



模具专业零起点教程

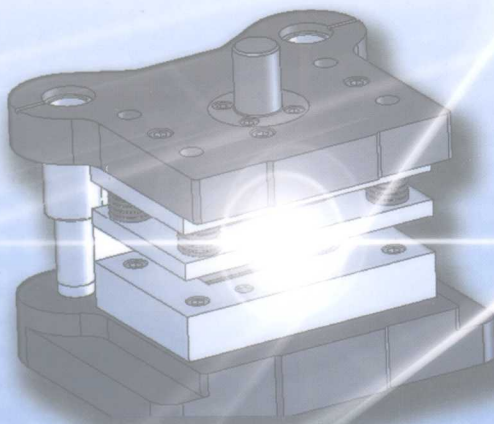
丛书主编

吴振远

ChongYaGongYiYuMuJuSheJi

冲压工艺 与模具设计

● 主编 陈永



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



模具专业零起点教程

丛书主编 吴振远

冲压工艺与模具设计

主 编 陈 永

副主编 赵靖宇 张义纯 李立碑

参 编 夏 静 梁冬松 乔晓燕

翟 震 王志刚 王宇飞

颜新奇 狄 海 陈宗顺

潘继民 孟 迪 隋方飞

主 审 贾玉玲



机械工业出版社

本书突出特点是适合没有任何模具专业基础的具有初中及以上文化知识的人员从零起点开始自学、参考。

本书与冲压模具实际生产紧密结合,从零开始,逐步介绍了冲压工艺与模具设计的全过程。详细讲述了冲裁、弯曲、拉深三大冲压工艺及其模具设计,并对成形模、级进模、加工方法、质量检验及冲模安全技术进行了概述。全书语言通俗简洁,内容深入浅出,实用性强。读者完全可以根据本书自学模具专业的基本知识和部分综合实践技能。

本书可供模具设计与制造领域的工程技术人员和一线工人阅读,特别适用于各模具专业学校和职工短期训练班作教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

冲压工艺与模具设计/陈永主编. —北京:机械工业出版社, 2009.5

模具专业零起点教程

ISBN 978-7-111-27032-4

I. 冲… II. 陈… III. ①冲压-工艺-教材②冲模-设计-教材
IV. TG38

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第068015号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:李万宇 责任编辑:田 刚

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:赵颖喆 责任印制:李 昕

中国农业出版社印刷厂印刷

2009年7月第1版第1次印刷

169mm×239mm·14印张·253千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-27032-4

定价:25.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379732

封面无防伪标均为盗版

前 言

产品的竞争实际上是质量和价格的竞争。模具是工业之母,其制造技术是工业生产的核心技术,采用模具生产零件具有效率高,质量好,节能降耗,生产成本低等一系列优点,对国民经济和社会发展起到了巨大的作用。各国都把模具生产制造技术提到相当高的地位,把先进的设计、制造、测量、检验及管理技术与设备应用到模具生产上。

目前,我国已成为全球最大的加工制造基地,模具工业是现代加工制造业一个重要的组成部分,但模具技术人员异常短缺,模具设计与制造技术人才已经成为“紧缺人才”,未来将有更多的人才要进入模具行业。为了满足模具领域工程技术人员和一线工人以及部分高职院校模具专业人员培训的需要,我们组织了郑州大学、河南科技大学、天津机电职业技术学院、郑州市技师学院、郑州市红旗职业培训学校等院校的具有丰富教学和培训经验的行业专家、老师,编写了本套“模具专业零起点教程”系列丛书,旨在帮助那些既无模具知识、又无机械基础的人学习模具设计与制造之用。

本套丛书首批推出《冲压工艺与模具设计》、《塑料成型工艺与模具设计》、《模具材料与热处理》三种,并将陆续扩充。

本套丛书以实用为目的,尽可能地减少繁琐的计算,大量使用设计图表或计算机辅助设计方法。内容深入浅出,语言通俗易懂,既阐述基础知识,又介绍有关方面的最新成果。特别适合从事模具设计与制造的人员自学使用,更适于作模具职业培训学校的教材,亦可以供模具专业大专院校师生参考。

《冲压工艺与模具设计》按照模具行业职业特点,本着以综合素质为基础、以能力为根本,以实用为指导的原则,从生产实践角度精选内容,从零开始,系统地介绍了模具设计与制造的相关知识和技能,帮助读者学习掌握模具加工的核心技术。全书包括冲压基础、冲裁、弯曲、拉深、成形、级进模、加工方法、质量检验、安全技术等知识。

本书具有如下特点:

1) 零起点。具有初中文化知识的人员,在没有任何模具专业基础知识的

情况下,都可以通过自学本书,掌握模具专业的基本知识和部分综合实践技能。

2) 实用性强。精选典型实例,以实训形式介绍冲压工艺与模具设计的技能及技巧。

3) 简化难点,突出重点。舍弃大多数模具教材中关于理论知识方面的介绍,以实用为目的,深入浅出地讲述冲压模具设计的有关知识和要点,为深入学习、进一步提高技能奠定基础。

读者通过本书的学习,将会初步掌握冲压成形的工艺和模具设计的基本方法,具有编制一般复杂程度冲压件的工艺过程和设计其模具的能力。本书可供模具制造领域的工程技术人员和一线工人阅读,特别适用于各模具专业学校和职工短期训练班作教材使用。

本书编写过程中参考了大量的相关专著、文献及优秀教材,谨向这些作者表示衷心的感谢!

参加本书编写工作的有陈永、赵靖宇、张义纯、李立碑、夏静、梁冬松、乔晓燕、翟震、王志刚、王宇飞、颜新奇、狄海、陈宗顺、潘继民、孟迪、隋方飞。贾玉玲老师对全书进行了详细审阅。

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不足,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论

1.1 概述	2
1.1.1 冲压的特点及应用	2
1.1.2 冲压的工艺分类及基本 工序	2
1.1.3 冲压工艺及其模具技术 的发展	5
1.2 本课程的重要性及学习 方法	5
习题	6

第2章 冲裁工艺及冲裁模设计

2.1 冲裁变形过程	8
2.2 冲裁件的质量	8
2.2.1 断面质量	8
2.2.2 冲裁间隙	9
2.3 冲裁工艺设计	9
2.3.1 冲裁工艺方案的基本 要求及内容	9
2.3.2 冲裁件的工艺分析	10
2.3.3 冲裁经济性分析	12
2.4 排样设计	13
2.4.1 排样设计原则	13
2.4.2 排样方法	13
2.4.3 搭边的确定	15
2.4.4 条料宽度的确定	16
2.4.5 排样图	17
2.5 冲裁力和压力中心的确定	18
2.5.1 冲裁压力的计算	18
2.5.2 降低冲裁压力的方法	19
2.5.3 卸料力、推件力、顶件力 的计算	23
2.5.4 压力中心的确定	25
2.6 冲裁模分类	27
2.6.1 冲裁模工作过程	27
2.6.2 冲裁模分类	27
2.7 冲裁模主要零件的结构与 设计	28
2.7.1 冲裁模的组成	28
2.7.2 凸模设计	30
2.7.3 凹模设计	32
2.7.4 凸凹模设计	34
2.7.5 凸、凹模刃口尺寸 计算	34
2.7.6 定位零件	40
2.7.7 卸料与推件装置	42
2.7.8 推件与顶件装置	43
2.7.9 连接与固定零件	44
2.7.10 模具零件的技术 要求	44
2.7.11 模具零件的表面粗 糙度	47

2.7.12 模具零件的加工精度 和配合要求	48
2.7.13 凸、凹模工作部位尺寸的 标注	48
2.7.14 光洁冲裁	49
2.7.15 精密冲裁	49
2.7.16 整修	51
2.7.17 冲裁模的设计要点	51
2.7.18 模具的设计步骤	52
2.7.19 冲裁模的调试	53
2.8 冲裁模设计实例	54
习题	57

第3章 弯曲工艺及弯曲模设计

3.1 弯曲变形过程	62
3.1.1 弯曲过程	62
3.1.2 弯曲变形的特点	63
3.2 弯曲件常见缺陷及控制	64
3.2.1 回弹	64
3.2.2 偏移	66
3.2.3 翘曲与扭曲	67
3.2.4 弯裂	68
3.3 弯曲件的工艺性	69
3.3.1 弯曲件的材料	69
3.3.2 弯曲件的精度	70
3.3.3 弯曲件的形状	70
3.3.4 弯曲件的相对弯曲 半径	71
3.3.5 弯曲件的弯边高度	72
3.3.6 弯曲件的孔边距离	72
3.3.7 弯曲件的尺寸标注	73
3.4 弯曲件毛坯尺寸计算	73
3.4.1 中性层位置的确定	73
3.4.2 展开长度	74

3.5 弯曲力计算	78
3.5.1 自由弯曲的弯曲力	78
3.5.2 校正弯曲的弯曲力	79
3.5.3 顶件力和压料力	79
3.6 弯曲件工序安排	79
3.7 弯曲模设计	81
3.7.1 圆角半径	81
3.7.2 工作深度	82
3.7.3 凸、凹模间隙	83
3.7.4 凸、凹模尺寸	84
3.7.5 V形件弯曲模	85
3.7.6 L形件弯曲模	86
3.7.7 U形件弯曲模	86
3.7.8 U形四角件弯曲模	87
3.7.9 Z形件弯曲模	87
3.7.10 O形件弯曲模	89
3.8 弯曲模设计实例	89
习题	92

第4章 拉深工艺及拉深模设计

4.1 拉深变形过程分析	96
4.1.1 拉深变形过程	96
4.1.2 拉深变形特点	96
4.1.3 拉深工艺过程	97
4.2 常见拉深件缺陷分析	97
4.2.1 起皱	97
4.2.2 拉裂	99
4.3 拉深件的工艺性	100
4.4 旋转拉深件毛坯尺寸计算	102
4.4.1 计算准则	102
4.4.2 计算方法	103
4.4.3 简单旋转拉深件毛坯 尺寸计算	104

4.4.4 复杂形状旋转拉深件 毛坯直径计算	109	4.10.5 变薄拉深	136
4.5 圆筒形件的拉深	110	4.11 拉深模的典型结构	138
4.5.1 拉深系数	110	4.11.1 无压料下出件首次拉 深模	138
4.5.2 拉深次数	112	4.11.2 无压料上出件首次拉 深模	138
4.5.3 圆筒形件各次拉深工序 尺寸的计算	114	4.11.3 无压料后次拉深模	139
4.5.4 拉深压边装置	116	4.11.4 有压料装置的正装拉 深模	139
4.6 带凸缘圆筒形拉深件的 拉深	118	4.11.5 有压料装置的倒装拉 深模	140
4.6.1 窄凸缘圆筒形拉深件的 拉深	120	4.12 拉深模的调试	140
4.6.2 宽凸缘圆筒形拉深件的 拉深	120	习题	141
4.7 矩形件的拉深	121	第5章 其他成形方法	
4.7.1 矩形件拉深的特点	122		
4.7.2 矩形件毛坯尺寸的确定 与拉深次数的估算	123	5.1 胀形	143
4.8 凸、凹模工作部分设计	124	5.1.1 胀形的变形特点	143
4.8.1 凸、凹模的结构形式	124	5.1.2 胀形的成形极限	143
4.8.2 凸、凹模的间隙	125	5.1.3 平板的胀形	144
4.8.3 凸、凹模工作部分的 尺寸与公差	127	5.1.4 压筋成形	144
4.8.4 凸、凹模圆角半径	128	5.1.5 压凸包	146
4.9 拉深时的润滑与材料软化 处理	129	5.1.6 空心坯料的胀形	146
4.9.1 润滑	129	5.1.7 钢模胀形法	147
4.9.2 中间热处理	131	5.1.8 橡皮模胀形法	148
4.9.3 酸洗	132	5.1.9 液压胀形法	148
4.10 特种拉深技术	133	5.1.10 轴向加压液体胀形	148
4.10.1 液压拉深	133	5.1.11 张拉成形	148
4.10.2 温差拉深	134	5.2 翻边	149
4.10.3 径向加压拉深	136	5.2.1 内孔翻边	150
4.10.4 脉动拉深	136	5.2.2 翻边系数	150
		5.2.3 预制孔的孔口状态	151
		5.2.4 凸模形状和尺寸	151
		5.2.5 非圆孔翻边	152

5.2.6 内曲翻边	153	6.1.3 多工位级进模的分类	175
5.2.7 外曲翻边	154	6.2 工序排样设计	177
5.2.8 常见翻边模结构	155	6.2.1 排样设计内容	177
5.3 缩口	156	6.2.2 排样设计的原则	177
5.3.1 缩口变形特点	156	6.2.3 空工位的合理设置	179
5.3.2 缩口系数	156	6.3 载体设计	179
5.3.3 缩口模典型结构	158	6.4 连接方式的设计	182
5.4 扩口	159	6.5 定距设计	184
5.4.1 扩口变形特点	160	6.5.1 工位间距基本尺寸的 确定	184
5.4.2 扩口变形程度	160	6.5.2 工位间距的精度	185
5.4.3 扩口模结构	161	6.6 级进模典型结构	186
5.5 校平	161	6.6.1 设计原则	186
5.5.1 校平压力	161	6.6.2 凸模	187
5.5.2 校平方式	161	6.6.3 凹模	187
5.5.3 典型校平模	162	6.7 自动检测与保护	188
5.6 整形	164	习题	189
5.6.1 弯曲件的整形	164		
5.6.2 拉深件的整形	165		
5.7 精压	166		
5.8 墩粗	167		
5.9 挤压	168		
5.10 旋压	169		
5.10.1 旋压的原理、特点及 应用	169		
5.10.2 普通旋压	169		
5.10.3 变薄旋压	170		
5.10.4 钢球变薄旋压	171		
习题	171		

第6章 多工位级进模

6.1 概述	173
6.1.1 级进模概念	173
6.1.2 多工位级进模的特点	174

第7章 模具零件的加工方法

7.1 常规机械加工方法	190
7.1.1 车削加工	191
7.1.2 铣削加工	192
7.1.3 刨削加工	193
7.1.4 钻削加工	193
7.1.5 镗削加工	193
7.1.6 磨削加工	194
7.2 电加工方法	194
7.2.1 电火花加工	195
7.2.2 电火花线切割加工	198
7.2.3 电解加工	200
7.2.4 电解磨削加工	201
7.2.5 电铸成形加工	201
7.3 其他加工方法	202

7.3.1 激光加工	202	8.2.1 冲压安全的概念	207
7.3.2 超声波加工	203	8.2.2 冲压生产易出现的安全 问题	208
7.3.3 挤压	204	8.2.3 在模具设计中应考虑 的安全措施	208
7.3.4 快速成形技术	204	8.2.4 冲模的安全技术对模具 结构的要求	208
习题	205	8.2.5 冲模技术安全状态及 安全化措施	209
第8章 冲压件质量检查及冲模 安全技术		8.2.6 冲压生产操作的要求	210
8.1 冲压件质量检查	206	习题	211
8.1.1 冲压件质量检查的 依据	206		
8.1.2 冲压件质量检查模式	207		
8.2 冲压安全技术	207		

参 考 文 献

第 1 章

绪 论

冲压是冲压加工的简称，是通过压力机（俗称冲床）和安装在压力机上的模具，对模具里的材料（一般是金属或非金属材料）施力，使材料在模具里产生变形，从而获得形状、尺寸符合要求的零件的生产技术。冲压加工通常是在常温下进行，不需要对材料加热，所以又叫冷冲压。

模具是一种为冲压加工设计的专用装置，如图 1-1 所示。

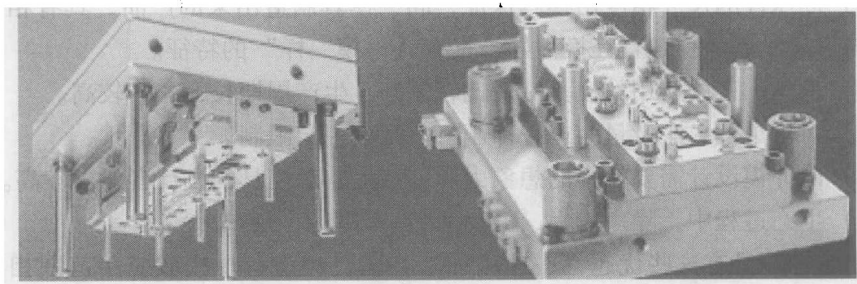


图 1-1 冲压模具

冲压工艺是指冲压加工过程和具体实施方法，包括各种冲压工序。冲压工艺与模具设计就是根据冲压零件的形状、尺寸精度及技术要求，制定冲压加工方案，设计冲压模具的全过程。

冲压工艺与模具、压力机、冲压材料构成冲压加工的三要素（模具、设备、材料），它们之间的关系如图 1-2 所示。

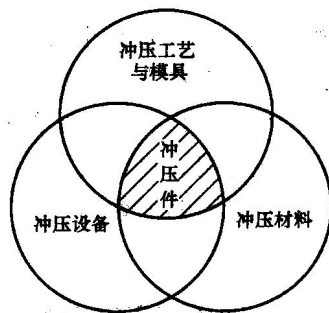


图 1-2 冲压加工的要素

1.1 概述

1.1.1 冲压的特点及应用

冲压加工具有高效、节能节材、操作简单、质量稳定等优点,也具有周期长、工艺受限制、对设计者要求较高、噪声和振动较大等缺点。

1) 压力机每分钟可生产几十、几百甚至上千件冲压件,生产效率极高,没有其他任何一种机械加工方法能与之相比。

2) 在冲压加工过程中,产生的废料比其他加工形式少,且废料也可制成其他小零件,原材料利用率高。工件重量轻,强度高,冲压能耗小。一般不需要加热毛坯,也不像切削加工那样需大量切削金属,所以既节能又节约材料。

3) 对工人的技术等级要求不高,不会因人工的偶然因素发生质量波动。操作简单,易于实现机械化和自动化。

4) 冲压件的尺寸精度由模具保证,同一模具制造出来的产品,具有相同的尺寸与形状,质量稳定且互换性好,具有“一模一样”的特征。

5) 冲压加工中所用的模具一般比较复杂,生产周期长,成本较高。

6) 对于单件、小批量生产,冲压工艺受到一定限制。

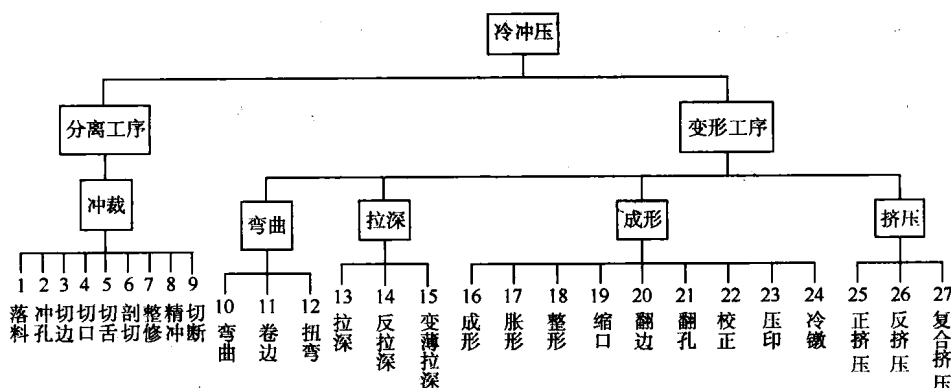
7) 冷冲模设计需要较强的想象力和创造力,对模具的设计者要求较高。

8) 生产过程中,噪声较大,振动强烈,对环境影响较大。

由于冲压具有这些优越性,冲压加工在国民经济各个领域应用范围相当广泛。例如:在宇航、航空、军工、机械、农机、电子、信息、铁道、邮电、交通、化工、医疗器具、日用电器及轻工等部门里都有冲压加工。不但整个产业界都用到它,而且每个人都直接与冲压产品发生联系。像飞机、火车、汽车、拖拉机上就有许多大、中、小型冲压件;小轿车的车身、车架及车圈等零部件都是冲压加工出来的。据有关调查统计,自行车、缝纫机、手表里有80%是冲压件;电视机、收录机、摄像机里有90%是冲压件;食品金属罐壳、钢精锅、搪瓷盆碗及不锈钢餐具,全都是使用模具的冲压加工产品;电脑的硬件中也少不了冲压件。

1.1.2 冲压的工艺分类及基本工序

冲压工艺有分离工序和变形工序两大类,所包含的冲压工序如下:



分离工序主要有落料、冲孔（冲槽）和切割等。即指坯料在模具作用下，沿一定的轮廓线分离而获得冲压件的加工方法。

1) 落料工序一般用于制造各种形状的平板零件。它是指用模具沿封闭线冲切板料得到零件的过程，冲下的部分是零件，如图 1-3 所示。

2) 冲孔工序一般用于冲出零件上的孔。它是指用模具沿封闭线冲切平板件或成形件得到带孔（槽）的零件的过程，冲下的部分是废料，如图 1-4 所示。

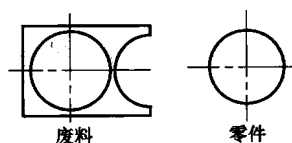


图 1-3 落料

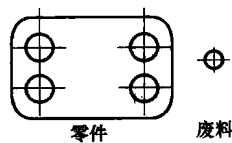


图 1-4 冲孔

3) 切割工序一般包括切断、切边和剖切。切断是指用模具将形状简单的平板零件切断的过程；剖切是指用模具将冲压成的半成品切成两个或几个零件的过程；切边是指用模具将零件边缘多余的材料冲切下来的过程，主要用于立体成形件，如图 1-5 所示。

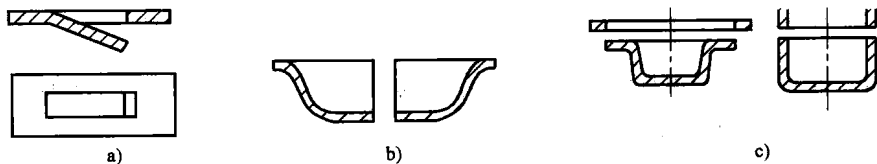


图 1-5 切割

a) 切口 b) 剖切 c) 切边

变形工序主要有弯曲、拉深、翻边、胀形、扩口、缩口、扭曲、起伏、压

印和顶镦等。是指坯料在模具压力作用下,使坯料产生变形,但不产生分离而获得具有一定形状和尺寸的冲压件的加工方法。

1) 弯曲是指用模具将材料加工成一定形状的过程,如图 1-6 所示。

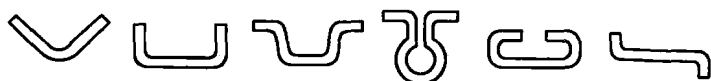


图 1-6 弯曲

2) 拉深是指用模具将材料加工成一定形状的空心件,或使空心毛坯进一步变形的过程。一般有变形拉深和变薄拉深两种工艺,如图 1-7 所示。

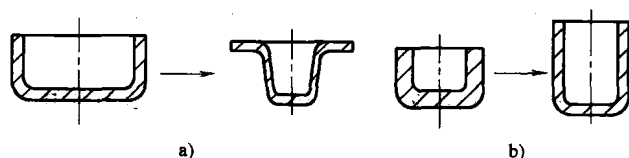


图 1-7 拉深

a) 变形拉深 b) 变薄拉深

3) 翻边是指用模具将材料上的孔或外缘翻成直壁或用卷边模将条料端部按一定半径卷成圆形的过程,如图 1-8 所示。

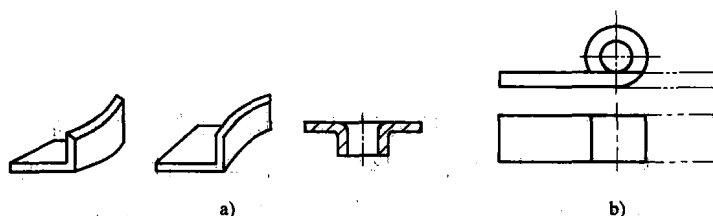


图 1-8 翻边

a) 直壁翻边 b) 卷边

4) 胀形是指用模具对圆筒形半成品件施力,使直径局部增大的过程,俗称拉胖,如图 1-9 所示。

5) 扩口和缩口是指用模具对空心毛坯、管状毛坯或空心零件施力,达到端口处直径扩大或缩小目的的过程,如图 1-10 所示。

6) 扭曲是把冲裁后的半成品扭转成一定角度,如图 1-11 所示。

7) 起伏是在板材毛坯或零件的表面上用局部成型的方法制成各种形状的突起与凹陷,如图 1-12 所示。

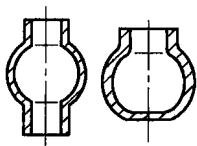


图 1-9 胀形

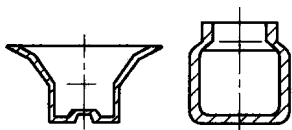


图 1-10 扩口和缩口



图 1-11 扭曲

另外还有压印和顶镦，如图 1-13 所示。

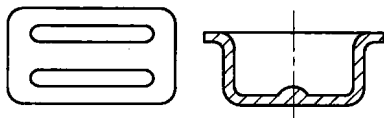


图 1-12 起伏

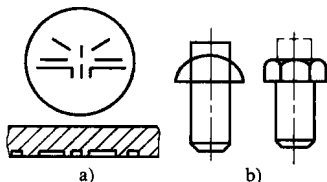


图 1-13 压印和顶镦

a) 压印 b) 顶镦

1.1.3 冲压工艺及其模具技术的发展

随着工业生产的迅速发展和科学技术的不断进步，冲压工艺及模具设计技术也在不断地革新。21 世纪的冲压技术将以更快的速度持续发展，其特征是与高新技术结合，在方法和体系上发生了很大变化。计算机技术、信息技术、现代测控技术等与冲压领域的渗透与交叉融合，推动了先进冲压成形技术的形成和发展。冲压成形技术将更加科学化、数字化、可控化。成形过程的数值模拟技术将与数字化制造系统很好地集成，人工智能技术、智能化控制将进入实用阶段。主要特征包括工艺分析计算方法的现代化、模具设计制造技术现代化、冷冲压生产的机械化和自动化，以及改进板材性能等。

“九五”以来，发达国家纷纷将制造业转到我国，使我国的模具工业面临空前的发展机遇。另外，我国正处于自主创新和优化工业产品结构的高潮时期，产品创新和优化结构以及产品更新换代的周期逐渐缩短，应用最多的冲压零件更换将更加频繁。这一切表明，冲压加工技术正迎来一个前所未有的发展机遇。

1.2 本课程的重要性及学习方法

“冲压工艺与模具设计”是模具设计与制造专业的一门专业技术课，它是一门将冲压成形加工原理、冲压工艺、冲模设计有机融合，综合性和实践性较强

的课程。

本课程的主要任务是：初步掌握冲压成形的原理、板料成形规律与冲压工艺和模具设计的关系；掌握冲压工艺过程的制定方法，具有制定中等复杂程度冲压件的工艺过程的能力；掌握冲模的设计方法，具有设计中等复杂程度冲模的能力；具有应用冲压成形基本原理、冲压工艺及冲模设计方法的知识，分析和解决冲压生产中的产品质量和模具方面技术问题的能力；同时了解冲压新工艺、新型模具及冲压技术的发展方向。

冲压工艺学是一门实用性很强的课程，实践性和综合性很强。对初学者来说，应在学习这门课程以前，对冲压工艺在生产中的应用范围和特点，具有初步感性认识，才能在学习的时候联系实际、培养兴趣和加深理解。在学习时应注意以下几个方面：

- 1) 学好“机械制图”课程。
- 2) 多到工厂参观实习，以增强感性认识。
- 3) 多动手练习，多画图设计。
- 4) 通过观察多媒体课件，建立培养空间想象能力。
- 5) 上好现场教学、实验、课程设计等实践课。

习 题

1. 什么叫冲压加工？冲压加工的三要素是什么？
2. 什么叫冲压工艺？什么叫冲压模具？
3. 冲压加工的优缺点是什么？
4. 冲压工艺有哪几类？各有什么基本工序？
5. 如何学好冲压工艺及模具设计这门课程？

冲裁工艺及冲裁模设计

冲裁是利用模具使板料的一部分沿一定的轮廓形状与板材全部或部分分离的工序。冲裁工序是冲压生产的主要工艺之一，与锯切、切削、磨削等加工方法相比，因其具有质量好、效率高、成本低等突出的优点，在一般企业的冲压加工中，冲裁工序所占的比例最大，一般都超过 65%。冲裁工序既可以直接冲制出成品零件，也可以为其他成形工序如弯曲、拉深、成形等准备坯料，还可以在已成形的冲压件上进行冲孔和修边等，是冲压加工生产中应用最多的工艺方法。

如图 2-1 所示为冲裁工作过程，板料 3 上下两个装置分别称为凸模 1（凸起的实心装置）和凹模 2（带有凹腔的装置）。冲裁时，板料放在凹模的上方，当凸模随压力机滑块向下运动时，便迅速冲穿板料进入凹模，使工件与板料分离。

冲裁工艺的种类很多，应用最多的是落料和冲孔。从板料上冲下所需形状的零件称为落料，在零件上冲出所需形状的孔称为冲孔。落料和冲孔的变形性质完全相同，但确定模具尺寸的方法、基准不同，工艺上必须作为两个工序加以区分。冲制外形 D 的冲裁工序叫做落料，如图 2-2a 所示；冲制内孔 d 的工序叫做冲孔，如图 2-2b 所示。

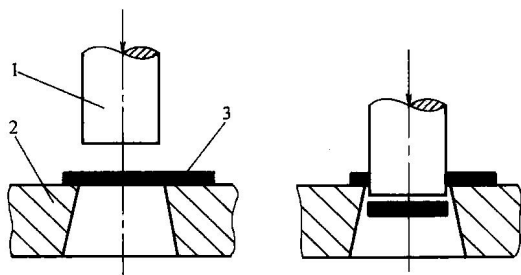


图 2-1 冲裁过程

1—凸模 2—凹模 3—板料

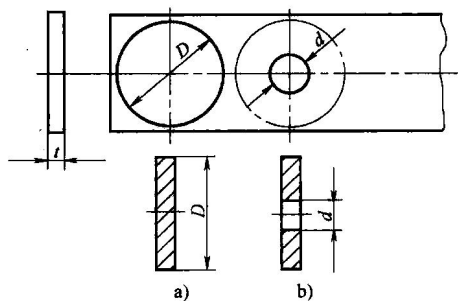


图 2-2 垫圈的落料与冲孔