



“十三五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

冲压模具设计与制造

Chongya Muju Sheji yu Zhizao

● 主 编 贺毅强 杨建明

非
外
借

哈尔滨工业大学出版社

M “十三五”国家重点图书出版规划项目
材料科学研究与工程技术系列

冲压模具设计与制造

Chongya Muju Sheji yu Zhizao

- 主 编 贺毅强 杨建明
- 副主编 徐政坤 冯立超 蔡小霞
- 主 审 陈志钢

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书共9章,主要介绍了冲压成形理论基础,五种基本冲压工序(冲裁、弯曲、拉深、成形和挤压)的工艺及模具设计方法,常用冲压设备的原理、结构、使用与维护,以及冲模材料、寿命、安全措施及冲压工艺过程的制订等。本书以培养技术应用能力为主线,将冲压成形原理、冲压工艺与模具设计、冲压成形设备等三门关联课程的内容进行了有机的融合,并选编了较多的应用实例和习题,突出了应用性、实用性、综合性和先进性,体系新颖,内容翔实。

本书可作为本科院校模具设计与制造专业及机械、机电类各相关专业的教材或参考用书,也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

冲压模具设计与制造/贺毅强,杨建明主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2019.2
ISBN 978-7-5603-7751-3

I. ①冲… II. ①贺…②杨… III. ①冲模-设计-
高等学校-教材 ②冲模-制模工艺-高等学校-教材
IV. ①TG385.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 253121 号

策划编辑 李艳文 范业婷
责任编辑 庞 雪
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江艺德印刷有限责任公司
开 本 660mm×980mm 1/16 印张 23 字数 599 千字
版 次 2019 年 2 月第 1 版 2019 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-7751-3
定 价 68.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

致 谢

感谢江苏省重点培育学科“机械工程资助项目”“江苏高校品牌专业建设工程资助项目 (PPZY2015C214)”和“江苏省中高等职业教育衔接课程体系建设”立项课题、江苏省重点建材建设项目、江苏省研究生教育教改课题(JGZZ_075)及淮海工学院校级规划教材项目的资助!

前 言

本书是根据教育部颁布的本科专业目录和高等教育教学改革的需要,为适应近年来冲压加工技术日益广泛应用的形势,培养急需的应用型人才,引导相关专业课程建设,遵循“理论联系实际,体现应用性、实用性、综合性和先进性,激发创新”的原则,在总结近几年各院校模具专业教学改革经验的基础上撰写的。本书的主要特点有:

(1)根据从事冲压成形工艺及模具设计的工程技术人员的应用型人才的实际要求,理论以“必需、够用”为度,着眼于解决现场实际问题,同时将相关知识融合为一体,突出综合素质的培养,并拓宽加强专业知识的广度,积极吸纳新技术,体现了应用性、实用性、综合性和先进性。

(2)将冲压成形原理、冲压工艺与模具设计、冲压成形设备等三门关联课程的内容进行了有机的融合,采用通俗易懂的文字和丰富的图表,在简要介绍冲压成形基本理论的基础上,较详细地介绍了各类冲压成形工艺及模具的设计与基本计算方法,讲述了常用冲压设备的类型、结构、选择、使用与维护等方面的基本知识,客观分析了冲压工艺、冲压模具、冲压设备、冲压材料及冲压件质量与经济性的关系,体系新颖,内容详实。

(3)各章均选编了较多的应用实例和习题,重点章节精选了综合应用实例和大型连续作业,实用性和可操作性强,便于教学和自学。

本书可作为本科院校模具设计与制造专业及机械、机电类各相关专业的教材或参考用书,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

本书由淮海工学院的贺毅强和杨建明主编,张家界航空工业职业技术学院的徐政坤和淮海工学院的冯立超、蔡小霞担任副主编,广西科技大学的孙有平、长沙学院的张昊也参与了编写工作,湖南科技大学的陈志钢担任主审。全书共9章,第0章、第6章由贺毅强编写;第1章、第7章由杨建明编写;第2章由徐政坤编写;第3章由张昊编写;第4章由冯立超编写;第5章由蔡小霞编写;第8章由孙有平编写。在本书出版之际,向本书所引用的文献与资料的原作者和帮助本书出版的专家和同仁们表示由衷的感谢。

由于编者水平有限,书中疏漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正并提出宝贵意见。

作 者

2018年9月

目 录

第0章 绪论	1
0.1 冲压的概念、特点及应用	1
0.2 冲压的基本工序及模具	2
0.3 冲压技术的现状及发展方向	5
0.4 本课程的学习要求与学习方法	8
本章思考与练习题	8
第1章 冲压模具设计基础	9
1.1 冲压成形理论基础	9
1.2 冲压用材料	11
1.3 冲压设备的选择	16
本章思考与练习题	21
第2章 冲压模具制造基础	22
2.1 冲模制造的要求、过程与特点	22
2.2 冲模的一般加工方法	25
2.3 电火花加工方法	30
2.4 冲模的装配	50
本章思考与练习题	51
第3章 冲裁模设计与制造	53
3.1 冲裁变形过程分析	53
3.2 冲裁件的工艺性	59
3.3 冲裁间隙	62
3.4 凸、凹模刃口尺寸的确定	68
3.5 排样	75
3.6 冲压力与压力中心的计算	86
3.7 冲裁模的典型结构	93
3.8 冲裁模主要零部件的设计与选用	110
3.9 冲裁模零件的制造	146
3.10 冲裁模设计与制造步骤及实例	159
本章思考与练习题	172
第4章 弯曲模设计与制造	174
4.1 弯曲变形过程分析	174
4.2 弯曲件的质量问题及控制	178
4.3 弯曲件的工艺性	190

4.4	弯曲件的展开尺寸计算	193
4.5	弯曲力的计算	196
4.6	弯曲件的工序安排	199
4.7	弯曲模的典型结构	200
4.8	弯曲模工作零件的设计与制造	211
4.9	弯曲模的装配与调试	216
4.10	弯曲模的设计与制造实例	217
	本章思考与练习题	223
第5章	拉深模设计与制造	225
5.1	拉深变形过程分析	225
5.2	拉深件的工艺性	234
5.3	旋转体拉深件坯料尺寸的确定	236
5.4	圆筒形件的拉深工艺计算	240
5.5	拉深力、压料力与压料装置	247
5.6	其他形状零件的拉深	252
5.7	拉深工艺的辅助工序	269
5.8	拉深模的典型结构	273
5.9	拉深模工作零件的设计与制造	279
5.10	拉深模的装配与调试	284
5.11	拉深模设计与制造实例	286
	本章思考与练习题	292
第6章	成形模设计与制造	294
6.1	胀形	294
6.2	翻孔与翻边	305
6.3	缩口	314
6.4	校平与整形	321
6.5	成形模制造特点	325
	本章思考与练习题	326
第7章	多工位级进模设计与制造	327
7.1	多工位级进模的特点与分类	327
7.2	多工位级进模的排样设计	328
7.3	多工位级进模的典型结构	338
	本章思考与练习题	348
第8章	冲压工艺过程的制订	350
8.1	制订冲压工艺过程的原始资料	350
8.2	制订冲压工艺过程的步骤及方法	351
	本章思考与练习题	357
	参考文献	359

第0章 绪 论

0.1 冲压的概念、特点及应用

冲压是利用安装在冲压设备(主要是压力机)上的模具对材料施加压力,使其产生分离或塑性变形,从而获得所需零件(俗称冲压件或冲件)的一种压力加工方法。冲压通常是在常温下对材料进行冷变形加工,且主要采用板料来加工所需零件,所以也称冷冲压或板料冲压。冲压是材料压力加工或塑性加工的主要方法之一,隶属于材料成形工程技术。

冲压所使用的模具称为冲压模具,简称冲模。冲模是将材料(金属或非金属)批量加工成所需冲件的专用工具。冲模在冲压中至关重要,没有符合要求的冲模,批量冲压生产就难以进行;没有先进的冲模,先进的冲压工艺就无法实现。冲压工艺与模具、冲压设备和冲压材料是冲压加工的三要素。

与机械加工及塑性加工的其他方法相比,冲压加工无论在技术方面还是经济方面都具有许多独特的优点。主要表现在:

①冲压加工的生产效率高,且操作方便,易于实现机械化与自动化。这是因为冲压主要依靠冲模和冲压设备来完成加工,普通压力机的行程次数为每分钟几十次,高速压力机的行程次数为每分钟数百次甚至可达千次以上,而且每次冲压行程就可能得到一个冲件。

②冲压时由模具保证了冲压件的尺寸与形状精度,且一般不破坏冲压材料的表面质量,而模具的寿命一般较长,所以冲压件的质量稳定、互换性好,具有“一模一样”的特征。

③冲压可加工出尺寸范围较大、形状较复杂的零件,小到钟表的秒针,大到汽车纵梁、覆盖件等,加上冲压时材料的冷变形硬化效应,冲压件的强度和刚度均较高。

④冲压一般没有切屑碎料生成,材料的消耗较少,且不需其他加热设备,因而冲压是一种省料、节能的加工方法,冲压件的成本较低。

但是,冲压加工所使用的模具一般具有专用性,有时一个复杂零件需要数套模具才能加工成形,且模具制造的精度高、技术要求高,是技术密集型产品。所以,只有在冲压件生产批量较大的情况下,冲压加工的优点才能得到充分体现,从而获得较好的经济效益。

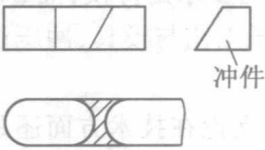
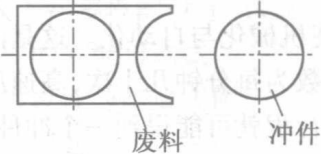
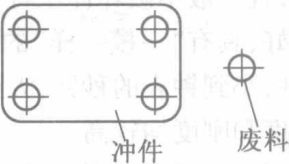
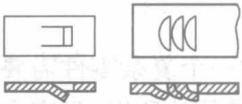
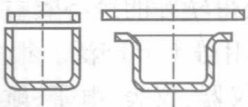
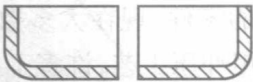
冲压在现代工业生产中,尤其是在大批量生产中应用得十分广泛。很多工业部门越来越多地采用冲压方法加工产品零部件,使其在汽车、农业、仪器、仪表、电子、航空、航天、家电及轻工等领域被广泛采用。在上述相关工业部门中,冲压件所占的比重都相当大,少则 60%,多则 90% 以上。不少过去用锻造、铸造和切削加工方法制造的零件,现在大多数也被质量轻、刚度好的冲压件所代替。因此可以说,如果生产中不广泛采用冲压工艺,许多工业部门要提高生产效率、提高产品质量、降低生产成本、进行产品更新换代等都是难以实现的。

0.2 冲压的基本工序及模具

由于冲压加工的零件种类繁多,各类零件的形状、尺寸和精度要求又各不相同,因而生产中采用的冲压工艺方法也是多种多样的。概括起来,冲压工序可分为分离工序和成形工序两大类:分离工序是指使坯料沿一定的轮廓线分离而获得一定形状、尺寸和断面质量的冲压件(俗称冲裁件)的工序;成形工序是指坯料在不破裂的条件下,产生塑性变形而获得一定形状和尺寸的冲压件的工序。分离工序和成形工序的具体内容及特点见表 0.1 和表 0.2。

上述两类工序按基本变形方式不同又可分为冲裁、弯曲、拉深和成形四种基本工序,每种基本工序还包含多种单一工序。

表 0.1 分离工序

工序	简图	特点
切断		用剪刀或冲模切断板料,切断线不封闭
落料		用冲模沿封闭线冲切板料,冲下来的部分为冲件
冲孔		用冲模沿封闭线冲切板料,冲下来的部分为废料
切口		在坯料上沿不封闭线冲出缺口,切口部分发生弯曲
切边		将工作的边缘部分切除
剖切		把工件切开,分成两个或多个零件

在实际生产中,当冲压件的生产批量较大、尺寸较小而公差要求较小时,若用分散的单一工序来冲压是不经济甚至难于达到要求的。这时在工艺上多采用工序集中的方案,即把两种或两种以上的单一工序集中在一副模具内完成,称为组合工序。根据工序组合的方法不同,又

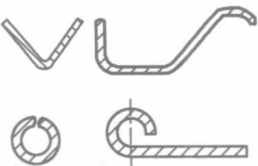
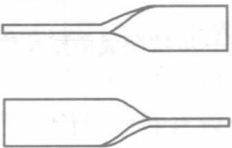
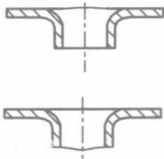
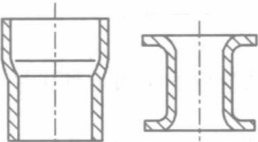
可将冲压工序分为复合冲压、级进冲压和复合－级进冲压三种组合方式。

①复合冲压。在压力机的一次工作行程中,在模具的同一工位上同时完成两种或两种以上不同单一工序的一种组合方式。

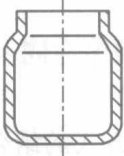
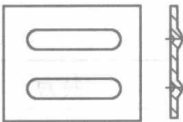
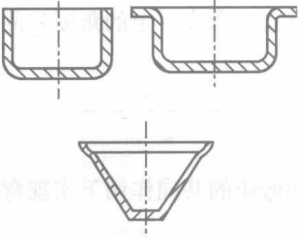
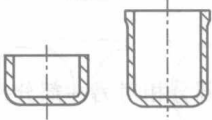
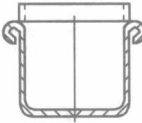
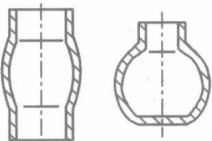
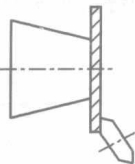
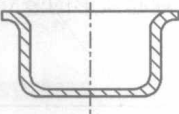
②级进冲压。在压力机的一次工作行程中,按照一定的顺序在同一模具的不同工位上完成两种或两种以上不同单一工序的一种组合方式。

③复合－级进冲压。在一副冲模上包含复合和级进两种方式的组合工序。

表 0.2 成形工序

工序		简图	特点
弯曲	压弯		将板料沿直线弯成一定的角度和曲率
	拉弯		在拉力和弯矩的共同作用下实现弯曲变形
弯曲	扭弯		将工件的一部分相对另一部分扭转成一定角度
	辊弯		通过一系列轧辊将平板卷料辊弯成复杂形状
	翻孔		沿工件上孔的边缘翻出竖立边缘
	翻边		沿工件的外缘翻起弧形的竖立边缘
	扩口		把空心件的口部扩大

续表 0.2

工序		简图	特点
弯曲	缩口		将空心件的口部缩小
	起伏		依靠材料的伸长变形使工件形成局部凹陷或凸起
拉深	拉深		将平板坯料制成开口空心件,壁厚基本不变
	变薄拉深		将空心件进一步拉深成侧壁比底部薄的零件
成形	卷缘		将空心件的口部卷成接近封闭的圆形
	胀形		将空心件或管件沿径向向外扩张,形成局部直径较大的零件
	旋压		将空心件或管件沿径向向外扩张,形成局部直径较大的零件
	整形		将空心件或管件沿径向向外扩张,形成局部直径较大的零件
	校平		将有拱弯或翘曲的平板形件压平,以提高其平面度

冲模的结构类型也很多。通常按工序性质可将冲模分为冲裁模、弯曲模、拉深模及成形模等;按工序的组合方式可将冲模分为单工序模、复合模及级进模等。但无论何种类型的冲模,都可看成由上模和下模两部分组成,上模被紧固在压力机滑块上,可随滑块做上、下往复运动,是冲模的活动部分;下模被固定在压力机工作台或垫板上,是冲模的固定部分。工作时,坯料在下模面上通过定位零件进行定位,压力机滑块带动上模下压,在模具工作零件(即凸模、凹模)的作用下,坯料便产生分离或塑性变形,从而获得所需形状与尺寸的冲件。上模回升时,模具的卸料与出件装置将冲件或废料从凸、凹模上卸下或推顶出来,以便进行下一次冲压循环。

0.3 冲压技术的现状及发展方向

随着科学技术的不断进步和工业生产的迅速发展,许多新技术、新工艺、新设备和新材料不断涌现,因而促进了冲压技术的不断革新和发展。其主要表现和发展方向如下:

(1) 冲压成形理论及冲压工艺方面。

冲压成形理论的研究是提升冲压技术的基础。目前,国内外对冲压成形理论的研究非常重视,在材料冲压性能研究、冲压成形过程应力应变分析、板料变形规律研究及坯料与模具之间的相互作用研究等方面均取得了较大的进展。特别是随着计算机技术的飞速发展和塑性变形理论的进一步完善,近年来国内外已开始应用塑性成形过程的计算机模拟技术,即利用有限元(Finite Element Method, FEM)等数值分析方法模拟金属的塑性成形过程,根据分析结果,设计人员可预测某工艺方案成形的可行性及可能出现的质量问题,并通过在计算机上选择修改相关参数,实现工艺及模具的优化设计,这样既节省了昂贵的试模费用,也缩短了制模周期。

研究推广能提高劳动生产率及产品质量,降低成本和扩大冲压工艺应用范围的各种冲压新工艺,也是冲压技术的发展方向之一。目前,国内外相继涌现了精密冲压工艺、软模成形工艺、高能高速成形工艺、超塑性成形工艺及无模多点成形工艺等精密、高效、经济的冲压新工艺。其中,精密冲裁是提高冲裁件质量的有效方法,它扩大了冲压加工范围,目前精密冲裁加工零件的厚度可达 25 mm,精度可达 IT 6 ~ IT 7 级;用液体、橡胶、聚氨酯等作为柔性凸模或凹模来代替刚性凸模或凹模的软模成形工艺,能加工出用普通加工方法难以加工的材料和复杂形状的零件,在特定生产条件下具有明显的经济效益;爆炸等高能高效的成形方法可用于加工各种尺寸大、形状复杂、批量小、强度高和精度要求较高的板料零件;利用金属材料的超塑性进行超塑性成形,可以用一次成形代替多道普通的冲压成形工序,这对于加工形状复杂和大型的板料零件具有突出的优越性;无模多点成形工艺是用高度可调的凸模群体代替传统模具进行板料曲面成形的一种先进工艺技术,我国已自主设计制造了具有国际领先水平的无模多点成形设备,解决了多点压机成形法,从而可随意改变变形路径与受力状态,提高了材料的成形极限,同时利用反复成形技术可消除材料内的残余应力,实现无回弹成形。无模多点成形系统以 CAD/CAM/CAT 技术为主要手段,能快速经济地实现三维曲面的自动化成形。

(2) 冲模设计与制造方面。

冲模是实现冲压生产的基本条件。在冲模的设计和制造上,目前正朝着以下两方面发展:一方面,为了适应高速、自动、精密、安全等大批量现代生产的需要,冲模正向着高效率、高精度、高寿命及多工位、多功能的方向发展,与此相适应的新型模具材料及其热处理技术,各种高效、精密、数控、自动化的模具加工机床和检测设备以及模具 CAD/CAM 技术也正在迅速发

展;另一方面,为了适应产品更新换代、试制或小批量生产的需要,锌基合金冲模、聚氨酯橡胶冲模、薄板冲模、钢带冲模、组合冲模等各种简易冲模及其制造技术也得到了迅速发展。

精密、高效的多工位及多功能级进模和大型复杂的汽车覆盖件冲模代表了现代冲模的技术水平。目前,50个工位以上的级进模步距精度可达 $2\text{ }\mu\text{m}$,多功能级进模不仅可以完成冲压全过程,还可完成焊接、装配等工序。我国已能自行设计制造出达到国际水平的精密多工位级进冲模,如某机电一体化的铁芯精密自动化多功能级进模,其主要零件的制造精度为 $2\sim 5\text{ }\mu\text{m}$,步距精度为 $2\sim 3\text{ }\mu\text{m}$,总寿命达1亿次。我国主要的汽车模具企业已能生产成套的轿车覆盖件模具,在设计制造方法方面已基本达到了国际水平,在模具结构、功能方面也接近国际水平,但在制造质量、精度、制造周期和成本方面与国际水平相比还存在一定差距。

模具材料及热处理与表面处理工艺对模具加工质量和寿命的影响很大,世界各主要工业国家在此方面的研究都取得了较大进展,开发了许多新钢种,其硬度可达HRC 58~70,而其变形只为普通工具钢的 $1/5\sim 1/2$ 。例如,火焰淬火钢可局部硬化,且无脱碳;我国研制的65Nb、LD和CD等新钢种,具有热加工性能好、热处理变形小、抗冲击性能佳等特点。与此同时,还发展了一些新的热处理和表面处理工艺,主要有气体软氮化、离子氮化、渗硼、表面涂镀、化学气相沉积(Chemical Vapor Deposition, CVD)、物理气相沉积(Physical Vapor Deposition, PVD)及激光表面处理等。这些方法能提高模具工作表面的耐磨性、硬度和耐蚀性,使模具寿命大大延长。

模具制造技术现代化是模具工业发展的基础。计算机技术、信息技术、自动化技术等先进技术正在不断地向传统制造技术渗透,与之交叉、融合形成了现代模具制造技术。其中高速铣削加工、电火花铣削加工、慢走丝线切割加工、精密磨削及抛光技术、数控测量等代表了现代冲模制造的技术水平。高速铣削加工不但具有加工速度高以及良好的加工精度和表面质量(主轴转速一般为 $15\,000\sim 40\,000\text{ r/min}$,加工精度一般可达 $10\text{ }\mu\text{m}$,最好的表面粗糙度 $Ra\leq 1\text{ }\mu\text{m}$),而且与传统切削加工相比,其具有温升低(工件只升高 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$)、切削力小,因而可加工热敏材料和刚性差的零件,合理选择刀具和切削用量还可实现硬材料(HRC 60)的加工;电火花铣削加工(又称为电火花创成加工)是以高速旋转的简单管状电极做三维或二维轮廓加工(像数控铣一样),因此不再需要制造昂贵的成形电极,如日本三菱公司生产的EDSCAN8E电火花铣削加工机床,配置有电极损耗自动补偿系统、CAD/CAM集成系统、在线自动测量系统和动态仿真系统,体现了当今电火花加工机床的技术水平;慢走丝线切割技术的发展水平已相当高,功能也相当完善,自动化程度已达到无人看管运行的程度,目前切割速度已达 $300\text{ mm}^2/\text{min}$,加工精度可达 $\pm 1.5\text{ }\mu\text{m}$,表面粗糙度达 $0.1\sim 0.2\text{ }\mu\text{m}$;精密磨削及抛光已开始使用数控成形磨床、数控光学曲线磨床、数控连续轨迹坐标磨床及自动抛光机等先进设备和技术;模具加工过程中的检测技术也取得了很大的发展,现代三坐标测量机除了能高精度地测量复杂曲面的数据外,其良好的温度补偿装置、可靠的抗振保护能力、严密的除尘措施及简便的操作步骤,使现场自动化检测成为可能。此外,激光快速成形技术(Rapid Prototyping Manufacturing, RPM)与树脂浇注技术在快速经济制模技术中得到了成功的应用。利用RPM技术快速成形三维原型后,通过陶瓷精铸、电弧喷涂、消失模、熔模等技术可快速制造各种成形模。清华大学开发研制的M-RPMS-II型多功能快速原型制造系统是我国自主知识产权的世界唯一拥有两种快速成形工艺(分层实体制造(Slicing Solid Manufacturing, SSM)和熔融挤压成形(Melted Extrusion Modeling, MEM))的系统,它是基于“模块化技术集成”的概念而设计和制造的,具有较好的价格性能比;一汽模具制造有限公司以CAD/CAM加工的主模型为基础,将瑞士汽巴精化

有限公司的高强度树脂浇注成形的树脂冲模应用在国产轿车的试制中,具有制造精度较高、周期短、费用低等特点,达到了20世纪90年代的国际水平,为我国轿车试制和小批量生产开辟了新的途径。

模具CAD/CAE/CAM技术是改造传统模具生产方式的关键技术,它以计算机软件的形式为用户提供一种有效的辅助工具,使工程技术人员能借助计算机对产品、模具结构、成形工艺、数控加工及成本等进行设计和优化,从而显著缩短模具设计与制造周期,降低生产成本,提高产品质量。随着功能强大的专业软件和高效集成制造设备的出现,以三维造型为基础、基于并行工程(Concurrent Engineering, CE)的模具CAD/CAE/CAM技术正成为发展方向,它能实现制造和装配的设计、成形过程的模拟和数控加工过程的仿真,还可对模具可制造性进行评价,使模具设计与制造一体化、智能化。

(3) 冲压设备和冲压生产自动化方面。

性能良好的冲压设备是提高冲压生产技术水平的基本条件,高精度、高寿命、高效率的冲模需要与高精度、高自动化的冲压设备相匹配。为了满足大批量高速生产的需要,目前冲压设备也由单工位、单功能、低速的压力机向着多工位、多功能、高速和数控方向发展,加之机械手乃至机器人的大量使用,使冲压生产效率得到大幅度提高,各式各样的冲压自动线和高速自动压力机纷纷投入使用。如在数控四边折弯机中送入板料毛坯后,在计算机程序控制下便可依次完成四边弯曲,从而大幅度提高精度和生产率;在高速自动压力机上冲压电机定转子冲片时,一分钟可冲几百片,并能自动叠成定、转子铁芯,生产效率比普通压力机的生产效率提高几十倍,材料利用率高达97%;公称压力为250 kN的高速压力机的滑块行程次数已达2 000次/min以上。在多功能压力机方面,日本会田工程技术株式会社生产的2 000 kN冲压中心采用计算机数控技术(Computerized Numerical Control, CNC)控制,只需5 min就可完成自动换模、换料及调整工艺参数等工作;美国惠特尼(Whitney)公司生产的CNC金属板材加工中心在相同的时间内,加工冲压件的数量为普通压力机加工冲压件数量的4~10倍,并能进行冲孔、分段冲裁、弯曲及拉深等多种作业。

近年来,为了适应市场的激烈竞争,对产品质量的要求越来越高,且其更新换代的周期大为缩短。冲压生产为适应这一新的要求,开发了多种适合不同批量生产的工艺、设备和模具。其中,无须设计专用模具、性能先进的转塔数控多工位压力机、激光切割和成形机、CNC万能折弯机等新设备已投入使用,特别是近几年来在国外已经发展起来、国内亦开始使用的冲压柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)和冲压柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)代表了冲压生产新的发展趋势。FMS以数控冲压设备为主体,包括板料、模具、冲压件分类存放系统、自动上料与下料系统,生产过程完全由计算机控制,车间实现24 h无人控制生产。同时,根据不同的使用要求,可以完成各种冲压工序,甚至焊接、装配等工序,更换新产品方便迅速,冲压件精度也高。

(4) 冲模标准化及专业化生产方面。

模具的标准化及专业化生产已得到模具行业的广泛重视。因为冲模属单件小批量生产,冲模零件既具有一定的复杂性和精密性,又具有一定的结构典型性。因此,只有实现了冲模的标准化,才能使冲模和冲模零件的生产实现专业化和商品化,从而降低模具成本,提高模具质量和缩短制造周期。目前,国外先进工业国家的模具标准化生产程度已达70%~80%,模具厂只需设计制造工作零件,大部分模具零件均从标准件厂购买,使生产效率大幅度提高。模具制造厂专业化程度越来越高,分工越来越细,如目前有模架厂、顶杆厂、热处理厂等,甚至某些

模具厂仅专业化制造某类产品的冲裁模或弯曲模,这样更有利于制造水平的提高和制造周期的缩短。我国冲模标准化与专业生产近年来也有较大进展,除反映在标准件专业化生产厂家有较多增加外,标准件品种也有扩展,精度亦有提高。但总体情况还满足不了模具工业发展的要求,主要体现在标准化程度还不高(一般在40%以下),标准件的品种和规格较少,大多数标准件厂家未形成规模化生产,标准件质量也还存在较多问题。另外,标准件生产的销售、供货、服务等都还有待于进一步提高。

0.4 本课程的学习要求与学习方法

本课程融合了冲压成形原理、冲压工艺与冲模设计、冲模制造工艺等主要内容,是模具设计与制造专业的一门主干专业课。通过本课程的学习,应初步掌握冲压成形的基本原理,掌握冲压工艺过程编制、冲模设计和冲模制造工艺编制的基本方法,具有制订一般复杂程度冲压件的冲压工艺、设计中等复杂程度冲压模具和编制模具零件加工与装配工艺的能力,能够运用已学知识分析和解决冲压生产和冲模制造中常见的产品质量、工艺及模具方面的技术问题,并了解冲压新工艺、新模具、模具制造新技术及其发展方向。

冲模设计与制造是一门实践性和实用性都很强的学科,它以金属学与热处理、塑性力学、金属塑性成形原理等学科为基础,与冲压设备和机械制造技术紧密相关,因此学习时不但要注意系统学好本学科的基础理论知识,还要密切联系生产实际,认真参加试验、实训、课程设计等实践性教学环节,同时还要注意沟通与基础学科和相关学科知识间的联系,培养综合运用知识分析解决实际问题的能力。

本章思考与练习题

1. 什么是冲压? 它与其他加工方法相比有什么特点?
2. 为何冲压加工的优越性只有在批量生产的情况下才能得到充分体现?
3. 冲压工序可分为哪两大类? 它们的主要区别和特点是什么?
4. 简述冲压技术的发展趋势。

第 1 章 冲压模具设计基础

1.1 冲压成形理论基础

冲压成形是金属塑性成形加工中的一种,它主要是利用材料的塑性,在外力的作用下发生塑性变形而使材料成形的一种加工方法。因此,要掌握冲压成形的加工技术,就必须对冲压成形过程中材料的变形趋向性及其控制有充分的认识。

在冲压成形过程中,坯料的各个部分在同一模具的作用下,却有可能发生不同形式的变形,即具有不同的变形趋向性。在这种情况下,判断坯料各部分是否变形和以什么方式变形,以及能否通过正确设计冲压工艺和模具等措施来保证在进行和完成预期变形的同时,排除其他一切不必要的和有害的变形等,则是获得合格的高质量冲压件的根本保证。因此,分析研究冲压成形中的变形趋向及控制方法,对制订冲压工艺过程、确定工艺参数、设计冲压模具以及分析冲压过程中出现的某些产品质量问题等,都有非常重要的实际意义。

一般情况下,总是可以把冲压过程中的坯料划分成为变形区和传力区。冲压设备施加的变形力通过模具,并进一步通过坯料传力区作用于变形区,使其发生塑性变形。如图 1.1 所示,在拉深和缩口成形中,坯料的 A 区是变形区,B 区是传力区,C 区则是已变形区。

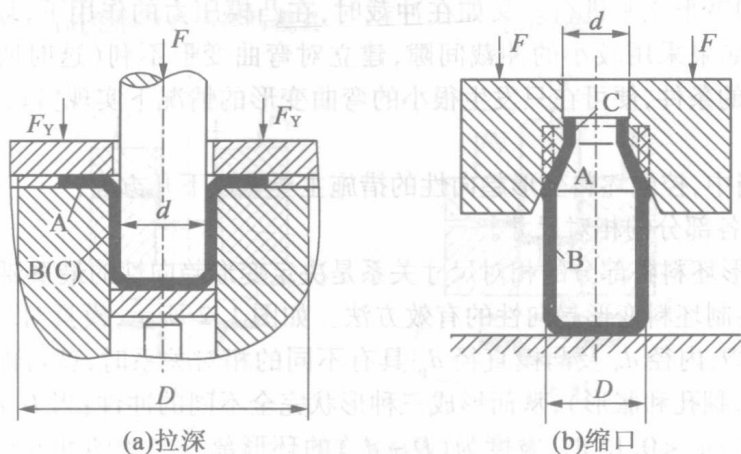


图 1.1 冲压成形时坯料的变形区与传力区

A—变形区;B—传力区;C—已变形区

由于变形区发生塑性变形所需的力是由模具通过传力区获得的,而同一坯料上的变形区和传力区都是毗邻的,所以在变形区和传力区分界面上作用的内力性质和大小是完全相同的。在这样同一个内力的作用下,变形区和传力区都有可能产生塑性变形,但由于它们之间的尺寸关系及变形条件不同,其应力应变状态也不相同,因而它们可能产生的塑性变形方式及变形的先后是不相同的。通常,总有一个区需要的变形力比较小,并首先满足塑性条件进入塑性状态,产生塑性变形,这个区被称为相对的弱区。对于图 1.1(a)所示的拉深变形,虽然变形区 A 和传力区 B 都受到径向拉应力 σ_r 的作用,但 A 区比 B 区还多一个切向压应力 σ_θ 的作用,根

据屈雷斯加塑性条件 $\sigma_1 - \sigma_3 \geq \sigma_s$, A 区中 $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_\theta + \sigma_r$, B 区中 $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_r$, 因 $\sigma_\theta + \sigma_r > \sigma_r$, 所以在外力 F 的作用下, 变形区 A 最先满足塑性条件产生塑性变形, 成为相对弱区。

为了保证冲压过程的顺利进行, 必须保证冲压工序中应该变形的部分(变形区)成为弱区, 以便在把塑性变形局限于变形区的同时, 排除传力区产生任何不必要的塑性变形的可能。由此可以得出一个十分重要的结论: 在冲压成形过程中, 需要最小变形力的区是个相对的弱区, 而且弱区必先变形, 因此变形区应为弱区。

“弱区必先变形, 变形区应为弱区”的结论在冲压生产中具有很重要的实用意义。很多冲压工艺的极限变形参数的确定、复杂形状件的冲压工艺过程设计等, 都是以这个结论作为分析和计算依据的。对于图 1.1(a) 中的拉深变形, 一般情况下 A 区是弱区而成为变形区, B 区是传力区。但当坯料外径 D 太大、凸模直径 d 太小而使得 A 区凸缘宽度太大时, 由于要使 A 区产生切向压缩变形所需的径向拉力很大, 这时 B 区可能会因拉应力过大率先发生塑性变形甚至拉裂而成为弱区。因此, 为了保证 A 区成为弱区, 应合理确定凸模直径与坯料外径的比值 d/D (即拉深系数), 使 B 区拉应力还未达到塑性条件以前, A 区的应力先达到塑性条件而发生拉压塑性变形。

当变形区或传力区有两种以上的变形方式时, 则首先实现的变形方式所需的变形力最小。因此, 在工艺和模具设计时, 除要保证变形区为弱区外, 同时还要保证变形区必须实现的变形方式具有最小的变形力。例如, 在图 1.1(b) 所示的缩口成形过程中, 变形区 A 可能产生的塑性变形是切向收缩的缩口变形和在切向压应力作用下的失稳起皱, 传力区 B 可能产生的塑性变形是筒壁部分墩粗和失稳弯曲。在这四种变形趋向中, 只有满足缩口变形所需的变形力最小这个条件(如通过选用合适的缩口系数 d/D 和在模具结构上采取增加传力区的支承刚性等措施), 才能使缩口变形正常进行。又如在冲裁时, 在凸模压力的作用下, 坯料具有剪切和弯曲两种变形趋向, 如果采用较小的冲裁间隙, 建立对弯曲变形不利(这时所需的弯曲力增大了)而对剪切有利的条件, 便可在只发生很小的弯曲变形的情况下实现剪切, 提高了冲件的尺寸精度。

在实际生产当中, 控制坯料变形趋向性的措施主要有以下几方面:

(1) 改变坯料各部分的相对尺寸。

实践证明, 变形坯料各部分的相对尺寸关系是决定变形趋向性的最重要因素, 因而改变坯料的尺寸关系是控制坯料变形趋向性的有效方法。如图 1.2 所示, 模具对环形坯料进行冲压时, 当坯料的外径 D 、内径 d_0 及凸模直径 d_p 具有不同的相对关系时, 就可能具有三种不同的变形趋向(即拉深、翻孔和胀形), 从而形成三种形状完全不同的冲件: 当 D 、 d_0 都较小, 并满足条件 $D/d_p < 1.5$ 、 $d_0/d_p < 0.15$ 时, 宽度为 $(D - d_p)$ 的环形部分产生塑性变形所需的力最小而成为弱区, 因而产生外径收缩的拉深变形, 得到拉深件(图 1.2(b)); 当 D 、 d_0 都较大, 并满足条件 $D/d_p > 2.5$ 、 $d_0/d_p < 0.2$ 时, 宽度为 $(d_p - d_0)$ 的内环形部分产生塑性变形所需的力最小而成为弱区, 因而产生内孔扩大的翻孔变形, 得到翻孔件(图 1.2(c)); 当 D 较大、 d_0 较小(甚至为 0), 并满足条件 $D/d_p > 2.5$ 、 $d_0/d_p < 0.15$ 时, 这时坯料外环的拉深变形和内环的翻孔变形阻力都很大, 结果使凸、凹模圆角及附近的金属成为弱区而产生厚度变薄的胀形变形, 得到胀形件(图 1.2(d))。胀形时, 坯料的外径和内孔尺寸都不发生变化或变化很小, 成形仅靠坯料的局部变薄来实现。

(2) 改变模具工作部分的几何形状和尺寸。

这种方法主要是通过改变模具的凸模和凹模圆角半径来控制坯料的变形趋向。如图 1.2(a) 所示, 如果增大凸模圆角半径 r_p 、减小凹模圆角半径 r_d , 可使翻孔变形的阻力减小、拉深