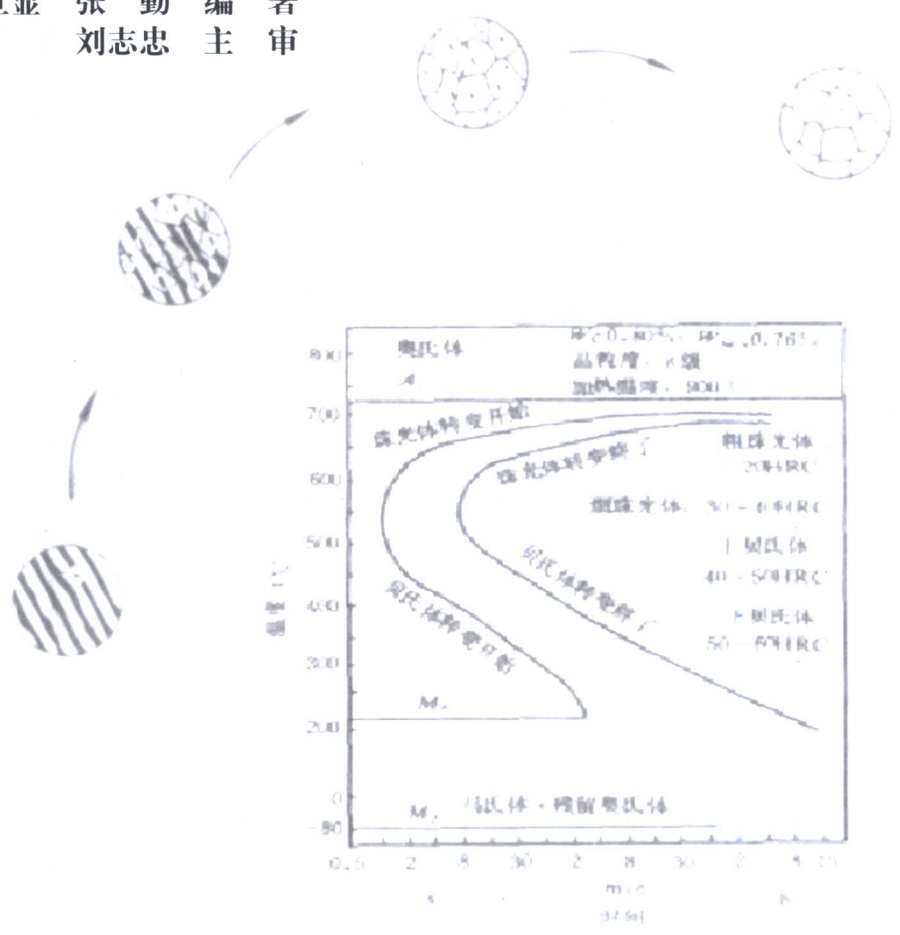




高职高专推荐教材

# 工程材料与成形工艺

北京希望电子出版社 总策划  
 张建国 主编  
 徐 坚 赵 晓 副主编  
 李世显 张 勤 编 著  
 刘志忠 主 审

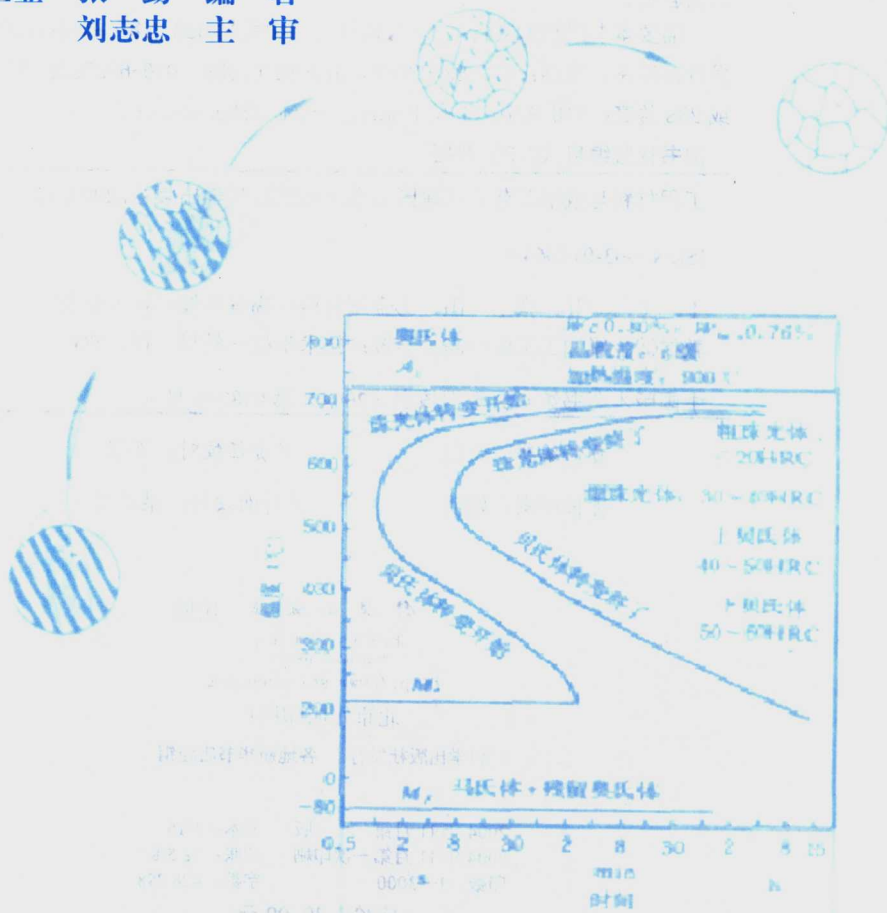




高职高专推荐教材

# 工程材料与成形工艺

北京希望电子出版社 总策划  
 张建国 主编  
 徐 坚 赵 晓 副主编  
 李世显 张 勤 编 著  
 刘志忠 主 审



 科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

## 内容简介

本书是根据教育部制定的《高职高专教育工程材料与成形工艺基础课程教学基本要求》编写的高职高专教育通用教材。

全书共 20 章, 主要内容包括绪论、金属的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金状态图、非合金钢、钢的热处理、低合金钢与合金钢、铸铁、非铁金属、非金属材料、粉末冶金材料、金属的腐蚀及其防护方法、零件材料的选用、铸造、锻压、焊接、毛坯的选用、切削加工、特种加工简介、零件生产过程的基本知识、产品质量的检验与控制等。本书每章都附有复习思考题, 以方便学生课后复习巩固; 本书还编写了内容丰富的课后阅读材料, 介绍本课程的相关内容与发展动态, 以提高学生对本课程的兴趣, 开拓学生的视野。

本书可作为高职高专院校机械类和近机类各专业教材, 也可作为职工培训教材。

需要本书或技术支持的读者, 请与北京中关村 083 信箱(邮编: 100080) 发行部联系, 电话: 010-82702660 010-82702658, 010-62978181 转 103 或 238 传真: 010-82702698, E-mail: yanmc@bhp.com.cn。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与成形工艺 / 张建国主编. —北京: 科学出版社, 2004. 11

ISBN 7-03-014064-8

I. 工... II. 张... III. ①金属材料—高等学校: 技术学校—教材②金属加工工业—高等学校: 技术学校—教材 IV. TG

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 078299 号

责任编辑: 姚昆 / 责任校对: 肖寒  
责任印刷: 媛明 / 封面设计: 梁运丽

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京媛明印刷厂

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2004 年 11 月第 一 版 开本: 1/16  
2004 年 11 月第一次印刷 印张: 18 5/8  
印数: 1—3000 字数: 428 298

定价: 30.00 元

# 前 言

高等职业教育是高等教育的重要组成部分。高质量的高等职业教育教材是培养合格高职人才的根本保证。我国的高等职业教育发展时间较短，人们呼唤适合高等职业教育的优质教材。因此，为适应新的形势所需编写了本教材。本书是根据教育部制定的《高职高专教育工程材料与成形工艺基础课程教学基本要求》，并结合我院多年的高等职业教育教学实践经验编写而成，是高职高专教育通用教材。

全书共 20 章，主要内容包括绪论、金属的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金状态图、非合金钢、钢的热处理、低合金钢与合金钢、铸铁、非铁金属、非金属材料、粉末冶金材料、金属的腐蚀及其防护方法、零件材料的选用、铸造、锻压、焊接、毛坯的选用、切削加工、特种加工简介、零件生产过程的基本知识、产品质量的检验与控制等。本书每章都附有复习思考题，以方便学生课后复习巩固。

本书可作为高职高专院校机械类和近机类各专业教材，也可作为职工培训教材。

本书编写具有以下特点：

1. 紧紧围绕高等职业教育的人才培养目标编排教材内容。正确处理知识与能力的辩证统一关系，其中理论知识部分深浅适度，知识应用部分突出，体现了高等职业教育规律和人才培养要求。

2. 全部采用最新的国家标准，积极推进最新标准的实施。

3. 紧跟时代发展，注重新材料、新工艺、新技术的引入。

4. 编写了丰富的阅读材料，介绍本课程的相关内容与发展动态，有利于提高学生对本课程的兴趣，开拓学生视野，提高学习效果。

5. 文字简练，图文并茂，通俗易懂，便于自学。

参加本书编写的有：郑州铁路职业技术学院张勤（第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 9 章、第 20 章），李世显（第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 10 章），赵晓（第 8 章、第 11 章、第 12 章、第 13 章），徐坚（第 14 章、第 15 章、第 16 章），张建国（绪论、第 17 章、第 18 章、第 19 章）。全书由张建国统稿，徐坚和赵晓参加了部分章节的统稿。全书由张建国任主编，徐坚和赵晓任副主编。郑州铁路职业技术学院的刘志忠担任主审。

全书插图的制作和修描由郑州铁路职业技术学院李勇和刘华洲负责，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，教材编写时间仓促，书中难免存在种种缺点和不当之处，恳请广大读者给予批评指正。

编者

# 目 录

绪论.....	1	3.1.3 渗碳体 ( $Fe_3C$ ) .....	28
第1章 材料的性能.....	3	3.1.4 珠光体 (P) .....	28
1.1 材料的力学性能.....	3	3.1.5 莱氏体 (Ld 和 Ld') .....	29
1.1.1 强度与塑性 .....	3	3.2 铁碳合金状态图 .....	29
1.1.2 硬度 .....	6	3.2.1 Fe—Fe <sub>3</sub> C 状态图分析 .....	29
1.1.3 韧性 .....	10	3.2.2 铁碳合金结晶过程分析.....	31
1.1.4 疲劳 .....	12	3.2.3 铁碳合金性能, 成分与 组织之间的关系.....	33
1.2 金属的物理性能与化学性能 .....	13	3.2.4 铁碳合金状态图的主要用途 .....	33
1.2.1 金属的物理性能 .....	13	复习思考题 .....	34
1.2.2 金属的化学性能 .....	15	第4章 非合金钢 .....	35
1.3 金属的工艺性能 .....	15	4.1 杂质元素对钢性能的影响 .....	35
1.3.1 铸造性能 .....	15	4.1.1 硅的影响.....	35
1.3.2 锻造性能 .....	15	4.1.2 锰的影响.....	35
1.3.3 焊接性能 .....	16	4.1.3 硫的影响.....	35
1.3.4 切削加工性能 .....	16	4.1.4 磷的影响.....	35
复习思考题 .....	16	4.2 非合金钢的分类、牌号及用途.....	36
第2章 金属的晶体结构与结晶 .....	18	4.2.1 非合金钢的分类.....	36
2.1 金属的晶体结构 .....	18	4.2.2 非合金钢牌号及用途.....	37
2.1.1 晶体与非晶体 .....	18	复习思考题 .....	42
2.1.2 晶体结构的基本知识.....	18	第5章 钢的热处理 .....	44
2.1.3 金属的实际晶体结构.....	19	5.1 概述 .....	44
2.2 合金的晶体结构 .....	21	5.2 钢的热处理原理 .....	44
2.2.1 基本概念 .....	21	5.2.1 钢在加热时的组织转变.....	44
2.2.2 合金的晶体结构 .....	21	5.2.2 钢在冷却时的组织转变.....	46
2.3 纯金属的结晶 .....	22	5.3 钢的退火与正火 .....	50
2.3.1 冷却曲线与过冷度.....	23	5.3.1 退火 .....	50
2.3.2 金属的结晶过程 .....	23	5.3.2 正火 .....	51
2.3.3 金属结晶后的晶粒大小.....	23	5.4 钢的淬火与回火 .....	52
2.4 金属的同素异构转变 .....	24	5.4.1 淬火 .....	52
复习思考题 .....	25	5.4.2 回火 .....	54
课外阅读 .....	26	5.5 钢的表面热处理 .....	55
第3章 铁碳合金状态图 .....	28	5.5.1 表面淬火.....	55
3.1 铁碳合金的基本组织 .....	28	5.5.2 化学热处理.....	56
3.1.1 铁素体 (F) .....	28	5.6 热处理新技术简介 .....	56
3.1.2 奥氏体 (A) .....	28		

5.6.1 可控气氛热处理 .....	56	7.2.2 球墨铸铁 .....	86
5.6.2 形变热处理 .....	57	7.2.3 蠕墨铸铁 .....	87
5.6.3 真空热处理 .....	57	7.2.4 可锻铸铁 .....	88
5.6.4 激光热处理和电子束表面淬火 .....	57	复习思考题 .....	89
5.7 热处理工艺应用 .....	57	<b>第8章 非铁金属</b> .....	91
5.7.1 热处理的技术条件 .....	57	8.1 铝及铝合金 .....	91
5.7.2 热处理的工序位置 .....	59	8.1.1 纯铝 .....	92
5.7.3 热处理零件的结构工艺性 .....	59	8.1.2 铝合金 .....	92
复习思考题 .....	60	8.1.3 铝合金的热处理 .....	95
课外阅读 .....	61	8.2 铜及铜合金 .....	96
<b>第6章 低合金钢与合金钢</b> .....	64	8.2.1 铜 .....	96
6.1 合金元素在钢中的作用 .....	64	8.2.2 铜合金的分类 .....	96
6.1.1 合金元素在钢中的存在形式及作用 .....	64	8.2.3 压力加工黄铜 .....	97
6.1.2 合金元素对钢的热处理和力学性能的影响 .....	65	8.2.4 白铜 .....	98
6.2 低合金钢与合金钢的分类及牌号 .....	66	8.2.5 压力加工青铜 .....	99
6.2.1 低合金钢和合金钢的分类 .....	66	8.2.6 铸造铜合金 .....	101
6.2.2 低合金钢和合金钢的牌号 .....	67	8.3 钛及钛合金 .....	101
6.3 低合金钢 .....	68	8.3.1 纯钛 .....	101
6.3.1 低合金高强度结构钢 .....	68	8.3.2 钛合金 .....	102
6.3.2 低合金耐候钢 .....	68	8.4 轴承合金 .....	103
6.3.3 低合金专业用钢 .....	68	8.4.1 轴承合金的性能要求 .....	103
6.4 合金钢 .....	69	8.4.2 轴承合金的理想组织 .....	103
6.4.1 工程结构用合金钢 .....	69	8.4.3 常用轴承合金 .....	103
6.4.2 常用机械结构用合金钢 .....	70	复习思考题 .....	105
6.4.3 滚动轴承钢 .....	72	<b>第9章 非金属材料</b> .....	107
6.4.4 合金工具钢与高速钢 .....	73	9.1 高分子材料 .....	107
6.4.5 不锈钢与耐热钢 .....	76	9.1.1 塑料 .....	107
6.4.6 特殊物理性能钢 .....	78	9.1.2 橡胶 .....	109
6.4.7 铸钢 .....	78	9.2 陶瓷材料 .....	110
复习思考题 .....	79	9.2.1 陶瓷的分类与性能 .....	110
课外阅读 .....	80	9.2.2 常用工业陶瓷 .....	111
<b>第7章 铸铁</b> .....	82	9.3 复合材料 .....	112
7.1 概述 .....	82	9.3.1 复合材料的分类 .....	112
7.1.1 铸铁的种类 .....	82	9.3.2 复合材料的性能 .....	112
7.1.2 铸铁的石墨化及其影响因素 .....	82	9.3.3 常用复合材料 .....	112
7.2 常用铸铁 .....	83	复习思考题 .....	113
7.2.1 灰铸铁 .....	83	课外阅读 .....	114
		<b>第10章 粉末冶金材料</b> .....	117
		10.1 概述 .....	117

10.2 硬质合金.....	117	13.2.2 收缩性.....	137
10.2.1 硬质合金概述.....	117	13.3 砂型铸造.....	140
10.2.2 硬质合金的分类、代号 及其应用.....	118	13.3.1 砂型铸造的工艺流程.....	140
10.3 其他粉末冶金材料.....	119	13.3.2 砂型铸造工艺设计.....	146
10.3.1 粉末冶金减摩材料.....	119	13.4 特种铸造.....	149
10.3.2 粉末冶金结构材料.....	119	13.4.1 金属型铸造.....	149
10.3.3 粉末冶金摩擦材料.....	120	13.4.2 压力铸造.....	150
复习思考题.....	120	13.4.3 离心铸造.....	150
<b>第11章 金属的腐蚀及其防护方法</b> .....	122	13.4.4 熔模铸造.....	151
11.1 金属腐蚀的基本过程.....	122	13.5 铸件的结构工艺性.....	152
11.1.1 化学腐蚀.....	122	13.5.1 铸造工艺对铸件结构的要求.....	152
11.1.2 电化学腐蚀.....	122	13.5.2 合金铸造性能对铸件 结构的要求.....	153
11.2 防止金属腐蚀的途径和方法.....	124	13.6 铸造新技术简介.....	155
11.2.1 提高金属本身的抗蚀能力.....	124	复习思考题.....	157
11.2.2 利用覆盖法提高抗蚀能力.....	124	阅读材料.....	157
11.2.3 采用化学处理法来 提高抗蚀能力.....	125	<b>第14章 锻压</b> .....	159
复习思考题.....	127	14.1 概述.....	159
阅读材料.....	127	14.2 锻压加工基本知识.....	160
<b>第12章 零件材料的选用</b> .....	129	14.2.1 金属的塑性变形.....	160
12.1 选材的原则、方法和步骤.....	130	14.2.2 回复与再结晶.....	161
12.1.1 选材的原则.....	130	14.2.3 冷变形与热变形.....	162
12.1.2 选材的方法与步骤.....	131	14.2.4 锻造流线与锻造比.....	162
12.2 常用材料的合理使用.....	132	14.2.5 金属的锻造性能.....	163
12.2.1 铸铁与钢的合理使用.....	132	14.2.6 坯料的加热.....	163
12.2.2 非合金钢、低合金钢和 合金钢的合理使用.....	132	14.2.7 锻件的冷却.....	165
12.2.3 非金属材料的合理使用.....	132	14.3 锻造.....	165
12.3 典型零件选材实例.....	133	14.3.1 自由锻造.....	165
12.3.1 齿轮类零件的选材.....	133	14.3.2 模锻.....	171
12.3.2 轴类零件的选材.....	133	14.3.3 胎模锻.....	172
12.3.3 箱体类零件的选材.....	134	14.4 锻件的结构工艺性.....	172
12.3.4 常用工具的选材.....	134	14.4.1 可锻性对锻件结构的要求.....	172
复习与思考.....	134	14.4.2 锻造工艺对锻件结构的要求.....	172
<b>第13章 铸造</b> .....	136	14.5 冲压.....	174
13.1 概述.....	136	14.5.1 概述.....	174
13.2 金属的铸造性能.....	137	14.5.2 冲压的基本工序.....	175
13.2.1 流动性.....	137	14.5.3 冲压件的结构工艺性.....	176
		14.6 锻压新技术简介.....	176
		14.6.1 超塑性成形技术.....	177

14.6.2	高速高能成形技术	177
14.6.3	液态模锻	178
14.6.4	摆动辗压	178
14.6.5	计算机在锻压技术中的应用	178
	复习思考题	179
	阅读材料	180
<b>第15章</b>	<b>焊接</b>	<b>182</b>
15.1	概述	182
15.1.1	焊接的分类	182
15.1.2	焊接的特点	183
15.2	焊条电弧焊	183
15.2.1	焊接过程	183
15.2.2	焊条电弧焊的设备及工具	184
15.2.3	焊条	185
15.2.4	焊条电弧焊工艺	186
15.3	气焊与气割	188
15.3.1	气焊	188
15.3.2	气割	191
15.4	其他焊接方法	192
15.4.1	埋弧焊	192
15.4.2	气体保护焊	192
15.4.3	等离子弧焊	194
15.4.4	电阻焊(接触焊)	195
15.4.5	电渣焊	195
15.4.6	钎焊	196
15.5	金属的焊接性能	196
15.5.1	金属的焊接性能	196
15.5.2	焊接接头	197
15.5.3	常用金属材料的焊接	197
15.6	焊接应力与变形	198
15.6.1	焊接应力与变形产生的原因	198
15.6.2	焊接变形的基本形式	199
15.6.3	预防和减少焊接应力 与变形的措施	199
15.6.4	焊接变形的矫正	201
15.7	焊件的结构工艺性	201
15.8	焊接新技术简介	204
	复习思考题	205
	阅读材料	207

<b>第16章</b>	<b>毛坯的选用</b>	<b>208</b>
16.1	毛坯种类	208
16.2	选择毛坯的原则	209
16.2.1	毛坯首先应保证零件的 使用性能	209
16.2.2	毛坯生产方法应与零件 材料相适应	210
16.2.3	毛坯选择应考虑经济性的要求	210
16.2.4	毛坯的选择应考虑生产 现实的可行性	210
16.3	典型零件毛坯的选择	210
16.3.1	轴杆类零件的毛坯选择	210
16.3.2	轮盘、套类零件	211
16.3.3	箱体、支架类零件	212
16.3.4	毛坯选择实例	212
	复习思考题	214
<b>第17章</b>	<b>切削加工</b>	<b>215</b>
17.1	概述	215
17.2	切削加工工艺基础	215
17.2.1	切削运动和切削用量	215
17.2.2	切削刀具	217
17.2.3	切削过程中的物理现象	220
17.3	钳工	223
17.3.1	划线	224
17.3.2	锯割	227
17.3.3	锉削	228
17.3.4	钻孔	230
17.3.5	攻螺纹和套螺纹	231
17.3.6	装配工艺	233
17.4	车削加工	236
17.4.1	车床	236
17.4.2	车刀	237
17.4.3	车床附件及工件的安装	238
17.4.4	基本车削方法	240
17.4.5	车床加工的工艺特点	242
17.5	其他机床加工	243
17.5.1	镗床加工	243
17.5.2	刨床加工	244
17.5.3	铣床加工	245

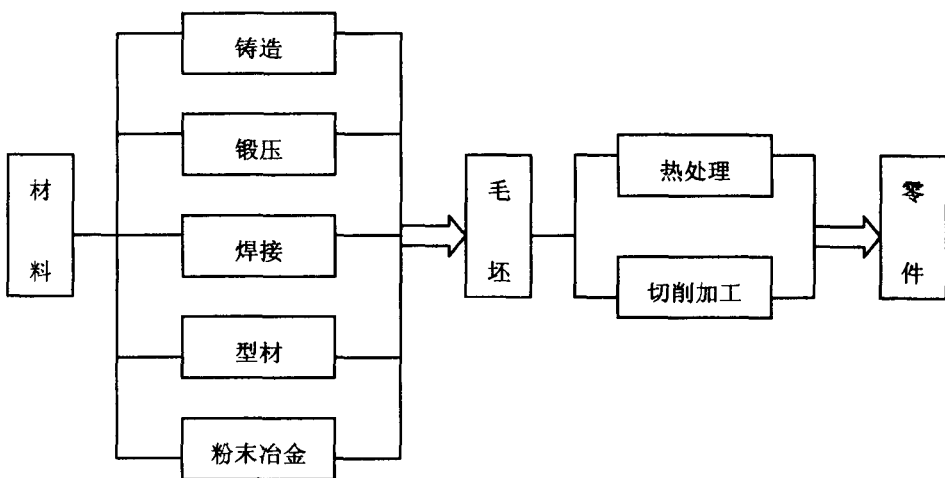


17.5.4 磨床加工 .....	248	19.2.1 外圆表面加工 .....	267
15.6 零件切削加工的结构工艺性 .....	250	19.2.2 孔加工 .....	268
复习思考题 .....	253	19.2.3 平面加工 .....	269
<b>第 18 章 特种加工简介 .....</b>	<b>255</b>	19.2.4 螺纹加工 .....	270
18.1 电火花加工 .....	255	19.2.5 圆柱齿轮齿形加工 .....	270
18.1.1 电火花加工的基本原理 .....	255	19.3 零件切削加工工艺规程的制订 .....	272
18.1.2 电火花加工的特点及应用 .....	255	19.3.1 制订零件切削加工工艺	
18.2 电解加工 .....	256	规程的内容和要求 .....	272
18.2.1 电解加工的基本原理 .....	256	19.3.2 零件切削加工工艺规程的制订 .....	273
18.2.2 电解加工的特点及应用 .....	256	19.4 典型零件加工工艺分析 .....	275
18.3 超声波加工 .....	257	19.4.1 轴类零件 .....	275
18.3.1 超声波加工的基本原理 .....	257	19.4.2 套类零件 .....	277
18.3.2 超声波加工的特点及应用 .....	258	19.4.3 轮盘类零件 .....	278
18.4 激光加工 .....	258	19.4.4 箱体类零件 .....	279
18.4.1 激光加工的基本原理 .....	258	复习思考题 .....	280
18.4.2 激光加工的特点及应用 .....	259	<b>第 20 章 产品质量的检验与控制 .....</b>	<b>282</b>
18.5 电子束加工 .....	259	20.1 无损检测方法 .....	282
18.5.1 电子束加工的基本原理 .....	259	20.1.1 目检 .....	282
18.5.2 电子束加工的特点及应用 .....	260	20.1.2 渗透探伤法 .....	282
18.6 离子束加工 .....	260	20.1.3 磁粉探伤法 .....	283
18.6.1 离子束加工的基本原理 .....	260	20.1.4 射线透射探伤法 .....	283
18.6.2 离子束加工的特点及应用 .....	260	20.1.5 超声波探伤法 .....	284
18.7 电铸加工 .....	260	20.2 产品质量检验环节 .....	285
18.7.1 电铸加工的基本原理 .....	261	20.2.1 原材料的质量检验 .....	285
18.7.2 电铸加工的特点及应用 .....	261	20.2.2 毛坯的质量检验 .....	285
18.8 微波加工 .....	262	20.2.3 热处理缺陷及常用的检查方法 .....	285
复习思考题 .....	262	20.2.4 机械加工缺陷及常用的检验方法 .....	286
阅读材料 .....	263	20.2.5 产品失效分析 .....	286
<b>第 19 章 零件生产过程的基本知识 .....</b>	<b>265</b>	20.3 产品的质量控制与管理 .....	286
19.1 概述 .....	265	20.3.1 产品的质量控制与管理 .....	286
19.1.1 生产过程与工艺过程 .....	265	20.3.2 质量管理的统计方法 .....	286
19.1.2 机械加工工艺过程的组成 .....	265	复习思考题 .....	288
19.1.3 生产纲领与生产类型 .....	266	<b>主要参考文献 .....</b>	<b>289</b>
19.2 典型表面加工方法 .....	267		

# 绪 论

## 一、机械制造过程及本课程与机械制造的关系

《工程材料与成形工艺》课程介绍机械制造所用材料以及铸造、压力加工、焊接、机械加工、热处理等加工方法的基本知识,它与国民经济建设和人民的的生活息息相关。在国民经济建设和人们的生活中,都离不开机械产品,例如,汽车、电力机车、飞机、轮船、机床、冰箱、电视等。机械产品由机械零件、组件和部件组成,其中机械零件是机械产品最基本的单元,它是通过机械制造工艺过程获得的。机械零件的制造工艺过程主要包括零件材料的选择、毛坯的生产、切削加工、热处理等,如下图所示。



高职高专院校主要培养从事生产或生产管理的技术的应用性人才,高职高专院校的机械类或近机类学生必须具备机械制造的基本知识和相关技能。因此,《工程材料与成形工艺》是高职高专院校机械类或近机类学生必修的一门技术基础课。

## 二、课程主要内容

《工程材料与成形工艺》课程的主要研究两大方面的内容,工程材料与材料加工工艺。工程材料部分包括材料的性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金状态图等金属学基础理论和非合金钢、低合金钢与合金钢、铸铁、非铁金属、非金属材料、粉末冶金材料等常用工程材料;材料加工工艺部分包括钢的热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工、特种加工等。此外,本课程还介绍了金属的腐蚀与防护方法、零件材料和毛坯的选用、零件生产过程的基本知识、产品质量的检验与控制等。

## 三、工程材料与成形工艺发展史

《工程材料与成形工艺》来源于人类的生产实践,具有悠久的发展历史,它对人类文明进步起到了积极的推动作用。在石器时代,人类的祖先以石器为主要工具,石块是人类历史最早使用的工程材料。人类的祖先在不断改进石器的过程中发现了天然铜块和铜矿石,

并在陶器的制造过程中发现了冶铜术，后来又将锡矿石和铜矿石一起冶炼，生产出了更加坚韧和耐磨的青铜，人类社会进入青铜器时代。公元前 1200 年左右，人类开始使用铁，人类社会进入铁器时代。后来钢铁工业迅速发展，成为 18 世纪产业革命的重要内容和物质基础。

在材料生产和材料加工工艺方面，中华民族取得了辉煌的成就。我国使用铜的历史有 4000 年左右，在商代（公元前 1562~1066）就有高度发达的青铜加工技术。在春秋时期我国就大量使用了铁器，比欧洲早 1900 余年。东汉时期我国就掌握了炼钢技术，比其他国家早 1600 余年。河南安阳出土的司母戊大方鼎，重达 875kg，它不仅体积庞大，而且上面花纹精巧、造型精美，反映了我国古代高超的铸造技术。湖北江陵出土的湖北楚墓土的越王勾践宝剑在地下埋藏 2000 多年，出土时仍金光闪闪、锋利无比，经研究发现是因为越王勾践宝剑经过了硫化处理，反映了高超的铸造、热处理技术。到明朝就有比较完整的文字著作，宋应星所著的《天工开物》一书，记载了冶铁、炼钢、铸钟、锻铁和淬火等各种金属加工方法，是世界上最早较全面阐述材料与成形工艺的科学文献之一。

以上事实充分说明了中华民族在材料生产和材料加工工艺方面对世界文明和人类进步的卓越贡献。但是，18 世纪特别是鸦片战争以后，由于封建制度的日益腐败和资本主义列强的侵略，严重地束缚了我国生产力和科学技术的发展，材料生产和材料加工科学也难逃厄运，造成了我国在该方面的落后局面。

新中国成立后，我国人民在党的领导下，在金属材料、非金属材料及其加工工艺方面有了突飞猛进的发展。原子弹、氢弹、导弹、人造地球卫星、超导材料、纳米材料等重大项目的研究与实验成功，标志着金属工艺学的研究与应用在材料生产和材料加工科学方面达到了很高的水平。相信在不远的将来，我国在机械制造领域一定能步入世界先进行列。

#### 四、课程的性质和基本要求

《工程材料与成形工艺》课程具有实践性和综合性强的特点，因此，学习本课程时要注意感性认识的积累，同时要注意多观察、多实践、勤思考、做到理论联系实际。

学习本课程的基本要求是：

(1) 初步掌握常用金属材料的分类、牌号（代号）、性能特点及应用范围以及一般选材知识和常用的热处理方法；

(2) 了解零件的各种加工方法的基本原理、工艺特点及加工范围，并初步具有选择零件材料和毛坯的能力；能制订简单零件的加工工艺规程；

(3) 通过实验和实习，具有一定的实践动手操作能力。

# 第1章 材料的性能

在机械制造行业中，为了设计制造具有竞争力的产品，必须首先了解和掌握材料的各种性能。通常把材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料为保证机械零件或工具正常工作应具备的性能，即在使用过程中所表现出的特性。它包括物理性能、化学性能和力学性能。工艺性能是指金属在制造机械零件和工具的过程中，适应各种冷、热加工的性能，也就是材料采用某种加工方法制成成品的难易程度。它包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、热处理性能及切削加工性能等。了解并掌握材料的性能，才能正确、经济、合理地选材。

## 1.1 材料的力学性能

材料的力学性能是指材料在外力作用下所表现出来的性能，主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

### 1.1.1 强度与塑性

强度是指材料抵抗塑性变形和断裂的能力。金属材料的强度和塑性指标可以通过拉伸试验测得。

#### 1. 拉伸试验

拉伸试验是指用静拉伸力对试样进行轴向拉伸，测量拉伸力和相应的伸长，并测其力学性能的试验。拉伸时一般将拉伸试样拉至断裂。

#### ● 拉伸试样

通常采用圆柱形拉伸试样，试样尺寸按国家标准中金属拉伸试验试样中的有关规定进行制作。试样分为短试样和长试样两种。拉伸试样如图 1-1 所示，图 1-1 (a) 为标准试样，图 1-1 (b) 为拉断后的试样。 $d_0$  为标准试样的原始直径； $d_1$  为试样断口处的直径。 $L_0$  为标准试样的原始标距长度； $L_1$  为拉断试样对接后测出的标距长度。长试样  $L_0=10d_0$ ；短试样  $L_0=5d_0$ 。

#### ● 试验方法

试验在拉伸试验机上进行。图 1-2 为拉伸试验机示意图。将试样装在拉伸试验机的上下夹头上，开动拉伸试验机，在轴向拉力的作用下，试样受到拉伸。同时，记录装置记录下拉伸过程中的力—伸长曲线。

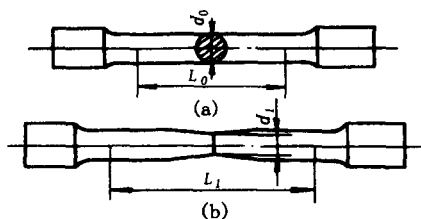
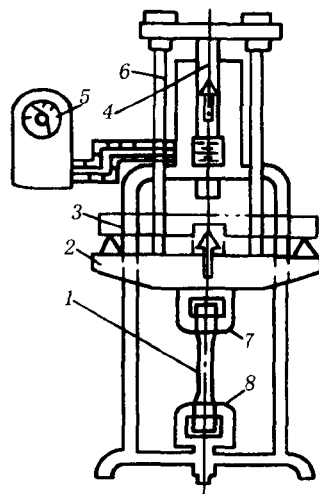


图 1-1 圆柱形拉伸试样



1—试样；2—工作台；3—立柱；4—工作活塞  
5—表盘；6—拉杆；7—上夹头；8—下夹头

图 1-2 拉伸试验机示意图

## 2. 力—伸长曲线

在进行拉伸试验时，拉伸力  $F$  和试样伸长量  $\Delta L$  之间的关系曲线，称为力—伸长曲线。通常把拉伸力  $F$  作为纵坐标，伸长量  $\Delta L$  作为横坐标，图 1-3 为退火低碳钢的力—伸长曲线图。

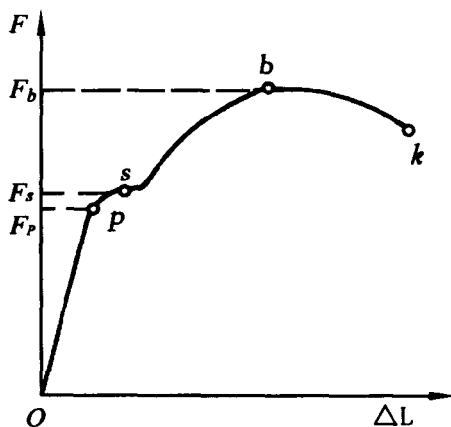


图 1-3 退火低碳钢的力—伸长曲线

观察拉伸试验和力—伸长曲线，会发现在拉伸试验的开始阶段，试样的伸长量  $\Delta L$  与拉伸力  $F$  之间成正比例关系，在力—伸长曲线图中为斜直线  $Op$ 。在该阶段，当拉伸力增加时试样伸长量  $\Delta L$  也呈正比增加。当去除拉伸力后试样伸长变形消失。恢复其原始形状，符合虎克定律，表现为弹性变形。图中  $F_p$  是试样保持弹性变形的最大拉伸力。

当拉伸力不断增加, 超过  $F_p$  时, 试样将产生塑性变形, 去除拉伸力后, 变形不能完全恢复, 塑性伸长将被保留下来。当拉伸力继续增加到  $F_s$  时, 力—伸长曲线在 p 点后出现一个平台, 即在拉伸力不再增加的情况下, 试样也会明显伸长, 这种现象称为屈服,  $F_s$  称为屈服拉伸力。

当拉伸力超过屈服拉伸力后, 试样抵抗变形的能力将会增加, 此现象为冷变形强化, 即抗力增加现象。在力—伸长曲线上表现为一段上升曲线。即随着塑性变形量的增大, 试样变形抗力也逐渐增大。

当拉伸力达到  $F_b$  时, 试样的局部截面开始收缩, 产生了缩颈现象。由于缩颈使试样局部截面迅速缩小, 最终试样被拉断。缩颈现象在力—伸长曲线上表现为一段下降的曲线。 $F_b$  是试样拉断前能承受的最大拉伸力, 称为极限拉伸力。

从完整的拉伸试验和力—伸长曲线可以看出, 试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形阶段、屈服阶段、冷变形强化阶段、缩颈与断裂阶段。

### 3. 强度指标

金属材料的强度指标有屈服点、规定残余伸长应力、抗拉强度等。

#### ● 屈服点和规定残余伸长应力

屈服点是指试样在拉伸试验过程中力不增加(保持恒定)仍然能继续伸长(变形)时的应力。屈服点是工程技术上极为重要的力学性能指标之一, 也是大多数机械零件选材和设计的依据。屈服点用符号  $\sigma_s$  表示, 单位为 MPa。屈服点  $\sigma_s$  的值可用下式计算:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1.1)$$

式中  $F_s$  ——试样屈服时的拉伸力, N;

$S_0$  ——试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

工业上使用的一些金属材料, 如高碳钢、铸铁等, 在进行拉伸试验时没有明显的屈服现象, 也不会产生缩颈现象, 这就需要规定一个相当于屈服点的强度指标, 即规定残余伸长应力。

规定残余伸长应力是指试样卸除拉伸力后, 标距的残余伸长达达到规定数值时的应力, 用应力  $\sigma$  加角标表示。例如:  $\sigma_{r_{0.2}}$  表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

#### ● 抗拉强度

抗拉强度是指试样拉断前承受的最大标称拉应力, 用符号  $\sigma_b$  表示, 单位为 MPa。  $\sigma_b$  可用下式计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1.2)$$

式中  $F_b$  ——试样承受的最大拉伸力, N;

$S_0$  ——试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

$\sigma_b$  是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值，也是金属在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属来说，拉伸试样在承受最大拉应力之前，变形是均匀一致的。但超过  $\sigma_b$  后，金属开始出现缩颈现象，即产生集中变形。

#### 4. 塑性指标

可以用拉伸试样断裂时的最大相对变形量来表示金属的塑性指标，常用拉伸后的断后伸长率和断面收缩率表示。

##### ● 断后伸长率

拉伸试样在进行拉伸试验时，在力的作用下产生塑性变形，原始试样中的标距会不断伸长。标距的伸长与原始标距的百分比称为伸长率。试样拉断后的标距伸长与原始标距的百分比称为断后伸长率，用符号  $\delta$  表示。 $\delta$  可用下式计算：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1.3)$$

式中  $L_1$  ——拉断试样对接后测出的标距长度，mm；

$L_0$  ——试样原始标距，mm。

试样分为长试样和短试样。使用长试样测定的断后伸长率用符号  $\delta_{10}$  表示，通常写成  $\delta$ ；使用短试样测定的断后伸长率用符号  $\delta_5$  表示。同一种材料的断后伸长率  $\delta_{10}$  和  $\delta_5$  数值是不相等的，一般短试样  $\delta_5$  都大于长试样  $\delta_{10}$ 。

##### ● 断面收缩率

断面收缩率是指试样拉断后横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。断面收缩率用符号  $\psi$  表示。 $\psi$  值可用下式计算：

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1.4)$$

式中  $S_0$  ——试样原始横截面积， $\text{mm}^2$

$S_1$  ——试样断口处的横截面积， $\text{mm}^2$ 。

金属塑性的好坏，对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形工艺，而且在使用时万一超载，由于塑性好，能避免突然断裂。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外，还都必须具有一定的塑性。

### 1.1.2 硬度

硬度是衡量金属软硬程度的一种性能指标。

硬度试验和拉伸试验都是在静态力下测定材料力学性能的方法。硬度试验由于其基本上不损伤试样，简便迅速，不需要制作专门试样，而且可以直接在工件上进行测试，因而在生产中被广泛应用。硬度是一项综合力学性能指标，从金属表面的局部压痕即可以反映出材料的强度和塑性，因此在零件图上常常标注各种硬度指标，以作为技术要求。硬度值

的高低对机械零件的耐磨性有直接影响，一般情况下钢的硬度值愈高，其耐磨性亦愈高。

硬度测定方法有压入法、划痕法、回弹高度法等，其中压入法的应用最为普遍。压入法是在规定的静态试验力作用下，将压头压入金属材料表面层，然后根据压痕的面积大小或深度测定其硬度值。目前，用压入法测材料硬度，常用的测试方法有布氏硬度（HBS 或 HBW）、洛氏硬度（HRA、HRB、HRC）和维氏硬度（HV）试验法。

### 1. 布氏硬度

布氏硬度的试验原理是用一定直径的淬火钢球或硬质合金球，以规定的试验力压入试样表面，经规定的保持时间后，去除试验力，测量试样表面的压痕直径  $d$ ，然后根据压痕直径  $d$  计算其硬度值，如图 1-4 所示。布氏硬度值是指单位压痕面积上所承受的平均压力。选择淬火钢球压头时，用符号 HBS；选择硬质合金球压头时，用符号 HBW 表示。布氏硬度值可用下式计算：

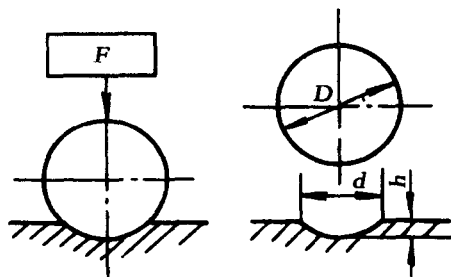


图 1-4 布氏硬度试验原理图

$$HBS(HBW) = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1.5)$$

式中只有  $d$  是变数，因此试验时只要测量出压痕直径  $d$  (mm)，就可通过计算或查布氏硬度表得出 HBS (HBW) 值。布氏硬度计算值一般都不标出单位，只写明硬度的数值。

由于金属有硬有软，工件有厚有薄，在进行布氏硬度试验时，压头直径  $D$ 、试验力和保持时间应根据被测金属种类和厚度正确地进行选择。

在进行布氏硬度试验选择压头时，HBS 适用于测定布氏硬度值在 450 以下的材料，如灰铸铁、有色金属及经退火、正火和调质处理的钢材等；HBW 适用于测定布氏硬度值在 450~650 之间的材料。目前我国布氏硬度试验常用的压头主要是淬火钢球。

布氏硬度的标注方法是，测定的硬度值应标注在硬度符号的前面。除了采用钢球直径  $D$  为 10mm，试验力为 3000kgf (29.42kN)，保持时间为 10s 的试验条件外，在其他条件下试验测得的硬度值，均应在硬度符号的后面用相应的数字注明压头直径、试验力大小和试验力保持时间。例如：

150HBS10 / 1000 / 30 表示：用直径为 10mm 的淬火钢球，在 1 000kgf (9.807kN) 试验力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 150。

500HBW5 / 750 表示：用直径为 5mm 的硬质合金球，在 750kgf (7.355kN) 试验力作用下保持 10~15s 测得的布氏硬度值。一般试验力保持时间为 10~15s 时都不需标明。



布氏硬度的特点是试验时金属表面压痕大，能在较大范围内反映材料的平均硬度，测得的硬度值比较准确，数据重复性强。但由于其压痕大，对金属表面的损伤也较大，因此不宜测定太小或太薄的试样，不宜用于成品件硬度测试。

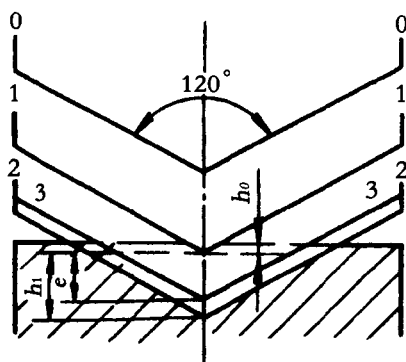


图 1-5 洛氏硬度试验原理图

## 2. 洛氏硬度

洛氏硬度的试验原理是以锥角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为  $1.588\text{mm}$  的淬火钢球作压头压入试样表面，如图 1-5 所示。试验时，先加初试验力，然后加主试验力，压入试样表面之后，去除主试验力，在保留初试验力的情况下，根据试样压痕深度来衡量金属的硬度大小。

在图 1-5 中，0—0 位置为金刚石压头还没有和试样接触时的原始位置。当加上初试验力  $F_0$  后，压头压入试样中，深度为  $h_0$ ，处于图中 1—1 位置。再加主试验力  $F_1$ ，使压头又压入试样的深度为  $h_1$ ，处于图中 1—2 位置。然后去除主试验力，保持初试验力，压头因金属的弹性恢复在图中处于 3—3 位置。图中所示  $e$  值，称为残余压痕深度增量，对于洛氏硬度实验其单位为  $0.002\text{mm}$ 。标尺刻度满量程  $k$  值与  $\frac{e}{0.002}$  值之差，称为洛氏硬度值。根据压头和试验力的不同，洛氏硬度常用  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三种标尺。洛氏硬度的计算式为：

$$\text{HR} = k - e \cdot k = k - \frac{\text{压痕深度}}{0.002} \quad (1.6)$$

式中压痕深度的单位为  $\text{mm}$ 。

对于由金刚石圆锥压头进行的试验，其标尺刻度量程  $k$  为 100，对于由淬火钢球压头进行的试验，其标尺刻度量程  $k$  为 130。

洛氏硬度根据试验时选用的压头类型和试验力大小的不同分别采用不同的标尺进行标注。根据 GB / T 230-1991 规定，硬度数值写在符号的前面，HR 后面写使用的标尺，如 50HRC 表示用“C”标尺测定的洛氏硬度值为 50。

洛氏硬度试验是生产中广泛应用的一种硬度试验。其特点是：硬度试验压痕小，对试样表面损伤小，常用来直接检验成品或半成品的硬度；试验操作简便，可以直接从试验机