



· 普通高等院校“十二五”规划教材

# 金工实习

主 编 黄丽明  
副主编 朱 征 郑连义  
主 审 孔德音

J I N G O N G S H I X I



国防工业出版社

National Defense Industry Press

013024749

普通高等院校“十二五”规划教材

TG-45  
54

# 金工实习

主编 黄丽明  
副主编 朱征 郑连义  
主审 孔德音



国防工业出版社



北航

C1632217

TG-45

54

01305474

## 内 容 简 介

本书是根据2009年“教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会金工课指组”关于《机械制造实习课程教学基本要求》的精神,在总结多年教学改革成功经验的基础上,结合教学实践和学科发展编写而成的。

全书共12章,内容包括:金工实习基础知识、铸造、锻压、焊接、钢的热处理、车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工、钳工、数控加工和特种加工。

本书可作为高等学校机械类各专业本科、专科的金工实习(或机械制造实习)教材,及非机械类各有关专业机械制造实践教学用书,也可供各类成人高校、高职、高专相关专业选用,还可供机械制造行业的工程技术人员学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

金工实习/黄丽明主编. —北京:国防工业出版社,  
2013.3

普通高等院校“十二五”规划教材  
ISBN 978-7-118-08391-0

I. ①金... II. ①黄... III. ①金属加工-实习  
IV. ①TG-45

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第231807号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

涿中印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 14½ 字数 357千字

2013年3月第1版第1次印刷 印数1—3000册 定价28.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717



# 前 言

“金工实习”是一门实践性的技术基础课,是高等学校机械类各专业知识学习机械制造基本工艺和基本方法、完成工程基本训练、培养工程素质和创新精神的重要必修课;也是非机械类各有关专业重要的实践教学环节,是实现理工与人文社会学科融通的有效途径。

本书是根据2009年12月国家“教育部高等学校机械基础课程教学指导分委员会金工课组”关于《机械制造实习课程教学基本要求》的精神,在总结多年教学改革成功经验的基础上,结合教学实践和学科发展编写而成的。

为提高教材质量,本书在内容取材上注意了与课堂教学教材的分工与配合,合理调整了理论教学与实践教学内容;对加工设备的介绍,以外部结构、作用和使用方法为主;对加工方法的介绍,以操作过程和操作技术为主,以体现实践为主的原则。对近年来应用日益广泛的数控加工技术、特种加工技术以及各种新材料、新工艺、新技术,均作了精选介绍,以适应机械制造技术发展的需要;在内容编排和叙述方法上,贯彻由浅入深、循序渐进的原则,不仅注重学生观察现象、独立思考、分析问题和解决问题能力的培养,而且注重学生工程实践能力和创新思维能力的提高。

本书由天津科技大学黄丽明担任主编,朱征、郑连义担任副主编。参加本书编写的有:刘志平(1.1节、第5章),朱恩龙(1.2节~1.4节,第11章、第12章),黄丽明(第2章、第3章),朱征(第4章、第6章、第7章),郑连义(第8章~第10章)。

本书由天津科技大学孔德音教授担任主审。

天津科技大学杜素梅老师对本书的编写提出了许多宝贵的修改意见,颜伟老师对本书有关数控程序内容提出了大量改进建议,在此一并表示衷心感谢。

本书在编写过程中,参考并引用了部分有关教材和网络资料,全体编写人员在此特向相关出版社和作者表示诚挚谢意。

由于编者水平有限,书中欠妥与疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者



# 目 录

<b>第1章 金工实习基础知识</b> .....	1	<b>2.4 落砂与清理</b> .....	41
1.1 工程材料基础知识 .....	1	2.4.1 落砂 .....	41
1.1.1 工程材料的分类 .....	1	2.4.2 清理 .....	41
1.1.2 金属材料的力学性能 .....	1	<b>2.5 特种铸造</b> .....	41
1.1.3 常用金属材料 .....	5	2.5.1 金属型铸造 .....	41
1.2 机械制造基础知识 .....	8	2.5.2 熔模铸造 .....	42
1.2.1 机械制造基本过程 .....	8	2.5.3 压力铸造 .....	43
1.2.2 切削加工基本知识 .....	9	2.5.4 离心铸造 .....	44
1.2.3 切削加工质量 .....	11	<b>2.6 铸件缺陷分析</b> .....	45
1.2.4 切削加工步骤 .....	13	<b>第3章 锻压</b> .....	47
1.3 刀具材料 .....	15	3.1 锻压概述 .....	47
1.3.1 刀具材料的性能要求 .....	15	3.2 锻造 .....	47
1.3.2 常用的刀具材料 .....	16	3.2.1 锻造坯料的加热与锻件 冷却 .....	48
1.4 常用量具及用法 .....	17	3.2.2 自由锻造 .....	50
1.4.1 游标卡尺 .....	17	3.2.3 模型锻造 .....	60
1.4.2 千分尺 .....	18	3.2.4 锻件缺陷分析 .....	61
1.4.3 百分表 .....	20	3.3 板料冲压 .....	63
1.4.4 万能角度尺 .....	21	3.3.1 冲压设备 .....	63
1.4.5 量规 .....	21	3.3.2 冲模结构 .....	65
<b>第2章 铸造</b> .....	23	3.3.3 冲压基本工序 .....	66
2.1 铸造概述 .....	23	<b>第4章 焊接</b> .....	69
2.2 砂型铸造 .....	23	4.1 焊接概述 .....	69
2.2.1 砂型铸造的工艺过程 .....	23	4.1.1 焊接定义及特点 .....	69
2.2.2 铸型的组成 .....	24	4.1.2 焊接方法及分类 .....	69
2.2.3 型(芯)砂 .....	24	4.2 电弧焊 .....	70
2.2.4 模样和芯盒 .....	26	4.2.1 焊接电弧 .....	70
2.2.5 造型 .....	27	4.2.2 焊条电弧焊 .....	70
2.2.6 造芯 .....	32	4.2.3 埋弧焊 .....	77
2.2.7 浇冒口系统 .....	34	4.2.4 气体保护焊 .....	79
2.2.8 造型的基本操作 .....	35	4.2.5 其他常用熔焊方法 .....	82
2.3 合金的熔化与浇注 .....	36	4.3 其他焊接方法 .....	88
2.3.1 合金的铸造性能 .....	36	4.3.1 电阻焊 .....	88
2.3.2 合金的熔炼 .....	38	4.3.2 摩擦焊 .....	89
2.3.3 浇注 .....	40		

4.3.3 钎焊 .....	90	6.5 车削步骤 .....	119
4.4 焊接检验 .....	90	6.6 车削工艺 .....	121
4.4.1 常见焊接缺陷 .....	91	6.6.1 车外圆 .....	121
4.4.2 焊接质量检验 .....	92	6.6.2 车端面 .....	122
<b>第5章 钢的热处理</b> .....	94	6.6.3 车台阶 .....	123
5.1 热处理概述 .....	94	6.6.4 切槽 .....	123
5.2 钢的整体热处理 .....	95	6.6.5 切断 .....	124
5.2.1 退火 .....	95	6.6.6 车成形面 .....	125
5.2.2 正火 .....	95	6.6.7 车圆锥面 .....	126
5.2.3 淬火 .....	96	6.6.8 车螺纹 .....	127
5.2.4 回火 .....	97	6.6.9 孔加工 .....	130
5.3 钢的表面热处理 .....	97	6.6.10 滚花 .....	131
5.3.1 表面淬火 .....	98	6.7 车削综合工艺 .....	132
5.3.2 化学热处理 .....	99	6.7.1 轴类零件车削工艺 .....	132
5.4 常用热处理设备 .....	99	6.7.2 盘套类零件车削工艺 .....	133
5.4.1 热处理加热炉 .....	100	6.7.3 典型零件车削实例 .....	134
5.4.2 冷却装置 .....	101	<b>第7章 铣削加工</b> .....	135
5.5 常见热处理缺陷及防止 措施 .....	101	7.1 铣削概述 .....	135
5.6 钢的火花鉴别 .....	102	7.1.1 铣削特点与应用 .....	135
5.6.1 火花的构成 .....	102	7.1.2 铣削用量 .....	135
5.6.2 常用钢的火花特征 .....	103	7.1.3 铣削方式 .....	136
<b>第6章 车削加工</b> .....	106	7.2 铣床 .....	136
6.1 车削概述 .....	106	7.2.1 铣床种类 .....	136
6.2 车床 .....	106	7.2.2 铣床型号 .....	137
6.2.1 卧式车床型号 .....	106	7.2.3 铣床组成 .....	138
6.2.2 卧式车床的组成 .....	106	7.3 铣刀及其安装 .....	139
6.2.3 卧式车床的基本操作 .....	108	7.3.1 铣刀 .....	139
6.2.4 卧式车床的传动系统 .....	109	7.3.2 铣刀的安装 .....	140
6.3 车刀 .....	111	7.4 铣床附件及工件安装 .....	142
6.3.1 车刀的结构 .....	111	7.4.1 铣床附件 .....	142
6.3.2 车刀组成及角度 .....	111	7.4.2 工件的安装 .....	144
6.3.3 车刀的刃磨 .....	114	7.5 铣削基本工艺 .....	145
6.3.4 车刀安装 .....	114	7.5.1 铣平面 .....	145
6.4 工件安装及车床附件 .....	115	7.5.2 铣斜面和台阶面 .....	146
6.4.1 卡盘安装 .....	115	7.5.3 铣沟槽 .....	147
6.4.2 花盘安装 .....	116	7.5.4 铣成形面 .....	148
6.4.3 顶尖安装 .....	116	7.5.5 铣齿形 .....	148
6.4.4 心轴安装 .....	117	7.5.6 其他加工 .....	149
6.4.5 中心架与跟刀架的 使用 .....	119	7.6 铣削工艺示例 .....	150
		<b>第8章 刨削加工</b> .....	152
		8.1 刨削概述 .....	152

8.2	刨床	153	10.3.2	錾削操作及应用	176
8.2.1	牛头刨床	153	10.4	锯削	177
8.2.2	龙门刨床	155	10.4.1	手锯	178
8.3	刨刀及其安装	156	10.4.2	锯削操作	178
8.3.1	刨刀	156	10.5	锉削	179
8.3.2	刨刀的安装	156	10.5.1	锉刀	180
8.3.3	工件的安装	156	10.5.2	锉削操作	180
8.4	刨削的基本操作	157	10.5.3	锉削方法	181
8.4.1	刨平面	157	10.6	钻削	183
8.4.2	刨沟槽	157	10.6.1	钻孔加工	183
8.4.3	刨成形面	159	10.6.2	扩孔与铰孔	185
8.5	插削	159	10.7	攻螺纹和套螺纹	186
8.5.1	插床	159	10.7.1	攻螺纹	186
8.5.2	插刀	159	10.7.2	套螺纹	187
8.5.3	插削的应用及特点	159	10.8	刮削	188
<b>第9章</b>	<b>磨削加工</b>	161	10.8.1	刮削工具	189
9.1	磨削概述	161	10.8.2	刮削质量的检验	189
9.2	磨床	161	10.8.3	刮削方法	190
9.2.1	外圆及内圆磨床	161	10.9	装配	191
9.2.2	平面磨床	162	10.9.1	装配概述	191
9.3	砂轮	163	10.9.2	典型零、部件装配	192
9.3.1	砂轮的特性	163	10.9.3	部件装配和总装配	194
9.3.2	砂轮的安裝	164	<b>第11章</b>	<b>数控加工</b>	196
9.3.3	砂轮的修整	165	11.1	数控机床	196
9.4	磨削工艺	165	11.1.1	数控机床的基本组成	196
9.4.1	外圆磨削	165	11.1.2	数控机床的工作原理	197
9.4.2	内圆磨削	166	11.1.3	数控机床的特点	197
9.4.3	平面磨削	166	11.2	数控加工编程	198
9.4.4	圆锥面磨削	167	11.2.1	数控机床的坐标系	198
<b>第10章</b>	<b>钳工</b>	168	11.2.2	数控编程方法	198
10.1	钳工概述	168	11.2.3	数控编程内容及步骤	199
10.1.1	钳工的加工特点及应 用范围	168	11.2.4	数控程序代码	200
10.1.2	钳工常用设备	168	11.2.5	数控程序结构与 格式	201
10.2	划线	170	11.3	数控加工常用指令及 实例	201
10.2.1	划线的作用	170	11.3.1	M功能	202
10.2.2	划线工具	170	11.3.2	F功能	202
10.2.3	划线方法与步骤	173			
10.2.4	划线举例	174			
10.3	錾削	175			
10.3.1	錾削工具	176			



11.3.3	T 功能	202	12.2.2	电解加工特点	216
11.3.4	S 功能	203	12.3	超声波加工	216
11.3.5	G 功能	203	12.3.1	超声波加工原理	216
11.3.6	综合举例	207	12.3.2	超声波加工特点	217
11.4	数控加工中心简介	210	12.3.3	超声波加工的 应用	217
<b>第 12 章</b>	<b>特种加工</b>	<b>211</b>	12.4	高能束加工	218
12.1	电火花加工	211	12.4.1	激光加工	218
12.1.1	电火花成形加工	211	12.4.2	电子束加工	220
12.1.2	电火花线切割	214	12.4.3	离子束加工	221
12.2	电解加工	215	<b>参考文献</b>		<b>222</b>
12.2.1	电解加工原理	215			

# 第1章 金工实习基础知识

## 1.1 工程材料基础知识

### 1.1.1 工程材料的分类

工程材料是指制造工程结构、机器零件和工模具等所使用的材料,包括金属材料、高分子材料、无机非金属材料 and 复合材料。

#### 1. 金属材料

金属材料包括黑色金属材料和有色金属材料。黑色金属材料是指以铁为基的钢铁材料,又称铁类合金。黑色金属以外的所有金属及其合金称为有色金属,又称非铁合金。常用的有色金属材料有铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金、镁及镁合金等。

在工程材料中,金属材料(尤其是钢铁材料)使用最广,是现代工业、农业、国防及科学技术的重要物质基础。

#### 2. 高分子材料

高分子材料包括塑料、橡胶和纤维。高分子材料有像金属材料一样良好的延展性,像无机非金属材料一样优良的绝缘性和耐腐蚀性,还具有密度小、容易加工成形、原材料丰富、价格低廉等优点。其缺点是强度比金属差,熔点低,化学稳定性不及无机非金属材料,易老化等。高分子材料是工程上发展较快的一类新型结构材料,广泛用于科学技术、国防建设和国民经济各个领域。

#### 3. 无机非金属材料

传统无机非金属材料包括陶瓷、玻璃、水泥、耐火材料和天然矿物材料等,新型无机非金属材料包括先进陶瓷、无机涂层、无机纤维等。无机非金属材料有许多优良的性能,如耐压强度高、硬度大、耐高温、耐磨损、抗腐蚀等。此外,水泥在胶凝性能上,玻璃在光学性能上,陶瓷在耐蚀及介电性能上,耐火材料在隔热性能上都具有优异的特性,为金属材料和高分子材料所不及。但与金属材料相比,其断裂强度低、缺少延展性,属于脆性材料;与高分子材料相比,其密度较大,制造工艺较复杂。

#### 4. 复合材料

复合材料是由两种或两种以上物理和化学性质不同的物质组合而成的一种多相固体材料。在复合材料中通常以一种材料为基体,而另一种材料为增强体。基体是连续相,增强体则以独立形态分布于基体之上。各种材料在性能上互相取长补短,使复合材料的综合性能优于原组成材料,从而满足了各种不同的要求。混凝土、胶合板和玻璃钢都是典型的复合材料。近代科学技术,特别是航空航天、导弹、火箭、原子能工业等领域对材料的性能提出了越来越高的要求,复合材料因此得到了迅速发展。

在金工实习过程中所使用的主要是金属材料。

### 1.1.2 金属材料的力学性能

金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在服役条件下应具备的

性能,包括力学性能、物理性能和化学性能,它决定了材料的使用范围与使用寿命。对于大多数工程材料来说,力学性能是其最重要的使用性能。工艺性能是指材料的可加工性,即零件在冷、热加工制造过程中应具备的与加工工艺相适应的性能,包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、热处理性能以及切削加工性能等。关于材料的工艺性能将在相关章节中分别进行讨论,本节只讨论金属材料的力学性能。

所谓力学性能是指金属材料在外力作用下抵抗变形或断裂的能力,也称为机械性能,是零件设计和选材的主要依据。常用的力学性能包括弹性、刚度、强度、塑性、硬度、冲击韧性和疲劳强度等。

### 1. 弹性与刚度

弹性、强度和塑性是材料承受静载荷的性能,可通过静载拉伸试验来测定。

将被测金属材料加工成标准拉伸试样(图 1-1(a)),在拉伸试验机上夹紧试样两端,缓慢地对试样施加轴向载荷,使试样在外力作用下被拉长直至断裂(图 1-1(b))。试验机会自动绘出试样在每一瞬间的载荷( $F$ )与伸长量( $\Delta L$ )的关系曲线,分别用应力 $\sigma$ (载荷 $F$ 和原始横截面积 $S_0$ 的比值,单位为 MPa)和应变 $\varepsilon$ (伸长量 $\Delta L$ 与原始标距长度 $L_0$ 的比值)代替 $F$ 和 $\Delta L$ 便可得到拉伸应力应变曲线。图 1-2 是低碳钢的应力应变曲线。

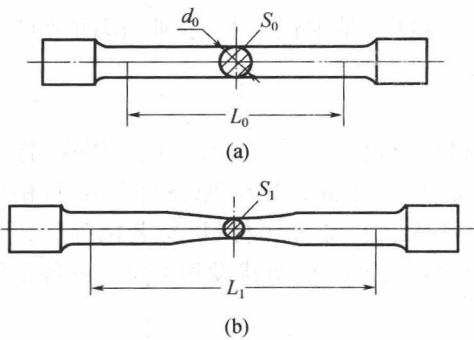


图 1-1 拉伸试样示意图

(a) 标准拉伸试样; (b) 拉断后试样。

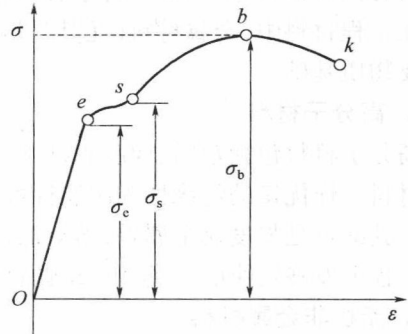


图 1-2 低碳钢的应力应变曲线

在应力应变曲线上, $e$ 点以前的变形为弹性变形,即外力去除后试样可恢复到原来的长度。 $e$ 点对应的应力是弹性变形阶段的最大应力,称为弹性极限,用 $\sigma_e$ 表示。材料受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度,其指标是弹性模量( $E$ ),单位为 MPa。弹性模量值越大,刚度越大。弹性模量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、合金化等对其影响很小。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。

### 2. 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗变形或断裂的能力。根据外力的作用方式不同,强度指标有屈服极限(屈服强度)、强度极限(抗拉强度)、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度等,其中屈服极限、强度极限应用最多。

屈服极限是材料在外力作用下开始产生塑性变形所对应的最低应力值,用 $\sigma_s$ 表示:

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



式中： $F_s$  为应力应变曲线上  $s$  点对应的载荷。

强度极限是材料在外力作用下抵抗断裂所能承受的最大应力值，用  $\sigma_b$  表示：

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中： $F_b$  为应力应变曲线上  $b$  点对应的载荷。

工程上大多数零件都是不允许产生塑性变形的，即不能在超过屈服极限的条件下工作，否则会使零件失去原有精度甚至报废；更不能在超过强度极限的条件下工作，否则会导致零件的破坏，特别是对于低塑性或脆性材料，强度极限更应作为主要的设计指标。

### 3. 塑性

塑性是指材料在外力作用下产生塑性变形（永久变形）而不断裂的能力。通过拉伸试验测得的塑性指标有伸长率（ $\delta$ ）和断面收缩率（ $\psi$ ）。

伸长率是试样被拉断时的相对伸长量：

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中： $L_1$  为试样被拉断后的标距长度。

断面收缩率是试样被拉断后断口截面的相对收缩量：

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中： $S_1$  为试样断口处的最小横截面积。

伸长率和断面收缩率的数值越大，表明材料的塑性越好。

材料的塑性指标在工程技术中十分重要，许多成形工艺都要求材料具有较好的塑性，如锻造、轧制、拉拔、挤压、冲压等都是利用材料自身的塑性加工成形的。从零件工作的可靠性来看，在超载时，也能利用塑性变形使材料的强度提高而避免突然断裂。

### 4. 硬度

硬度是衡量金属材料软硬程度的性能指标，也可以说是材料抵抗局部塑性变形的能力，是材料的重要性能之一。目前生产中最常用的测定硬度方法有布氏硬度、洛氏硬度等。

布氏硬度的测量原理如图 1-3 所示。用规定载荷  $F$  把直径为  $D$  的淬火钢球或硬质合金球压入试件表面，并保持一定时间，而后卸除载荷，根据钢球在试样表面上的压痕直径  $d$  测定被测金属的硬度值。压头为钢球时用 HBS 表示，适于测量布氏硬度小于 450HBS 的材料；压头为硬质合金时用 HBW 表示，适于测量布氏硬度小于 650HBW 的材料。

布氏硬度试验压痕面积较大，试验数据较稳定，重复性也好，常用于测定铸铁、有色金属、低合金结构钢等较软的材料。但布氏硬度不适于测量成品零件和薄壁零件。

洛氏硬度的测量原理如图 1-4 所示。将锥角为  $120^\circ$  的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球压入被测金属表面，然后根据压痕的深度来确定试样的硬度。压痕越深，材料越软，洛氏硬度值越低。被测材料的硬度可直接由硬度计的刻度盘读出。根据压头和压力的不同，洛氏硬度有三种常用的表示方法：HRA、HRB、HRC，其中以 HRC 应用最广，表 1-1 列出了洛氏硬度的试验规范。

洛氏硬度试验操作简单、迅速，适用范围广，可直接测量成品件及高硬度材料；但由于洛氏硬度压痕较小，测量结果分散度较大，不宜测量极薄工件及渗层、镀层的硬度。

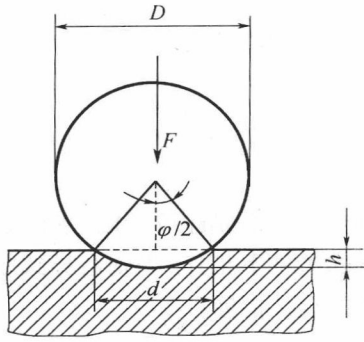


图 1-3 布氏硬度测量原理

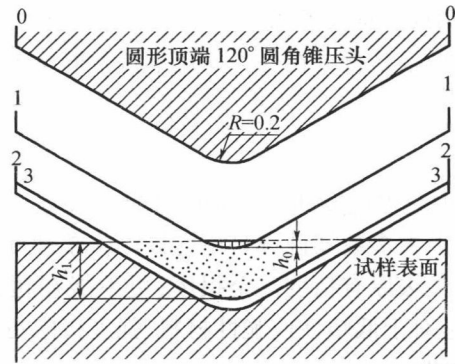


图 1-4 洛氏硬度测量原理

表 1-1 洛氏硬度的试验规范

标度	压头	预载荷/N	总载荷/N	应用范围	适用的材料
HRA	120°金刚石圆锥	98.07	60 × 9.807	70 ~ 85	硬质合金、表面淬火的钢等
HRB	φ1.588mm 钢球	98.07	100 × 9.807	25 ~ 100	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	120°金刚石圆锥	98.07	150 × 9.807	20 ~ 67	淬火钢、调质钢等

硬度是表征金属材料力学性能的一个综合参量,生产上可以根据测定的硬度值估计出材料的近似强度极限和耐磨性。此外,硬度与材料的冷成形性、切削加工性(最佳切削硬度范围是170HBS~230HBS)、可焊性等工艺性能之间也存在一定的联系,可作为选择加工工艺时的参考。

### 5. 冲击韧性

冲击韧性简称韧性,是材料抵抗冲击载荷作用而不破坏的能力。工程上常用一次摆锤冲击试验(图1-5)来测定材料的冲击韧性。摆锤冲断带缺口的冲击试样所做的冲击功( $A_k$ )与试样缺口原始横截面积( $S$ )的比值即材料的冲击韧性值,用 $a_k$ 表示,单位为焦耳(J)。

$$A_k = G(h_1 - h_2)g$$

$$a_k = \frac{A_k}{S}$$

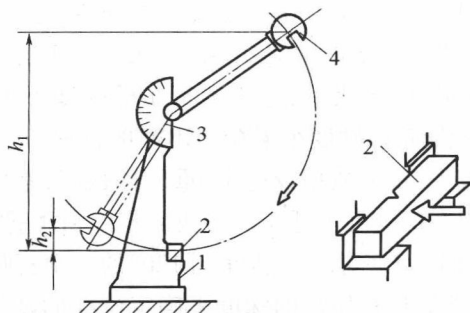


图 1-5 冲击试验原理

1—支座; 2—试样; 3—刻度盘; 4—摆锤。

式中: $G$ 为摆锤的质量; $h_1$ 、 $h_2$ 分别为冲击前后摆锤的高度。

冲击韧性指标的实际意义在于揭示材料的变脆倾向。材料的 $a_k$ 值随温度的降低而减小,且在某一温度范围内, $a_k$ 值发生急剧降低,表明断裂由韧性状态向脆性状态发生转变,此温度范围

称为韧脆转变温度( $T_k$ )。韧脆转变温度越低,材料的低温冲击韧性就越好,这对于在低温条件下工作的机械构件非常重要。

应当指出,在冲击载荷工作下的机械零件,很少是受大能量一次冲击而破坏的,往往是经受小能量的多次冲击,因冲击损伤的积累引起裂纹扩展,从而造成断裂。

## 6. 疲劳强度

许多机械零件,如轴、齿轮、轴承、叶片、弹簧等,都是在交变载荷的作用下工作的。虽然这些零件所承受的应力低于材料的屈服点,但经过较长时间的工作后会产生裂纹或突然发生断裂,这种现象称为疲劳破坏。疲劳破坏是机械零件失效的主要原因之一,据统计,在机械零件失效中大约有 80% 以上属于疲劳破坏,而且疲劳破坏前没有明显的变形,因此危害很大。疲劳强度是用来衡量金属抵抗疲劳破坏能力的性能指标,是金属材料在规定次数(对钢铁来说为  $10^7$  次)交变载荷作用下仍不发生断裂时的最大应力,用符号  $\sigma_{-1}$  表示。

## 1.1.3 常用金属材料

### 1. 钢

工业上将碳的质量分数为 0.02% ~ 2.11% 的铁碳合金称为钢。钢具有良好的使用性能和工艺性能,而且原料丰富、价格较为低廉,是应用最广最重要的工程材料之一。

钢的分类方法很多,按成分可分为碳素钢和合金钢,按冶金质量可分为普通钢、优质钢、高级优质钢和特级优质钢,按用途则可分为结构钢、工具钢和特殊用途钢。下面介绍几种常用的钢种。

#### 1) 碳素结构钢

碳素结构钢也称普通碳素结构钢,其牌号是由代表屈服强度的字母 Q、屈服强度值、质量等级符号(A、B、C、D)及脱氧方法符号(F、b、Z、TZ)四部分按顺序组成,主要钢号有 Q195、Q215、Q235A、Q235C、Q255、Q275 等。

碳素结构钢含碳量较低,钢中有害元素和非金属夹杂物较多,但冶炼容易、工艺性好、价格低廉,在力学性能上能满足一般工程构件及普通机器零件的要求,所以工程上用量很大。这类钢通常以热轧态供应,一般不需进行热处理。其中含碳量较低的 Q195、Q215 钢塑性和韧性较好,有一定的强度,常用于制造承受载荷不大的桥梁、建筑等构件,也用于制造普通螺钉、铆钉、冲压件和焊接件等;Q235 钢含碳量居中,既有较高的塑性又有适中的强度,是应用最为广泛的一种碳素结构钢,可用于制造承受较大载荷的建筑、车辆、桥梁等构件,也可用于制作一般的机器零件,如转轴、拉杆、螺栓等;Q255、Q275 钢含碳量稍高,具有较高的强度,塑性也较好,可进行焊接,常轧成工字钢、角钢、钢板、钢管及其他各种型材,也用于制作简单机械的链、销、连杆、齿轮等。

#### 2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的牌号是用钢中平均含碳量的万分数来表示的,如 45 钢的平均含碳量为 0.45%。

与碳素结构钢相比,优质碳素结构钢对成分及杂质的限制较严,钢的均匀性和表面质量好,塑性和韧性较高,经适当热处理后,其力学性能可达到一定水平。其中,08、08F、10、10F 钢含碳量低,塑性、韧性好,具有优良的冷成形性能和焊接性能,常冷轧成薄板,用于制作仪表外壳、汽车和拖拉机的冷冲压件等;含碳量稍高的 15、20、25 钢强度较高,塑性仍好,用于制作尺寸较小、负荷较轻、表面要求耐磨、心部强度要求不高的渗碳零件,如活塞、样板等;具有中碳成分的 30、35、40、45、50 钢经热处理后具有良好的综合机械性能,即具有较高的强度、塑性和韧性,常用于制作轴、杆、齿轮类承受冲击及磨损的零件;含碳量较高的 55、60、65 钢热处理后具有很高的弹性及适



量的韧性,常用来制作弹簧、钢丝绳、火车轮、钢轨等。

### 3) 低合金结构钢

低合金结构钢是在碳素结构钢的基础上加入少量合金元素而形成的,牌号的表示方法与碳素结构钢相同,按其屈服强度的高低分为5个级别(Q295、Q345、Q390、Q420和Q460)。

与相同含碳量的碳素结构钢相比,低合金结构钢的强度可提高20%~30%以上,并有较好的塑性、韧性、焊接性能及冷热加工性能,常轧成钢板及各种型材,一般不需要热处理。低合金结构钢主要用来制造各种要求强度较高的工程结构件,如船舶、车辆、高压容器、锅炉、输油输气管道、大型钢结构件等,在建筑、石油、化工、铁道、造船、机车车辆、农机农具等诸多领域都得到了广泛的应用。

### 4) 合金结构钢

合金结构钢包括渗碳钢、调质钢、弹簧钢、滚动轴承钢等。合金结构钢的牌号用“两位数(平均含碳量的万分数)+元素符号+数字(该合金元素质量分数,小于1.5%不标出;1.5%~2.5%标2;2.5%~3.5%标3,依次类推)”表示,如40Cr、20CrMnTi、60Si2Mn等。

这类钢由于加入了一定量的合金元素,提高了淬透性,经适当的热处理后,具有较高的强度极限和屈强比(屈服极限与强度极限的比值),较高的韧性和疲劳强度,以及较低的韧脆转变温度,可用于制造各种机器零件,如齿轮、曲轴、连杆、车床主轴等。

### 5) 碳素工具钢

碳素工具钢分为优质碳素工具钢和高级优质碳素工具钢,其编号方法是在“T”后面加上数字,该数字表示平均含碳量的千分数,若为高级优质钢,则在数字后面加“A”。如T12A代表平均含碳量为1.2%的高级优质碳素工具钢。

碳素工具钢含碳量为0.65%~1.35%,这是为了保证工件淬火后具有高硬度、高耐磨性。含碳量越高,未溶渗碳体越多,钢的耐磨性越好,但韧性下降。因此,制造承受冲击负荷的工具时,如凿子、锤子、冲头等,应使用T7、T8钢;制造冲击较小、但要求高硬度和高耐磨性的工具时,如小钻头、形状简单的小冲模、手工锯条等,应使用T9、T10、T11钢;制造要求高硬度和高耐磨性、但不受冲击的工具时,如锉刀、刮刀、量具等,应使用T12、T13钢。高级优质碳素工具钢(T7A~T13A),由于其淬火时产生裂纹的倾向相对较小,多用于制造形状较为复杂的工具。

### 6) 合金工具钢

合金工具钢的牌号是用数字+合金元素符号+数字来表示的,牌号前面的数字表示平均含碳量,当平均含碳量小于1%时,该数字为平均含碳量的千分数;当平均含碳量大于等于1%时,含碳量不标出。合金元素的表示方法与合金结构钢相同。如9SiCr代表平均含碳量为0.9%、平均含Si量小于等于1.5%、平均含Cr量小于等于1.5%的合金工具钢;Cr12代表平均含碳量大于等于1%,平均含Cr量为12%的合金工具钢。

合金工具钢是在碳素工具钢的基础上中加入Si、Mn、Cr、W、Mo、V等合金元素形成的,具有高的硬度、耐磨性、淬透性和热硬性,以及足够的强度和韧性,主要用于制造各种刀具、模具、量具等工具,如Cr12、Cr4W2MoV等可用来制造冷作模具;9SiCr、CrWMn可用来制造量具;W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2可用来制造刀具。

## 2. 铸铁

铸铁是碳质量分数大于2.11%(一般为2.5%~4.0%)的铁碳合金,含有较多Si、Mn、S、P等元素。铸铁是历史上使用最早、最便宜的金属材料之一。虽然铸铁的强度极限、塑性和韧性均比钢差,但其铸造性能极好,生产工艺和生产设备简单,减震性和耐磨性好,切削加工性好,所以在工程上得到非常广泛的应用。

工业上常用的铸铁有灰铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁。

### 1) 灰铸铁

灰铸铁中的石墨呈片状,其牌号以 HT $\times\times\times$  表示,其中“HT”代表“灰铁”,“ $\times\times\times$ ”是最低强度极限值(MPa),如 HT100,其  $\sigma_b \geq 100\text{MPa}$ 。

灰铸铁的力学性能比钢低,焊接性能很差,不能锻造,但其抗压强度与同基体的碳钢差不多,具有良好的铸造性能、切削加工性能、减震和减摩性能。用于制造承受压力和震动的零件,如机床床身、各种箱体、壳体、泵体、缸体等。

### 2) 可锻铸铁

可锻铸铁中的石墨呈团絮状,其牌号以 KT $\times\times\times - \times\times$  表示,其中“KT”表示“可铁”,第一组数字表示最低强度极限,第二组数字表示最低伸长率,如 KT300-6,其  $\sigma_b \geq 300\text{MPa}$ 、 $\delta \geq 6\%$ 。

可锻铸铁的强度比灰铸铁高,还具有一定的塑性和较高的韧性。尽管如此,可锻铸铁还是不能进行锻造加工。根据基体组织的不同,可锻铸铁分为铁素体可锻铸铁和珠光体可锻铸铁。铁素体可锻铸铁具有较高的塑性和韧性,多用于制造受冲击、振动等形状复杂的零件,如汽车、拖拉机前后轮壳、减速机壳、制动器等。珠光体可锻铸铁的强度和耐磨性比铁素体可锻铸铁高,有较高的硬度和一定的塑性,可用于制造要求强度高和耐磨的零件,如曲轴、凸轮轴、连杆、齿轮、活塞环、轴套、扳手、万向接头等。

### 3) 球墨铸铁

球墨铸铁中的石墨呈近似球状分布,其牌号以 QT $\times\times\times - \times\times$  表示,其中“QT”表示“球铁”,第一组数字表示最低强度极限,第二组数字表示最低伸长率,如 QT700-2,其  $\sigma_b \geq 700\text{MPa}$ 、 $\delta \geq 2\%$ 。

球墨铸铁的力学性能比灰铸铁高得多,其强度极限、塑性、韧性、弯曲强度和疲劳强度明显优于灰铸铁,综合力学性能接近于钢,特别是屈强比高于碳钢,其缺点是消震性能低,主要用来制造受力复杂、负荷较大、要求耐磨的铸件(替代部分铸钢、锻钢件),如发动机的曲轴、连杆和机床的主轴等。

### 4) 蠕墨铸铁

蠕墨铸铁中的石墨呈蠕虫状,其牌号以 RuT $\times\times\times$  表示,其中“RuT”表示“蠕铁”,后面的数字表示最低强度极限,如 RuT420,其  $\sigma_b \geq 420\text{MPa}$ 。

蠕墨铸铁性能介于灰铸铁和球墨铸铁之间,它的强度和韧性比灰铸铁高,与铁素体球墨铸铁相似;耐磨性、壁厚敏感性比灰铸铁好;导热性和耐热疲劳性与灰铸铁相近,比球墨铸铁高;减震性比球墨铸铁好,但不如灰铸铁;铸造性能与灰铸铁相近,切削加工性能与球墨铸铁相近。蠕墨铸铁多用于制造承受热循环载荷的零件和结构复杂、强度要求高的铸件,如汽缸盖、活塞环、制动盘、液压阀、大齿轮箱、高压热交换器及重型机床立柱等。

## 3. 有色金属

工业上使用最多的有色金属是铝、铜及其合金。

### 1) 铝及铝合金

铝有三大优点:质量轻,比强度大;具有良好的导电性和导热性;耐腐蚀性好。

工业纯铝具有银白色光泽,塑性极好,但强度低,难于满足结构零件的性能要求,主要用作配制铝合金及代替铜制作导线、电器和散热器等。

铝合金是在纯铝中加入 Cu、Mn、Si、Mg、Zn 等合金元素而形成的,按其加工方法可分为形变铝合金和铸造铝合金。形变铝合金的合金含量较低,塑性较好,可以通过压力加工制成各种型材、板材、管材等,用于制造建筑门窗、飞机蒙皮及构件、油箱、铆钉等。铸造铝合金不仅具有较好

的铸造性能和耐蚀性能,而且还能用变质处理的方法使强度进一步得到提高,应用较为广泛,可用于生产形状复杂及有一定力学性能要求的零件,如内燃机活塞、气缸头、气缸散热套等。

## 2) 铜及铜合金

纯铜又称紫铜,属重金属,强度低,塑性好,具有极好的导电和导热性能,在大气中具有较好的耐蚀性,并具有抗磁性。纯铜通过冷、热态塑性变形可制成板材、带材和线材等半成品,多用于制造电器元件或冷凝器、散热器和热交换器等零件。

铜合金有黄铜、白铜和青铜。黄铜是以锌为主要添加元素的铜合金,塑性好,但强度较低,主要用于制造弹壳、冷凝器管、弹簧、轴套以及耐蚀零件等。白铜的主加元素为镍,因呈银白色而得名。普通白铜(只加镍)具有优良的塑性、耐热性、耐蚀性及特殊的导电性,用于制造海水和蒸汽环境中工作的精密仪器零件和热交换器等;特殊白铜(除镍外,还加入锌、铝、铁、锰等)有很高的耐蚀性、强度和塑性,适于制造精密仪器零件、医疗器械等。青铜是除黄铜和白铜外的其他铜合金的统称,如锡青铜、铝青铜、铍青铜、硅青铜、铅青铜等,主要用于制造轴瓦、涡轮、弹簧以及要求减摩、耐蚀的零件。

# 1.2 机械制造基础知识

## 1.2.1 机械制造基本过程

### 1. 机械制造基本过程

机械制造过程实质上是一个由资源向零件或产品转变的过程,是将大量设备、材料、加工过程和人力等有序结合的一个大的生产系统。机械制造基本过程如图1-6所示,包括产品的设计、零件的加工与机器的装配等。为改善零件材料的力学性能和工艺性能,多数零件在加工过程中需要进行热处理。

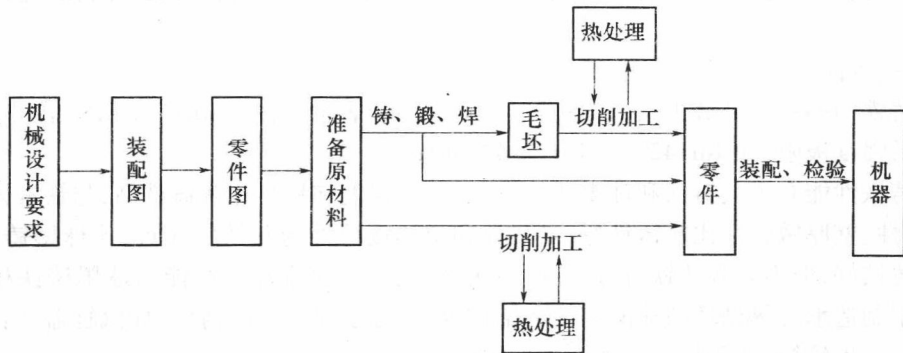


图1-6 机械制造基本过程

### 2. 零件的加工方法

零件是组成机器最小的不可分割的制造单元体,如轴、齿轮、连杆和螺栓等。根据各阶段所达到的质量要求不同,零件的加工可分为毛坯生产和切削加工两个阶段。

#### 1) 毛坯生产

毛坯种类的选择不仅影响毛坯的制造工艺及成本,还与零件的机械加工工艺和质量密切相关。绝大多数零件的毛坯通过铸造、锻造或焊接方法制成,也可选用合适的型材制造。

对形状较复杂的毛坯,一般采用铸造方法生产。目前大多数铸件采用砂型铸造,对尺寸精度



要求较高的小型铸件,可采用特种铸造;对受力复杂的重要毛坯件,多采用锻造方法生产,这是因为锻造的毛坯可得到连续和均匀的金属纤维组织,力学性能较好;焊接主要用于生产单件小批或大型零件,其优点是制造过程简单、生产周期短、节省材料。但焊接件的抗震性较差,变形大,需经时效处理后才能进行机械加工;型材主要有板材、棒材、线材等,制造方法可分为热轧和冷拉两大类。热轧型材尺寸较大,精度较低,用于一般的机械零件。冷拉型材尺寸较小,精度较高,用于毛坯精度要求较高的中小型零件。其它毛坯还包括冲压件、粉末冶金件、冷挤压件和塑料压制件等。

生产毛坯时,应尽量使其形状和尺寸与零件相接近,以达到少切削或无切削加工。考虑到现有毛坯制造技术的限制,以及零件的加工精度和表面质量要求,毛坯的某些表面仍需留有一定的加工余量,以便通过切削加工达到零件的技术要求。

## 2) 切削加工

切削加工是利用切削工具(包括刀具、磨具和磨料等)将毛坯上多余的材料切除,以获得所需要的尺寸、形状、位置精度和表面质量的加工方法。在现代机器制造中,除极少数零件采用精密铸造、精密模锻等少或无切削加工方法外,绝大多数机械零件都是通过切削加工的方法生产的。

金属切削加工主要分为机械加工和钳工两大类。

机械加工是由工人操作机床完成刀具对工件的切削加工。常用的机械加工方法有车削、刨削、铣削、钻削、镗削、拉削、铰削、磨削、珩磨和抛光等。由于机械加工具有生产率高、自动化程度高、加工质量好和加工成本低等优点,已成为切削加工的主要方式。

钳工主要是由工人手持工具对工件进行切削加工的方法,包括划线、锯削、锉削、刮削、錾削、研磨、钻孔、扩孔、铰孔、攻螺纹、套螺纹、机械装配和设备维修等。钳工使用的工具简单,操作灵活,是装配、修理及制造精密量具、模具等工作中不可缺少的加工方法。

## 1.2.2 切削加工基本知识

### 1. 切削运动

机械零件的表面是由各种几何要素(点、线、面)的不同组合而成的,如棱线、平面、圆柱面、圆锥面、球面、螺旋面等,其特点都是圆和直线相互运动轨迹的集合。要完成对这些表面的切削加工,刀具与工件之间需有特定的相对运动,这种相对运动称为切削运动。切削运动分为主运动和进给运动。

(1) 主运动 使工件与刀具产生相对运动以进行切削的基本运动称为主运动。主运动是直接切除金属的运动,是形成机床切削速度的工作运动。没有主运动,切削就不可能进行。主运动的特点是在切削过程中运动速度最高,消耗机床功率最大。

(2) 进给运动 是指在切削加工中与主运动配合,使工件多余材料不断被去除的运动,是提供连续切削可能性的运动。没有进给运动,就不可能加工成完整零件的形面。进给运动的特点是运动速度相对较低,消耗的机床功率相对较少。

主运动和进给运动可以是直线运动,也可以是旋转运动,或是两种运动的组合。几种典型的切削运动如图1-7所示。

主运动和进给运动是靠机床内部的机械传动关系或液压传动关系相互协调起来,以实现工件不同表面形状的切削加工。每种切削运动中,主运动只能有一个,而进给运动可以有一个或几个。