

# 绪论

金属工艺学实习(简称金工实习,又称机械制造实习)是一门传授机械制造基础知识的实践性很强的技术基础课,它既是工科院校工程训练不可缺少的重要环节之一,又是《材料成形工艺基础》、《机械制造工艺基础》(原称《金属工艺学》)等课程讲课必备的实践教学环节。

## 0.1 金工实习的内容

### 0.1.1 机械制造过程

金工实习涉及一般机械制造的全过程。机械制造的宏观过程如图 0-1 所示,首先设计图纸,再根据图纸制定工艺文件和进行工艺准备,然后是产品制造,最后是市场营销。再将各个阶段的信息反馈回来,使产品不断完善。

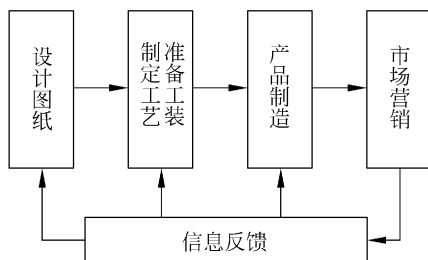


图 0-1 机械制造的宏观过程

机械制造的具体过程如图 0-2 所示。原材料包括生铁、钢锭、各种金属型材及非金属材料等。将原材料用铸造、锻造、冲压、焊接等方法制成零件的毛坯(或半成品、成品),再经过切削加工、特种加工制成零件,最后将零件和电子元器件装配成合格的机电产品。现

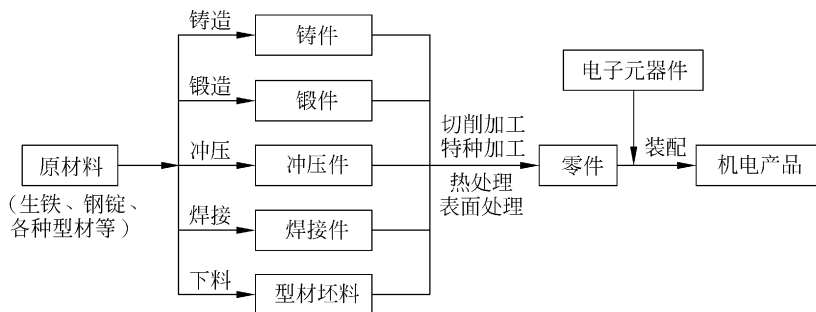


图 0-2 机械制造的具体过程

将机械制造过程中的主要工艺方法简介如下：

**铸造** 是把熔化的金属液浇注到预先制作的铸型型腔中，待其冷却凝固后获得铸件的加工方法。铸造的主要优点是可以生产形状复杂、特别是内腔复杂的毛坯，而且成本低廉。铸造的应用十分广泛，在一般机械中，铸件的重量大都占整机重量的 50% 以上，如各种机械的机体、机座、机架、箱体和工作台等，大都采用铸件。

**锻造** 是将金属加热到一定温度，利用冲击力或压力使其产生塑性变形而获得锻件的加工方法。锻件的组织比铸件致密，力学性能高，但锻件形状所能达到的复杂程度远不如铸件，锻造零件的材料利用率也较低。各种机械中的传动零件和承受重载及复杂载荷的零件，如主轴、传动轴、齿轮、凸轮、叶轮和叶片等，其毛坯大多采用锻件。

**冲压** 是利用压力机和专用模具，使金属板料产生塑性变形或分离，从而获得零件或制品的加工方法。冲压通常在常温下进行。冲压件具有重量轻、刚度好和尺寸精度高等优点，各种机械和仪器、仪表中的薄板成形件及生活用品中的金属制品，绝大多数都是冲压件。

**焊接** 是利用加热或加压（或两者并用），使两部分分离的金属件通过原子间的结合，形成永久性连接的加工方法。焊接具有连接质量好、节省金属和生产率高等优点。焊接主要用于制造金属结构件，如锅炉、容器、机架、桥梁和船舶等，也可制造零件毛坯，如某些机座和箱体等。

**下料** 是将各种型材利用气割、机锯或剪切等而获得零件坯料的一种方法。

**非金属成形** 在各种机械零件和构件中，除采用金属材料外，还采用非金属材料，如木材、玻璃、橡胶、陶瓷、皮革和工程塑料等。非金属材料的成形方法因材料的种类不同而有异，例如，橡胶制品是通过塑炼—混炼—成形—硫化等过程制成；陶瓷制品是利用天然或人工合成的粉状化合物，经过成形和高温烧结制成的；工程塑料制品是将颗粒状的塑料原材料，在注塑机上加热熔融后注入专用的模具型腔内冷却后制成的。

**切削加工** 是利用切削工具（主要是刀具）和工件作相对运动，从毛坯和型材坯料切

除多余的材料,获得尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度完全符合图样要求的零件的加工方法。切削加工包括机械加工(简称机工)和钳工两大类。机工主要是通过工人操纵机床来完成切削加工的,常见的机床有车床、铣床、刨床和磨床等,相应的加工方法称为车削、铣削、刨削和磨削等。钳工一般是通过工人手持工具进行切削加工的,其基本操作包括锯削、锉削、刮削、攻螺纹、套螺纹和研磨等,通常把钻床加工也包括在钳工范围内,如钻孔、扩孔和铰孔等。

**特种加工** 是相对传统切削加工而言的。切削加工主要依靠机械能,而特种加工是直接利用电、光、声、化学、电化学等能量形式来去除工件多余材料的。特种加工的方法很多,常用的有电火花、电解、激光、超声波、电子束和离子束加工等,主要用于各种难加工材料、复杂结构和特殊要求工件的加工。

**热处理** 在毛坯制造和切削加工过程中常常要对工件进行热处理。热处理是将固态金属在一定的介质中加热、保温后以某种方式冷却,以改变其整体或表面组织而获得所需性能的加工方法。通过热处理可以提高材料的强度和硬度,或者改善其塑性和韧性,充分发挥金属材料的性能潜力,满足不同的使用要求或加工要求。重要的机械零件在制造过程中大都要经过热处理。常用的热处理方法有退火、正火、淬火、回火和表面热处理等。

**表面处理** 是在保持材料内部组织和性能的前提下,改善其表面性能(如耐磨性、耐腐蚀性等)或表面状态的加工方法。除表面热处理外,表面处理常用的还有电镀、磷化、发蓝和喷塑等。

**装配** 是将加工好的零件及电子元器件按一定顺序和配合关系组装成部件和整机,并经过调试和检验使之成为合格产品的工艺过程。

在单件小批生产中,习惯把铸造、锻造、焊接和热处理称为热加工,把切削加工和装配称为冷加工。

### 0.1.2 金工实习的内容

按照教育部《高等工业学校金工实习教学基本要求》、《重点高等工科院校金工系列课程改革指南》的精神,机械类专业金工实习应安排铸造、锻造、冲压、焊接、车工、铣工、刨工、磨工和钳工等工种的实习。具体实习内容如下:

- (1) 常用钢铁材料及热处理的基本知识;
- (2) 冷热加工的主要加工方法及加工工艺;
- (3) 冷热加工所用设备、附件及其工、夹、量、刀具的大致结构、工作原理和使用方法。

### 0.1.3 金工实习的教学环节

实习在工厂或工程训练中心内按工种进行。教学环节有实际操作、现场表演、专题讲课、综合练习和教学实验等。

**实际操作** 是实习的主要环节,通过实际操作获得各种加工方法的感性知识,初步学会使用有关的设备和工具。

**现场表演** 在实际操作的基础上进行,以扩大必要的工艺知识面。

**专题讲课** 是就某些工艺问题而安排的专题讲解。

**综合练习** 是运用所学知识和技能,独立分析和解决一个具体的工艺问题,并亲自付诸实践的一种综合性训练。

**教学实验** 以介绍新技术新工艺为主,以扩大知识面和开阔眼界。

## 0.2 金工实习的目的

金工实习的目的是学习工艺知识,增强实践能力,提高综合素质,培养创新意识和创新能力。

### 0.2.1 学习工艺知识

理工科院校的学生,除了应具备较强的基础理论知识和专业技术知识外,还必须具备一定的机械制造的基本工艺知识。与一般的理论课程不同,学生在金工实习中,主要是通过自己的亲身实践来获取机械制造的基本工艺知识。这些工艺知识都是非常具体、生动而实际的,对于机械类各专业的学生学习后续课程、进行毕业设计乃至以后的工作,都是必要的基础。

### 0.2.2 增强实践能力

这里所说的实践能力,包括动手能力,向实践学习、在实践中获取知识的能力,以及运用所学知识和技能独立分析和亲手解决工艺技术问题的能力。这些能力,对于理工科大学生是非常重要的,而这些能力只能通过实习、实验、作业、课程设计和毕业设计等实践性课程或教学环节来培养。在金工实习中,学生亲自动手操作各种机器设备,使用各种工、夹、量、刀具,尽可能结合实际生产进行各工种操作培训。在有条件的情况下,还要安排综合性练习、工艺设计和工艺讨论等训练环节。

### 0.2.3 提高综合素质

作为一个工程技术人员,应具有较高的综合素质,即应具有坚定正确的政治方向,艰苦奋斗的创业精神,团结勤奋的工作态度,严谨求实的科学作风,良好的心理素质及较高的工程素养等。其中工程素养包括市场、质量、安全、群体、环境、社会、经济、管理、法律等方面的意识。金工实习是在生产实践的特殊环境下进行的,对大多数学生来说是第一次接触工人,第一次用自身的劳动为社会创造物质财富,第一次通过理论与实践的结合来检

验自身的学习效果,同时接受社会化生产的熏陶和组织性、纪律性的教育。学生将亲身感受到劳动的艰辛,体验到劳动成果的来之不易,增强对劳动人民的思想感情,加强对工程素养的认识。所有这些,对提高学生的综合素质,必然起到重要的作用。

#### 0.2.4 培养创新意识和创新能力

培养学生的创新意识和创新能力,最初启蒙式的潜移默化是非常重要的。在金工实习中,学生要接触到几十种机械、电气与电子设备,并了解、熟悉和掌握其中一部分设备的结构、原理和使用方法。这些设备都是前人和今人的创造发明,强烈地映射出创造者们历经长期追求和苦苦探索所燃起的智慧火花。在这种环境下学习,有利于培养学生的创新意识。在实习过程中,还要有意识地安排一些自行设计、自行制作的创新训练环节,以培养学生的创新能力。

### 0.3 金工实习的要求

金工实习是实践性很强的课程,不同于一般理论性课程,它没有系统的理论、定理和公式,除了一些基本原则以外,大都是一些具体的生产经验和工艺知识;学习的课堂主要不是教室,而是工厂或实验室;学习的对象主要不是书本和教师,而是具体生产过程和现场教学指导人员。因此,学生的学习方法也应作相应的调整 and 改变,要善于向实践学习,注重在生产过程中学习工艺知识和基本技能;要注意实习教材的预习和复习,按时完成实习报告和实验报告;要严格遵守厂纪厂规和安全操作规程,重视人身和设备的安全。下面扼要介绍金工实习对安全的要求。

(1) 树立安全第一的思想 安全生产对国家、集体、个人都是非常重要的。安全第一,既是完成金工实习学习任务的基本保证,也是培养合格的高质量工程技术人员应具备的一项基本的工程素质。在整个金工实习中,学生要自始至终树立安全第一的思想,时刻警惕,不要有麻痹大意的情绪。

(2) 处理好三个辩证关系 在整个实习过程中,一定要处理好安全方面的三个辩证关系:一是虚心学习和主动开创的关系,二是大胆和心细的关系,三是一万和万一的关系。

(3) 遵守工厂规章制度 要严格遵守各种设备的安全操作规程;上班要穿工作服,女同学要戴工作帽,夏天不准穿凉鞋;热加工要穿劳保鞋,焊接要穿防护袜;在机床上操作时要戴防护眼镜,不准戴手套;在实习现场,要注意上下左右,不得打闹和乱跑,避免碰伤、砸伤和烧伤;不得擅自动用非自用的机床、设备、工具和量具;发生安全事故后,要立即切断电源,保护现场,及时上报,以便总结经验教训。

# 第 1 章

## 金属材料的基本知识

### 1.1 金属材料的性能

金属材料不仅具备机械零件在使用过程中所需的性能,如力学性能、物理性能、化学性能等,而且具有加工制造过程中所应有的工艺性能,如铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能等。

#### 1.1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的特性,包括强度、塑性、硬度、韧性等。

##### 1. 强度

金属材料在外力作用下抵抗永久变形和断裂的能力,称为强度。按照外力作用的方式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上常用来表示金属强度的指标有屈服点和抗拉强度。

为了测定金属材料的屈服点和抗拉强度,可进行拉伸试验。首先,将标准拉伸试样(图 1-1(a))安装在拉伸试验机的两个夹头上,然后缓慢增加拉力,试样逐渐发生拉伸变形,直至试样被拉断为止(图 1-1(c))。

以试样所受拉力  $F$  为纵坐标,试样伸长  $\Delta L$  为横坐标,根据试验中两者变化数据,可以绘出拉伸曲线图。通常,拉伸曲线图由拉伸试验机自动绘出。图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。

当金属材料受外力作用时,其内部产生与外力相平衡的内力。单位截面上的内力称为应力。

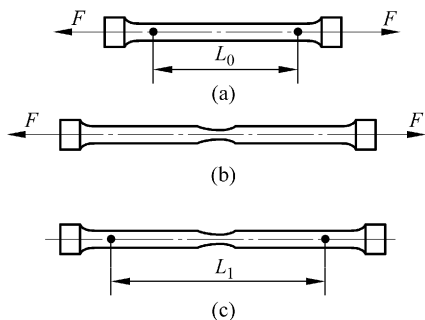


图 1-1 拉伸试样

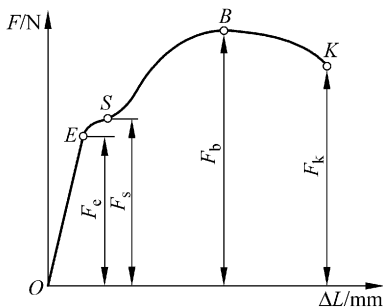


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

从图 1-2 中可以看出,当外力小于  $F_e$  时,试样的变形属于弹性变形,即外力去除后,试样将恢复到原始长度;外力超过  $F_e$  后,试样除发生弹性变形外,还发生部分塑性变形,这时,外力去除后试样不能恢复到原始长度。当外力增大到  $F_s$  时,在 S 点的曲线几乎呈水平线段,这说明拉力虽不增加,伸长量却继续增加,这种现象称为“屈服”。它表明材料开始发生明显的塑性变形。材料产生屈服现象时的应力,又称为屈服点。可通过下式计算:

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

式中:  $F_s$ ——试样产生屈服现象时的拉力, N;

$S_0$ ——试样原始横截面积,  $\text{m}^2$ ;

$\sigma_s$ ——屈服点, Pa。

当外力超过  $F_s$  后,随外力增大,塑性变形明显增大。当外力增加到  $F_b$  时,试样局部开始变细,出现“缩颈”(图 1-1(b)),由于截面缩小,使试样继续变形所需的外力下降。到  $F_k$  时,试样在缩颈处断裂。试样在拉断前所能承受的最大标称拉应力,称为抗拉强度。可用下式表示:

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

式中:  $F_b$ ——试样在拉断前的最大拉力, N;

$S_0$ ——试样原始横截面积,  $\text{m}^2$ ;

$\sigma_b$ ——抗拉强度, Pa。

## 2. 塑性

金属材料在外力作用下产生不可逆永久变形的能力称为塑性。常用的塑性指标有伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。

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

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

式中:  $L_0$ ——试样原始标距长度, mm;

$L_1$ ——试样拉断后标距长度, mm;

$S_0$ ——试样原始横截面积,  $\text{mm}^2$ ;

$S_1$ ——试样断裂处的横截面积,  $\text{mm}^2$ 。

伸长率  $\delta$  的大小与试样尺寸有关。为了方便比较, 必须采用标准试样尺寸。通常规定试样标距长度等于其直径的 5 倍或 10 倍, 测得的伸长率分别用  $\delta_5$  或  $\delta_{10}$  表示。

良好的塑性是材料能进行各种压力加工(如冲压、挤压、冷拔、热轧、锻造等)的必要条件。此外, 零件使用时, 为了避免由于超载引起突然断裂, 也需具有一定的塑性。

### 3. 硬度

硬度是指金属材料抵抗外物压入其表面的能力, 其大小在硬度计上测定。常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

布氏硬度试验是用直径为  $D$  的钢球或硬质合金球作压头, 在压力  $F$  作用下压入试样表面(图 1-3(a)), 经规定的保持时间后, 卸除压力, 测量压痕直径  $d$ (图 1-3(b))。根据压力、压痕平均直径, 用下式可求出布氏硬度值 HBS(HBW):

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

式中:  $F$ ——压力, N;

$S$ ——压痕的面积,  $\text{mm}^2$ ;

$D$ ——球体直径, mm;

$d$ ——压痕平均直径, mm。

压头为钢球时用 HBS, 适用于布氏硬度值在 450 以下的材料; 压头为硬质合金球时用 HBW, 适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。表示布氏硬度值时, 在符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值, 符号后面按一定顺序用数值表示试验条件(球体直径、压力大小和保持时间等)。如 160HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 的钢球在 1000kgf<sup>①</sup> 压力作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 160。当保持时间为 10~15s 时, 不标注。

洛氏硬度试验是用顶角为 120° 的金刚石圆锥或一定直径的钢球作压头, 在初载荷  $F_0$  及总载荷  $F$ (初载荷  $F_0$  + 主载荷  $F_1$ ) 分别作用下压入被测材料表面(图 1-4(a)、(b)), 然后卸除主载荷, 在初载荷下测量压痕深度残余增量  $e$ , 计算硬度值(图 1-4(c))。试验时, 可

① 1kgf = 9.80665N。



通过洛氏硬度计上的刻度盘直接读出洛氏硬度值。

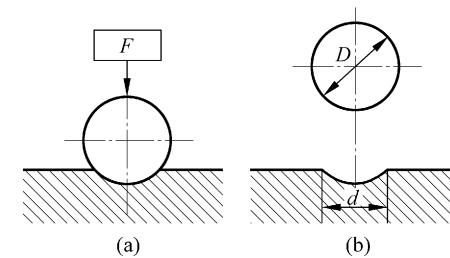


图 1-3 布氏硬度试验原理

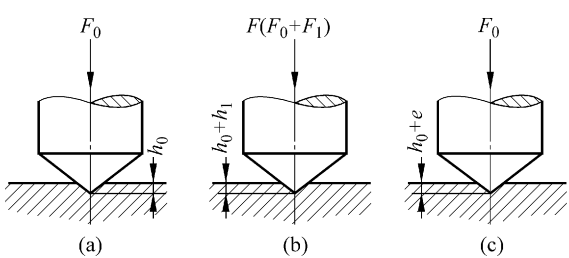


图 1-4 洛氏硬度试验原理

根据 GB/T 230—1991 规定,洛氏硬度有九种硬度标尺,实际生产中常用的有 A、B、C 三种标尺。洛氏硬度值用符号 HR 表示,符号后面加字母表示所使用的标尺,硬度值写在符号 HR 的前面。例如,60HRC 表示用 C 标尺测定的洛氏硬度值为 60(见表 1-1)。

表 1-1 三种洛氏硬度标尺的试验条件的应用范围

| 符号  | 压头类型          | 初载荷/N | 主载荷/N | 测量范围   | 应用范围          |
|-----|---------------|-------|-------|--------|---------------|
| HRA | 顶角 120°金刚石圆锥  | 98.07 | 490.3 | 20~88  | 硬质合金或表面处理过的零件 |
| HRB | 直径 1.588mm 钢球 | 98.07 | 882.6 | 20~100 | 退火钢、灰铸铁及有色金属等 |
| HRC | 顶角 120°金刚石圆锥  | 98.07 | 1373  | 20~70  | 淬火钢、调质钢等      |

注 三种标尺的硬度值 HRA、HRB、HRC 的计算公式如下：

$$\text{HRA}(\text{HRC})=100-\frac{e}{0.002\text{mm}}$$

$$\text{HRB}=130-\frac{e}{0.002\text{mm}}$$

维氏硬度的试验原理基本上和布氏硬度相同,所不同的是维氏硬度试验的压头是顶角为 136° 的金刚石正四棱锥体,且所加压力较小。试验时,在压力  $F$  作用下,被测材料表面上压出一个对角线长度为  $D$  的方形压痕。维氏硬度值(HV)为压痕单位面积上所受的 压力,可通过下式计算：

$$\text{HV}=\frac{F}{S}=1.8544\frac{F}{D^2}$$

式中： $F$ ——压力,N；  
 $S$ ——压痕的面积,mm<sup>2</sup>；  
 $D$ ——压痕对角线长度,mm。

布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度之间没有直接的换算公式,需要时可以通过查表进行 换算。

硬度试验方法简便易行,测量迅速,不需要特别试样,试验后零件不被破坏。因此,硬度试验在工业生产中应用十分广泛。

#### 4. 冲击韧度

冲击韧度是指金属材料抵抗冲击载荷作用的能力。冲击韧度的测定在冲击试验机上进行。试验时,把冲击试样(图 1-5)放在摆锤冲击试验机(图 1-6)的支座上,然后抬起摆锤,让它从一定高度  $H_1$  落下,将试样打断,摆锤又升到  $H_2$  的高度。冲击韧度用下式计算:

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

式中:  $A_k$ ——打断试样所消耗的冲击功, J;

$S$ ——冲击试样断口处的横截面积,  $\text{cm}^2$ ;

$\alpha_k$ ——冲击韧度,  $\text{J}/\text{cm}^2$ 。

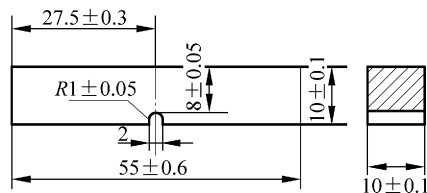


图 1-5 冲击试样

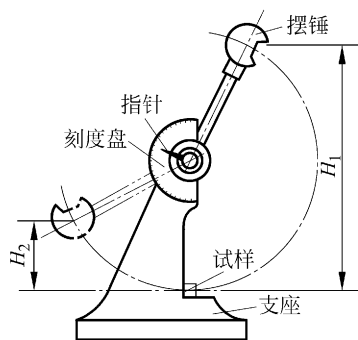


图 1-6 摆锤冲击试验机示意图

### 1.1.2 金属材料的工艺性能

工艺性能是指制造工艺过程中材料适应加工工艺要求的能力。金属材料在铸造、锻压、焊接、机械加工等加工前后过程中,一般还要进行不同类型的热处理。工艺性能直接影响零件加工的质量,是选材和制定零件加工工艺时应当考虑的因素之一。

#### 1. 铸造性能

金属材料铸造成形获得优良铸件的能力称为铸造性能,用流动性、收缩性等衡量。

熔融金属的流动能力称为流动性。流动性好的金属容易充满铸型,从而获得外形完整、尺寸精确、轮廓清晰的铸件。

铸件在凝固和冷却过程中,其体积和尺寸减小的现象称为收缩性。铸件收缩不仅影响尺寸,还会使铸件产生缩孔、缩松、内应力、变形和裂纹等缺陷,故铸造用金属材料的收