

中等职业技术教育  
汽车维修专业系列教材  
· 试用本 ·

# 汽车



# 金属工艺学



上海市中等职业技术教育课程改革与教材建设委员会 编

上海科学技术出版社

## 内容提要

本系列教材是受上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会的委托,根据中等职业技术学校的培养目标和教学基本要求,在大量社会调查的基础上,结合三类学校(中专、职高、技校)汽车维修专业的教学共性编写的。

本教材的主要内容包括:金属材料的力学性能,钢和钢的热处理,铸铁,有色金属,铸造,压力加工,焊接,金属切削加工基础知识,机械加工与钳工加工共十章。

本书可供中等职业技术学校(中专、职高、技校)作为教学教材,也可作上岗培训或就业培训教材,还可供从事汽车维修行业的技术人员使用。

责任编辑 郑国莱



我国的社会主义现代化建设不但需要高级科学技术专家,而且迫切需要中、初级技术人员、管理人员和技术工人,而这类人才的培养主要是通过职业技术教育来实现的,所以党和国家非常重视职业技术教育的改革和发展。努力培养出各行各业所需的职业人才,是社会、经济发展对职业技术教育提出的迫切要求。我国的职业技术教育长期实行的是“学科本位”的教学模式,这种模式重理论轻实践,重知识轻技能,培养出的学生不适应社会、经济发展的要求。因此,职业技术教育要深化改革,办出特色,为社会培养出既有理论又有技能、德、智、体全面发展的一代新人。

职业技术教育要办出自己的特色,关键在于课程改革与教材建设。为此,1985年上海市教委启动了职业技术教育课程改革与教材建设工程(简称“一条龙”工程),即用五年左右的时间,完成一门普通文化课程的改革及示范教材的编写工作;完成五个典型专业(工种)的课程改革以及同步编写出部分典型示范性教材;经过十年左右的改革实践,基本形成一个具有职教特色的课程结构和教材体系。

这次课程改革与教材建设是以社会和经济发展的需要为出发点,以职业(岗位)需求为直接依据,以现行中等职业技术教育课程、教材的弊端为突破口,积极学习并借鉴国外职教课程、教材改革的有益经验,以实现办出职教特色的根本目的。在充分研究和广泛征求意见的基础上,确立了“能力为本位”的改革指导思想。目的是为了克服职教长期存在的重理论轻实践、重知识轻技能的倾向,真正培养出经济和社会发展所需要的中等职业技术人才。

在各方面的共同努力下,新的教材终于与广大师生见面了。这些新的教材并不是职业技术教育课程改革与教材建设的全部,它只是典型的示范性教材,因为职业技术教育的专业门类繁多,不可能在较短的时间内,依靠少数编写人员解决职教中全部的课程、教材问题。职教的课程改革和教材建设是一项系统的长期的工作,只有充分发挥广大教师的改革积极性,在教学过程中不断用“能力本位”的教育思想,主动进行课程与教材的改革,我们的课程、教材改革才能全面、持续而深入,才可能真正全面提高教学质量和效益,以不断适应社会、经济发展的需要。因此,“一条龙”工程对于我市的职教课程改革来讲只起着一个领导、指导和引导的作用。



新的教材代表新的思想、新的教法和学法。希望通过这些教材 ,给大家一些启迪 ,同时也希望大家对新教材提出宝贵的意见。

在课程改革与教材建设过程中 ,得到了各方面的大力支持 ,特别是广大编审人员为此付出了辛勤的劳动。在此 ,向他们表示衷心的感谢 !

上海市教育委员会副主任

上海市职业技术教育课程改革与教材建设委员会主任

薛喜民

2008年 远月



本书是中等职业技术教育汽车维修专业的一门专业基础课教材。根据上海市中等职业技术教育汽车维修专业教学计划和教学大纲的要求,结合汽车维修行业的特点,突出以能力为本、以岗位需求为依据的教学思想,坚持理论与实践相结合和少而精的原则编写的。

全书共分三篇十章。第一篇为金属材料,介绍金属材料的力学性能,碳素钢、铸铁和有色金属的分类、牌号、规格和基本性能,以及钢的热处理;第二篇为金属热加工基础知识,介绍铸造、压力加工和焊接的工艺特点及应用范围;第三篇为金属冷加工基础知识,介绍金属切削加工基础知识,机械加工和钳工加工工艺方法及特点。学完全书后,可对金属材料及其加工过程有一概貌的了解,能为进一步学习专业课程准备较为全面的技术基础知识。

本书由上海市交通学校程南荪主编,第一篇由上海市交通学校林培德编写,第二、三篇由程南荪编写,全书由上海工程技术大学金善勤审定。

由于编写时间仓促、水平有限,不足之处恳请同志们提出批评指正。

编者

程南荪 林培德 金善勤



# 目 录

## 第一篇 金属材料

|                    |   |
|--------------------|---|
| 第一章 金属材料的力学性能..... | 员 |
| 第一节 强度和塑性.....     | 员 |
| 第二节 硬度.....        | 源 |
| 第三节 冲击韧性.....      | 远 |
| 第四节 材料疲劳的概念.....   | 苑 |
| 第二章 钢和钢的热处理.....   | 怨 |
| 第一节 钢的分类.....      | 怨 |
| 第二节 碳素钢 .....      | 员 |
| 第三节 钢的热处理 .....    | 员 |
| 第四节 合金钢 .....      | 员 |
| 第三章 铸铁 .....       | 猿 |
| 第一节 灰铸铁 .....      | 猿 |
| 第二节 球墨铸铁 .....     | 猿 |
| 第四章 有色金属 .....     | 源 |
| 第一节 铜和铜合金 .....    | 源 |
| 第二节 铝和铝合金 .....    | 源 |
| 第三节 滑动轴承合金 .....   | 源 |

## 第二篇 金属热加工基础知识

|                       |   |
|-----------------------|---|
| 第五章 铸造 .....          | 源 |
| 第一节 砂型 .....          | 源 |
| 第二节 浇注、落砂和清理.....     | 缘 |
| 第三节 铸件常见缺陷和防止方法 ..... | 缘 |
| 第四节 特种铸造 .....        | 缘 |
| 第六章 压力加工 .....        | 缘 |
| 第一节 金属的加热 .....       | 缘 |
| 第二节 自由锻和模锻 .....      | 缘 |
| 第三节 精密模锻 .....        | 缘 |
| 第四节 板料冲压 .....        | 缘 |



|                     |   |
|---------------------|---|
| 第七章 焊接 .....        | 缘 |
| 第一节 电弧焊 .....       | 缘 |
| 第二节 气焊与气割 .....     | 缘 |
| 第三节 其他常用焊接法 .....   | 缘 |
| 第四节 常用金属材料的焊接 ..... | 缘 |
| 第五节 焊接缺陷与焊接检验 ..... | 缘 |

### 第三篇 金属冷加工基础知识

|                      |   |
|----------------------|---|
| 第八章 金属切削加工基础知识 ..... | 缘 |
| 第一节 切削运动和切削要素 .....  | 缘 |
| 第二节 切削刀具 .....       | 缘 |
| 第三节 切屑的形成及种类 .....   | 缘 |
| 第四节 切削力 .....        | 缘 |
| 第五节 切削热和切削液 .....    | 缘 |
| 第九章 机械加工 .....       | 缘 |
| 第一节 车削 .....         | 缘 |
| 第二节 镗削 .....         | 缘 |
| 第三节 刨削 .....         | 缘 |
| 第四节 铣削 .....         | 缘 |
| 第五节 磨削 .....         | 缘 |
| 第六节 特种加工 .....       | 缘 |
| 第十章 钳工加工 .....       | 缘 |
| 第一节 划线 .....         | 缘 |
| 第二节 錾削 .....         | 缘 |
| 第三节 锯削 .....         | 缘 |
| 第四节 锉削 .....         | 缘 |
| 第五节 钻削 .....         | 缘 |
| 第六节 铰削 .....         | 缘 |
| 第七节 攻螺纹与套螺纹 .....    | 缘 |
| 第八节 刮削 .....         | 缘 |
| 第九节 研磨 .....         | 缘 |
| 主要参考文献 .....         | 缘 |



# 第一篇 金属材料

## 第一章 金属材料的力学性能

汽车和其他机械设备的主要受力零部件通常使用金属材料制成。这是因为金属材料具有某些优越性能是目前其他类型材料无法比拟的。

金属材料性能可以分为使用性能和工艺性能两大类。使用性能又可以分为化学性能(耐腐蚀性能、抗高温氧化性能.....)、物理性能(电性能、磁性能.....)和力学性能三类。力学性能是指材料在受到外力(载荷)作用下所表现出来的性能。

工艺性能是指材料在一定工艺条件下加工的难易程度。

### 第一节 强度和塑性

#### 一、几个基本概念

##### 内力

我们知道固体物质都是由原子构成,但是在外力作用下,原子间的联系并没有破坏,也就是说固体有抵抗外力而不破坏的能力。

在图 1-1 中,物体受到外力  $F$  和  $F'$  的拉伸作用,在剖面  $I-I'$  左侧平面的无数原子受到右侧平面无数原子吸引力作用而不分离。这种存在于固体物质内部的作用力称为内力。

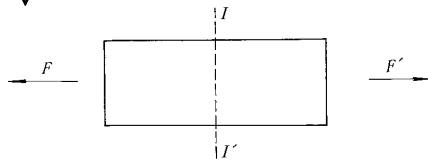


图 1-1 拉伸时受力情况

力的单位是牛顿(单位符号是 N,可简称牛),所以内力的单位当然也是牛。可是牛这个单位太小,只相当 0.001 克重物的重力,应用在汽车和其他工程技术中实在太小,使用非常不便。实际使用的是千牛(kN)和兆牛(MN)。

##### 应力

##### 应力的定义

上面例子中,材料抵抗破坏的能力不仅与材料性质有关,而且与物体的截面大小有关。为了单纯考虑材料性质,排除物体几何尺寸影响,我们引入应力的概念:应力是指物体内单位截面积上的内力。

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

(单位)

式中: $\sigma$ ——应力,单位是帕斯卡(单位符号是 Pa,可简称帕);

$F$ ——外力,单位是牛(N);

$A$ ——材料截面积,单位是米<sup>2</sup>(m<sup>2</sup>)。





帕也是很小的单位,常用的是千帕( ~~千帕~~和兆帕( ~~兆帕~~ )。

~~员葬也员葬~~

~~员葬也员葬~~

~~员葬也员葬~~

在国家标准中,兆帕有时也表达为 ~~兆帕~~。

~~员葬也员葬~~

可以认为,材料破坏的原因是应力超过材料所能承受的极限值。当零件内部应力分布不均匀时,应力最大处首先达到或超过极限值,材料首先从该处开始被破坏。

### 弹性变形和塑性变形

汽车的车身是用称为悬架弹簧的弹性元件和装有车轮的前后车桥联结起来的。显然,这种悬架弹簧拆下来时,应该恢复到安装前的形状和尺寸,不允许在使用过程中产生永久性的变形。这种去除载荷后能消除的变形称为弹性变形。

我们用一根较粗的镀锌铁丝用力拗弯,再放手。可以发现铁丝稍微反弹一点,仍然保留了较大的变形量。这里,反弹部分是弹性变形,而保留下来的变形叫塑性变形。塑性变形是指去除载荷后保留下来的永久性变形。同时,我们还可以得到一个结论:金属材料在产生塑性变形的同时,必然产生部分弹性变形。

### 材料的破坏和零件的失效

前面已经讨论过,固体材料有抵抗外力而不破坏的能力。但是这种能力是有极限的,当材料承受的应力达到一定极限值时,材料就被破坏。

材料破坏的形式有两种:一种是材料的破裂或断裂;另一种是材料发生明显的塑性变形。这里讲的“明显的塑性变形”,在不同零件、不同场合可以有不同的要求。大多数机械零件是指拉伸时长度上的塑性变形量达到或超过原长度的 ~~圆%~~。

零件的失效是指由于这个零件的原因而使设备无法正常使用。零件材料破坏了,自然也就是失效了。而零件材料如果产生过大的弹性变形量,那么也会使零件失效。产生零件过量弹性变形的原因,既可能是设计不当,也可能是使用不当所造成。某仓库用叉式铲车搬运超重的设备,结果设备举升起来后却不能放下。经检查是门架立柱在超重货物作用下弹性变形量过大,使门架导向装置卡死。后来用起重机将超重设备稍微往上一吊,门架就轻轻落下了。以后,铲车正常使用中也没有发现有门架卡死现象。这就是说门架受力超过一定限度时,由于弹性变形超过一定限度而导致失效,但没有发生明显塑性变形,门架并没有达到破坏的程度,只要故障排除后,工作时合理控制载荷大小,仍能长期正常工作。

## 二、强度

材料所承受的应力达到一定极限值时就被破坏。这种极限值就是我们经常说的强度。

由于强度是应力的极限值,所以强度的单位和应力的单位一样是帕( ~~帕~~ )或千帕( ~~千帕~~ )、兆帕( ~~兆帕~~ )。

应力可分为拉应力、压应力和弯曲应力等几种。下面仅叙述拉应力作用下材料的



性能。

强度指标很多,常用的有抗拉强度和屈服强度两类。

抗拉强度  $\sigma_{\text{拉}}$

材料抵抗外力作用而不破裂或断裂的极限值称为抗拉强度。

屈服强度  $\sigma_{\text{泽}}$

材料抵抗外力作用而不发生明显塑性变形的极限值称为屈服强度。

强度较高的金属材料没有屈服强度,所以用实际意义相同的条件屈服强度  $\sigma_{0.2}$  代替。下标 0.2 意思就是前面说的 0.2% 塑性变形量。

### 三、塑性

我们把材料破裂或断裂前可能产生的最大塑性变形称为材料的塑性。

常用的塑性指标有伸长率(原称为延伸率)和断面收缩率两种。

伸长率  $\delta$

材料在拉伸时,破裂或断裂前可能产生的长度塑性变形率称为伸长率。如果材料的原始长度是  $L_0$ ,拉伸断裂后再拼接起来的长度为  $L$ ,那么伸长率  $\delta$  可以用下式计算:

$$\delta = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (3-1)$$

式中: $\delta$ ——伸长率,伸长率是一个没有单位的百分率;

$L_0$ ——材料原始长度,单位是米(皂);

$L$ ——材料断裂后拼接起来的长度,单位也是米(皂)。

断面收缩率  $\psi$

圆柱形材料在拉伸时,当塑性变形量大到一定程度时,长度方向某一小段的直径会明显缩小,就像人的颈部比头部和两肩小很多一样。这种现象称为材料拉伸时的缩颈现象。可以断定材料拉断后,断裂点在缩颈段的直径最小处。如果材料的原始直径为  $d_0$ ,拉断后缩颈段的最小直径为  $d$ ,那么断面收缩率  $\psi$  可以用下式来计算:

$$\psi = \frac{\pi d_0^2 - \pi d^2}{\pi d_0^2} \times 100\% = \frac{d_0^2 - d^2}{d_0^2} \times 100\% \quad (3-2)$$

式中: $\psi$ ——断面收缩率,断面收缩率也是一个没有单位的百分率;

$d_0$ ——材料原始直径,单位是米(皂);

$d$ ——材料断裂后最细处直径,单位是米(皂)。

通常把  $\delta > 5\%$  的材料称为塑性较好的塑性材料;把  $\delta < 5\%$  的材料称为脆性材料。脆性材料的  $\delta$  测量值波动比较大,也没发缩颈现象,所以一般不需要列出塑性指标。

塑性指标的重要性是十分明显的。塑性指标的重要意义至少有以下几点:

第一,压力加工就是利用材料的塑性,对金属坯料有控制地施加压力,使金属坯料



经过塑性变形,形成一定形状、尺寸的毛坯或型材。压力加工是毛坯和型材成形的重要手段。

第二,压力加工后材料的机械性能比压力加工前有明显提高,所以塑性材料也常通过压力加工来提高、控制材料力学性能。

第三,运动零部件应该用塑性材料制成。因为塑性材料断裂前首先会发生塑性变形,工作时运动零部件就会发出振动和异响,操作人员就可以及时采取措施,防止整个总成或整个设备损坏,提高了整体设备运行的安全性和可靠性。

#### 四、拉伸试验的特点

强度指标和塑性指标都是通过拉伸试验得到的。那么拉伸试验有什么特点呢?

拉伸试验的特点主要有以下几点:

第一,一次试验就可以同时得到一组强度指标,一组塑性指标及一个刚度指标(关于刚度将在学习材料力学时讨论)。拉伸试验得到的试验数据精确度较高。目前,拉伸试验得到的数据经常作为各种标准、教材和手册引用的标准数据。

第二,强度指标和刚度指标有明确、单纯类型应力作用下的力学意义,可以直接用于设计和校核计算。

第三,拉伸试验是在拉伸试验机或者万能试验机上进行的。要试验的材料首先要制作成符合国家标准和国际标准的试样。整个过程相当繁复,设备要求较高,成本也较高,而且拉伸试验一定要将试样拉断才能得到强度指标和塑性指标,是一种破坏性试验,不适合生产现场对一般机械零件的力学性能试验。

4

## 第二节 硬 度

拿一颗跳棋里的玻璃球,用力往木板上按,拿掉玻璃球后发现玻璃球纹丝不动,木板上却留下了一个压痕。我们就说玻璃比木板硬,或者说木板比玻璃软。再拿玻璃球往铝板上按,铝板上也留下了压痕,但比木板上的压痕要小得多。这样,我们可以得到两个结论:首先玻璃比木板和铝板都硬,玻璃球是木板和铝板的硬异物;其次铝板比木板抵抗硬异物压入其表面的能力强,即铝比木材硬。这样,我们就引入了硬度的概念和硬度试验的方法。

显然,机械行业所称的硬度与我们日常生活中所称的硬度有所不同。硬度是材料对硬异物压入其表面的抵抗能力。

据上所述,测试材料硬度有以下三要素:一是要有一个符合规范的硬异物;二是要有能对硬异物平稳施加精确载荷的装置;三是要能精确测定压痕大小。目前,全世界通用的硬度测试方法很多,最常用的硬度测试方法是布氏硬度和洛氏硬度两种。

### 一、布氏硬度

压头用一定直径的淬火钢球,最常用的是 $\phi$ 10mm淬火钢球。对硬度较高的材料,测试硬度可以用碳化钨球作压头。压头直径以毫米(mm)为单位,载荷通常是压头直径平方



的布氏硬度,载荷以牛(晕)为单位。在材料表面加压后留下一个压痕,用读数显微镜测量压痕直径,查找硬度计所附表格就可以知道该材料的布氏硬度值。布氏硬度试验规程是在一定历史条件下形成的,现行布氏硬度试验国家标准已经将原标准中力的单位公斤力(晕)换算成符合国家标准的新,所以就出现不符合数值系列国家标准的小数。如 $1000\text{kgf}$ ,实际就是已经废止使用的 $1000\text{kgf}$

当采用 $\phi 10\text{mm}$ 淬火钢球作压头,载荷为 $3000\text{kgf}$ 测得的硬度表达为 $HBS_{3000/10}$ 。 $HBS$ 是根据压痕直径查找硬度计所附表格得到的,或国家标准上的硬度对照表得到的数字。用淬火钢球作压头只能测试硬度不高的材料,可以测试的最高限度为 $650\text{kgf}$ ,相当于一般弹簧的硬度。如果要测试硬度比较高的材料,比如滚动轴承和汽车传动齿轮的表面硬度,压头就应该采用硬度远远高于淬火的碳化钨制成。用 $\phi 5\text{mm}$ 碳化钨球作压头,载荷为 $1500\text{kgf}$ 测得的硬度表达为 $HBS_{1500/5}$ 。例如,某汽车半轴技术要求中要求硬度为 $HBS_{1500/5} 60\sim 65$ 。

## 二、洛氏硬度

压头为 $120^\circ$ 顶角的圆锥形金刚石,硬度较低的材料也可以用 $\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球作为压头。载荷有 $15\text{kgf}$ 、 $45\text{kgf}$ 和 $150\text{kgf}$ 几种。用安装在硬度计上的百分表测量压痕深度,可以直接在硬度计上读得硬度值。

根据压头和载荷不同,洛氏硬度有 $HRA$ 、 $HRB$ 和 $HRC$ 三种标尺(见表 1-1)。

表 1-1 洛氏硬度标尺

| 压 头                        | $15\text{kgf}$ | $45\text{kgf}$ | $150\text{kgf}$ |
|----------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| 圆锥形金刚石                     | $HRC$          |                | $HRA$           |
| $\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球 |                | $HRB$          |                 |

$HRA$ 标尺由于载荷很小,所以适用于高硬度材料和表面硬度的测试; $HRB$ 标尺用的是钢球压头,适用于硬度较低,不太均匀的材料硬度测试;而 $HRC$ 标尺适合大部分钢铁材料的硬度测试。

与布氏硬度不同,洛氏硬度应先标标尺代号,后标硬度数值。例如,某汽车齿轮要求表面硬度 $HRC 58\sim 62$ 。

硬度试验,测试迅捷,设备价格低,是无损检验,可以用于零件成品检测。所以,广泛用于生产现场的成品检验。但是精确度比较低,压痕部位变形情况和应力类型复杂,硬度数据不能直接用于设计计算。

对于布氏硬度和洛氏硬度来说,还各有特点。布氏硬度相对精度较高,压痕面积较大,测量的是平均硬度,比较适合灰口铸铁等组织不太均匀的材料。但是由于压痕较大,压痕不容许保留在成品表面,淬火钢球硬度还不够高,只能测试 $650\text{kgf}$ 以下的材料,碳化钨压头也只能测试到 $1500\text{kgf}$ ,测试速度明显低于洛氏硬度。

而洛氏硬度测试,速度极快,效率很高。金刚石是目前已知最硬的物质,可以测试



从不太软到极硬的材料,压痕很小,只要不是配合表面,通常容许保留。但是洛氏硬度的测试精确度较低,且不太稳定,主要用于要求不很高的生产现场产品检验。国家也规定一定规模以上的汽车修理企业和汽车使用单位,必须配备洛氏硬度计。

### 第三节 冲击韧性

拉伸试验和硬度试验所使用的载荷都要求平稳、缓慢地加在试样上。这一类载荷称为静载荷。载荷大小、方向突然变化的则称为冲击载荷。例如,用锤子击打钉子。载荷大小、方向变化速度介于静载荷与冲击载荷之间的,称为动载荷。我们去公园游玩乘坐过山车时,过山车上下翻滚高速行驶,人体对座椅的压力也在不断变化,这就是典型的动载荷。

一种材料对不同性质载荷的抵抗能力往往是不同的。建筑用的石块强度很高,可以承受很大静载荷。但是用手锤一打石块就被打碎,可见石块承受冲击载荷的能力却很差。重要机械零件,往往要求材料既有较高的强度,又有较高冲击韧性和疲劳强度。或者说,既要能承受很大的静载荷,又要能承受较大的动载荷和冲击载荷。在机械行业里,材料对静载荷、动载荷与冲击载荷的综合承受能力称为对材料的综合力学性能。

材料的冲击韧性指标是冲击韧度,单位是焦耳/厘米<sup>2</sup> (或 J/cm<sup>2</sup>)。

冲击韧性试验要求试验中一次击断试样,所以是大能量一次冲击韧性。但是,实际机械零件冲击韧性不够时,往往是经过很多次冲击后才断裂的,试验条件与实际工作条件不同。冲击韧性值是不是可以反映在较小能量多次冲击时的冲击韧性呢? 20世纪50年代,很多材料科学家对此进行了深入的研究,发现两者是有区别的。在大能量冲击时,材料抵抗冲击载荷的能力取决于冲击韧度;而小能量多次冲击时,材料抵抗冲击载荷的能力不仅与冲击韧度有关,而且与材料的强度有关。每次冲击能量越小,强度的影响越大,冲击韧度影响越小。由于小能量多次冲击韧性概念提出的时间还不长,还没有能形成国际标准或国家标准。但是搞清楚大能量冲击韧性与小能量多次冲击韧性的共同点和区别,对于合理选择材料是非常重要的。

大能量冲击韧性试验,虽然并不能反映大多数零件实际工作条件下的真实韧性,但是它对材料质量和后面要讨论的热处理质量非常敏感,仍然是一种质量检验的重要手段。

另外,材料的冲击韧度还与温度有关,温度越低,冲击韧性值越低,而且温度低到某一温度范围时,冲击韧性值会突然大幅降低。这个温度范围称为脆性转变温度范围。近年,对打捞起来的“泰坦尼克号”残片钢材进行分析,发现早年生产的钢材中含有硫和磷的量较高,大大提高了钢材的脆性转变温度范围,所以在寒冷冬季的北大西洋钢材变得像玻璃一样脆,船只与冰山撞击后形成的破裂迅速扩展成大裂口,半截船体多个水密舱进水,使号称“永不沉没的豪华游船”迅速沉没,造成极为严重的后果。汽车是在室外工作的交通工具,而且汽车完全可能到高寒地区工作,所以汽车结构用钢必须有很低的脆性转变温度范围(约原屈服或者约原屈服)。因此,汽车结构用钢材中硫、磷和其他杂质含量必须严格控制在很低的范围内。



## 第四节 材料疲劳的概念

在动载荷反复作用下的材料,尽管动载荷的最大值小于屈服强度,也可能发生脆性断裂,这种现象称为材料的疲劳。不管是塑性材料还是脆性材料,疲劳断裂总是突然发生的脆性断裂,而且汽车和其他机械设备运动零部件的非正常损坏,80%以上是疲劳断裂。因而疲劳破坏的危害性极大,必须引起高度重视。20世纪50年代,有一次日本航空公司一架波音707飞机从东京起飞不久坠毁,死亡了280多人,震惊全世界。当时,国际恐怖主义活动猖獗,很多人怀疑也是一起劫机未遂而引起的爆炸造成。后来,经过美国和日本双方专家对打捞起来的残骸进行分析,发现是飞机某一结构件疲劳断裂而造成整体解体的惨剧。汽车在高速行驶中,如果传动系统、制动系统或转向系统中某一个零件发生疲劳断裂,造成的后果将不堪设想。

一般钢材存在一个疲劳强度 $\sigma_{\text{疲劳}}$ ,只要材料承受的最大应力小于 $\sigma_{\text{疲劳}}$ ,材料就不会发生疲劳。对于高强度钢和有色金属找不到 $\sigma_{\text{疲劳}}$ ,就人为设定一个基数 $\sigma_{\text{基}}$ (如 $\sigma_{\text{基}} = \sigma_{\text{屈服}}/2$ ),设法找到一个 $\sigma_{\text{基}}$ ,使材料承受的最大应力小于 $\sigma_{\text{基}}$ 时,材料至少可以工作 $10^7$ 个应力循环。这个 $\sigma_{\text{基}}$ 称为条件疲劳强度。

疲劳强度的影响因素很多,不但与材料性质、载荷性质、载荷大小有关,而且与零件形状、零件表面粗糙程度、零件表面的应力状态,以及零件表面同心部的强度差都有关。因此,工科专业课程中,有好几门课要讨论疲劳问题。

7

### 复习思考题

1. 机械零件工作时承受的载荷性质有哪几类?试分析汽车发动机连杆所承受载荷的性质。

2. 拉伸试验可以测定金属材料哪些力学性能指标?拉伸试验有何特点?

3. 对低碳钢材料进行拉伸试验。所用试样原始直径 $d_0$ 为10mm,原始试验段长度(标距长)为50mm。试样所加载荷达到屈服点时材料发生屈服现象;试样断裂前承受的最大载荷为 $F_m$ 。试样断裂后直径最小处直径 $d_n$ 为7.5mm;拼接后试样试验段长度 $L_n$ 为40mm。试计算该材料的力学性能指标。

4. 比较粗的镀锌铁丝反复弯曲若干次后折断,你认为这是什么性质的破坏?

5. 什么是金属材料的小能量多次冲击韧性?有哪些因素影响材料的小能量多次冲击韧性?

6. 汽车半轴长期使用中突然断裂,你认为这属于什么性质的破坏?

7. 行车是生产车间和仓库常用的钢结构起重设备。室内车间和露天仓库的行车所使用的钢材要求是否相同?为什么?

8. 完成以下表格。



| 载荷性质 | 性能分类 | 指标名称 | 指标代号                                    | 单 位 |
|------|------|------|---|-----|
|      | 强度   |      |   |     |
|      |      |      | $\sigma_{\text{泽}}, \sigma_{\text{园圆}}$ |     |
|      |      | 伸长率  |   | %   |
|      | 塑性   |      |   | %   |
| 静载荷  |      |      | <del>均匀延伸率</del>                        |     |
|      |      | 洛氏硬度 |   |     |
|      | 冲击韧度 |      |   |     |
| 动载荷  |      |      |   |     |



钢是以铁为主要元素,含碳量一般在 0.02% 以下,并含有其他元素的材料。理论上纯净的钢含碳量上限为 0.021%,实际钢中总是含有少量杂质和一定量的合金元素,理论值并无实际意义,所以国家标准 GB/T 700—2006 中把 0.25% 定为钢含碳量的上限。

钢具有其他金属材料所没有的很多优点。如地球上铁矿和煤矿蕴藏量比较丰富,冶炼和加工成材技术也已经很成熟,所以钢铁材料的价格比其他金属材料低,钢可以通过热处理大幅度调整其力学性能,使得钢材既比较容易进行机械加工,又可以得到很高的强度,或者很高的硬度和耐磨性,钢材可以用铸造、压力加工和焊接等各种工艺进行成形加工,又可以进行各种切削加工,比较容易制成各种尺寸的形状复杂、精度很高的零件。所以,钢已成为一种使用十分广泛的重要金属材料。像我们这样一个发展中的大国,经济建设中需要消耗数量巨大的钢材。目前,我国每年钢的产量和消耗量都在亿吨以上。汽车工业是钢材消耗大户,而且汽车对钢材的品种和质量要求也比较高,因而汽车工业发展与钢铁工业发展有密切关系。

### 第一节 钢 的 分 类

#### 一、按成分分类

##### 按是否加入合金元素分类

按照国家标准 GB/T 700—2006 规定,根据是否为改善钢的性能而加入合金元素和加入合金元素量的多少,将钢分为非合金钢、低合金钢和合金钢三类。非合金钢在其他国家标准中常又称为碳素钢。三类钢对各种合金元素含量范围的规定可见表 2-1。

按工程技术界习惯日常所称的合金钢,大多数是后两类钢的统称。在第三章中,我们就是这样表述的。

##### 按合金钢中加入合金元素多少分类

工程技术界还把合金元素总含量在 0.02% ~ 0.05% 的合金钢称为中合金钢,把合金元素总含量大于 0.05% 的合金钢称为高合金钢。

##### 按钢中含碳量分类

工程技术界习惯上按钢含碳量多少,将钢分为低碳钢、中碳钢和高碳钢三类。

低碳钢:  $C \leq 0.25\%$ ;

中碳钢:  $0.25\% < C \leq 0.60\%$ ;

高碳钢:  $C > 0.60\%$ 。

低合金钢绝大多数为低碳钢,非合金钢(碳素钢)和合金钢则是低碳钢、中碳钢和高碳钢都有。







### 三、钢按用途分类

国家标准(即GB/T 13305)中没有按用途将钢分成几大类,而是按用途将钢分成许多小类。我们根据该标准将钢按用途详细分类的思路,还是可以将钢按用途分为以下四大类:

#### 工程结构用钢

工程结构用钢主要用于建筑、桥梁等工程结构及汽车、船舶和其他机械设备的基础件。通常,这类钢以钢板和各种型钢(钢管、角钢、槽钢、工字钢、H型钢……)形式供应。生产中,一般只对钢材进行切割下料、冷冲压成形、热冲压成形、焊接加工、铆接加工和少量的切削加工,大多数使用单位不再对材料进行热处理加工。

#### 机械零件用钢

机械零件用钢主要用于机械设备中各类机械零件,如各种螺栓、螺母、轴、齿轮……通常,以圆钢、方钢、六角钢等型钢形式供应;对于大型工件用的材料,钢厂也可以直接供应钢锭。制造厂常常要对材料进行精细的切削加工,以获得较高的加工精度和表面质量。稍微重要的零件还要进行进一步的热处理,以获得较高的力学性能。

#### 工具钢

用于制造刀具、模具和量具。工具钢都是特殊质量钢。

#### 特殊性能钢

具有特殊物理、化学性能的钢称为特殊性能钢。如电工钢、不锈钢、耐酸钢、耐热钢……。特殊性能钢也都是特殊质量钢。

由于我们专业的特点,除不锈钢外,对于工具钢和其他特殊性能钢,这里不再作进一步讨论。

11

## 第二节 碳素钢

碳素钢是在钢中加入铁、碳以外合金元素(为了改善性能)的钢。按照新国标(即GB/T 13305)规定,碳素钢基本属于非合金钢。碳素钢是使用量最大的钢种,我国和世界各国的碳素钢生产量和使用量都占钢的总量80%左右。虽然碳素钢成分比较简单,价格比较低,但是经过深度后加工,同样可以获得可观的附加值。如我国以往长期不能生产轿车车身用的宽幅面冷轧薄钢板,只能用厚度较大的薄钢板代替,使轿车的自重明显提高,车辆的整体性能明显降低。上海桑塔纳投产初期,车身用的冷轧薄钢板只能从德国、日本进口,运输成本很高,每年需支出大量外汇,生产成本大大提高。后来,上海宝钢引进冷轧机投产,生产的优质冷轧薄钢板不仅满足了国内需要,而且可以大量出口,创造出可观的经济效益。

### 一、碳素钢中主要杂质元素

碳素钢中,虽然没有有意识加入合金元素,但是原料中含有的杂质元素和冶金辅料总是有一些残留在钢中,成为碳素钢中的杂质元素。杂质元素种类很多,比较主要的有



硫、磷、锰和硅。这四种杂质元素在其他类钢中也是主要杂质元素,俗称钢的四大杂质元素。

### 12.1.1 硫

硫主要由焦炭和矿石带入钢中。

硫在钢中显著降低钢的冲击韧性,也降低钢的强度和塑性。特别是钢被加热到 $900^{\circ}\text{C}$ 以上时,硫使钢变得十分脆,使钢无法进行热压力加工。这种现象称为钢的“红脆”,或者叫“热脆”。有红脆的钢,无法通过轧钢或锻造制成钢材或锻件,而钢锭是无法直接使用的。

所以,硫是钢中的有害杂质元素,必须严格限制其含量。

不过硫可以改善钢的切削加工性,有时容许钢含有略多的含硫量,当然还要采取一些其他措施,减轻硫的不利影响。

### 12.1.2 磷

磷主要由铁矿石和某些辅料带入钢中。

磷虽可以提高钢的强度和耐磨性,但明显会降低钢的冲击韧性和塑性。磷还显著提高钢的脆性转变温度范围,使钢在此温度范围以下变得十分脆。所以,磷也是钢中的有害杂质元素,必须严格限制其含量。

磷也可以改善钢的切削加工性,所以有时也故意适量增加钢的含磷量。

### 12.1.3 锰

锰作为脱氧剂残留物存在于钢中。

炼铁时,我们用焦炭作为还原剂,把铁矿石中氧化铁所含的铁元素还原出来,在此同时铁水中也溶入较多的碳元素,炼钢时就必须把钢水中的碳含量降下来。于是通过向钢水中吹氧,利用铁和碳的氧化速度不同,使铁水的含碳量逐步降下来,从而控制钢水的含碳量。吹氧虽然可以控制含碳量,但是也使钢水中溶入了一部分氧化铁,所以吹氧后还需要脱氧,将钢水中的氧化物还原出来。脱氧剂有锰铁、硅铁、钛铁和铝铁等,最常用的是锰铁和硅铁。所以,一般钢中总是含有少量的锰和硅。

钢中含有不超过 $0.8\%$ 的锰,可以提高钢的强度,而对塑性和韧性几乎没有不良影响。而且适量的锰可以消除硫引起的“红脆”。同时钢中的硫只有和足够量锰同时存在才能提高钢的切削加工性。由于一般钢铁中总是含有少量杂质元素硫,因此钢水的脱氧剂中必须包括一定比例的锰铁。据此,钢铁中也总是含有一定量的锰。

所以,锰是碳素钢中的有益杂质元素。一般碳素钢中的含锰量在 $0.3\%$ 以下,增加含锰量的碳素钢可以增加至 $0.5\% \sim 0.8\%$ 范围。

### 12.1.4 硅

硅也是作为脱氧剂残留物存在于钢中的。

硅的脱氧作用比锰强,单纯用硅脱氧很难达到要求,通常用硅铁和锰铁同时加入钢水脱氧。钢中含有少量硅可以明显提高钢的强度,同时硅含量小于 $0.3\%$ 时,对钢的塑性、韧性的不良影响也很小。所以,硅也是钢中的有益杂质元素。一般碳素钢中的含硅量控制在约 $0.2\%$ 。

钢中还可能含有氧、氮、氢等杂质元素,同时还可能含有各种各样的非金属夹杂物。



它们都会降低钢的性能,必须严格加以限制。

## 二、碳素钢的分类和牌号

### 碳素钢的分类

碳素钢品种很多,可根据其用途、质量、成分特点和脱氧程度予以分类。

#### (一) 按用途分类:

结构钢:一般用于机械零件和结构零件;

工具钢:通常用于刀具、模具和量具等。

#### (二) 按质量分类:

普通钢:是最常用的一种质量等级。通常用于结构件和不太重要的机械零件;

优质钢:用于一般工具和机械零件;

高级优质钢:用于要求很高的工具和机械零件。

应该指出,碳素钢的国家标准是在钢分类国家标准以前颁布的,符合钢分类国家标准规定的质量分级标准的碳素钢标准尚未制定。所以,碳素钢国标中质量分级与新国标不尽相符。

#### (三) 按成分特点分类:

普通含锰量:  $0.30\% \sim 0.60\%$ ;

提高含锰量:  $0.70\% \sim 1.50\%$ 。

#### (四) 按含碳量分类:

低碳钢:  $0.05\% \sim 0.25\%$ ;

中碳钢:  $0.25\% \sim 0.60\%$ ;

高碳钢:  $0.60\% \sim 1.35\%$ 。

#### (五) 按脱氧程度分类:

镇静钢:脱氧完全,钢的质量较好,但是钢锭上部有一个很大的缩孔,轧制钢材前必须把缩孔部分割除,所以钢的成材率很低。目前,设备比较先进的钢铁厂都有连铸设备,一炉钢水只有一个缩孔,对成材率影响很小。所以,这些钢厂生产的都是镇静钢;

沸腾钢:脱氧不完全,钢锭的缩孔很小,钢的成材率高,但钢中的杂质较多,质量较差。沸腾钢通常用大写字母 F 表示;

半镇静钢:脱氧程度介于镇静钢和沸腾钢之间。它的质量和成材率也介于两者之间。半镇静钢的生产量很少。

### 碳素钢的牌号

#### (一) 碳素结构钢。碳素结构钢牌号由四部分组成。

第一部分:大写字母 Q 是汉字“屈”的汉语拼音首字母,表示屈服强度的意思。这种表示方法常用于各种材料的牌号和代号。

第二部分:一个三位数,表示钢的屈服强度不低于这个数字的兆帕数。

如 Q235 表示该钢的屈服强度不低于 235 MPa。

第三部分:是钢的质量等级,分 A、B、C、D 四级,表示该钢最低工作温度。A 级对低温性能不作要求;B 级表示最低工作温度为  $0^{\circ}\text{C}$ ;C 级表示该钢最低工作温度为  $-20^{\circ}\text{C}$ ;



阅级表示最低工作温度为原屈服。其中粤级可以不在牌号中标注出来。碳素结构钢国标里规定碳素结构钢为普通钢,也就是说碳素结构钢冶金质量要求是不高的。但是按新国标规定,粤月两级碳素结构钢一般为普通钢,深度后加工后也可以成为优质钢或特殊质量钢,悦阅两级碳素结构钢则为优质钢和特殊性能钢。

第四部分 脱氧程度。镇静钢不标注,沸腾钢标为云

例如:

圆粤云表示该钢为碳素结构钢,屈服强度不低于圆粤云葬粤级质量,沸腾钢;

圆粤悦表示该钢为碳素结构钢,屈服强度不低于圆粤云葬悦级质量(最低工作温度为原屈服),镇静钢。

(圆) 优质碳素结构钢。优质碳素结构钢的牌号是一个两位数,表示该钢的平均含碳量的万分之几。

我们已经知道钢脱氧时必须加入一定比例的锰铁,所以钢中总是含有少量的锰。而钢中的锰是有益杂质元素,只要含量不大于员豫%可以提高钢的力学性能。所以,有一类含有较高含锰量的优质碳素结构钢,它们的含锰量在园豫%~员圆%,性能比相同含碳量的优质碳素结构钢好,价格只略高一点。较高含锰量优质碳素结构钢牌号在表示含碳量的两位数后面加上锰的元素符号“酝”。

高级优质钢的表达方法只需要在钢牌号的最后面加上大写字母“粤”。这种表达方法也用于其他各类钢。

例如:

圆粤云表示该钢为优质碳素结构钢,平均含碳量为园豫%;

表 圆 碳素结构钢的化学成分(圆粤云-圆粤)

| 牌号  | 等级 | 化 学 成 分 , % |         |     |     |     | 脱氧方法 |
|-----|----|-------------|---------|-----|-----|-----|------|
|     |    | 悦           | 酝       | 杂   | 孕   | 不大于 |      |
| 圆粤云 |    | 园粤云-园粤圆     | 园粤云-园粤圆 | 园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 云遭在  |
| 圆粤云 | 粤  | 园粤云-园粤云     | 园粤云-园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 云遭在  |
| 圆粤云 | 月  | 园粤云-园粤云     | 园粤云-园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 云遭在  |
|     | 粤  | 园粤云-园粤云     | 园粤云-园粤云 |     | 园粤云 | 园粤云 | 云遭在  |
|     | 悦  | ≤园粤云        | 园粤云-园粤云 |     | 园粤云 | 园粤云 | 在    |
|     | 阅  | ≤园粤云        | 园粤云-园粤云 |     | 园粤云 | 园粤云 | 栽在   |
| 圆粤云 | 粤  | 园粤云-园粤云     | 园粤云-园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 云遭在  |
| 圆粤云 | 月  | 园粤云-园粤云     | 园粤云-园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 云遭在  |
| 圆粤云 |    | 园粤云-园粤云     | 园粤云-园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 园粤云 | 遭在   |

注:圆粤粤月级沸腾钢锰含量上限为园豫%。



表示该钢为较高含锰量的高级优质碳素结构钢,平均含碳量为 0.25% ;

表示该钢为优质碳素结构钢,沸腾钢,平均含碳量为 0.25%。

(狗) 碳素工具钢。碳素工具钢是优质钢或高级优质钢。新国标规定工具钢都是特殊性能钢。

碳素工具钢的牌号第一部分是 大写字母 T,后面跟一个数字,表示该钢含碳量的千分之几。

例如 :

T8 表示该钢为高级优质碳素工具钢,含碳量为 0.8% ;

T8Mn 表示该钢为增加含锰量的碳素工具钢,含碳量为 0.8%。

表 碳素结构钢的力学性能 (GB/T 700-2006)

| 牌 号 | 等 级     | 拉 伸 试 验              |       |       |       |           |                       |                    |       |       |       |           | 冲击试验 |                          |     |
|-----|---------|----------------------|-------|-------|-------|-----------|-----------------------|--------------------|-------|-------|-------|-----------|------|--------------------------|-----|
|     |         | 屈服点 $\sigma_s$ / MPa |       |       |       |           | 抗拉强度 $\sigma_m$ / MPa | 伸长率 $\delta_5$ / % |       |       |       |           | 温度 益 | 灾型 冲击功 (纵向) $A_{kv}$ / J |     |
|     |         | 钢材厚度(直径) / mm        |       |       |       |           |                       | 钢材厚度(直径) / mm      |       |       |       |           |      |                          |     |
|     |         | $\leq 16$            | 16~25 | 25~40 | 40~60 | $\geq 60$ |                       | $\leq 16$          | 16~25 | 25~40 | 40~60 | $\geq 60$ |      |                          |     |
| 不小于 |         |                      |       |       | 不小于   |           |                       |                    |       | 不小于   |       |           |      |                          |     |
| T08 | (T08Mn) |                      |       |       |       | 375~435   | 10                    | 10                 |       |       |       |           |      |                          |     |
| T08 | 粤       | 375                  | 375   | 375   | 375   | 375       | 375                   | 375                | 375   | 375   | 375   | 375       | 375  | 375                      | 375 |
| T08 | 月       | 375                  | 375   | 375   | 375   | 375       | 375                   | 375                | 375   | 375   | 375   | 375       | 375  | 375                      | 375 |
| T08 | 粤       |                      |       |       |       |           |                       |                    |       |       |       |           |      |                          |     |
| T08 | 月       | 375                  | 375   | 375   | 375   | 375       | 375                   | 375                | 375   | 375   | 375   | 375       | 375  | 375                      | 375 |
| T08 | 悦       |                      |       |       |       |           |                       |                    |       |       |       |           |      |                          |     |
| T08 | 阅       |                      |       |       |       |           |                       |                    |       |       |       |           |      |                          |     |
| T08 | 粤       | 375                  | 375   | 375   | 375   | 375       | 375                   | 375                | 375   | 375   | 375   | 375       | 375  | 375                      | 375 |
| T08 | 月       | 375                  | 375   | 375   | 375   | 375       | 375                   | 375                | 375   | 375   | 375   | 375       | 375  | 375                      | 375 |
| T08 |         | 375                  | 375   | 375   | 375   | 375       | 375                   | 375                | 375   | 375   | 375   | 375       | 375  | 375                      | 375 |

注:  $\delta_5$  是拉伸试样的原来长度  $L_0$  为其试样直径  $d_0$  时的伸长率。

表 碳素结构钢的冷弯性能 (GB/T 700-2006)

| 牌 号 | 试样方向 | 冷弯试验 月越厚原级    |       |
|-----|------|---------------|-------|
|     |      | 钢材厚度(直径) / mm |       |
|     |      | $\leq 16$     | 16~40 |
|     |      | 弯心直径 $d$      |       |
| T08 | 纵    | 10            |       |
|     | 横    | 10            | 10    |



| 牌 号 | 试样方向 | 冷弯试验 月越葬员越 |      |      |
|-----|------|------------|------|------|
|     |      | 钢材厚度(直径) 皂 |      |      |
|     |      | 述          | 跃述-员 | 跃员-圆 |
|     |      | 弯心直径 苗     |      |      |
| 圆缘  | 纵    | 圆葬         | 员葬   | 圆葬   |
|     | 横    | 葬          | 圆葬   | 圆葬   |
| 圆缘  | 纵    | 葬          | 圆葬   | 圆葬   |
|     | 横    | 员葬         | 圆葬   | 猿葬   |
| 圆缘  |      | 圆葬         | 猿葬   | 猿葬   |
| 圆缘  |      | 猿葬         | 源葬   | 源葬   |

注：月为试样宽度，葬为钢材厚度(直径)。

表 圆缘 优质碳素结构钢的化学成分(月述怨-愿)

| 序号 | 牌 号 | 化 学 成 分 , % |      |      |    |    |    |    |    |    |
|----|-----|-------------|------|------|----|----|----|----|----|----|
|    |     | 悦           | 蚤    | 酥灶   | 孕  | 杂  | 晕  | 忱  | 忱  | 忱  |
|    |     |             |      |      |    |    |    |    |    |    |
| 员  | 圆云  | 圆缘-圆员       | ≤圆   | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 圆  | 员云  | 圆缘-圆源       | ≤圆   | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 猿  | 员云  | 圆缘-圆        | ≤圆   | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 源  | 圆愿  | 圆缘-圆        | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 缘  | 员圆  | 圆缘-圆源       | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 远  | 员缘  | 圆缘-圆        | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 苑  | 圆   | 圆缘-圆源       | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 愿  | 圆缘  | 圆缘-圆        | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 怨  | 猿   | 圆缘-圆缘       | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 员园 | 猿缘  | 圆缘-圆        | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 员员 | 源   | 圆缘-圆缘       | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 员圆 | 源缘  | 圆缘-圆        | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 员猿 | 缘   | 圆缘-圆缘       | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 员源 | 缘缘  | 圆缘-圆        | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 员缘 | 述   | 圆缘-圆缘       | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 员远 | 述缘  | 圆缘-圆        | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |
| 员苑 | 苑   | 圆缘-圆缘       | 圆缘-圆 | 圆缘-圆 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 | 圆缘 |







| 序号 | 牌号   | 试样毛坯尺寸/mm | 推荐热处理温度/℃ |     |     | 力学性能                 |                      |                         |        |                      | 钢材交货状态硬度/MPa |     |
|----|------|-----------|-----------|-----|-----|----------------------|----------------------|-------------------------|--------|----------------------|--------------|-----|
|    |      |           | 正火        | 淬火  | 回火  | $\sigma_{\text{抗拉}}$ | $\sigma_{\text{屈服}}$ | $\delta_{\text{断后伸长率}}$ | $\psi$ | $K_{\text{IC}}$      | 不大于          |     |
|    |      |           |           |     |     | (MPa)                | (MPa)                | (%)                     | (%)    | (J/cm <sup>2</sup> ) |              |     |
|    |      |           |           |     |     | 不小于                  |                      |                         |        |                      | 未热处理         | 退火钢 |
| 1  | Q235 | Q235      | 900       | 900 | 700 | 375                  | 235                  | 24                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 2  | Q345 | Q345      | 900       | 900 | 700 | 475                  | 345                  | 22                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 3  | Q390 | Q390      | 900       | 900 | 700 | 520                  | 390                  | 20                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 4  | Q420 | Q420      | 900       | 900 | 700 | 560                  | 420                  | 18                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 5  | Q460 | Q460      | 900       | 900 | 700 | 600                  | 460                  | 16                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 6  | Q500 | Q500      | 900       | 900 | 700 | 640                  | 500                  | 14                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 7  | Q550 | Q550      | 900       | 900 | 700 | 680                  | 550                  | 12                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 8  | Q600 | Q600      | 900       | 900 | 700 | 720                  | 600                  | 10                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 9  | Q690 | Q690      | 900       | 900 | 700 | 810                  | 690                  | 8                       | 55     | 27                   | 177          |     |
| 10 | Q785 | Q785      | 900       | 900 | 700 | 900                  | 785                  | 6                       | 55     | 27                   | 177          |     |
| 11 | Q235 | 试样        |           | 900 | 700 | 375                  | 235                  | 24                      | 55     | 27                   | 177          | 177 |
| 12 | Q345 | 试样        |           | 900 | 700 | 475                  | 345                  | 22                      | 55     | 27                   | 177          | 177 |
| 13 | Q390 | 试样        |           | 900 | 700 | 520                  | 390                  | 20                      | 55     | 27                   | 177          | 177 |
| 14 | Q420 | Q420      | 900       |     |     | 560                  | 420                  | 18                      | 55     |                      | 177          |     |
| 15 | Q460 | Q460      | 900       |     |     | 600                  | 460                  | 16                      | 55     |                      | 177          |     |
| 16 | Q500 | Q500      | 900       | 900 | 700 | 640                  | 500                  | 14                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 17 | Q550 | Q550      | 900       | 900 | 700 | 680                  | 550                  | 12                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 18 | Q600 | Q600      | 900       | 900 | 700 | 720                  | 600                  | 10                      | 55     | 27                   | 177          |     |
| 19 | Q690 | Q690      | 900       | 900 | 700 | 810                  | 690                  | 8                       | 55     | 27                   | 177          |     |
| 20 | Q785 | Q785      | 900       | 900 | 700 | 900                  | 785                  | 6                       | 55     | 27                   | 177          |     |
| 21 | Q235 | Q235      | 900       |     |     | 375                  | 235                  | 24                      | 55     |                      | 177          |     |
| 22 | Q345 | Q345      | 900       |     |     | 475                  | 345                  | 22                      | 55     |                      | 177          |     |
| 23 | Q390 | Q390      | 900       |     |     | 520                  | 390                  | 20                      | 55     |                      | 177          |     |
| 24 | Q420 | Q420      | 900       |     |     | 560                  | 420                  | 18                      | 55     |                      | 177          |     |
| 25 | Q460 | Q460      | 900       |     |     | 600                  | 460                  | 16                      | 55     |                      | 177          |     |
| 26 | Q500 | Q500      | 900       |     |     | 640                  | 500                  | 14                      | 55     |                      | 177          |     |
| 27 | Q550 | Q550      | 900       |     |     | 680                  | 550                  | 12                      | 55     |                      | 177          |     |
| 28 | Q600 | Q600      | 900       |     |     | 720                  | 600                  | 10                      | 55     |                      | 177          |     |
| 29 | Q690 | Q690      | 900       |     |     | 810                  | 690                  | 8                       | 55     |                      | 177          |     |
| 30 | Q785 | Q785      | 900       |     |     | 900                  | 785                  | 6                       | 55     |                      | 177          |     |

注：① Q235及 Q345用留有加工余量的试样进行热处理。

② 对于直径或厚度小于 10mm 的钢材，热处理是在与成品截面尺寸相同的试样毛坯上进行。

③ 表中所列正火推荐保温时间不少于 1h，空冷，淬火推荐保温时间不少于 1h，回火推荐保温时间不少于 1h。

④  $K_{\text{IC}}$  是冲击功，单位为焦/厘米<sup>2</sup>。



## 第三节 钢的热处理

通过对金属材料施行不同的加热、保温和冷却,改变其内部组织、结构,从而改变金属材料性能的工艺叫做热处理。许多金属材料都可以热处理,但绝大多数钢通过热处理后,更可以大幅度调整其力学性能,这是其他金属材料所无法比拟的。

由于钢制零件的实际使用性能是由热处理决定的,汽车和其他机械设备中高速运动的零件几乎全部要经热处理后才能使用。热处理的质量对产品质量有非常重要的意义。

### 一、临界温度的概念

钢在加热初期,内部的组织和结构没有本质变化;只有当加热到某一温度时,内部组织和结构才开始发生变化,这个温度我们称之为下临界温度;再加热上去到另一温度时,内部的组织和结构转变完成,这个温度称之为上临界温度。上、下临界温度之间形成一个组织和结构转变的温度范围。冷却时,内部变化正好与加热过程相反,但是上、下临界温度与加热时是完全相同的。

通常,上临界温度高于下临界温度,只有纯铁和一些特殊成分的钢(悦越园%)的上、下临界温度相等。

由于钢的热处理就是通过加热、保温和冷却来调整内部组织和结构的,所以临界温度对热处理过程的影响很大。

碳素钢的下临界温度都约等于苑%。含碳量小于园%的钢,含碳量越高,上临界温度越低,而钢的含碳量大于园%时,含碳量越高,上临界温度也越高。含碳量等于园%的钢,上、下临界温度都为苑%。

### 二、退火

退火是指钢制零件加热后经过足够时间的保温,然后缓慢冷却的热处理工艺。这里可以看出两点:首先,没有说明退火的加热温度是多少,也就是说由于退火温度不同,退火的种类很多;其次,退火的共同特点是冷却速度缓慢。

#### 完全退火

钢制零件毛坯加热到上临界温度以上,再保温并缓慢冷却的热处理工艺,称为完全退火。

完全退火只适用于含碳量小于园%的钢。

完全退火后可以达到以下目的:

- ① 消除铸造或压力加工造成的组织缺陷;
- ② 消除各种原因造成的内应力;
- ③ 调整钢的硬度,以便于切削加工或冷压力加工;
- ④ 细化组织,改善力学性能或者为后续热处理作组织准备。

#### 球化退火



钢制零件毛坯加热到略高于下临界温度,再保温足够长的时间后缓慢冷却,得到硬度低于完全退火组织,而塑性明显高于完全退火组织的球状组织,该工艺称为球化退火。其消除组织缺陷和细化组织的作用比不上完全退火。

球化退火,通常适合于含碳量大于 0.45% 的钢。

含碳量高的钢硬度偏高,切削和冷压力加工有一定困难,所以必须进行球化退火;含碳量高的钢在后续热处理(淬火)时内应力大,容易开裂,球状组织可以大大减少淬火内应力。

#### 去应力退火

钢制零件半成品或成品加热到下临界温度以下某一温度,再保温足够长时间并缓慢冷却的热处理工艺,称为去应力退火。

去应力退火可以明显降低由于各种原因造成的内应力,而对组织没有影响。

### 三、正火

钢制毛坯加热到上临界温度以上某一温度,再保温后在空气中冷却的热处理工艺,称为正火。其空气中冷却速度比退火快,所以正火后硬度高于完全退火后的硬度。与完全退火相似,正火也可以消除钢的某些组织缺陷、消除内应力和细化组织。以下进一步作几点说明:

第一,低碳钢正火后的硬度最适合于切削加工,中碳钢正火后的硬度尚适合切削加工,所以中、低碳钢可以用正火代替完全退火,可以达到完全退火的全部目的,而成本却低得多。

第二,由于球化退火不能消除组织缺陷和细化组织,必须在球化退火前先进行一道正火。

第三,正火可以明显改善钢的力学性能。对要求不太高的零件,可以用低成本的正火代替高成本的其他热处理工艺,以改善力学性能,或者由于设备原因不能对大型工件进行淬火的,就只能用正火代替。

如果零件必须要进行淬火,退火与正火就是淬火的必要组织准备,所以退火与正火统称为预备热处理。

### 四、淬火

#### 临界冷却速度

以常用的 45 钢为例,将它加热到上临界温度以上的 850℃,保温后以不同的方式(即不同的冷却速度)冷却,得到的结果见表 4-1。

从该表格内容可以看出,加热后的钢以不同速度冷却,得到的力学性能完全不同。一般说,冷却速度越快,钢的硬度和强度越高,塑性和冲击韧性越低。但是冷却速度提高到一定数值后,再提高冷却速度,其硬度、强度和塑性、冲击韧性就不再变化了。这个冷却速度,我们称之为临界冷却速度。

#### 淬火

钢制零件加热到临界温度以上,保温后快速冷却(大于临界冷却速度)的工艺称为



表 2-1 碳钢淬火加热后不同冷却方式得到的力学性能

| 力学性能                 | 炉冷 | 空冷  | 油冷  | 水冷  |
|----------------------|----|-----|-----|-----|
| $\sigma_{\text{抗拉}}$ | 低  | 中-高 | 高   | 最高  |
| $\sigma_{\text{屈服}}$ | 低  | 中   | 高   | 最高  |
| $\alpha$ (%)         | 高  | 中-高 | 中-低 | 低   |
| 均匀性                  | 高  | 中-低 | 低-中 | 低-中 |

### 淬硬淬硬性

淬火后钢可能达到的最高硬度称为钢的淬硬性。

钢的淬硬性与钢的含碳量有关。一般说来含碳量越高,淬硬性也越高。但是钢的含碳量达到 0.8%,其淬硬性可达到 60HRC,这便是钢淬硬性的最高值,也即再提高含碳量,其淬硬性就保持不变了。

合金元素对钢的淬硬性影响很小。合金钢淬火后的硬度与相同含碳量碳素钢淬火后的硬度基本相同。

### 淬透淬透性

一个零件在淬火冷却时,表面和心部冷却速度不同,尖角处和平直处的冷却速度也不同。所以淬火时,可能会表面淬硬了,而心部没有淬硬;尖角处淬硬了,而平直处却没有淬硬。

钢在淬火时获得较大淬硬层深度的能力叫钢的淬透性。

钢的淬透性与钢的临界冷却速度有关。临界冷却速度越小,钢的淬透性越好;反之,临界冷却速度越大,淬透性越差。

钢的淬透性主要取决于钢的成分。一般说结构用的钢的含碳量越高,淬透性越好;而很多合金元素可以明显提高钢的淬透性。所以不含合金元素的碳素钢淬透性较差,必须在冷却速度极大的盐水中才能顺利淬火,而合金钢的淬透性较好,在冷却速度较低的矿物油中就可以淬透,合金元素含量特别高的高合金钢的淬透性极好,在空气中就可以淬透。其次,提高淬火加热温度也可以略微提高钢的淬透性。

所以,合金钢的淬硬性与相同含碳量的碳素钢基本相同,但淬透性却大大高于碳素钢。

淬透性好的钢可以制作直径较大的工件,或者相同直径的零件,用淬透性好的钢制作,就可以用较小的冷却速度淬火,这可以大大减少淬火应力,减少因淬火而产生的变形量。

### 低碳钢淬火后的力学性能

低碳钢淬火后钢的强度较高,并且有一定的韧性,也就是说具有好的综合力学性能,不过低碳钢淬火后总是有较大的内应力,除了要求不高的场合,通常不能直接使用。中、高碳钢淬火以后,可以获得很高的硬度、耐磨性,但是钢变得极脆,内应力也很大,更



不能直接使用。

淬火后钢的硬度大大提高,但是会产生很大内应力,使零件产生一定量的变形,甚至开裂,所以钢淬火后,必须通过回火降低或者消除内应力后才能实际使用。淬火的目的是为后续的回火处理作好组织准备。

## 五、回火

淬火钢重新加热到临界温度以下某一温度并保温一段时间的工艺叫做回火。

回火的目的主要有以下两点:第一,降低或者消除淬火所产生的内应力;其次,牺牲部分淬火得到的硬度,换取较高的塑性、韧性。

应该特别指出,回火组织的综合力学性能比正火或退火组织都要高得多。

### 低温回火

回火温度为  $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ 。

低温回火后钢的内应力有所降低,淬火后得到的力学性能则基本不变。

低温回火适用于中、高碳钢制作的高硬、高耐磨零件,或者是要求有较高综合力学性能的低碳钢零件。

### 中温回火

回火温度为  $350^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ 。

中温回火后,钢具有很高的屈服强度、一定的韧性,同时淬火应力基本消除。

中温回火适用于含碳量在  $0.3\% \sim 0.5\%$  的弹性元件,以获得很高的屈服强度;也适用于中碳合金钢制成的高强度零件。

### 高温回火

回火温度  $550^{\circ}\text{C} \sim 650^{\circ}\text{C}$ 。

中碳钢淬火后加以高温回火的热处理工艺称为调质。调质后的钢具有较高强度和很高的塑性、韧性,即调质组织具有高综合力学性能。

调质广泛用于对综合力学性能要求较高的重要机械零件。

## 六、表面热处理

通过对零件表面单独热处理,使零件表面与心部性能有较大差异的热处理工艺,称为表面热处理。

钢经过淬火和回火处理后,综合力学性能有了很大提高,但是对于某些受力条件恶劣的零件,仍不能满足使用要求。例如,汽车是一种交通工具,它要求传动系统在很小的体积和重量条件下能传递很大的动力,而且这种动力还在不断变化。因此,汽车的传动齿轮工作条件十分严酷,既要有很高的表面硬度和耐磨性,又要有较高的强度和韧性。前面我们在讨论回火的时候已经可以得出结论,用前面讨论过的常规热处理工艺是不可能满足这些严酷要求的。如果用高碳钢制成并经淬火和低温回火的材料,可获得高硬度和高耐磨性,但是非常脆,如果用中碳钢制成并经调质,材料获得高综合力学性能,但硬度和耐磨性不够,同样低碳钢制成的零件淬火并低温回火后,综合力学性能不错,但硬度较低,耐磨性也较差。表面热处理,则可以解决这个问题。



## 感应加热表面淬火

靠近交流电流的铁磁金属物体会感应出同频率交流电流,而且感应电流集中在铁磁金属的表面。这就是交流电的邻近效应和趋肤效应。感应加热就是利用金属的这种性质使零件表面通过强大电流,对零件表面快速加热并进行淬火,而心部则温度没有什么明显变化,当然组织和性能仍然保持表面淬火前的状态。表面淬火前可以先正火或调质处理,确保零件心部的力学性能。

表面淬火适用于中碳碳素钢或中碳低合金钢,如 45 钢。

(一) 特点。感应加热表面淬火最大特点是加热速度极快而集中,淬火组织十分细小,这就带来很多优点。

- ① 淬火组织的耐磨性和韧性比普通淬火好;
- ② 感应加热淬火能明显提高零件的疲劳强度,最多可提高 30%;
- ③ 生产效率极高,对环境的影响很小,容易安排进自动生产线;
- ④ 大量或大批生产时,成本很低;
- ⑤ 高温下保持时间极短,心部温度基本不升高,所以表面的氧化和脱碳极小,淬火后变形也极小。

但是它的缺点也很明显。

① 感应加热表面淬火需要昂贵的设备,感应线圈制作周期长,所以中小批量生产时成本高;

② 为了兼顾表面的淬硬性和心部的韧性,材料一般采用中碳钢,从而导致表面耐磨性和心部韧性都还不太高;

③ 感应加热淬火时,会产生强大的电磁辐射,必须注意屏蔽,防止对人体产生不利影响和产生无线电干扰。

(二) 分类。根据电源频率不同,感应加热表面淬火还可以分为以下几类:

① 高频感应加热表面淬火。电源频率: 100~1000 kHz, 淬火深度: 0.5~1 mm, 适合直径 100 mm 以下的小型工件。

② 中频感应加热表面淬火。电源频率: 1~100 kHz, 淬火深度: 1~5 mm, 适合直径 100~500 mm 的中型工件。

③ 工频感应加热表面淬火。电源频率: 50 Hz, 淬火深度大于 5 mm, 适合直径 500 mm 以上的大型工件。

## 渗碳

热处理时,如果在使表面与心部的组织不同的同时,还能使表面和心部的成分也不同,必定可以使心部和表面的性能都更能满足使用要求。热处理时,改变表面化学成分的工艺称为化学热处理。化学热处理的种类很多,汽车零件用得最多的是渗碳。这里我们仅讨论渗碳。

渗碳适用于低碳钢,以便淬火和低温回火后获得较高的综合力学性能,而不必考虑表面的性能要求——渗碳后表面成为高碳钢。淬火和低温回火后,可以获得高硬度和高耐磨性。

渗碳温度很高,为 900~1000℃,最常用的是(930~950℃),渗碳时间为 1~16 h。



渗碳用的介质有木炭为主的固体渗碳剂和煤油或其他有机化合物裂解得到的气体渗碳剂两类。由于气体渗碳质量容易控制,生产率较高,从而得到广泛应用;而固体渗碳则因为不需要专用设备,在小型企业中仍然普遍得到应用。气体渗碳深度一般为 $0.5\sim 1.5$ mm,渗碳层表面含碳量约为 $0.8\% \sim 1.0\%$ 。

渗碳后必须进行淬火和低温回火。最终,零件心部可能淬透,也可能淬不透。如果心部能淬透,零件整体则有较高的综合力学性能。如果心部不能淬透,则心部相当于正火组织,整体仍有较好的韧性和过得去的强度。汽车传动齿轮性能要求很高,轮齿心部必须淬透;汽车发动机中的凸轮轴、机油泵传动齿轮等受力不大的零件,则容许心部不淬透。

与感应加热淬火比较,渗碳零件的表面硬度和耐磨性更高,疲劳强度提高也更明显。如果心部能淬透,心部强度也明显高于感应加热淬火。但是渗碳温度很高,时间很长,渗碳后还要淬火,所以热处理引起的变形较大,渗碳零件热处理周期较长,生产率低于感应加热淬火,成本也高得多。

## 第四节 合金钢

现代汽车和其他机械设备运行速度越来越快,而自重和体积却在逐步缩小。这对零件所用材料提出了更高要求,碳素钢已经不能满足很多重要零件的使用要求,必须采用某些方面性能更优越的合金钢。为了提高钢的性能,有意识地在钢中加入某些铁、碳以外的元素,就形成了合金钢。为改善钢性能有意识加入的元素就称为合金元素。应该指出,合金钢在某些方面性能的提高,必然使另外一些性能受到影响,没有一种各方面性能都优越的万能型的材料,而且合金钢的价格也较高。合理选择材料是充分发挥材料潜能、降低产品成本的最重要环节。如轿车车身材料,还是碳素钢制成的冷轧薄钢板最合适。

常用的合金元素有锰(Mn)、铬(Cr)、钼(Mo)、镍(Ni)、钒(V)、钛(Ti)、硅(Si)、铝(Al)、铜(Cu)和硼(B)等。

### 一、合金元素在钢中的作用

合金元素在钢中的作用是多方面的,这里仅就合金元素对钢的力学性能和热处理工艺性能的影响作初步讨论。

#### 1. 提高钢的淬透性

前面在讨论钢的淬透性的时候已经说过,很多合金元素可以明显提高钢的淬透性。实际上,除了钴和铝外,所有合金元素都可以提高钢的淬透性,但是,不同元素提高淬透性的程度不同。此外,还有一些特殊情况需要说明。

加入单一合金元素时,锰和钼提高淬透性作用最明显,钒和钛在加热温度极高时可以提高淬透性,但是在正常加热温度淬火时反而降低淬透性;中、低碳钢中加入微量硼可以明显提高淬透性,钢中同时加入两个或多个合金元素,提高淬透性作用更明显,特别是铬和镍同时加入的钢,其淬透性得到极大提高。



机械零件用钢采用合金钢的主要原因就是为了得到较高的淬透性,以便制造较大直径工件和减小淬火变形。

### 圆提高钢的强度

某些合金元素可以溶入钢中一种叫铁素体的组织,从而提高钢的强度。其中硅、磷的作用相对最强。应该指出,无论什么合金元素强化铁素体作用并不是很大,要获得高强度还是必须通过热处理才能达到目的。

有些合金元素(如钨、钼、钒、钛等)在钢中形成碳化物,可以明显提高钢的强度。

### 猿细化钢的组织(细化晶粒)

钢的组织越细小,强度较高,韧性也越好,可以明显提高钢的综合力学性能。对于主要要求力学性能的零件,我们总是追求细小的组织。

钢中加入钒、钛,可以使钢的组织极其细化,钼、钨细化钢组织的能力也很强,而锰则要粗化钢的组织。

### 源提高回火稳定性

合金钢与碳素钢在同样淬火与同样温度回火后,合金钢的硬度要比碳素钢高,就是说合金钢的回火稳定性比碳素钢好。回火稳定性好的钢,经淬火和回火后,综合力学性能也较好。钨和钼提高钢回火稳定性能力很强。特例是,含有大量钨、钼、钒的钢,淬火后硬度并不很高,在缘园~源园益回火后硬度会进一步提高,达到匀~源缘左右的高硬度,这种现象称为两次硬化。两次硬化后,可使钢在源园益以下温度工作时硬度不会下降。这种高温下保持高硬度的特性称为“红硬性”。铬提高回火稳定性的作用中等,硅在中、低温回火时,提高回火稳定性作用很明显。

### 缘回火脆性

不少合金元素会引起合金钢的回火脆性。大部分合金钢在某些温度范围回火时,钢的韧性非但不提高,反而下降,这种现象称为回火脆性。合金钢中应用最多的锰、铬、硅和镍,它们都会引起回火脆性,也就是说大多数合金钢都有回火脆性。一般回火脆性可以用回火后快速冷却来防止,但是有的高精度零件回火后不容许快速冷却,那么可以在钢中加入少量钼和钨来防止回火脆性。

合金元素在钢中的作用是多方面的,比较复杂,为了便于记忆,我们制作了一张表格供大家参考(见表圆愿)。由于我们在讨论中回避了很多理论讨论,所以表格中某些名词前面没有提到,同学们可以略去不必理会。

表圆愿 合金元素对钢的影响

| 合金元素    | 锰(圆) | 铬(圆) | 钼(圆) | 钨(宰) | 钒(灾) | 钛(糙) | 硅(蚕) | 镍(零) | 硼(月) |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 强化铁素体   | 强    | 中    | 中    | 中    | ①    | ①    | 强    | 中    | ②    |
| 提高回火稳定性 | 弱    | 中强   | 强③   | 强③   | ①③   | ①    | 强    | 中    | ②    |





| 合金元素    | 锰(錳) | 铬(鉻) | 钨(鉨) | 钼(鉬) | 钒(釩)  | 钛(鈦)  | 硅(矽) | 镍(鎳) | 硼(硼) |
|---------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 细化晶粒    | 粗化晶粒 | 中    | 强    | 强    | 最强    | 最强    | 弱    | 弱    | ②    |
| 提高淬透性   | 强    | 中强   | 强    | 中强   | 降低淬透性 | 降低淬透性 | 弱    | 中④   | ⑤    |
| 第二类回火脆性 | 引起   | 引起   | 抑制   | 抑制   | ①     | ①     | 引起   | 引起   | ②    |
| 临界温度    | 降低   | 提高   | 提高   | 提高   | ①     | ①     | 提高   | 降低   | ②    |

注：① 实际不溶入铁素体与奥氏体，所以不起作用。

② 加入量极微，实际不起作用。

③ 含量高时引起二次硬化。

④ 与铬配伍时(悦錳錳錳錳)源强烈提高钢的淬透性。

⑤ 微量硼(月越錳錳錳)~园錳錳錳)可以明显提高钢的淬透性(月在低碳钢中作用很小)。

从以上讨论看，合金钢的综合力学性能比碳素钢要好得多，而且更适合于直径较大的零件。一般说来，合金钢的优点只有通过热处理才能充分发挥，传统认为合金钢制的零件必须淬火就是这么来的。20世纪50年代以来，这种观点有一些变化，新出现的低合金结构钢通常在正火或者热轧状态下使用。

## 二、合金钢分类和牌号

### 1. 合金钢的分类

合金钢可以分为合金结构钢、合金工具钢和特殊性能钢三大类。合金结构钢主要用于机械零件和结构零件，合金工具钢主要用于刀具、模具和量具制造，特殊性能钢则具有某些特殊的物理、化学性能，用于对这些性能有特殊要求的地方。

### 2. 合金结构钢的牌号

合金结构钢的牌号一般由三部分组成。

第一部分是一个两位数，表示该钢平均含碳量的万分之几，与优质碳素结构钢相同；第二部分表示加入合金元素的元素符号；第三部分表示该元素的百分率含量平均数，四舍五入到个位数，当含量的平均数低于0.5%时不标。加入多个合金元素时，第二、第三部分连续出现。

例如：

(员) 圆錳錳錳錳 圆錳錳錳錳 表示该合金结构钢平均含碳量为园錳錳錳錳，悦錳錳錳錳的平均含量均小于员錳錳錳錳。

(圆) 錳錳錳錳錳錳 錳錳錳錳錳錳 表示该合金结构钢平均含碳量为园錳錳錳錳，悦錳錳錳錳錳錳的平均含量均小于员錳錳錳錳，并且是高级优质钢。

(猿) 远錳錳錳錳 远錳錳錳錳 表示该合金结构钢，平均含碳量为园錳錳錳錳，杂錳錳錳錳的含量小于员錳錳錳錳，錳錳錳錳的含量约为园錳錳錳錳。



### 滚动轴承钢的牌号

滚动轴承钢是生产量和使用量很大的一类合金结构钢,其中最主要的就是铬滚动轴承钢。由于它对性能的特殊要求,国家标准规定了特殊的牌号标准。

铬滚动轴承钢牌号最前面是大写字母 G,后面是元素符号 Cr,之后是铬平均含量的千分之几,如果还加入其他合金元素,其标志方法与其他合金结构钢相同;铬滚动轴承钢的含碳量均为 0.9% 左右。

例如:

GCr15 表示该钢属于滚动轴承钢,含碳量约为 0.9%,铬的含量约为 1.5%。

GCr15SiMn 表示该钢属于滚动轴承钢,含碳量约为 0.9%,铬的含量约为 1.5%,硅的平均含量均小于 0.3%。

### 特殊性能钢的牌号

这类钢含碳量均标志为平均含量的千分之几,而且必须是一位数,显然当含碳量不小于 0.1% 时无法标为一位数,所以规定含碳量不小于 0.1% 时含碳量不标;有的特殊性能钢含碳量很低,则用“L”表示含碳量小于 0.08%,用“LL”表示含碳量小于 0.03%;合金元素的标志方法与合金结构钢完全相同。

例如:

L1Cr17Ni2 的含碳量很低,必定是特殊性能钢;含碳量小于 0.08%;铬含量约为 17%,镍含量约为 2%,钛的含量小于 0.03%。实际这是一种很高级的不锈钢。

## 三、低合金高强度结构钢

低合金高强度结构钢是一类出现才三四十年的新钢种。它是在碳素结构钢基础上,加入少量锰,有的再加入微量细化组织的钒、铈、铌等合金元素而组成的。合金元素的加入量很少,一般约 1%。冶炼质量一般仍为普通钢,所以价格比碳素结构钢只略高一点,焊接、冷冲压等加工性能仍然很好,而强度水平则提高 20% 以上。代替碳素结构钢可以大大减轻结构重量,可以取得很高的经济效益。如当年解放牌 CA10 汽车载重量为 2 吨,而车架材料用低合金结构钢代替碳素结构钢后,车架和其他结构用的材料厚度减小,由于车身重量明显减轻,在发动机结构和其他结构基本保持不变的情况下,载重量提高到了 3 吨,其经济效益十分可观。

目前使用最多的低合金结构钢是最早出现的 Q235,它相当于在 Q235 基础上加入了少量锰,从而使屈服强度比 Q235 高了 20%。焊接性和冷冲压性仍然很好,比 Q235 差不了多少,价格也只略高于 Q235。Q235 在汽车、船舶和建筑业中得到了广泛应用。

低合金结构钢一般在正火状态或热轧状态下使用。

由于低合金结构钢一般不需要淬火热处理,大多数情况下,低合金结构钢的成分对使用者并无实际意义。新的国家标准 GB 1591 规定低合金高强度结构钢牌号的编制方法与碳素结构钢相同,如 Q345 表示该钢的屈服强度不低于 345 MPa。可以采用多种不同成分低合金结构钢满足所需要的屈服强度。



表 2-9 低合金高强度结构钢的化学成分(GB/T1591—94)

| 牌号   | 质量等级 | 化 学 成 分, % |           |           |          |          |           |             |           |           |           |           |
|------|------|------------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|      |      | C $\leq$   | Mn        | Si $\leq$ | P $\leq$ | S $\leq$ | V         | Nb          | Ti        | Al $\geq$ | Cr $\leq$ | Ni $\leq$ |
| Q295 | A    | 0.16       | 0.80~1.50 | 0.55      | 0.045    | 0.045    | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 |           |           |           |
|      | B    | 0.16       | 0.80~1.50 | 0.55      | 0.040    | 0.040    | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 |           |           |           |
| Q345 | A    | 0.20       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.045    | 0.045    | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 |           |           |           |
|      | B    | 0.20       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.040    | 0.040    | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 |           |           |           |
|      | C    | 0.20       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.035    | 0.035    | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     |           |           |
|      | D    | 0.18       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.030    | 0.030    | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     |           |           |
|      | E    | 0.18       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.025    | 0.025    | 0.02~0.15 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     |           |           |
| Q390 | A    | 0.20       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.045    | 0.045    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 |           | 0.30      | 0.70      |
|      | B    | 0.20       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.040    | 0.040    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 |           | 0.30      | 0.70      |
|      | C    | 0.20       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.035    | 0.035    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.30      | 0.70      |
|      | D    | 0.20       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.030    | 0.030    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.30      | 0.70      |
|      | E    | 0.20       | 1.00~1.60 | 0.55      | 0.025    | 0.025    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.30      | 0.70      |
| Q420 | A    | 0.20       | 1.00~1.70 | 0.55      | 0.045    | 0.045    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 |           | 0.40      | 0.70      |
|      | B    | 0.20       | 1.00~1.70 | 0.55      | 0.040    | 0.040    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 |           | 0.40      | 0.70      |
|      | C    | 0.20       | 1.00~1.70 | 0.55      | 0.035    | 0.035    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.40      | 0.70      |
|      | D    | 0.20       | 1.00~1.70 | 0.55      | 0.030    | 0.030    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.40      | 0.70      |
|      | E    | 0.20       | 1.00~1.70 | 0.55      | 0.025    | 0.025    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.40      | 0.70      |
| Q460 | C    | 0.20       | 1.00~1.70 | 0.55      | 0.035    | 0.035    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.70      | 0.70      |
|      | D    | 0.20       | 1.00~1.70 | 0.55      | 0.030    | 0.030    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.70      | 0.70      |
|      | E    | 0.20       | 1.00~1.70 | 0.55      | 0.025    | 0.025    | 0.02~0.20 | 0.015~0.060 | 0.02~0.20 | 0.015     | 0.70      | 0.70      |

注: 表中的 Al 为全铝含量。如化验酸溶铝时, 其含量应不小于 0.010%。



表 圆 低合金高强度结构钢的力学性能 (旧牌号为 缘 附)

| 牌号   | 质量等级 | 屈服点 $\sigma_s$ / MPa |       |       |       | 抗拉强度 $\sigma_b$ / MPa | 伸长率 $\delta_s$ / % | 冲击功 $A_{kv}$ (纵向) / J |     |     |     | 弯曲试验 |     |     |   |   |   |
|------|------|----------------------|-------|-------|-------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|---|---|---|
|      |      | 厚度 (直径、边长) / mm      |       |       |       |                       |                    | 不小于                   | 不小于 | 不小于 | 不小于 | 不小于  | 不小于 |     |   |   |   |
|      |      | $\leq 16$            | 17~21 | 22~27 | 28~36 |                       |                    |                       |     |     |     |      |     | 原   | 原 | 原 | 原 |
|      |      | 不小于                  |       |       |       |                       |                    |                       |     |     |     |      |     | 不小于 |   |   |   |
| Q235 | 粤    | 235                  | 235   | 235   | 235   | 235                   | 235                | 235                   | 235 | 235 | 235 | 235  | 235 |     |   |   |   |
| Q355 | 粤    | 355                  | 355   | 355   | 355   | 355                   | 355                | 355                   | 355 | 355 | 355 | 355  | 355 |     |   |   |   |
|      | 粤    | 355                  | 355   | 355   | 355   | 355                   | 355                | 355                   | 355 | 355 | 355 | 355  | 355 |     |   |   |   |
|      | 悦    | 355                  | 355   | 355   | 355   | 355                   | 355                | 355                   | 355 | 355 | 355 | 355  | 355 |     |   |   |   |
|      | 耘    | 355                  | 355   | 355   | 355   | 355                   | 355                | 355                   | 355 | 355 | 355 | 355  | 355 |     |   |   |   |
| Q460 | 粤    | 460                  | 460   | 460   | 460   | 460                   | 460                | 460                   | 460 | 460 | 460 | 460  | 460 |     |   |   |   |
|      | 粤    | 460                  | 460   | 460   | 460   | 460                   | 460                | 460                   | 460 | 460 | 460 | 460  | 460 |     |   |   |   |
|      | 悦    | 460                  | 460   | 460   | 460   | 460                   | 460                | 460                   | 460 | 460 | 460 | 460  | 460 |     |   |   |   |
|      | 耘    | 460                  | 460   | 460   | 460   | 460                   | 460                | 460                   | 460 | 460 | 460 | 460  | 460 |     |   |   |   |

表 圆 低合金高强度结构钢新旧国标牌号对照 (旧牌号为 缘 附表)

| 旧牌号为 缘 | 旧牌号为 缘                              |
|--------|-------------------------------------|
| Q235   | Q235A Q235B Q235C Q235D             |
| Q355   | Q355A Q355B Q355C Q355D Q355E Q355F |
| Q460   | Q460A Q460B Q460C                   |
| Q500   | Q500A Q500B Q500C                   |
| Q550   |                                     |

#### 四、合金结构钢介绍

##### 合金渗碳钢

合金渗碳钢是含碳量 0.1% ~ 0.25% 的低碳钢, 加有锰、铬、镍等提高淬透性的合金元素, 有时还加有细化组织的钼、钒、钛等元素。通常经渗碳加低温回火后使用。

常用的有低淬透性渗碳钢 (如 20Cr) 中淬透性渗碳钢 (如 20CrMnTi) 和高淬透性渗碳钢 (如 20CrNi2) 等。

汽车的传动齿轮和传动十字轴等零件受力条件相当恶劣, 所以通常都采用中淬透性合金渗碳钢制成, 并多经过渗碳、淬火和低温回火, 使其表面有很高的硬度和耐磨性, 心部则有高强度和高韧性。凸轮轴和其他受力较轻的零件, 可以采用低淬透性合金渗碳钢制成。

##### 合金调质钢

合金调质钢是含碳量 0.3% ~ 0.5% 的中碳钢, 加有锰、铬、镍等合金元素提高淬透性, 有时也加有钼、钒等细化组织的合金元素。合金调质钢一般在调质状态下使用,



根据需要还可以调质后再作感应加热表面淬火处理。

合金调质钢经过调质处理后具有很高的综合力学性能,广泛应用于重要机械零件,如常用的低淬透性调质钢  $40Cr$  和  $42CrMo$  等。

由于汽车曲轴和半轴等主要轴类零件主要承受扭转和弯曲载荷,所以轴的中心部分并不受力,载荷集中于轴的表层。中、小型载重汽车和轿车的主要轴类零件可以用低淬透性调质钢制成,淬火时只要表层二分之一半径处能够淬透,高温回火后就能满足轴类零件的强度要求。表面还可以通过感应加热淬火提高表面硬度,满足表面耐磨性要求。而整个截面受力平均的螺栓等零件,淬火时则需要心部淬透,不过这些零件直径一般较小,通常低淬透性调质钢也足以满足受力条件。

### 合金弹簧钢

合金弹簧钢有两类,一类最终要靠热处理获得所需力学性能;另一类则靠冷塑性变形得到所需的力学性能,这类弹簧钢只能用于尺寸很小的弹簧,否则强化效果不好。需热处理强化的合金弹簧钢含碳量在  $0.50\% \sim 0.70\%$  范围内;冷变形强化的合金弹簧钢含碳量在  $0.60\% \sim 0.80\%$  范围内(个别含碳量可达  $0.90\%$ )。钢中加有提高屈服强度的锰、硅等合金元素,这些合金元素也提高了钢的淬透性。合金弹簧钢由于含碳量较高,淬火或热轧加热时表面容易出现脱碳现象,这会严重影响疲劳强度。所以比较高级的合金弹簧钢中,还加有可以减少加热时脱碳倾向的铬、钒等元素。

合金弹簧钢如果采用热处理强化,一般热处理工艺为淬火后进行中温回火,以获得很高的屈服强度并有一定韧性。冷变形强化的弹簧钢冷变形后,则需要去应力退火,以消除冷变形引起的内应力并且定形。

用碳素弹簧钢  $65Mn$  制成的弹簧钢丝很细( $\leq \phi 3$ )或弹簧钢板很薄时,常用冷变形强化;尺寸较大时,则需热处理强化。 $60Si2Mn$  和  $55Si2Mn$  是汽车悬架弹簧最常用的材料,是合金弹簧钢中生产量最大的两种; $60Cr$  则是轿车经常使用的悬架弹簧材料,这是一种比较高级的弹簧钢,不仅可以满足轿车的使用要求,而且可以在不高于  $300^\circ\text{C}$  的高温场合使用。

### 滚动轴承钢

滚动轴承的工作条件很特殊,所以对滚动轴承钢提出了很高的要求。首先,滚动轴承的滚动体与滚道是线接触或点接触,接触面积很小,接触应力很大,滚动轴承的精度又很高,滚动轴承钢热处理后必须有很高的硬度和耐磨性;其次,这种接触每次时间很短,重复不断地接触和脱离,要求钢有很高的接触疲劳强度;再次,滚动轴承钢在使用和保管过程中还应该不易生锈。传统的滚动轴承钢主加元素是铬,但是铬的价格比较昂贵,很多国家铬资源稀缺,历史上有不少科学家希望开发出不用铬的滚动轴承钢,但效果都不太好。现在使用最多的还是铬滚动轴承钢。

滚动轴承钢都是高级优质钢,含碳量都在  $0.8\%$  左右,含铬量控制也很严格。滚动轴承的毛坯必须严格地进行球化退火,最终热处理是淬火加低温回火。高精度滚动轴承元件毛坯淬火后,必须加入一道冷处理(淬火后立即放入低温冰箱,在零下几十摄氏度放置几小时。冷处理后的钢材尺寸稳定性非常好)。

目前,应用最多的滚动轴承钢是  $GCr15$ 。



表 2-12 部分合金结构钢化学成分

| 钢号       | 化 学 成 分, % |           |         |           |   |           |           |           |          |               |         |
|----------|------------|-----------|---------|-----------|---|-----------|-----------|-----------|----------|---------------|---------|
|          | C          | Si        | Mn      | Mo        | W | Cr        | Ni        | V         | Ti       | B             | Al      |
| 40B      | 0.37~0.44  | 0.17~0.37 | 0.6~0.9 |           |   |           |           |           |          | 0.0005~0.0035 |         |
| 40MnB    | 0.37~0.44  | 0.17~0.37 | 1.1~1.4 |           |   |           |           |           |          | 0.0005~0.0035 |         |
| 20MnVB   | 0.17~0.24  | 0.17~0.37 | 1.2~1.6 |           |   |           |           | 0.07~0.12 |          | 0.0005~0.0035 |         |
| 40MnVB   | 0.37~0.44  | 0.17~0.37 | 1.1~1.4 |           |   |           |           | 0.05~0.1  |          | 0.0005~0.0035 |         |
| 20Cr     | 0.17~0.24  | 0.17~0.37 | 0.5~0.8 |           |   | 0.7~1.0   |           |           |          |               |         |
| 40Cr     | 0.37~0.44  | 0.17~0.37 | 0.5~0.8 |           |   | 0.8~1.1   |           |           |          |               |         |
| 38CrMoAl | 0.35~0.42  | 0.20~0.45 | 0.3~0.6 | 0.15~0.25 |   | 1.35~1.65 |           |           |          |               | 0.7~1.1 |
| 50CrVA   | 0.47~0.54  | 0.17~0.37 | 0.5~0.8 |           |   | 0.8~1.1   |           | 0.1~0.2   |          |               |         |
| 20CrMnTi | 0.17~0.24  | 0.17~0.37 | 0.8~1.1 |           |   | 1~1.3     |           |           | 0.04~0.1 |               |         |
| 30CrMnTi | 0.27~0.34  | 0.17~0.37 | 0.8~1.1 |           |   | 1~1.1     |           |           | 0.04~0.1 |               |         |
| 20CrNi3  | 0.17~0.24  | 0.17~0.37 | 0.3~0.6 |           |   | 0.6~0.9   | 2.75~3.15 |           |          |               |         |
| 30CrNi3  | 0.27~0.34  | 0.17~0.37 | 0.3~0.6 |           |   | 0.6~0.9   | 2.75~3.15 |           |          |               |         |
| 60Si2Mn  | 0.56~0.64  | 1.5~2.0   | 0.6~0.9 |           |   |           |           |           |          |               |         |
| 55SiMnVB | 0.52~0.60  | 0.7~1.0   | 1.0~1.3 |           |   |           |           | 0.1~0.2   |          | 0.0005~0.0035 |         |



表 2-13 部分合金结构钢力学性能

| 牌 号      | 试样毛坯<br>尺寸, mm | 热 处 理                  |           |       | 力 学 性 能                           |                                  |                       |                     |                        | 钢材退火<br>或高温回火<br>供应状态<br>硬度 HB |       |
|----------|----------------|------------------------|-----------|-------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|--------------------------------|-------|
|          |                | 淬 火                    |           | 回 火   | 抗拉强度<br>$\sigma_b, \text{N/mm}^2$ | 屈服点<br>$\sigma_s, \text{N/mm}^2$ | 伸长率<br>$\delta_5, \%$ | 断面收缩率<br>$\psi, \%$ | 冲击功<br>$A_k, \text{J}$ |                                |       |
|          |                | 温度, $^{\circ}\text{C}$ | 冷却剂       |       |                                   |                                  |                       |                     |                        |                                | 不 小 于 |
|          |                |                        |           | 第一次淬火 | 第二次淬火                             | 温度, $^{\circ}\text{C}$           | 冷却剂                   |                     |                        |                                |       |
| 40B      | 25             | 840                    |           | 550   | 水                                 | 835                              | 685                   | 12                  | 45                     | 47                             | 217   |
| 20MnVB   | 15             | 860                    |           | 200   | 水, 油                              | 1080                             | 885                   | 10                  | 50                     | 55                             | 207   |
| 40MnVB   | 25             | 850                    |           | 520   | 油                                 | 885                              | 635                   | 10                  | 45                     | 55                             | 207   |
| 60Si2Mn  | 25             | 870                    |           | 480   | 油                                 | 1300                             | 1200                  | 7                   | 25                     | 47                             |       |
| 55SiMnVB | 15             | 860                    |           | 460   | 油                                 | 1400                             | 1250                  | 7                   | 30                     | 47                             |       |
| 20Cr     | 15             | 880                    | 780 ~ 820 | 200   | 水, 油                              | 835                              | 540                   | 10                  | 40                     | 47                             | 179   |
| 40Cr     | 25             | 850                    |           | 500   | 油                                 | 885                              | 685                   | 11                  | 45                     | 47                             | 207   |
| 35CrMo   | 25             | 850                    |           | 550   | 油                                 | 980                              | 835                   | 12                  | 45                     | 63                             | 229   |
| 38CrMoAl | 30             | 940                    |           | 640   | 水, 油                              | 980                              | 835                   | 14                  | 50                     | 71                             | 241   |
| 50CrVA   | 25             | 860                    |           | 500   | 油                                 | 1275                             | 1130                  | 10                  | 40                     |                                | 255   |
| 20CrMnTi | 15             | 880                    | 870       | 200   | 油                                 | 1080                             | 835                   | 10                  | 45                     | 55                             | 217   |
| 30CrMnTi | 试样             | 880                    | 850       | 200   | 油                                 | 1470                             |                       | 9                   | 40                     | 47                             | 229   |
| 12CrNi3  | 15             | 860                    | 780       | 200   | 油                                 | 930                              | 685                   | 11                  | 50                     | 71                             | 217   |
| 37CrNi3  | 25             | 820                    |           | 500   | 油                                 | 1130                             | 980                   | 10                  | 50                     | 47                             | 269   |



## 复习思考题

1. 什么是碳素钢？碳素结构钢的牌号怎样编制？

2. 为什么钢中总是含有一定量的锰？它对钢的使用性能有何影响？

3. 为什么生产过程中材料力学性能试验最常用的是硬度试验？硬度试验有何特点？

4. 什么是钢的淬透性？什么是钢的淬硬性？影响淬透性和淬硬性的主要因素有哪些？

5. 很多人认为强度比较高的材料，其塑性和韧性必定比较差。这种看法是否正确？为什么？

6. 汽车车架采用低合金高强度结构钢代替碳素结构钢可以大大减轻汽车自重。为什么不改用如钛合金之类强度更高的其他合金钢？

7. 试选择下列零件的使用材料和热处理种类。

(1) 汽车传动齿轮工作中轮齿承受很大不断变化的弯曲应力，工作一段时间后可能发生轮齿折断，齿面承受压力很大，也是不断发生变化的，耐磨性和接触疲劳强度要求很高；由于汽车的工况变化很大，并且所受载荷有冲击成分，所以轮齿的韧性要求也很高。

(2) 为了长期保证活塞销与活塞销座的配合精度，活塞销的耐磨性要求很高；发动机工作时活塞销承受载荷有冲击载荷成分。

(3) 发动机缸盖螺栓的直径受到发动机尺寸限制，不能太大，为了确保足够压紧力，要求螺栓材料的强度较高，而且螺栓还要承受气缸混合气燃烧产生的冲击载荷。

8. 写出下列牌号钢的分类和牌号中数字、字母的含义：

Q235AF、Q235BF、Q235C、Q235D、Q235E、Q235F、Q235G、Q235H、Q235I、Q235J、Q235K、Q235L、Q235M、Q235N、Q235P、Q235R、Q235S、Q235T、Q235U、Q235V、Q235W、Q235X、Q235Y、Q235Z、Q235AA、Q235AB、Q235AC、Q235AD、Q235AE、Q235AF、Q235AG、Q235AH、Q235AI、Q235AJ、Q235AK、Q235AL、Q235AM、Q235AN、Q235AO、Q235AP、Q235AQ、Q235AR、Q235AS、Q235AT、Q235AU、Q235AV、Q235AW、Q235AX、Q235AY、Q235AZ、Q235BA、Q235BB、Q235BC、Q235BD、Q235BE、Q235BF、Q235BG、Q235BH、Q235BI、Q235BJ、Q235BK、Q235BL、Q235BM、Q235BN、Q235BO、Q235BP、Q235BQ、Q235BR、Q235BS、Q235BT、Q235BU、Q235BV、Q235BW、Q235BX、Q235BY、Q235BZ、Q235CA、Q235CB、Q235CC、Q235CD、Q235CE、Q235CF、Q235CG、Q235CH、Q235CI、Q235CJ、Q235CK、Q235CL、Q235CM、Q235CN、Q235CO、Q235CP、Q235CQ、Q235CR、Q235CS、Q235CT、Q235CU、Q235CV、Q235CW、Q235CX、Q235CY、Q235CZ、Q235DA、Q235DB、Q235DC、Q235DD、Q235DE、Q235DF、Q235DG、Q235DH、Q235DI、Q235DJ、Q235DK、Q235DL、Q235DM、Q235DN、Q235DO、Q235DP、Q235DQ、Q235DR、Q235DS、Q235DT、Q235DU、Q235DV、Q235DW、Q235DX、Q235DY、Q235DZ、Q235EA、Q235EB、Q235EC、Q235ED、Q235EE、Q235EF、Q235EG、Q235EH、Q235EI、Q235EJ、Q235EK、Q235EL、Q235EM、Q235EN、Q235EO、Q235EP、Q235EQ、Q235ER、Q235ES、Q235ET、Q235EU、Q235EV、Q235EW、Q235EX、Q235EY、Q235EZ、Q235FA、Q235FB、Q235FC、Q235FD、Q235FE、Q235FF、Q235FG、Q235FH、Q235FI、Q235FJ、Q235FK、Q235FL、Q235FM、Q235FN、Q235FO、Q235FP、Q235FQ、Q235FR、Q235FS、Q235FT、Q235FU、Q235FV、Q235FW、Q235FX、Q235FY、Q235FZ、Q235GA、Q235GB、Q235GC、Q235GD、Q235GE、Q235GF、Q235GG、Q235GH、Q235GI、Q235GJ、Q235GK、Q235GL、Q235GM、Q235GN、Q235GO、Q235GP、Q235GQ、Q235GR、Q235GS、Q235GT、Q235GU、Q235GV、Q235GW、Q235GX、Q235GY、Q235GZ、Q235HA、Q235HB、Q235HC、Q235HD、Q235HE、Q235HF、Q235HG、Q235HH、Q235HI、Q235HJ、Q235HK、Q235HL、Q235HM、Q235HN、Q235HO、Q235HP、Q235HQ、Q235HR、Q235HS、Q235HT、Q235HU、Q235HV、Q235HW、Q235HX、Q235HY、Q235HZ、Q235IA、Q235IB、Q235IC、Q235ID、Q235IE、Q235IF、Q235IG、Q235IH、Q235II、Q235IJ、Q235IK、Q235IL、Q235IM、Q235IN、Q235IO、Q235IP、Q235IQ、Q235IR、Q235IS、Q235IT、Q235IU、Q235IV、Q235IW、Q235IX、Q235IY、Q235IZ、Q235JA、Q235JB、Q235JC、Q235JD、Q235JE、Q235JF、Q235JG、Q235JH、Q235JI、Q235JJ、Q235JK、Q235JL、Q235JM、Q235JN、Q235JO、Q235JP、Q235JQ、Q235JR、Q235JS、Q235JT、Q235JU、Q235JV、Q235JW、Q235JX、Q235JY、Q235JZ、Q235KA、Q235KB、Q235KC、Q235KD、Q235KE、Q235KF、Q235KG、Q235KH、Q235KI、Q235KJ、Q235KK、Q235KL、Q235KM、Q235KN、Q235KO、Q235KP、Q235KQ、Q235KR、Q235KS、Q235KT、Q235KU、Q235KV、Q235KW、Q235KX、Q235KY、Q235KZ、Q235LA、Q235LB、Q235LC、Q235LD、Q235LE、Q235LF、Q235LG、Q235LH、Q235LI、Q235LJ、Q235LK、Q235LL、Q235LM、Q235LN、Q235LO、Q235LP、Q235LQ、Q235LR、Q235LS、Q235LT、Q235LU、Q235LV、Q235LW、Q235LX、Q235LY、Q235LZ、Q235MA、Q235MB、Q235MC、Q235MD、Q235ME、Q235MF、Q235MG、Q235MH、Q235MI、Q235MJ、Q235MK、Q235ML、Q235MM、Q235MN、Q235MO、Q235MP、Q235MQ、Q235MR、Q235MS、Q235MT、Q235MU、Q235MV、Q235MW、Q235MX、Q235MY、Q235MZ、Q235NA、Q235NB、Q235NC、Q235ND、Q235NE、Q235NF、Q235NG、Q235NH、Q235NI、Q235NJ、Q235NK、Q235NL、Q235NM、Q235NN、Q235NO、Q235NP、Q235NQ、Q235NR、Q235NS、Q235NT、Q235NU、Q235NV、Q235NW、Q235NX、Q235NY、Q235NZ、Q235OA、Q235OB、Q235OC、Q235OD、Q235OE、Q235OF、Q235OG、Q235OH、Q235OI、Q235OJ、Q235OK、Q235OL、Q235OM、Q235ON、Q235OO、Q235OP、Q235OQ、Q235OR、Q235OS、Q235OT、Q235OU、Q235OV、Q235OW、Q235OX、Q235OY、Q235OZ、Q235PA、Q235PB、Q235PC、Q235PD、Q235PE、Q235PF、Q235PG、Q235PH、Q235PI、Q235PJ、Q235PK、Q235PL、Q235PM、Q235PN、Q235PO、Q235PP、Q235PQ、Q235PR、Q235PS、Q235PT、Q235PU、Q235PV、Q235PW、Q235PX、Q235PY、Q235PZ、Q235QA、Q235QB、Q235QC、Q235QD、Q235QE、Q235QF、Q235QG、Q235QH、Q235QI、Q235QJ、Q235QK、Q235QL、Q235QM、Q235QN、Q235QO、Q235QP、Q235QQ、Q235QR、Q235QS、Q235QT、Q235QU、Q235QV、Q235QW、Q235QX、Q235QY、Q235QZ、Q235RA、Q235RB、Q235RC、Q235RD、Q235RE、Q235RF、Q235RG、Q235RH、Q235RI、Q235RJ、Q235RK、Q235RL、Q235RM、Q235RN、Q235RO、Q235RP、Q235RQ、Q235RR、Q235RS、Q235RT、Q235RU、Q235RV、Q235RW、Q235RX、Q235RY、Q235RZ、Q235SA、Q235SB、Q235SC、Q235SD、Q235SE、Q235SF、Q235SG、Q235SH、Q235SI、Q235SJ、Q235SK、Q235SL、Q235SM、Q235SN、Q235SO、Q235SP、Q235SQ、Q235SR、Q235SS、Q235ST、Q235SU、Q235SV、Q235SW、Q235SX、Q235SY、Q235SZ、Q235TA、Q235TB、Q235TC、Q235TD、Q235TE、Q235TF、Q235TG、Q235TH、Q235TI、Q235TJ、Q235TK、Q235TL、Q235TM、Q235TN、Q235TO、Q235TP、Q235TQ、Q235TR、Q235TS、Q235TT、Q235TU、Q235TV、Q235TW、Q235TX、Q235TY、Q235TZ、Q235UA、Q235UB、Q235UC、Q235UD、Q235UE、Q235UF、Q235UG、Q235UH、Q235UI、Q235UJ、Q235UK、Q235UL、Q235UM、Q235UN、Q235UO、Q235UP、Q235UQ、Q235UR、Q235US、Q235UT、Q235UU、Q235UV、Q235UW、Q235UX、Q235UY、Q235UZ、Q235VA、Q235VB、Q235VC、Q235VD、Q235VE、Q235VF、Q235VG、Q235VH、Q235VI、Q235VJ、Q235VK、Q235VL、Q235VM、Q235VN、Q235VO、Q235VP、Q235VQ、Q235VR、Q235VS、Q235VT、Q235VU、Q235VV、Q235VW、Q235VX、Q235VY、Q235VZ、Q235WA、Q235WB、Q235WC、Q235WD、Q235WE、Q235WF、Q235WG、Q235WH、Q235WI、Q235WJ、Q235WK、Q235WL、Q235WM、Q235WN、Q235WO、Q235WP、Q235WQ、Q235WR、Q235WS、Q235WT、Q235WU、Q235WV、Q235WW、Q235WX、Q235WY、Q235WZ、Q235XA、Q235XB、Q235XC、Q235XD、Q235XE、Q235XF、Q235XG、Q235XH、Q235XI、Q235XJ、Q235XK、Q235XL、Q235XM、Q235XN、Q235XO、Q235XP、Q235XQ、Q235XR、Q235XS、Q235XT、Q235XU、Q235XV、Q235XW、Q235XX、Q235XY、Q235XZ、Q235YA、Q235YB、Q235YC、Q235YD、Q235YE、Q235YF、Q235YG、Q235YH、Q235YI、Q235YJ、Q235YK、Q235YL、Q235YM、Q235YN、Q235YO、Q235YP、Q235YQ、Q235YR、Q235YS、Q235YT、Q235YU、Q235YV、Q235YW、Q235YX、Q235YY、Q235YZ、Q235ZA、Q235ZB、Q235ZC、Q235ZD、Q235ZE、Q235ZF、Q235ZG、Q235ZH、Q235ZI、Q235ZJ、Q235ZK、Q235ZL、Q235ZM、Q235ZN、Q235ZO、Q235ZP、Q235ZQ、Q235ZR、Q235ZS、Q235ZT、Q235ZU、Q235ZV、Q235ZW、Q235ZX、Q235ZY、Q235ZZ





铸铁是含碳量 $\geq 2.11\%$ 的铁基合金。铸铁的含碳量高,材料的塑性差,不仅室温下无法进行压力加工,即使加热到高温也无法进行压力加工,只能采用铸造方法进行毛坯成形。铸造就是将金属原料加热熔化,继而将经过熔炼的液态金属浇注入铸造模型(铸型)的空腔(型腔)中,待液态金属凝固后得到所需毛坯(铸件)的工艺。

铸造的成形成本低,可以生产出压力加工或切削加工难以生产的形状复杂的工件或特大的工件。汽车和其他机械设备中很多箱体零件和形状复杂的零件就是采用铸造成形的。一辆汽车的总重量中,铸件重量可达 $50\%$ ,发动机中铸件重量则可达 $60\%$ 。铸件也有缺点,首先铸件的力学性能比压力加工件低;其次铸造生产的工序很多,而且金属有一阶段处于高温液体状态,容易产生缺陷,生产中成品率低,部分存在于铸件内部的缺陷比较难于发现,使用可靠性比较差。

铸铁的种类也很多,常按组织中的石墨形态区分,常用的有灰铸铁(灰口铸铁)、可锻铸铁、球墨铸铁和蠕墨铸铁几种。下面对目前汽车中应用最多的灰铸铁和球墨铸铁进行讨论。

### 第一节 灰 铸 铁

熔炼好的铁水不经特殊处理,直接浇注得到的铸铁一般都是灰铸铁。灰铸铁中的碳大部或全部以片状石墨形态存在,断面呈灰白色。石墨的强度和韧性几乎为零,相当于在钢基体上开了无数非常细小的孔洞。所以灰铸铁的强度不高,塑性很差,冲击韧性也很差。

#### 一、灰铸铁的特点

第一,强度不高,塑性很差,冲击韧性接近零,但是抗压强度却比较高;灰铸铁虽然硬度不高,但是耐磨性却很好。

第二,由于灰铸铁内存在很多片状石墨,相当于存在许多显微孔洞,可以吸收振动,所以灰铸铁具有较好的减振性,这种特性很符合机械设备基础零件的要求。

第三,一般金属零件上的缺口会明显降低疲劳强度,而灰铸铁对缺口却不敏感。这对需要安装多个附加总成的基础零件(以箱体零件居多)是很重要的。

第四,灰铸铁铸造成形性好,很适合形状复杂的零件毛坯成形。同时灰铸铁的切削加工性也很好。对于形状复杂的零件,灰铸铁具有良好的加工工艺性。

第五,铸造成形成本低,铸件的切削加工量少,以铸件为毛坯加工的零件,生产成本较低。

第六,铸件可靠性比较低,但是目前大量生产和大批生产中使用 $\gamma$ 射线探伤等检验



手段逐渐增多,因而可靠性低的缺点是可以克服的。

## 二、灰铸铁的牌号

灰铸铁的牌号由两部分组成。第一部分是“大写字母” $\sigma_{\text{B}}$ ;第二部分是一个三位数,表示该灰铸铁的抗拉强度不低于这个兆帕数。

例如, $\sigma_{\text{B}}200$ 这是一种灰铸铁,它的抗拉强度 $\sigma_{\text{B}}=200\text{MPa}$ 。

应该指出,灰铸铁的强度和铸造性能有关,强度越低,铸造性能通常却越好。例如, $\sigma_{\text{B}}100$ 的强度比 $\sigma_{\text{B}}200$ 高,但是铸造性能却比较差。

另外,为了适合一些零件的特殊要求,还有一些合金铸铁。如耐热铸铁、耐蚀铸铁和耐磨铸铁等。汽车里用得比较多的是耐磨铸铁。常用耐磨铸铁有铬钼铜耐磨铸铁和高磷耐磨铸铁。前者常用于气缸盖、气缸体等零件;后者常用于气缸套、活塞环等零件。

## 三、灰铸铁的热处理

灰铸铁可以认为是钢基体上分布很多细小片状石墨,石墨在热处理时不会发生变化,因而灰铸铁热处理的原理与钢的热处理原理基本相同。由于淬火时会引起很大的内应力,在淬火应力作用下片状石墨尖端要不断扩展。所以灰铸铁淬火后,组织变得十分疏松,因而灰铸铁是不能进行整体淬火的。灰铸铁的热处理主要有去应力退火、软化退火和表面淬火。

### 灰铸铁的去应力退火

铸件在冷却过程中,由于各部位收缩和组织转变有差异,会引起很大的内应力。这种铸造应力的存在,不仅会引起铸件的变形、甚至开裂,而且在随后的切削加工和使用过程中,零件会继续发生变形。因此铸件在切削加工之前,必须进行去应力退火,重要铸件在粗加工以后,还要进行一次去应力退火,以消除切削加工所产生的内应力。

灰铸铁去应力退火是将铸件加热到临界温度以下( $\sigma_{\text{B}}=700\text{MPa}$ ),保温 $2\sim 4\text{h}$ 后,缓慢冷却(炉冷)到 $500\text{MPa}$ 以下后出炉。经过去应力退火后,可以消除铸件 $80\%$ 以上的内应力。

由于加热炉尺寸关系,很多大型铸件无法进行去应力退火,可以将铸件在露天放置 $1\sim 3$ 个月,以消除内应力。这种方法称为自然时效。

### 灰铸铁的软化退火

铸件在铸造冷却时,如果局部冷却速度较快,会产生一种叫白口的缺陷。有白口缺陷的部位断面呈银白色,硬度很高,无法进行切削加工。白口缺陷可以用软化退火(或者称高温退火)消除。

软化退火方法是将铸件加热到 $800\sim 850\text{MPa}$ ,保温 $2\sim 4\text{h}$ 后缓慢冷却,冷却到 $500\text{MPa}$ 时出炉。经过软化退火灰铸铁的硬度明显下降,切削加工性得到大幅改善。

铸件的软化退火成本较高,同时使灰铸铁的强度有所下降,所以应尽量避免使用。铸造生产过程中,应该严格控制铁水的成分和铸件的冷却速度,以防止产生白口缺陷的产生。



表 獭 灰铸铁铸件力学性能

| 牌 号 | 铸 件 壁 厚, 皂 |   | 最小抗拉强度 $\sigma_{\text{B}}$<br>皂皂皂 (皂皂皂) |
|-----|------------|---|---|
|     | 大于         | 至 |   |
| 匀獭园 | 园缘         | 园 | 园缘(园獭)                                  |
|     | 园          | 园 | 园缘(园獭)                                  |
|     | 园          | 獭 | 怨园(怨园)                                  |
|     | 獭          | 缘 | 园(园)                                    |
| 匀獭园 | 园缘         | 园 | 园缘(园獭)                                  |
|     | 园          | 园 | 园缘(园獭)                                  |
|     | 园          | 獭 | 园(园獭)                                   |
|     | 獭          | 缘 | 园(园)                                    |
| 匀獭园 | 园缘         | 园 | 园(园獭)                                   |
|     | 园          | 园 | 园缘(园獭)                                  |
|     | 园          | 獭 | 园(园獭)                                   |
|     | 獭          | 缘 | 园(园獭)                                   |
| 匀獭园 | 园          | 园 | 园(园獭)                                   |
|     | 园          | 獭 | 园(园獭)                                   |
|     | 园          | 缘 | 园(园獭)                                   |
|     | 獭          | 园 | 园(园獭)                                   |
| 匀獭园 | 园          | 园 | 园(园獭)                                   |
|     | 园          | 獭 | 园(园獭)                                   |
|     | 园          | 缘 | 园(园獭)                                   |
| 匀獭园 | 园          | 园 | 獭(獭)                                    |
|     | 园          | 獭 | 园(园獭)                                   |
|     | 园          | 缘 | 园(园獭)                                   |

注: 当一定牌号的铁水浇注壁厚均匀而形状简单的铸件时, 壁厚变化所造成抗拉强度的变化, 可从本表查出参考。

### 獭灰铸铁的表面淬火

机床导轨和内燃机气缸套内壁等零件, 有时需要铸件表面有高硬度和高耐磨性, 此时灰铸铁件也可以进行表面淬火。为了防止淬火层组织疏松, 灰铸铁表面淬火深度必须很薄, 一般在 园皂- 园皂皂, 因而感应加热淬火就不太合适。目前, 最常用的是激光加热表面淬火和电接触加热表面淬火( 使用低电压、大电流和很小接触面积加热)。加热温度一般为 怨园- 怨园皂; 由于加热区域很小, 可以利用铸件本身散热达到快速冷却。表面淬火后, 硬度可达 匀园皂- 园皂, 大大提高了铸件表面的耐磨性。



## 第二节 球墨铸铁

熔炼好的铁水,浇注前先加入球化剂进行球化处理,少待片刻再浇注,得到的就是球墨铸铁。常用的球化剂有镁或稀土-镁合金。

经球化处理的球墨铸铁中的碳元素大部或全部以球状石墨形态存在。与片状石墨相比,球状石墨造成的应力集中较小,且在同样石墨体积下,球状石墨的表面积最小。这是导致球墨铸铁和灰铸铁性能不同的原因。

### 一、球墨铸铁的性能特点

球墨铸铁的强度比灰铸铁高,特别是疲劳强度接近中碳碳素钢调质的水平,耐磨性也很好;球墨铸铁还有一定塑性、韧性,不过仍然不能压力加工成形;球墨铸铁的减振性、缺口敏感性、铸造性比灰铸铁差,但仍然比钢好;切削加工性好;生产成本略高于灰铸铁,远低于压力加工件。在一定条件下球墨铸铁是钢锻件的优良替代材料。

由于铸件的可靠性较差,成品率较低,生产批量大的重要零件采用球墨铸铁作为材料时,必须解决好铸件内部缺陷的检验。

目前,有部分汽车的汽车驱动桥壳、转向桥工字梁、发动机曲轴是用球墨铸铁制造的。

### 二、球墨铸铁的牌号

球墨铸铁的牌号由三部分组成。第一部分是“QT”表示球墨铸铁;第二部分是三个数字,表示球墨铸铁不低于这个数字的兆帕数;第三部分是一个数字,表示球墨铸铁的伸长率不低于这个百分率。第二、第三部分之间用“L”分开。

例如,QT600-3表示球墨铸铁;它的抗拉强度 $\sigma_{\text{抗}} \geq 600 \text{ MPa}$ ,伸长率 $\delta \geq 3\%$ 。

### 三、球墨铸铁的热处理

#### 球墨铸铁的退火

球墨铸铁退火的目的是得到较好韧性,当然退火后球墨铸铁的强度、硬度有所下降。根据原球墨铸铁件的组织和性能不同,有高温退火和低温退火两种。

(1) 高温退火。它适用于原铸件有局部白口缺陷,铸件硬度较高的场合。加热温度为 $720^{\circ}\text{C} \sim 780^{\circ}\text{C}$ ,保温足够时间后,随炉冷却到 $200^{\circ}\text{C}$ 以下出炉。

(2) 低温退火。它适用于原铸件无白口缺陷的场合。加热温度为 $520^{\circ}\text{C} \sim 580^{\circ}\text{C}$ ,保温足够时间后随炉冷却到 $200^{\circ}\text{C}$ 以下出炉。

#### 球墨铸铁的正火

经过正火后可以得到称为珠光体基体组织,是强度较高的球墨铸铁,如QT600-3球墨铸铁正火加热温度为 $820^{\circ}\text{C} \sim 880^{\circ}\text{C}$ ,保温一段时间后,在空气中冷却。

如果将正火温度降低一些,如 $720^{\circ}\text{C} \sim 780^{\circ}\text{C}$ 正火,可以得到强度略低,但塑性较好的



球墨铸铁。如  $\text{HT}100$  或者  $\text{HT}150$

### 球墨铸铁的调质处理

对截面较大,综合力学性能要求高的铸件,常采用调质处理。淬火温度  $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ,淬火冷却介质一般为油。回火温度为  $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。

### 球墨铸铁的等温淬火

对强度要求很高,形状复杂的球墨铸铁铸件,可以采用等温淬火。

等温淬火的方法是将铸件加热到  $850\sim 900^{\circ}\text{C}$ ,保温后迅速移入  $300\sim 400^{\circ}\text{C}$  的盐浴炉中,再保温足够长时间,使球墨铸铁基体转化成称为下贝氏体的组织。经过等温淬火的球墨铸铁强度很高,可以超过  $\text{HT}100$  的冲击韧度  $10\sim 15\text{J}/\text{cm}^2$ ,伸长率仍可保持  $10\sim 15\%$ 。

表 10-1 球墨铸铁附铸试样力学性能

| 牌 号            | 铸件壁厚<br>代号 | 抗拉强度 $\sigma_{\text{B}}$<br>( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) | 屈服强度 $\sigma_{\text{S}}$<br>( $\text{N}/\text{mm}^2$ ) | 伸长率<br>$\delta, \%$ | 供 参 考       |              |
|----------------|------------|--|--|---------------------|-------------|--------------|
|                |            | 最 小 值  |  |                     | 布氏硬度<br>BHN | 主要金相<br>组织   |
| $\text{HT}100$ | 100        | 100  | 60   | 15                  | 100         | 铁素体          |
|                | 150        | 100  | 60   | 15                  |             |              |
| $\text{HT}150$ | 100        | 150  | 90   | 15                  | 100         | 铁素体          |
|                | 150        | 150  | 90   | 15                  |             |              |
| $\text{HT}200$ | 100        | 200  | 120  | 10                  | 100         | 铁素体 垣<br>珠光体 |
|                | 150        | 200  | 120  | 10                  |             |              |
| $\text{HT}250$ | 100        | 250  | 150  | 8                   | 100         | 珠光体 垣<br>铁素体 |
|                | 150        | 250  | 150  | 8                   |             |              |
| $\text{HT}300$ | 100        | 300  | 200  | 6                   | 100         | 珠光体          |
|                | 150        | 300  | 200  | 6                   |             |              |

注:牌号后面的字母 粤系表示该牌号在附铸试块上测定的力学性能,以区别表 10-1 的单铸试块测定的性能。

表 10-2 球墨铸铁附铸试样冲击韧度

| 牌 号            | 铸件壁厚<br>代号 | 最小冲击值 $K_{\text{IC}}$ ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ) |     |                            |     |
|----------------|------------|--|-----|----------------------------|-----|
|                |            | 室温 ( $20^{\circ}\text{C}$ )                      |     | 低温 ( $0^{\circ}\text{C}$ ) |     |
|                |            | 三个试样平均值  | 个别值 | 三个试样平均值                    | 个别值 |
| $\text{HT}100$ | 100        | 10   | 10  |                            |     |
|                | 150        | 10   | 10  |                            |     |
| $\text{HT}150$ | 100        |  |     | 10                         | 10  |
|                | 150        |  |     | 10                         | 10  |



## 复习思考题

1. 灰铸铁的力学性能有何特点？为什么它在各种机械设备中得到广泛应用？

2. 为什么灰铸铁不能整体淬火，而球墨铸铁可以通过调质、等温淬火等热处理工艺提高其力学性能？

3. 用球墨铸铁铸件代替钢锻件有何意义？



## 第四章 有色金属

铁基(如钢和铸铁)及锰基合金称为黑色金属;其他金属材料则称为有色金属。有色金属在汽车和其他大部分机械设备中使用量并不多,但是往往应用在对材料性能有特殊要求的地方,对设备的总体性能有很大影响。有人形象地说,钢铁材料是工业的骨骼,有色金属材料则是工业的维生素。

常用的有色金属有铜和铜合金、铝和铝合金、铅、锡、锌和它们的合金、钛和钛合金,以及滑动轴承合金等好多类。我们只讨论铜和铜合金、铝和铝合金、滑动轴承合金三类。

### 第一节 铜和铜合金

#### 一、工业纯铜

工业纯铜俗称紫铜。它具有很好的导电、导热性能,耐大气腐蚀,强度和硬度较低,而塑性非常好,可以拉拔成 $\phi$ 0.05mm的极细铜丝。但是工业纯铜的价格较高,密度较大。

工业纯铜有四个牌号: T1、T2、T3和T4。其中T1的纯度最高,T4的纯度最低。T1和T2主要用于导电材料,T3和T4则主要用于导热材料或需要利用它良好塑性的零件。工业纯铜中溶解有微量氧,用于焊接结构时容易发生焊接裂纹;用于电真空器件时,会降低器件内真空度。所以还有一类高度脱气的无氧铜,它们的牌号是TU1、TU2、TU3和TU4。

汽车上利用铜的导电性制造电线、电缆、电器接插件和电极夹头等零件,利用铜的导热性制造散热器等。此外,工业纯铜还用作内外装饰、汽油油管、垫片、垫块,甚至密封材料。

#### 二、黄铜

主加锌的铜合金称为黄铜。普通黄铜中,除了锌不加入其他合金元素,加入其他合金元素的黄铜称为特殊黄铜。

普通黄铜中的含锌量在40%以下时,抗拉强度和塑性随着含锌量提高而同步提高,含锌量在40%~60%时黄铜的塑性达到最大值;继续提高黄铜的含锌量,抗拉强度继续提高,而塑性开始下降,含锌量达到60%左右时,强度达到最大值;再继续提高含锌量,抗拉强度和塑性同时下降,作为机械零件材料已经没有应用价值。

压力加工用普通黄铜的代号由两部分组成,前面是大写字母“H”,后面跟一个数字,表示该黄铜的含铜量百分率,含锌量百分率可以用100减去含铜量百分率得到。

例如,H62该牌号表示普通黄铜,含铜量62%左右,或者含锌量38%左右。

铸造用黄铜的牌号则有所不同。前面用大写字母Z表示是铸造合金,后面跟一个



铜的元素符号  $\text{Cu}$  表示基础金属为铜 ;其后是合金元素锌的元素符号  $\text{Zn}$  并跟一个数字表示其的平均含量的百分率。如果除锌以外还加有其他合金元素 ,则按照上面合金元素标志方法一一标出。

例如 ,在  $\text{CuZn40}$  中 ,第一个  $\text{Cu}$  表示为铸造合金 ;后面的  $\text{Cu}$  表示基础金属是铜 ; $\text{Zn}$  表示锌是该铸造铜合金的主加元素 , $40$  表示锌的平均含量为  $40\%$  ;再后面的  $40$  说明 ,该铸造黄铜还加有合金元素铅 ,平均含量为  $4\%$ 。

普通黄铜的力学性能比工业纯铜好 ,而耐蚀性及导电、导热性仍然接近纯铜。所以 ,它广泛用于要求具有较好导电、导热性 ,耐大气腐蚀的机械零件、冷凝器或者电子、电气设备的连接件。

常用的普通黄铜可以分为三类 :

① 金色黄铜 :含锌量在  $40\%$  以下。具有漂亮的金黄色泽 ,常用于装饰件 ,如  $\text{CuZn40}$

② 三七黄铜 :含锌量约为  $37\%$ 。具有最好的塑性和一定的强度 ,常用于冷冲压件。由于枪弹、炮弹的弹壳常用它制造 ,所以又称弹壳黄铜 ,如  $\text{CuZn37}$

③ 六四黄铜 :含锌量约为  $64\%$ 。是强度最高的普通黄铜。常用于导电、耐蚀机械零件。考虑到其有良好的耐磨性 ,有的汽车中一些低速滑动轴承采用黄铜制成 ,如  $\text{CuZn64}$  和特殊黄铜  $\text{CuZn40Pb}$  (含锌量为  $40\%$  ,含  $4\%$  左右的铅 ,切削加工性特别好 ,又称快削黄铜)。

### 三、青铜

前面已经说过 ,主加锌的铜合金叫做黄铜 ;而主加镍的铜合金叫做白铜 ,白铜具有某些特殊的电学性能 ,广泛用于电子和电工产品中 ,同时有的白铜具有漂亮的银白色 ,耐大气腐蚀性能也很好 ,常常用于仿银装饰件上 ;主加除锌和镍以外合金元素的铜合金则统称为青铜。所以青铜是一个大家族 ,有锡青铜、铝青铜、硅青铜、铍青铜和钛青铜等。汽车和一般机械设备中最常用的是锡青铜和铝青铜。

#### 锡青铜

顾名思义锡青铜就是主加锡的铜合金。锡青铜是一种有几千年历史的古老金属材料。锡青铜在人类历史中有着非常重要的地位。中国有一本传世的战国时代工艺著作《考工记》,中间有一段论述了锡青铜成分和性能、应用之间的关系 :“金有六齐 ,六分其金而锡居一 ,谓之钟鼎之齐 ;五分其金而锡居一 ,谓之斧斤之齐 ;四分其金而锡居一 ,谓之戈戟之齐 ;三分其金而锡居一 ,谓之大刃之齐 ;五分其金而锡居二 ,谓之削杀矢之齐 ;金、锡半 ,谓之鉴燧之齐。”可见  $2000$  多年前 ,中国的工匠已经掌握了锡青铜中含锡量越大 ,材料的强度、硬度越高 ,但是韧性越差的基本规律。

锡青铜中的锡含量对性能影响很大。当含锡量小于  $20\%$  时 ,含锡量越大 ,锡青铜的强度越高 ,塑性、韧性变化不大 ,与纯铜差不多 ,适于冷、热压力加工 ;含锡量在  $20\% \sim 40\%$  之间 ,含锡量越大 ,锡青铜的强度继续提高 ,但是塑性和韧性急剧下降 ,此范围内的锡青铜不能进行冷压力加工 ,但是可以进行热压力加工 ;当含锡量大于  $40\%$  时 ,锡青铜的强度迅速下降 ,无实际应用价值。所以压力加工的锡青铜的含锡量在  $20\% \sim 40\%$  范围内 ,铸造锡青铜的含锡量不超过  $15\%$ 。





锡青铜具有良好的减摩性和耐磨性,汽车中常用作低速滑动轴承,也用作导电或耐大气腐蚀的弹性元件。锡青铜的铸造成形性很好,可以铸出精细的铸件结构,但是锡青铜铸件的致密性差,铸件的气密性和液密性差,不宜作为密封器件材料。

压力加工用锡青铜的牌号以大写字母 Z 开头,后面跟一个锡的元素符号 Sn,元素符号后面的数字表示锡含量的平均百分率。一般工业用的锡青铜都加有锡以外的其他合金元素,这些元素的种类在牌号中不予标出,需查找有关资料,而这些元素的含量以“原”引出一个数字,表示其平均含量的百分率。

例如,在 ZSn10Pb1 中表示该材料为压力加工锡青铜,锡的平均含量为 10%,另外加有 1% 的另一合金元素,查找有关资料得知这种合金元素是磷。锡磷青铜 ZSn10Pb1 具有良好导电性,并且具有较高强度和耐磨性,耐蚀性也很好。汽车中常用于导电弹性元件,如各种电器设备的接触元件。它也可以作为低速滑动轴承材料。

铸造锡青铜的牌号与铸造黄铜的牌号编写规则相同,只是将锌的元素符号换成锡的元素符号。

例如:在 ZCuZn30Sn5 开头的 ZCu 表示该合金是铸造锡青铜,Sn 后面的 5 表示锡的平均含量约 5%,后面标出的其他合金元素表示锌的平均含量为 30%,铅的平均含量约为 3%。在 ZCuZn30Sn5 是一种优良的滑动轴承材料。

### 圆铝青铜

锡青铜作为滑动轴承材料具有相当好的性能,曾经在汽车中得到广泛使用。但是锡是一种价格很高的原料,国际市场上的价格接近贵重的镍。而且锡作为一种战略物资在某些情况下供应也会遇到困难。所以各国的汽车行业都希望找到锡青铜的替代材料。目前来看,铝青铜是一种比较好的选择,在很多品种汽车里得到应用。

铝青铜的耐磨性比锡青铜好,可以压力加工成形,减摩性尚好。但是铝青铜的膨胀系数略大,使用不当,容易和配对轴咬死,使用中应该加以注意。目前,使用最多的是 ZAlSi7Mg 和 ZAlMg10Si1。

应该指出,绝大多数铜合金都不能热处理强化。

## 第二节 铝和铝合金

### 一、工业纯铝

工业纯铝的密度小,导电、导热性能好,光洁的工业纯铝表面有良好的光、热反射能力,耐大气腐蚀,但是不耐酸、碱和盐的腐蚀,工业纯铝强度低,塑性很好,经过冷压力加工后强度有所提高,塑性则有所下降。

工业纯铝的牌号由大写字母 L 打头,后面跟一个数字,为工业纯铝的序号。工业纯铝共有 L1~L6 六个牌号。牌号中的序号越小则纯度越高,其导电、导热性能和耐大气腐蚀性能也越好。所以 L1~L3 一般用作导电、导热材料,或者用于配制合金。后面几个牌号的工业纯铝可以用于不受力的结构零件,电线、电缆的保护套管,垫片和装饰件。



## 二、铝合金热处理特点

工业纯铝和部分铝合金不能通过热处理来提高其强度,只能通过冷压力加工使其强度有所提高。但是还有部分铝合金可以通过热处理明显提高其强度。

我们已经知道钢一经淬火,其硬度和强度立即大幅提高。而铝合金不同,淬火后硬度和强度只比退火前状态略有提高,塑性仍然很好。但淬火后的铝合金放置半小时以后,硬度和强度开始逐步上升,一直到四五天后,其硬度和强度达到最大值。铝合金的这种热处理强化工艺称之为自然时效处理。

自然时效处理所需时间较长,可以通过加热加快时效的速度,称之为人工时效处理。人工时效处理的加热温度越高,所需时效时间越短,但是一般人工时效处理的效果比自然时效处理差一些。

有的铝合金既可以自然时效处理,也可以人工时效处理,如后面提到的硬铝和部分锻铝,而有的铝合金则只能人工时效处理,如超硬铝和部分锻铝。

## 三、形变铝合金

可以通过压力加工成型的铝合金称为形变铝合金。形变铝合金有防锈铝、硬铝、超硬铝和锻铝等几类。

### 防锈铝( 铝锰)

防锈铝中含有少量锰或镁。防锈铝的耐大气腐蚀性能比工业纯铝好,强度比工业纯铝高,但是同纯铝一样不能通过热处理来提高其强度。防锈铝有的性能虽不如纯铝,但仍处于较高水平,诸如塑性相当好。防锈铝具有良好的导电、导热性能,也有良好的光和热的反射能力。

牌号为 铝锰的防锈铝属于铝锰系防锈铝,是汽车发动机的冷却水箱散热片常用材料,也可以用于不受力的大客车外蒙皮。各种防锈铝都比较适宜于制造承受低载荷的深拉伸零件、焊接件和在腐蚀介质中工作的油箱、管道等零件。

### 硬铝和超硬铝( 铝铜和 铝铜)

硬铝和超硬铝中主要加有铜、镁、锰元素,还加有锌、铬等其他元素。硬铝和超硬铝都可以热处理强化,热处理后硬度和强度相当高,而超硬铝又高于硬铝。用超硬铝和硬铝制造的结构,重量可以比同强度的钢结构轻。因此除了飞机上大量使用硬铝和超硬铝作结构材料外,高级轿车和赛车上也有应用。硬铝和超硬铝的耐蚀性较差,为了提高其耐蚀性,可以在材料的表面覆盖一层纯铝。硬铝和超硬铝塑性差,焊接性也差,在一般汽车上使用很少。

### 锻铝( 铝铜)

锻铝是含有镁、硅元素的铝合金,还可以含有少量的铜、镍等元素。锻铝的性能与硬铝类似,也可以热处理强化。塑性较好,尤其是加热后塑性更好,锻铝可以通过锻造工艺热压力加工工艺成形,也可以冲压成形。有些发动机结构零件用锻铝制成。



## 四、铸造铝合金(在铝)

塑性差,不能进行压力加工,而适宜用铸造工艺成形的铝合金称为铸造铝合金。铸造铝合金主要加入的合金元素有硅、铜、镁和锌等。汽车上使用的铝合金中,铸造铝合金占有较大比例。它们被某些型号汽车用作发动机缸体、气缸盖和一些箱体的材料。汽车发动机活塞几乎全是用铸造铝合金制成。最常使用的铸造铝合金是主加硅的铝—硅系铸造铝合金,俗称“硅铝明”。

硅铝明的铸造性能很好,耐蚀性良好,同时具有其他铝合金共有的优良性能。

在铸造时在铸态具有最好的铸造性能,但是强度较低,不能热处理强化。在铸造时通常用于受力较小的箱体零件和其他形状复杂的零件。

在铸造时在铸态和在铸造时退火态在铸态可以热处理强化,而且耐热性较好,是汽车发动机活塞的常用材料。

## 第三节 滑动轴承合金

汽车发动机的主轴承通常使用滑动轴承。由于主轴承的相对滑动速度很高,法向载荷较大,而且工作时变化很大,所以工作条件相当差。主轴承用的材料应该具有一些良好的特殊性能。滑动轴承合金主要有锡基轴承合金和铝基高锡轴承合金,另外还有铅基轴承合金和铜基轴承合金。它们都是有色金属材料。

44

### 一、对滑动轴承材料的性能要求

具有良好的减摩性

(员)在有润滑油存在的条件下,滑动轴承与配对轴的摩擦因数应该很小。

(圆)如果滑动轴承与配对轴发生短时间的局部干摩擦,虽然局部温度很高和压力很大,也不会发生咬合。也就是滑动轴承合金应该具有良好的抗咬合性能。

(獭)新装配的轴和滑动轴承,虽然加工精度可以很高,也可以通过修配使两者的配合良好,但是实际上还是不能达到最佳状态,希望在发动机走合期内迅速磨合,达到最佳配合状态。即滑动轴承合金最好具有良好的磨合性。

具有良好的力学性能

(员)不言而喻,滑动轴承合金应该具有良好的耐磨性。

(圆)发动机主轴承的载荷较重,而且在不断变化。所以,滑动轴承合金应该具有较高的疲劳强度。

具有良好的导热性和耐蚀性

工作时滑动轴承局部温度可能较高,为了防止温度过高,滑动轴承合金应该具有良好的导热性;发动机润滑油工作一段时间后会生成少量有机酸,滑动轴承合金应该具有较好的耐蚀性。

具有其他良好性能

和其他材料一样,滑动轴承合金应该具有较低的价格和良好的加工性能。



## 二、锡基滑动轴承合金(锡基巴氏合金)

锡基巴氏合金是传统的汽车发动机滑动轴承合金。锡基巴氏合金具有优异的减摩性,力学性能也较好,导热性、耐蚀性良好,铸造性和机械加工性能良好。它完全适用于中等载荷的汽车发动机高速滑动轴承的性能要求。可是锡基巴氏合金含有大量的锡,价格很高。现在已经应用较少了。

在铸造用近旧国标牌号在铸造用原或称为圆号锡基巴氏合金)就是比较常用的锡基巴氏合金。

## 三、高锡铝基轴承合金

我国使用的高锡铝基轴承合金含锡量约为 10%,另外还加有 5%左右的铜。国外还有含锡量 15%和 20%的高锡铝基轴承合金。

高锡铝基轴承合金具有很高的疲劳强度和耐磨性;与钢配对的摩擦因数较小;导热性和耐蚀性良好;由于材料密度小、锡的加入量也较小,所以价格明显低于锡基巴氏合金;压力加工性良好,可以用带材卷制成形,加工成本低,而且容易实现自动化生产。缺点是磨合性较差,与钢配对时抗咬合性不及锡基巴氏合金。

为了克服高锡铝基轴承合金的缺点,轴承材料一般加工成三层结构形式或四层结构形式供应。

三层结构的轴承合金以低碳钢板为底板,上覆一层纯铝,以改善钢与轴承合金压力加工时的结合强度,最上面是厚度为 0.1mm 左右的轴承合金。三层结构的轴承装配时需人工刮削配对。

四层结构的轴承合金的轴承合金层厚度只有 0.05mm 左右,外面再覆盖一层厚度仅 0.05mm 左右的纯锡。由于纯锡的硬度很低,在外力作用下很容易受挤压流动,大大改善了轴承合金的走合期磨合性;同时纯锡的抗咬合性极佳,明显改善了发动机走合期轴承的抗咬合性。因纯锡层很薄,装配时不容许刮削配对。

由于高锡铝基轴承合金的性能良好,经济性优异,目前已经代替锡基巴氏合金成为汽车发动机主轴承的主流材料。

## 复习思考题

1. 汽车低速滑动轴承常用什么材料制成?这些材料性能有何特点?

2. 发动机活塞材料为什么常用硅铝明?从活塞的工作特点和材料性能两方面加以讨论。

3. 为什么高锡铝基轴承合金成为目前汽车发动机主轴承和连杆轴承的主流材料?高锡铝基轴承合金在使用中应该注意哪些事项?



# 第二篇

# 金属热加工基础知识

## 第五章 铸 造

将熔化的液体金属浇注到与零件的形状、尺寸相适应的铸型空腔中,待冷却后获得零件或毛坯制品的工艺流程,称为铸造。

铸造的基本方法是砂型铸造。此外,还有特种铸造,如冷硬铸造、金属型铸造、压力铸造、离心铸造、熔模铸造、壳型铸造和陶瓷型铸造。

铸造的特点是:可制成外形和内腔十分复杂的毛坯,如汽车发动机气缸体、离合器壳体、变速箱壳体等,适用范围较广,一般金属材料都可用来铸造;原材料来源广泛,还可直接利用报废的机件和切屑;工艺设备费用小,成本较低;铸件的形状与零件尺寸较接近,可减少金属切削加工余量。

近年来,由于铸造合金、铸造工艺技术的发展,铸件的表面质量和机械性能都有所提高,铸件在汽车制造业中应用仍极其广泛。但是,目前铸造生产还存在一些问题,如铸件容易出现浇不足、缩孔、夹渣、气孔和裂纹等缺陷,严重地影响了铸件的质量,使其性能不如锻件。由于铸造生产过程比较复杂,影响铸件质量的因素较多,废品率一般较高。因此,对于承受动载荷的重要零件一般不采用铸件作为毛坯。

46

### 第一节 砂 型

#### 一、制造模型和型芯盒

制造铸件时,外部轮廓与零件相似的模样称为模型。用木材制成的模型称为木模,用金属制成的模型称为金属模。铸件内部的孔穴由型芯形成,造型芯的模型称为芯盒。

##### 木模

木模制造过程包括:绘制模型图;准备木材坯料;木材坯料的加工及模型装配;木模标记和涂漆。

为使拔模方便,在模型和芯盒的垂直侧面做出圆锥形的斜度,称为拔模斜度。

为使铸件各部分冷却均匀,减少内应力,避免结晶方向不良,在模型过渡处或锐角处做成圆角,称为铸造圆角。

##### 金属模

金属模使用寿命长,尺寸精确,表面光滑,但制造成本较高。

在大批量铸件生产中,广泛应用金属模来造型。

#### 二、造型材料

制造砂型的造型材料包括型砂、芯砂和涂料等。造型材料质量的优劣,对铸件质量



具有决定性的影响。因此,应合理地选用和配制造型材料。

### 1. 铸型的性能

铸型在浇注凝固过程中,要承受液体金属的冲刷、静压力和高温的作用,要排除大量气体,而且还要受到铸件凝固时的收缩压力等,因而对型砂和芯砂的性能提出如下要求:

(1) 具有塑性。为了在铸型中得到清晰的模型印迹,以获得合格的铸件,型砂应具有塑性。砂子本身几乎是没有塑性的,但黏土却有良好的塑性,因此型砂中黏土的含量越多,塑性越高;一般型砂含水 6% 时,塑性较好。

(2) 具有足够强度。砂型承受外力作用而不易破坏的性能称为强度。铸型必须具有足够的强度,以便在修整、搬运及浇注时,不致变形或毁坏。型砂强度不足,会造成塌箱、冲砂和砂眼等缺陷。

(3) 具有耐火性。型砂在高温液体金属注入时,不软化、不易熔融烧结以致粘附在铸件表面上的性能称为耐火性。型砂耐火性不足会造成粘砂,使切削加工困难,粘砂严重而难以清理的铸件,可能成为废品。

(4) 具有透气性。型砂由于内部砂粒之间存在空隙能够通过气体的能力称为透气性。当高温液体金属注入铸型后,会产生气体,砂型和型芯中也会产生大量气体。透气性差,使部分气体留在铸件内部不能排出,会形成气孔等缺陷。

(5) 具有退让性。铸件冷却收缩时,砂型和型芯的体积可被压缩的性能称为退让性。退让性差,会阻碍金属收缩,使铸件产生内应力,甚至造成裂纹等缺陷。为了提高退让性,可在型砂中加入附加物,如草灰和木屑等,使砂粒间的空隙增加。

### 2. 铸型砂的组成

型砂由原砂、黏结剂、附加材料、旧砂和水混合搅拌而成。原砂的主要成分是二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )、杂质的含量愈高,耐火性愈好,黏结剂一般为黏土和膨润土两种,有时也用水玻璃、植物油或合脂等,黏结剂的作用是使型砂具有一定的强度和可塑性,附加材料常用廉价的煤粉和锯木屑,附加材料的作用是防止铸件表面出现黏砂,以及改善型砂的退让性;旧砂是指已用过的型砂,经过适当处理后仍可掺在型砂中使用,以便节约新砂的用量。

### 3. 铸型砂的种类

型砂按照不同用途可以分为面砂、填充砂、单一砂和型芯砂等四种。

(1) 面砂。它是铸型表面直接和液体接触的一层型砂,要有较高的耐火性、可塑性和强度。面砂厚度一般为 10~15mm。

(2) 填充砂。它是指用来填充砂箱中除面砂以外的其余部分的砂。填充砂,除透气性外,对其他性能要求不高。

(3) 单一砂。它是指在机械化车间里,为了简化面砂和填充砂的处理和运输,使其两者合一而成的砂。

(4) 型芯砂。它是指型芯在铸造过程中被液体金属所包围的砂。它应具有更高的强度、耐火性、透气性和退让性。

### 4. 辅助材料

常用的辅助材料为造型涂料和分型砂。造型涂料的作用是防止铸件表面粘砂,因



而应具有较高的耐火性。铁铸件的涂料是石墨粉,钢铸件的涂料为石英粉。分型砂是干燥、颗粒均匀较细的原砂。它的作用是造型过程中,防止砂箱与底板之间、砂箱与砂箱之间的型砂层粘附,损坏铸型。

### 三、砂型和型芯的制造

砂型和型芯的制造可分手工造型和机器造型两种,一般单件或小批量生产都用手造型。

#### 手工造型和工具

砂箱常用铝合金或灰铸铁制成,砂箱一般有上砂箱(又称盖箱)下砂箱(又称底箱)。砂箱上有防止型砂下落的砂筋(或称箱挡)把手和定位销。

手工造型常用工具有捣砂锤、埤刀、砂钩、拔模针、铁铲、砂筛和润湿腔型用的毛笔等。如图 3-1 所示。

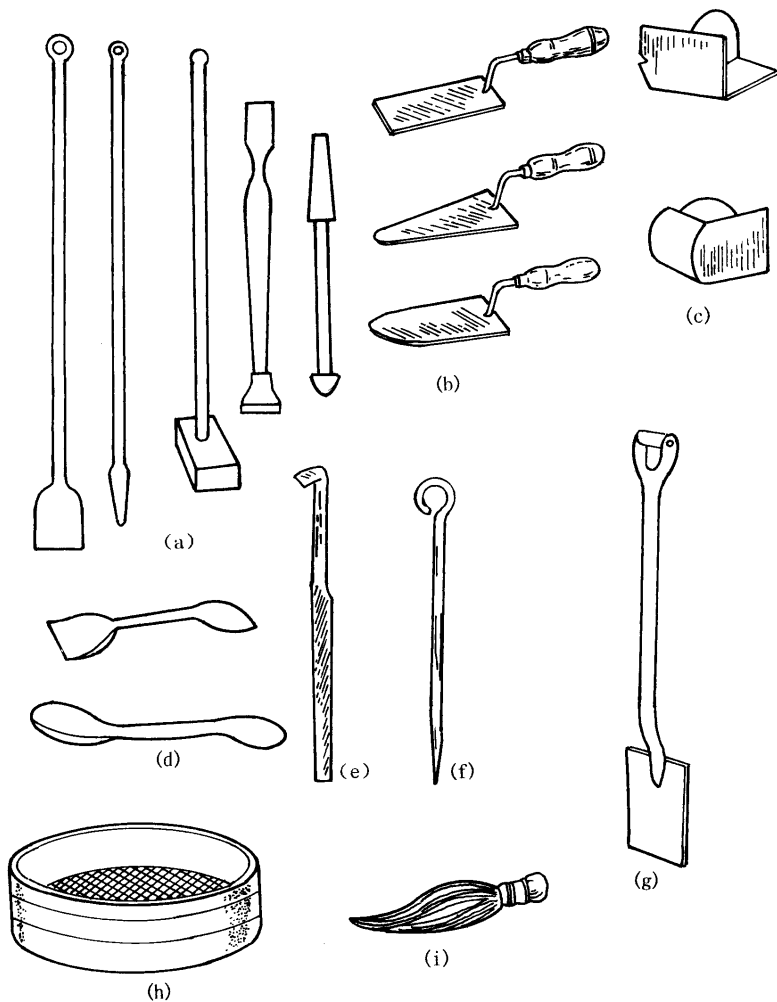


图 3-1 手工造型用工具

(a) 捣砂锤;(b) 埤刀;(c) 修整特殊表面的成型埤刀;(d) 钩(钩)挖割修型用的砂钩;  
(e) 钩拔模针;(f) 钩铁铲;(g) 筛砂筛;(h) 润湿腔型用的毛笔



## 圆接手工造型

手工造型操作灵活,大小铸件均可适应。它可通过分离模、活块、挖砂、三箱和劈箱等方法制出外廓复杂、难以起模的铸件。手工造型对模具的要求不高,一般采用成本较低的实体木模,对于尺寸较大的回转体或等截面铸件还可采用成本很低的刮板来造型。手工造型对砂箱的要求也不高,如不需严格的配套和机械加工,较大的铸件还可以用地坑来取代下箱,这样可减少砂箱的费用,并缩短生产的准备时间。因此,尽管手工造型生产率低,对工人技术水平要求较高,而且铸件的尺寸精度和表面质量较差,但在实际生产中仍是难以完全取代的重要工艺方法。手工造型主要用于单件、小批生产,有时也可用于较大批量的生产。

## 猿接型芯的制造

用型芯盒制造型芯,形状复杂的型芯可分块制成,然后粘合。大多数型芯需要烘干,并在型芯内放入有加强作用的骨架(即芯骨)。

## 四、浇注系统

### 猿接定义

液体金属流进铸型腔的一系列通道,称为浇注系统。

### 圆接作用

- (员) 能均匀连续而平稳地将液体金属引入并充满型腔,防止液体金属冲坏砂型。
- (圆) 防止熔渣进入型腔。
- (猿) 调节铸件凝固顺序,补给铸件冷却凝固收缩时所需的金属。

浇注系统如设置得不合理,会造成铸件冲砂、砂眼、渣眼、浇不足、气孔和缩孔等缺陷。

### 猿接组成

(员) 外浇口。它的容积较大,液体金属在这里有短暂的停留,可减弱对砂型的直接冲击,同时使熔渣上浮分离,阻止熔渣进入铸腔。

(圆) 直浇口。它引导液体金属流入型腔,并产生一定的静压力。直浇口的高度影响液体金属的流速和压力,因而对较难充填的薄壁铸件,应该用较高的直浇口。小铸件只有一个直浇口,大铸件可用几个直浇口。

(猿) 横浇口。这是具有梯形截面的水平通道,作用是阻挡熔渣流入型腔,并分配液体金属流入内浇口。

(源) 内浇口。它与型腔直接相连,截面为矩形、扁梯形或三角形,位于下箱的分型面上。内浇口的尺寸和数目要根据金属的种类、铸件的重量、壁厚及外形而决定。

一般情况下,直浇口截面应大于横浇口,横浇口的截面要大于内浇口,以保证液体金属充满浇道,并使熔渣浮集在横浇口上部,起挡渣作用。

(缘) 冒口与出气孔。它们的作用是排出型腔内的气体。冒口还可以在金属凝固时把液体金属补给铸件。冒口一般设在铸件的最高处或最厚处。





## 五、机器造型

一般的机器仅完成造型中的两项重要操作,即紧砂和起模。只有在较完善的造型机和自动线上,才能使整个造型过程,包括填砂、搬运和翻转砂箱等自动进行。

机器造型可改善劳动强度,提高铸件精度和表面质量,但因其设备、模板、专用砂箱的投资较大,只适用于大批量生产。如果铸件质量较大,形状过于复杂,或单件小批量生产,仍需靠手工造型。

## 第二节 浇注、落砂和清理

### 一、浇注

金属熔化后,用盛铁桶(俗称浇包或铁水包)把液体金属注入铸型内,称为浇注。

浇注前,应把盛铁桶中液体金属表面上飘浮的熔渣去除。在浇注过程中,不允许断流注入和出现飞溅。

### 二、落砂和清理

铸件浇注后,必须在铸型中经过充分的凝固和冷却,不能过早取出,否则会因冷却速度过快、冷却不均匀而产生内应力,甚至变形开裂。从砂型中取出铸件称为落砂。落砂过程还包括清除铸件表面和孔穴中的浮砂和型芯砂等。

清理主要是去除铸件的浇口、冒口,以及黏砂和粗糙部分。灰口铸铁件上的浇口和冒口可用铁锤打掉,钢铸件用气割除去,有色金属铸件的浇口和冒口可用锯锯去。粘附在表面的砂粒可用压缩空气吹掉,如果黏砂不能清除,就需用砂轮来打磨。

## 第三节 铸件常见缺陷和防止方法

铸件缺陷的种类较多,常见的有以下四种类型。

### 一、孔眼类缺陷

#### 气孔

它的特征是在铸件内部或表面有大小不等的光滑孔眼。产生的原因是铸型透气性差,型砂含水过多,或金属中溶解气体太多。

防止方法是应注意型砂含水量和透气性,浇注温度不宜过高。

#### 缩孔和缩松

它是由于铸件在凝固过程中,液态收缩和凝固收缩时得不到液体金属的补充而造成的。

防止方法是浇注系统和冒口设置应有利于液体金属的补缩,浇注温度不要过高。

#### 渣孔、砂眼和铁豆

金属液体中的熔渣进入型腔便会造成渣孔,砂型被破坏,型砂卷入液体金属便会造



成砂眼,铁豆则是金属液体飞溅所造成的。

防止措施是提高砂型和型芯的紧实度,以加强型砂和芯砂的强度,起摸和合箱时,防止砂粒落入型腔;正确设置浇注系统,浇注速度不要太快。

## 二、裂纹类缺陷

### 圆裂热裂

热裂是在高温下形成的,裂口形状曲折而不规则,表面呈氧化色。其原因主要是金属收缩大,含硫量过高,铸件厚薄相差太大,或型砂、型芯退让性差。

### 圆裂冷裂

冷裂是在较低温度下形成的,裂口较直,没有分叉,呈轻微氧化色。产生原因一般是含磷过高,在清理运输中由内应力造成。

为了防止裂纹产生,应把铸件壁厚作适当的过渡,加强型砂和芯砂的退让性,设置合理的浇注系统,控制硫、磷含量、浇注温度和浇注速度。

## 三、表面缺陷

### 圆黏砂

黏砂使铸件表面粗糙,难以清理,不易加工。黏砂多由型砂耐火性不足和浇注温度过高引起,砂粒黏度太大也可能造成黏砂。

防止方法是适当降低型砂的黏度,提高型砂和芯砂的耐火性,降低浇注温度。

### 圆夹砂

夹砂又称起皮或结疤。它是指在铸件表面有一层金属片状物,在金属片与铸件之间夹有一层型砂。它是由铸型表面砂层受热发生开裂翘起,铁水渗入开裂的砂层所造成的。

防止夹砂可适当控制浇注温度,加快浇注速度,适当降低型砂湿度,并减少混砂时的黏土量。

### 圆冷隔

它是指铸件上未完全融合的接缝,交接处多呈圆形的疤痕。产生原因是液体金属浇注时温度太低,两股金属汇合时,表面层受氧化而不能融熔成一体。

防止措施是应注意浇注时的流动性,浇注不可中断,适当提高浇注温度和设置合适的浇注系统。

## 四、其他缺陷

其他如形状和尺寸不合格,大多因抬箱、错箱和偏芯等造成,成分、组织和性能不合格,常是因炉料配料不当,或熔化操作不当,或热处理不合工艺规程所引起的。

总之,发生缺陷要经过详细分析。有些表面缺陷,可通过修补矫正后使用,一些内部的缺陷则必须研究产生的原因,以便采取相应的措施。



## 第四节 特种铸造

常用的特种铸造方法有熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造和陶瓷型铸造等。每种特种铸造方法在提高铸件精度和表面质量、改善合金性能、提高劳动生产率、改善劳动条件和降低铸造成本等各方面,各有其特点。

### 一、熔模铸造

熔模铸造是用易熔材料制成模型,然后在模型上涂挂耐火耐料,经硬化后,再将模型熔化、排出型外,从而获得无分型面的铸件。由于熔模广泛采用蜡质材料制造,故又常称“失蜡铸造”。

熔模铸造具有很好的铸件精度和表面质量,能适应各种合金的铸造,适用于成批、大量生产。主要缺点是材料昂贵、工艺繁杂、生产周期长和铸件成本高。

熔模铸造最适用于高熔点合金精密铸件的成批、大量生产。主要适用于形状复杂、难以切削加工的小零件,如汽轮机叶片、发动机的叶片和叶轮等。

### 二、金属型铸造

金属型铸造是将液态合金浇入金属铸型,以获得铸件的一种铸造方法。由于金属铸型可反复多次使用,故又称永久型铸造。

金属型铸造具有铸件尺寸精确、表面光洁、机械加工余量小、结晶颗粒细和机械性能较高等特点。其主要缺点是:金属铸型成本高,生产周期长,铸造工艺要求高。

金属型铸造主要适用于有色合金铸件的大批量生产,如铝活塞、气缸盖和油泵壳体等。

### 三、压力铸造

压力铸造是在高压下快速地将液态或半液态合金压入金属铸型中,并在压力下结晶,以获得铸件的方法。故又简称压铸。

压力铸造,产品质量好,生产率高,适用于大批量生产,它是实现少切削和无切削加工的有效途径之一。其主要缺点是:压铸设备投资大,制造压型费用高、周期长,只有在大量生产中才有良好的经济效益。如铝合金的汽车轮辋。

### 四、低压铸造

低压铸造是介于重力铸造(如砂型铸造和金属型铸造)和压力铸造之间的一种铸造方法。它是使液态合金在较低压力下,自下而上地充填型腔,并在压力下结晶,以形成铸件的工艺过程。

低压铸造具有铸件组织致密、机械性能较高、形成轮廓清晰和表面光洁的特点,其设备较压铸简单,便于实现机械化和自动化生产。

低压铸造主要用来生产质量要求高的铝、镁合金铸件,如气缸体、缸盖、曲轴箱和活



塞等。

## 五、离心铸造

离心铸造是将液态合金浇入高速旋转的铸型中,使金属在离心力作用下充填铸型并结晶,以获得铸件的方法。

离心铸造铸件结晶细密,力学性能较好,缩孔、气孔和夹渣等缺陷少,这种方法便于流动性差的合金及薄件的生产。其缺点是:内表面质量差,设备投资较多,不适宜单件和小批量生产。

离心铸造适用于制造空心旋转体铸件,如各种管道、发动机缸套等。

## 六、陶瓷型铸造

用由陶瓷质耐火材料作表层的铸型进行铸造的方法,称为陶瓷型铸造,这类陶瓷是由耐火材料、黏结剂和催化剂等配制的。其特点是铸件尺寸精确、表面光洁,可达到少切削或无切削的目的,可缩短生产周期、节约金属材料、降低成本。缺点是不适于批量大、重量轻或形状复杂铸件,而且生产过程难以实行机械化和自动化。

陶瓷型铸造适用于较重的厚壁大中型精密铸件或模具,如压铸模、锻模和冲压模等。

表 5-6 是几种铸造方法的优缺点和适用范围的综合比较。可以看出,尽管砂型铸造有诸多缺点,但其适应性最强,因此,在铸造方法的选择中应优先考虑,而各种特种铸造仅是在相应的条件下才能显示其优越性。其中离心铸造应用较为特殊,未列入表中(见表 5-6)。

表 5-6 几种铸造方法的比较

| 铸造方法<br>比较项目 | 砂型铸造        | 熔模铸造                | 金属型铸造       | 压力铸造                 | 低压铸造             | 陶瓷型铸造       |
|--------------|-------------|---------------------|-------------|----------------------|------------------|-------------|
| 适用金属         | 任意          | 不限制,以铸钢为主           | 不限制,以有色金属为主 | 铝、锌、镁等低熔点合金          | 以有色金属为主,也可用于黑色金属 | 不限制,以铸钢为主   |
| 适用铸件大小       | 任意          | 小于 100kg,以小铸件为主     | 以中、小铸件为主    | 一般为 10kg 以下,也可用于中型铸件 | 以中、小铸件为主         | 以大、中铸件为主    |
| 批量           | 不限制         | 一般用于成批、大量生产,也可用于小批量 | 大批、大量       | 大批、大量                | 成批、大量            | 单件、小批       |
| 铸件尺寸公差       | ±0.1%~±0.5% | ±0.1%~±0.5%         | ±0.1%~±0.5% | ±0.1%~±0.5%          | ±0.1%~±0.5%      | ±0.1%~±0.5% |
| 铸件表面粗糙度      | 粗糙          | Ra1.6~Ra3.2         | Ra0.8~Ra1.6 | Ra0.4~Ra0.8          | Ra0.4~Ra0.8      | Ra0.4~Ra0.8 |



| 铸造方法<br>比较项目 | 砂型铸造 | 熔模铸造     | 金属型铸造               | 压力铸造          | 低压铸造     | 陶瓷型铸造 |
|--------------|------|----------|---------------------|---------------|----------|-------|
| 铸件内部质量       | 结晶粗  | 结晶粗      | 结晶细                 | 表层结晶细, 内部多有气孔 | 结晶细      | 结晶粗   |
| 铸件加工余量       | 大    | 小或不加工    | 小                   | 小或不加工         | 较小       | 小或不加工 |
| 生产率(一般机械化程度) | 低、中  | 低、中      | 中、高                 | 最高            | 中        | 低     |
| 铸件最小壁厚/mm    | 1~3  | 通常 0.5~1 | 铝合金 0.5~1<br>铸铁 1~2 | 0.5~1         | 一般 0.5~1 | 1~2   |

## 复习思考题

1. 砂型铸造生产有哪些特点？

2. 陶瓷型砂的主要组成是什么？它有哪些性能？

3. 什么是浇注系统？它有何作用？

4. 砂型铸件有哪些缺陷？

5. 金属型铸造有哪些特点？



在外力作用下使金属坯料产生塑性变形,从而获得具有一定形状、尺寸和力学性能的毛坯或零件的加工方法,称为压力加工。

各种钢和大多数有色金属都具有不同程度的塑性,因此它们可在常温和加热的状态下进行压力加工,但脆性材料(如铸铁)则不能。

压力加工的主要方法有自由锻、模锻、板料冲压、轧制、拉制和挤压等。此外,还有各种少切削和无切削的加工方法。

压力加工的主要特点是:能改善金属内部组织,提高金属的力学性能;冷冲压、轧制和挤压等压力加工方法具有较高的生产率;精密锻造新方法可减少金属的加工损耗,其零件的尺寸精度和表面粗糙度已能达到成品零件的要求。

压力加工的缺点是:加工产品的形状比较简单,内腔复杂的零件加工较为困难。

### 第一节 金属的加热

#### 一、加热概述

##### 金属加热的特点

金属的加热可提高金属的塑性,降低其抗变形能力,改善金属的可锻性等压力加工性。

金属的加热原则是在保证坯料断面及长度上均匀热透的前提下,尽量缩短加热时间,以减少金属的氧化,降低其燃料消耗。

##### 金属加热的缺陷

(一) 氧化。这是金属加热的主要缺陷。钢锭或锻件每加热一次其氧化损耗约占被加热金属的 0% ~ 3%。同时,这些附在锻件表面的氧化皮很硬,在以后的加工过程中,使锻模、轧辊和刀具等加速磨损,从而缩短使用寿命。

(二) 脱碳。它是指钢料表面的碳元素被氧化,使表面层含碳量降低。通常,脱碳层不超过 0.5mm,由于自由锻锻件的加工余量大于脱碳层,因而危害性不大。

(三) 热应力。它是由加热时锻件内外温差所引起的。当金属内部的热应力超过材料本身强度极限时,就会使坯料产生裂纹或断裂。因此金属加热时,必须控制好加热速度,对大截面、形状复杂的锻件和导热性能较差的高合金钢更应加以注意。

#### 二、加热设备

压力加工的加热设备主要有烧煤的火焰反射炉、烧煤气及油类的室式加热炉、台车式加热炉和电阻加热炉等。



## 第二节 自由锻和模锻

锻造可分为自由锻和模锻两种。汽车上的曲轴、齿轮和转向节等重要零件一般都经过锻造这一工艺过程。

### 一、自由锻

自由锻是利用冲击力或静压力使金属坯料在上下两砧之间产生变形而获得锻件的方法。坯料变形时,在水平方向(即上下砧平面之间)作自由流动,因此称为自由锻。

#### 1. 自由锻分类

自由锻包括手工锻造和机器锻造两种。

(1) 手工锻造。它是利用人力锤击而使金属产生变形。手工锻造只能锻制小锻件,生产率很低。目前,只在小修理厂尚有应用,在制造厂只能作为机器锻造的辅助操作。

(2) 机器锻造。它是在锻造设备上利用冲击力或静压力而使金属坯料产生变形。常用的锻造设备有锻锤(如空气锤和蒸汽锤等)和水压机。

#### 2. 自由锻特点

自由锻生产率较低,锻件的形状和尺寸是由锻工的操作技术来保证的,锻件的精度不高,但自由锻工具简单,通用性强,因此广泛适用于小批生产。

#### 3. 自由锻基本工序

自由锻造的基本工序包括镦粗、延伸、冲孔、切割、弯曲、扭转和锻接等。最常用的工序是镦粗、延伸和冲孔三种。

(1) 镦粗。它是使坯料高度减低、截面积增大的工序。制造高度小、截面大的工件,如齿轮和圆盘,必须经过镦粗工序。

(2) 延伸。它是缩小毛坯截面积而增加长度的工序。制造长而截面小或空心的工件,如轴、曲轴、空心轴、套筒和圆环等,需经延伸工序。

(3) 冲孔。它是在坯料中冲出通孔或不通孔的工序。冲孔用于制造齿轮、套筒和圆环等空心工件。冲孔前,需将坯料镦粗成近似扁平状。

### 二、模锻

模锻是在高强度金属锻模上预先制出与锻件形状一致的模膛,使坯料在模膛内受压变形,得到和模膛形状相符的锻件。

模锻按使用的设备不同分为锤上模锻、胎模锻和压力机上模锻等。

模锻与自由锻相比较,其优点是生产率较高,模锻件尺寸精确、加工余量小,可锻出形状比较复杂的锻件,节省金属材料,减少切削加工工作量。但是,模锻生产受模锻设备吨位的限制,模锻件不能太大,锻模制造成本很高。所以模锻不适用于小批和单件生产,也不适合于大型锻件生产。



## 第三节 精密模锻

锻造出形状复杂、精度高的锻件的模锻工艺称为精密模锻。

精密模锻是一项高产、优质、低消耗的先进工艺。它的特点是：可大量生产高精度的锻件，锻件的模锻公差小，可完全不用切削加工，较低的表面粗糙度，锻件的结晶组织细密，力学性能比切削加工的零件好。适合制造伞齿轮、正齿轮、离合器和变速器等零件。

为了使精密模锻达到预期的效果，应注意精确计算原始坯料的质量，以确保锻件精良，精细清理坯料表面，除净坯料表面的氧化皮、脱碳层及其他缺陷，采用无氧化或少氧化加热法，尽量减少坯料表面的氧化皮，锻模模膛大多应采用电火花加工制造，确保锻模的精度，选用刚度大、精度高的曲柄压力机、摩擦压力机和高速锤等设备。

## 第四节 板料冲压

### 一、概述

板料冲压是利用冲模使金属板料产生分离或变形的加工方法。这种加工方法通常是在常温下进行的，所以又称为冷冲压。当板料厚度超过 1mm 时，才采用热冲压。

板料冲压广泛地应用在制造金属成品的工业中，特别是在汽车制造行业中，如轿车车身总成中，顶盖、发动机罩、前翼子板、保险杠安装板、车门等诸多零件都经过板料冲压这一重要工艺过程。

### 二、特点

板料冲压的优点是：可冲压出形状复杂的零件，废料较少，产品具有足够高的精度和较低的表面粗糙度，互换性能好，能冲出质量轻、材料消耗少、强度和刚度较高的零件，冲压操作简单，便于实现机械化和自动化，生产率高，故零件成本低。

但是，由于冲模制造复杂，只有在大批量生产条件下，该方法的优越性才显得突出。

板料冲压所用的原材料必须具有足够的塑性。常用的金属材料有低碳钢、铜合金、铝合金、镁合金及塑性高的合金钢等。

### 三、基本工序

板料冲压的基本工序分为分离工序和变形工序两大类。

#### 分离工序

分离工序是使坯料的一部分与另一部分互相分离的工序。如落料、冲孔、切断和修整等。

(1) 落料和冲孔。落料和冲孔统称冲裁。它们都是使坯料按封闭轮廓分离的工序。这两个工序中，坯料变形过程和模具结构都是一样的，只是用途不同。落料是被分离的部分为成品，而周边是废料；冲孔则相反，被分离的部分为废品，而周边是成品。





(圆) 切断。它是指用剪刀或冲模将板料沿不封闭轮廓进行分离的工序。所用设备分别是剪床和冲床。

(猴) 修整。它是利用修整模沿冲裁件外缘或内孔刮削一薄层金属,以切掉普通冲裁时在冲裁件断面上存留的剪裂带和毛刺,从而提高冲裁件的尺寸精度和降低表面粗糙度。有时,尚需经多次修整,但修整次数越少越好。

#### 圆 变形工序

变形工序是使坯料的一部分相对于另一部分产生位移而不破裂的工序。如拉深、弯曲、翻边和成形等。

(员) 拉深。它是利用模具使冲裁后得到的平板毛坯变形成为开口空心零件的工序。

(圆) 弯曲。它是坯料的一部分相对于另一部分弯曲成一定角度的工序。弯曲时,材料内侧受压缩,而外侧受拉伸。

(猴) 翻边。它是在带孔的平坯料上用扩孔的方法获得凸缘的工序。

(源) 成形。它是利用局部变形使坯料或半成品改变形状的工序。

### 四、冲模

冲模是冲压生产中必不可少的模具。冲模结构的合理性对冲压件质量、冲压生产效率和模具寿命等都有很大的影响。

冲模基本上可分为简单模、连续模和复合模三种。

#### 员 简单模

在冲床的一次冲程中,只完成一个工序的冲压模具称为简单模。

#### 圆 连续模

冲床的一次冲程中,在模具不同部位上同时完成数道冲压工序的模具,称为连续模。

#### 猿 复合模

冲床的一次冲程中,在模具同一部位上同时完成数道冲压工序的模具,称为复合模。

## 复习思考题

员 什么是自由锻和模锻?它们各有何特点?

圆 什么是板料冲压?它有何特点?



一种永久性连接金属材料的工艺方法称为焊接。其实质是用加热或加压力的手段,借助于金属原子的结合与扩散作用,使分离的金属材料牢固地连接起来。

焊接在汽车制造等现代化生产中具有十分重要的作用,在制造大的结构件或复杂的部件时,更显得优越。如汽车车身壳体是一个复杂的结构件,一辆轿车由数百个冲压件,经点焊、惰性气体保护焊和钎焊等工艺连接而成;又如轿车的座椅骨架,用焊接机器人将钢丝点焊而成。

焊接的特点是:能减轻结构重量,节约大量金属材料;生产率高,生产周期短,劳动强度较低;制造受压力容器可确保高的气密性;产品成本低;便于实现机械化和自动化。但焊接容易产生变形和裂纹等缺陷,接头的力学性能还不够高,对原材料和焊前清理要求高。

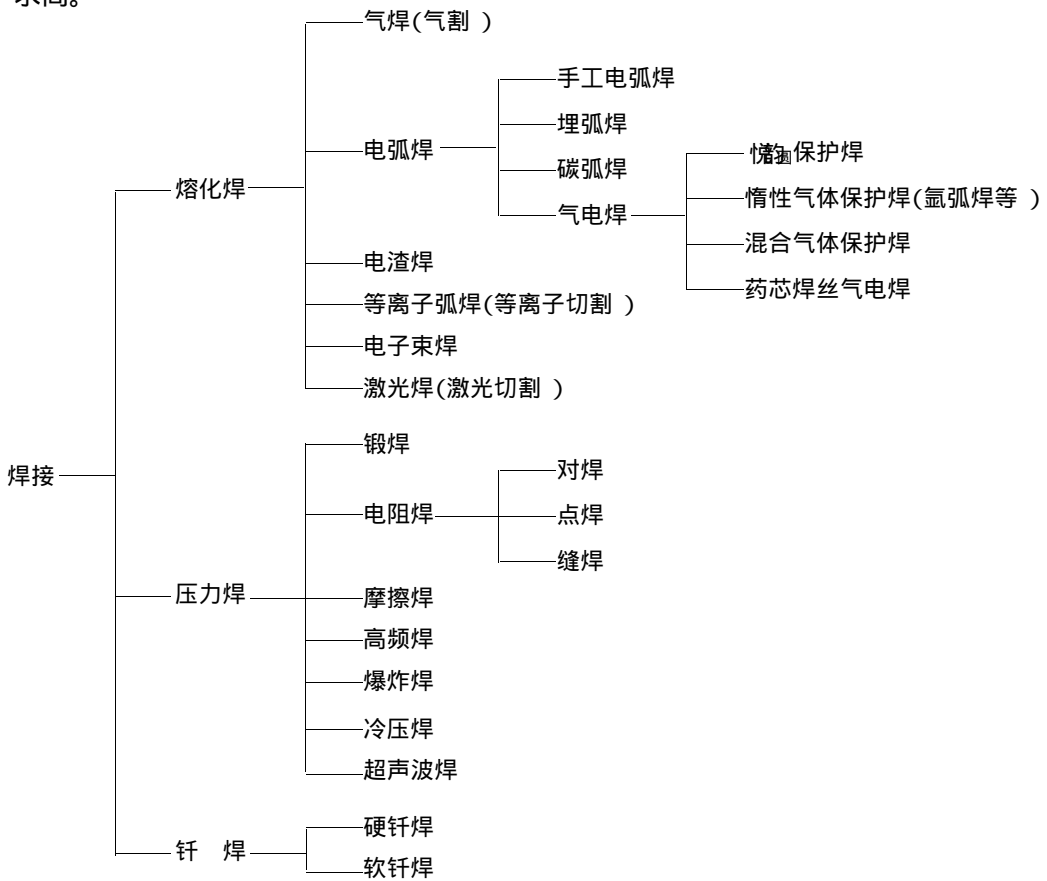


图 7-1 焊接方法分类



焊接方法的种类很多,按焊接过程的特点可分为熔化焊、压力焊和钎焊三大类。熔化焊是焊接过程中将焊件接头处加热至熔化状态而完成焊接的方法;压力焊是在被焊金属连接处施加一定的压力而形成焊接接头的方法;钎焊是被焊金属材料本身不熔化,而是利用熔点低于被连接材料的金属(钎料)熔化为填充金属,使被钎焊金属连接在一起的方法。

常用焊接方法的分类情况,如图 2-1 所示。

## 第一节 电 弧 焊

电弧焊是应用极为普遍的焊接方法。它是利用电极与焊件间所产生的电弧热量,来熔化金属进行焊接的。电极可以是金属丝、钨极、碳棒或焊条。常用的电弧焊可分为手工电弧焊、埋弧焊和气电焊三种。

### 一、手工电弧焊

手工电弧焊是利用焊条与工件间产生的电弧热,将工件和焊条熔化而进行焊接的。

手工电弧焊可在室内、室外、高空和各种方位施焊,设备简单,容易维护,焊钳小,使用灵活,适用于焊接各种碳钢、低合金钢、不锈钢和耐热钢,也可用于焊接高强度钢、铸钢、铸铁和有色金属。焊接接头可与工件(母材)的强度相等,是焊接生产中应用最广泛的一种。

#### 焊接电弧

焊接电弧是在电极与工件间的气体介质中长时间而有力的放电现象,即在局部气体介质中有大量电子流通过的导电现象。

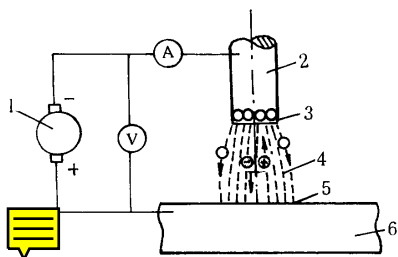


图 2-1 焊接电弧

1—电焊机;2—焊条;3—阴极区;  
4—弧柱;5—阳极区;6—工件

电弧引燃后(见图 2-1),弧柱中就充满了高温电离气体,放出大量的热能和强烈的光。电弧的热量与焊接电流和电压的乘积成正比,电流愈大,电弧产生的总热量就愈大。一般说,电弧热量在阳极区产生的较多,约占总热量的 30%;阴极区因放出大量电子时消耗一定能量,所以产生热量较少,约占 10%;其余的 60%左右是在弧柱中产生的。手工电弧焊只有 20%~30%的热量用于加热和熔化金属,其余则散失在电弧周围和飞溅的金属滴中。

电弧中阳极区和阴极区的温度因电极材料(主要是电极熔点)不同而有所不同。用钢焊条焊接钢材时,阳极区温度约 2500℃,阴极区温度约 2000℃,电弧中心区温度最高,可达到 3000℃~4000℃。

用直流电焊机焊接时,由于正极与负极上的热量不同,电极的接法有正接和反接两种。正接法是正极接焊件,负极接焊条(或其他电极),因此对工件加热较多;反接法是正极接焊条,负极接工件。一般高熔点、尺寸较大的焊件焊接时采用正接法,而对薄件、有色金属、不锈钢及铸铁等的焊接用反接法。

用交流电焊机焊接时,因极性周期性地变换,不存在正接和反接。

电焊机的空载电压就是焊接开始时的引弧电压,一般为  $60\sim 80\text{V}$ ,电弧燃烧时的电压降称为电弧电压,它与电弧长度(即焊条与工件间的距离)有关。电弧长度愈长,电弧电压也愈大,一般情况下的电弧电压在  $15\sim 30\text{V}$  范围内。

电弧除了产生大量的热能和放出强烈的弧光外,还放出大量的紫外线,易灼伤眼睛及皮肤。因此,在焊接时必须使用面罩、手套等劳动防护用品。

### 电弧焊接过程

手工电弧焊的焊接过程是:电弧在焊条与被焊工件之间燃烧,电弧热使工件(基本金属)和焊条同时熔化成为熔池,焊条的金属熔滴借重力和电弧气体吹力的作用过渡到熔池中。电弧热还使焊条的药皮熔化和燃烧。药皮熔化所形成的熔渣不断地从熔池中向上浮起,药皮燃烧所产生的  $\text{CO}_2$  等气流围绕于电弧周围,它们可防止空气中氧和氮的侵入,起保护熔化金属的作用。

当电弧向前移动时,工件与焊条金属不断熔化汇成新的熔池。原先的熔池则不断地冷却凝固,构成连续的焊缝。覆盖在焊缝表面的熔渣也逐渐凝固成为固态渣壳,这层熔渣和渣层对焊缝成型好坏和减缓焊缝金属的冷却速度有着重要的作用。焊接结束后,渣壳将被除去。

焊缝质量由诸多因素决定的,如工件基本金属和焊条的质量,焊前的清理工作,焊接时电弧的长短和稳定情况,焊接规范,焊接操作技术,焊后冷却速度,以及焊后热处理等。

### 电弧焊接设备

手工电弧焊的设备就是电焊机,它是为电弧提供电能的。电焊机有交流电焊机和直流电焊机两大类。

(一)交流电焊机。它是一种弧焊变压器,可将交流电网的交流电变成适用于电弧焊的低压交流电。由一次、二次线圈相隔离的主变压器,以及所需的调节和指示等装置所组成。其优点是结构简单、使用方便、易于维修、价格便宜、无磁偏吹与噪声小等。缺点是不能用于碱性低氢型焊条的焊接。常用型号有  $\text{BX}1-100$ 、 $\text{BX}1-150$ 、 $\text{BX}1-200$ 、 $\text{BX}1-300$ 、 $\text{BX}1-400$ 、 $\text{BX}1-500$ 。

(二)直流电焊机。它主要是指弧焊整流器,是把交流电经整流装置整流变为直流电的弧焊电源。它由变压器和整流器等组成。其优点是空载损耗小,能用于碱性低氢型焊条的焊接,缺点是过载能力小、使用和维修要求高等。目前弧焊整流器常用型号有在  $\text{ZX}7-100$  硅整流式弧焊机)、在  $\text{ZX}7-150$  晶闸管式弧焊整流器)和在  $\text{ZX}7-200$  变频式弧焊整流器)。

(三)电焊机型号。我国焊机型号按国家标准  $\text{GB}5185-1985$ 《电焊机型号编制方式》规定编制,采用汉语拼音字母和阿拉伯数字表示。焊机型号的编排次序及含义如图 7-1 所示。图 7-1 中,“□”为字母表示;“○”为阿拉伯数字表示。

例如:

$\text{ZX}7-100$  为具有陡降特性的直流弧焊发电机,额定电流为  $100\text{A}$ ,简称为直流焊机。



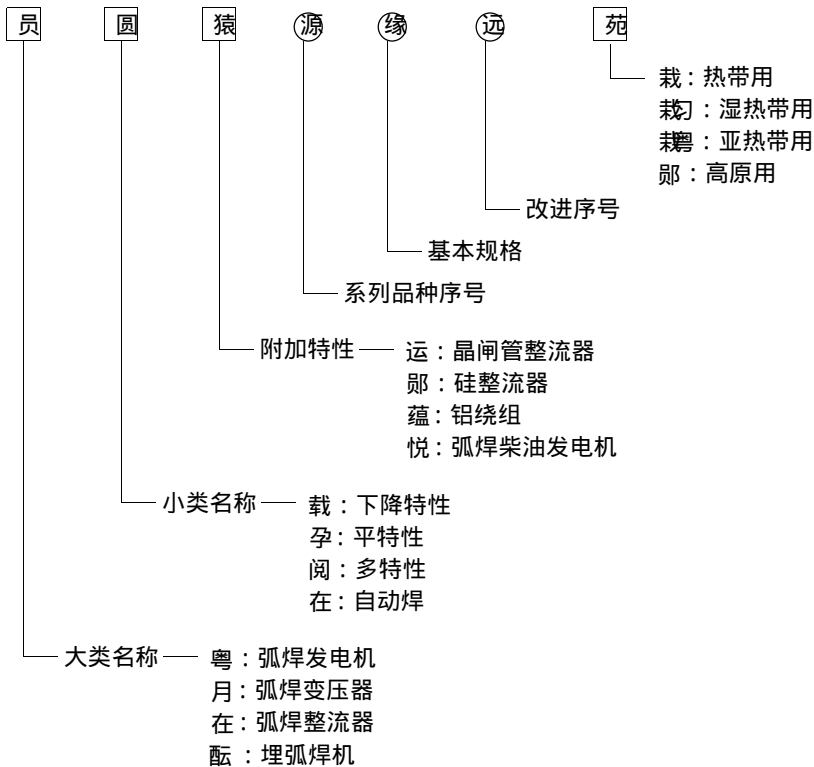


图 猿 猿 焊机型号编排

栽京猿为具有陡降外特性的交流电焊变压器,额定焊接电流为猿栽粤,简称为交流焊机。

栽缘源为具有陡降外特性的晶闸管式弧焊整流器,额定焊接电流为源缘粤

栽苑源为具有陡降外特性的变频式弧焊整流焊机,额定焊接电流为源苑粤

焊接用具有电焊钳、面罩、焊接电缆、焊条箱、尖头榔头和钢丝刷等。

### 源电焊条

涂有药皮的供手工电弧焊用的可熔化电极称为电焊条,简称焊条。可见,手工电弧焊焊条由焊芯和药皮两部分组成。

(员)焊芯。它被药皮包敷的金属丝。它的作用是作电极并产生电弧及熔化后成为填充金属,与熔化了了的母材混合形成焊缝。它是组成焊缝金属的主要材料。

焊芯的分类及牌号按国家标准 邸月苑一苑《焊接用钢丝》的规定。专门用于制造焊芯和焊丝的钢材,可分为碳素结构钢、合金结构钢和不锈钢三类。焊条钢牌号一律冠以汉语拼音字母 匀,其后紧跟钢号,钢号的表示方法与优质碳素结构钢、合金钢相同。

若钢号末尾注有“高”字(或用字母 粤表示),为高级优质焊条钢,其硫和磷含量较低,若钢号末尾注有“特”字(或用字母 耘表示),为特级焊条钢,其硫和磷含量更低。

举例如下:

匀源为低碳焊条钢,含碳量为 园源%,含硫、磷均小于 园源%。

匀源粤为高级低碳焊条钢,含碳量为 园源%,含硫、磷均小于 园源%。



匀药皮焊条为铬镍钛不锈钢焊条。

焊芯的直径即称为焊条直径，最小为 0.5mm，最大为 6mm，以直径为 3.2mm 焊条的应用最广。

焊接合金结构钢、不锈钢用的焊条，应采用相应的合金结构钢、不锈钢的焊接钢丝作焊芯。

(圆) 药皮。它是涂敷在焊芯表面的有效成分。它在焊接过程中的作用主要是提高电弧燃烧的稳定性，经造气和造渣可防止空气对熔化金属的有害作用，保证焊缝金属的脱氧和加入合金元素，以确保焊缝金属的化学成分与力学性能。

药皮的组成成分比较复杂，每种焊条的药皮配方一般由 7~10 种以上原料配成，它们分别作为稳弧剂、造气剂、造渣剂、脱氧剂、合金剂、稀渣剂和黏结剂。

(猿) 焊条的类型。焊条按其用途可分为碳钢焊条、低合金钢焊条、不锈钢焊条、堆焊焊条、铸铁焊条、铝及铝合金焊条与铜及铜合金焊条等。

根据国家标准《GB 5108—1995 碳钢焊条》的规定，碳钢焊条的型号按熔敷金属的抗拉强度、药皮类型、焊接位置和焊接电流种类等划分。型号编制方法如图 7-2 所示。

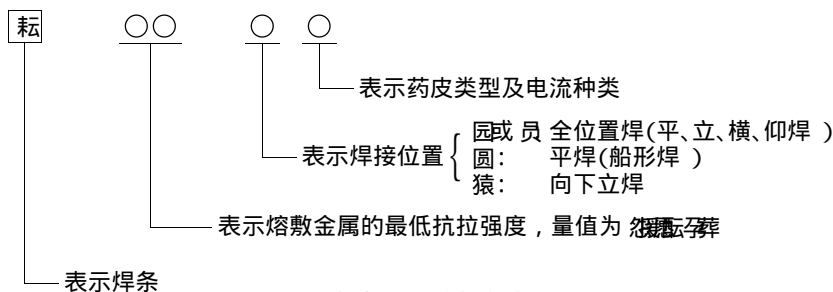
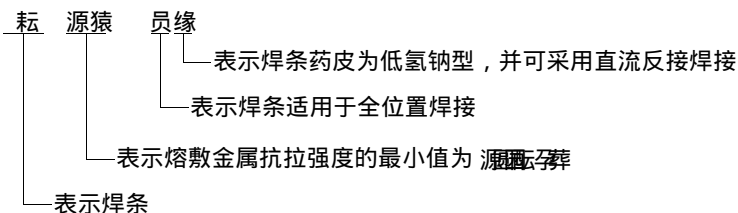


图 7-2 焊条型号编制方法

例如：



焊条选用是否恰当会直接影响焊件质量，因此必须根据焊件的化学成分和力学性能等因素作合理选择。

### 猿 手工电弧焊工艺

(员) 焊接接头的基本形式。焊接接头有对接接头、角接接头、搭接接头与 栽形接头四种基本形式，如图 7-3 所示。

员) 对接接头。它是两焊件端面相对平行的接头。由于对接接头的焊缝方向与载荷方向垂直，因而可承受较大的正应力。加之对接接头外形的变化与其他接头相比是不大的，应力集中相对较小，且易于降低和消除。因此，从力学角度看，该接头是比较理想的形式，不但静载可靠，而且抗疲劳强度也高。



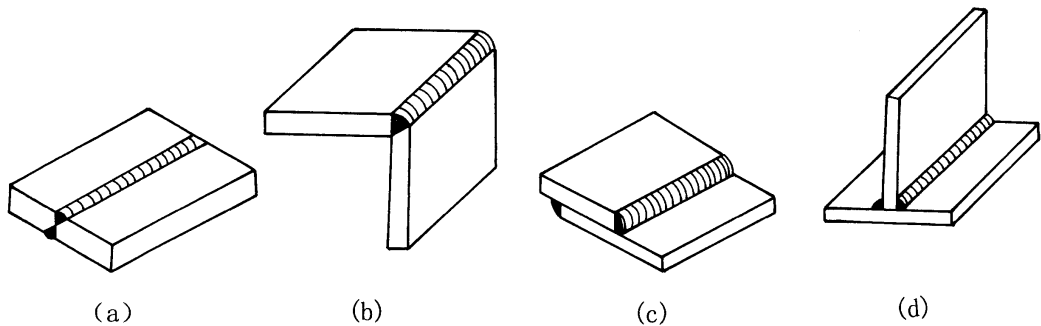


图 2-1 接头的基本形式

(a) 对接接头 ; (b) 角接头 ; (c) 槽搭接接头 ; (d) 榫形接头

**圆角接头。**它是两焊件端面构成大于  $90^\circ$  小于  $135^\circ$  夹角的接头。角接头承载能力很差,因而多用于不重要结构或箱形构件。

**搭接接头。**它是两焊件部分重叠构成的接头,或开槽焊、塞焊、或锯齿状搭接等接头形式。搭接接头使构件形状发生较大变化,所以应力集中比对接接头情况复杂得多,承载能力较低。由于搭接接头焊前准备和装配工作比对接简单,其横向收缩量也比对接小,因此在结构中仍得到应用。

**榫形接头。**它是一焊件之端面与另一焊件表面构成直角(或近似直角)的接头或十字接头。榫形接头的焊缝向母材过渡急剧,接头在外力作用下线扭曲很大,造成应力分布极不均匀,在角焊缝的根部和过渡处有很大的应力集中,因此,该接头的承载能力较差。但它能承受各种方向的力和力矩,因而在焊接生产中应用还是很普遍的。

(圆)焊缝的空间位置。焊缝的空间位置有平焊、横焊、立焊与仰焊四种形式,如图 2-2 所示。其中平焊的操作最为方便,生产率高,并且容易保证质量,所以焊接时应尽量使焊缝处于平焊位置。

(猿)手工电弧焊工艺参数。它们包括:焊条种类、牌号和直径,焊接电流的种类、极性和大小,电弧电压,焊接速度和焊道层次等。选择合适的焊接工艺参数,对提高焊接质量和生产效率是十分重要的,以下简述一些合理选择工艺参数的原则,以及它们对焊缝成形的影响。

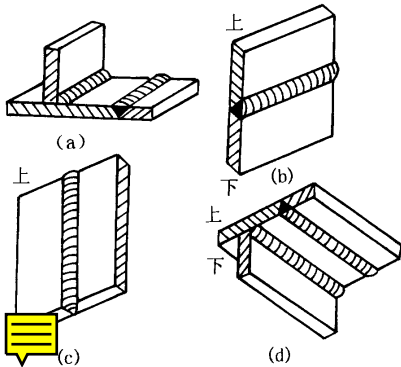


图 2-2 各种空间位置的焊缝

(a) 平焊 ; (b) 横焊 ; (c) 立焊 ; (d) 仰焊

**圆焊条的种类和牌号。**焊条的种类和牌号的选择主要根据是母材的性能、接头的刚性和工作条件等。焊一般碳钢和低合金钢主要是按等强度原则选择焊条的强度级别,一般结构选用酸性焊条,重要结构选用碱性焊条。

**圆焊条的直径。**焊条直径的选择主要取决于焊件厚度,同时还应考虑焊缝位置等因素。一般厚度越大,所选用的焊条直径越粗,可见表 2-3。但立焊时,焊条直径应不超过  $3/4$  缘皂,仰焊和横焊时,应不超过  $3/8$  缘皂。



表 206 焊条直径的选择

|         |   |    |      |     |     |
|---------|---|----|------|-----|-----|
| 焊件厚度/mm | 圆 | 猿  | 源-缘  | 远-圆 | 跃猿  |
| 焊条直径/mm | 圆 | 猿圆 | 猿圆-源 | 源-缘 | 源-远 |

猿 焊接电流的种类和极性。焊接电流的种类和极性的选择通常根据焊条类型来决定,除低氢钠型焊条必须采用“直流反接”外,低氢钾型焊条可采用“直流反接”或交流电源,所有酸性焊条通常都采用交流电源,但也可以用直流电源。焊厚板时用“直流正接”,焊薄板时用“直流反接”。

源 焊接电流的大小。它是手工电弧焊最重要的工艺参数,也可以说是唯一的独立参数,因为焊工在施焊前需要确定的只有焊接电流,而焊接速度和电弧电压都是施焊时由焊工控制的。

焊接电流越大,熔深越大,焊条熔化快,焊接效率也高。但是焊接电流太大时,飞溅和烟雾大,药皮易发红和脱落,而且容易产生咬边、焊瘤和烧穿等缺陷。若焊接电流太小,则引弧困难,焊条容易粘连在工件上,电弧不稳,熔池温度低,焊缝窄而高,熔合不好,而且容易产生夹渣和未焊透等缺陷。

选择焊接电流时,要考虑的因素很多,如焊条直径、药皮类型、工件厚度、接头类型、焊接位置和焊道层次等。但主要由焊条直径和焊接位置所决定。实际生产中,焊工则是根据自己的实践经验试焊后再选定焊接电流。

① 焊条直径越粗,熔化焊条所需的热量就越大,所需的焊接电流也就越大,表 206 给出了几种不同直径焊条的合适的焊接电流参考值。

表 206 几种直径焊条使用电流的参考值

|         |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 焊条直径/mm | 员圆    | 圆圆    | 圆缘    | 猿圆    | 源圆    | 缘圆    | 缘圆    |
| 焊接电流/A  | 圆缘-源圆 | 源圆-缘圆 | 缘圆-圆圆 | 猿圆-猿圆 | 猿圆-圆圆 | 圆圆-圆圆 | 圆圆-猿圆 |

② 焊接位置为平焊时,可选择偏大些的焊接电流。横焊、立焊和仰焊时,焊接电流应比平焊位置小 猿% ~ 圆%。

缘 电弧电压。它主要影响焊缝的宽窄,电弧电压越高,焊缝越宽。当焊接电流调好后,电焊机的外特性曲线就决定了。实际上,电弧电压由弧长决定。电弧越长,电弧电压就越高;电弧越短,电弧电压就越低。若电弧太长,则电弧燃烧不稳,飞溅大,容易产生咬边和气孔等缺陷;若电弧太短,则容易粘焊条。一般情况下,电弧长度等于焊条直径的 缘% ~ 猿%。相应的电弧电压为 员圆-圆圆。碱性焊条的电弧长度等于焊条直径的一半为好,酸性焊条的电弧长度最好等于焊条直径。

远 焊接速度。它是指单位时间内完成焊缝的长度。手工电弧焊时,在保证焊缝具有所要求的尺寸、外形和保证熔合良好的原则下,焊接速度由焊工根据具体情况灵活掌握。





( 遡 ) 焊接的操作技术。主要有引弧、运条、焊缝的起头、焊缝的收尾和焊缝间接头等技术。

引弧。引燃焊接电弧的过程称为引弧。主要方法有直击法和划擦法两种。

运条。焊接过程中,焊条相对焊缝所做的各种动作称为运条。常用的运条方法有直线形、直线往返形、锯齿形、月牙形、三角形、圆圈形和八字形。

焊缝的起头。它是指刚开始焊接处的焊缝。

焊缝的收尾。它是指一条焊缝焊完后如何收弧。常用方法有反复断弧法、划圈收尾法和转移收尾法。

焊缝的接头。它是指后焊焊缝与先焊焊缝的连接处。常见焊缝的接头有中间接头、相背接头、相向接头和分段退焊接头四种。

### 微型计算机在电弧焊中的应用

采用微型计算机对焊接过程进行测试和控制是现代焊接技术新的发展,它可以对焊接电流、电压、焊接速度、气电焊气体流量和压力等参数进行快速综合运算、分析和控制。用微型计算机代替常规数控来控制焊接工、夹具自动定位和焊机(或焊件)运动轨迹,其精度可达微米级,而且通用性强,应用广泛。

微型计算机和传感器的连接,可构成各种焊接过程的质量监控系统,从而把焊接过程的自动控制提高到一个新水平。

在现代工业生产中,已采用了相当数量的焊接机器人,它能进行自动焊接。焊接机器人能代替人在危险和污染的特殊情况下进行焊接工作,例如在高温、高压、易爆、有毒、水下和放射的条件下焊接。如今,已在研制具有视觉、听觉和触觉功能的新一代机器人。

## 二、其他电弧焊

### 埋弧焊

埋弧焊又称焊剂层下自动电弧焊,是高效机械化焊接方法之一。

埋弧焊焊接时,自动焊机头将焊丝自动送入电弧区并保证选定的弧长,电弧在颗粒状熔剂层下面燃烧,焊机带着焊丝自动均匀地向前移动;或者自动焊机头不动,工件以匀速运动。在焊丝前面,焊剂从漏斗中不断流出撒在工件表面,当焊丝与焊件间引燃电弧时,电弧热使焊件、焊丝和焊剂熔化并被部分蒸发,金属和焊剂的蒸气将熔融的焊剂吹开,形成气泡,电弧在气泡内燃烧,使熔池与空气隔开,而且可隔绝弧光的辐射,因此焊缝质量高。

埋弧焊具有生产效率高、焊缝质量高、节省焊接材料和电能,以及劳动条件好等特点。它的缺点是:设备费用贵,工艺准备复杂,对接头加工与装配要求严格。据此,埋弧焊不太适宜于薄板焊接。

### 气体保护焊

气体保护焊是以惰性气体作为保护气体的电弧焊。它用焊丝作电极,用惰性气体隔绝空气,靠焊丝和焊件之间产生的电弧熔化工件金属与焊丝,以自动或半自动方式进行焊接。



惰气保护焊具有成本低、生产率高、操作性能好、焊接变形小和焊接质量较好等优点,适用于薄板焊接。其缺点是惰气的氧化作用使熔滴飞溅较为严重,因此焊缝成型不够光滑,同时焊接烟雾较大、弧光强烈,若控制或操作不当,容易产生气孔等缺陷。

## 第二节 气焊与气割

### 一、气焊工作原理

利用可燃气体与助燃气体(氧气)混合燃烧时所产生的热量,将焊件和焊丝熔化连接在一起的焊接方法称为气焊。气焊的过程是通过一个特制的焊炬,将可燃气体与氧气按适当比例混合,点燃后喷出燃烧的高温火焰,使两块金属焊件接缝处加热至熔化状态并形成熔池,然后不断地向熔池内添加(或不添加)填充金属焊丝,最终使分离的金属融为一体,冷却后形成焊缝。

气焊所用的可燃性气体有乙炔(炔)和氢气(氢)和液化石油气等。其中乙炔与氧气混合燃烧的火焰具有温度高、发热量大的特点,因此在气焊作业中,乙炔是最常用的一种可燃性气体。

### 二、气焊工艺特点和适用范围

气焊具有加热均匀、缓慢,气体火焰长度可随意调节,设备简单、移动方便、工作场所要求低,并能实现无电源条件下的野外施工作业的特点。缺点是:火焰温度低,热量不够集中,因此生产率不高,热影响区大,易使焊件产生较大的变形。

气焊主要适用于焊接薄壁容器、管材和薄钢板,焊接有色金属、铸铁件和堆焊硬质合金,补焊磨损、破损和断裂的金属零部件。因此,尽管目前焊接新技术方法倍出,但是气焊仍得以广泛应用。

### 三、气焊设备

气焊常用设备包括氧气瓶、乙炔瓶(或乙炔发生器)、减压器、氧气表、乙炔表、回火防止器、管道和焊炬,如图 7-1 所示。

#### 氧气瓶

氧气瓶是贮存和运输氧气的专用高压容器,其构造如图 7-2 所示,它由瓶体、瓶箍、瓶阀和瓶帽四部分组成。瓶体外装有两个防振胶圈,瓶体为天蓝色,并用黑漆标明“氧气”两字。

氧气瓶容积有 15L、40L 和 60L 三种。常用氧气瓶容积为 40L,当瓶内压力为 15MPa 时,该瓶的氧气贮量为 600L(即 600L)。

氧气使用量较大的工厂,通常采用管道输送,其管内压力为 0.5~1.0MPa。

#### 氧气瓶阀

氧气瓶阀是控制瓶内氧气进出的阀门。它的作用是降低由氧气瓶或管道中输送的



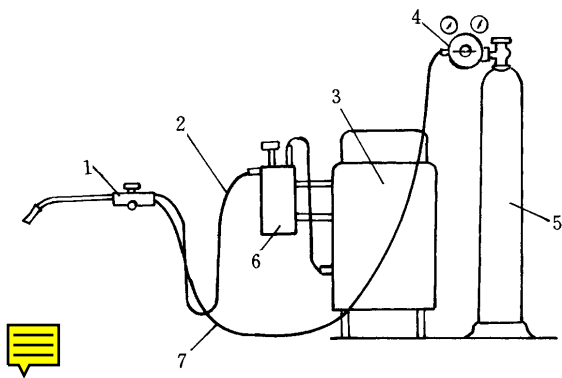


图 苑苑 气焊设备示意图

员—焊炬；圆—乙炔管道(绿)；猿—乙炔发生器；源—减压器；  
缘—氧气瓶；远—回火防止器；苑—氧气管道(红)

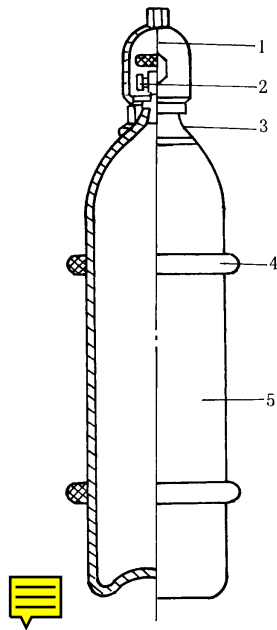


图 苑愿 氧气瓶的构造

员—瓶帽；圆—瓶阀；猿—瓶箍；  
源—胶圈；缘—瓶体

氧气压力,使其达到焊接时的工作压力(猿—源云葬)并保证在工作过程中压力不变。常用的是单级式减压器。

### 猿爱乙炔气瓶

乙炔气瓶是贮存和运输乙炔的专用压力容器,其构造如图 苑怨所示。它由瓶体、瓶帽、瓶阀、分解网、易熔塞、微孔填料(硅酸钙)和底座组成。瓶体外装有两个防震胶圈,瓶体为白色,并标明“乙炔气瓶”、“不可近火”等红色字样。

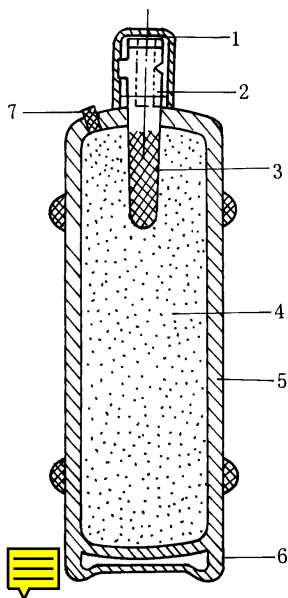


图 苑怨 乙炔气瓶构造

员—瓶帽；圆—瓶阀；猿—分解网；  
源—微孔填料(硅酸钙)；缘—瓶体；远—底座；苑—易熔塞

乙炔气瓶外形与氧气瓶相似,但气瓶高度略低,直径略粗。因为乙炔不能采用气压压入的方法注入瓶内,因此乙炔瓶的内部构造较氧气瓶要复杂得多,乙炔气瓶内布满多孔而质轻的微孔填料,而微孔中又浸满了丙酮,利用乙炔易溶解于丙酮的特点,使乙炔丙酮溶液充满在填料的微孔之中,这样也使贮存乙炔的安全性大大提高。

瓶阀下面中心连接着一个锥形的不锈钢网罩(即分解网),内装石棉或毛毡,其作用是帮助乙炔从溶液中分解出来。

为了保证用气安全,在靠近收口处装有易熔塞,它是由一种低熔点材料制成的。当瓶温达到 苑苑益左右时,



易堵塞就会熔化,形成一个圆洞,使瓶内乙炔气外逸,达到安全泄压的目的。

乙炔瓶容量为 15L,一般能溶解 2.5L 乙炔。但丙酮溶解乙炔的能力与环境温度有关。如 15℃ 时,15L 丙酮能溶解 1.5L 乙炔;而当温度升至 30℃ 时,溶解能力下降至 1.2L。温度升到 40℃ 时,溶解能力只有 1.0L。因此,在使用乙炔瓶时,要特别注意环境温度的变化。

### 乙炔瓶阀

乙炔瓶阀是控制瓶内乙炔进出的阀门。

### 乙炔发生器

乙炔发生器是利用电石(碳化钙)与水反应生成乙炔的专用设备。我国生产的中压乙炔发生器使用压力在 0.1~0.2MPa。根据其每小时产生乙炔的多少可分为 0.5、1、2、3、5、10、15、20、30、40、50、60、70、80、90、100 五种规格。前两种体积较小,属可移动式;后三种属固定式。各自型号有 WJ1、WJ2、WJ3、WJ4 和 WJ5 等。

### 回火防止器

回火防止器是一种安全装置。它安装在乙炔发生器和焊炬之间,它的作用是防止火焰回到乙炔发生器中而引起爆炸事故。正常情况下,气焊火焰是在焊炬焊嘴的出口处,在空气中进行燃烧的。但燃烧的火焰有时因受到某种因素的影响,发生逆向燃烧,这种现象称为“回火”。倒流的火焰一般在焊炬通道口燃烧,有时也会迅速通过焊炬,烧到胶管内,甚至烧到乙炔发生器,爆炸事故就会发生。为了防止事故的发生,必须设置阻火的专用设备,它就是回火防止器。

### 焊炬

焊炬是气焊作业中主要工具之一。它可将可燃气体和助燃气体按比例混合后以一定的流速喷出,通过点火燃烧形成具有一定能量的稳定的焊接火焰供操作。焊炬按可燃气体与氧气的混合方式不同,可分为射吸式和等压式两种,其中射吸式焊炬应用较广,其结构如图 7-1 所示。

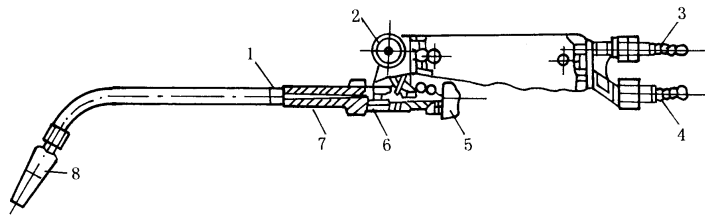


图 7-1 射吸式焊炬

1—混和气管;2—乙炔调节手轮;3—乙炔接头;4—氧气接头;  
5—氧气调节手轮;6—氧喷嘴;7—射吸管;8—焊嘴

射吸式焊炬由氧气阀门、乙炔阀门、混合室、射吸室、通道和焊嘴等部分组成。

射吸式焊炬工作原理是:具有一定压力的氧气从喷嘴口快速喷出,致使射吸管里产生负压,强制地把乙炔吸入射吸管内与氧气混合,由焊嘴喷出。氧气和乙炔的流量以及它们之间混合比例,由各自的阀门控制。



常用的射吸式焊炬型号有：G01、G02和G03三种。焊炬的焊嘴是可以更换的。每把焊炬各备有 缘个孔径大小不同的焊嘴，供焊接不同厚度工件时选用。

## 四、气焊工艺

### 气焊接头形式

气焊也可以焊接平、立、横、仰等各种空间位置的焊缝。

气焊主要采用对接接头，而角接接头和卷边接头只在焊接薄板时使用，很少采用搭接接头和 栽字接头。

在对接接头中，焊接厚度小于 缘皂时，可以不开坡口，只留 员- 源皂的间隙；厚度大于 缘皂时，必须开坡口，坡口形式、角度、间隙及根高等与手工电弧焊相似。

### 气焊焊丝和焊剂的选择

焊丝的成分通常与焊件的成分基本相同。

焊丝的直径根据焊件的厚度及坡口形式等来决定。低碳钢的焊丝直径通常在 员- 愿皂范围内。

为了防止金属的氧化及消除已形成的氧化物，在焊接有色金属、铸铁与不锈钢等材料时，必须采用气焊焊剂。目前，常用的气焊熔剂有不锈钢熔剂、铸铁熔剂、铜熔剂和铝熔剂等。焊接低碳钢时，不必使用气焊熔剂。

### 气焊焊炬倾斜角

气焊时，焊炬对焊件表面应倾斜成一定的角度。焊件越厚，倾斜的角度越大，一般为 圆般- 愿般。

焊丝对焊件表面也应倾斜一定角度，一般为 猿般- 源般。

### 气焊火焰

气焊使用乙炔气作可燃性气体，氧气和乙炔气混合燃烧的火焰即为氧—乙炔焰。氧—乙炔焰由焰芯、内焰和外焰三部分组成。在焊嘴的出气口处，呈尖锥形的明亮点是焰芯，此点温度约为 怨园益，焰芯外围 缘皂左右的燃烧部位是内焰，在焰芯尖端 圆- 源皂处，温度最高约猿园益，气焊时应用这一点对准被焊金属；火焰的最外层是外焰，它的温度在员圆园- 圆缘园益之间。

根据氧和乙炔的比例不同，气焊火焰可分为中性焰、氧化焰和碳化焰三种。当氧和乙炔之比基本为 员园时，称为中性焰。这种火焰燃烧后的气体中既无过剩的氧，又无过剩的乙炔，是应用最广泛的一种火焰，常用来焊接低碳钢、中碳钢、紫铜及低合金钢等。当氧和乙炔之比为 员园以上时，称为氧化焰。氧化焰燃烧后尚有部分剩余氧气，使整个火焰具有氧化性，影响焊缝质量，因此这种火焰较少采用，但可用作焊接黄铜及对氢脆有敏感的材料。当氧和乙炔之比为 员园以下时，称为碳化焰。由于燃烧不完全，火焰中乙炔过剩，过剩的乙炔分解出碳，焊接时易使焊缝金属增碳，影响焊缝金属的力学性能，这种火焰常用于焊接高碳钢、铸铁及硬质合金等。

### 气焊操作方法

气焊根据焊炬的运走方向可分为左向焊法和右向焊法两种，如图 苑- 缘所示。



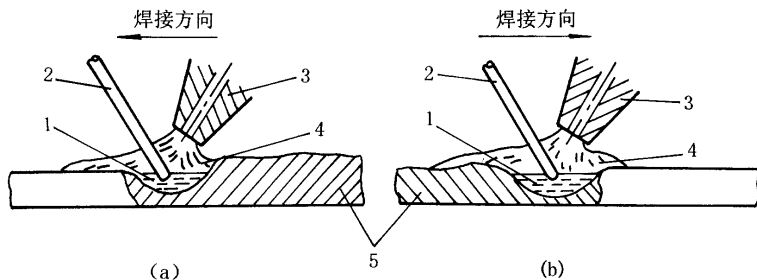


图 7-10 右向焊法和左向焊法

(猿—右向焊法；(遛—右向焊法)

员—熔池；圆—焊丝；猿—喷嘴；源—火焰；缘—焊件

右向焊时，焊炬火焰指向已焊部分，因此热量集中，焊速快，熔深大，效率高；同时火焰遮盖着整个熔池，防止了焊缝金属的氧化，并使焊缝缓慢地冷却，提高了焊缝质量。右向焊法适用于厚度大于 3mm 的焊件的焊接。

左向焊时，则相反。适用于小于 3mm 的薄板和低熔点金属。

## 五、气割

气割是利用氧—乙炔中性焰将被切割的金属预热到燃烧温度，然后在预热处通以高压氧气流，使金属在纯氧中燃烧放出大量的热，并借高压氧气流的压力将切口处形成的氧化物吹走，整体金属即被割开（见图 7-11）。

### 气割设备

割炬（即割枪）是气割的主要工具。气割的其他设备都与气焊相同。

割炬由形成预热火焰的部分和送入切割氧气的部分组成。预热部分与气焊用的焊炬构造相同，所不同的是多了一根高压纯氧通道。高压纯氧通过切割嘴，将燃烧的氧化物吹掉，形成割缝。割炬有两种，即射吸式和等压式割炬。普遍使用的是射吸式割炬，如图 7-12 所示。

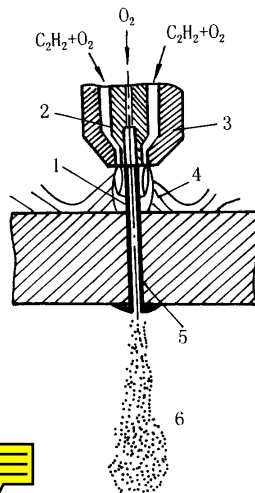


图 7-11 气割过程示意图

员—切割氧；圆—切割嘴；猿—预热嘴；源—预热焰；缘—割缝；远—氧化渣

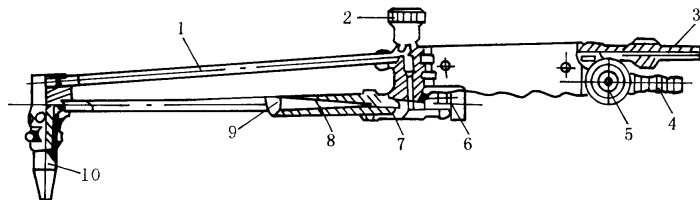


图 7-12 射吸式割炬

员—氧喷嘴；圆—高压氧阀；猿—氧气入口；源—乙炔入口；缘—乙炔阀门；远—低压氧阀；苑—混合室；愿—射吸管；怨—混合气通道；员—割嘴





焊完一点后,焊接下一个焊点时,有一部分电流会流经已焊好的焊点,称之为分流现象。分流将使焊接处电流减小,会影响焊接质量,因此两焊点之间应有一定距离。工件厚度愈大、材料导电性愈好,分流现象则愈严重,点距应加大。

影响点焊质量的主要因素是焊接电流、通电时间、电极压力及表面清理情况。根据焊接时间长短和电流大小,常把点焊焊接规范分为硬规范与软规范。硬规范是指在较短时间内通以大电流,其生产率高,焊接变形小,电极磨损慢;但要求设备功率大,规范控制精确,适用于焊接导热性能较好的金属。软规范是指在较长时间内通以较小电流,其生产率低,但可用功率小的设备焊接较厚工件,适用于焊接有淬硬倾向的金属。

点焊主要适用于厚度为 3mm 以下的薄板冲压结构及钢筋焊接,如汽车制造,车厢、飞机等薄壁结构制造,以及罩壳和日常生活品的制造。

### 圆缝焊

缝焊过程与点焊相似,只是用旋转的圆盘状滚动电极代替柱状电极。焊接时盘状电极压紧焊件并转动(也带动焊件向前移动),配合断续通电,即形成连续重叠的焊点,因此称之为缝焊。

缝焊特点是焊点相互重叠 50% 以上,其密封性好。主要适用于 3mm 以下的薄板结构和要求密封性的薄壁结构,如油箱、小型容器和管道等。

### 电阻对焊

利用电阻热使两个工件在整个断面上焊接起来的方法,称之为对焊。对焊按其焊接操作方法的不同,可分为电阻对焊和闪光对焊两种。

对焊主要用于刀具、管子、钢筋、钢轨、锚链和链条的焊接。

## 二、钎焊

利用熔点比焊件低的钎料作填充金属,适当加热后,钎料熔化而将处于固态的焊件联接起来的一种焊接方法,称之为钎焊。

钎焊的过程是将表面清洗好的工件以搭接形式装配在一起,把钎料放在接头间隙之间或附近。当工件与钎料被加热到稍高于钎料的熔点温度后,钎料熔化(此时工件未熔化)并借助毛细作用被吸入和充满固态工件间隙之间,液态钎料与工件金属相互扩散熔化冷凝后形成钎焊接头。

钎焊按钎料熔点的不同,可分为硬钎焊和软钎焊两种。

(一) 硬钎焊。它是指钎料熔点在 450℃ 以上的钎焊。其钎料有铜基、银基和镍基等。硬钎焊的特点是接头强度高,都在 400MPa 以上。主要用于受力较大的钢铁和铜合金构件的焊接以及工具和刀具的焊接。

(二) 软钎焊。它是指钎料熔点在 450℃ 以下的钎焊。其常用钎料为锡铅合金,因此通称锡焊。软钎焊的特点是接头强度低,一般不超过 100MPa,但由于这类钎料熔点低(一般低于 250℃),熔液渗入接头间隙的能力较强,因此具有较好的焊接工艺性。同时锡铅钎料还有良好的导电性。因此软钎焊广泛用于焊接受力不大的常温工作的仪表、导电元件及其他钢铁、铜及铜合金等制造的构件。

钎焊过程中,一般都需要使用溶剂。溶剂的作用是清除被焊金属表面的氧化膜及





其他杂质,改善钎料流入间隙的性能(即钎料的润湿性),保护钎料及焊件不被氧化,因此溶剂对钎焊质量影响很大。硬钎焊溶剂主要由硼砂、硼酸、氟化物和氯化物组成,软钎焊溶剂常用松香或氯化锌溶液。

钎焊的加热方法可分为烙铁加热、火焰加热、电阻加热、感应加热、炉内加热、盐浴(浸沾)加热等,具体加热方法按钎料种类、工件形状与尺寸、接头数量、质量要求和生产批量等综合考虑选择。其中烙铁加热温度较低,一般只适用于软钎焊。

钎焊主要用于制造精密仪表、电气零部件、异种金属构件,以及某些复杂薄板结构;也常适用于钎焊各类导线与硬质合金刀具。但不适用于较大的钢结构和重载、动载机件的焊接。

### 三、电渣焊

利用电流通过液态熔渣所产生的电阻热作为热源,来熔化电极(焊丝或板极)和焊件而形成焊缝的焊接方法,称为电渣焊。其特点是大厚度工件可以不开坡口一次焊成,并且生产率高、成本低、焊缝质量好、焊接应力小,适用于焊接那些塑性较差的中碳钢和合金结构钢。电渣焊在水轮机、水压机、轧钢机和重型机械等大型设备中应用较广泛。

### 四、等离子焊接与切割

#### 等离子焊接

一般电弧焊所产生的电弧未受到外界的限制,称之为自由电弧。如果利用等离子弧发生装置使自由电弧的弧柱受到压缩(通称为压缩效应),弧柱中的气体完全电离为电子和离子,产生温度高达 $10^4$ K以上的等离子弧。将等离子弧用之于焊接,称之为“等离子焊接”。它使用专用的焊接设备和焊炬,焊炬的构造能保证等离子弧周围通以均匀的氩气保护流,以保护熔池和焊缝不受空气的有害作用。因此等离子焊接实质上是一种具有压缩效应的钨极气体保护焊。

等离子弧焊接具有能量密度大、弧柱温度高、穿透能力强等特点,无需用厚度钢材可不开坡口一次焊透,双面成形,同时其焊接速度快、生产率高、应力变形小,而且可焊接很薄的箔材。

等离子弧焊接广泛用于铜合金、合金钢、钨、钼、钴和钛等金属的焊接。如钛合金导弹壳体、波纹管、微型继电器、电容器的外壳封焊,以及飞机上的一些薄壁容器。但是等离子弧焊接的缺点是设备比较复杂,气体耗量大,只适宜于室内焊接。

#### 等离子弧切割

将等离子弧用之于切割,称之为“等离子弧切割”。它比氧—乙炔切割效率高1~10倍。它还可以切割不锈钢、铜、铝及其合金,以及难熔的金属和非金属材料。

### 五、真空电子束焊接

在真空室内,用高速电子流进行焊接的方法称为真空电子束焊接。其优点是:焊缝金属纯度高,表面平滑洁净,内部熔合好,热源能量密度大、熔深大、焊速高,基本上无焊接变形,焊接过程控制灵活,适应性强。缺点是:设备复杂、造价高,使用与维护技术要



求高,焊件尺寸受真空室限制,对焊件的清理和装配要求高。

真空电子束焊接适用于锆、钛、钽、钼、铌、铂、镍及其合金,焊接熔点、导热性、溶解度相差很大的异种金属构件,真空中使用的器件和内部要求真空的密封件的焊件,如微型电子线路组件、真空膜盒、铝箔蜂窝结构、原子能燃料原件和大型导弹外壳。

## 六、激光焊接

利用激光器受激产生波长均一、方向一致和强度很高的激光束,通过聚焦,并调焦到焊件接缝处,光能转换为热能,从而使金属熔化,形成焊接接头,这一工艺过程称之为“激光焊接”。激光焊接的特点是能量密度大,热量集中,作用时间短,焊接热影响区极小,焊件不变形,特别适用于热敏感材料的焊接,激光束可用反光镜、偏转棱镜或光导纤维将其在任何方向上弯曲或聚焦,因此可焊接一般焊法难以接近的接头或无法安置的焊点,激光可焊接绝缘材料、异种金属材料,甚至能把金属和非金属焊在一起。

激光焊接适用于焊接不锈钢、硅钢、铝、镍、钛等金属及其合金,特别适用于焊接微型、精密和热敏感的焊件,如集成电路内、外引线的焊接,微型继电器、电容器、石英晶体的管壳封焊,以及仪表游丝的焊接。

## 第四节 常用金属材料的焊接

### 一、金属材料的可焊性

被焊金属在采用一定的焊接方法、焊接材料、工艺参数及结构形式条件下,获得优质焊接接头的难易程度,称之为金属材料的可焊性。

可焊性包括两个方面:一是工艺可焊性,主要指焊接接头产生工艺缺陷的倾向,尤其是出现各种裂缝的可能性;二是使用可焊性,是指焊接接头在使用中的可靠性,包括焊接接头的力学性能及其他特殊性能(如耐热性和耐腐蚀性)。

### 二、碳钢的焊接

低碳钢的含碳量小于 $0.25\%$ ,其塑性好,一般没有淬硬倾向,对焊接热过程不敏感,可焊性良好。焊这类钢时,不需要采取特殊的工艺措施,通常在焊后也不需要进行热处理(电渣焊除外)。低碳钢可以用各种焊接方法进行焊接,用得最广泛的是手工电弧焊、埋弧焊、电渣焊、气体保护焊和电阻焊。

中碳钢的含碳量在 $0.25\% \sim 0.5\%$ 之间,随着含碳量的增加,淬硬的倾向便加大,可焊性逐渐变差。在实际生产中,主要是焊接中碳钢的铸钢件和锻钢件。焊这类钢时,焊前必须进行预热。焊接时应选用抗裂能力较强的低氢型焊条,同时应选用细焊条、小电流焊接,焊件开坡口进行多层焊,以防止含碳量较高的母材过多地熔入焊缝。焊接中碳钢一般采用手工电弧焊,但厚件可选用电渣焊。

高碳钢的含碳量大于 $0.5\%$ ,其焊接特点与中碳钢基本相似,但可焊性变得更差。对其采用更高的预热温度,更严格的工艺措施(包括焊接材料的选配)才可进行焊接。实际上,高碳钢的焊接只限于修补工作。



### 三、普通低合金钢的焊接

这类低合金钢的强度级别较低,含合金元素较少,含碳量低,具有良好的可焊性。在常温下,其焊接性能与低碳钢相似,在低温或在大刚度、大厚度构件上进行短焊缝焊接时,应防止出现淬硬组织,要适当增大焊接电流、减慢焊接速度、选用抗裂性强的低氢型焊条。

### 四、铸铁的补焊

铸铁的含碳量高,组织不均匀,塑性很低,属于可焊性很差的金属材料,因此一般不考虑铸铁的焊接。但铸铁件生产中出现的铸造缺陷,铸铁零件使用过程中发生的局部损坏或断裂,如能焊补,其经济效益是很大的,因此铸铁的焊接主要是补焊。

铸铁的补焊一般采用气焊和手工电弧焊(个别大件可采用电渣焊)。按焊前是否预热可分为热焊法和冷焊法两大类。

#### 热焊法

热焊法是指焊前将工件整体或局部预热到~~200~300℃~~焊后缓慢冷却。热焊法可防止工件产生白口组织和裂纹,焊补质量较好,焊后可进行机械加工。但热焊法成本较高,生产率低,焊工劳动条件差。一般用于焊补形状复杂,焊后需加工的重要铸件,如汽缸体和床头箱等。

用气焊进行铸铁热焊较方便,气焊火焰可用于预热工件和焊后缓冷,填充金属应用专制的铸铁焊芯,并配以焊剂以保证焊接质量。

#### 冷焊法

冷焊法是指工件不预热或只进行~~100℃~~以下低温预热的补焊方法。冷焊法方便灵活、生产率高、成本低、劳动条件好。但焊接处切削加工性能较差。生产中多用于补焊要求不高的铸件,以及怕高温预热引起变形的工件。焊接时应尽量采用小电流、短弧、窄焊缝、短焊道,以防止焊后开裂。冷焊法一般用手工电弧焊进行焊补,并根据铸件性能及焊后切削加工性能合理选用焊条,以保证焊补质量。

### 五、有色金属的焊接

#### 铜及铜合金的焊接

铜及铜合金的焊接难度较大,一般用氩弧焊、气焊、碳弧焊和钎焊等方法进行焊接。

#### 铝及铝合金的焊接

铝及铝合金的焊接难度也很大,一般用氩弧焊、气焊、点焊、缝焊和钎焊等方法进行焊接。

## 第五节 焊接缺陷与焊接检验

### 一、焊接接头缺陷

在焊接生产中,如存在设计、原材料、工艺和操作等方面的问题使焊接接头产生各



种缺陷。常见的焊接缺陷有焊缝外形尺寸不合格、弧坑、焊瘤、咬边、气孔、夹渣、未焊透和裂缝等。其中以夹渣、未焊透和裂缝的危害性最大。

#### 焊缝夹渣

在焊缝金属内部存在的非金属夹杂物称为夹渣。产生原因是主体金属或填充金属不清洁,焊接电流太小使熔化金属凝固太快,焊条角度和运条不当,以及焊接材料选择不合适等。

#### 圆环未焊透

主体金属与填充金属之间局部未熔合的现象称之为未焊透。产生原因主要是接头表面不清洁,坡口角度或间隙太小,焊接速度太快和电流过小。

#### 焊缝裂缝

在焊缝或热影响区内所出现的金属局部破裂现象称之为裂缝。裂缝产生的主要原因是焊接工艺不当,一个焊件有多条焊缝时各类焊缝的焊接先后顺序不正确,焊接时加热或冷却速度过快。

## 二、焊接质量检验

焊接质量检验是焊接生产过程中的重要组成部分。它包括焊前检验、过程检验和焊后成品检验。焊前检验主要指焊接原材料检验、图纸和技术文件的检查,以及工人的培训考核等。过程检验是指生产工序之间的检验,贯彻自检制。焊后成品检验是产品最后质量评定检验,按设计要求的质量标准评定。

原材料焊接件检验方法可分为破坏性检验和非破坏性检验两大类。属于非破坏性检验的有外观检验、磁粉检验、着色检验、超声波检验、载射线和 $\gamma$ 射线检验、密封性检验和水压试验等;属于破坏性检验的有力学性能试验、化学分析与金相组织检验等。

## 复习思考题

圆环焊接有哪些特点?

圆环焊条药皮有何作用?

圆环气焊有何特点?

圆环什么是金属材料的可焊性?

圆环焊接的常见缺陷有哪些?分别有哪些原因所造成?



# 第三篇

## 金属冷加工基础知识

用刀具从工件上切除多余的材料以便获得形状、尺寸、精度和表面质量都符合要求的零件的加工过程 称为切削加工 ,也称为冷加工。

切削加工可分为机械加工( 简称机工 )和钳工两部分。机工是通过工人操纵机床来完成切削加工的。钳工一般是通过工人手持工具来进行切削加工的。

切削加工是现代机械制造中广泛采用的加工方法。目前 ,除了很少一部分零件采用精密铸造或精密锻造等方法直接获得外 ,大部分零件最终要靠切削加工的方法来获得。



尽管金属切削加工有许多不同的形式,但是它们在许多方面如切削的运动、切削刀具和切削过程都有着共同的现象和规律。

## 第一节 切削运动和切削要素

### 一、切削运动

刀具与工件之间的相对运动称为切削运动。

切削运动包括主运动和进给运动。主运动是切下切削最基本的运动,进给运动是使新金属层不断投入切削,从而加工出完整表面所需的运动(也称走刀运动)。这两种运动在不同的加工形式中表现也是不同的,如图 8-1 所示。

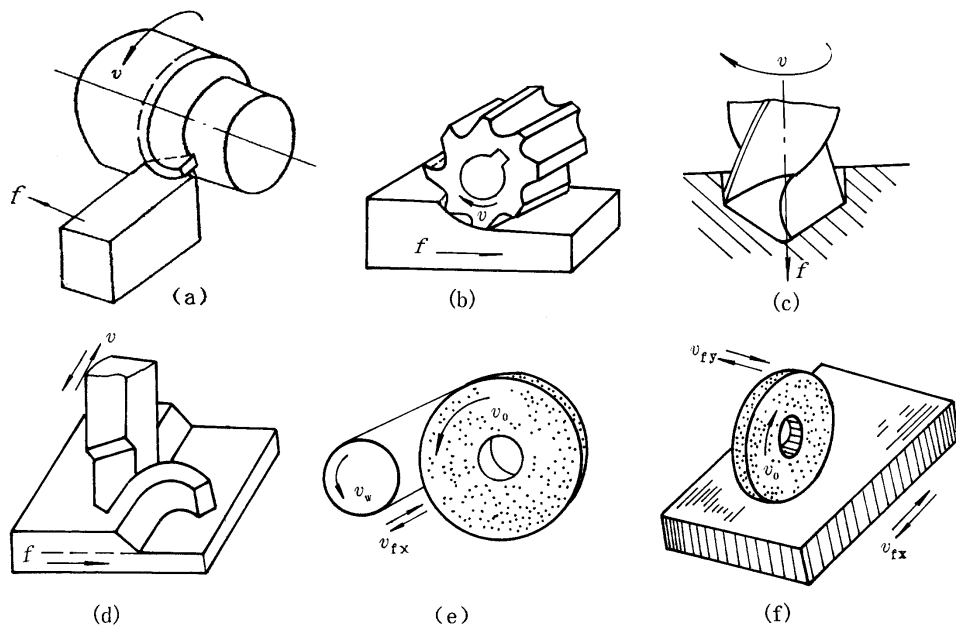


图 8-1 几种切削加工时的运动

(a) 车削; (b) 刨削; (c) 钻削; (d) 刨削; (e) 外圆磨削; (f) 平面磨削

几种切削方式中,刀具与工件的主运动和进给运动可见表 8-1

切削加工时,主运动只有一个,通常是速度最高、消耗功率最大的运动。进给运动可以是一个或多个,速度较低,功率消耗较少。



表 愿圆 切削运动形式

| 运动形式    | 主运动       | 进给运动             |
|---------|-----------|------------------|
| 车削      | 工件的旋转     | 车刀的直线移动(纵向或横向移动) |
| 铣削      | 铣刀的旋转     | 工件的移动            |
| 钻削      | 钻头或工件的旋转  | 钻头的直线移动(轴向移动)    |
| 刨削(车头刨) | 刨刀的直线往复运动 | 工件的移动            |
| 刨削(龙门刨) | 工件的直线往复运动 | 刨刀的移动            |
| 磨削外圆    | 砂轮的旋转     | 工件的轴向移动和旋转       |
| 磨削平面    | 砂轮的旋转     | 工件的纵向运动和砂轮的横向运动  |

## 二、切削用量

切削用量包括切削速度、进给量和切削深度三个要素。也称切削三要素。它们关系到工件的加工质量、刀具的磨损、机床的动力消耗,以及生产率等,因此要合理选择切削用量。现以车削外圆为例来说明。

### 愿圆 切削速度(增)

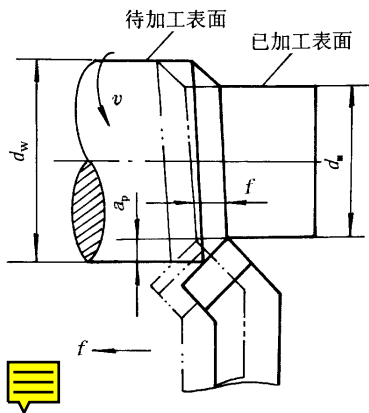


图 愿圆 车削外圆时的切削用量

切削速度是指主体运动的线速度。单位是米/秒(皂转)或米/分(皂转/分)。按法定计量单位,速度增的单位应为皂转,但在实际生产中,除磨削的切削速度单位用皂转外,其他切削加工的切削速度单位习惯上用皂转/分。

若主体运动为旋转运动,切削速度为其最大的线速度。以车削外圆为例(见图 愿圆),切削速度按下式计算:

$$\text{增} = \frac{\pi \cdot \text{蕴} \cdot \text{灶}}{1000} \quad (\text{皂转}) \quad (\text{愿圆})$$

式中:蕴——待加工表面直径(皂);  
灶——工件每分钟转速(皂转/分)。

若主运动为往复直线运动(如刨削、插削),则常以其平均速度为切削速度,即

$$\text{增} = \frac{\text{圆} \cdot \text{灶}}{\text{愿圆}} \quad (\text{皂转}) \quad (\text{愿圆})$$

式中:圆——运动行程长度(皂);  
灶——主运动每分钟的行程(皂/分)。

### 愿圆 进给量(枣)

进给量是指工件或刀具运动在一个工作循环(或单位时间)内,刀具与工件之间沿进给运动方向移动的距离,也称走刀量。例如车削时,工件每转一转,刀具所移动的距离,即为每转进给量,单位是毫米/转(皂转)。又如在牛头刨床上刨平面时,刀具往复



一次,工件移动的距离,即为进给量,单位是毫米/转程(毫米/转)。

切削深度  $a_p$

切削深度  $a_p$ 是指待加工表面与已加工表面间的垂直距离,单位为毫米。对于车削外圆来说,如图 8-1 所示。

$$a_p = \frac{D_0 - D_1}{2} \quad (8-1)$$

式中: $D_0$ ——已加工表面直径(毫米)。

## 第二节 切 削 刀 具

切削过程中,直接完成切削工作的是刀具。一般刀具是由工作部分和夹持部分组成的。夹持部分是用来将刀具夹持在机床上的部分,要求它能保证刀具正确的工作位置,传递所需要的运动和动力,并且夹固可靠、装卸方便。工作部分是刀具上直接参加切削工作的部分,刀具切削性能的优劣,取决于工作部分的材料、角度和结构等。

### 一、刀具材料

刀具材料的性能要求

由于刀具在高温下进行切削工作,要承受较大的压力、摩擦、冲击和振动等,因此应具备以下基本要求:

(1) 要有较高的硬度。刀具材料在常温下,一般硬度要在 HRC60 以上。

(2) 要有足够的强度和韧性。

(3) 要有较好的耐磨性。

(4) 要有较高的红硬性,即在高温下仍能保持较高强度和硬度。

(5) 要有较好的工艺性,即刀具材料应便于刀具的制造。工艺性包括锻、轧、焊、切削加工、磨削加工和热处理性能等。

常用工具的材料

目前,在切削加工中常用的材料有碳素工具钢、合金工具钢、高速钢、硬质合金及陶瓷材料等。

(1) 碳素工具钢。它是含碳量较高的优质钢(含碳量为 0.7% ~ 1.3%),如 T12,淬火后硬度较高,价廉,但耐磨性较差。常用于制造切削速度不高的刀具和手工工具,如锉刀、锯条、铰刀和丝锥等。

(2) 合金工具钢。它是在碳素工具钢中加入少量的 Cr、Ni、Si 等元素形成的,如 GCr15,它可减少热处理变形和提高材料的红硬性。主要用于制造形状比较复杂而要求热处理变形很小的刀具,如拉刀和板牙。

(3) 高速钢。它是含 Cr、Ni、Si 等合金元素较多的合金工具钢。它的耐热性、硬度和耐磨性虽低于硬质合金,但强度和韧性高于硬质合金,工艺性较硬质合金好,而且价格也比硬质合金低。普通高速钢,如 W18Cr4V 是国内使用最为普遍的刀具材料,广泛用于制造各种形状较为复杂的刀具,如麻花钻、铣刀、拉刀、齿轮刀具和其他成形刀具。





(源) 硬质合金。它是高硬度的碳化钨、碳化钛等为基体,加黏结金属钴,用粉末冶金的方法制得的。特点是具有高的红硬性,切削温度达 600℃ 时硬度仍无明显下降。缺点是韧性差。通常把它制成不同形状的刀片,再焊接到刀体上或通过紧固件镶嵌在刀体上。各类切削刀具都可镶嵌硬质合金刀片。硬质合金分成钨钴类(代号 YG)、钨钴钛类(代号 YT)、碳化钛镍铝合金类(代号 YN)等。

## 二、刀具几何角度

金属切削刀具的种类很多,其中车刀比较典型,其他各种刀具的切削部分都可以看作是以车刀为基本形态演变而成的。下面以外圆车刀为例,分析刀具切削部分的基本定义。

### 1. 车刀的组成

车刀由刀头和刀杆(或刀体)组成。刀头担任切削工作,又称切削部分;刀杆是固定在刀架上的被夹持部分。

刀头由以下几部分组成(见图 8-1) :

(1) 前刀面(简称前面)。切削时,切屑由此流出的表面。

(2) 主后刀面(简称主后面)。切削时,刀具上与工件加工表面相对的面。

(3) 副后刀面(简称副后面)。切削时,刀具上与工件已加工表面相对的面。

(4) 主切削刃。前刀面与主后刀面的交线,它担负着主要的切削工作。

(5) 副切削刃。前刀面与副后刀面的交线。

(6) 刀尖。主切削刃和副切削刃的交点。为了提高刀尖强度,刀尖处一般磨出直线或圆弧形的过渡刃。

82

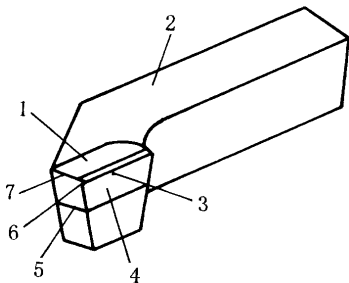


图 8-1 外圆车刀的组成

1-前刀面;2-刀杆;3-主切削刃;4-主后刀面;5-副后刀面;6-副切削刃;7-刀尖

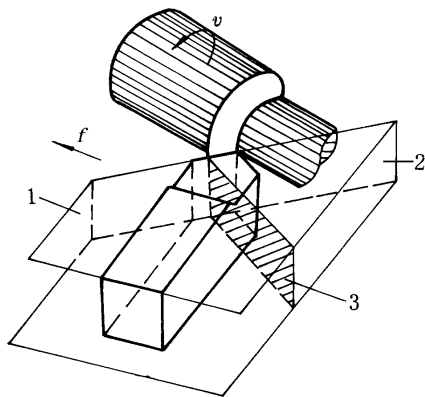


图 8-2 三个辅助平面

1-基面;2-切削平面;3-主截面

### 2. 确定车刀切削角度的辅助平面

为了确定和测量车刀的切削角度,规定以下三个辅助平面(见图 8-2) :

(1) 切削平面。通过主切削刃上的任一点,与工件加工表面相切的平面。



(圆) 基面。通过主切削刃上的任一点,并垂直于该点切削速度方向的平面。

(猿) 主截面。通过主切削刃上的任一点,并与主切削刃在基面上的投影相垂直的平面。

这三个辅助平面是相互垂直的,车刀的几何角度就在这三个辅助平面内测量。

猿援车刀的主要角度和作用

(员) 在主截面内测量的角度。由图 愿缘可见,在主截面内测量的角度有前角  $\gamma_{\text{圆}}$ 、主后角  $\alpha_{\text{圆}}$  和楔角  $\beta_{\text{圆}}$

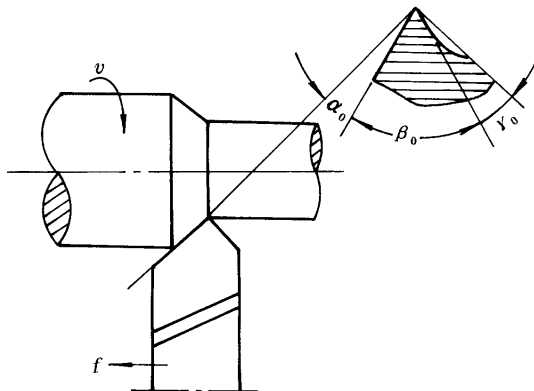


图 愿缘 在主截面内测量的角度

(员) 前角( $\gamma_{\text{圆}}$ )。前角是指前刀面与基面之间的夹角。前角的作用是使切削刃锋利,切削省力,并使切屑容易排出。

(圆) 主后角( $\alpha_{\text{圆}}$ )。主后角是指主后刀面与切削平面之间的夹角,主后角可改变车刀主后刀面与工件间的摩擦状况。

(猿) 楔角( $\beta_{\text{圆}}$ )。楔角是指前刀面与主后刀面的夹角。

前角、主后角与楔角之间的关系[见式(愿源)和式(愿缘)]为:

$$\gamma_{\text{圆}} + \alpha_{\text{圆}} + \beta_{\text{圆}} = 90^\circ \quad (\text{愿源})$$

或

$$\beta_{\text{圆}} = 90^\circ - \gamma_{\text{圆}} - \alpha_{\text{圆}} \quad (\text{愿缘})$$

(圆) 在基面内测量的角度:

(员) 主偏角( $\kappa_{\text{圆}}$ )。主切削刃在基面上的投影与进给方向之间的夹角(见图 愿远)。它能改变主切削刃与刀头的受力及散热情况。

(圆) 副偏角( $\kappa'_{\text{圆}}$ )。副切削刃在基面上的投影与进给方向之间的夹角(见图 愿远)。它可改变副切削刃与工件已加工表面之间的摩擦状况。

(猿) 刀尖角( $\epsilon_{\text{圆}}$ )。主切削刃与副切削刃在基面上投影之间的夹角(见图 愿远)。它影响刀尖强度及散热情况。

主偏角、副偏角与刀尖角之间的关系[见式(愿远)]:

$$\epsilon_{\text{圆}} = \kappa_{\text{圆}} + \kappa'_{\text{圆}} \quad (\text{愿远})$$

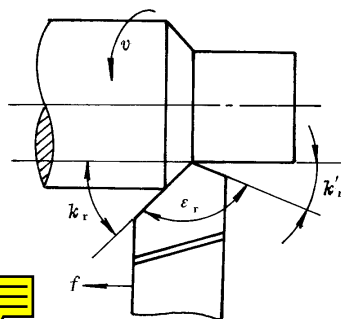


图 愿远 在基面内测量的角度



(狗) 在切削平面内测量的刃倾角( $\lambda_s$ ):在切削平面内主切削刃与基面之间的夹角。它影响刀尖的强度并控制切屑流出的方向(见图 8-10)。

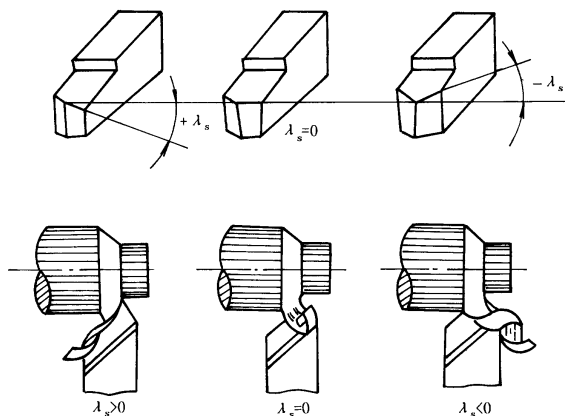


图 8-10 车刀的刃倾角

刃倾角有负值、正值和零度三种。当刀尖是主切削刃的最高点时,刃倾角是正值,切削时的切屑向待加工表面方向流出,不会擦伤已加工表面,但刀尖强度较差。当刀尖是主切削刃最低点时,刃倾角是负值,切削时切屑向已加工表面方向流出,容易擦伤已加工表面,但刀尖强度好。当主切削刃与基面平行时,刃倾角为零度,切削时切屑向垂直于主切削刃方向流出。

### 第三节 切屑的形成及种类

#### 一、切屑的形成

金属的切削过程,在本质上是金属受到刀具的挤压,经过弹性变形和塑性变形后,沿一定面被挤裂的过程,表面金属层在刀具的前面经过剧烈摩擦而离开刀具,成为切屑。

#### 二、切屑的种类

由于工件材料及加工条件的不同,切削时形成的切屑种类也不同。常见的切屑种类大致分为三类。

##### 带状切屑

当用大前角的刀具、较高的切削速度和较小的进给量切削塑性材料时,则容易得到带状切屑,如图 8-11 所示。形成带状切削时,切削力较平稳,加工表面较光洁,但切屑连续不断,会引发不大安全事故,并可能刮伤已加工表面,因此要采取断屑措施。

##### 节状切屑

采用较低的切削速度和较大的进给量粗加工中等硬度的钢材时,容易得到节状切屑,如图 8-12 所示。形成这种切屑时,金属材料经过弹性变形、塑性变形,挤裂和切离



等阶段,是典型的切削过程。由于切削力波动较大,工件表面较粗糙。

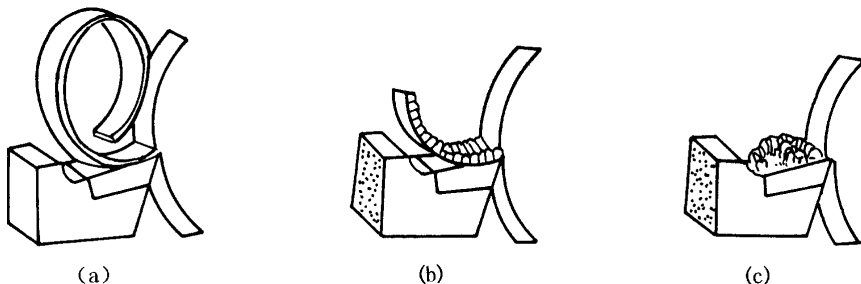


图 8-10 切屑的种类

(a) 带状切屑;(b) 节状切屑;(c) 崩碎粒状切屑

### 崩碎粒状切屑

在切削铸铁和黄铜等脆性材料时,切削层金属发生弹性变形后,一般不经过塑性变形就突然崩碎,形成不规则的碎块状屑片,即为崩碎切屑,如图 8-10(c)所示。产生崩碎切屑时,切削热和切削力都集中在主切削刃和刀尖附近,刀尖容易磨损,并容易产生振动,影响表面质量。

切屑的形状可随切削条件的不同而改变,在生产中可改变切削三要素和刀具的几何角度来改变切屑。

## 第四节 切 削 力

85

切削加工时,工件材料抵抗刀具切削所产生的阻力称为切削力。

在切削过程中,工件上的切削层和已加工表面都产生弹性变形和塑性变形,因而有变形阻力作用在刀具上;工件与刀具间、切屑与刀具间的摩擦阻力也作用在刀具上。切削力  $F_{\text{切}}$  就是这些阻力的合力。

切削力及其反作用力作用在刀具、工件和机床上,对切削加工有很大影响。

### 一、切削力的分解

为了分析切削力对工件、刀具和机床的影响,通常把切削力  $F_{\text{切}}$  分解为三个分力(见图 8-11)。

#### 主切削力 $F_{\text{切}}$

主切削力是作用于切削速度方向的分力。它是分力中最大的,占总切削力的 80% 左右,是计算切削所需功率、刀具强度和选择切削用量的主要依据。

#### 径向力 $F_{\text{切}}$

径向力是作用于切削深度方向的分力。它使工件在水平面内弯曲,容易引起振动,因而影响工件精度。增大主偏角可减少径向力。

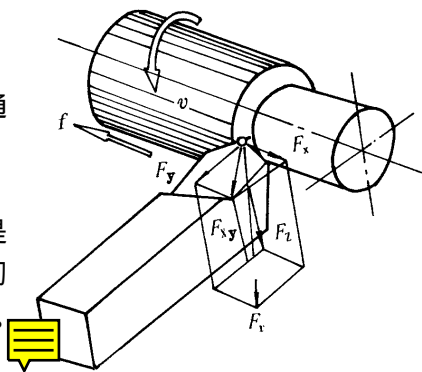


图 8-11 切削力的分解



切削力  $F_c$

切削力是作用于进给方向的分力。它是计算机床进给机构强度的依据。

由图 5-1 可知,切削力总的合力如式 (5-1) 所示。

$$F_c = \sqrt{F_{c1}^2 + F_{c2}^2} \quad (5-1)$$

## 二、影响切削力的因素

凡影响变形和摩擦的因素都能影响切削力,主要因素是工件材料、刀具角度、切削用量和切削液。

工件材料

工件材料的强度和硬度愈高,切削力就愈大。当两种材料强度相同时,塑性和韧性大的材料切削力大;反之,切削力小。

切削用量

切削用量愈大,切削力愈大。其中:

切削深度对切削力影响最大,当切削深度增大一倍时,切削力也增大一倍。

进给量增大一倍时,切削力只增大 20% 左右。

切削速度对切削力影响较小,例如当切削速度从 100 m/min 增加到 200 m/min 时,切削力只减少约 10%。

刀具角度

对切削力影响较大的是前角和主偏角。

前角对切削力影响较大。当前角增大时,切屑容易从前刀面流出,切屑变形小,因此切削力降低。

主偏角对  $F_c$  影响较小,当主偏角增大时, $F_c$  减小, $F_f$  增大。

## 第五节 切削热和切削液

### 一、切削热

切削热的产生和传导

在切削加工过程中,由于被切削金属层的变形、分离及刀具和被切削材料间的摩擦而产生的热量称为切削热。

切削热主要通过切屑、刀具、工件、切削液和周围空气传导出。如果切削加工时不加切削液,则大部分切削热由切屑传出。

切削热对切削过程的影响

切削热会影响切削温度,进而会影响切削过程。切削热传入刀具后,使刀具温度升高,当超过刀具材料所能承受的温度时,刀具材料硬度降低,迅速丧失切削性能,使刀具磨损加快,寿命降低。切削热传入工件后,工件温度升高而产生热变形,影响工件的加工精度和表面质量。所以,必须对工具和工件的温度升高加以控制。

切削温度及其控制措施

(1) 切削温度。切削过程中切削区域的温度称为切削温度。切削温度的高低,取



决于产生热量的多少和热传导的快慢。具体受工件材料性质(塑性、强度和硬度等)、切削用量、刀具角度和切削液等因素的影响。

(圆) 切削温度的控制措施。为了控制切削温度的升高,可采取以下措施:

① 尽量减小切屑的变形和摩擦,在刀具强度允许的情况下,适当增大前角。

② 改善刀具的散热条件,在机床—工件—刀具系统刚性较好时,可适当减小主偏角。

③ 切削用量中,对切削温度影响最大的是切削速度,影响最小的是切削深度。因此,在机床进给机构强度允许的情况下,应尽可能取大的切削深度,其次取较大的进给量,最后选取较小的切削速度。

④ 提高刀具前刀面和后刀面的刃磨质量,减小摩擦力。

⑤ 合理地选用切削液。

## 二、切削液

为了提高切削加工效果而使用的液体称为切削液。

切削液的作用

(员) 冷却作用。能带走大量切削热,降低切削温度,延长刀具寿命和提高生产效率。

(圆) 润滑作用。能减少摩擦,降低切削力和切削热,减少刀具磨损,提高加工表面质量。

(猿) 清洗作用。能及时冲掉切削过程中产生的细小切屑、磨削中的矿粒和磨屑,以免影响工件表面质量和机床精度。

切削液的种类

常用的切削液有水基和油基两类。

(员) 水基类。它有水溶液(如肥皂水和苏打水)和乳化液等。这类切削液比热容大、流动性好,主要起冷却作用,也有一定的润滑作用。为了防止机床和工件生锈,常加入一定量的防锈剂。

(圆) 油基类。它主要是矿物油,少数采用动植物油或复合油。这类切削液比热容小、流动性差,主要起润滑作用,也有一定的冷却作用。

为了改善切削液的性能,除加有防锈剂外,还常在切削液中加入油性添加剂、防霉添加剂、抗泡沫添加剂和乳化剂等。

粗加工时,主要以冷却为主,一般选用冷却作用较好的切削液,如低浓度的乳化液等;精加工时,主要以提高工件表面质量和减少刀具磨损为主,一般选用润滑作用较好的切削液,如高浓度的乳化液或切削油等。

加工一般钢材时,通常选用乳化液或硫化切削油。加工铜合金和有色金属时,一般不宜采用含硫化切削油的切削液,以免腐蚀工件。加工铸铁、青铜和黄铜等脆性材料时,为了避免崩碎切屑进入机床运动部件,一般不用切削液。



## 复习思考题

1. 什么是切削三要素？车削时如何计算切削速度？

2. 车刀有哪些主要角度？试画图说明。

3. 什么是切削力？影响切削力的因素有哪些？

4. 如何控制切削温度的升高？



常用机械加工方法有车削、钻削、镗削、刨削、铣削和磨削。尽管它们在基本原理方面有许多共同之处,但由于所用机床、刀具和切削运动形式各异,因此它们有各自的工艺特点及应用范围。

### 第一节 车 削

在车床上用车刀对工件进行切削加工称为车削。在零件的组成表面中,回转面用得最多,车削特别适用于加工回转面,故车削应用最普遍。

#### 一、车削设备

车削的主要设备是车床。车床的种类很多,主要是卧式车床、立式车床、转塔车床、自动车床和数控车床。

#### 二、车削工艺特点

- 第一,易于保证工件各加工面的位置精度。
- 第二,切削过程比较稳。
- 第三,适用于有色金属零件的精加工。
- 第四,刀具简单,便于制造、刃磨和安装。
- 第五,加工的通用性好,车床上安装一些附件可扩大车削工艺范围。

#### 三、车削基本工序

车削的基本工序有车外圆、车端面、切槽、切断、车螺纹、车圆锥面、车成形面和滚花等。还可用钻头、扩孔钻、铰刀和内孔刀进行孔和槽等加工(见图 9-1-1)。

#### 四、车削的应用

在车床上使用不同的车刀和其他刀具,可以加工各种回转表面,如内外圆柱面、内外圆锥面、螺纹、沟槽、端面和成形面。加工精度可达  $\pm 0.01 \sim \pm 0.05$  mm,表面粗糙度为  $Ra 0.1 \sim 1.6 \mu\text{m}$ 。

车削常用来加工轴、盘和套类等零件。





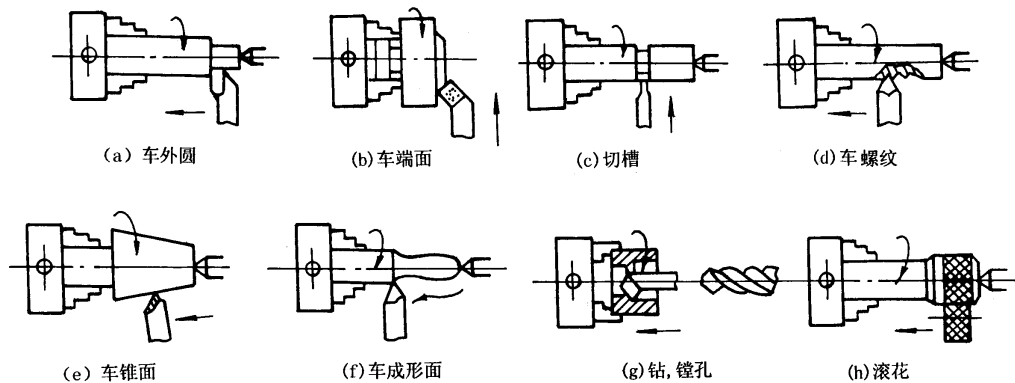


图 9-2 车削加工种类

## 第二节 镗 削

用镗刀对已有孔的再加工工艺过程称为镗削。

### 一、镗削设备

镗削的主要设备是镗床,此外还可在钻床、车床和铣床上进行。常用的镗床有卧式镗床、立式镗床、坐标镗床和深孔镗床。

### 二、镗削工艺特点

第一,镗孔的范围广,尤其对较大直径的孔、内成形表面或孔内的环形凹槽等,镗孔是唯一的方法。

第二,适用于加工有相互位置精度要求的孔系。

第三,可校正原有孔的轴线歪斜或位置偏差。

第四,镗刀刚性差,切削用量小,生产率较低。

### 三、镗削的应用

镗削适用于加工箱体类零件上的孔或孔系,其孔加工的精度高,一般镗孔精度达  $\text{IT}7\sim\text{IT}8$ ,表面粗糙度为  $Ra1.6\sim Ra0.8$ ;精细镗时,精度可达  $\text{IT}6\sim\text{IT}7$ ,表面粗糙度为  $Ra0.4\sim Ra0.2$ 。

## 第三节 刨 削

刨削是平面加工的主要方法。用刨刀在刨床上对工件进行切削加工的工艺过程称刨削。



## 一、刨削设备

刨削的主要设备是牛头刨床、龙门刨床和插床。

## 二、刨削工艺特点

第一,刨床的结构简单、成本低,调整和操作简便,因此通用性好。

第二,刨削的主运动为往复直线运动,切削速度低,生产率较低。

## 三、刨削的应用

由于刨削的特点,主要用在单件、小批生产中。刨削主要加工平面(如水平面、垂直面和斜面)和槽(如直角槽、燕尾槽和截形槽);还可加工齿条、齿轮、花键和母线为直线的成形面等。有立式牛头刨床之称的插床用来加工工件内表面(如键槽和花键槽)和多边形孔(如四方孔和六方孔),特别适用于加工盲孔或有障碍台肩的内表面。

# 第四节 铣 削

用铣刀加工工件的工艺方法称为铣削。铣削也是平面加工的主要方法之一。

## 一、铣削设备

铣削的主要设备为铣床。常用的铣床有卧式铣床、立式铣床、平面及端面铣床、龙门铣床和仿形铣床。

91

## 二、铣削工艺特点

第一,铣刀是典型的多齿刀具,有几个刀齿同时参加工作,生产率较高。

第二,铣削过程不平稳,容易产生振动,限制了铣削加工的质量和生产率的进一步提高。

第三,刀齿散热条件较好,但铣削时的冲击将加速刀具的磨损。

## 三、铣削的应用

铣削的形式很多,加工范围广。主要用来加工平面(如水平面、垂直面和斜面)、沟槽、成形面、螺旋槽和切断。加工精度一般可达IT6~IT7,表面粗糙度为Ra1.6~Ra6.3。

目前,高速精铣已成为平面精加工的主要方法。在加工铝合金时,因其塑性高、韧性大,精加工不宜采用磨削,而采用超精高速铣削,切削速度取 $v_c = 1000 \sim 2000 \text{ m/min}$ ,表面粗糙度为Ra0.4~Ra0.8,生产率比磨削提高2~3倍。

# 第五节 磨 削

用砂轮或其他磨具加工工件表面的工艺过程称为磨削。



## 一、磨削设备

磨削的主要设备是磨床。常用的磨床有平面磨床、外圆磨床、内圆磨床、导轨磨床、无心磨床和工具磨床。

## 二、磨削工艺特点

第一 精度高 表面粗糙度小。

第二 磨削过程中 砂轮的自锐作用是其他切削刀具所没有的 它有利于提高磨削的生产率。

第三 磨削时 砂轮与工件接触宽度大 对工件的径向作用力较大 在最后的光磨中 把磨削深度递减到零 可消除工件变形所产生的加工误差。

第四 磨削时温度高 容易烧伤工件表面 应采用大量的切削液冷却工件和冲洗砂轮 以提高工件表面质量。

第五 加工工件材料范围广 但不宜精加工塑性较大的有色金属工件。

## 三、磨削的应用

磨削可加工外圆面、内孔、平面、成形面、螺纹和齿轮等各种各样的表面 还常用于刀具的刃磨。

高精度、小粗糙度磨削可代替研磨加工。它包括精密磨削(  $R_a$  0.1~0.4)、超精密磨削(  $R_a$  0.025~0.05)和镜面磨削(  $R_a$  0.01以下)。

目前还发展了高效磨削(包括高速磨削、强力磨削和砂带磨削),以提高生产率和产品质量。

92

## 第六节 特种加工

特种加工是直接利用电能、化学能、电化学能、光能、声能等进行加工的方法。例如 利用脉冲放电时的腐蚀原理进行加工的电火花加工 利用金属在电解液中产生阳极溶解的电化学反应原理 对工件进行加工的电解加工和电解磨削 利用超声波使工具获得高频振动 通过磨料对工件进行加工的超声波加工 利用激光产生的高温使材料急剧熔化和蒸发对工件进行加工的激光加工。

特种加工主要用于加工难切削材料,如高强度、高韧性、高硬度、高脆性、耐高温的材料和磁性材料,以及精密细小和形状复杂的零件。

## 复习思考题

1. 常用切削加工方法有哪些?

2. 磨削工艺有何特点?



使用各种手工工具和钻床等设备对金属进行加工或对机器及部件进行装配等的操作方法称为钳工。

钳工主要工作内容包括划线、錾削、锯削、锉削、钻削、铰削、攻螺纹、套螺纹、刮削、研磨和装配。

钳工主要特点是：工具简单、操作灵活、劳动强度大、生产率低。但对制造形状复杂、精度要求高的量具、样板、模具和夹具等需要钳工。

### 第一节 划 线

根据图纸或实物的要求，在工件表面准确地划出加工界限的操作方法称为划线。

#### 一、划线的作用

划线可确定零件各加工表面的余量和各形体的位置，使零件在加工时有明确的标志，还可检查毛坯是否正确。有些不合格的毛坯可通过划线借料的方法得以补救。

93

#### 二、划线的工具

常用的划线基准工具有平板、方箱、带孔槽的直角铁、V形铁、千斤顶和分度头等。划线测量工具有钢尺、圆规、游标卡尺、高度游标卡尺、直角尺和万能角尺等；直接划线工具有划针、划针盘、样冲和手锤等。

#### 三、划线前的准备

为了使工件上划出的线条清晰可见，划线前应首先将毛坯件上的氧化铁皮、切屑和毛刺等清除干净；其次是涂色，铸铁和锻件毛坯表面涂石灰水，已加工表面涂蓝油，精密工件表面涂硫酸铜，最后再进行划线。

#### 四、划线基准的选择

##### 圆筒划线基准

在划线时用来确定零件各部位尺寸、几何形状及相对位置的依据称为划线基准。

##### 圆筒划线基准选择原则

划线基准的选择是否正确，将直接影响工件质量和生产率。所以，在划线前必须对图纸进行认真细致的分析，以选取正确的基准。划线的基准一般应遵循如下选择原则：

(1) 以两条对称中心线为基准。



(圆)以两条互相垂直的线(或互相平行的线)为基准。

(猴)以一个平面和一条中心线为基准。

## 五、划线方法

划线方法可分为平面划线和立体划线两种。

平面划线法与平面几何作图相同,根据零件的形状和尺寸要求在工件的一个平面上划出点和线作为工件的加工界限,有时也可借用样板进行划线。

立体划线法是在工件不同的面上划出各相关的线条。通过直接翻转工件,分别划出底面加工线、孔和螺孔的中心线、端面加工线和尺寸界限等。

## 第二节 銼 削

用手锤敲击銼子对金属进行切削加工的方法称为銼削。

銼削主要工作内容有去毛刺、切断材料、銼槽等。

銼削通常在台虎钳上进行,较大或重型工具则在现场进行。

### 一、銼削工具

銼削主要工具是手锤和銼子。

#### 手锤

手锤也称榔头。它由锤头、木柄和楔子组成。锤头用碳素钢制成,并经淬火处理。木柄用硬而不脆的木材制成,如檀木。手锤的规格用其质量大小表示,如园錘、园錘和园錘。

#### 圆錘子

錘子一般用碳素工具钢(裁錘)锻成,然后将切削部分刃磨成楔形,经热处理后使其硬度达到匀錘、錘。

錘子按不同加工内容可分为扁錘、窄錘和油槽錘。扁錘用来銼削平面、毛边和尖棱,以及切断材料;窄錘主要用来銼削沟槽(包括键槽);油槽錘用于銼油槽。

錘子的楔角对銼削工作影响很大。楔角愈小,錘子刃口愈锋利,但錘子强度较差,錘子刃口易崩裂;楔角愈大,錘子强度较高,但銼削时阻力大,不易切入工件。所以,在强度允许的前提下,楔角尽量小些。通常銼削硬材料时楔角为远錘、远錘较合适,銼削软材料时,楔角为狭錘、狭錘较合适。

### 二、銼削注意事项

第一,掌握正确的操作姿势和握錘方法。

第二,合理选择錘子的楔角。

第三,銼削时,将近尽头(远錘)左右时,要调头銼余下的部分,以免工件边缘崩裂。

第四,为防止銼削的碎屑飞溅伤人,銼削对面应装防护网,操作者要戴防护眼镜。



## 第三节 锯 削

用手锯或机械锯把金属材料分割开,或在工件上锯出沟槽和缝的方法称为锯削。

### 一、锯削工具

手锯由锯弓和锯条两部分组成。

锯弓用于安装和张紧锯条,有固定式和可调式两种。

锯条一般用渗碳软钢冷轧而成,经热处理淬硬。常用锯条长为  $1\text{m}$ 。

锯条按锯齿不同分为粗、中、细三种。锯齿的粗细是以锯条每  $25\text{mm}$  长度内的齿数来表示的。它们的齿数分别为  $14$ 、 $24$ 、 $32$ 。粗齿锯条用于锯割软钢、铝、紫铜和塑料等;中齿锯条用于锯割中等硬度钢、黄铜、厚壁管子、型钢和铸铁等;细齿锯条用于锯割薄板、薄壁管子和薄的型钢等。

### 二、锯削的注意事项

第一,根据工件的材料性质、厚度选择合适的锯条。

第二,安装锯条时锯齿必须向前,锯条安装在锯架上不能过紧或过松,其拉紧程度以工作时锯条不致弯曲为度。

第三,起锯是锯割的开始,为了防止打滑,可用左手拇指靠稳锯条侧面作引导,右手稳推手锯,行程要短,压力要小,速度要慢。待锯割出深为  $1\text{mm}$  的引导槽后即可正常锯削。

第四,工件即将锯断时压力要减小,以防锯条折断,从锯弓上弹出伤人。

第五,锯削钢件时,应在锯条和锯缝内加少许机油进行润滑和冷却,以减少锯齿的磨损。

95

## 第四节 锉 削

用锉刀切削金属表面的加工方法称为锉削。

锉削应用范围很广,可锉削平面、曲面、外表面、内孔、沟槽和各种复杂表面,还可以配键、做样板及在装配中修整工件,是钳工常用的重要操作之一。

### 一、锉削工具

锉刀用高碳工具钢(  $\text{Cr}12$  )制成,经热处理后切削部分硬度达  $60\text{HRC}$ 。

锉刀由锉身和锉柄两部分组成。锉身上分布着齿纹。锉刀的规格用锉刀的长度、断面形状和齿纹的粗细表示。

按锉刀断面形状分类

根据锉刀断面形状分为扁锉(板锉)、方锉、三角锉、半圆锉和圆锉等几种。

按锉刀齿纹的粗细分类



锉齿的粗细规格,依锉刀每  $25\text{mm}$  长度内的主锉纹条数可分为粗齿、中齿、细齿、双细齿和油光锉等几种。

合理选用锉刀对提高工作效率、保证工作质量、延长锉刀的使用寿命有很大的影响。锉刀断面的形状和长度,要根据工件表面的形状和工件的大小来选用。锉刀齿纹的粗细,根据工件材料的性质、加工质量、尺寸精度及表面粗糙度等综合考虑来选用。粗锉刀齿间距较大,不易堵塞,一般用于锉削铜、铝等金属及加工余量大、精度等级低和表面粗糙度大的工件,细锉刀用于锉削钢、铸铁,以及加工余量小、精度等级高、表面粗糙度小和要求高的工件,油光锉用于最后修光工件表面。

## 二、锉削的注意事项

第一,合理选择锉刀。

第二,不使用无柄或柄已开裂的锉刀,防止伤手。

第三,锉刀用后用刷刷去残屑,不能用嘴吹锉屑,也不能用手直接清除锉屑。

第四,锉刀不可沾水、沾油,以防锈蚀和锉削时打滑。

## 第五节 钻 削

用钻削工具在工件上进行钻孔,或将已有孔的直径扩大和提高其精度的加工过程称为钻削。

### 一、钻削刀具

麻花钻是钻孔时所用的刀具,一般用高速钢(  $\text{W18Cr4V}$  或  $\text{W6Mo5Cr4V2}$  )制成,淬火后硬度为  $62\text{HRC}$  左右。

麻花钻由柄部、颈部和工作部分组成,如图  $5-1$  所示。

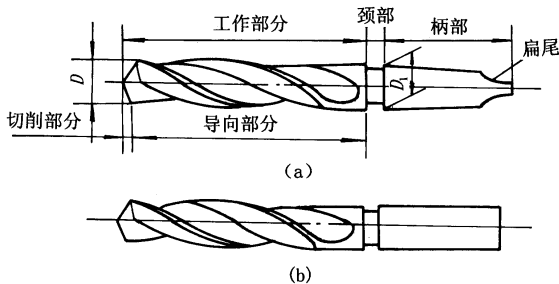


图  $5-1$  麻花钻构成  
(a) 锥柄式;(b) 柱柄式

柄部是钻头的夹持部分,用以定心和传递动力,有锥柄和柱柄两种。一般直径小于  $12\text{mm}$  的钻头做成柱柄,直径大于  $12\text{mm}$  的做成锥柄,也称莫氏锥柄(分为莫氏  $1\sim 6$  号六种规格)。

颈部是为磨制钻头时供砂轮退刀用的,钻头的规格、材料和商标一般也刻印在



颈部。

麻花钻的工作部分又分切削部分和导向部分。

导向部分用来保持麻花钻工作时的正确方向,在钻头重磨时,导向部分逐渐变为切削部分投入切削工作。导向部分有两条螺旋槽,作用是形成切削刃及容纳和排除切屑,并便于切削液沿着螺旋槽输入。导向部分的外缘有两条棱带,它的直径略有倒锥(每厘米长度内,直径内柄部减少0.005~0.01mm)。这样既可以引导钻头的切削方向,使它不致偏斜,又可以减少钻头和孔壁的摩擦。

麻花钻的切削部分如图1-10所示。它有两个刀瓣,每个刀瓣可看作是一把外圆车刀。两个螺旋槽表面就是前刀面,切屑沿其排出。切削部分顶端的两个曲面称为后刀面,它与工件的切削表面相对。钻头的棱带是与已加工表面相对的表面,称为副后刀面。前刀面和后刀面的交线称为主切削刃,两个后刀面的交线称为横刃,前刀面和副后刀面的交线称为副切削刃。标准麻花钻的切削部分由五刃(两条主切削刃、两条副切削刃和一条横刃)六面(两个前刀面、两个后刀面和两个副后刀面)组成。

## 二、钻削设备

钻削通常在钻床上进行,也可在车床、镗床和铣床上进行。常见的钻床有台式钻床、立式钻床和摇臂钻床三种。台钻小巧灵活,使用方便,主要用于各种小孔的加工,钻孔直径一般在10mm以下;立式钻床适应于加工中小型工件,摇臂钻床适用于一些笨重的大工件及多孔工件的加工,它广泛应用于单件和成批生产中。

97

## 三、钻削工艺特点

钻削时钻头是在半封闭的状态下进行切削的,转速高,切削量大,排屑又很困难。所以,钻削加工有如下几个特点:

第一,钻削容易产生“引偏”。所谓“引偏”是指加工时钻头弯曲而引起的孔径扩大、孔不圆或孔的轴线歪斜等。因此,常用预钻锥形定心坑和钻套等方法减少钻孔的引偏。

第二,排屑困难,容易拉毛和刮伤已加工表面,降低表面质量,甚至扭断钻头。

第三,切削热不易传散,刀具容易磨损,限制了切削速度和生产率的提高。

第四,加工精度低,尺寸精度只能达到IT11~IT13,表面粗糙度只能达到Ra12.5~Ra25。

## 四、钻削的应用

钻削主要用于孔的粗加工,加工精度和表面粗糙度都较低,要进一步提高孔的加工精度可用扩孔和铰孔。

扩孔是用扩孔钻对工件上已有的孔进行扩大加工,它可作为铰孔和磨孔的预加工,也可用作加工精度IT11~IT13,表面粗糙度为Ra12.5~Ra25的孔。

铰孔是用铰刀对工件上粗加工的孔进行加工的方法。铰孔可达精度为IT7~IT9,表面粗糙度达Ra1.6~Ra3.2。





## 五、钻削注意事项

- 第一, 钻孔前应先用中心钻(俗称洋冲)打出需钻孔的中心。
- 第二, 钻孔时应先钻一浅坑, 以判断是否对中, 待校正对中后, 再继续往下钻。
- 第三, 钻孔中应常退出钻头, 排除切屑, 防止切屑阻塞及钻头过热。
- 第四, 通孔将要钻通时, 应减少进给量, 以防钻头卡住或扭断钻头。
- 第五, 钢类工件钻孔时, 应向孔中加冷却润滑液。

## 第六节 铰 削

用铰刀从工件孔壁上切除微量金属层, 以提高其尺寸精度和降低表面粗糙度的方法, 称为铰孔。

因铰刀的刀齿数量多, 切削余量小, 故切削阻力小; 因导向性好, 故加工精度高, 一般可达  $\text{IT}7\sim\text{IT}8$ , 表面粗糙度可达  $\text{Ra}0.4\sim\text{Ra}0.8$ 。

### 一、铰削刀具

铰孔主要工具是铰刀。铰刀有圆柱形和圆锥形两种, 又可分为手铰刀和机铰刀两种。手铰刀为直柄, 工作部分较长。机铰刀多为锥柄, 可装在钻床或车床上铰孔。常用的铰刀有整体圆柱铰刀、可调节的手用铰刀、锥铰刀、螺旋槽手用铰刀和镶硬质合金刀片铰刀。

### 二、铰削注意事项

- 第一, 应掌握一般铰削余量, 粗铰为  $0.1\sim 0.2\text{mm}$ , 精铰为  $0.05\sim 0.1\text{mm}$ 。
- 第二, 工件要夹正, 铰刀轴线应与孔的轴线重合。
- 第三, 手铰时, 铰刀的旋转速度要均匀, 两手用力要平衡, 不得摇摆, 以免失控而产生喇叭口式使孔径扩大。
- 第四, 进给量要适当、均匀, 用力不要过猛。
- 第五, 铰钢类工件时, 要不断加冷却润滑液。
- 第六, 铰孔后孔径可能收缩或扩张, 经试铰后, 应按实际情况修正铰刀直径。

## 第七节 攻螺纹与套螺纹

用丝锥在工件孔中切削出内螺纹的加工方法称为攻螺纹; 用板牙在圆杆上切出外螺纹的加工方法称为套螺纹。

钳工加工的螺纹多为三角螺纹, 作为连接使用, 常用的有公制螺纹、英制螺纹、管螺纹和圆锥管螺纹四种。

公制螺纹也叫普通螺纹, 螺纹牙型角为  $60^\circ$ , 分粗牙普通螺纹和细牙普通螺纹两种。粗牙螺纹主要用于连接, 细牙螺纹由于螺距小、螺旋升角小、自锁性好, 除用于承受冲



击、振动或变载的连接外,还用于调整机构。普通螺纹应用广泛,具体规格有国家标准。普通螺纹直径与螺距可见表 1-1 所示。

表 1-1 普通螺纹直径与螺距 (单位: mm)

| 公称直径/mm |      |      | 螺距/mm |                    |
|---------|------|------|-------|--------------------|
| 第一系列    | 第二系列 | 第三系列 | 粗牙    | 细牙                 |
| 源       |      |      | 园苑    | 园缘                 |
| 缘       |      |      | 园愿    |                    |
| 远       |      | 苑    | 员     | 园苑缘园缘              |
| 愿       |      |      | 员缘    | 员园苑缘(园缘)           |
| 园       |      |      | 员缘    | 员园苑缘员园苑缘(园缘)       |
| 园       |      |      | 员缘    | 员缘员园苑缘员(园苑缘)(园缘)   |
|         | 员源   |      | 圆     | 员缘(员园苑缘)员(园苑缘)(园缘) |
|         |      | 员缘   |       | 员缘(员)              |
| 员远      |      |      | 圆     | 员缘员(园苑缘)(园缘)       |
| 园园      | 员愿   |      | 园缘    | 圆员缘员(园苑缘)(园缘)      |
| 园源      |      |      | 猿     | 圆员缘员(园苑缘)          |
|         |      | 园缘   |       | 圆员缘(员)             |
|         | 园苑   |      | 猿     | 圆员缘员(园苑缘)          |
| 猿园      |      |      | 猿缘    | (猿)圆员缘员(园苑缘)       |
| 猿远      |      |      | 源     | 猿圆员缘(员)            |
|         |      | 员园   |       | (猿)(圆)员缘           |
| 源园      | 源缘   |      | 源缘    | (源)猿圆员缘(员)         |
| 源愿      |      |      | 缘     | (源)猿圆员缘(员)         |
|         |      | 缘园   |       | (猿)(圆)员缘           |
|         |      | 缘缘   |       | (源)(猿)圆员缘          |
| 缘远      |      |      | 缘缘    | 源猿圆员缘(员)           |
|         | 源园   |      | (缘缘)  | 源猿圆员缘(员)           |
| 愿园      |      |      |       | 远源猿圆员缘(员)          |
| 愿园      | 愿缘   |      |       | 远源猿圆(员缘)           |

注:① 优先选用第一系列,其次是第二系列,第三系列尽可能不用。

② 括号内尺寸尽可能不用。

③ 园缘员园苑缘只用于火花塞。



英制螺纹的牙型角为  $55^\circ$  在我国只用于修配 ,新产品不使用。

管螺纹是用于管道连接的一种英制螺纹 ,管螺纹的公称直径为管子的内径。

圆锥管螺纹也是用于管道连接的一种英制螺纹 ,牙型角有  $55^\circ$  和  $60^\circ$  两种 ,锥度为  $1:16$ 。

## 一、攻螺纹

### 攻螺纹工具

攻螺纹工具由丝锥和铰杠(又称铰手)组成。

丝锥是加工内螺纹的工具 ,有机用丝锥和手用丝锥。机用丝锥通常是指高速钢磨牙丝锥。手用丝锥是碳素工具钢或合金工具钢的滚牙(或切牙)丝锥。

丝锥由工作部分和柄部组成。工作部分包括切削部分和标准部分。

丝锥沿轴向开有几条容屑槽 ,以形成切削部分锋利的切削刃 ,起主切削作用。丝锥校准部分有完整的牙型 ,用来修光和校准已切出的螺纹 ,并引导丝锥沿轴向前进。丝锥校准部分的大径、中径、小径均有  $1:50$  的倒锥 ,以减小与螺孔的摩擦 ,减小所攻螺孔的扩涨量。丝锥柄部有方榫 ,用以夹持。

为了减少切削力和延长使用寿命 ,一般将整个切削工作量分配给几支丝锥来担当。通常  $1:1.5 \sim 1:2$  的丝锥每组有两支 , $1:2$  以下及  $1:2$  以上的丝锥每组有三支 ,细牙螺纹丝锥为两支一组。分别称为头攻(初锥)、二攻(中锥)和三攻(底锥)。

铰杠是手工攻螺纹时用来夹持丝锥的工具。分普通铰杠和丁字铰杠两类。各类铰杠又可分为固定式和活络式两种。铰杠的方孔尺寸和柄的长度都有一定规格 ,使用时应按丝锥尺寸大小合理选用。

### 攻螺纹前底孔直径的确定

攻螺纹前底孔直径大小 ,按经验公式计算得出 ,可见式(1-1)。

$$d_{\text{钻}} = d - k \cdot P \quad (1-1)$$

式中： $d_{\text{钻}}$ ——攻螺纹钻螺纹底孔用钻头直径(毫米)；

$d$ ——螺纹大径(毫米)；

$P$ ——螺距(毫米)。

常用的粗牙、细牙普通螺纹攻螺纹底孔用钻头直径也可从表 1-1 中查得。

### 攻螺纹注意事项

第一 ,工件钻好孔并将孔口倒角 ,将工件夹持好 ,然后依次用头锥和二锥进行攻螺纹。

第二 ,在攻螺纹开始时 ,丝锥要放正(使丝锥轴线与孔轴线重合) ,当攻入  $1 \sim 2$  圈时 ,观察和校正丝锥位置 ,待丝锥攻入  $3 \sim 4$  圈后 ,就不需加轴向力而逐渐旋转切入。

第三 ,攻螺纹时 ,两手用力均衡 ,铰杠每转一周 ,就应退  $1 \sim 2$  圈 ,使切屑折断排出。

第四 ,攻不通孔的螺纹时 ,要经常退出丝锥 ,排出孔中切屑 ,以防丝锥折断。

第五 ,攻钢类工件时 ,应加冷却润滑液。



| 螺纹直径<br>阅 | 螺 距<br>孕               | 钻头直径 阅 <sub>钻</sub>  |                       | 螺纹直径<br>阅 | 螺 距<br>孕           | 钻头直径 阅 <sub>钻</sub>   |                       |
|-----------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
|           |                        | 铸铁、青<br>铜、黄铜         | 钢、可锻铸铁、<br>紫铜、层压板     |           |                    | 铸铁、青<br>铜、黄铜          | 钢、可锻铸铁、<br>紫铜、层压板     |
| 圆         | 园源<br>园源缘              | 员苑<br>员苑缘            | 员苑<br>员苑缘             | 员源        | 圆<br>员缘<br>员       | 员苑<br>员源<br>员源缘       | 员源<br>员源缘<br>员缘       |
| 园缘        | 园源缘<br>园源缘             | 园源缘<br>园源缘           | 园源缘<br>园源缘            | 员远        | 圆<br>员缘<br>员       | 员苑<br>员源<br>员源缘       | 员源<br>员源缘<br>员缘       |
| 猿         | 园缘<br>园源缘              | 园缘<br>园源缘            | 园缘<br>园源缘             |           |                    |                       |                       |
| 源         | 园苑<br>园缘               | 猿猿<br>猿缘             | 猿猿<br>猿缘              | 员愿        | 园缘<br>圆<br>员缘<br>员 | 员猿<br>员缘<br>员源<br>员源缘 | 员缘<br>员远<br>员源缘<br>员苑 |
| 缘         | 园愿<br>园缘               | 源员<br>源缘             | 源圆<br>源缘              |           |                    |                       |                       |
| 远         | 员<br>园源缘               | 源怨<br>缘圆             | 缘<br>缘圆               | 园圆        | 园缘<br>圆<br>员缘<br>员 | 员猿<br>员愿<br>员源<br>员源缘 | 员缘<br>员愿<br>员源缘<br>员怨 |
| 愿         | 员源缘<br>员<br>园源缘        | 远苑<br>远怨<br>苑员       | 远苑<br>苑圆<br>苑圆        |           |                    |                       |                       |
| 员圆        | 员缘<br>员源缘<br>员<br>园源缘  | 愿源<br>愿苑<br>愿怨<br>怨员 | 愿缘<br>愿苑<br>怨<br>怨圆   | 园源        | 园缘<br>圆<br>员缘<br>员 | 员猿<br>员愿<br>园源<br>园源缘 | 员缘<br>园圆<br>园源缘<br>园员 |
| 员圆        | 员源缘<br>员缘<br>员源缘<br>员源 | 员猿<br>员源<br>员苑<br>员源 | 员源<br>员源缘<br>员苑<br>员源 |           |                    |                       |                       |

## 二、套螺纹

### 员套螺纹工具

套螺纹工具由板牙和板牙架组成。

板牙是加工外螺纹的工具,它用合金工具钢或高速钢制作并经淬火处理。

板牙由切削部分、校准部分和排屑孔组成。它本身就像一个圆螺母,在它上面钻有几个排屑孔而形成刀刃。板牙两端都有切削部分,待一端磨损后,可换另一端使用。

板牙架是装夹板牙的工具。内孔放入板牙后,用螺钉紧固板牙。

### 园套螺纹前圆杆直径的确定

与攻螺纹一样,用板牙在工件上套螺纹时,先确定圆杆直径大小,按经验公式计算得出,可见式(员圆圆)。





第三,为了使切屑及时排出,扳牙也要经常倒转一下,以折断切屑。

第四,钢类工件上套螺纹要加冷却润滑液。

## 第八节 刮 削

用刮刀刮除工件表面薄层的加工方法称为刮削。

### 一、刮削原理

刮削是将工件与校准工具或与其相配合的工件之间涂上一层显示剂,经过对研,使工件上较高的部位显示出来,然后用刮刀进行微量刮削,刮去较高的金属层。刮削时,刮刀对工件还有推挤和压光的作用,这样反复地显示和刮削,就能使工件的加工精度达到预定的要求。

### 二、刮削特点

刮削具有切削量小、切削力小、产生热量小、装夹变形小等特点,不存在车、铣、刨等机械加工中不可避免的振动、热变形等因素,所以能获得很高的尺寸精度、形状和位置精度、接触精度、传动精度和很小的表面粗糙度值。

在刮削过程中,由于工件多次受到刮刀的推挤和压光作用,从而使工件表面组织变得比原来紧密,表面粗糙度值很小。

刮削后的工件表面,还能形成比较均匀的微浅凹坑,可创造良好的存油条件,改善相对运动零件之间的润滑情况。

因此,机床导轨与滑行面、滑动轴承接触面、工具量具接触面及密封表面等,在机械加工之后,通常要用刮削方法进行加工。

### 三、刮削种类

刮削可分为平面刮削和曲面刮削两种。

#### 1. 平面刮削

平面刮削又分单个平面刮削(如平板、工作台面)和组合平面刮削(如V形导轨面和燕尾槽面)两种。

平面刮削一般要经过粗刮、细刮、精刮和刮花等工序。

(1) 粗刮。它是用粗刮刀在刮削面上均匀地铲去一层较厚的金属,可用连续推铲的方法,刀迹要连成长片。粗刮能很快地除去锈斑或过多余量。当粗刮到每100mm<sup>2</sup>的方框内有10~15个研点时,即可转入细刮。

(2) 细刮。它是用细刮刀在刮削面上刮去稀疏的大块研点(俗称破点),目的是进一步改善不平现象。细刮要达到整个刮削面上15~20个研点/100mm<sup>2</sup>。

(3) 精刮。它是用精刮刀更仔细地刮削研点(俗称摘点)。目的是增加研点,改善表面质量,使刮削面符合精度要求,使研点达到20~25个/100mm<sup>2</sup>以上。

(4) 刮花。它是在刮削面或机器外观表面上用刮刀刮出装饰性花纹。目的是使刮



削面美观,并使滑动件之间形成良好的润滑条件。

#### 圆曲面刮削

曲面刮削有内圆柱面、内圆锥面和球面刮削等。

曲面刮削原理同平面刮削一样,只是曲面刮削使用的刀具和掌握刀具的方法与平面刮削有所不同。

刮削曲面时,应根据其不同形状和不同的刮削要求选择合适的刮刀和显点方法。一般是以标准轴(也称工艺轴)或与其配合的轴作为曲面研点的标准工具。研合时将显示剂涂在轴的圆柱面上,用轴在内曲面中旋转显示研点,然后根据研点进行刮削。

### 四、刮削工具

#### 刮削刮刀

刮刀是刮削的主要工具。刮削时,由于工件的形状不同,因此要求刮刀有不同的形式,一般分为平面刮刀和曲面刮刀两类。

(员)平面刮刀。它用于刮削平面和刮花,一般多采用优质钢制成。当工件表面较硬时,也可以焊接高速钢或硬质合金刀头。常用的平面刮刀有直头刮刀和弯头刮刀两种。

(圆)曲面刮刀。它用于刮削内曲面,常用的有三角刮刀、蛇头刮刀和柳叶刮刀。

#### 圆校准工具

校准工具是用来推磨研点和检查被刮面准确性的工具,也叫研具。常用的有校准平板(通用平板)、校准直尺、角度直尺,以及根据被刮面形状设计制造的专用校准型板。

#### 圆显示剂

工件和校准工具对研时,所加的涂料叫显示剂,其作用是显示工件误差的位置和大小。

目前,常用的显示剂有红丹粉和蓝油两种。红丹粉由氧化铅或氧化铁用机油调合而成,多用于刮削黑色金属。蓝油是由蓝粉和蓖麻油及适量机油调和而成的,呈深蓝色,其研点小而清楚,多用于精密工件和有色金属及其合金的工件。

### 五、刮削注意事项

第一,刮削前,工件的锐边和锐角必须去除,防止伤手。

第二,刮削边缘处,不能用力过猛,避免刮刀打滑发生事故。

第三,刮刀用毕,最好用纱布包裹,防止划破手。

## 第九节 研 磨

用研磨工具(简称研具)和研磨剂,从工件上研去一层极薄表面层的精加工方法称为研磨。



## 一、研磨原理

研磨时,研具与工件之间置以研磨剂,研具在一定压力下与工件作复杂的相对运动,通过研磨剂的机械和化学作用对工件产生微量的切削作用,以减小表面粗糙度,提高尺寸精度和改进工件的几何形状。

研磨是微量切削,每研磨一遍能磨去的金属层不超过  $0.001\text{mm}$ ,一般研磨余量在  $0.01\text{mm}$ ~ $0.05\text{mm}$  之间。

## 二、研具和研磨材料

研具是研磨时决定工作表面几何形状的标准工具,一般有平板、圆盘、圆柱体和圆锥体几种。为了使磨料嵌入研具表面,研具的材料要比工件材料稍软。常用的研具材料有灰口铸铁、球墨铸铁、低碳钢和铜。

研磨剂是由磨料和研磨液混合而成的一种混合剂。磨料的种类很多,常用的有氧化物、碳化物和金钢石三类。研磨液起调和磨料、冷却、润滑和化学作用。常用的研磨液有机油、煤油和汽油。一般工厂常用成品研磨膏,使用时加油稀释即可。

## 三、研磨注意事项

第一,研磨前,应先清洁工件表面,然后适当均匀地涂上研磨剂。

第二,研磨时受压要均匀,压力大小应适中,速度不应太快,否则会引起工件发热,降低研磨质量。

第三,精密配合偶件,如柱塞泵的柱塞与泵体、阀心和阀套,往往要经过两个配合体的配研,才能达到要求。

105

## 复习思考题

钳工主要工作内容有哪些?

什么是划线?它有何作用?





## 主要参考文献

- [ 员] 沈鸿 机械工程师手册第三卷( 机械工程材料) 北京: 机械工业出版社, 员圆
- [ 圆] 杨晓林 金属材料与热处理 济南: 山东新闻出版社, 员愿
- [ 猿] 邓文英 金属工艺学 北京: 高等教育出版社, 员圆
- [ 源] 陈国桢 造型工手册 北京: 中国农业机械出版社, 员缘
- [ 缘] 张志文 锻造工艺学 北京: 机械工业出版社, 员猿
- [ 远] 王孝培 冲压设计资料 北京: 机械工业出版社, 员猿
- [ 苑] 刘云龙 焊工技师手册 北京: 机械工业出版社, 员愿
- [ 愿] 殷树言, 张九海 气体保护焊工艺 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 员愿

