



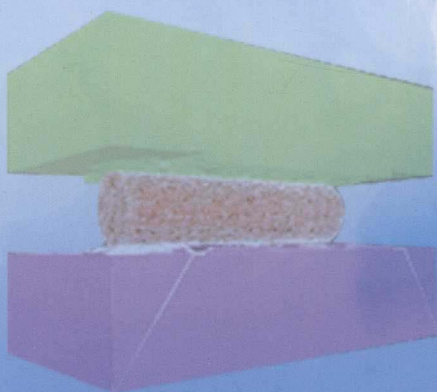
卓越工程师

教育培养计划配套教材

■ 宋仁伯 编著

材料成形工艺学

CAILIAO CHENGXING GONGYIXUE



冶金工业出版社

www.cnmp.com.cn



卓越工程师
教育培养计划配套教材

材料成形工艺学

宋仁伯 编著

北 京

冶金工业出版社

2019

内 容 提 要

本书根据“工科试验班-卓越工程师教育培养计划”的教学要求和专业特点,既详述了材料成形工艺的原理和方法,又介绍了工程生产及应用实例与发展前景,体现了材料成形理论与实际应用的相结合。全书共9章,主要内容包括材料成形工艺概述、铸造工艺、锻造工艺、冲压工艺、拉拔工艺、挤压工艺、轧制工艺、熔化焊接工艺、特种成形工艺;侧重于不同金属材料的成形原理及方法、工艺参数设计、质量控制技术及相关的生产及科研案例的内容介绍。

本书可作为“工科试验班-卓越工程师教育培养计划”中材料科学与工程专业或相关专业的教材,也可供从事金属材料研究、生产和使用的科研人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料成形工艺学/宋仁伯编著. —北京:冶金工业出版社, 2019. 2

卓越工程师教育培养计划配套教材

ISBN 978-7-5024-7983-1

I. ①材… II. ①宋… III. ①工程材料—成形—
工艺学—教材 IV. ①TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 022675 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 曾 媛 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 郑 娟 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7983-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2019 年 2 月第 1 版, 2019 年 2 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 30.75 印张; 745 千字; 480 页

69.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前言

“工科试验班-卓越工程师教育培养计划”的本科教学要求是：“厚学科基础、宽专业领域、重创新实践、强工程训练、懂经营管理”，有别于普通本科的要求。其中材料科学与工程专业本科学生的培养，更强调专业知识的实践性、应用性和技术性，对于实际的工程技术和应用能力的要求更加迫切。与此相应，就需要编写符合“工科试验班-卓越工程师教育培养计划”材料科学与工程专业课程设置，突出创新型人才的培养特色，具有灵活性、实践性和前瞻性的特色教材。

本教材对应的课程为《材料成形工艺》，是“工科试验班-卓越工程师教育培养计划”的材料科学与工程专业核心课程之一，目的是让学生了解和熟悉各类金属材料的成形工艺理论及技术、工艺设计原理，掌握材料成形工艺的基本理论、组织性能控制方法及成形的新工艺、新技术，因此本课程在材料科学与工程专业本科教学中具有举足轻重的作用。为了使能够拥有更加系统、科学的材料成形工艺方面的专业知识，立足于该专业本科创新型人才培养目标，突出应用性和针对性，与通识课、学科平台课的理论教学相配套，培养学生分析和解决问题能力的工程实践能力，尤其针对现有专业教材中材料成形工艺设计与实际应用内容陈旧和偏少，与生产实践结合不足的现状，本教材结合了“工科试验班-卓越工程师教育培养计划”中材料科学与工程专业培养特点，进行了材料成形工艺理论与实际应用紧密相结合的教材体系及内容的构建。

众所周知，材料成形工艺已成为一个由物理冶金、化学冶金、机械加工和自动控制等环节组成的复杂系统工程，要全面、系统地介绍材料成形工艺学所涉及的基础理论、应用技术基础和工程控制技术，其难度可以想象。因此，本教材以培养和提升学生的知识应用能力为主旨，以“必需、够用”为度，着眼于理论知识的实际应用，突出学生解决与分析能力综合素质的培养。

本教材是作者将十几年的材料成形工艺理论的实际应用和课题研究经验总结而成，系统、全面地介绍了材料成形工艺的原理、工艺过程及发展。教材的特点如下：

(1) 作者结合自己多年的教学和实践经验，将材料成形工艺理论与

技术、典型材料的成形工艺及质量控制内容有机地融合，充分体现了材料成形工艺知识体系的理论及实际应用价值。

(2) 本教材讲解详细、条理清晰、图文并茂、通俗易懂，并突出典型材料成形工艺流程的实例介绍，大力培养了学生创造性思维能力和独立分析与解决实际问题的能力。

(3) 本教材所选的材料成形工艺设计实例均来自生产实际和课题研究成果，是得到应用的成功案例，与生产实际息息相关，注重代表性和可学习性，具有很强的实用性。

本教材由北京科技大学宋仁伯教授主编。其中，宋仁伯编写了第5章和第7章，蒋波编写了第1章，张鸿编写了第2章和9.1节，张永军编写了第3章和第4章，石章智编写了第6章，陈树海编写了第8章，赵兴科编写了9.2节和9.6节，王永金编写了9.3节，张朝磊编写了9.4节和9.5节。全书由北京科技大学刘雅政教授、孙建林教授、赵志毅教授和辽宁科技大学李胜利教授审定。

本教材的编写与出版得到了北京科技大学教材建设经费资助和冶金工业出版社的大力支持，在此一并深表谢意。

由于作者水平所限，书中不妥之处，诚请广大读者批评指正。

编著者

2018年8月

目 录

1 材料成形工艺概述	1
1.1 材料成形的方法及分类	2
1.1.1 金属凝固成形工艺	2
1.1.2 金属固态塑性成形工艺	3
1.1.3 金属焊接成形工艺	5
1.2 材料成形工艺选择的依据	6
1.3 材料成形工艺的发展	8
思考题	10
参考文献	10
2 铸造工艺	11
2.1 铸造工艺原理	11
2.1.1 液态金属的充型能力	11
2.1.2 凝固方式	17
2.1.3 铸造合金的收缩特点	19
2.1.4 金属凝固的形核与生长	22
2.1.5 单相合金结晶过程中的溶质再分配	29
2.1.6 铸件的凝固组织及性能控制	36
2.2 铸造工艺方法	43
2.2.1 砂型铸造	43
2.2.2 特种铸造	48
2.2.3 消失模铸造	55
2.3 铸造工艺设计	58
2.3.1 铸造工艺设计内容	58
2.3.2 铸造工艺方案的制定	59
2.3.3 铸造工艺图的绘制	62
2.3.4 铸造工艺参数的确定	64
2.3.5 模具设计	76
2.4 铸造工艺的新进展	76
2.4.1 定向凝固	76
2.4.2 快速凝固	78
2.4.3 3D 打印	78

2.4.4 连续铸造	79
2.4.5 铸造工艺计算机辅助设计	80
思考题	81
参考文献	83

3 锻造工艺 85

3.1 锻造工艺原理	86
3.1.1 可锻性	86
3.1.2 锻造时金属的宏观变形规律	86
3.1.3 锻造变形对组织与性能的影响	87
3.2 锻前加热锻后冷却与热处理	88
3.2.1 锻前加热	88
3.2.2 锻后冷却	89
3.2.3 锻件热处理	90
3.3 锻造工艺方法	91
3.3.1 自由锻	91
3.3.2 模锻	95
3.4 自由锻工艺设计	97
3.4.1 自由锻件图	98
3.4.2 坯料质量和尺寸	99
3.4.3 变形工艺方案	100
3.4.4 锻造比	101
3.4.5 自由锻造设备吨位	101
3.4.6 自由锻工艺规程卡片	101
3.5 模锻工艺设计	102
3.5.1 模锻件图设计	102
3.5.2 模锻工序方案确定	105
3.5.3 锤上模锻坯料尺寸	109
3.5.4 模锻锤吨位	110
3.5.5 锤上模锻工步及其模膛	110
3.5.6 锤上制坯工步及其模膛	112
3.5.7 锤锻模结构	116
3.6 锻造工艺的新进展	122
3.6.1 精密模锻	122
3.6.2 等温锻造	122
思考题	123
参考文献	124



4 冲压工艺	125
4.1 冲压工艺原理	125
4.1.1 冲压成形的力学特点	125
4.1.2 冲压工艺对板料的基本要求	127
4.1.3 常用冲压材料及其力学性能	128
4.2 冲压工艺方法	129
4.2.1 冲裁工艺	129
4.2.2 弯曲工艺	136
4.2.3 拉深工艺	141
4.2.4 胀形与翻边工艺	148
4.3 冲压工艺设计	150
4.3.1 冲压件的工艺性分析	151
4.3.2 确定冲压件的成形工艺方案	151
4.3.3 确定冲压模具的结构形式	151
4.3.4 选择冲压设备	152
4.3.5 冲压工艺文件的编写	152
4.4 冲压模具结构	152
4.4.1 单工序模	152
4.4.2 复合模	154
4.4.3 连续模	157
4.5 冲压模具主要零部件的结构	159
4.5.1 工作零件	159
4.5.2 定位零件	160
4.5.3 出料与卸料零件	161
4.5.4 导向零件	162
4.5.5 支撑与固定零件	162
4.5.6 紧固及其他零件	163
4.6 冲压工艺的最新进展	164
4.6.1 内高压成形技术	164
4.6.2 热冲压成形技术	165
思考题	165
参考文献	166
5 拉拔工艺	168
5.1 拉拔工艺原理	168
5.1.1 拉拔过程的建立	168
5.1.2 金属的流动规律	170

5.1.3 金属的受力特点	172
5.1.4 拉拔件的组织及性能控制	174
5.2 拉拔工艺方法	181
5.2.1 实心材拉拔工艺	181
5.2.2 空心材拉拔工艺	181
5.3 拉拔工艺设计	183
5.3.1 拉拔工艺设计的内容	183
5.3.2 拉拔工艺方案的确定	184
5.3.3 拉拔工艺参数的确定	185
5.3.4 拉拔工具设计	191
5.4 拉拔工艺的新进展	201
思考题	201
参考文献	202
6 挤压工艺	203
6.1 挤压工艺原理	203
6.1.1 金属的流动规律	204
6.1.2 金属的受力特点	206
6.1.3 挤压件的组织及性能控制	209
6.2 挤压工艺方法	211
6.2.1 正挤压工艺	211
6.2.2 反挤压工艺	214
6.2.3 径向挤压工艺	214
6.3 挤压工艺设计	215
6.3.1 挤压工艺设计的内容	215
6.3.2 挤压工艺方案的确定	216
6.3.3 挤压工艺参数的确定	219
6.3.4 挤压工具设计	222
6.4 挤压工艺的新进展	227
6.4.1 Conform 连续挤压	227
6.4.2 等温挤压	229
6.4.3 静液挤压	230
思考题	231
参考文献	231
7 轧制工艺	233
7.1 轧制工艺原理	233
7.1.1 轧制过程的建立	233



7.1.2 金属的变形规律	236
7.1.3 金属的运动特点	238
7.1.4 金属的力学条件	241
7.1.5 连续轧制理论	244
7.1.6 轧件的组织及性能控制	246
7.2 轧制工艺方法	249
7.2.1 型材轧制工艺	249
7.2.2 板带材轧制工艺	258
7.2.3 管材轧制工艺	263
7.3 轧制工艺设计	269
7.3.1 轧制工艺设计的内容	269
7.3.2 轧制工艺流程的确定	270
7.3.3 轧制工艺参数的确定	273
7.4 轧制工艺的新进展	320
7.4.1 型材轧制工艺新进展	320
7.4.2 板带材轧制工艺新进展	321
7.4.3 管材轧制工艺新进展	322
思考题	323
参考文献	324
8 电弧熔化焊接工艺	326
8.1 熔化焊接理论基础	326
8.1.1 焊接热过程	327
8.1.2 焊接冶金原理	329
8.1.3 焊接应力与变形原理	344
8.2 电弧熔化焊接方法	346
8.2.1 钨极氩弧焊	346
8.2.2 等离子弧焊	349
8.2.3 熔化极气体保护焊原理	352
8.2.4 埋弧自动焊	360
8.2.5 焊条电弧焊	365
8.3 焊接工艺设计	367
8.3.1 金属焊接性	367
8.3.2 焊接方法的选择	370
8.3.3 焊接材料的选择	372
8.3.4 焊接结构设计	376
8.4 熔化焊接工艺新进展	384
8.4.1 激光-电弧复合热源焊接技术	384
8.4.2 双丝及多丝电弧焊接技术	385

8.4.3 A-TIG 焊接技术	386
8.4.4 CMT 焊接技术	387
思考题	387
参考文献	388
9 特种成形工艺	389
9.1 特殊凝固成形工艺	389
9.1.1 快速凝固成形工艺	389
9.1.2 定向凝固成形工艺	396
9.1.3 电磁约束铸造工艺	402
9.2 增材制造成形工艺	405
9.2.1 选区激光熔合增材成形工艺	406
9.2.2 激光沉积增材成形工艺	414
9.3 半固态成形	422
9.3.1 半固态坯料制备	424
9.3.2 半固态流变成形	427
9.3.3 半固态触变成形	429
9.3.4 半固态成形技术应用	431
9.4 超塑性成形工艺	432
9.4.1 超塑性变形的机理	432
9.4.2 超塑性成形的应用及其优势	434
9.4.3 超塑性挤压工艺	435
9.4.4 超塑性模锻工艺	440
9.5 特种轧制成形工艺	444
9.5.1 多辊轧制工艺	444
9.5.2 楔横轧制工艺	446
9.5.3 辊锻工艺	450
9.5.4 旋压工艺	452
9.5.5 铸轧工艺	454
9.6 先进连接成形工艺	456
9.6.1 激光连接工艺	456
9.6.2 电子束连接成形工艺	462
9.6.3 摩擦焊接工艺	465
9.6.4 扩散连接成形工艺	473
思考题	477
参考文献	478

【本章概要】

本章主要介绍材料成形的方法及分类、材料成形工艺选择的依据和材料成形工艺的发展。在方法及分类中重点介绍三种主要的材料成形工艺：金属凝固成形工艺、金属固态塑性成形工艺和金属焊接成形工艺，以及各成形工艺的定义、特点和分类；选择的依据主要包括零件特点、生产批量、生产条件以及新技术的利用；介绍了材料成形工艺的发展概况以及新形势下的发展新方向。

【关键词】

材料成形，定义，特点，分类，依据，零件特点，生产批量，生产条件，精密成形，复合成形，绿色制造，发展，新方向。

【章节重点】

本章应重点理解材料成形工艺的定义、特点和分类，在此基础上了解各材料成形工艺的适用范围以及涉及工艺成本与产品品质等因素；掌握选择依据，能够在实际应用中选择合适的成形工艺；了解各种材料成形工艺的发展概况以及未来的发展新方向。

国民经济中，不管是海上巨无霸航空母舰、翱翔太空的航天飞船、空中王者歼-20 战机、万吨重型水压机，还是生活中的汽车、铁路车辆、家电、电器与电子产品、高层建筑、仪器仪表等，都是由许许多多的零件、部件及构件组成。这些零件的材料多种多样，有金属材料，也有非金属材料，但都需要经过一定的加工过程，获得一定的形状、尺寸和使用性能，才能满足机械零件的需求。

如图 1-1 所示，由原材料到最终机械产品的加工过程多种多样，但一般都需要经过材料的成形工艺。目前，常见的材料成形工艺主要分为三大类：金属凝固成形工艺、金属固态塑性成形工艺和金属焊接成形工艺。作为制造业的重要组成部分，材料成形工艺是汽车、电力、石化、造船及机械等支柱产业的基础制造技术，新一代材料成形技术也是先进制造技术的重要内容。

伴随着工业的发展、市场的繁荣，人们对产品的要求越来越多变，个性化的、精制的产品层出不穷，各种单件小批量产品的生产促进了材料成形新工艺、新技术、新材料的多样化发展。当前，材料成形工艺已发展成为一个由物理冶金、化学冶金、机械加工和自动控制等环节组成的复杂系统工程。因此，系统、全面地了解材料成形工艺所涉及的基础理论、应用技术基础和工程控制技术，影响着材料产品的质量、性能、用途等各个方面，也影响着现代工业发展。

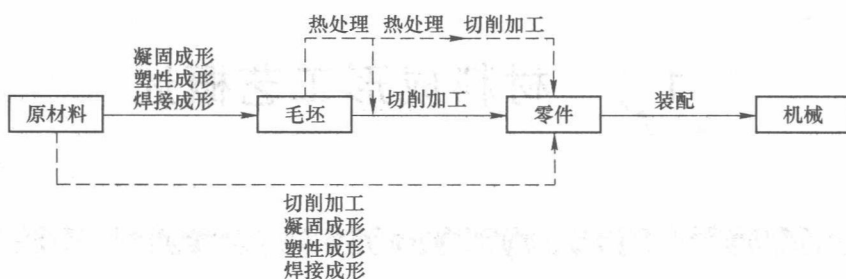


图 1-1 机械加工一般流程

1.1 材料成形的方法及分类

1.1.1 金属凝固成形工艺

1.1.1.1 金属凝固成形工艺的定义与特点

金属凝固成形工艺是将具有一定化学成分的金属材料熔化成液态后，在重力或外力作用下，浇注入与拟成形的零件形状及尺寸相适应的模型空腔（称为铸型）中，待液态金属冷却凝固后将铸型打开（或破坏）取出所形成的铸件毛坯，清理掉由于工艺需要而添加的部分（如浇口、冒口等）后，得到具有一定形状、尺寸和性能的铸件的成形方法。

这种成形方法能够制成外形和内腔都很复杂的零件，而且其大小几乎不受限制，长度尺寸可以从几毫米到十几米，厚度可从 0.3mm 至 1m，重量可从几克到上百吨。图 1-2 所示为采用金属凝固成形工艺获得的不同形状的零部件。金属凝固成形后获得的毛坯，形状和尺寸均比较接近零件；同时，具有原材料来源广泛（成本低廉的切屑等）、金属材料利用率高（毛坯加工余量较小）、加工工时较短、产品性能好、产品尺寸规格一致等优点。例如，基于定向凝固原理开发的薄壁光亮铜管连铸技术，可使精密电子铜管的生产工艺缩短 60%，节能 40%，成材率由传统工艺的 60% 提高到 85% 以上。但由于凝固成形过程中，液

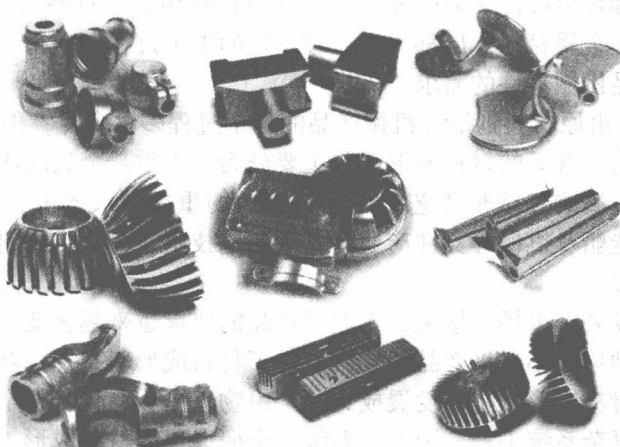


图 1-2 采用金属凝固成形工艺生产的零部件



态金属或合金的充型能力、凝固方式以及凝固过程中液态金属的收缩等共性问题的存在,会导致铸件中缩孔、缩松、气孔、晶粒粗大、应力、裂纹以及冷隔等铸造缺陷的产生,从而导致铸件质量不稳定且力学性能较差。凝固条件千变万化,但从液-固相转变过程来看,可以抽象为从液相到液-固两相混合区,再到固相区转变的过程。这一过程由冷却速率(R)和温度梯度(G)两个参数控制。因此,为了实现对成形件的质量控制,掌握凝固成形过程的工艺特点及其影响因素是很有必要的。

另外,凝固成形所提供的铸件往往是半成品的坯件,需要进一步进行机械加工。随着制造业的不断进步,凝固成形技术的不断发展,凝固成形工艺逐渐由近型向净型发展,很多新的精确铸造成形技术可以生产出少或无机械加工、力学性能更好的铸件。属于精确铸造成形的产品有很多种,广泛应用于医疗、航空、航天、冶金、化工、建筑、军工等领域,例如泵体、阀体、飞机、火车、舰船的叶轮、叶片以及空心叶片等。

1.1.1.2 金属凝固成形工艺的分类

金属凝固成形工艺可按照铸型材料、浇注时受力作用或造型方法的不同,而进行不同的分类。根据铸型材料的不同进行分类,以型砂为材料制备铸型的成形方法称为砂型铸造;与普通砂型铸造不同的其他铸造方法称为特种铸造,目前特种铸造方法已经发展到几十种,常见的有熔模铸造、金属型铸造、压力铸造、低压铸造、离心铸造、陶瓷型铸造、消失模铸造以及磁型铸造等。

根据浇注时受力作用的不同进行分类,可以分为重力和外力作用下的铸造。重力作用下的铸造包括砂型铸造、金属型铸造、熔模铸造以及消失模铸造等。外力作用下的铸造包括压力铸造、低压铸造、离心铸造以及反重力铸造等。

造型方法不同,金属凝固成形工艺又可以分为机械造型铸造、化学造型铸造以及物理造型铸造。机械造型铸造主要依靠手工或机械作用紧实砂型,其工艺技术成熟,随着机械化、自动化水平的提高,生产率明显提高,应用较广。化学造型铸造主要利用诸如水玻璃、呋喃树脂、酚醛树脂等化学黏结剂来紧实型砂;而物理造型铸造则是利用真空、重力、磁力等物理手段来制作铸型,如消失模铸造等,是一种具有发展前景的新工艺。

1.1.2 金属固态塑性成形工艺

1.1.2.1 金属固态塑性成形工艺的定义与特点

金属固态塑性成形工艺,又称为金属压力加工,是指利用金属材料在外力作用下的塑性变形能力,来获得一定形状、尺寸和力学性能的原材料、毛坯或零件的加工方法。因此,金属固态塑性成形工艺的目的就是两个:一是改变材料的形状,另一个是改善其性能。与其他加工方法相比(如金属的切削加工、金属凝固成形以及金属焊接成形),金属固态塑性成形工艺有如下特点:

(1) 成材率高。金属固态塑性成形主要靠金属在塑性状态下的体积重新分配成形,坯料的形状和尺寸与成品零件比较接近,只有少量的工艺废料,流线分布合理。

(2) 组织与性能好。金属固态塑性成形工艺获得的产品的组织比较致密,内部缺陷少,晶粒细小,性能提高,比如利用锻造成形工艺可有效消除大型铸锭内部的缩孔、疏松等冶金缺陷。

(3) 具有较高的尺寸精度。很多塑性成形方法已基本无切削的要求,例如一些采用

精密锻造具有复杂曲面的零件，可达到磨削的精度。

(4) 机械化和自动化程度高，生产率高。由于塑性成形的加工工具和设备的改进，可适应大批量生产。

(5) 产品范围广。塑性成形方法的不断发展使得生产产品的种类多样，例如利用微成形等精密成形技术可生产小到几克重的精密零件，利用上万吨的压力机可生产大到几百吨的巨型锻件。

1.1.2.2 金属固态塑性成形工艺的分类

根据塑性成形的特点，金属固态塑性成形工艺可分为体积成形和板料成形。体积成形主要是指利用工具、模具等设备，对金属坯料（块料）进行体积重新分配的塑性变形；板料成形则是对厚度较小的金属板料，利用特定模具的作用产生塑性变形，两者均为获得一定形状、尺寸和性能的零件。图 1-3 所示的冲压工艺为典型的板料成形，图 1-4 所示的曲轴模锻工艺为典型的体积成形，变形过程变形量和形状变化较大。

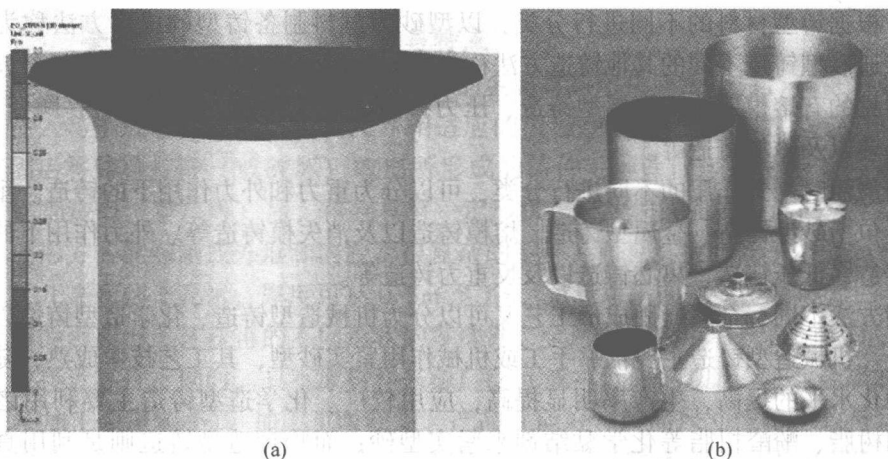


图 1-3 冲压工艺

(a) 冲压过程模型图；(b) 冲压成品

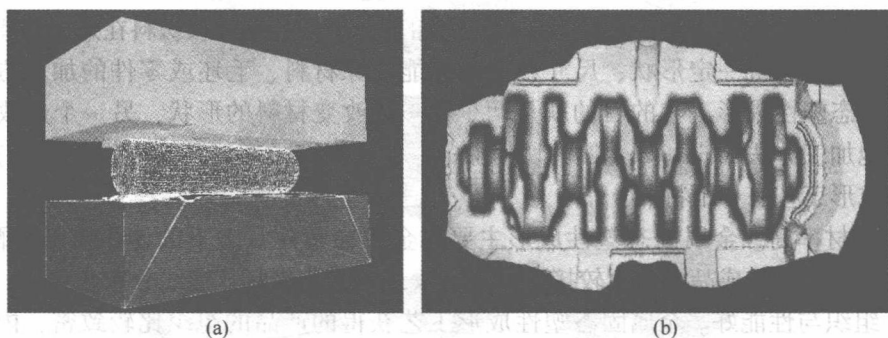


图 1-4 曲轴模锻工艺

(a) 变形前；(b) 变形后



按成形时工件的温度，一般可以将金属固态塑性成形工艺可分为热成形、温成形和冷成形。热成形指的是金属材料在其再结晶温度以上进行塑性变形，变形温度高，塑性较好，变形抗力低，可进行大量的塑性变形，有利于改善金属内部铸态组织，改善力学性能。温成形指的是金属材料在高于其回复温度但低于其再结晶开始温度的温度范围内进行塑性变形，金属或合金内产生加工硬化的同时，伴随有动态回复软化和变形间隙时间内的静态软化，但加工硬化程度大于软化程度。相对于温成形，冷成形的变形温度一般低于回复温度，变形过程中只有硬化而无回复与再结晶现象，变形的金属中只存在加工硬化特征，因而强度上升，塑性下降。根据产品形状或性能的不同，各分类下的变形方式又形成多种加工方式，应用于国民经济中的各个领域，分类如图 1-5 所示。

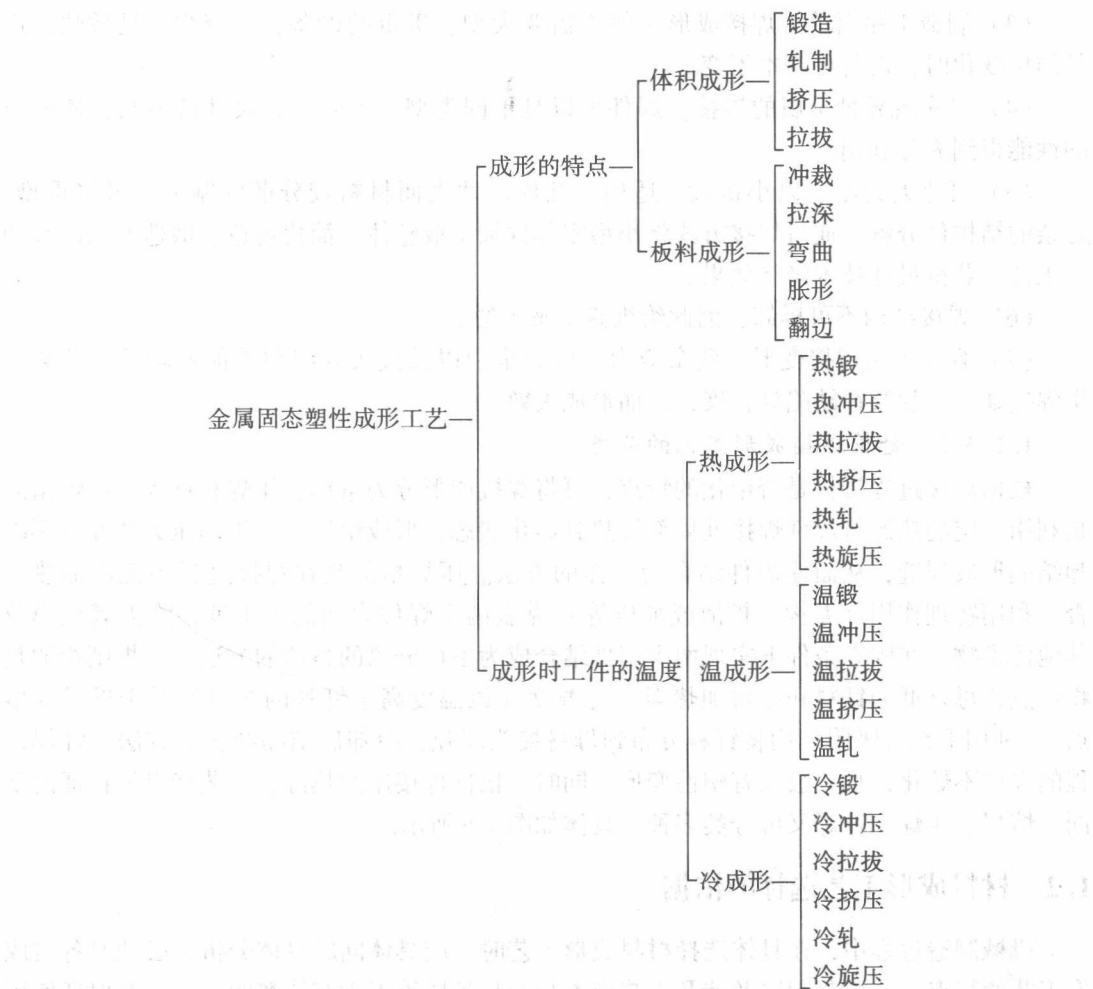


图 1-5 金属固态塑性成形工艺的分类

1.1.3 金属焊接成形工艺

1.1.3.1 金属焊接成形工艺的定义与特点

金属的焊接成形，是指通过加热、加压或加热加压，并且用或不用填充材料，借助金



属原子的结合与扩散作用,使两个分离固态表面的金属原子接近到晶格距离(0.3~0.5nm),形成金属键,实现永久性的连接。该工艺广泛应用于航空航天、船舶重工、桥梁制造、石油化工、锅炉与压力容器、建筑机械、电子器件以及汽车制造等行业。据统计,全世界有65%的钢材需要用金属焊接成形工艺来制造结构;从几十万吨的巨轮到不足1克的微电子原件,焊接成形技术的应用无处不在。与其他材料成形工艺,如金属凝固成形、金属固态塑性成形、铆接相比,金属的焊接成形具有如下特点:

(1) 刚度大、整体性好、接头气密性和水密性好。焊接成形的连接是通过原子间的结合力实现的,在外力作用下不产生较大的变形。

(2) 节省金属材料,结构重量轻,成本低。焊件之间不需要附加的连接件,焊接接头的强度一般能达到母材相同的强度。据统计,焊件一般比铆件轻36%,比铸件轻30%。

(3) 制造工序简单。焊接成形一般不需要大型、贵重的设备,投资少、见效快,产品结构变化时,设备可基本不变。

(4) 可实现异种金属的连接。焊件可以是不同类型、不同形状尺寸的材料,使材料的性能得到充分利用。

(5) 可化大为小、以小拼大,适用于几何尺寸大而材料较分散的制品。可将重型、复杂的结构件分解,通过焊接方式将小型零部件加工成整体,简化铸造、锻造及切削等加工工艺,获得最佳技术经济效果。

(6) 焊接结构不可拆卸,因此给维修带来不便。

(7) 容易产生焊接变形、残余应力、应力集中以及接头处组织性能不均等,并会产生焊接缺陷,裂纹在缺陷处扩展,从而形成失效。

1.1.3.2 金属焊接成形工艺的分类

根据焊接过程母材是否熔化的特点,可将焊接成形分为熔焊、压焊和钎焊。熔焊指的是利用一定的热源将焊件焊接处局部加热到熔化状态,形成熔池,在不加压力情况下再冷却结晶形成焊缝,从而使焊件结合为一体的方法。压焊指的是在焊接过程中无论加热与否,利用物理作用(摩擦、扩散或加压等)克服两个焊件表面的不平度,除去氧化膜及其他污染物,在固态条件下实现两个焊件结合成为不可分离的整体的方法。钎焊则指的是将熔点比母材低的钎料和母材加热至一定温度(该温度高于钎料的熔点但低于母材的熔点),利用毛细管吸附作用将钎料分布到母材接头间隙,冷却后结晶结合的方法。钎焊过程的焊件不熔化,且一般没有塑性变形。同时,根据焊接用的热源、工艺特点等特征的不同,熔焊、压焊和钎焊又可分类多种,具体如图1-6所示。

1.2 材料成形工艺选择的依据

机械制造过程中,在具体选择材料成形工艺时,应具体问题具体分析,必须对各类成形工艺的特点、适用范围以及涉及工艺成本与产品品质等因素有清楚的了解,在保证使用要求的前提下,力求做到质量好、成本低和制造周期短。材料成形工艺的选择主要有以下依据:

(1) 零件特点。零件的特点主要包括零件类别、用途、功能、使用性能要求、结构形状与复杂程度、尺寸精度及技术要求等。根据零件特点可基本确定零件应选用的材料与成形方法。以汽车车身覆盖件为例,这类零件是车身的主体,要求表面质量较好;汽车碰