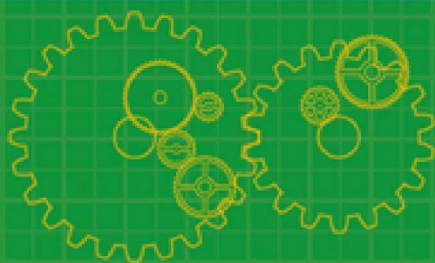


# 工程训练教程



主 编 ◎ 曹国强

# 工程训练教程

主 编 曹国强  
参 编 陈 磊 何家葵 贺声阳  
姜 阳 梁 峰 刘洋洋  
栾美娟 马宇超 武国瑞  
项 坤 闫 周 杨 兵  
杨 静 杨 旭 张希洋



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书是在参考教育部课程指导委员会制定的“普通高等学校机械制造业工程训练教学基本要求”,总结近年来沈阳航空航天大学工程训练教学改革经验的基础上,结合应用型工程技术人才的实践教学特点编写的。全书主要包括工程训练的锻造技术、铸造技术、焊接技术、钢的热处理、车削加工、普通铣削实训、刨削实训、普通磨削实训、钳工技术、计算机辅助制造、数控铣、数控车削加工、电火花线切割加工、3D 打印、激光切割共 15 章。本书取材联系实际,强调工程训练的实践性,重点突出,结构紧凑,图文并茂,通俗易懂,有利于培养学生的工程实践能力。

本书可作为高等院校机械类、机械类相关专业学生的教材,也可作为企业的培训教材和有关工程技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

工程训练教程 / 曹国强主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2019.2

ISBN 978-7-5682-6725-0

I. ①工… II. ①曹… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 028515 号

---

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 12.25

字 数 / 273 千字

版 次 / 2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷

定 价 / 50.00 元

责任编辑 / 李志敏

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 黄拾三

责任印制 / 李志强

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

# 前言

## Preface

工程训练是培养应用型人才、帮助学生树立工程意识的重要课程之一。随着新技术的发展和知识的不断更新,人才培养对实训课程也提出了新的要求。《工程训练教程》是为适应高等院校工程教育和实训实习的要求并结合当代大学生的特点,根据多年来在工程实践和教学中累积的经验编著而成。

本书主要包括锻造、铸造、焊接、热处理、车工、铣工、刨工、磨工、钳工、计算机辅助制造、数控铣削、数控车削、电火花线切割加工、3D 打印技术及激光切割加工等 15 个章节。

本书的编写体现了以下特点:

(1)重“操作”,讲“实用”。教材将一些重要的知识点设定在实例中,通过学习和操作,使学生动手动脑,提高了学生的综合素质和实践能力,在实践中不断提高学生的创新能力。

(2)文字简练,图文并茂。教材文字简明扼要、通俗易懂,用朴实的语言和图形表述抽象的机械加工原理和工艺方法,比较适合初学者阅读使用。

本书由曹国强担任主编并统稿全书,具体完成情况如下:杨兵、陈磊编写第 1 章,杨旭、杨兵编写第 2 章,武国瑞编写第 3 章,何家葵、杨静编写第 4 章,闫周编写第 5 章、第 9 章,陈磊编写第 6 章,梁峰、曹国强编写第 7 章、第 8 章,张希洋、栾美娟、项坤编写第 10 章,项坤、曹国强编写第 11 章,姜阳、张希洋编写第 12 章,贺声阳编写第 13 章,马宇超、杨静、曹国强编写第 14 章,刘洋洋、杨静、曹国强编写第 15 章。

在本书的编写过程中,赵卫强完成了大量的前期准备工作,参编人员查阅了国内外同行的教材、资料和文献,参考了部分知名网站的部分资料,编者也得到了许多校内外专家和同行的支持与帮助,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,编写时间较紧,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## Contents

|                     |      |
|---------------------|------|
| 第 1 章 锻造技术          | (1)  |
| 1.1 锻造概述            | (1)  |
| 1.2 坯料的加热与锻件的冷却     | (2)  |
| 1.3 自由锻造            | (3)  |
| 1.4 模锻              | (7)  |
| 1.5 操作实训            | (7)  |
| 1.6 锻造安全操作规程        | (10) |
| 第 2 章 铸造技术          | (12) |
| 2.1 铸造概述            | (12) |
| 2.2 砂型铸造基础知识        | (13) |
| 2.3 熔炼和浇注           | (15) |
| 2.4 落砂、清理、检验与常见缺陷分析 | (16) |
| 2.5 铸型的组成和浇、冒口系统    | (16) |
| 2.6 砂型铸造基础技能实训      | (18) |
| 2.7 铸造安全操作规程        | (21) |
| 第 3 章 焊接技术          | (22) |
| 3.1 焊接的特征           | (22) |
| 3.2 焊接的分类           | (23) |
| 3.3 焊接技能操作          | (28) |
| 3.4 焊接安全操作规程        | (32) |
| 第 4 章 钢的热处理         | (33) |
| 4.1 热处理概述           | (33) |
| 4.2 热处理工艺           | (33) |
| 4.3 热处理工序位置安排       | (36) |
| 4.4 热处理炉简介          | (37) |
| 4.5 硬度计的使用          | (37) |
| 4.6 实训——钢的普通热处理     | (40) |

|             |                              |       |
|-------------|------------------------------|-------|
| 4.7         | 热处理安全操作规程.....               | (41)  |
| <b>第5章</b>  | <b>车削加工</b> .....            | (42)  |
| 5.1         | 车削加工概述.....                  | (42)  |
| 5.2         | 基本知识.....                    | (43)  |
| 5.3         | 基本操作.....                    | (48)  |
| 5.4         | 典型零件车削工艺示例.....              | (66)  |
| 5.5         | 车床安全操作规程.....                | (69)  |
| <b>第6章</b>  | <b>普通铣削实训</b> .....          | (70)  |
| 6.1         | 铣削加工概述.....                  | (70)  |
| 6.2         | 铣削加工的基本知识.....               | (70)  |
| 6.3         | 操作实训.....                    | (73)  |
| 6.4         | 铣工安全操作规程.....                | (79)  |
| <b>第7章</b>  | <b>刨削实训</b> .....            | (80)  |
| 7.1         | 刨削加工概述.....                  | (80)  |
| 7.2         | 刨削加工的基本知识.....               | (80)  |
| 7.3         | 刨削安全操作规程.....                | (82)  |
| <b>第8章</b>  | <b>普通磨削实训</b> .....          | (84)  |
| 8.1         | 磨削加工概述.....                  | (84)  |
| 8.2         | 磨削加工的基本知识.....               | (84)  |
| 8.3         | 磨削安全操作规程.....                | (88)  |
| <b>第9章</b>  | <b>钳工技术</b> .....            | (89)  |
| 9.1         | 钳工概述.....                    | (89)  |
| 9.2         | 划线.....                      | (91)  |
| 9.3         | 锯削.....                      | (98)  |
| 9.4         | 锉削 .....                     | (103) |
| 9.5         | 孔加工 .....                    | (110) |
| 9.6         | 螺纹加工 .....                   | (118) |
| 9.7         | 刮削 .....                     | (122) |
| 9.8         | 装配与拆装 .....                  | (124) |
| 9.9         | 钳工加工实例 .....                 | (126) |
| <b>第10章</b> | <b>计算机辅助制造</b> .....         | (129) |
| 10.1        | CAXA 制造工程师概述 .....           | (129) |
| 10.2        | CAXA 制造工程师的基本学习内容 .....      | (129) |
| 10.3        | 基于 CAD/CAM 的数控自动编程的基本步骤..... | (130) |
| 10.4        | 典型零件的造型与加工实例.....            | (131) |
| <b>第11章</b> | <b>数控铣</b> .....             | (138) |
| 11.1        | 数控铣概述.....                   | (138) |

|                   |                       |              |
|-------------------|-----------------------|--------------|
| 11.2              | 实操内容 .....            | (140)        |
| 11.3              | 典型零件数控铣加工 .....       | (144)        |
| 11.4              | 数控铣安全操作规程 .....       | (146)        |
| <b>第 12 章</b>     | <b>数控车削加工 .....</b>   | <b>(148)</b> |
| 12.1              | 数控车削加工概述 .....        | (148)        |
| 12.2              | 典型零件的工艺分析 .....       | (150)        |
| 12.3              | 基本操作 .....            | (154)        |
| 12.4              | 数控车安全操作规程 .....       | (157)        |
| <b>第 13 章</b>     | <b>电火花线切割加工 .....</b> | <b>(159)</b> |
| 13.1              | 电火花线切割加工的特点与应用 .....  | (159)        |
| 13.2              | 电火花线切割加工放电基本原理 .....  | (160)        |
| 13.3              | 电火花线切割加工设备 .....      | (161)        |
| 13.4              | 3B 代码 .....           | (162)        |
| 13.5              | 电火花线切割操作步骤 .....      | (164)        |
| 13.6              | 线切割安全操作规程 .....       | (165)        |
| <b>第 14 章</b>     | <b>3D 打印 .....</b>    | <b>(166)</b> |
| 14.1              | 3D 打印概述 .....         | (166)        |
| 14.2              | 3D 打印机结构及参数 .....     | (170)        |
| 14.3              | UP 桌面三维打印机操作流程 .....  | (172)        |
| <b>第 15 章</b>     | <b>激光切割 .....</b>     | <b>(176)</b> |
| 15.1              | 激光切割概述 .....          | (176)        |
| 15.2              | 切割工艺 .....            | (176)        |
| 15.3              | 切割特性及应用对比 .....       | (177)        |
| 15.4              | 激光切割机系统简介 .....       | (179)        |
| 15.5              | 常用软件 .....            | (182)        |
| 15.6              | 金属激光切割安全操作规程 .....    | (186)        |
| <b>参考文献 .....</b> |                       | <b>(187)</b> |



# 第 1 章

## 锻造技术



### 1.1 锻造概述

锻造是指对金属坯料施加外力,使坯料产生塑性变形,改变形状、尺寸和力学性能,从而获得锻件的成形方法。

锻造技术在中国有着悠久的历史。我国的古人们为了制造工具,利用人力、畜力转动轮子来举起重锤锻打工件,这是最古老的锻压机械。14 世纪出现了水力落锤。15—16 世纪航海业蓬勃发展,为了锻造铁锚等航海工具,出现了水力驱动的杠杆锤。18 世纪,英国工程师内史密斯创制了第一台蒸汽锤,开始了蒸汽动力锻压机械的时代。20 世纪初,锻造才以机械化的方式出现在工业生产中,并占有重要的地位。

锻造技术在机械制造、汽车、仪表、造船、冶金和国防等工业中应用广泛。以汽车为例,按质量计算,汽车中 70% 的零件都是由锻压加工制造的。锻造常用于制造主轴、连杆、曲轴、齿轮、高压法兰、容器、汽车外壳、电机硅钢片和弹壳等重要零件的毛坯。

锻造加工能消除金属在冶炼过程中产生的铸态疏松等缺陷,优化微观组织结构。同时由于保存了完整的金属流线,因此锻件的机械性能一般优于同类材料的铸件。锻压加工有以下特点。

- (1) 能改善金属组织、提高金属力学性能。
- (2) 金属材料利用率高、加工精度高。
- (3) 生产效率高。

根据采用的设备、工具和成形方式的不同,常用锻造方法可分为如图 1-1 所示的几个大类。

锻造的生产工艺过程一般为:下料→坯料加热→锻造→冷却→热处理→清理→锻后检查。在实际生产中,有时为了满足不同强度和表面粗糙度的锻件生产要求,根据毛坯锻打时的温度,锻造还可分为冷锻、温锻和等温锻等不同的锻造方法。

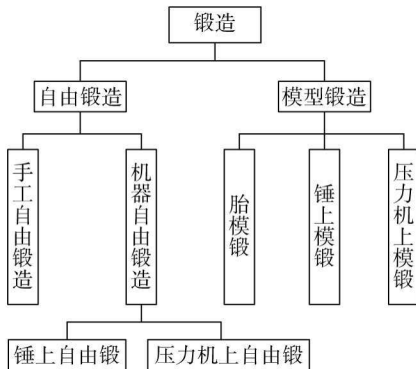


图 1-1 锻造方法分类

## 1.2 坯料的加热与锻件的冷却

### 1.2.1 锻造温度范围的确定

在锻造生产中,金属坯料锻前加热的目的为:提高金属的可塑性,降低变形抗力。即增加金属的可锻性,从而使金属易于流动成形,并使锻件获得良好的锻后组织和力学性能。锻造温度范围是指锻件由始锻温度到终锻温度的间隔。各种金属材料在锻造时所允许的最高加热温度,叫作该材料的始锻温度。所允许的最低锻造温度,也就是停止锻造的温度,叫作该材料的终锻温度。锻造温度范围的确定原则:保证金属坯料在锻造过程中具有良好的锻造性能,同时锻造温度范围应尽量放宽,以便有较充裕的时间进行锻造成形且减少加热次数,降低材料消耗,提高生产率。

在实际生产中,锻坯的加热温度可以通过仪表来测定,也可以通过观察被加热锻坯的颜色(火色)来判断。碳钢火色与其对应的温度关系见表 1-1。

表 1-1 碳钢坯料的火色与温度的关系

| 加热温度/℃ | 1 300 以上 | 1 200 | 1 100 | 1 000 | 900 | 800 | 700 | 600 以下 |
|--------|----------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|--------|
| 火色     | 亮白       | 淡黄    | 橙黄    | 橘黄    | 淡红  | 樱红  | 暗红  | 黑色     |

### 1.2.2 加热方法和加热设备

金属坯料的加热方法,按照所采用的热源不同,可以分为燃料加热和电加热两大类。在锻造实训室中,常配备高温箱式电阻炉进行坯料的加热,其结构如图 1-2 所示。

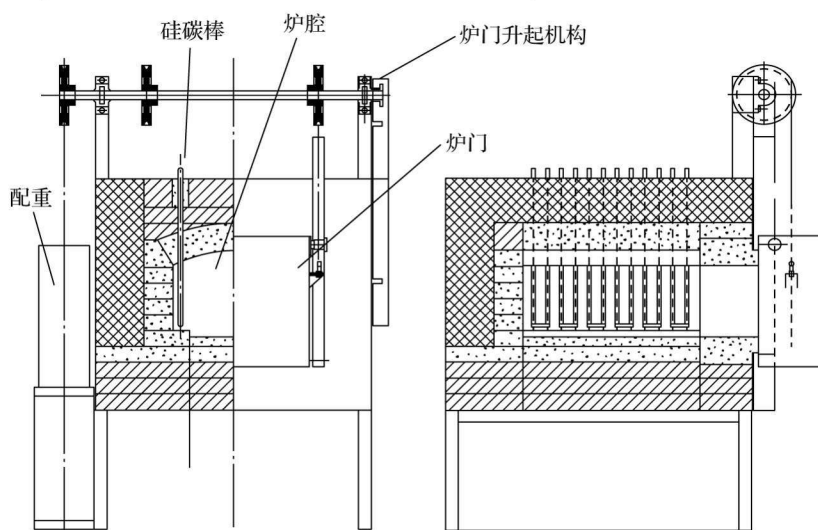


图 1-2 高温箱式电阻炉结构示意图

### 1.2.3 坯料加热常见的缺陷与防止措施

#### 1. 氧化

金属在加热的过程中,金属表层的碳与炉气中的氧化性物质(如  $O_2$ 、 $CO_2$  和水蒸气)发生反应,生成氧化皮的现象,称为氧化或烧损。为了减少氧化皮的生成,一般对加热工艺采取以下措施。

- (1) 在保证加热质量的前提下,应尽量采用快速加热,缩短加热时间。
- (2) 在燃料完全燃烧的情况下,应严格控制送风量,避免氧气过剩而产生过多的氧化皮。
- (3) 注意控制燃料中的水分并防止冷空气进入炉膛。

#### 2. 脱碳

金属材料在加热过程中,其表层的碳和炉气中的某些气体发生化学反应,使金属表面的含碳量降低,这种现象称为脱碳。一般情况下,减少氧化的措施常可用来减少脱碳,如快速加热的方法。可以采取相应的措施同时进行防氧化和脱碳。

#### 3. 过热

金属由于加热温度过高,加热时间过长,引起晶粒迅速长大变粗的现象称为过热。过热与加热温度、加热时间有关,并且主要取决于前者。因此,为避免锻件产生过热组织,必须严格控制金属坯料的加热温度,尽量缩短金属在高温下的停留时间。

#### 4. 过烧

当金属加热到接近其熔化温度(过热温度),其显微组织除晶粒粗大外,晶粒边界发生氧化、熔化的现象称为过烧。因此,为了减少和防止过烧,必须严格遵守加热规范,即严格控制加热温度和保温时间。

#### 5. 裂纹

锻造大型锻件或导热性较差的金属,尤其是高碳钢或合金钢坯料时,若装炉温度过高或加热速度过快,金属表面和芯部之间将产生较高的温差。这就会导致在锻造时由于内应力过大,从而产生内部裂纹。因此,为防止产生裂纹,应严格制定和遵守正确的加热规范,加热时防止装炉温度过高和加热速度过快,一般可采取预热措施。

### 1.2.4 锻件的冷却

锻后冷却对于锻件质量有着重要的影响。如果冷却不当,就可能使锻件产生表面硬化或变形,造成后续加工困难,甚至产生裂纹使锻件报废。因此,为了使锻件各部分的冷却收缩比较均匀,避免上述现象的出现,必须选用正确的冷却方式。

目前,常用的冷却方式有空冷、坑冷和炉冷三类。

## 1.3 自由锻造

自由锻造(自由锻)是指金属在通用工具或直接在锻造设备的上、下砧之间进行塑性变

形,从而获得所需形状、尺寸和内部质量的一种锻造方法。

通常,自由锻是指手工自由锻和机器自由锻两种。手工自由锻主要依靠人力,利用简单的工具对坯料进行锻打,从而改变坯料的形状和尺寸获得所需锻件。这种方法主要用于生产小型工具或用具。机器自由锻指的是主要依靠专用的自由锻设备和专用工具对坯料进行锻打,改变坯料的形状和尺寸,从而获得所需锻件。

自由锻造所用的工具简单,通用性强且灵活性大,适用单件和小批锻件。

### 1.3.1 自由锻造的工具与设备

手工自由锻的工具按照用途可以分为支持工具(支持坯料承受打击或者安装其他用具)、夹持工具(夹持、翻转和移动坯料)、衬垫工具(放在支持工具和锻打工具之间与坯料直接接触使之变形成所需形状)和锻打工具(对坯料产生打击力使之变形)。比较常见的几种手工自由锻工具有双角砧、冲头、漏盘、剁刀、压铁、棒子、大锤、圆头钳子和方头钳子等,如图 1-3 所示。

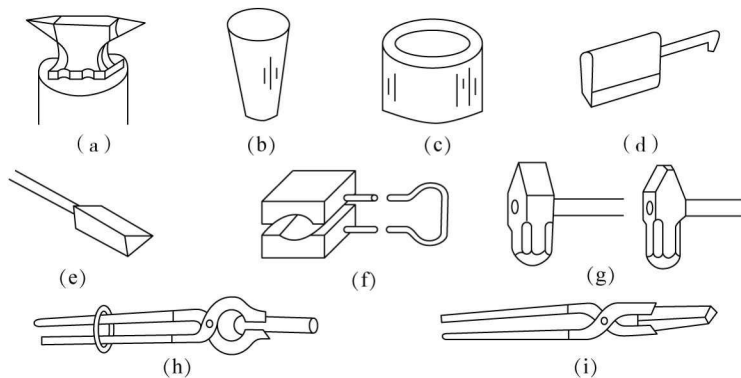


图 1-3 手工自由锻常用工具

(a) 双角砧; (b) 冲头; (c) 漏盘; (d) 剁刀;

(e) 压铁; (f) 棒子; (g) 大锤; (h) 圆头钳子; (i) 方头钳子

常用的自由锻造设备按其工作原理可分为两类:一类是利用冲击力使金属材料产生塑性变形,如空气锤、蒸汽—空气锤,多适用于中、小型锻件;另一类是利用静压力使金属材料产生塑性变形,如水压机,多适用于大型锻件。一般来说,空气锤是生产中小型锻件的通用锻造设备,在实际生产中应用最为广泛,实训室也多配备空气锤作为自由锻造实训项目的实训器材。空气锤的外形结构如图 1-4 所示,其工作原理见操作实训的空气锤操作实训部分。

### 1.3.2 自由锻造基本工序

自由锻造时,锻件的成形是通过一系列的工序来实现的。自由锻造中可进行的工序有

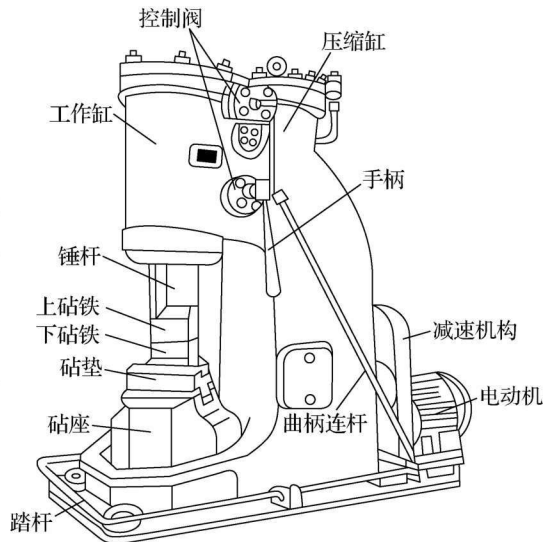


图 1-4 空气锤外形结构示意图

很多,根据变形性质和程度的不同,可分为基本工序、辅助工序和精整工序三类。基本工序是实现锻件基本成形的工序,变形量较大,如镦粗、拔长、冲孔、弯曲、错移和扭转等,它是锻件成形过程中必需的变形工序;辅助工序是为了方便基本工序的操作而预先进行少量变形的工序,如压肩、压钳口和分段等;精整工序是对锻件的尺寸、形状及其表面实施修整的工序,目的是为了减少锻件表面缺陷,如校正、滚圆、平整等。下面介绍自由锻造的基本工序。

### 1. 镦粗

使坯料高度减小,横截面增大的锻造工序叫作镦粗。镦粗工序是自由锻中最常见的工序之一,主要用来锻制齿轮坯、法兰盘等锻件,而在锻造环类或者套筒类等空心锻件时,镦粗可作为冲孔前的预备工序。

镦粗有完全镦粗和局部镦粗两种,如图 1-5 所示。

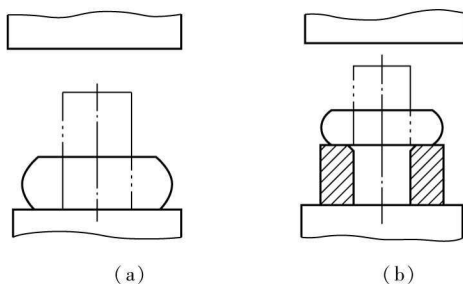


图 1-5 镦粗

(a) 完全镦粗; (b) 局部镦粗

### 2. 拔长

使坯料长度增加、横截面减小的锻造工序叫作拔长。多用来制造具有长轴线的锻件,如光轴、台阶轴、曲轴、拉杆和连杆等。

在拔长过程中,坯料沿砧铁宽度方向送进,每次送进量  $L$  不宜过大,应为砧铁宽度  $B$  的  $0.3 \sim 0.7$  倍,如图 1-6(a) 所示;送进量大,金属主要向宽度方向流动,展宽多,延长小,拔长效率降低,如图 1-6(b) 所示;送进量小,容易产生夹层,如图 1-6(c) 所示。

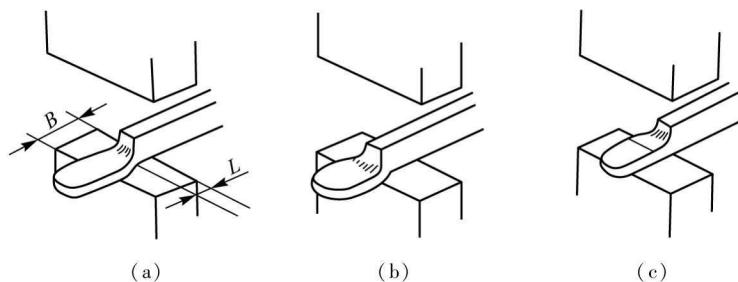


图 1-6 拔长时锻件的送进方向和送进量

(a) 送进合适; (b) 送进太多; (c) 送进太少

### 3. 冲孔

利用冲头,在金属毛坯上冲出透孔(通孔)或者盲孔(不通孔)的操作工序称为冲孔。冲孔主要用于制造空心工件,如齿轮坯、圆环、套筒等,有时也用于去除铸锭中心质量较差的部分,以便锻制更高质量的工件。

根据操作的方式不同,冲孔可以分为双面冲孔和单面冲孔,如图 1-7 所示。双面冲孔是指先从坯料的一面将孔冲至坯料厚度的  $2/3$ ,然后取出冲头,翻转坯料,从反面将孔冲穿,如图 1-7(a) 所示;单面冲孔是指用漏盘等工具将坯料垫起,冲头大端对准孔的位置,不断击打冲子直至将孔击穿,如图 1-7(b) 所示。

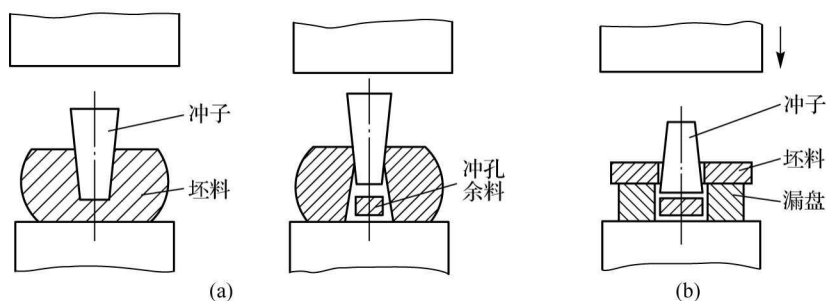


图 1-7 冲孔

(a) 双面冲孔 ; (b) 单面冲孔

#### 4. 弯曲

将坯料弯成一定角度和形状的操作工序叫作弯曲,如图 1-8 所示。弯曲主要用于制造起重吊钩、角尺、弯曲轴杆和车刀等形状弯曲的锻件。因为人在坯料弯曲的过程中,弯曲部分的横截面积会减小,长度略有增加,所以在确定坯料的形状和尺寸时,应选择横截面比锻件稍大的坯料(增大 10% ~ 15%)。

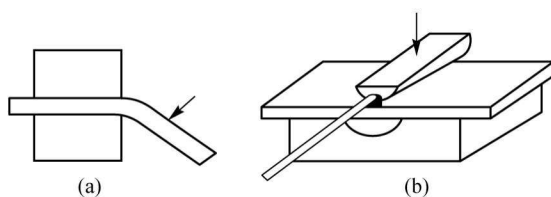


图 1-8 弯曲

(a) 角度弯曲; (b) 成形弯曲

#### 5. 错移

将坯料的一部分相对另一部分错开一定距离,并且使两部分仍保持相互平行的操作工序叫作错移。错移可分为一个平面内错移和两个平面内错移两种错移方法,如图 1-9 所示。错移主要用于锻制曲轴类的零件。

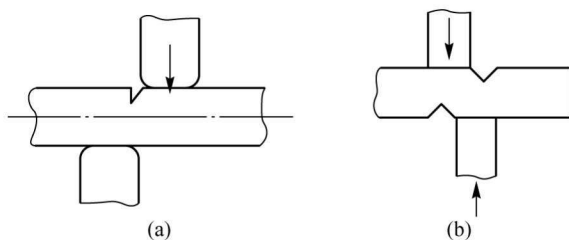


图 1-9 错移

(a) 一个平面内错移; (b) 两个平面内错移

错移前应先在需要错移的部位进行压肩,如图 1-10 所示。

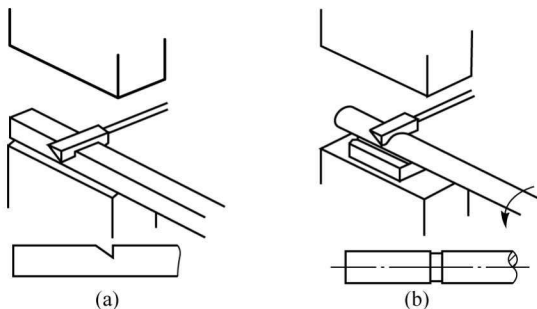


图 1-10 压肩

(a) 方料压肩; (b) 圆料压肩

## 6. 扭转

将坯料的一部分相对另一部分绕其轴线旋转一定角度的操作工序叫作扭转,如图 1-11 所示。扭转主要用于锻制曲轴、麻花钻、地脚螺栓等锻件。

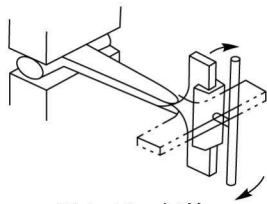


图 1-11 扭转

## 1.4 模锻

模锻是把热塑性金属坯料放在具有一定形状和尺寸的锻模模膛内承受冲击力或静压力产生塑性变形从而获得锻件的加工方法。按所用设备的不同,模锻可以分为胎模锻、锤上模锻和压力机上模锻三种。

模锻与自由锻相比,其生产效率能提高几倍甚至几十倍。模锻生产出的锻件形状复杂程度高,机械加工余量小,尺寸更加精确,锻件纤维合理,力学性能好。但模锻用锻模加工成本高,因此只适用于大批量生产。由于模锻时工件是整体变形,受设备能力限制,一般仅用于锻造 450 kg 以下的中小型锻件。

### 1.4.1 胎模锻

在自由锻设备上使用可移动的模具生产模锻件的锻造方法叫作胎模锻。胎模锻是在自由锻的基础上发展起来的,因此它是介于自由锻和模锻之间的一种锻造方法,也就同时具有了自由锻和模锻的某些特征。

胎模锻所用的模具叫作胎模。胎模不是固定在锤头或砧座上的,而是单独的、可移动的模具,只是当使用时才放上去,用完后取下来,然后按照坯料的变形顺序放上另一个胎模继续锻造,直至完成整个锻造流程。

### 1.4.2 锤上模锻

利用锻锤驱动锻模完成模锻件成形的过程称为锤上模锻。锤上模锻所用设备主要是蒸汽—空气模锻锤,锤锻模由上、下两半模块组成,锻造时锻模的上、下模分别借助燕尾、楔铁和键块固定在模锻锤的锤头、砧座的燕尾槽中。燕尾的作用主要是使模块相对锤头和砧座不发生垂直方向的移动;楔铁和键块的作用是使模块左右和前后方向不能移动。

### 1.4.3 压力机上模锻

压力机上模锻根据锻造设备的不同可以分为很多种,比较常见的有机械压力机上模锻、螺旋压力机上模锻、曲柄压力机上模锻、平锻机上模锻和液压机上模锻等。不同类型的压力机结构和工作原理各不相同,锻制的锻件种类也不尽相同,而实训室多配备液压机进行模锻实训。

## 1.5 操作实训

### 1.5.1 空气锤的操作实训

空气锤的工作原理如图 1-12 所示。空气锤由电动机驱动,通过减速机构和曲柄连杆机构使

压缩活塞在压缩气缸中做上下往复运动。当压缩活塞向下运动时,压缩气缸下部的空气被压缩,经下旋阀进入工作气缸下部,即工作活塞下部,从而使工作活塞向上运动。与此同时,工作气缸上部的空气经上旋阀进入压缩气缸上部。反之,当压缩活塞向上运动时,压缩气缸上部的空气被压缩,经上旋阀进入工作气缸上部,即工作活塞上部,从而使工作活塞向下运动并进行锻击。

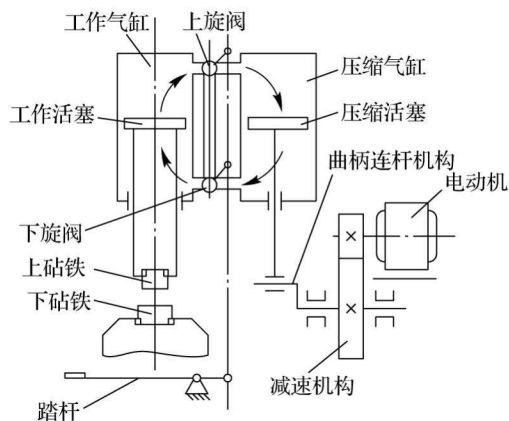


图 1-12 空气锤的工作原理

实际操作之前,先由指导教师演示空气锤的使用方法和能够实现的动作,然后以班级为单位,在指导教师的指挥下逐一进行空气锤的操作。接通电源后,通过手柄(或踏杆)操纵上、下旋阀,能使空气锤实现以下四个动作。

(1) 提锤:手柄呈图 1-13(a)所示工作位置,上旋阀通入气体,下旋阀单向通工作气缸的下部,使落下部分提起并且停留在某一高度,以便锻前放置工件或工具。

(2) 连续打击:手柄呈图 1-13(b)所示工作位置,上、下旋阀均与压缩气缸和工作气缸联通,压缩空气交替进入工作气缸的上部和下部,使工作活塞运动,打击锻件。

(3) 压锤:手柄呈图 1-13(c)所示工作位置,下旋阀通入气体,上旋阀单向通工作气缸的上部,使落下部分落下并压紧工件,以便进行弯曲、扭转等工序的操作。

(4) 空转:手柄呈图 1-13(d)所示工作位置,上、下旋阀均与空气相通,压缩空气并使之排入大气中,落下部分靠自身重量停落在下砧上。

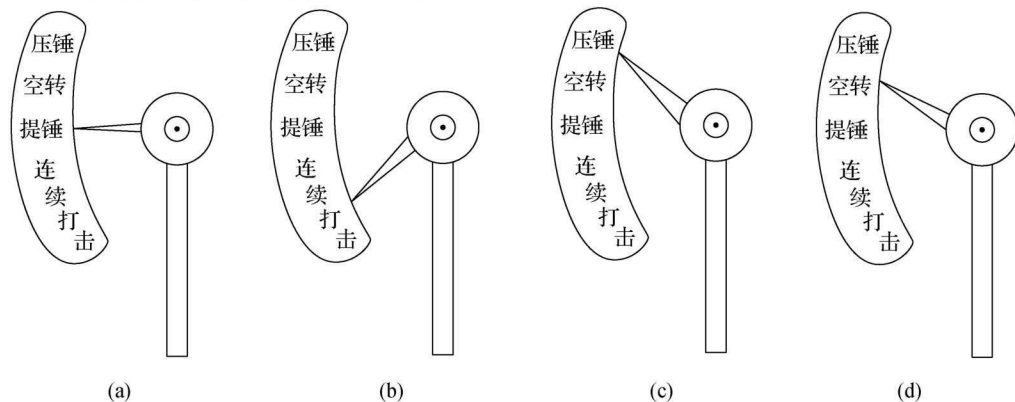


图 1-13 手柄位置

(a) 提锤;(b) 连续打击;(c) 压锤;(d) 空转

### 1.5.2 空气锤上镦粗操作实训

(1)下料:本次镦粗实训使用的坯料为普通碳素钢,使用锯床、车床等设备将坯料加工成高为100 mm 直径为50 mm 的圆柱体。因为在镦粗的过程中,坯料容易产生纵向弯曲或双鼓型,甚至产生折叠而使锻件报废,所以坯料的高 $H_0$ 和直径 $D_0$ 之比,应该小于2.5。

(2)加热:根据金属锻造温度范围,普通碳素钢的始锻温度为1 250 ℃。本次锻造实训使用的加热设备为高温箱式电阻炉。开启温度控制器,将温度设置为1 250 ℃,打开炉门,将下好的坯料放入炉腔内部,然后关闭炉门,让坯料随炉一起升温。坯料的加热必须均匀,加热到允许的最高始锻温度而且要热透,防止镦粗时产生中心偏移。

(3)镦粗:当炉温达到1 250 ℃并且保持一段时间后,打开炉门,用圆头钳子取出一件坯料,同时将空气锤调整在提锤状态,将坯料放置在空气锤下砧上,确保坯料与上、下砧轴线垂直。由于实训的学生多为初学者,因此尽量让空气锤进行单次打击,具体操作是将空气锤手柄由提锤位置推到连续打击位置,再迅速推回到提锤位置,即可实现空气锤的单次打击,每打击一次,操作的学生可以观察坯料的变形情况。如果发生镦歪的现象,应该将坯料斜立,轻打镦歪的斜角,然后放正,继续锻打。指导教师应该时刻关注学生的操作动作,发现有错误或者不规范的操作应立刻阻止并纠正。

(4)冷却:镦粗结束后的金属坯料,应放置在远离人群的地面或沙箱中进行冷却,这时应将空气锤手柄放在空转位置,使上砧与下砧贴合,锤头不工作,等待下一位学生操作。由于实训的学生多为初学者,镦粗时金属坯料的高度和直径有可能并没有明显变化便到了终锻温度,这样的坯料可以重新放回电阻炉中重新加热,供学生继续使用。

(5)结束:操作结束以后,将电阻炉和空气锤的电源关闭,并且保证空气锤手柄在空转位置。将操作时所用的工具和锻件摆放整齐,这时的工具和锻件还未完全冷却,尚有余温,因此在整理的过程中切记不可用手摸或脚踏,必须佩戴相应护具进行整理。若空气锤的砧面与周边有氧化皮散落,应用扫帚或刷子清理,不可用嘴吹或直接用手清理。

(6)总结:实训结束后,指导教师应对本次实训过程进行总结,对学生在操作过程中遇到的各种问题进行相应解答,并且做好实训记录。

### 1.5.3 手工自由锻拔长操作实训

(1)下料:本次镦粗实训使用的坯料为普通碳素钢,使用锯床等设备将坯料加工成长为400 mm 宽为30 mm 高为30 mm 的长方体。因为拔长是将坯料整体长度增加的工序,所以拔长所选择坯料的横截面积应该比锻件的横截面积稍大。

(2)加热:镦粗加热过程相同。

(3)拔长:手工锻由掌钳工和司锤工配合进行。掌钳工将加热后的坯料从加热炉中取出,站在铁砧后面,左脚稍向前,身体侧立,不可让钳子尾部直接对准腹部。左手握钳,用以夹持、移动和翻转工件;右手握住手锤,用以锻打或指示司锤工所用大锤的落点和轻重。掌钳工所用手钳的钳口大小、形状应与工件相吻合,以便夹牢工件,实训所用的手钳应为方头

钳子。在操作过程中,掌钳工需佩戴手套,钳口须经常浸水冷却,以免烫手或受热变形。

司锤工应听从掌钳工的指挥,锤击的轻重和落点由掌钳工决定。在操作过程中,司锤工双手紧握大锤,站在铁砧外侧,一般与掌钳工呈  $90^\circ$  夹角站立,前手距离锤头约两个手掌间距,后手距离锤尾约两个手指间距,并且在操作过程中,司锤工不得佩戴手套。

在拔长过程中应不断翻转坯料,按数字顺序进行的两种翻转方法,如图 1-14(a) 和(b)所示。在拔长小型坯料时,两种翻转方法均适用,但在拔长尺寸较大的坯料时需注意的,若按照图 1-14(a) 所示的翻转方法进行锻打,在锻打完坯料一面以后,坯料一般会发生翘曲,这时应将坯料翻转  $180^\circ$  后轻击拉直,然后旋转  $90^\circ$  顺次锻打。为了避免产生折叠和弯曲,每次锻打时,压下量要合适,应使坯料横截面的宽度与厚度之比小于 2。

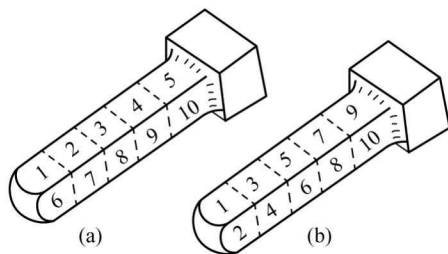


图 1-14 拔长时锻件的翻转方法

(4) 冷却:拔长结束后的金属坯料,应放置在远离人群的地面或沙箱中进行冷却,这时应将手钳放在冷水中冷却片刻后再取出,等待下一位学生操作。由于实训的学生多为初学者,在拔长的整个过程中,每次的锤下量不可能完全相等,所以指导教师可以对锻件进行修正。

(5) 结束:操作结束以后,将电阻炉的电源关闭,将操作时所用的工具和锻件摆放整齐,这时的工具与锻件还未完全冷却,尚有余温,因此在整理的过程中切记不可用手摸或脚踏,必须佩戴相应护具进行整理。若砧面和周边有氧化皮散落,应用扫帚或刷子清理,不可用嘴吹或直接用手清理。

(6) 总结:实训结束后,指导教师应对本次实训过程进行总结,对学生在操作过程中遇到的各种问题进行相应解答,并且做好实训记录。

## 1.6 锻造安全操作规程

(1) 学生实训前要掌握一定的设备保养知识,并遵守安全操作规程,不得单独操作锻造设备和加热设备。

(2) 锻造时,强大的辐射热,灼热的料头,飞出的氧化皮等都会对人体造成伤害,因此操作者在工作前必须穿戴好个人防护用品(工作服、鞋、帽等)。

(3) 在进行锻造作业时,操作者要集中精力,互相配合,注意选择安全位置,躲开危险方向,身体尽量避开料头可能飞出的方向。

(4) 掌钳工握钳和站立姿势要正确,钳把不准正对或抵住腹部;司锤工要按掌钳工的指挥准确司锤,锤击时,每一锤要轻打,待工具和锻件接触稳定后方可重击。

(5) 锻件过冷、过薄,未放在锤中心、未放稳时均不得锤击,以免损坏设备、模具,弄伤手臂,避免锻件飞出伤人造成事故。

(6) 严禁擅自落锤和打空锤,不准用手或脚去清除砧面上的氧化皮,不准用手去触摸锻件。