



全国本科院校机械类**创新型**应用人才培养规划教材

模具设计与制造



主编 田光辉 林红旗



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材

模具设计与制造

主 编	田光辉	林红旗	
副主编	周先辉	梁秀山	
	耿桂宏	冯翠云	
参 编	杨 样	李国慧	邱玉江
	张 欣	姜 萌	
主 审	张洪峰		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书内容分3篇讲授:第1篇冲压成形工艺与模具设计(第1~7章)、第2篇塑料成形工艺与模具设计(第8~10章)、第3篇模具制造技术(第11~13章),共13章内容。本书主要介绍了冲压工艺基础,冲裁工艺与冲裁模,弯曲工艺与弯曲模,拉深工艺与拉深模,其他冲压成形工艺与模具设计(胀形、缩口及翻边),基于eta/DYNAFORM的冲压模有限元仿真,冲压工艺设计;塑料成形工艺基础,注射成形工艺及注射模,其他塑料成形工艺及模具(压缩模、压注模、挤出成形、中空吹塑、真空成形、压缩空气成形及泡沫塑料成形),模具制造基础,模具成形表面的加工和模具装配工艺。除正文之外,还有附录。附录中有冲模零件常用材料及热处理要求、常用塑料的收缩率、塑料模具成形零件及其他工作零件常用材料及热处理要求,还有冲压模和塑料模专业术语中英文对照,便于学生自学专业英语。

本书力求将模具设计与制造的基本原理、基本知识与实际应用紧密结合,体现应用型本科生的培养特点;同时,也对现代模具先进技术作了适当的介绍,各章后均附有习题,重点章节还附有“综合案例”或“应用案例”和“综合实训”。

本书可作为高等院校机械类、近机类各专业教材,也可作为成人高校等的培训教材,还可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具设计与制造/田光辉,林红旗主编. —北京:北京大学出版社,2009.9

(全国本科院校机械类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-15741-1

I. 模… II. ①田…②林… III. ①模具—设计—高等学校—教材②模具—制造—高等学校—教材

IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 167068 号

书 名: 模具设计与制造

著作责任者: 田光辉 林红旗 主编

责任编辑: 郭穗娟

标准书号: ISBN 978-7-301-15741-1/TH·0161

出 版 者: 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> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电子邮箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 北京宏伟双华印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 26.5 印张 621 千字

2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 42.00 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

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前言(Preface)

在国家产业政策的正确引导下,经过几十年的努力,我国模具的设计与制造能力已达到较高水平,包括信息工程和虚拟技术等许多现代设计制造技术已在很多模具企业得到应用。虽然如此,我国的模具设计与制造能力与市场需要和国际先进水平相比仍有较大差距。进入 21 世纪后,社会对模具设计与制造人才的需求持续增长。

现代模具工业技术人员必须具备模具的基础知识、技术和能力。按照这一要求,本书分为第 1 篇冲压成形工艺与模具设计(第 1~7 章)、第 2 篇塑料成形工艺与模具设计(第 8~10 章)、第 3 篇模具制造技术(第 11~13 章),共 13 章内容。第 1 篇介绍冲压材料、设备、冲压件的工艺性要求,重点介绍冲裁模、弯曲模和拉深模设计;第 2 篇介绍塑料的组成和特性、塑料件的结构工艺性,重点介绍使用最为广泛、模具结构比较复杂且最具代表性的注射模具的设计;第 3 篇重点介绍模具零件加工工艺、模具装配方面的基础知识。

模具设计与制造是一门综合性、实践性很强的学科,也是近年来飞速发展的学科之一。在本书的编写过程中,编者既注重理论联系实际,突出实用,同时又注重模具新技术、新工艺的介绍,并力求体现近几年来有关各院校在教学改革方面所取得的成果。

本书通俗易懂,层次结构分明,内容实用。各章后均附有习题,且重点章节后还附有“综合案例”或“应用案例”和“综合实训”。附录中有冲模零件常用材料及热处理要求、常用塑料的收缩率、塑料模具成形零件及其他工作零件常用材料及热处理要求,还有冲压模和塑料模专业术语中英文对照,便于学生自学专业英语。本书适用于应用型本科机械类、近机械类专业,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

本书由南阳理工学院田光辉(第 2 章)、林红旗(第 9 章)、周先辉(第 12 章)、梁秀山(第 11、13 章)、北方民族大学耿桂宏(第 10 章)、桂林电子科技大学冯翠云(第 6 章)、南阳理工学院杨样(第 3 章)、邱玉江(第 4 章)、李国慧(第 1、5 章及附录 A、B)、姜萌(第 7 章及附录 C、D)、张欣(第 8 章)编写。

本书由田光辉、林红旗担任主编并负责统稿和修改,周先辉、梁秀山、耿桂宏、冯翠云担任副主编,周先辉老师并负责全书英文翻译。南阳理工学院张洪峰教授担任主审。

本书在编写过程中得到了参编单位的大力支持和帮助,主审也提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不当和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者
2009 年 5 月

目 录

第 1 篇 冲压成形工艺与模具设计1	2.3 排样设计.....29
第 1 章 冲压工艺基础1	2.3.1 排样设计的原则及分类.....29
1.1 模具概述.....2	2.3.2 排样设计.....32
1.1.1 模具的概念.....2	2.4 冲裁工艺计算.....34
1.1.2 模具的分类.....2	2.4.1 冲裁间隙.....34
1.1.3 如何学习好“模具设计与制造”课程.....2	2.4.2 刃口尺寸设计.....36
1.2 冲压成形的特点与分类.....3	2.4.3 冲裁工序力的计算.....40
1.2.1 冲压成形.....3	2.4.4 冲裁压力中心的计算.....41
1.2.2 冲压成形的特点.....3	2.5 冲裁模零部件结构设计.....45
1.2.3 冲压工序分类.....3	2.5.1 工作零件的设计.....45
1.3 板料的冲压成形性能.....5	2.5.2 定位装置的设计.....52
1.3.1 金属材料的塑性与变形抗力.....5	2.5.3 卸料与推件、顶件装置.....58
1.3.2 冲压成形工艺的分类.....7	2.5.4 固定零件.....61
1.3.3 板料力学性能与成形性能的关系.....8	2.6 综合案例.....64
1.4 冲压常用的材料.....10	本章小结.....67
1.5 冲压设备.....12	习题.....68
1.5.1 曲柄压力机.....12	综合实训.....69
1.5.2 压力机类型的选择.....16	第 3 章 弯曲工艺与弯曲模72
本章小结.....16	3.1 弯曲工艺及弯曲件工艺性.....73
习题.....17	3.1.1 弯曲工艺.....73
综合实训.....17	3.1.2 弯曲变形过程.....73
第 2 章 冲裁工艺与冲裁模19	3.1.3 弯曲变形特点.....74
2.1 冲裁工艺设计基础.....20	3.1.4 弯曲件的结构工艺性.....76
2.1.1 冲裁工艺.....20	3.2 弯曲模典型结构.....79
2.1.2 冲裁变形过程.....20	3.2.1 V 形件弯曲模.....79
2.1.3 冲裁件的断面特征.....21	3.2.2 U 形件弯曲模.....80
2.1.4 冲裁件的工艺性.....22	3.2.3 帽形件弯曲模.....82
2.2 冲裁模典型结构.....25	3.2.4 Z 形件弯曲模.....83
2.2.1 冲裁模的结构组成.....25	3.2.5 圆形件弯曲模.....84
2.2.2 冲裁模典型结构.....26	3.3 弯曲件的质量分析.....85
	3.3.1 弯曲件的弯裂.....85
	3.3.2 弯曲件的滑移.....86
	3.3.3 弯曲件的回弹.....87

3.4 弯曲工艺计算.....89	本章小结.....139
3.4.1 弯曲件展开长度的计算.....89	习题.....139
3.4.2 弯曲力的计算.....91	综合实训.....140
3.5 弯曲模具设计.....93	第5章 其他冲压成形工艺与模具设计.....141
3.5.1 弯曲件的工序安排.....93	5.1 胀形.....142
3.5.2 弯曲模工作部分尺寸的计算.....94	5.1.1 胀形工艺.....142
3.5.3 弯曲模设计时应注意的问题.....97	5.1.2 平板毛坯的起伏成形.....142
3.6 综合案例.....97	5.1.3 空心毛坯的胀形.....143
本章小结.....104	5.1.4 胀形模具结构.....145
习题.....105	5.2 翻边.....146
综合实训.....106	5.2.1 翻边工艺.....146
第4章 拉深工艺与拉深模.....107	5.2.2 内孔翻边.....146
4.1 拉深工艺与拉深件工艺性.....108	5.2.3 变薄翻边.....149
4.1.1 拉深件与拉深工艺分类.....108	5.2.4 翻边模具结构.....150
4.1.2 拉深变形过程.....109	5.3 缩口.....150
4.1.3 拉深过程分析.....109	5.3.1 缩口工艺.....150
4.1.4 拉深件的结构工艺性.....112	5.3.2 缩口成形的特点与 变形程度.....150
4.2 拉深模典型结构.....113	5.3.3 缩口工艺计算.....152
4.2.1 拉深模具分类.....113	5.3.4 缩口模具结构.....154
4.2.2 首次拉深模.....114	5.4 综合案例.....154
4.2.3 以后各次拉深模.....116	本章小结.....155
4.2.4 拉深模的主要特点.....117	习题.....156
4.3 拉深件的起皱与破裂.....118	第6章 基于 eta/DYNAFORM 的 冲压模有限元仿真.....157
4.3.1 起皱.....118	6.1 冲压成形分析软件 eta/DYNAFORM 功能简介.....158
4.3.2 破裂.....118	6.1.1 菜单栏.....158
4.4 拉深工艺计算.....119	6.1.2 图标栏.....159
4.4.1 毛坯尺寸的计算.....119	6.1.3 显示窗口.....161
4.4.2 拉深系数.....124	6.2 分析实例.....162
4.4.3 拉深次数.....126	本章小结.....180
4.4.4 各次拉深半成品尺寸的计算.....127	习题.....180
4.5 拉深模具设计.....127	第7章 冲压工艺设计.....181
4.5.1 拉深力的计算.....127	7.1 冲压工艺设计过程.....182
4.5.2 压边装置及压边力.....128	7.2 冲压件的工艺性分析.....182
4.5.3 压力机的选择.....130	7.2.1 冲压件的工艺性.....182
4.5.4 凸、凹模工作部分的 尺寸设计.....131	
4.6 综合案例.....135	

7.2.2 分析冲压件工艺性的目的	182	8.4 塑料成形设备	205
7.3 冲压工艺方案的拟订	183	8.4.1 塑料成形设备分类	205
7.3.1 工序的性质	183	8.4.2 注射机型号规格 表示方法	206
7.3.2 工序的数量	183	8.4.3 注射机的主要技术参数	206
7.3.3 工序的顺序	184	本章小结	208
7.3.4 工序的组合	184	习题	208
7.4 模具设计	185	综合实训	209
7.4.1 确定模具的类型和 结构形式	185	第 9 章 注射成形工艺及注射模	211
7.4.2 选择工件的定位方式	185	9.1 注射成形工艺原理及工艺条件	212
7.4.3 选择卸料方式	185	9.1.1 注射成形原理及特点	212
7.4.4 冲压工艺计算	186	9.1.2 注射成形过程	212
7.4.5 绘制模具总装配图	186	9.1.3 注射成形的工艺条件	214
7.4.6 拆绘零件图	187	9.2 注射模结构	215
7.5 选择冲压设备	187	9.2.1 注射模结构组成	215
7.6 编制工艺文件及设计计算说明书	188	9.2.2 注射模典型结构	216
7.6.1 编制工艺文件	188	9.3 分型面	218
7.6.2 设计计算说明书	188	9.3.1 分型面的形状	218
本章小结	189	9.3.2 分型面的表示方法	218
习题	189	9.3.3 分型面的选择原则	218
第 2 篇 塑料成形工艺与模具设计	190	9.4 浇注系统设计	220
第 8 章 塑料成形工艺基础	190	9.4.1 主流道设计	221
8.1 塑料的基本组成、分类与特性	191	9.4.2 分流道设计	221
8.1.1 塑料及其组成	191	9.4.3 冷料穴设计	223
8.1.2 塑料的分类	191	9.4.4 浇口设计	224
8.1.3 塑料的特性	192	9.4.5 浇注系统及浇口位置的 选择	227
8.2 塑料成形的方法及工艺特性	192	9.5 成形零件设计	229
8.2.1 塑料的成形方法	192	9.5.1 成形零件的结构设计	229
8.2.2 塑料成形的工艺特性	193	9.5.2 成形零部件工作尺寸的 计算	232
8.3 塑件的结构工艺性	195	9.5.3 排气系统设计	235
8.3.1 塑件尺寸、精度及 表面粗糙度	195	9.6 侧向分型与抽芯机构	236
8.3.2 壁厚	195	9.6.1 侧向分型与抽芯机构分类	236
8.3.3 形状设计	199	9.6.2 斜导柱侧向分型与 抽芯机构	237
8.3.4 孔的设计	199	9.6.3 斜滑块侧向分型与 抽芯机构	244
8.3.5 嵌件设计	201		
8.3.6 螺纹设计	202		
8.3.7 其他结构要素	203		

9.7 推出机构设计	245	10.3.2 挤出成形工艺过程.....	286
9.7.1 推出机构的设计原则	245	10.3.3 挤出成形模具	288
9.7.2 常用推出机构	245	10.3.4 应用案例	289
9.8 合模导向机构	249	10.4 中空吹塑成形	290
9.8.1 合模导向机构的作用与 分类	249	10.4.1 挤出吹塑成形	290
9.8.2 导柱导套合模导向机构	249	10.4.2 注射吹塑成形	291
9.8.3 锥面定位机构	252	10.4.3 注射拉伸吹塑成形.....	292
9.9 温度调节系统设计	252	10.4.4 片材吹塑成形	292
9.9.1 加热装置设计	253	10.4.5 应用案例	293
9.9.2 冷却装置设计	253	10.5 真空成形	294
9.10 模具与注射机有关参数的校核	256	10.5.1 凹模真空成形	294
9.10.1 注射机主要工艺参数的 校核	256	10.5.2 凸模真空成形	294
9.10.2 模具与注射机安装部分 相关尺寸的校核	257	10.5.3 凹凸模先后抽真空成形.....	295
9.11 共注射成形工艺	259	10.5.4 压缩空气延伸法真空成形....	295
9.11.1 双色注射成形	260	10.5.5 柱塞延伸法真空成形.....	296
9.11.2 双层注射成形	261	10.5.6 应用案例	296
9.12 注射模设计流程	261	10.6 压缩空气成形	297
9.13 综合案例	264	10.7 泡沫塑料成形	298
本章小结	270	10.7.1 泡沫塑料的特性	298
习题	270	10.7.2 泡沫塑料成形	299
综合实训	271	10.7.3 应用案例	299
第 10 章 其他塑料成形工艺及模具	273	本章小结	300
10.1 压缩成形工艺与压缩模	274	习题	301
10.1.1 压缩成形原理及特点	274	第 3 篇 模具制造技术	302
10.1.2 压缩成形工艺过程	275	第 11 章 模具制造基础	302
10.1.3 压缩模结构组成	276	11.1 模具制造特点	303
10.1.4 压缩模典型结构	278	11.2 模具制造工艺过程	304
10.2 压注成形工艺与压注模	281	11.3 模具制造工艺规程制定的原则和 步骤	305
10.2.1 压注成形原理及特点	281	11.3.1 模具制造工艺规程的作用....	305
10.2.2 压注成形工艺过程	282	11.3.2 制定模具制造工艺规程的 原则	305
10.2.3 压注模的工作原理及 结构组成	282	11.3.3 制定模具制造工艺规程的 步骤	306
10.2.4 压注模的分类	283	11.3.4 模具工艺文件的格式及 应用	306
10.3 挤出成形工艺及模具	285	11.4 模具零件图的工艺分析	308
10.3.1 挤出成形原理及特点	285	11.5 模具零件的毛坯选择	312

本章小结.....	317	第 13 章 模具装配工艺	370
习题.....	317	13.1 模具装配概述.....	371
第 12 章 模具成形表面的加工	319	13.1.1 模具装配精度要求.....	371
12.1 模具成形表面的机械加工.....	320	13.1.2 模具装配工艺方法.....	371
12.1.1 车削加工.....	320	13.2 装配尺寸链.....	373
12.1.2 铣削加工.....	322	13.3 模具间隙的控制方法.....	376
12.1.3 磨削加工.....	323	13.3.1 冲压模具间隙的控制方法.....	376
12.1.4 钻削加工.....	326	13.3.2 注射模具间隙控制方法.....	379
12.1.5 镗削加工.....	327	13.4 冲压、注射模具装配工艺.....	380
12.1.6 压印加工.....	329	13.4.1 冲压模具装配工艺.....	380
12.1.7 研磨与抛光加工.....	329	13.4.2 注射模具装配工艺.....	388
12.2 模具成形表面的特种加工.....	330	13.5 综合案例.....	400
12.2.1 电火花成形加工的 基本原理及特点.....	331	本章小结.....	401
12.2.2 电火花线切割加工.....	340	习题.....	401
12.3 现代模具制造技术.....	352	综合实训.....	402
12.3.1 数控加工.....	352	附录 A 冲模零件常用材料及 热处理要求	403
12.3.2 快速原型制造技术.....	355	附录 B 常用塑料的收缩率	404
12.3.3 逆向工程技术简介.....	358	附录 C 塑料模具成形零件及其他工作 零件常用材料及热处理要求	405
12.4 模具工作零件的加工工艺.....	359	附录 D 冲压模和塑料模专业术语 中英文对照	407
12.4.1 冲裁模工作零件的加工.....	359	参考文献	414
12.4.2 塑料模工作零件的加工.....	362		
本章小结.....	363		
习题.....	364		
综合实训.....	365		

第 1 篇 冲压工艺与模具设计

第 1 章 冲压工艺基础 (Basic of Stamping Process)

教学目标

通过本章的学习,使学生掌握冲压成形的概念、特点及分类,熟悉冲压常用材料的要求及种类,了解常用冲压设备类型及主要参数,理解塑性、加工硬化、力学性能等对冲压成形的影响。

应该具备的能力:初步具备根据选择冲压材料及选择冲压设备的基本能力;初步学会分析塑性、加工硬化等性能对冲压成形的影响。

教学要求

能力目标	知识要点	权重	自测分数
掌握冲压成形的概念、特点及分类	冲压成形的概念、特点及分类	30%	
熟悉冲压常用材料的要求及种类	冲压常用材料的要求及种类	25%	
了解常用冲压设备类型及主要参数	常用冲压设备主要参数	25%	
理解影响冲压成形的因素	影响冲压成形的因素	20%	

引例

在日常生活中,有许多用品都是冲压产品,如下图中的不锈钢锅、易拉罐等。这些产品都是利用金属板材,通过安装在压力机上的冲压模具加工而成。那么我们知道不知道冲压用的设备是什么样子的?是不是所有的金属材料都能用于冲压加工呢?这是首先应了解的内容。



可先回忆一下工程材料中有关材料组织性能和力学性能的相关知识。

1.1 模具概述(What's mould and die?)

1.1.1 模具的概念(Conception of Mould and Die)

一般读者以前可能没有接触过模具,对模具有一种神秘感,其实模具实质上就是一种工具,是一种工艺装备,有简单的,也有复杂的。模具制造企业中有各式各样的模具,如用于生产摩托车变速箱的压铸模、生产塑料制品的注射模、生产不锈钢炊具的冲裁模、挤压模等。在汽车覆盖件生产车间还会看到重达几百吨的汽车覆盖件模具。总之,模具具有大有小,有轻有重,有简单有复杂,形式各异、多种多样。

那么,模具是什么呢?可以说,模具就是服务于人们意志的一种工具。

可以通过使用不同的模具,在各种必要的外部条件(如温度、压力等)作用下,来得到我们所期望的产品。

1.1.2 模具的分类(Classification of Mould and Die)

从广义上讲,模具可以分为两大类。

(1) 有型腔的模具,如冲裁模,注射模——模具。

(2) 无型腔的模具,如木模,仿型模——模型。

有型腔的模具,是通过型腔制造出产品;没有型腔的模具,是通过仿型复制出产品,或通过它制造出型腔,然后再制造出产品。

通常所讲的模具是指第一种即有型腔的模具,而把无型腔的模具称为模型。

一个有实质使用意义的模具,其重要标志之一,就是具有“重复使用性”。

现实生活中,常根据模具的结构、产品的属性、生产工艺条件等,从多方面对模具进行分类,如冲压模、塑料模、压铸模等。

学习的重点:冲模中的冲裁模,塑料模中的注射模;其次为冲模中的弯曲模和拉深模,塑料模中比较常用的压注模和注塑模。

1.1.3 如何学习好“模具设计与制造”课程(What should we do to learn “Mould and Die Design and Fabrication” course well?)

该课程是专业课程,综合性较强,且对实践经验要求比较高,学习时要注意以下几个方面。

- (1) 要具备扎实的相关基础知识。如机械制图(手工制图、AutoCAD、CAXA、Pro/ENGINEER等)、公差与配合、工程材料及热处理、机械设计、机械制造等,应熟练掌握。
- (2) 熟知各种模具的典型结构及各主要部分的作用,举一反三。
- (3) 熟悉各种国家标准或行业标准,设计时尽可能地采用标准件。
- (4) 设计零部件时,要考虑其机械加工工艺性。
- (5) 注意实践经验的积累,理论联系实际,特别是在实训、实习等实践教学环节。

1.2 冲压成形的特点与分类(Features and Classification of Stamping)

1.2.1 冲压成形(Stamping)

冲压成形是指在压力机上通过模具对板料(金属或非金属)加压,使其产生分离或发生塑性变形,从而得到一定形状、尺寸和性能要求的零件的加工方法。它属于塑性加工方法之一,这种方法又称为冷冲压或板料冲压。冲压模具设计是实现冷冲压工艺的核心。

1.2.2 冲压成形的特点(Features of Stamping)

冲压成形是一种先进的加工方法,与机械加工方法相比,具有以下一些特点。

- (1) 可以获得其他加工方法不能加工或难以加工的形状复杂的零件,如汽车覆盖件等。
- (2) 冲压生产的零件的尺寸精度主要是靠冲压模具来保证的,加工出的冲压零件质量稳定,一致性好,具有“一模一样”的特性。
- (3) 材料的利用率高,属于少、无切屑加工。
- (4) 可以利用金属材料的塑性变形来提高工件的强度。
- (5) 生产率高,易实现自动化生产。
- (6) 模具使用寿命长,生产成本低。

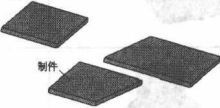
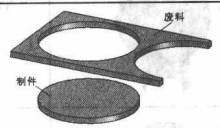
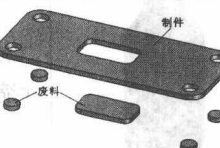
1.2.3 冲压工序分类(Classification of Stamping Process)

按照变形性质,冲压工序可分为两大类,即分离工序和成形工序,见表1-1。

分离工序:板料在压力作用下,其压力超过材料的抗剪强度而沿一定轮廓线断裂成制件的工序。通常分离工序又称冲裁。

成形工序:板在压力作用下,其应力超过屈服强度(未达到抗剪强度)而产生塑性变形,从而获得一定形状和尺寸的制件的工序。

表 1-1 冲压工序

类别	组别	工序名称	工序简图	工序特点
分离 工序	冲 裁	切断		将板料沿不封闭的轮廓分离
		落料		沿封闭的轮廓将制件或毛坯与板料分离
		冲孔		在毛坯或板料上,沿封闭的轮廓分离出废料得到带孔制件

续表

类别	组别	工序名称	工序简图	工序特点
分离工序	冲裁	切舌		沿不封闭轮廓将部分板料切开并使其折弯
		切边		切去成形制件多余的边缘材料
		剖切		沿不封闭轮廓将半成品制件切离为两个或数个制件
成形工序	弯曲	折弯		将毛坯或半成品制件沿弯曲线弯成一定角度和形状
		卷边		把板料端部弯曲成接近封闭的圆筒状
	拉深	拉深		把平板毛坯拉压成空心体，或者把空心体拉压成外形更小的空心体
	成形	起伏		使半成品发生局部塑性变形，按凸模与凹模的形状变成凹凸形状
		翻边		在预先制好的半成品上或未经制孔的板料上冲制出竖立孔边缘的制件
		胀形		使空心毛坯内部在双向拉应力作用下，产生塑性变形，得到凸肚形制件
		缩口		使空心毛坯或管状毛坯端部的径向尺寸缩小而得到制件

1.3 板料的冲压成形性能(Stamping Formability of Metal Sheet)

1.3.1 金属材料的塑性与变形抗力(Plasticity and Resistance to Deformation of Metal)

1. 塑性

塑性是指固体材料在外力作用下发生永久变形而不破坏其完整性的能力。常用的塑性指标有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。材料的塑性是塑性加工的依据, 冲压成形时总希望被冲压的材料具有良好的塑性。

金属材料的塑性与柔软性概念不同, 柔软性只是物质变形抗力的标志, 与金属的塑性没有直接的联系。即软的材料塑性不一定好, 塑性好的材料不一定柔软。例如奥氏体不锈钢在室温下具有良好的塑性, 但其变形抗力却很大, 需在很大压力下成形。

同一变形条件下不同的材料具有不同的塑性, 同一种材料在不同的变形条件下又会出现不同的塑性。例如金属铅在一般情况下变形时, 具有极好的塑性, 但在三向等拉应力的作用下却会像脆性材料一样被破坏, 而不产生任何塑性变形; 而大理石一般情况下毫无塑性, 却可以在三向压应力的作用下产生一定的塑性变形。此外, 某些金属在一定温度及低的变形速度下进行拉深, 可以得到几倍甚至十几倍的均匀拉深变形, 即达到金属的超塑性状态。

影响金属材料塑性变形的因素有两个方面。一是金属材料本身的性质, 如化学成分、金相组织等; 二是外部条件, 如变形温度、变形速度和应力状态等。

1) 化学成分及组织的影响

金属的组织结构取决于它的化学成分。组成金属主要元素的晶格类型、杂质的性质、数量及分布情况, 晶粒大小、方向及形状等, 都与化学成分有关。一般来说, 组成金属的元素越少(如纯金属和固溶体), 塑性越好; 滑移系统数量越多, 力学性能越一致, 晶界强度越大, 塑性越好。

2) 变形温度对塑性的影响

对于大多数金属和合金而言, 随着温度的升高会使塑性增加。但一些金属在升温过程中的某些温度区间内, 塑性会降低, 出现脆性区。如碳钢, 随着温度增加塑性会增加, 但在 200~250℃、800~900℃及超过 1250℃的三个温度区间, 出现塑性下降, 分别称为蓝脆区、热脆区 and 高温脆区。

温度升高使塑性增加有如下原因: 发生了回复和再结晶; 临界切应力降低, 滑移系增加; 金属的组织结构发生变化, 可能由多相组织转变为单相组织, 也可能由对塑性不利的晶格转变为对塑性有利的晶格等。

3) 应力状态对塑性的影响

金属在塑性变形时应力状态非常复杂, 为了研究变形金属各部位的应力状态, 在变形物体中取一个微小的六面体单元, 在六面体上画出所受的应力和方向, 这种图称为应力状态图。如果六面体上只有正应力而没有切应力, 则此应力状态图称主应力图。根据主应力方向及组合不同, 主应力图共有 9 种, 如图 1.1 所示。

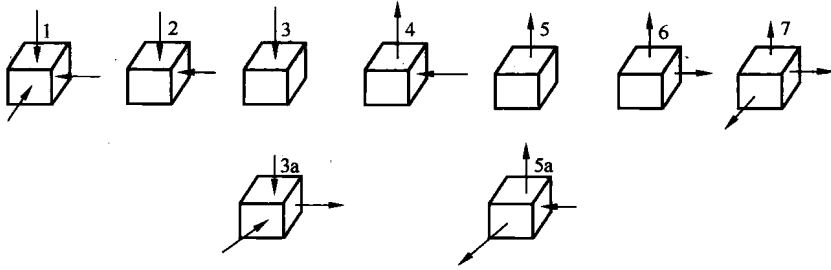


图 1.1 主应力示意

应力状态对塑性的影响很大，主应力图中压应力个数越多、数值越大，则塑性越好。图 1.1 所示的主应力图中第 1 种塑性最好，第 7 种塑性最差。

当三个主应力的大小都相等，即 $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ 时，称为球应力状态。深水中的微小物体所处的就是这样一种应力状态，习惯上将三向等压应力称为静水压力。在静水压力作用下的金属，其塑性将提高，静水压越大，塑性提高越多，这种现象称为静水压效应。静水压效应对塑性加工很有利，应尽量加以利用。

2. 变形抗力

塑性变形时，使金属产生塑性变形的力称为变形力，金属抵抗变形的力称为变形抗力。变形抗力反映了使材料产生塑性变形的难易程度。

变形抗力与变形力数值相等，方向相反。在材料力学中变形应力 σ 是用载荷 F 与试棒初始截面积 A_0 的比值来表示的，即 $\sigma = FA_0$ 。这种表示方法有其不合理性，因为拉伸试验中试棒的截面积在不断减小，真正的应力应该是该瞬间的载荷与该瞬间试棒的截面积之比，这个应力称为真实应力。通常用真实应力作为变形抗力的指标。

在冲压生产中常用真实应力-应变曲线来表示材料变形抗力与变形程度的关系，这是一个指数曲线，表示如下：

$$\sigma = C\varepsilon^n$$

式中， C ——与材料性能有关的系数，MPa；

n ——硬化指数。

C 和 n 的值取决于材料的种类和性能，可通过拉伸试验获得。 n 是材料在变形时硬化性能的重要指标， n 值越大，表示变形过程中，材料的变形抗力随着变形程度的增加而迅速增长，同时不易出现局部的集中变形和破坏，有利于增大伸长类零件成形时的变形极限，所以 n 对板料的成形性能有着重要的影响。

金属塑性加工过程多数是在两向或三向应力状态下进行的，加工同一种材料的变形抗力一般要比单向应力状态的真实应力大得多，可达真实应力的 1.5~6 倍。因此，变形抗力的大小除了取决于该材料在一定变形温度、变形速度和变形程度下的真实应力外，还取决于塑性加工时的应力状态、接触摩擦及相对尺寸因素等。

(1) 化学成分及组织对变形抗力的影响

对于纯金属，因原子间的作用特性不同，各种纯金属的变形抗力也不同，纯度越高，变形抗力越小。不同牌号的合金，因组织状态不同，变形抗力也不同。如硬铝合金 LY12 在退火状态下的变形抗力为 100MPa，淬火时效后变形抗力为 300MPa。一般合金元素、杂

质元素含量越高,变形抗力越大,尤其是弥散分布对变形抗力的增大影响较大。

材料发生相变时,力学性能和物理性能都会发生变形,当然变形抗力也发生变化。对单相组织,单相固溶体中合金元素的含量越高,引越晶格畸变越大,变形抗力越高。单相组织比多相组织的变形抗力要低。

(2) 变形温度对变形抗力的影响

温度升高,金属原子间的结合力降低,变形抗力降低。但那些在升温过程中在某些温度区间出现脆性区的金属则例外。

(3) 变形速度对变形抗力的影响

变形速度的增大使热效应增大,从而使变形抗力降低;另一方面,变形速度增大缩短了变形时间,位错运动的发生与发展时间不足,又使变形抗力增加。一般来说,随着变形速度的增加,金属的真实应力提高,但提高的程度与变形温度有关。冷变形时变形速度对真实应力影响不大,而在热变形时随变形速度的提高会引起真实应力的显著提高。

(4) 变形程度对变形抗力的影响

金属变形过程中随着塑形变形程度的增加,其变形抗力(即每一瞬间的屈服强度 σ_s 与抗拉强度 σ_b)增加,硬度提高,而塑性和塑性降低,这种现象称为加工硬化。材料的加工硬化对塑性变形的影响很大,材料在发生加工硬化以后,不仅使变形抗力增加,而且还限制了材料的进一步变形,甚至要在后续成形工序前增加退火工序。

(5) 应力状态对变形抗力的影响

塑性理论指出,只有应力差才会导致物体的形状变形。物体受到的静水压力越大,其变形抗力越大。如挤压时金属受三向压应力作用,拉拔时受两压一拉的应力作用,虽然两者产生的变形状态是相同的,但挤压时的变形抗力远大于拉拔时的变形抗力。

1.3.2 冲压成形工艺的分类(Classification of Stamping Technology)

在各种冲压成形工艺中,毛坯变形区的应力状态和变形特点是制订工艺过程、设计模具和确定极限变形参数的主要依据,所以只有能够充分地反映变形毛坯的受力与变形特点的分类方法,才可能真正具有实用的意义。

从本质上看各种冲压成形过程就是毛坯变形区在力的作用下产生变形的过程,所以毛坯变形区的受力情况和变形特点是决定各种冲压变形性质的主要依据。从毛坯变形区的应力与应变特点,可以把冲压变形概括为两大类:伸长类变形和压缩类变形。

当作用于毛坯变形区内的最大应力、应变为正值时,称这种冲压变形为伸长类变形,如胀形、翻边与弯曲外侧变形等。这种成形主要是靠材料的伸长和厚度的减薄来实现,此时拉应力的成分越多,数值越大,材料的伸长与厚度减薄越严重。

当作用于毛坯变形区内的最大应力、应变为负值时,称这种冲压变形为压缩类变形,如拉深凸缘变形区和弯曲内侧变形等。这种成形主要是靠材料的压缩与增厚来实现的,压应力的成分越多,数值越大,板料的缩短与增厚就越严重。

伸长类变形的极限变形参数主要决定于材料的塑性,并且可以用板材的塑性指标直接或间接地表示。例如多数实验结果证实:平板毛坯的局部胀形深度、圆柱体空心毛坯的胀形系数、圆孔翻边系数、最小弯曲半径等都与伸长率有明显的正比关系。压缩类成形的极限变形参数(如拉深系数),通常都受毛坯传力区的承载能力的限制,有时则受变形区或传

力区的失稳起皱的限制。两类成形方法极限变形参数确定的基础不同，所以影响极限变形参数的因素和提高极限变形参数的途径和方法也不一样。

1.3.3 板料力学性能与成形性能的关系(Relationship between Mechanical Property and Formability of metal sheet)

板料的冲压成形性能是指板料对各种冲压方法的适应能力。但要测定板料的成形性能非常困难，因为板料的成形方式多种多样，每一种成形方式的应力状态、变形特点等情况都不相同，目前还不能用一个统一的指标来判别其成形性能的好坏，不过可通过对板料拉伸试验中测得的一些力学性能数据进行分析来判断板料的成形性能。

图 1.2 表示板料单向拉伸的试样，其各部分尺寸见表 1-2。试验时利用测量装置测量拉伸力 F 与拉伸行程(即试验伸长值)，根据这些数值作出 σ - δ 曲线，如图 1.3 所示。

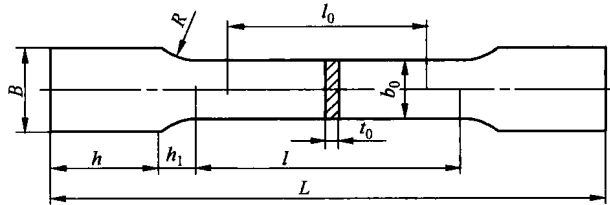


图 1.2 拉伸试样

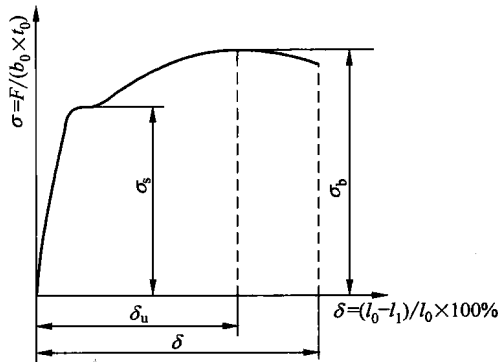


图 1.3 拉伸曲线

表 1-2 拉伸试样尺寸

mm

板料厚度 t_0	材料宽度 b_0	h	短试样 $l_0 = 5.65\sqrt{F_0}$		短试样 $l_0 = 11.3\sqrt{F_0}$	
			l_0	l	l_0	l
0.5	20	40	20	30	40	50
1.0	20	40	25	35	50	60
1.5	20	40	30	40	60	70
2.0	20	40	35	45	70	80