寿命、精度和表面质量起着重要的甚至决定性的作用，因此，研究和开发高性能的模具材料，根据模具的工作条件合理选用模具材料，采用适当的热处理及表面处理工艺以充分发挥模具材料的潜力，根据模具材料的性能特点选择合理的模具结构以及采取相应的维护措施是十分重要的。目前高职高专院校相关教材多以介绍模具材料及表面处理的知识为主，未涉及工程材料及金属学的相关知识。而一般高职高专院校模具专业或相关机械专业，由于受到学时的限制，不会开设金属材料与热处理等相关课程。这使得专业教师在讲解模具材料时，遇到学生金属材料基础知识缺乏的困难，教学效果不能达到预期目标。本教材从高职高专学生实际应用的角度，全面精练地介绍工程材料基础知识，在此基础上使得学习者能合理进行模具材料的选择。另外，对于国内普遍采用的美国、日本及其他国家模具材料，进行了较为详尽的介绍。

全书分为上下两篇，共12章，上篇为工程材料基础，主要内容有材料的性能、材料的组织结构、材料的强韧化、工业用钢、其他材料；下篇为模具材料，主要内容有模具材料概述、冷作模具材料、热作模具钢、塑料模具钢、其他模具材料、进口模具钢、模具的表面技术等。本书以培养技术应用能力为主线，力求精练简洁系统地介绍在模具材料选择过程中要用到的相关知识，理论讲解以够用为度，突出了实用性、综合性和时效性。

参加本书编写的有广东工贸职业技术学院徐勇军（第6章、第9章、第10章、第11章），江西科技师范学院刘志凌（第1章、第2章、第3章），南昌航空大学刘强（第4章、第5章、第7章），南京工业职业技术学院智旭鸽（第8章），广东工贸职业技术学院曾锋（第12章）。全书由徐勇军任主编，刘志凌、刘强任副主编。

本书编写过程中参阅了有关院校、工厂、科研院所的一些教材、资料和文献，得到了有关专家、教授的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

限于编者的水平，书中难免有不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者  
2008年1月

# 目 录

## 上篇 工程材料基础

<b>第 1 章 材料的性能</b> .....	3
1.1 材料的力学性能 .....	3
1.1.1 强度和塑性 .....	3
1.1.2 硬度 .....	5
1.1.3 冲击韧性 .....	7
1.1.4 疲劳极限 .....	7
1.2 材料的工艺性能 .....	8
1.2.1 物理性能 .....	8
1.2.2 化学性能 .....	8
1.2.3 工艺性能 .....	9
思考题与习题 .....	14
<b>第 2 章 材料的组织结构</b> .....	16
2.1 纯金属的晶体结构与结晶 .....	16
2.1.1 金属材料的结构特点 .....	16
2.1.2 金属的结晶过程 .....	19
2.2 合金的晶体结构与结晶 .....	21
2.3 铁碳合金的结构与相图 .....	23
2.3.1 铁碳合金相图的基本 组元与基本相 .....	23
2.3.2 铁碳合金相图的分析 .....	24
2.3.3 典型铁碳合金的平衡结晶 过程 .....	26
2.3.4 含碳量对铁碳合金组织和 性能的影响 .....	30
2.4 非金属材料的结构简介 .....	31
2.4.1 高分子材料的结构 .....	31
2.4.2 陶瓷材料的结构 .....	33
思考题与习题 .....	33
<b>第 3 章 材料的强韧化</b> .....	35
3.1 概述 .....	35
3.2 钢在加热时的转变 .....	36
3.2.1 奥氏体的形成过程 .....	36

3.2.2 奥氏体的晶粒大小及其影响 因素 .....	36
3.3 钢在冷却时的转变 .....	37
3.3.1 过冷奥氏体的转变产物及 转变过程 .....	37
3.3.2 过冷奥氏体转变图 .....	42
3.4 钢的退火与正火 .....	45
3.4.1 退火 .....	45
3.4.2 正火 .....	46
3.5 钢的淬火与回火 .....	47
3.5.1 淬火 .....	47
3.5.2 回火 .....	51
3.6 材料的表面热处理 .....	53
3.6.1 表面淬火 .....	53
3.6.2 化学热处理 .....	54
思考题与习题 .....	57
<b>第 4 章 工业用钢</b> .....	58
4.1 钢材的分类及牌号 .....	58
4.1.1 钢材的生产及分类 .....	58
4.1.2 我国钢号表示方法 .....	59
4.2 合金元素在钢中的作用 .....	62
4.2.1 钢中常存元素对其性能的 影响 .....	62
4.2.2 合金元素在钢中的作用 .....	62
4.3 结构钢 .....	64
4.3.1 碳素结构钢 .....	64
4.3.2 优质碳素结构钢 .....	64
4.3.3 低合金高强度结构钢 .....	65
4.3.4 合金结构钢 .....	66
4.3.5 特殊性能钢 .....	68
4.4 工具钢 .....	69
4.4.1 碳素工具钢 .....	69
4.4.2 合金工具钢 .....	69
思考题与习题 .....	72

<b>第5章 其他材料</b> .....	73
5.1 铸铁 .....	73
5.1.1 铸铁件生产概述 .....	73
5.1.2 灰口铸铁件生产 .....	75
5.1.3 可锻铸铁件生产 .....	77
5.1.4 球墨铸铁 .....	78
5.1.5 蠕墨铸铁 .....	80
5.1.6 合金铸铁简介 .....	80
5.2 有色金属及合金 .....	81
5.2.1 铝及铝合金 .....	81
5.2.2 铜及铜合金 .....	83
5.2.3 轴承合金 .....	85
5.2.4 钛及钛合金 .....	86
5.3 非金属材料 .....	87
5.3.1 高分子材料 .....	87
5.3.2 陶瓷材料 .....	92
5.3.3 复合材料 .....	94
5.4 粉末冶金材料 .....	95
5.4.1 粉末冶金的特点与应用 .....	95
5.4.2 常用粉末冶金材料 .....	96
思考题与习题 .....	96

### 下篇 模具材料

<b>第6章 模具材料概述</b> .....	99
6.1 模具及模具材料的分类 .....	99
6.1.1 模具的分类 .....	99
6.1.2 模具材料的分类 .....	100
6.2 模具材料的性能要求 .....	100
6.2.1 硬度和热硬性 .....	100
6.2.2 耐磨性 .....	100
6.2.3 强度和韧性 .....	101
6.2.4 疲劳抗力 .....	101
6.3 模具的寿命与失效分析 .....	101
6.3.1 模具的服役条件 .....	101
6.3.2 模具主要失效形式 .....	102
6.3.3 模具失效分析 .....	103
6.4 模具材料的选用原则 .....	105
6.4.1 模具材料的使用性能 .....	105
6.4.2 模具材料的工艺性能 .....	105
6.5 模具材料的生产现状和发展趋势 .....	105
6.5.1 模具钢种的发展 .....	106

6.5.2 模具钢品种规格的发展 .....	107
6.5.3 模具钢内在质量的提高 .....	107
思考题与习题 .....	108
<b>第7章 冷作模具材料</b> .....	109
7.1 冷作模具材料及性能要求 .....	109
7.1.1 使用性能要求 .....	109
7.1.2 工艺性能要求 .....	110
7.2 碳素工具钢 .....	111
7.2.1 T7、T7A 钢 .....	111
7.2.2 T8、T8A 钢 .....	113
7.2.3 T9、T9A 钢 .....	113
7.2.4 T10、T10A 钢 .....	114
7.2.5 T11、T11A 钢 .....	115
7.3 油淬冷作模具钢 .....	116
7.3.1 CrWMn 钢 .....	116
7.3.2 9Mn2V 钢 .....	117
7.3.3 9SiCr 钢 .....	117
7.3.4 6CrNiMnSiMoV (GD) 钢 .....	118
7.4 空淬冷作模具钢 .....	119
7.4.1 Cr5Mo1V 钢 .....	119
7.4.2 Cr6WV .....	120
7.4.3 8Cr2MnWMoVS 钢 .....	120
7.5 高碳高铬冷作模具钢 .....	121
7.5.1 Cr12 钢 .....	122
7.5.2 Cr12MoV 钢 .....	123
7.5.3 Cr12Mo1V1 (D2) 钢 .....	123
7.6 基体钢和低碳高速钢 .....	124
7.6.1 6Cr4W3Mo2VNb (65Nb) 钢 .....	125
7.6.2 7Cr7Mo3V2Si 钢 .....	126
7.6.3 5Cr4Mo3SiMnVAI (O12Al) 钢 .....	126
7.7 高耐磨高强模具钢 .....	127
7.7.1 Cr8MoWV3Si (ER5) .....	127
7.7.2 9Cr6W3Mo2V2 (GM) 钢 .....	128
7.8 冷作模具钢材料的选用 .....	129
7.8.1 冲裁模的选材 .....	130
7.8.2 冷锻模的选材 .....	131
7.8.3 冷挤压模具的选材 .....	132
7.8.4 冷拉深模的选材 .....	133
7.8.5 冷作模具的选材与热处理实例 .....	133

思考题与习题 .....	134
<b>第 8 章 热作模具钢</b> .....	135
8.1 热作模具钢的性能、特点及 分类 .....	135
8.1.1 热作模具的使用性能要求 .....	135
8.1.2 热作模具材料的成分特点 .....	135
8.1.3 热作模具钢的分类 .....	136
8.2 低耐热高韧性热作模具钢 .....	136
8.2.1 5CrNiMo 钢 .....	137
8.2.2 5CrMnMo 钢 .....	138
8.2.3 4CrMnSiMoV 钢 .....	139
8.3 中耐热韧性热作模具钢 .....	139
8.3.1 4Cr5MoSiV (H11) 钢 .....	140
8.3.2 4Cr5MoSiV1 (H13) 钢 .....	140
8.3.3 4Cr5W2VSi (W2) 钢 .....	141
8.4 高耐热性热作模具钢 .....	141
8.4.1 3Cr2W8V (H21) 钢 .....	142
8.4.2 4Cr3Mo3W4VNb (GR) 钢 .....	143
8.4.3 4Cr3Mo2NiVNb (HD) 钢 .....	144
8.5 特殊用途热作模具钢 .....	146
8.5.1 奥氏体型热作模具钢 .....	146
8.5.2 析出沉淀硬化型热作 模具钢 .....	147
8.5.3 高速钢型耐热钢 .....	148
8.6 热作模具材料的选用 .....	149
8.6.1 热锻模具材料的选用 .....	149
8.6.2 热挤压模具材料的选用 .....	150
8.6.3 热切边模具与热锻模具 材料的选用 .....	150
8.6.4 压铸模具材料的选用 .....	151
思考题与习题 .....	152
<b>第 9 章 塑料模具钢</b> .....	153
9.1 塑料模具材料的性能要求 .....	153
9.1.1 塑料模具的工作条件 .....	153
9.1.2 塑料模具钢的性能要求 .....	153
9.2 常用塑料模具材料的类型 .....	154
9.3 碳素塑料模具钢 .....	155
9.3.1 SM45 钢 .....	155
9.3.2 SM50 钢 .....	157
9.3.3 SM55 钢 .....	158
9.4 渗碳型塑料模具钢 .....	159

9.4.1 20Cr 钢 .....	159
9.4.2 12CrNi3A 钢 .....	161
9.5 预硬型塑料模具钢 .....	162
9.5.1 3Cr2Mo 钢 .....	163
9.5.2 3Cr2MnNiMo 钢 .....	164
9.5.3 40Cr 钢 .....	166
9.5.4 42CrMo 钢 .....	167
9.5.5 8Cr2MnWMoVS 钢 .....	168
9.6 时效硬化型塑料模具钢 .....	169
9.6.1 06Ni6CrMoVTiAl 钢 .....	169
9.6.2 25CrNi3MoAl 钢 .....	170
9.6.3 18Ni (250)、18Ni (300)、 18Ni (350) 钢 .....	171
9.6.4 1Ni3Mn2CuAlMo 钢 .....	172
9.7 耐蚀性塑料模具钢 .....	174
9.7.1 2Cr13 钢 .....	174
9.7.2 9Cr18 钢 .....	175
9.7.3 Cr14Mo4V 钢 .....	176
9.7.4 1Cr17Ni2 钢 .....	177
9.8 塑料模具材料的选用 .....	179
9.8.1 塑料模具成形零件材料的 选用 .....	179
9.8.2 塑料模具结构零件材料的 选用 .....	180
9.8.3 依塑件产量选用模具钢 .....	181
思考题与习题 .....	182
<b>第 10 章 其他模具材料</b> .....	183
10.1 玻璃模具材料 .....	183
10.1.1 玻璃模具的化学成分与 使用寿命 .....	183
10.1.2 显像管玻壳模具材料 .....	183
10.1.3 玻璃瓶模具材料 .....	185
10.1.4 玻璃模具的表面处理 技术 .....	186
10.2 陶瓷模具材料 .....	188
10.2.1 石膏模具材料 .....	188
10.2.2 陶瓷墙地砖压力成形模具 材料 .....	188
思考题与习题 .....	189
<b>第 11 章 进口模具钢简介</b> .....	190
11.1 美国模具钢介绍 .....	190
11.1.1 美国钢铁材料命名法则 .....	190

11.1.2	美国模具钢的分类及 选用	192
11.1.3	国内市场销售的美国模具钢 介绍	193
11.2	日本模具钢介绍	194
11.2.1	日本 (JIS) 的钢铁材料 命名法则	194
11.2.2	国内市场销售的日本 模具钢	197
11.3	国内市场销售的其他国家 模具钢	198
11.3.1	国内市场销售的德国 模具钢	198
11.3.2	国内市场销售的瑞典 模具钢	200
11.3.3	国内市场销售的奥地利 模具钢	201
	思考题与习题	202

## 第 12 章 模具的表面技术 203

12.1	表面技术的分类	203
12.1.1	表面技术的概念	203
12.1.2	模具表面技术的分类	204

12.2	模具的表面化学热处理技术	206
12.2.1	渗碳、渗氮、渗硫、渗硼	206
12.2.2	多元共渗	209
12.2.3	TD 法渗钒、渗铌和渗铬	211
12.3	模具表面的涂镀技术	213
12.3.1	电镀	213
12.3.2	电刷镀	214
12.3.3	化学镀	215
12.3.4	气相沉积技术	215
12.4	模具表面的高能束强化技术	220
12.4.1	激光表面强化	220
12.4.2	电子束表面强化	221
12.4.3	离子注入表面处理	222
12.5	其他表面技术	223
12.5.1	电火花表面强化	223
12.5.2	热喷涂	224
12.5.3	喷丸表面强化	226
	思考题与习题	227

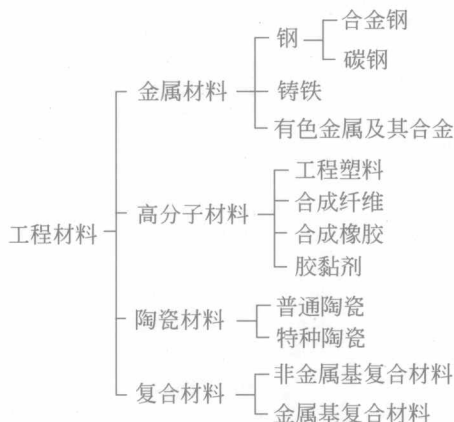
## 附录 228

## 参考文献 229



# 上篇 工程材料基础

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。按照材料的组成、结合键的特点，可将工程材料分为金属材料、高分子材料、陶瓷材料和复合材料四大类：



若按材料的使用性能可分为结构材料与功能材料两大类。结构材料是作为承力机构使用的材料，其使用性能主要是力学性能；工程材料的使用性能主要是光、电、磁、热、声等特殊功能性能。按应用领域材料可分为信息材料、能源材料、建筑材料、机械工程材料、生物材料、航空材料等多种类别。

金属材料是以金属键结合为主的材料，具有良好的导电性、导热性、延展性和金属光泽，是目前用量最大、应用最广泛的工程材料。金属材料分为黑色金属和有色金属两类，铁及铁合金称为黑色金属，即钢铁材料，其世界年产量已达 10 亿吨，在机械产品中的用量已占整个用材的 60% 以上。黑色金属之外的所有金属及其合金称为有色金属。有色金属的种类很多，根据其特性的不同又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属等。

高分子材料是以分子键和共价键为主的材料。高分子材料作为结构材料具有塑性、耐腐蚀性、电绝缘性、减振性好及密度小等特点。工程上使用的高分子材料主要包括塑料、橡胶及合成纤维等。在机械、电气、纺织、汽车、飞机、轮船等制造工业和化学、交通运输、航空航天等工业中被广泛应用。

陶瓷材料是以共价键和离子键为主的材料，其性能特点是熔点高、硬度高、耐腐蚀、脆性大。陶瓷材料分为传统陶瓷、特种陶瓷和金属陶瓷三类。传统陶瓷又称普通陶瓷，是以天然材料（如黏土、石英、长石等）为原料的陶瓷，主要用作建筑材料使用。特种陶瓷又称精细陶瓷，是以人工合成材料为原料的陶瓷，常用作工程上的耐热、耐蚀、耐磨零件。金属陶

瓷是金属与各种化合物粉末的烧结体，主要用作工具、模具。

复合材料是把两种或两种以上不同性质或不同结构的材料以微观或宏观的形式组合在一起而形成的材料，通过这种组合来达到进一步提高材料性能的目的。包括金属基复合材料、陶瓷基复合材料和高分子复合材料。如现代航空发动机燃烧室温度最高的材料就是通过粉末冶金法制备的氧化物粒子弥散强化的镍基合金复合材料。很多高级游艇、赛艇及体育器械等是由碳纤维复合材料制成的，它们具有重量轻，弹性好，强度高优点。

## 第二章 工程材料

材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。



工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。

工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。

工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。

工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。工程材料是工程技术的物质基础，是工程技术的先导。随着科学技术的进步，新材料不断涌现，新材料不断应用于工程技术的各个领域，新材料不断推动着工程技术的进步。

# 第1章 材料的性能

各种材料,按其性能的不同,可以用于结构、机件、工具或物理功能器件等。金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。工程技术人员选用材料时首先要掌握材料的使用性能,同时要考虑材料的工艺性能和经济性。使用性能是指金属材料在使用过程中表现出的特性,它决定金属材料的应用范围、安全可靠性和使用寿命。使用性能主要有力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指金属材料在制造加工过程中表现出的各种特性,它是决定材料是否易于加工或如何进行加工的重要因素。工艺性能主要有热处理性、铸造性、锻造性、焊接性和切削加工性等。

在选用金属和制造机械零件时,主要考虑力学性能和工艺性能。在某些特定条件下工作的零件,还要考虑其物理性能和化学性能。另外,还要关注经济性,要力求材料选用的总成本最低。在机械行业选用材料时,一般以力学性能作为主要依据。

## 1.1 材料的力学性能

金属材料的力学性能又称机械性能,它是金属材料在外力作用下所反映出来的性能。力学性能是零件设计计算、选择材料、工艺评定以及材料检验的主要依据。

不同的金属材料表现出来的力学性能是不一样的。衡量金属材料力学性能的主要指标有强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳极限等。

### 1.1.1 强度和塑性

评价材料强度和塑性最简单有效的办法就是测定材料的拉伸曲线。在标准试样(见图1-1)两端逐渐施加一轴向拉伸载荷,使之发生变形直至断裂,便可得到试样伸长率(试样原始标距的伸长与原始标距之比的百分率)随应力(试验期间任一时刻的力除以试样原始横截面积之商)变化的关系曲线,称为应力-应变曲线,图1-2所示为低碳钢的应力-应变曲线。

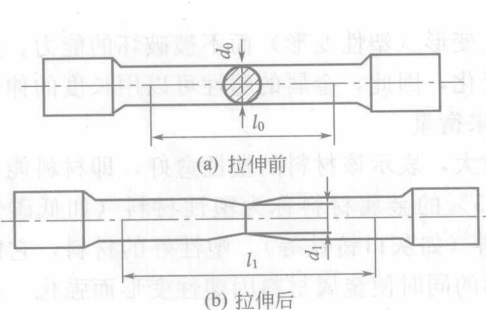


图 1-1 圆形标准拉伸试样

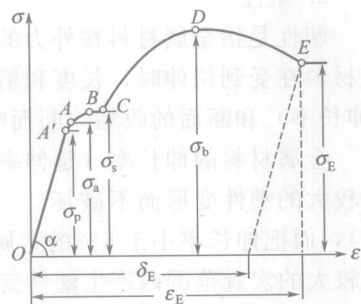


图 1-2 低碳钢的应力-应变曲线

在应力-应变曲线中,OA段为弹性变形阶段,此时卸掉载荷,试样恢复到原来尺寸。A点所对应的应力为材料承受最大弹性变形时的应力,称为弹性极限。其中OA'部分为一斜直

线，应力与应变呈比例关系，A'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。由于大多数材料的A点和A'点几乎重合在一起，一般不作区分。

在弹性变形范围内，应力与伸长率的比值称为弹性模量 $E$ 。 $E$ 实际上是OA线段的斜率， $E = \tan\alpha$  (MPa)，其物理意义是：产生单位弹性变形时所需应力的大小。弹性模量是材料最稳定的性质之一，它的大小主要取决于材料的本性，除随温度升高而逐渐降低外，其他强化材料的手段如热处理、冷热加工、合金化等对弹性模量的影响很小。材料受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度，其指标即为弹性模量。可以通过增加横截面积或改变截面形状来提高零件的刚度。

### 1. 强度

材料的强度是指材料在外力作用下抵抗破坏的能力。从本质上来说，材料的强度应是其内部质点间结合力的表现。材料受外力作用时，在其内部便产生应力，此应力随外力的增大而增大，当应力增大到材料内部质点间结合力所能承受的极限时，应力再增加便会导致内部质点的断开，此极限应力值就是材料的极限强度，通常简称为强度。根据加载方式不同，强度指标有许多种，如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度、抗扭强度等。其中以拉伸试验测得的屈服强度和抗拉强度两个指标应用最多。

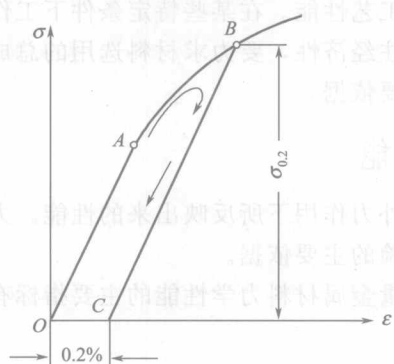


图 1-3 条件屈服强度的确定

即出现颈缩，随应变增加，应力明显下降，并迅速在E点断裂。D点所对应的应力为材料断裂前所承受的最大应力，称为抗拉强度 $\sigma_b$ 。抗拉强度反映材料抵抗断裂破坏的能力，也是零件设计和评价材料的重要指标。

### 2. 塑性

塑性是指金属材料在外力的作用下，产生永久变形（塑性变形）而不被破坏的能力。金属材料在受到拉伸时，长度和横截面积都要发生变化，因此，金属的塑性可以用长度的伸长（伸长率）和断面的收缩（断面收缩率）两个指标来衡量。

金属材料的伸长率（延伸率）和断面收缩率愈大，表示该材料的塑性愈好，即材料能承受较大的塑性变形而不破坏。一般把伸长率大于5%的金属材料称为塑性材料（如低碳钢等），而把伸长率小于5%的金属材料称为脆性材料（如灰口铸铁等）。塑性好的材料，它能在较大的宏观范围内产生塑性变形，并在塑性变形的同时使金属材料因塑性变形而强化，从而提高材料的强度，保证零件的安全使用。此外，塑性好的材料可以顺利地进行某些成形工艺加工，如冲压、冷弯、冷拔、校直等。因此，选择金属材料制作机械零件时，必须满足一定的塑性指标。

#### (1) 伸长率 $\delta$

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中  $l_1$ ——拉断后的长度, mm;

$l_0$ ——原长度, mm。

(2) 断面收缩率  $\psi$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-2)$$

式中  $A_1$ ——断口处横截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$A_0$ ——原横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

由于  $\delta$  值与试样尺寸有关, 一般规定  $l_0 = 5d_0$  (短试样) 或  $l_0 = 10d_0$  (长试样), 分别以  $\delta_5$  或  $\delta_{10}$  表示伸长率,  $\delta_{10}$  通常写成  $\delta$ 。

一般  $\delta$  达 5%,  $\psi$  达 10% 能满足大多数零件要求。

### 1.1.2 硬度

材料抵抗其他硬物压入表面的能力, 叫做材料的硬度。从本质上说, 硬度并不是材料的一个新的特殊性能, 而是代表材料的弹性、塑性、韧性和形变硬化等的一个综合性能。它反映材料抵抗局部塑性变形的能力。由于大多数常用钢材的强度与硬度之间有一定的近似比例关系, 根据硬度可以大致估计材料的抗拉强度。另外, 材料的抗磨损性能与其硬度有密切的关系, 所以, 金属材料的硬度也是金属力学性能的重要指标之一。

目前, 用于测定材料硬度的方法有三种: 布氏硬度法、洛氏硬度法和维氏硬度法。三种方法都是采用一定形状的特制压头, 在一定的载荷作用下, 压入被测材料的表面并保持一定时间, 然后卸除载荷力, 这样就在材料表面留下了一个一定尺寸的压痕。测量压痕尺寸的大小并根据载荷力的大小, 就可以计算出该材料的硬度值。

#### 1. 布氏硬度

布氏硬度试验用的压头是淬火钢球, 钢球直径有 2.5mm、5mm 和 10mm 三种。根据被测材料的种类、硬度范围和试件厚度的不同, 测定时所选用的钢球直径、载荷作用力大小和载荷保持时间也就不一样。

布氏硬度的试验原理如图 1-4 所示。将直径为  $D$  的钢球或硬质合金球, 在一定载荷  $P$  的作用下压入试样表面, 保持一定时间后卸除载荷, 所施加的载荷与压痕表面积的比值即为布氏硬度。布氏硬度值可通过测量压痕平均直径  $d$  查表得到。

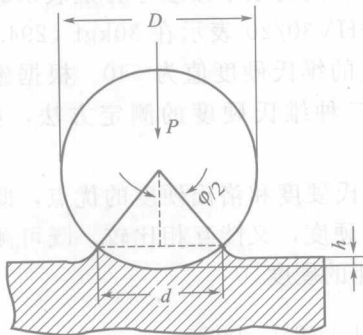


图 1-4 布氏硬度的试验原理

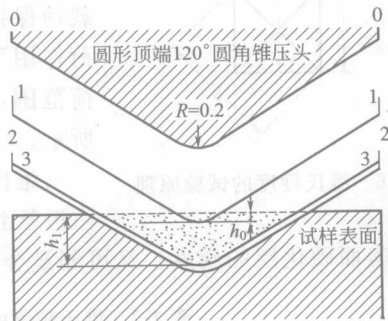


图 1-5 洛氏硬度的试验原理

当压头为钢球时, 布氏硬度用符号 HBS 表示, 适用于布氏硬度值在 450 以下的材料。压头为硬质合金时用符号 HBW 表示, 适用于布氏硬度在 650 以下的材料。符号 HBS 或

HBW 之前的数字表示硬度值, 符号后面的数字按顺序分别表示球体直径、载荷大小及载荷保持时间。如 120HBS10/1000/30 表示直径为 10mm 的钢球在 1000kgf (9.807kN) 载荷作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

布氏硬度的优点是测量误差小、数据稳定; 缺点是压痕大, 不能用于太薄件或成品件。最常用的钢球压头适于测定退火钢、正火钢、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。

### 2. 洛氏硬度

洛氏硬度的试验原理如图 1-5 所示。在初载荷和总载荷 (初载荷与主载荷之和) 的先后作用下, 将压头 (金刚石圆锥体或钢球) 压入试样表面, 保持一定时间后卸除主载荷, 用测量的残余压痕深度增量  $h_1 - h_0$  计算硬度值 ( $h_0$  为初载荷压入的深度,  $h_1$  为卸除主载荷后残余压痕的深度)。洛氏硬度用符号 HR 表示, 根据压头类型和主载荷不同, 分为九个标尺, 常用的标尺为 A、B、C, 如表 1-1 所示。符号 HR 前面的数字为硬度值, 后面为使用的标尺, 如 50HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 50。

表 1-1 常用洛氏硬度的符号、试验条件及应用

硬度标尺	硬度符号	压头类型	初载荷 $P_0/N$	主载荷 $P_1/N$	K	表盘刻度颜色	硬度范围	应用举例
A	HRA	金刚石圆锥	98.07	490.3	100	黑色	20~88	碳化物、硬质合金、表面淬火钢等
B	HRB	1.588mm 钢球	98.07	882.6	130	红色	20~100	软钢、退火钢、铜合金等
C	HRC	金刚石圆锥	98.07	1373	100	黑色	20~70	淬火钢、调质钢等

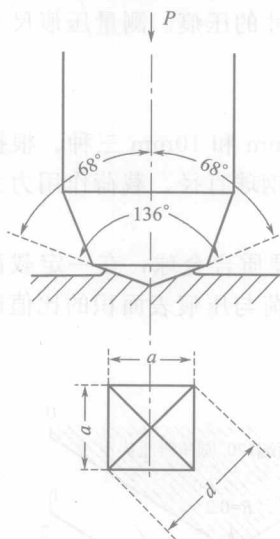


图 1-6 维氏硬度的试验原理

实际测量时, 硬度值可从洛氏硬度计的表盘上直接读出。洛氏硬度的优点是操作简便、压痕小、适用范围广。缺点是测量结果分散度大。

### 3. 维氏硬度

维氏硬度的试验原理如图 1-6 所示。将顶部两相对面具有规定角度 ( $136^\circ$ ) 的正四棱锥体金刚石压头在载荷  $P$  的作用下压入试样表面, 保持一定时间后卸除载荷, 所施加的载荷与压痕表面积的比值即为维氏硬度。维氏硬度可通过测量压痕对角线长度  $d$  查表得到。维氏硬度用符号 HV 表示, 符号前的数字为硬度值, 后面的数字按顺序分别表示载荷值及载荷保持时间。如 640HV30/20 表示在 30kgf (294.2N) 载荷作用下保持 20s 测定的维氏硬度值为 640。根据施加的载荷范围不同, 规定了三种维氏硬度的测定方法, 如表 1-2 所示。

维氏硬度保留了布氏硬度和洛氏硬度的优点, 既可测量由极软到极硬的材料硬度, 又能互相比对。既可测量大块材料、表面硬化层的硬度, 又可测量金相组织中不同相的硬度。

表 1-2 维氏硬度的测定方法 (GB/T 4340.1—1999)

载荷范围/N	硬度符号	实验名称
$P \geq 49.03$	$\geq HV5$	维氏硬度试验
$1.961 \leq P < 49.03$	HV0.2~HV5	小负荷维氏硬度试验
$0.09807 \leq P < 1.961$	HV0.01~HV0.2	显微维氏硬度试验

### 1.1.3 冲击韧性

许多机械零件、构件或工具在服役时，会受到冲击载荷的作用，如活塞销、冲模和锻模等。材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力称为冲击韧性。其值以冲击韧度  $a_k$  表示， $a_k$  越大，材料的韧性越好，在受到冲击时越不易断裂。冲击韧度反应了材料抵抗冲击载荷的能力。

$$a_k = A_k / S \quad (\text{J}/\text{cm}^2) \quad (1-3)$$

式中  $A_k$ ——冲击功，摆锤冲断试样所失去的能量，即对试样断裂所做的功，J；

$S$ ——试样缺口处截面积， $\text{cm}^2$ 。

在如图 1-7 所示的摆锤式冲击试验机上用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的缺口试样进行一次冲断，可测得冲击吸收功  $A_k$ 。试验所用冲击试样根据其缺口形状分为 U 形缺口冲击试样和 V 形缺口冲击试样两种，如图 1-8 所示，测得的冲击韧度分别用  $a_{kU}$ 、 $a_{kV}$  表示。



图 1-7 摆锤式冲击试验机示意图

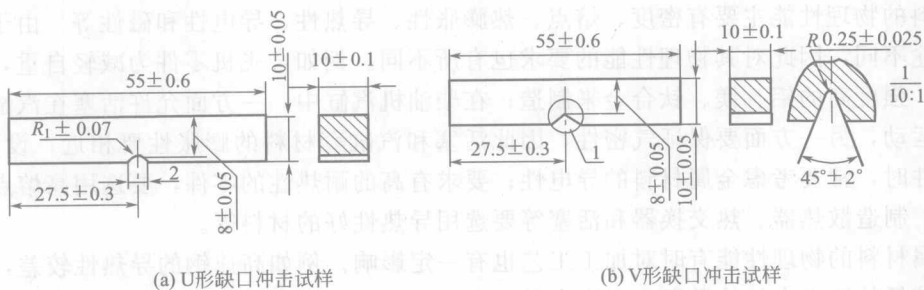


图 1-8 标准缺口冲击试样

### 1.1.4 疲劳极限

实际工作中的许多机械零件（如轴、齿轮、弹簧等）和工程机构常常是在交变载荷的作用下。所谓交变载荷是指大小或方向随时间而变化的载荷。在这种载荷的作用下，材料常常在远低于其屈服强度的应力下发生断裂，这种现象称为疲劳。

疲劳失效与静载荷下的失效不同，断裂前没有明显的塑性变形，发生断裂比较突然。实际服役的金属材料有 90% 是因为疲劳而破坏。疲劳破坏是脆性破坏，它的一个重要特点是具有突发性，因而更具灾难性。

疲劳产生的原因是：机构上的每一点都承受交变载荷的作用，如果某一点有一小裂纹，

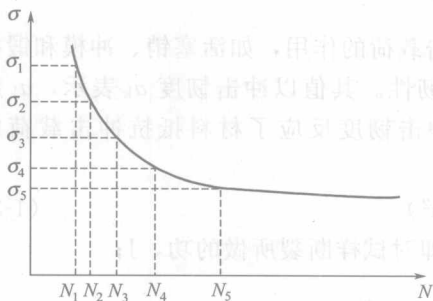


图 1-9 疲劳曲线示意图

在拉应力的作用下, 裂纹扩展, 在压应力的作用下, 裂纹闭合, 在交变载荷的作用下, 裂纹不断被拉开和闭合, 当裂纹扩展到一定程度时, 机构的有效承载面积无法承受外加载荷的作用, 发生突然断裂。由此可见, 疲劳断裂是由疲劳裂纹产生-扩展-瞬时断裂三个阶段组成的。因此, 疲劳断口一般以疲劳裂纹源为中心, 逐渐向内扩展形成海滩条纹的裂纹扩展区和呈纤维状的瞬时断裂区。

材料承受的交变应力  $\sigma$  与断裂时应力循环次数  $N$  之间的关系可用疲劳曲线来描述 (见图 1-9)。随着  $\sigma$  的下降,  $N$  值增加, 材料经无数次应力循环后仍不发生断裂时的最大应力称为疲劳极限。对称循环交变应力的疲劳极限用  $\sigma_{-1}$  表示。实际当中, 做无限次应力循环的疲劳试验是不可能的, 对于钢铁材料, 一般规定疲劳极限对应的应力循环次数为  $10^7$ , 有色金属为  $10^8$ 。

提高疲劳极限的途径:

① 在零件结构设计中尽量避免尖角, 缺口和截面突变, 以免产生应力集中, 从而产生疲劳裂纹;

② 提高零件表面加工质量, 减少疲劳源;

③ 采用各种表面强化处理。

## 1.2 材料的工艺性能

在选用金属和制造机械零件时, 主要考虑力学性能和工艺性能。在某些特定条件下工作的零件, 还要考虑其物理性能和化学性能。

### 1.2.1 物理性能

物理性能是金属材料对自然界各种物理现象, 如温度变化、地球引力等所引起的反应。金属材料的物理性能主要有密度、熔点、热膨胀性、导热性、导电性和磁性等。由于机械零件的用途不同, 因此对其物理性能的要求也有所不同。例如, 飞机零件为减轻自重, 常选用密度小、强度高的铝、镁、钛合金来制造; 在柴油机汽缸中, 一方面允许活塞在汽缸套内自由往复运动, 另一方面要保证气密性, 因此活塞和汽缸套材料的膨胀性要相近; 设计电机、电器零件时, 常要考虑金属材料的导电性; 要求有高的耐热性的零件, 要选用高熔点的合金来制造; 制造散热器、热交换器和活塞等要选用导热性好的材料等。

金属材料的物理性能有时对加工工艺也有一定影响。例如高速钢的导热性较差, 锻造时应采用较低的速度来加热升温, 否则容易产生裂纹; 而材料的导热性对切削刀具的温升有重大影响。又如锡基轴承合金、铸铁和铸钢的熔点不同, 故在铸造时所选的熔炼设备、铸型材料等均有很大的不同。

### 1.2.2 化学性能

金属材料的化学性能主要是指在常温或高温时, 抵抗各种活泼介质化学侵蚀的能力, 如耐酸性、耐碱性、抗氧化性等。

对于在腐蚀介质中或在高温下工作的机器零件, 由于比在空气中或室温时的腐蚀更为强烈, 故在设计这类零件时应特别注意金属材料的化学性能, 并采用化学稳定性良好的合金。如化工设备、医疗用具等常采用不锈钢来制造, 而内燃机排气阀和电站设备的一些零件常选用耐热钢制造。



### 1.2.3 工艺性能

制造机器零件时金属材料要经过热处理、铸造、锻造、焊接及切削加工等工艺过程。工艺性能是指金属材料对这些加工工艺的适应性,按工艺方法不同有热处理性、铸造性、锻造性、焊接性和切削加工性等。

#### 1. 热处理性

热处理性是指金属材料在改变温度和冷却中获得所需结构和性能的能力。对钢而言,常指淬透性、淬硬性、回火脆性及产生裂纹的倾向性等。不同的金属材料,热处理性的实际衡量标准各不相同,且差异很大。但最根本的问题,是要看金属材料在固态下能否因环境条件的改变而发生内部结构的变化。能发生改变而又容易保证零件的质量和性能使用性能的金属材料,就认定该材料的热处理性好,反之则认为该材料的热处理性差。详细内容将在第3章介绍。

对于具体材料,应根据要求和通过试验来确定其热处理性,进而在零件设计中提出合理的性能要求,在制造中确定合理的工艺规范,以保证制造出经济、实用、耐久的产品。

#### 2. 铸造性

铸造性是指金属在铸造成形过程中所表现出的能力。铸造性好,可以铸造出形状准确、结构复杂的铸件,并可简化工艺过程,提高成品率。

铸造性的好坏主要取决于金属的充型能力(液态金属充填铸型型腔的能力)和收缩等。

(1) 充型能力 液态金属充填铸型型腔的能力称为充型能力。它既包含金属流入型腔的特性,又包含液态金属准确、清晰复制型腔结构的能力。因此,当金属的充型能力较弱时,影响铸件成形,容易产生浇不足、冷隔、夹渣和气孔等缺陷。影响充型能力的因素有以下三个方面。

① 金属成分。成分不同的金属具有不同的结晶特点,其充型能力相差很大。纯金属和共晶成分的金属,都是在恒温下结晶,表现出较好的充型能力。这是由于,这类金属浇入型腔后,金属温度受铸型吸热影响,其金属温度分布如图1-10(a)所示。由图可见,凝固过程中固体和液体存在明显的分界,该固体层金属表面较光滑,产生的阻力小,故液态金属流入

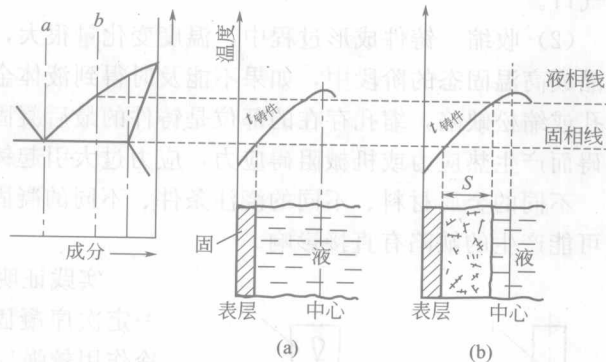


图 1-10 合金成分对充型的影响

型腔的能力强。另外,共晶成分的合金熔点低,在相同浇注温度条件下,保持液态的时间长,对充型极为有利。其他成分的合金都是在一段温度范围内进行结晶的。当它们进入铸型后,其温度分布与共晶合金相同时[见图1-10(b)],除有固体层外,还有一个固液共存的S层。此层内的固体质点不仅阻碍液体金属的流动,而且还加速液体金属的冷却,明显降低该类金属的充型能力。结晶温度范围(结晶区间)越宽,合金的充型能力越差。

对铁碳合金而言,碳、硅、磷等合金元素含量高的铸铁,充型能力强。而含硫量高时,铸铁的充型能力弱。由于钢的熔点高,结晶区间较大,它的充型能力很低,不适合薄壁件的成形。

② 温度和压力。液态金属的温度越高,原子的动能越大,在充型中克服阻力的能力越