

田文彤 杨辉 曹霞 编著

锻造工 上岗速成

DUANZAOGONG

SHANGGANG SUCHENG



化学工业出版社

田文彤 杨辉 曹霞 编著

锻造工 上岗速成

DUANZAOGONG

SHANGGANG SUCHENG



化学工业出版社

· 北京 ·

本书详细介绍了锻造工应知应会的基础知识和基本操作技能,包括认识视图,掌握各种金属材料的各种锻造方法、锻件质量控制和锻件热处理。同时,书中提供大量经典实例配合基础知识的讲解,图文并茂,浅显易懂,便于读者理解。

本书适宜初级和中级锻造工阅读。

图书在版编目(CIP)数据

锻造工上岗速成/田文彤,杨辉,曹霞编著. —北京:
化学工业出版社, 2010.6
ISBN 978-7-122-08064-6

I. 锻… II. ①田…②杨…③曹… III. 锻造-基本
知识 IV. TG31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 051285 号

责任编辑:邢涛
责任校对:徐贞珍

文字编辑:冯国庆
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 装:北京云浩印刷有限责任公司
850mm×1168mm 1/32 印张7¼ 字数189千字
2010年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00 元

版权所有 违者必究

前言

锻造成形是塑性成形工程的重要组成部分，在整个工业生产中占有举足轻重的地位。锻造加工利用金属的塑性变形来提高零件的刚度和强度，可得到其他方法难以加工的或者无法加工的形状复杂的零件，加工出的毛坯或者零件表面精度好、生产效率高、易于实现大批量机械化生产，主要应用于汽车、拖拉机、矿山、航空、航天、机械制造等领域。随着近年我国工业的迅猛发展，锻造行业也取得了长足的进步，飞机上有 85%，汽车上约有 58%，农机上约有 70% 的零部件都是采用锻造工艺制造的。

锻造工作作为锻件的直接生产者，其基本素质和操作技能直接决定着产品的品质。本书是特别为锻造行业的初、中级技术工人编写的。本书结合最新的国家标准和行业标准，详细介绍了锻造工应知应会的基础知识和基本操作技能，包括认识视图，掌握各种金属的各种锻造方法、锻件的质量控制以及锻件热处理等。同时，本书提供大量经典实例配合基础知识的讲解，图文并茂、浅显易懂，便于读者理解。

书中不足之处，请广大读者批评指正。

编著者

2010 年 3 月

目 录

第一章 锻造的基本知识

第一节 锻造的分类与发展趋势	1
一、按锻造所用工具及模具安置情况不同分类	1
二、按锻造变形温度分类	2
三、模锻按运动方式分类	2
第二节 锻造的基本工艺	3
第三节 金属加热及温度测定	4
一、金属加热的目的及加热方法	5
二、金属加热时物理性质和力学性能的变化	6
三、金属锻造温度范围的确定	8
四、加热产生的缺陷及预防方法	11
五、金属加热温度的测定	13
第四节 锻造中的摩擦与润滑	16
一、锻造中的摩擦特点	16
二、模具润滑的作用	17
三、锻造润滑剂	17

第二章 自由锻造

第一节 自由锻设备	22
一、空气锤	23
二、蒸汽-空气自由锻锤	26

三、自由锻造水压机	27
第二节 自由锻造的基本工序	29
一、镦粗	30
二、拔长	32
三、冲孔	35
四、扩孔	36
五、弯曲	37
六、扭转	37
七、错移	37
八、切割	38
第三节 自由锻造工艺规程	38
一、锻件图的绘制及余量与公差的标准	38
二、确定坯料的质量与尺寸	41
三、锻造工艺方案的确定	44
四、锻造设备与工具的确定	46
五、确定坯料加热火次及加热、冷却规范	47
六、确定锻件类别及编写工艺	49
第四节 锤上自由锻工艺实例	49
一、自由锻件的结构工艺性	49
二、锤上自由锻工艺举例	50
第五节 大型锻件锻造工艺实例	51
一、20t 吊钩的锻造	51
二、十字钎头的锻造	53

第三章 锤上模锻

第一节 锤上模锻特点及分类	56
一、锤上模锻的特点	56
二、锤上模锻的分类	56
第二节 模锻件图的制定	57
一、选择分模面	57
二、机械加工余量和锻件尺寸公差的确定	58
三、模锻斜度	59

四、圆角半径	59
五、冲孔连皮	60
六、锻件的技术要求	62
七、绘制锻件图的一般规定	63
八、锻件图绘制实例	64
第三节 锻锤吨位的确定	64
一、经验公式	65
二、线图法	65
第四节 模锻工步的选择	66
一、模锻工步与模锻模膛的分类	66
二、模锻工步的选择	69
第五节 坯料尺寸的确定	73
一、锻件质量计算	74
二、飞边质量的计算	74
三、坯料的体积与质量计算	75
四、坯料规格的确定	75
第六节 锻模模膛的设计	77
一、终锻模膛	77
二、预锻模膛设计	80
第七节 制坯模膛的设计	88
一、拔长模膛设计	88
二、镦粗台与压扁台	92
三、滚压模膛	94
四、压肩模膛与卡压模膛的设计	95
五、弯曲模膛设计	97
六、成形模膛设计	99
七、切断模膛	100
第八节 锻模结构设计	102
一、模膛排列	102
二、错移力的平衡与锁扣设计	105
三、锻模模壁厚度的确定	108
四、模块尺寸的确定	109
五、锻模机械加工精度与表面质量	112

六、锻模的紧固方式·····	112
第九节 典型件模锻实例·····	112

第四章 各种压力机上模锻和精密模锻

第一节 螺旋压力机上模锻及精密模锻·····	115
一、螺旋压力机上模锻·····	115
二、锻件的分类·····	116
三、锻件图的设计·····	116
四、锻模结构特点与设计·····	119
五、螺旋压力机吨位与配套锻锤的选定·····	123
第二节 热模锻压力机上模锻·····	124
一、锻压机模锻工艺特点和锻件分类与工步选择·····	124
二、锻件图的设计·····	126
三、模膛的设计·····	128
四、锻压机吨位与配套切边压力机的选定·····	129
五、锻模结构设计·····	130
第三节 平锻机上模锻·····	135
一、平锻机模锻特点及其应用·····	135
二、锻件图的绘制·····	137
三、锻粗规则·····	139
四、平锻工步设计·····	140
五、平锻模结构·····	141
六、典型锻件的工艺及其模具设计·····	142
第四节 机械压力机与液压机上精密模锻·····	145
一、精密模锻的进展及应用概况·····	145
二、机械压力机上精密模锻·····	146
三、液压机上精密模锻·····	153

第五章 特种锻造

第一节 径向锻造·····	158
一、径向锻造的原理、特点和用途·····	158

二、径向锻造的变形过程	161
三、径向锻造工艺过程参数的确定	162
四、径向锻造的锤头、夹爪和芯轴的设计	164
第二节 冷锻、温锻及等温锻造	167
一、冷锻	167
二、温锻	170
三、等温模锻	170
第三节 超塑性模锻	171
一、金属超塑性种类	171
二、超塑锻造的分类与应用	172
三、超塑性模锻工艺流程	173
四、超塑性成形模具及设备	173
第四节 粉末锻造	174
一、粉末锻造的特点、分类和应用	174
二、粉末锻造工艺与生产自动化	175
三、粉末锻造对原料粉末的要求	177
四、预成形坯的设计与成形	177
五、预成形坯的锻造	178
六、其他粉末锻造方法	180
第五节 半固态触变模锻	181
一、坯料制备	181
二、二次加热	182
三、触变模锻	183
四、触变模锻的工艺特点及适用范围	183

第六章 锻件的精整、热处理及质量控制

第一节 切边与冲连皮	185
一、切边与冲连皮的方法	185
二、切边模与冲连皮模的分类	186
第二节 精压与校正	190
一、精压	190
二、校正	191

第三节 锻件的冷却和热处理	195
一、锻件的冷却	195
二、锻件的热处理	196
三、锻件的余热处理	196
第四节 锻件和坯料的清理	203
一、冷锻件或冷坯料的清理	203
二、热坯料的清理	204
三、局部表面缺陷的清理	205
第五节 锻件质量检验与控制	206
一、锻件质量检验内容及方法	207
二、锻件的质量控制	216

参考文献

第一章 锻造的基本知识

第一节 锻造的分类与发展趋势

锻造是利用锻压机械对金属坯料施加压力，使其产生塑性变形以获得具有一定力学性能、一定形状和尺寸锻件的加工方法，是锻压（锻造与冲压）的两大组成部分之一。通过锻造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，锻件的力学性能一般优于同样材料的铸件。机械中负载高、工作条件严峻的重要零件，除形状较简单的可用轧制的板材、型材或焊接件外，多采用锻件。

一、按锻造所用工具及模具安置情况不同分类

锻造按所用工具及模具安置情况不同可以分为以下几类，见表 1-1。

表 1-1 按所用工具及模具安置情况不同分类

名 称	特 点
自由锻	靠固定的平砧、活型砧成形
胎模锻	锻模为可移动式
模锻	锻模为固定式

(1) 自由锻 使用一定工具和设备，利用冲击力或压力使金属在上下两个砧铁（砧块）间自由地向四边流动，产生变形以获得所

需锻件。主要有手工锻造和机械锻造两种。

其特点是工艺灵活、加工精度低、成本低，适用于单件、小批量生产。

(2) 胎模锻 先用自由锻锻成初形，再用胎模补足，提高坯形的精度。

其特点：工艺灵活、加工精度高，适用于中小批量生产。

(3) 模锻 模锻又分为开式模锻和闭式模锻。将加热金属坯料放入具有一定形状的锻模膛内，合模成形而获得锻件。

其特点：产品单一，加工精度高，操作简单，生产效率高，适用于大批量生产。

二、按锻造变形温度分类

(1) 热锻 终锻温度高于再结晶温度的锻造过程，工件温度高于模具温度。

(2) 等温锻 模具带加热和保温装置，在恒定温度下进行锻造。

(3) 冷锻 指室温下进行的或低于工件再结晶温度的锻造。

(4) 温锻 介于热锻和冷锻之间的加热锻造。

三、模锻按运动方式分类

常用的模锻方法如图 1-1 所示。

(1) 普通模锻 其特点为模具相对于坯料作直线往复运动。

(2) 辊锻 毛坯作直线运动，两辊锻模作旋转运动，转向相反，其旋转轴线与毛坯运动方向垂直。

(3) 横轧 轧辊轴线相互平行，旋转方向相同，轧件旋转轴线与轧辊旋转轴线平行，但旋转方向相反。

(4) 斜轧 轧辊轴线交叉成一个小角度，其旋转方向相同。轧件在两辊交叉中心线上作与轧辊旋转方向相反的运动。

(5) 摆辗 摆头除自转外还作公转，工件不转动，但有轴向进给运动。

(6) 径向锻造 坯料周围对称分布几个锤头，沿坯料径向进

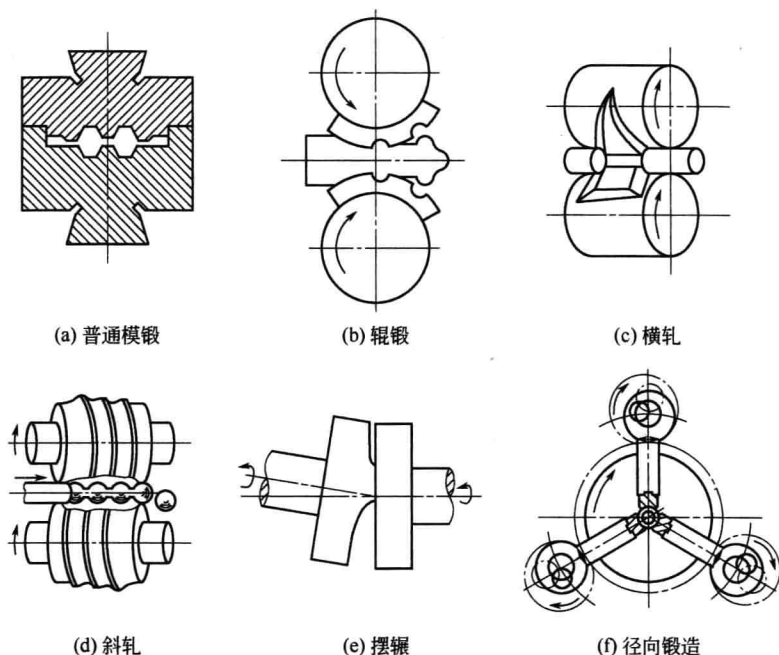


图 1-1 常用的模锻方法

给，高频率同步锻打，坯料通常边旋转边送进。

第二节 锻造的基本工艺

锻件的锻压工艺一般为：钢锭准备或坯料下料→钢锭（坯料）检验→加热→锻造→冷却→中间检验→锻后热处理→清理→最终检验。

(1) 钢锭准备 多用于中型或大型锻件的生产，钢锭有冷热之分。水压机主要用钢锭生产锻件，特别是热钢锭用得更多。

(2) 坯料下料 主要适用于小型自由锻件和模锻件。由于各厂条件不同，下料方法也各有不同。常用的方法有以下四种：剪切（用剪切机下料）、锯切（用往复锯或圆盘锯下料）、气割下料和在锤上用剁刀下料。

(3) 钢锭(坯料)检验 钢锭或坯料,在锻造生产中统称为“来料”。来料检验是把住生产合格锻件的第一关,应严格按其工艺规程检验,以免尺寸过大造成金属材料浪费,尺寸过小造成锻件尺寸不足导致废品。

(4) 加热 整个加热过程应严格遵守加热规程,防止产生“过热”或“过烧”等现象,以保证加热质量。

(5) 锻造 锻造是锻压生产的主程序,对锻件质量起着决定性的作用。锻造一般包括:各种压力机上模锻、自由锻造、锤上模锻等。为防止锻件产生缺陷,锻造程序应严格按其各基本工序的操作规程和方法进行锻造。

(6) 冷却 锻后冷却是锻造生产中很重要的一道工序,即使前道加热、锻造工序都是正常的,若不严格执行冷却规范,造成冷却不当也会产生废品。

(7) 中间检验 为把住质量关,冷却后的检验必不可少,此工序主要是进行外观和尺寸的检验。

(8) 锻后热处理 为保证锻件内部质量及为下道工序做好组织准备,锻件一般要经过第一热处理后交货。对于炉冷锻件,常将炉冷和锻后热处理合并进行。

(9) 清理 自由锻件的清理主要是清楚锻件局部的表面缺陷,如裂纹、折叠、重皮等。清理的主要方法有风铲、砂轮和火焰清理等。对于表面要求光洁的胎模锻件和模锻件,还要清除表面氧化铁皮,其清理方法有滚筒清理、喷砂(丸)清理、酸洗和用钢刷等。

(10) 最终检验 此工序主要是检验锻件是否符合锻件图纸要求及其所规定的技术要求。包括锻件表面、外形和尺寸的检验及复验。对于有特殊要求的重要锻件,还要进行硬度、力学性能、金相组织(高倍、低倍、晶粒度)和探伤(超声波、磁粉)等检验。

第三节 金属加热及温度测定

正确地加热金属坯料和对其温度进行准确、及时测量,对于减

少设备吨位，提高锻件质量，降低燃料消耗均具有重要意义，是锻造前首先需要解决的重要问题。

一、金属加热的目的及加热方法

1. 加热的目的

锻造前金属加热的目的是：提高金属的塑性，降低变形抗力，以利于金属的变形和获得良好的锻后组织。因此锻造材料的加热是锻造生产过程中一个必不可少的工序。

2. 加热方法

金属坯料的正确加热方法，必须达到以钢在加热过程中不产生裂纹、过热或过烧，并且温度均匀、氧化脱碳少、加热时间短和节省燃料等为原则来制定合理的加热规范及确定正确的锻造温度范围。按所使用的能源不同，主要分为火焰加热和电加热两大类。

(1) 火焰加热法 火焰加热是利用燃料（煤、油、煤气等）燃烧所产生的热能直接加热金属的方法。它的优点是燃料来源方便，炉子修造较容易，费用较低，各种规格和形状的钢锭和坯料均可加热，因此在生产中被广泛地采用。其缺点是加热质量难以控制、劳动条件差及加热速度慢等。

利用燃料燃烧所放出的热能，通过热辐射、热传导和热对流三种方式来加热金属的装置，称为火焰加热炉。火焰加热炉用的燃料有煤、焦炭、重油、柴油、各种煤气和天然气等。常见火焰加热炉的应用范围及特点见表 1-2。

表 1-2 常见火焰加热炉的应用范围及特点

名 称	应 用 范 围			特 点
	坯料形状 尺寸	批量	适用的工艺 方法举例	
手锻炉	各种形状中小件	单件小批	手工锻、修锻	构造很简单，加热质量不容易控制
室式炉	各种形状中小件	单件或成批	中小型自由锻	构造简单，生产能力变化性强，适用于多次加热和合金钢加热

续表

名 称	应 用 范 围			特 点
	坯料形状 尺寸	批量	适用的工艺 方法举例	
开隙式炉	中小型毛坯加热及杆料端部加热	成批	小型模锻、胎模锻、手锻及摩擦压力机上模锻	构造简单,不用炉门,适应生产能力变化性强
车底炉	中小型钢锭	单件小批	大型自由锻	炉底可进出运动,装出料方便
半连续炉	中小型模锻毛坯	大批	模锻	用机械化推料,结构稍复杂,有预热、加热两段炉膛
盘形转底炉	中小型毛坯	成批大量	中小型模锻	结构较复杂,可机械化进、出料
环形转底炉	大中型模锻毛坯	大批大量	大中型模锻	结构较复杂,可机械化进、出料,炉膛内有预热、加热两段
步进式炉	长方料或长棒料毛坯	大批大量	模锻或精锻	结构复杂,可机械化装出料,炉内有预热、加热段

(2) 电加热法 利用电能转变为热能来加热金属的方法称为电加热法。电加热法包括电阻炉加热、接触电加热和感应加热等。其优点是加热速度快,炉温易控制,氧化和脱碳少,便于实现机械化和自动化,劳动条件好。其主要缺点是对毛坯尺寸形状变化的适应性不够强,设备结构复杂,投资费用大等。常见电加热炉的应用范围及特点见表 1-3。

二、金属加热时物理性质和力学性能的变化

进行钢材加热计算时需要知道钢材物理性质及力学性能方面的精确数据,主要有热导率、平均比定压热容、密度、热扩散率、热惰性系数等物理性能,伸长率、流动应力、抗拉强度等力学性能指标。这些参数在加热过程中是变化的,计算时需考虑瞬时具体情况。

表 1-3 常见电加热炉的应用范围及特点

名 称	应 用 范 围			特 点
	坯料形状 尺寸	批量	适用的工艺 方法举例	
电阻炉	某些有色金属 及合金钢中小件	少量成批	自由锻、模锻	结构简单,控温精确,升温慢
盐浴炉	小件(或局部) 无氧化加热	少量成批	自由锻、模锻	结构简单,比电阻炉 能耗少
接触电阻 加热	直 径 小 于 80mm 的棒料	大批大量	模锻、电热弯 曲及轧制等	结构简单,加热速度 快,耗电少,适用于局 部加热,短毛坯整体加 热困难,温度不均匀
工频感应 加热	直 径 大 于 150mm 的棒料	大批	模锻、热冲挤、 轧制	不用变频设备,耗电 较少,电容器数目较多
中频感应 加热	直径为 20 ~ 160mm 的棒料	大批大量	模锻、轧制、热 冲挤	结构复杂,加热速度 快,自动化程度高
高频感应 加热	直 径 小 于 20mm 的棒料	大批大量	模锻、轧制、热 冲挤	结构复杂,加热速度 快,自动化程度高,只 能加热小件

1. 物理性质的变化

图 1-2 给出了碳素钢、铸铁的物理性质。由图可见,碳素钢或铸铁的热导率随温度的增高、含碳量的增加而减少;碳素钢在 0~1250℃时的平均比定压热容随着含碳量的增加而减少,而后铸铁的平均比定压热容随含碳量的增加而增加;密度、熔点均随着含碳量的增加而减少;线膨胀系数在含碳量为 0.2%时达到最小,而后随着含碳量的增加而增加。

2. 力学性能的变化

随着加热温度的提高,一般金属的伸长率是升高的,抗拉强度是降低的。图 1-3 示出了 T7 钢和 15 钢随着温度的升高延伸率和抗拉强度的变化情况。由图可知,对于 15 钢,当加热到 1200℃时,抗拉强度由 430MPa 降低到 13.72MPa,而延伸率却由 32.9%增加到 65.1%。

因此,在制定加热工艺时,正确的加热规范应当考虑到金属在