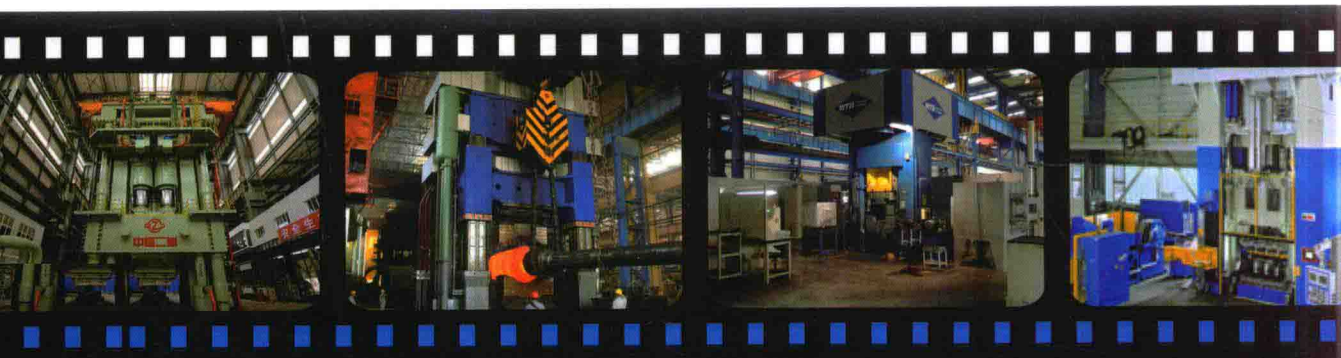


“十三五”普通高等教育本科规划教材
全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

锻造成形工艺与模具

伍太宾 彭树杰 主编

任广升 主审



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

“十三五”普通高等教育本科规划教材
全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

锻造成形工艺与模具

主 编 伍太宾 彭树杰
参 编 丁明明 刘艳雄 李振红
主 审 任广升



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书较系统地介绍了锻造成形的成形工艺方法及模具设计。全书共 18 章, 内容包括锻造概述、金属锻造成形的理论基础、锻造用金属材料及坯料的制备方法、锻造过程中的加热、常见的锻造成形设备、自由锻造、胎模锻造、锤上模锻、热模锻压力机上模锻、摩擦压力机上模锻、平锻机上模锻、精密热模锻、冷锻成形、大型工件与高合金钢及有色金属的锻造、锻造成形过程的数字化、模锻件的后续处理、锻造成形过程中的缺陷及其防止方法、锻模的损坏及延寿措施。

本书可作为高等学校机械类、材料工程类专业本科及专科教材, 也可供从事锻造成形生产和科研工作的工程技术人员、科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

锻造成形工艺与模具/伍太宾, 彭树杰主编. —北京: 北京大学出版社, 2017. 5

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-28239-7

I. ①锻… II. ①伍… ②彭… III. ①锻造—成形—工艺学—高等学校—教材②锻造—模具—高等学校—教材 IV. ①TG31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 075279 号

- 书 名** 锻造成形工艺与模具
Duanzao Chengxing Gongyi yu Muju
- 著作责任者** 伍太宾 彭树杰 主编
- 策划编辑** 童君鑫
- 责任编辑** 黄红珍
- 标准书号** ISBN 978-7-301-28239-7
- 出版发行** 北京大学出版社
- 地 址** 北京市海淀区成府路 205 号 100871
- 网 址** <http://www.pup.cn> 新浪微博: @北京大学出版社
- 电子信箱** pup_6@163.com
- 电 话** 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
- 印 刷 者** 北京鑫海金澳胶印有限公司
- 经 销 者** 新华书店
- 787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 32.25 印张 762 千字
2017 年 5 月第 1 版 2017 年 5 月第 1 次印刷
- 定 价** 69.00 元

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题, 请与出版部联系, 电话: 010-62756370

前 言

锻造成形技术广泛应用于机械、冶金、造船、航空、航天、兵器及其他工业部门，在国民经济中占有极为重要的地位。锻造生产能力及工艺水平对一个国家的工业、农业、国防和科学技术所能达到的水平有很大的影响。

本书以金属锻造成形过程为主线，本着理论与实际相结合的原则，通过典型生产实例，着重讨论并阐述了锻造成形的理论基础、锻造成形过程的工艺设计及工艺参数的确定、锻造成形模具设计和锻造成形加工实例等内容。

编者编写本书的主要目的是给在教学实践、生产现场和科研第一线进行锻造成形工艺及模具设计方面的教师、学生和工程技术人员提供具体且可靠的教材、参考书和指导书。为此，编者编写时在讲清基本概念、工艺方法、模具设计特点的前提下，力求深入浅出、切实可行，使所介绍的工艺方法及模具设计方法具有较强的可操作性。

本书由伍太宾和彭树杰担任主编，具体编写分工如下：伍太宾编写第1、2、3、5、8、9章及第16~18章，刘艳雄编写第4章和第14章，彭树杰编写第6、12章和第13章，丁明明编写第7、10章和第11章，李振红编写第15章。

在本书的编写过程中，编者得到了有关单位的大力协助，并得到我国著名的特种锻造成形专家、机械科学研究总院北京机电研究所任广升教授的认真审阅，在此表示诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏或不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017年1月

目 录

第 1 章 锻造概述	1
1.1 锻造的分类及特点	1
1.1.1 锻造生产的重要性	1
1.1.2 锻造的分类	2
1.1.3 锻造的特点	4
1.2 锻造成形技术的发展简况	5
1.3 锻造成形技术在我国的发展及 应用情况	6
1.3.1 我国锻造生产的发展情况	6
1.3.2 精密锻造成形技术在 我国的应用情况	7
1.4 我国锻造成形技术的现状及 发展趋势	12
1.4.1 我国锻造成形技术与 国外的差距	12
1.4.2 我国锻造成形技术的发展 趋势	19
习题	20
第 2 章 金属锻造成形的理论基础	21
2.1 金属锻造成形基础理论概述	21
2.1.1 金属的晶体结构	21
2.1.2 金属锻造成形时的受力	26
2.1.3 变形和变形程度	28
2.1.4 塑性与变形抗力	28
2.2 金属的塑性变形	28
2.2.1 单晶体的塑性变形	28
2.2.2 多晶体的塑性变形	30
2.3 塑性变形对金属组织和性能 的影响	30
2.4 金属的软化过程	32
2.5 锻造成形加工中变形量的计算 方法	35
2.5.1 应变	35
2.5.2 锻造成形加工中实际 变形量的计算	36
2.5.3 锻造比的计算和选择	37
2.6 金属塑性变形的基本定律	38
习题	40
第 3 章 锻造用金属材料及坯料的制备 方法	42
3.1 热锻用金属材料	42
3.1.1 热锻用钢材	42
3.1.2 热锻用有色金属及其 合金	43
3.2 冷锻用金属材料	45
3.3 坯料的制备方法	50
3.3.1 剪切下料	50
3.3.2 锯切下料	53
3.3.3 其他下料方法	53
习题	55
第 4 章 锻造过程中的加热	56
4.1 锻造的加热方法	56
4.2 钢的锻造加热规范	60
4.2.1 钢的锻造温度范围	60
4.2.2 钢的加热规范	63
4.3 铝合金和铜合金的锻造加热 规范	67
4.4 冷锻成形过程中坯料的软化 处理	72
4.5 火焰加热炉	74
4.6 箱式电阻加热炉	76
4.7 感应加热炉	77
习题	78
第 5 章 常见的锻造成形设备	80
5.1 空气锤	80
5.2 蒸汽-空气锤	82
5.3 液压锤	85
5.4 无砧座模锻锤(对击锤)	88
5.5 高速锤	89



5.6	热模锻压力机	92	第8章	锤上模锻	172
5.7	平锻机	95	8.1	锤上模锻件图的制订及模锻件的分类	172
5.8	螺旋压力机	97	8.2	锤上模锻的变形工步和模膛结构	180
5.9	四柱液压机	99	8.2.1	制坯工步与制坯模膛结构	180
	习题	104	8.2.2	模锻工步与模锻模膛结构	192
第6章	自由锻造	105	8.2.3	切断工步	198
6.1	自由锻造的变形工序	105	8.3	锤上模锻的锻模设计	198
6.1.1	墩粗	105	8.3.1	锤上锻模的种类	198
6.1.2	拔长	107	8.3.2	锤上锻模的外形	199
6.1.3	冲孔和扩孔	111	8.3.3	锤上锻模的结构设计	201
6.1.4	切割	115	8.3.4	模锻模膛的设计	209
6.1.5	弯曲	115	8.4	模锻锤吨位的计算	216
6.1.6	扭转	115	8.4.1	经验-理论公式	216
6.1.7	错移	116	8.4.2	经验公式	219
6.1.8	锻接	117	8.5	锤上模锻实例	220
6.2	自由锻造的工艺过程	118	8.5.1	锻锤吨位计算	220
6.2.1	自由锻件的分类	118	8.5.2	某型汽车发动机变速拨叉的锤上模锻	220
6.2.2	自由锻件变形工艺过程的确定	121		习题	230
6.2.3	自由锻工艺规程的制订	121	第9章	热模锻压力机上模锻	232
6.3	自由锻造设备吨位计算与选择	125	9.1	模锻件分类及模锻件图的制订	232
6.3.1	理论算法	126	9.2	热模锻压力机上模锻的变形工步及设备吨位的确定	236
6.3.2	经验类比法	127	9.3	热模锻压力机上锻模的设计	242
6.4	自由锻造工艺实例	127	9.3.1	锻模的结构	242
6.4.1	齿轮的自由锻造工艺	127	9.3.2	锻模的闭合高度	245
6.4.2	齿轮轴的自由锻造工艺	130	9.3.3	锻模模膛的设计	246
	习题	133	9.4	热模锻压力机上锻模的使用	249
第7章	胎模锻造	135	9.5	热模锻压力机模锻实例	251
7.1	胎模锻造的特点及应用	135		习题	253
7.2	胎模锻造的变形工序	136	第10章	摩擦压力机上模锻	254
7.3	胎模的种类	148	10.1	模锻件分类及模锻件图的制订	254
7.4	胎模锻件图的制订	152	10.2	摩擦压力机上模锻的变形工步	257
7.5	胎模锻造所需锻锤吨位的选择	156	10.3	摩擦压力机上的锻模设计	259
7.6	胎模设计	158	10.3.1	锻模结构特点	259
7.7	胎模锻造应用实例	168			
	习题	170			

10.3.2 终锻模膛与预锻模膛的设计	264	12.6 精密热模锻的变形力与变形功	323
10.3.3 制坯模膛的设计	265	12.7 精密热模锻用润滑剂及润滑方式	343
10.3.4 模具的安装与调整	268	12.8 精密热模锻用模具设计	345
10.4 摩擦压力机上模锻实例	269	12.8.1 模具结构	346
习题	271	12.8.2 模膛设计	350
第 11 章 平锻机上模锻	272	12.8.3 凹模尺寸和强度计算	351
11.1 模锻件分类及模锻件图的制订	272	12.8.4 凸模尺寸和强度计算	353
11.1.1 平锻机上模锻的工艺特点	272	12.8.5 模具的导向装置	355
11.1.2 模锻件的分类	274	12.8.6 模具的顶出装置	355
11.1.3 模锻件图的制订	274	12.9 精密热模锻成形工艺实例	358
11.2 平锻机上模锻的变形工步	278	习题	362
11.2.1 平锻工步分类	278	第 13 章 冷锻成形	363
11.2.2 局部墩粗类锻件的工步设计	278	13.1 冷锻成形概述	363
11.2.3 孔类锻件的工步设计	281	13.2 冷锻成形的基本工序	365
11.2.4 管坯顶墩工艺特点	287	13.3 冷锻成形工艺过程的设计	370
11.3 平锻机上的锻模设计	288	13.4 冷锻变形力的计算与成形设备的选择	379
11.3.1 模膛设计特点	288	13.4.1 冷锻变形力的计算	380
11.3.2 平锻模结构设计特点	296	13.4.2 冷锻成形设备的选择	384
11.4 平锻机上模锻实例	302	13.5 冷锻成形模具的设计	385
习题	304	习题	396
第 12 章 精密热模锻	305	第 14 章 大型锻件与高合金钢及有色金属的锻造	397
12.1 精密热模锻概述	305	14.1 大型锻件的锻造	397
12.2 精密热模锻工艺的分类	307	14.2 高合金钢的锻造	407
12.3 精密热锻件的尺寸精度和表面粗糙度	310	14.2.1 高速钢的锻造	407
12.3.1 影响精密热模锻件精度的因素	310	14.2.2 不锈钢的锻造	412
12.3.2 确定精密热模锻件的尺寸精度和表面粗糙度	316	14.2.3 高温合金的锻造	414
12.4 精密热模锻成形工艺设计	317	14.3 有色金属的锻造	416
12.5 中间预制坯的设计	319	14.3.1 铝合金的锻造	416
12.5.1 中间预制坯概述	319	14.3.2 铜合金的锻造	417
12.5.2 设计中间预制坯的经验数据	321	14.3.3 钛合金的锻造	419
12.5.3 一般中小型精锻件中间预制坯的形状和尺寸确定	323	习题	422
		第 15 章 锻造成形过程的数字化	424
		15.1 锻造成形过程的数字化概述	424
		15.2 锻造成形过程的 CAD	425
		15.3 锻造成形过程的 CAE	429



15.3.1 常用 CAE 分析软件 介绍	430	17.2 剪切下料过程中的缺陷及其产生 原因	482
15.3.2 锻造成形过程的 CAE 分析 实例	431	17.3 加热过程中的缺陷及其防止 方法	484
15.4 锻造成形过程的 CAM	439	17.4 锻造成形中的缺陷及其防止 方法	489
15.4.1 常用 CAM 软件	439	17.4.1 自由锻件的主要缺陷 ...	489
15.4.2 常用的数控系统	440	17.4.2 模锻件的常见缺陷	492
15.4.3 模具 CAM 应用实例 ...	440	17.4.3 高速钢锻件的缺陷	495
习题	455	17.4.4 有色金属锻件的缺陷 ...	496
第 16 章 模锻件的后续处理	456	习题	498
16.1 切边和冲孔	456	第 18 章 锻模的损坏及延寿措施	499
16.2 锻件的校正和精压	464	18.1 锻模的损坏形式	499
16.3 锻件的清理	469	18.2 锻模的失效原因及防止措施 ...	500
16.4 锻件的质量检验	471	18.3 锻模的修理与堆焊	504
习题	476	习题	505
第 17 章 锻造成形过程中的缺陷及其 防止方法	477	参考文献	506
17.1 钢锭和钢材中的缺陷及其防止 方法	477		

第 1 章

锻造概述

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、形状和尺寸的锻件的加工方法。它是机械制造中常用的成形方法。通过锻造能消除金属的铸态疏松、焊合孔洞，因此，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。

1.1 锻造的分类及特点

1.1.1 锻造生产的重要性

锻造生产是机械制造工业中提供毛坯的主要途径之一。锻造生产的重要性体现在以下几方面：

(1) 国防工业中，飞机上的锻件质量占总质量的 85%，坦克上的锻件质量占总质量的 70%，大炮、枪支上的大部分零件都是由锻件制成的。

(2) 机床制造工业中，各种机床上的主要零件，如主轴、传动轴、齿轮和切削刀具等都是由锻件制成的。

(3) 电力工业中，发电设备的主要零件，如水轮机主轴、涡轮机叶轮、转子、护环等均由锻件制成。

(4) 交通运输工业中，机车和汽车上的许多零件都是由锻件制成的，如机车的车轮、车轴、连杆，汽车的前梁、半轴、连杆、气门挺杆、传动轴、轴叉、传动套等；轮船上的发动机曲轴和推力轴承等主要零件也是由锻件制成的。

(5) 农业用拖拉机、收割机等现代农业机械上的许多主要零件也都是由锻件制成的。例如，拖拉机上就有 560 多种锻件。

(6) 日常生活用品，如锤子、斧头、钢丝钳、刀等也是由锻件制成的。



1.1.2 锻造的分类

1. 按工作时所受作用力的来源分类

根据工作时所受作用力的来源，锻造分为手工锻造和机器锻造两种。

(1) 手工锻造是利用简单的锻造工具，依靠人力在铁砧上进行的。这种锻造方式已有数千年的历史，目前已逐渐被淘汰；仅用于单件或小批量锻件的生产，或初学者对基本操作技能的训练。

(2) 机器锻造是现代锻造生产的主要方式，在各种锻造设备上进行。根据所用设备和工具的不同可分为自由锻造、模型锻造、胎模锻造和特种锻造。

① 自由锻造。自由锻造又称自由锻。它把加热后的金属毛坯放在自由锻造设备的平砧之间或简单的工具之间进行锻造。由锻造操作工人来控制金属的变形方向，从而获得符合形状和尺寸要求的锻件。

② 模型锻造。模型锻造又称模锻。它把加热后的金属毛坯放在固定于模锻设备上的模具内进行锻造，由模具型腔来限制金属的变形，从而获得与模具型腔形状一致的锻件。

③ 胎模锻造。胎模锻造又称胎模锻，是自由锻向模型锻造过渡的一种锻造方法。它把加热后的金属毛坯用自由锻方法预锻成近似锻件的形状，然后在自由锻设备上用胎模终锻成形(形状简单的锻件可直接把毛坯放入胎模内成形)。胎模是一种不固定在自由锻设备上，依靠平砧来传递锤击力的单型腔模具。

④ 特种锻造。特种锻造是近代发展的新工艺，即在专用锻造设备上或在特殊模具内使金属毛坯成形的一种特殊锻造工艺。它包括精密模锻、径向锻造、辗锻、电热顶锻等。

一般锻造方法很难或无法得到的锻件可用特种锻造得到。

2. 按金属变形时的温度分类

锻造按坯料在加工时的温度可分为冷锻、温锻、热锻和等温锻造。冷锻一般在室温下加工，热锻在高于坯料金属的再结晶温度下加工。有时还将处于加热状态，但温度不超过再结晶温度时进行的锻造称为温锻。这种划分在生产中并不完全统一。

钢的再结晶温度约为 460°C ，但普遍采用 800°C 作为划分线，高于 800°C 的是热锻；在 $300\sim 800^{\circ}\text{C}$ 称为温锻或半热锻。

(1) 热锻。在金属再结晶温度以上进行的锻造成形，称为热锻。提高温度能改善金属的塑性，使之不易开裂；提高温度还能减小金属的变形抗力，降低所需锻压机械的吨位；高温变形有利于提高锻件的内在质量。但热锻工序多、锻件精度差、表面不光洁，锻件容易产生氧化、脱碳和烧损。当金属(如铅、锡、锌、铜、铝等)有足够的塑性和变形量不大时，或变形总量大而所用的锻造工艺(如挤压、径向锻造等)有利于金属的塑性变形时，常不采用热锻，而改用冷锻。为使一次加热完成尽量多的锻造工作量，热锻的始锻温度与终锻温度间的温度区间应尽可能大。但始锻温度过高会引起金属晶粒生长过大而形成过热现象，会降低锻件质量。

加热温度接近金属熔点时，会发生晶间低熔点物质熔化和晶间氧化，形成过烧。过烧的坯料在锻造成形时往往碎裂。

一般采用的热锻温度：碳素钢 $800\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 、合金结构钢 $850\sim 1150^{\circ}\text{C}$ 、高速钢 $900\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，常用的铝合金 $380\sim 500^{\circ}\text{C}$ 、钛合金 $850\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 、黄铜 $700\sim 900^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 冷锻。在低于金属再结晶温度下进行的锻造成形，称为冷锻。通常冷锻又专指在常温下的锻造，而将在高于常温，但又不超过再结晶温度下的锻造称为温锻。在常温下冷锻成形的工件，其形状和尺寸精度高、表面光洁、加工工序少，便于自动化生产。许多冷锻件可以直接用作零件或制品而不再需要切削加工。但冷锻时，因金属的塑性低，变形时易产生开裂，变形抗力大，需要大吨位的锻压机械。当加工工件大、厚，材料强度高、塑性低时，都采用热锻。

(3) 温锻。温锻是将钢质金属坯料加热到 300~800℃进行锻造成形的工艺，其加热温度较热锻低许多。因此，温锻既兼顾了冷锻成形和热锻工艺的优点，又避免了冷锻和热锻存在的缺点，特别适合变形程度大的中、高强度钢零件的成形。在温锻成形过程中，由于金属的塑性好、变形抗力较低，而且变形过程中的回复和部分再结晶减弱了变形强化作用，因此金属坯料的变形程度可以很大；同时由于温锻时坯料的温度不高，其氧化、烧损较少，因此温锻件的尺寸精度和表面质量高。

(4) 等温锻造。等温锻造是指在整个成形过程中，坯料温度保持恒定值。等温锻造是为了充分利用某些金属在等温温度下所具有的高塑性，或是为了获得特定的组织和性能。等温锻造需要将模具和坯料一起保持恒温，所需费用较高，仅用于特殊的锻压工艺，如超塑成形。

3. 按成形方式分类

锻造按成形方法可分为自由锻、模锻、墩锻、挤压、拉拔、旋转锻造和高速锻造等，如图 1.1 所示。



图 1.1 锻造的分类

自由锻也可称为开式锻造，即金属毛坯在压力作用下产生的变形基本不受外部限制。

其他锻造方法的金属变形都受到模具的限制，故也称为闭模式锻造。

成形轧制、辊锻、摆动辗压、辗扩等锻造方法的成形工具与坯料之间有相对的旋转运动，对坯料进行逐点、渐近的正压和成形，故又称为旋转锻造。

图 1.2 所示为常用的锻造成形方法。

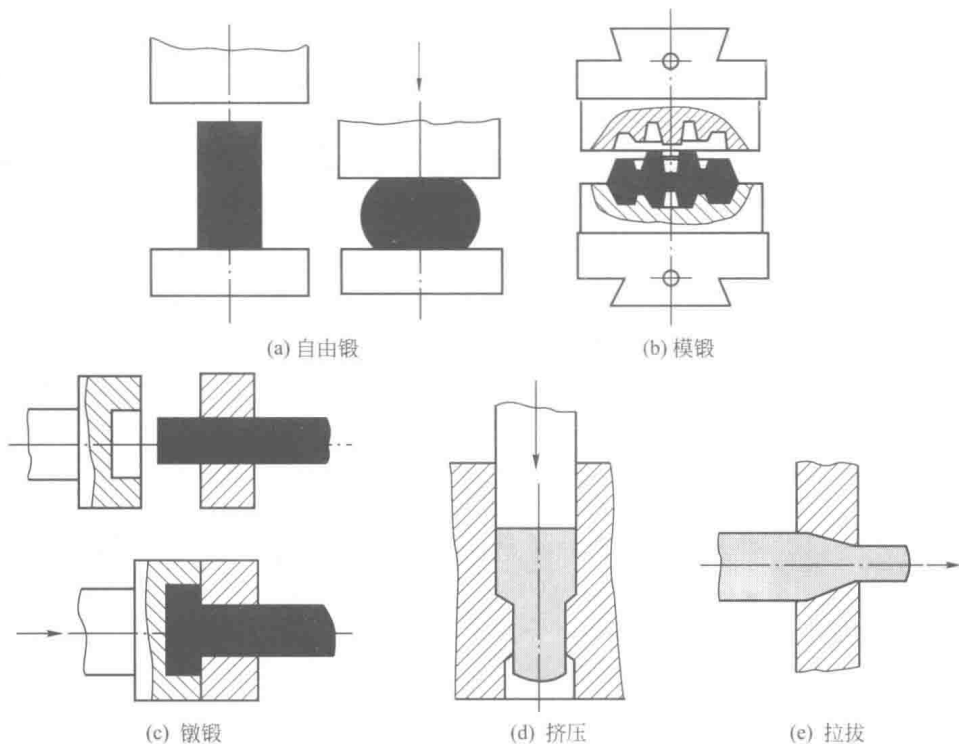


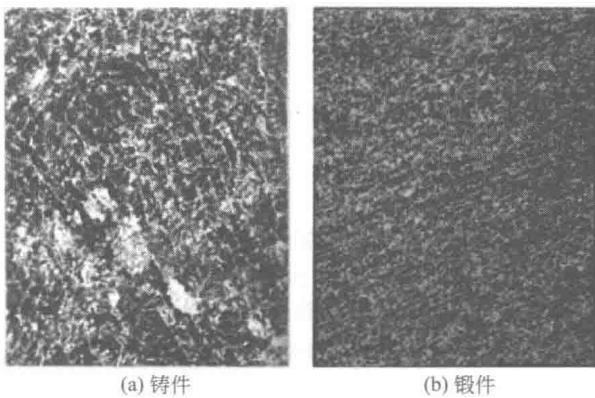
图 1.2 常用的锻造成形方法

1.1.3 锻造的特点

与其他加工方法相比，锻造具有以下特点：

1) 锻造能改变金属的组织，提高金属的力学性能和物理性能

铸锭经过热锻造后，原来的铸态疏松、孔隙、微裂纹等被压实或焊合；原来的枝状结晶被打碎，使晶粒变细；同时改变原来的碳化物偏析和不均匀分布，使组织均匀，从而获得内部密实、均匀、细微、综合性能好、使用可靠的锻件，如图 1.3 所示。锻件经热锻变形后，金属是纤维组织（图 1.4）；经冷锻变形后，金属晶体呈有序性。



(a) 铸件 (b) 锻件

图 1.3 铸件与锻件的内部组织

例如,美国用 315000kN 水压机模锻 F-102 歼击机的整体大梁,取代了 272 个零件和 3200 个铆钉,使飞机质量减轻了 45.5~54.5kg。

2) 金属塑性流动而制成所需形状的工件

金属受外力后按以下规律产生塑性流动:

(1) 体积不变规律:除有意切除的部分外,其余金属只有相互位置的转移,总体积不变。

(2) 最小阻力规律:金属总是向阻力最小的部分流动。

生产中,常按照这些规律控制工件形状,实现锻粗、拔长、扩孔、弯曲、拉深等变形。

3) 锻件尺寸精确,有利于组织批量生产

模锻、挤压、旋转锻造等锻造生产均是利用模具进行锻件的成形,成形后的锻件尺寸精确、一致性好,因此,锻造生产能显著地节约金属材料 and 减少后续机械加工工时。例如,某型汽车的曲轴净重只有 17kg,采用钢坯直接切削加工时,铁屑质量为曲轴质量的 189%;采用锻件再切削加工时,其铁屑质量只占曲轴质量的 30%,并可减少约 1/6 的加工工时。

同时,锻造可以采用高效的锻造机械和自动化锻造生产线,组织专业化大批量或大量生产。以生产内六角螺钉为例,用模锻成形,生产效率可比切削加工提高约 50 倍;如采用多工位冷锻机冷锻成形,其生产效率更高。

据统计,每模锻 100 万吨钢,可比切削加工减少 2 万~8 万名工人,少用 15000 台机械加工设备。

4) 锻造有很大的灵活性

锻造既可以锻造成形形状简单的锻件(如模块、齿轮坯等),又可以锻造成形形状复杂、不需要或只需少量切削加工的精密锻件(如曲轴、精锻齿轮等)。锻造既可以成形微小的锻件,又可以锻造质量在几百克、几千克甚至几百吨的锻件。锻造既可以单件或小批量生产,又可以大批量生产。

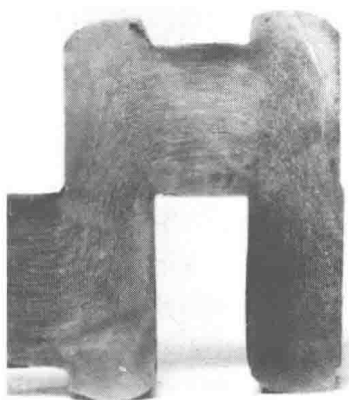


图 1.4 锻件的纤维组织

1.2 锻造成形技术的发展简况

人类在新石器时代末期已经开始以锤击(锻造)天然红铜(紫铜)来制造装饰用品和小的日常生活用品和劳动工具。我国约在公元前 2000 多年已应用冷锻成形工艺制造工具。例如,甘肃武威皇娘娘台齐家文化遗址出土的红铜器就有明显的锤击痕迹。商代中期用陨铁制造武器,采用了加热、锻造成形工艺。在 2500 多年前,我国的春秋时期就已应用锻造方法制造生产工具和各类兵器,并已达到了较高的技术水平,如春秋后期出现了块炼熟铁,经过反复加热、锻造以挤出氧化物、夹杂并形成,以及在秦始皇陵兵马俑坑的出土文物中有三把合金钢锻造的宝剑,其中一把至今仍光彩夺目,锋利如昔。

最初,人们靠抡锤进行锻造成形,后来出现通过人拉绳索和滑车来提起重锤再自由落下的方法锻造坯料。14 世纪以后出现了畜力和水力落锤锻造。1842 年,英国的 J·内史密斯制成第一台蒸汽锤,使锻造成形技术进入应用动力的时代。以后陆续出现锻造水压机,



电动机驱动的夹板锤、空气锤和机械压力机，到 19 世纪末已形成近代锻压机械的基本门类。夹板锤最早应用于美国内战(1861—1865 年)期间，用以模锻成形武器的零件；随后在欧洲出现了蒸汽模锻锤，模锻成形工艺逐渐得到推广和应用。

冷锻的出现先于热锻。早期的红铜、金、银薄片和硬币都是冷锻的。

冷镦、冷挤工艺是 20 世纪 30 年代出现的，材料利用率在 85% 以上。

20 世纪 40 年代出现精密锻造轴类件技术。

20 世纪 50 年代中期，我国的模锻技术开始应用于工具行业，如扳手、钳子摩擦压力机生产线。同时出现辊轧生产钢球、滚柱、轴承内外环。

20 世纪 50 年代末苏联模锻件占锻件总量的 58.5%，60 年代模锻件占 65.2%。

20 世纪 60 年代出现精密锻造锥齿轮、圆柱齿轮及各类叶片。

20 世纪末，美国模锻件占锻件总量的 78.6%，法国占 89.4%，日本占 86.2%，德国占 81.9%，我国占 60%。

1.3 锻造成形技术在我国的发展及应用情况

1.3.1 我国锻造生产的发展情况

我国约在公元前 2000 多年已应用冷锻成形工艺制造工具。但是，由于长期的封建统治，我国的生产力长期处于停滞状态。新中国成立前，我国的机械制造工业非常落后，而锻造生产更是其中最落后的一环。当时，我国的锻造生产基本上采用手工锻造，仅少数工厂采用小吨位的自由锻锤，生产一些形状简单的自由锻件。全国仅 3~4 个铁路机车修理厂有几台 3~5t 的自由锻锤。

中华人民共和国成立后，我国的锻造业可以说是从无到有，从小到大逐渐建立、发展起来。不仅改革了旧的锻造加热炉，广泛采用机械设备来代替锻造工人繁重的体力劳动，而且改善了车间环境，进行文明生产，从而改善了锻造工人的劳动条件。

我国锻造生产的发展主要表现在如下几个方面：

1) 锻造成形工艺

推广了胎模锻造和模锻工艺，采用了高效率、少或无切削的特种锻造工艺，如精密热模锻、辊锻和挤压等。基本上掌握了合金钢和大型锻件的各种锻造技术，如电动机转子、护环、立轴、大型高压容器、轧辊等。

2) 锻造成形设备

20 世纪 50 年代末至 60 年代初，大量苏联和少量民主德国、捷克制造的锻造设备陆续进入我国(如某厂有捷克制 120MN 水压机)。几乎与此同时，我国开始实现锻造设备国产化，成功制造了万吨水压机(上海江南造船厂)和各种类型的锻造机械。

目前，我国有不同规格和等级的锻造企业约 6500 家，其中骨干企业 400 多家(中外合资或独资的锻造企业 20 余家)，各种锻造设备应有尽有。

我国现有锻压设备 32000 多台，模锻设备 5000 多台。最大模锻设备为 800MN 模锻油压机，最大热模锻压力机为 125MN，最大模锻锤为 16t，我国摩擦压力机最大压力达 100MN。最大冷、温锻压力机的压力为 10MN，最大摆辗机的公称压力为 8.0MN。

我国自主开发的先进锻压设备如下:

(1) 中国第二重型机械集团公司研制的 800MN 大型模锻压机, 其公称压力为 800MN; 该模锻压机已于 2013 年 4 月投入试生产。

(2) 中国重型机械研究院研制的 195MN 自由锻造油压机, 其公称压力为 195MN; 该自由锻造油压机已于 2014 年 4 月投入试生产。

(3) 北京机电研究所研制的 J55-4000 型离合器式高能螺旋压力机, 其公称压力为 40MN; 研制的 D46-165×1200 型楔横轧机, 其轧辊中心距达到 1500mm; 研制的 ZGD-1250 型自动辊锻机, 其辊锻模外径达到 1250mm。

(4) 青岛青锻锻压机械有限公司在成功研制 J53-8000 型双盘摩擦压力机的基础上, 于 2010 年研制成功 J53-10000 型双盘摩擦压力机, 其公称压力为 100MN; 2012 年该公司在成功研制国内第一台 EPC-2500 型电动螺旋压力机的基础上, 又研制成功了国内首台 EPC-8000 型电动螺旋压力机, 其公称压力为 80MN。

(5) 天津锻压机床总厂为某企业设计的 100MN 数控等温锻造液压机在 2003 年 11 月完成技术鉴定和验收。该机不仅可用于常温锻造, 还可用于热模锻、等温超塑性成形。

(6) 我国第二重型机器厂能生产 125MN 热模锻机械压力机。

改造蒸汽锤的动力源始于 20 世纪 60 年代, 于 70 年代初步成功, 并在 80 年代有了很大的发展, 既达到了高效、节能的目的, 又保持了锻锤原有的优点, 还不改变操作习惯, 投资也不太大。至今有几十家工厂的百余台锻锤接受了这种以电液驱动代替蒸汽驱动的“换头”技术。

3) 锻造加热设备

用无烟节煤炉代替了落后的燃煤炉, 制造了高效薄壁的旋转加热炉和敞焰无氧化加热炉。随着我国机械制造业的进一步发展, 煤气和燃油加热炉及电加热炉已经广泛采用, 感应电加热炉(中频、工频)已在先进的自动化锻造生产线中广泛采用。

4) 锻造成形辅助设备

为了提高锻造生产的机械化、自动化程度, 目前我国已发展了具有中国特点的锻造操作机和装料、出料机(包括机械传动、液压传动和混合传动的锻造成形辅助装备)。

1.3.2 精密锻造成形技术在我国的应用情况

1. 冷锻与温锻成形

由于汽车、摩托车工业的发展, 大大促进了我国冷、温锻造成形技术的发展。例如, 花键、齿轮、轮套、连杆、曲轴等零件均可冷锻成形或温锻成形。冷锻件已从早年开发的活塞销、轮胎螺母、球头销发展到等速万向节、发电机爪极、花键轴、起动齿轮、差速器锥齿轮、十字轴、三销轴、螺旋锥齿轮、汽车后轮轴等。冷锻成形的齿轮单件质量在 1.0kg 以上, 齿形精度达公差等级 IT7。最大汽车冷锻件(半轴套管)重 10.0kg 以上。用冷挤压工艺生产的轴类件最大长度达到 400mm 以上。日本和德国的一辆汽车上应用的冷锻件达到 40~50kg, 我国目前每辆汽车约有 30.0kg 的冷锻件。

汽车、摩托车及通用机械的阶梯轴、花键轴类件, 大多数采用冷挤压方法生产; 螺旋花键轴、蜗杆类零件, 大多采用冷滚轧成形; 端面齿、小尺寸的直齿锥齿轮等零件, 大多采用冷摆辗成形。轿车齿轮采用冷锻工艺, 精度可以达到公差等级 IT7。等速万向节的复杂内型



腔采用冷锻或温锻工艺成形，其尺寸精度达到 0.05~0.08mm，可以直接装机使用。

图 1.5 所示为冷锻或温锻成形的各种精密锻件。



图 1.5 冷锻和温锻成形的各种精密锻件

2. 闭塞锻造成形

闭塞锻造成形工艺是先进的锻造成形技术之一。与传统的锻造方式不同，它是在封闭的模具型腔内，通过冲头单向或双向复动挤压成形。锻件无飞边，材料利用率达到 85%~90%，生产率为每班 2000~3000 件，制造成本较传统工艺降低 15%~20%；尺寸精度高（一般可以达到：直径 $\leq 0.04\text{mm}$ 、同心度 $\leq 0.05\text{mm}$ 、厚度 $\leq 0.15\text{mm}$ ）。

该技术可用于轿车差速器行星齿轮、半轴齿轮、等速万向节星形套、十字轴、三角恒速器接头、连杆盖、离合器齿轮等高精度复杂锻件的生产。这类锻件的机加工余量很小，如万向节十字轴仅留 0.30~0.40mm 的磨削余量；锥齿轮的传动精度可达到 IT7 级，齿面可取代机加工直接使用；星形套的内球道直径公差为 0.05~0.08mm。

图 1.6 所示为闭塞锻造成形的各种精密锻件。

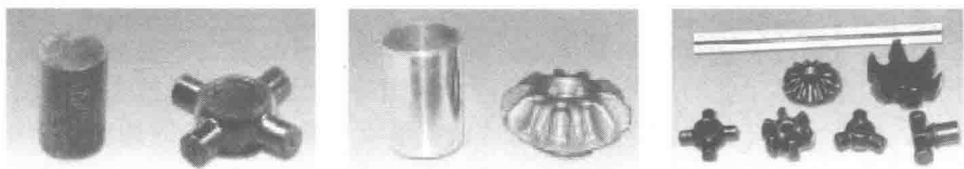


图 1.6 闭塞锻造成形的各种精密锻件

3. 铝合金精密锻造成形

大批量铝合金精密锻件的开发与应用，是与汽车工业的飞速发展密切相关的。铝合金锻件需求的迫切性主要是汽车“减重”这一大趋势推动的结果。

我国铝合金的整体锻造水平较发达国家落后 10~20 年，目前仍处于用单工位的简单锻粗与挤压方式生产形状相对简单的锻件的阶段。20 世纪 60 年代，我国开始研究铝合金

活塞的挤压工艺,并得到广泛应用。在复杂形状零件的铝合金锻造成形工艺的研发上投入单位较少,特别是在大批量生产上及在先进实用的锻造成形技术方面鲜有人开发研究。

用自由锻造方法单件或小批量生产飞机上的铝合金锻件,由于材料利用率低、成本高,无法在大批量生产上应用。近年来,随着我国汽车工业特别是轿车工业的发展,国内采用冷挤压、温冲压、等温锻造等锻造成形工艺进行支架、引信体、安全气囊壳体、通信器材壳体等复杂铝合金锻件(图 1.7)的大批量工业生产,满足了生产需要。

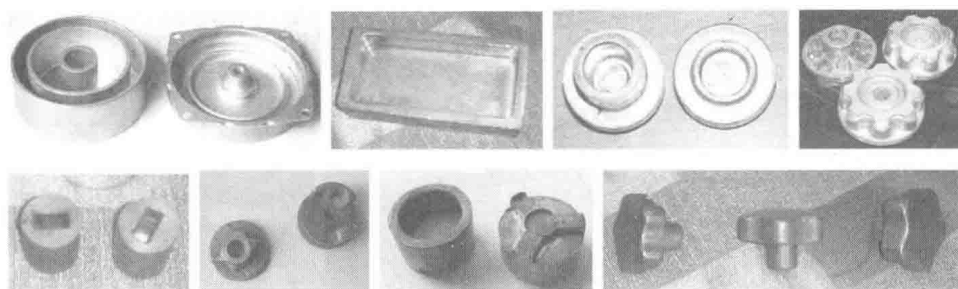


图 1.7 锻造成形的铝合金精密锻件

4. 精密热模锻成形

精密热模锻成形技术是我国汽车工业、摩托车、通用机械、兵器、航空航天等行业广泛应用的制造工艺方法。它可以生产更接近零件最终形状的锻件,不仅节约材料、能源、减少加工工序和设备,而且显著提高了生产率和产品品质,降低了生产成本。图 1.8 所示为精密热模的各类锻件。

(1) 汽车差速器齿轮的精密热模锻。图 1.9 所示为汽车差速器齿轮(直齿锥齿轮),是精密热模锻成形技术应用最普遍的一例。目前我国载重汽车的直齿锥齿轮基本都是采用精密热模锻工艺进行生产的,其齿形精度达到 IT8 级,完全取代了切齿加工。



图 1.8 精密热模锻的各类锻件

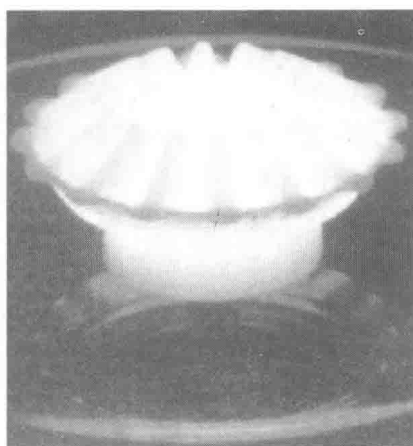


图 1.9 精密热模锻的汽车差速器锥齿轮

(2) 汽车前轴的精密热模锻。前轴是载重汽车上最大的锻件,其质量通常为 70.0~130.0kg。对于载重汽车的前轴,采用“成形辊锻-整体热模锻”的精密锻造成形技术。该项技术使前轴难以锻造成形的工字梁和弹簧座通过成形辊锻成形,而热模锻只对两端弯臂