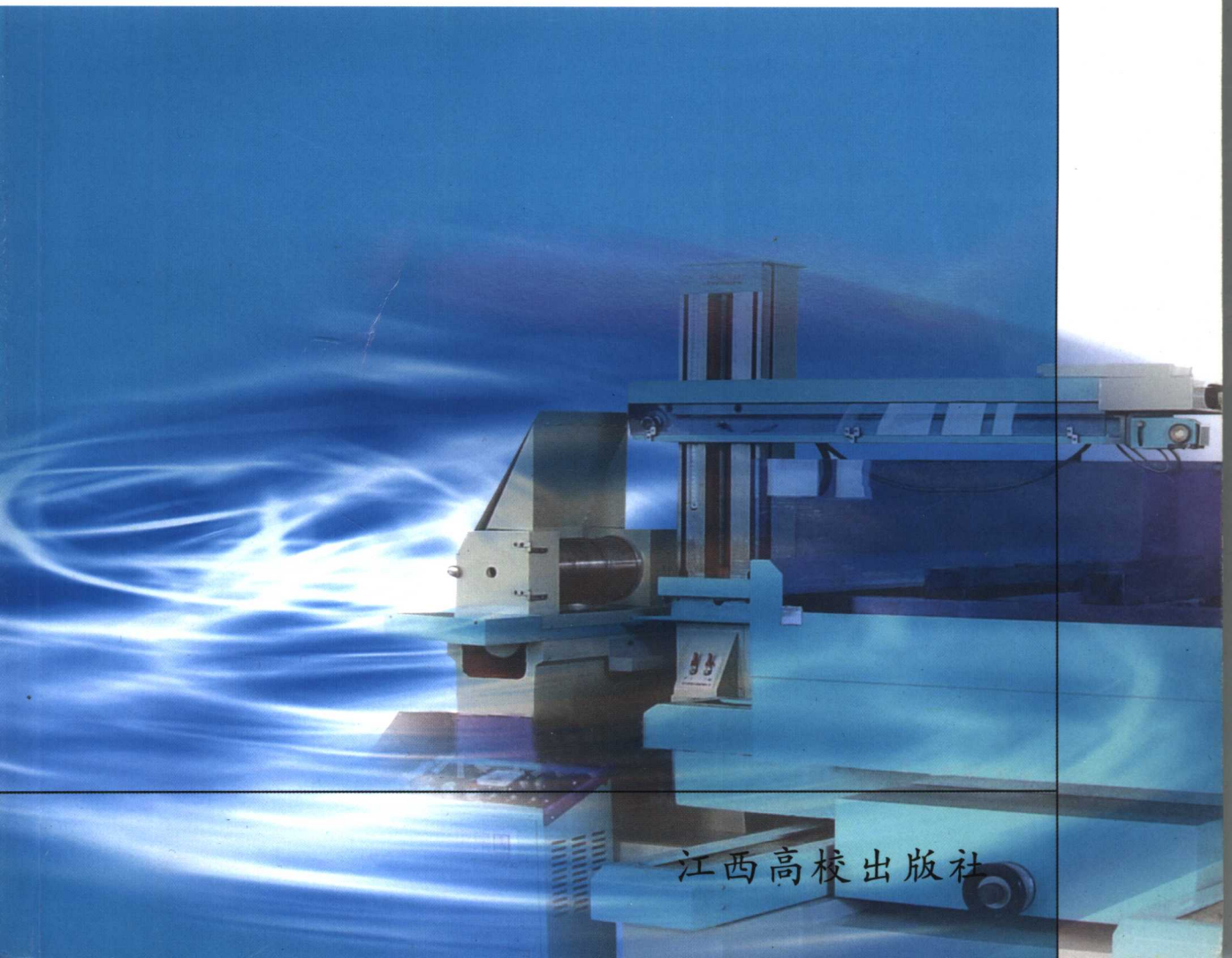


21 世纪高校规划教材

# 冷冲模设计

主编 陈智刚 魏春雷



江西高校出版社

# 冷冲模设计

主 编 陈智刚 魏春雷  
副主编 赵广平 张国文  
刘礼贵

江西高校出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

冷冲模设计/陈智刚,魏春雷主编. —南昌:江西高校出版社,2006.7

ISBN 7-81075-787-3

I.冷… II.①陈… ②魏… III.冷冲压-冲模-设计-高等学校-教材 IV.TG385.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 077697 号

江西高校出版社出版发行

(江西省南昌市洪都北大道 96 号)

邮编:330046 电话:(0791)8529392,8504319

江西太元科技有限公司照排部照排

南昌市光华印刷有限责任公司印刷

各地新华书店经销

\*

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16 17.75 印张 440 千字

印数:1~3000 册

定价:27.00 元

(江西高校版图书如有印刷、装订错误,请随时向承印厂调换)

## 前 言

本书根据教育部《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》及有关“冷冲压技术”课程教学大纲编写而成,是模具设计与制造专业的教学用书。

冷冲压在工业生产中应用十分广泛。根据从事冲压模具设计工程技术应用性人才对知识技能的实际要求,以及高职高专教学的要求,本书编写时注意了理论知识,以“必需够用”为度,着眼于培养解决实际问题的能力,使其具有更好的实用性。本书在阐明冲压工艺的基础上,详细叙述了冲裁、弯曲、拉深等模具结构和确立几何参数的方法,客观分析了冲压工艺、冲模、冲压质量及经济性等问题。

本书可供高等专科学校及高等职业技术学院模具专业使用,也可供成人高校、中等职业技术学校选用,还可供有关工程技术人员参考。

本书由江西现代职业技术学院陈智刚、江西机电职业技术学院魏春雷任主编,九江职业技术学院赵广平、江西工业工程职业技术学院张国文、江西电力职业技术学院刘礼贵任副主编。全书共七章,其中陈智刚编写第一章,魏春雷编写第二、五章,赵广平编写第三章,刘礼贵编写第四章,张国文编写第六、七章。

由于编者水平有限,经验不足,书中难免有不足之处,恳切希望广大读者给予批评指正。

编者

2006年3月

# 目 录

前 言	1
第一章 概 述	1
第一节 冷冲压概念	1
第二节 冷冲压基本工序分类	1
第三节 冷冲压工艺的特点及应用	5
第二章 冷冲压变形基础	7
第一节 金属塑性成形原理	7
第二节 塑性与变形抗力及其影响因素	7
一、塑性变形、塑性、变形抗力的概念	7
二、影响金属塑性变形和变形抗力的主要因素	8
第三节 应力与应变状态分析	10
一、应力状态	11
二、塑性条件(屈服条件)	13
三、应变状态	15
四、塑性变形时应力与应变的关系	17
五、冷冲压成形中的硬化现象和硬化曲线	18
六、板料的冲压成形性能与成形极限	19
第三章 冲裁工艺及模具设计	22
第一节 冲裁加工概述	22
第二节 冲裁件过程分析	25
一、冲裁件剪切断面特征及其形成过程	25
二、冲裁变形过程	26
三、冲裁切断面分析	27
第三节 冲裁力	28
一、冲裁力的计算	28
二、降低冲裁力的措施	28
三、卸料力、推件力和顶件力	30
四、冲压力的计算及压力机公称压力的确定	31
第四节 冲裁件的排样	32
一、排样原则	32
二、排样方式及方法	34
三、搭边	36
四、送料步距与条料宽度	36
五、排样图	40
第五节 冲裁模分类及结构分析	40

一、冲裁模分类	41
二、单工序模	41
三、连续模	49
四、复合模	54
第六节 冲裁模零部件结构	57
一、冲模零件的分类	57
二、模具的标准化	57
三、工作零件	59
四、定位零件	73
五、卸料与推件零件	81
六、模架及零件	89
七、其他支承零件及紧固件	94
八、冲模零件的材料及热处理要求	96
第七节 冲裁间隙及冲裁件质量分析	100
一、冲裁间隙对冲裁过程的影响	100
二、合理间隙的概念及其范围的确定	102
三、提高冲裁件质量的方法	103
第八节 冲裁凸、凹模工作部分尺寸的计算	107
一、凸、凹模工作部分尺寸计算的原则	107
二、凸模和凹模分别加工时的尺寸计算	108
三、凸模和凹模配作加工时的尺寸计算	110
第九节 冲裁工艺方案的制定及冲裁模结构设计	112
一、设计的一般步骤	112
二、冲裁件工艺性分析	112
三、冲裁工艺方案的确定	115
四、模具结构形式的确定	118
五、冲裁模主要部件和零件的设计与选用	120
六、模具压力中心的计算	120
七、冲模与压力机的关系	123
第十节 精密冲裁	124
一、精冲方法及原理	124
二、精冲件材料及精冲工艺特点	126
三、精冲模结构	126
第四章 弯曲工艺及模具设计	131
第一节 弯曲变形	131
一、弯曲的基本类型	131
二、弯曲变形过程	132
三、弯曲变形时应力和应变分析	132
四、弯曲变形程度及表示方法	133
第二节 弯曲件的质量分析	134

一、弯裂与最小弯曲半径 .....	134
二、弯曲后的畸变、翘曲 .....	137
三、减少弯曲件回弹的措施 .....	137
四、回弹值的确定 .....	139
第三节 弯曲件坯料尺寸的计算 .....	140
一、弯曲件中性层位置的确定 .....	140
二、弯曲件坯料尺寸的计算 .....	140
第四节 弯曲力的计算和设备选择 .....	141
一、自由弯曲时的弯曲力 .....	141
二、校正弯曲时的弯曲力 .....	142
三、顶件力和压料力 .....	142
四、压力机公称压力的确定 .....	142
第五节 弯曲件的工艺性 .....	142
一、弯曲件的结构工艺性 .....	142
二、弯曲件的工序安排 .....	144
第六节 弯曲模工作部分设计 .....	145
一、凸、凹模的圆角半径 .....	145
二、凹模深度 .....	146
三、弯曲凸模和凹模之间的间隙 .....	147
四、凸凹模工作部分的尺寸与公差 .....	148
第七节 弯曲模结构设计 .....	148
一、弯曲模的设计要点 .....	148
二、常见弯曲模结构设计 .....	148
第五章 拉深工艺及模具设计 .....	152
第一节 圆筒形件拉深的变形过程 .....	153
一、圆筒形件拉深的拉深变形过程及特点 .....	153
二、拉深过程中坯料内的应力与应变状态 .....	156
三、拉深时凸缘区的应力分布与起皱 .....	158
四、筒壁传力区的受力分析与拉裂 .....	160
第二节 圆筒形件拉深工艺计算及模具设计 .....	162
一、拉深系数及拉深次数 .....	162
二、拉深件坯料尺寸的确定 .....	166
三、圆筒形件的拉深次数及工序尺寸的确定 .....	170
四、凸、凹模工作部分的结构和尺寸 .....	175
五、压料力的确定与压边装置 .....	180
六、拉深的工艺性 .....	185
第三节 阶梯圆筒形件的拉深 .....	185
一、拉深次数的确定 .....	186
二、阶梯形件多次拉深方法 .....	186
第四节 曲面形状零件的拉深 .....	186

一、曲面形状零件的拉深特点 .....	187
二、球形件拉深方法 .....	190
三、抛物面零件的拉深方法 .....	191
四、锥形零件的拉深 .....	192
第五节 盒形件的拉深 .....	193
一、盒形件拉深的变形特点 .....	193
二、盒形体坯料的形状和尺寸的确定 .....	194
三、盒形件拉深变形程度 .....	195
四、盒形件的多工序拉深方法及工序件尺寸的确定 .....	197
五、其他盒形零件的拉深 .....	200
六、盒形件拉深力的计算 .....	202
第六节 其他拉深方法 .....	202
一、柔性模拉深 .....	202
二、带料连续拉深 .....	204
第七节 拉深模设计程序 .....	210
一、接受任务书 .....	210
二、搜集分析和消化原始资料 .....	210
三、熟悉冲压设备的技术规范 .....	212
四、确定模具结构 .....	212
五、模具设计的有关计算 .....	212
六、模具总体尺寸的确定与结构草图的绘制 .....	212
七、模具结构总装图和零件图的绘制 .....	212
第八节 拉深模 .....	213
一、拉深模分类 .....	213
二、单动压力机用拉深模 .....	213
三、双动压力机用拉深模 .....	216
第六章 其他冷冲压成形工艺与模具设计 .....	217
第一节 胀形 .....	217
一、平板的胀形 .....	217
二、空心毛坯的胀形 .....	219
第二节 翻边 .....	224
一、内缘翻边 .....	224
二、外缘翻边 .....	232
第三节 缩口 .....	235
一、缩口变形特点及缩口系数 .....	235
二、缩口工艺计算 .....	236
三、缩口模设计实例 .....	237
第四节 校形与整形 .....	238
一、校平 .....	239
二、整形 .....	240



---

第五节 旋压	242
一、普通旋压	242
二、强力旋压	244
第七章 冷挤压工艺与模具设计	246
第一节 概 述	246
一、冷挤压的分类	246
二、冷挤压的特点及应用	249
三、当前应用冷挤压技术应解决的主要问题	250
第二节 冷挤压的变形程度	251
一、冷挤压变形程度的表示方法	251
二、极限变形程度	251
第三节 冷挤压的压力	253
一、冷挤压力曲线	253
二、单位挤压力及其影响因素	253
三、挤压力的确定	253
四、冷挤压力机的选用	257
第四节 冷挤压的毛坯制备	259
一、冷挤压用原材料	259
二、冷挤压坯料形状和尺寸的确定	259
三、冷挤压坯料的加工方法	260
四、冷挤压坯料的软化处理	260
五、冷挤压坯料的表面处理与润滑	261
第五节 冷挤压的工艺与模具设计	261
一、冷挤压件的工艺性	261
二、冷挤压工艺过程设计	264
三、冷挤压模具	266
主要参考文献	274

# 第一章 概 述

## 第一节 冷冲压概念

冷冲压加工是在常温下,利用冲压设备(压力机)和冲模,使各种不同规格的板料或坯料在压力的作用下发生永久变形或分离,制成所需各种形状零件的一种加工方法。

冷冲压既可用于加工金属材料,也可以用于加工非金属材料。它同切削、铸造、电加工等加工方法一样,广泛地用于工业生产中。由于冷冲压是一种生产效率很高的加工方法,它在航空、汽车、拖拉机、电机电器、精密仪器仪表等工业占有十分重要的加工地位。据初步统计,仅汽车制造业差不多有60%~75%的零件是采用冷冲加工工艺制成的。其中,冷冲压生产所占的劳动量为整个汽车工业总劳动量的25%~30%。在电机及仪器仪表生产中,也有60~70%的零件是采用冷冲压工艺来完成的。特别是近些年来,由于冷挤压、精密冲裁技术的研制和发展,更扩大了冷冲压工艺的使用范围。此外,在电子工业、飞机、导弹和各种枪、炮等的零件加工中,冷冲压加工量也占有相当大的比例。因此,研究和发展冷冲压生产技术,对发展国民经济和加速工业生产建设,具有十分重要的意义。

冷冲压加工工艺,在我国已有悠久的历史。据文献记载:我国劳动人民远在青铜时期就发现了金属具有锤击变形的性能;到了战国时代(公元前403~221年)已经能炼剑淬火。可以肯定,我们的祖先,在2300年前就已掌握了利用锤击金属制造兵器和各种日用品的技术。目前从大量的出土文物中可以看到,在漫长的封建社会,我国劳动人民在金、银、铜装饰品和日用品的制作中,已显示出精巧的工艺技术和高超的艺术水平。

在近半个世纪以来,我国的冷冲压工艺和其他生产工艺一样,得到了迅速的发展。在一些工厂中,建立了具有现代规模和技术先进的冷冲压生产车间,并建立了专门研究冷冲压技术的科研机构及专业性工厂,培养了大批从事冷冲压生产的科技人员,广泛地开展了冷冲压生产的科技及学术活动,编辑出版了各种冷冲压技术资料,从而使冷冲压生产技术得到了迅速发展。在冷冲压生产中,出现了很多可喜的高科技成果。冲压加工的工艺和设备正在不断地发展,例如精密冲裁、冷挤压、多工位自动冲压、高速成形、液压成形、超塑冲压等,把冷冲压生产技术提高到了一个新的水平。为了适应冷冲压工艺水平的提高,我国对冲模的研制也在不断加强。近年来,出现了很多制造周期短、使用寿命长的新型冲模结构。并且,模具加工工艺及模具材料也相应地在不断革新,例如采用钢结硬质合金、硬质合金或低熔点合金浇注模具,采用电加工技术及计算机设计制造冲模等以适用于不同的生产条件。从而使冲压生产的产品质量、劳动生产率大大提高,成本也大幅度下降,有力地推动了我国社会主义的经济建设和发展。

## 第二节 冷冲压基本工序分类

冷冲压加工的零件,由于其形状、尺寸、精度要求、生产批量、原材料性能等各不相同,因此生产中所采用的冷冲压工艺方法也是多种多样的,概括起来可分为两大类,即分离工序和成形

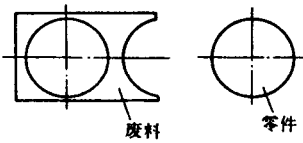
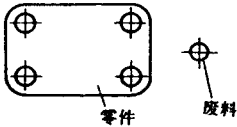
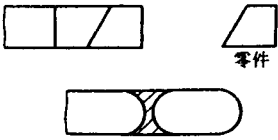
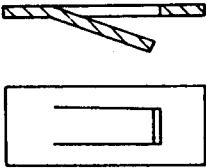
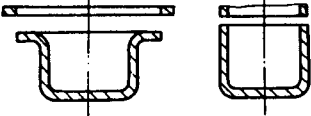
工序。分离工序是指使板料按一定的轮廓线分离而获得一定形状、尺寸和切断面质量的冲压件(俗称冲裁件)的工序。成形工序是指坯料在不破裂的条件下产生塑性变形而获得一定形状和尺寸的冲压件的工序。

上述两类工序,按冲压方式不同又具体分为很多基本工序,见表1-1、表1-2和表1-3。

在实际生产中,当生产批量大时,如果仅以表中所列的基本工序组成冲压工艺过程,则生产率可能很低,不能满足生产需要。因此,一般采用组合工序,即把两个以上的单独工序组合成一道工序,构成所谓复合、级进、复合——级进的组合工序。

为了进一步提高劳动生产率,充分发挥冷冲压的优点,还可应用冷冲压方法进行产品的某些装配工作。视实际需要,可以安排单独的装配工序,也可把装配工序组合在级进组合工序中。

表1-1 分离工序

工序名称	工序简图	特点及应用范围
落料		将材料沿封闭轮廓分离,被分离下来的部分大多是平板形的工件或工序件
冲孔		将废料沿封闭轮廓从材料或工序件上分离下来。从而在材料或工序件上获得需要的孔
切断		将材料沿敞开轮廓分离,被分离的材料成为工件或工序件
切舌		将材料沿敞开轮廓局部(不是完全)分离,并使被局部分离的部分达到工件所要求的一定位置,不再位于分离前所处的平面上
切边		利用冲模修切成形工序件的边缘,使之具有一定的直径,一定的高度或一定的形状

续表 1-1

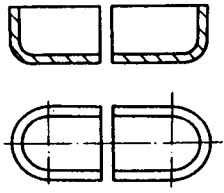
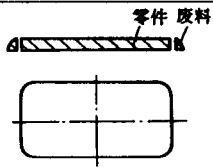
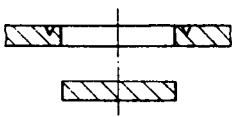
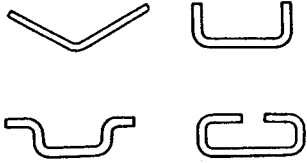
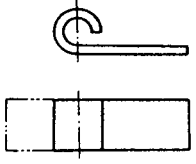


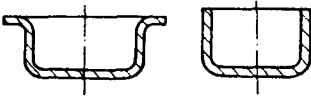
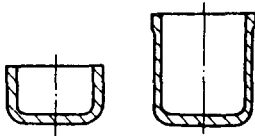
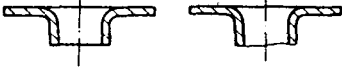
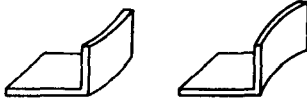
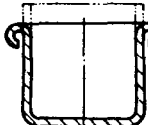
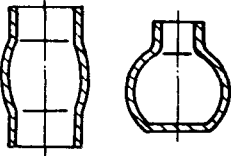
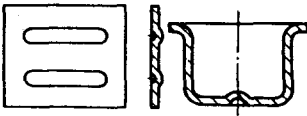
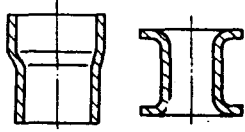
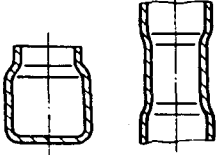
工序名称	工序简图	特点及应用范围
剖切		用剖切模将成形工序件一分为几,主要用于不对称零件的成双或成组冲压成形之后的分离
整修		沿外形或内形轮廓切去少量材料,从而降低断面粗糙度,提高断面垂直度和工件尺寸精度
精冲		用精冲模冲出尺寸精度高,断面光洁且垂直的零件

表 1-2 成形工序

工序名称	工序简图	特点及应用范围
弯曲		用弯曲模使材料产生塑性变形,从而弯成一定曲率、一定角度的零件。它可以加工各种复杂的弯曲件
卷边		将工序件边缘卷成接近封闭圆形,用于加工类似铰链的零件
拉弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形,使坯料的整个弯曲模断面全部受拉应力作用,从而提高弯曲件精度
扭弯		将平直或局部平直工序件的一部分相对另一部分扭转一定角度

续表 1-2

工序名称	工序简图	特点及应用范围
拉深		<p>将平板形的坯料或工序件变为开口空心件,或把开口空心工序件进一步改变形状和尺寸成为开口空心件</p>
变薄拉深		<p>将拉深后的空心工序件进一步拉深,使其侧壁减薄,高度增大,以获得底部厚度大于侧壁的零件</p>
翻孔		<p>沿内孔周围将材料翻成竖边,其直径比原内孔大</p>
翻边		<p>沿外形曲线周围翻成侧立短边</p>
卷缘		<p>将空心件上口边缘卷成接近封闭圆形,用于加工类似牙杯的零件</p>
胀形		<p>将空心工序件或管状件沿径向往外扩张,形成局部直径较大的零件</p>
起伏		<p>依靠材料的伸长变形使工序件形成局部凹陷或凸起</p>
扩口		<p>将空心工序件或管状件敞开处向外扩张,形成口部直径较大的零件</p>
缩口缩径		<p>将空心工序件或管状件口部或中部加压使其直径缩小,形成口部或中部直径较小的零件</p>

续表 1-2

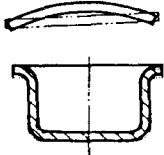
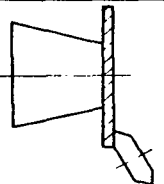
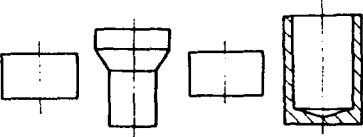
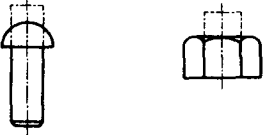
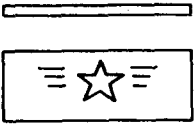
工序名称	工序简图	特点及应用范围
校平整形		校平是将有拱弯或翘曲的平板形零件压平以提高其平直度;整形是依靠材料的局部变形,少量改变工序件形状和尺寸,以保证工件的精度
旋压		用旋轮使旋转状态下的坯料逐步成形为各种旋转体空心件

表 1-3 立体冲压

工序名称	工序简图	特点及应用范围
冷挤压		对放在模腔内的坯料施加强大压力,使冷态下的金属产生塑性变形,并将其从凹模孔或凸、凹模之间间隙挤出,以获得空心件或模截面积较小的实心件
冷墩		用冷墩模使坯料产生轴向压缩,使其模截面积增大,从而获得如螺钉、螺母等零件
压花		压花是强行局部排挤材料,在工序件表面形成浅凹花纹、图案、文字或符号,但在压花表面的背面并无对应于浅凹的凸起

上述冲压成形的分类方法比较直观,真实地反映了各类零件的实际成形过程和工艺特点,便于制定各类零件的冲压工艺并进行冲模设计,在实际生产中得到广泛的应用。但是,冲压成形时,材料受力情况和变形性质很复杂,要分析和解决每一种成形的实际问题,应把各种成形按其成形时变形区的应力和应变特点加以归类,找出每一类成形工艺的共同规律和产生的问题及解决问题的办法。这就是另一种冲压成形的办法,即把冷冲压成形方法分为伸长类变形和压缩类变形。这种分类方法能充分反映出各类成形变形区的受力与变形特点,反映出同类成形的共同规律,具有很大的实际意义。

### 第三节 冷冲压工艺的特点及应用

冷冲压加工与其他加工方法相比,无论在技术上或是在经济效果上,都有很多特点。这些特点是:

1. 冷冲压是一种高效(即高生产率)低耗(即材料利用率高)的加工方法。冷冲压工艺,适用于较大批量零件制品的生产,便于实现机械化与自动化,有较高的生产效率。同时,冷冲压不仅能努力做到少废料和无废料生产,即使某些情况下有边角余料,也可以充分利用,使之不至于造成浪费。如图 1-1 所示是冲制钳型电流表互感器钳口冲片的排样图。这种排样图除冲制钳口冲片 1 外,剩余的余料 3 还可以冲制微型电机转子片 2,这样可以充分利用材料,提高了材料的利用率。

又如图 1-2 所示的汽车发动机汽门顶杆零件,若采用冷挤压工艺生产,材料只用图 1-2 (a)所示的长 21mm、 $\phi 25$ mm 的钢棒冷挤压成形就可以了,与采用车削工艺加工相比,材料可节省 2/3 左右。

2. 操作工艺方便。如图 1-2(b)所示的零件,利用冷挤压工艺只进行剪料、墩平和反挤压一次成形即可,不象车削加工那样,需要较高的加工技术。

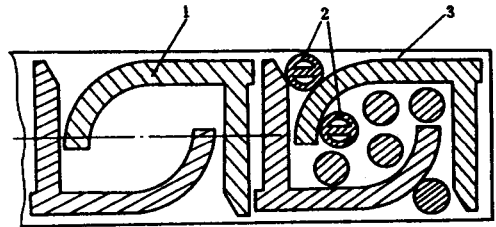


图 1-1 钳口冲片排样图  
1-钳口冲片;2-转子片;3-余料

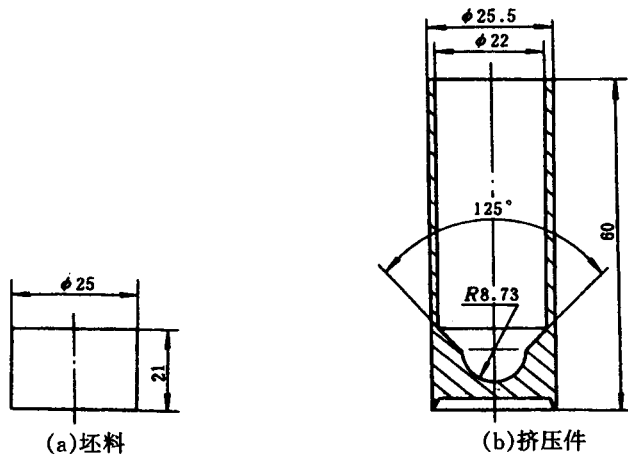


图 1-2 汽门顶杆

3. 操作简单,便于组织生产。在大批量生产条件下,冲压件的成本较低。
  4. 在压力机简单冲压下,可以获得用其他加工工艺难以加工的各种形状复杂的零件与制品。
  5. 冲压出的制品零件,一般不需做进一步的机械加工。具有较高的尺寸精度。如果采取某些特殊措施,尺寸精度还可以提高,以用于精密零件加工。
  6. 冲压件有较好的互换性。冲压加工稳定性较好,同一批冲压件,可相互调换使用,不影响装配和产品性能。
  7. 由于冲压件大多用板材作材料,所以它的表面质量较好,为后续的表面处理工序(如电镀、喷漆等)提供了方便条件。
  8. 冲压加工可在耗费不大情况下,获得强度高、刚度大而重量轻的零件。
- 但冷冲压生产也有一定的局限性。这是由于冷冲模制造成本较高,并需要一定的制模技术。故对一般单件及少量生产的零件不宜适用。

## 第二章 冷冲压变形基础

### 第一节 金属塑性成形原理

金属塑性成形技术是金属加工的方法之一,它是利用金属的塑性——金属材料在外力作用下产生永久变形而又不破坏其完整性的性质,使金属在外力作用下成形的一种加工方法。工业中常见的金属加工方法有:轧制、挤压、拉拔、锻造、冲压等。这些加工方法都是利用金属的塑性而得以实现的。

冲压属于板料成形,是利用专门的模具对板料进行塑性加工的方法,故也称之为板料冲压。同时,由于一般都在室温下进行,故又常称为冷冲压。板料冲压的基本成形方式有冲裁、拉深、弯曲、成形等多种工序。

如上所述,塑性成形方法种类很多,且都有着各自的成形特点,但他们在塑性变形的物理方面和力学方面却有着共同的基础。例如,塑性成形都是以金属具有塑性为前提;都需要外力的作用;成形时都不可避免地存在外摩擦的影响;都遵循着共同的金属学基础和塑性力学基础等等。金属塑性成形原理可用于研究塑性成形的规律性问题,以便在生产中利用这些规律性,选择设备、设计工艺,科学、高效地指导生产、提高生产率。具体来说,金属塑性成形原理研究以下几个方面的问题:

(1)在讲述应力、应变理论及屈服准则等塑性理论的基础上,研究塑性成形中有关力学问题的各种解法,以便分析变形体内的应力、应变分布和确定变形力和变形功,为选择设备、计算模具强度提供依据。

(2)在讲述金属塑性变形和金属学的基础上,研究温度、速度等加工条件对金属塑性和抗力的影响,以及提高金属塑性和降低抗力的措施,以便获得最高的变形效率和性能良好的工件。

(3)讲述金属在塑性成形中的流动规律和变形特点,以便求得合理的毛坯尺寸,使工件顺利成形。

### 第二节 塑性与变形抗力及其影响因素

#### 一、塑性变形、塑性、变形抗力的概念

##### 1. 塑性及塑性指标

一切固态物质按其原子(或分子)的聚集状态可分为晶体和非晶体。所谓晶体,系原子(或分子)在三维空间作有规则的周期性重复排列的固体,而所有固态金属和合金都是晶体。在没有外力作用时,金属中的原子处于稳定的平衡状态,金属物体保持已有的形状和尺寸。但当物体受到外力作用时,原子间原有的平衡状态便可能会遭到破坏,引起原子排列畸变,从而产生金属形状与尺寸的变化,也就是我们常说的变形。

物体在外力作用下,会产生形状和尺寸的变化,称为变形。外力取消后物体能恢复原状(形状和尺寸恢复到原来的状态)的变形称为弹性变形;外力取消后物体不能恢复原状的变形



称为塑性变形;物体具有塑性变形的能力称为塑性。也就是说,塑性是指金属在外力作用下,能稳定地发生永久变形而不破坏其完整性的能力,它反映了金属的变形能力,是金属的一种重要的加工性能。

金属和合金在外力的作用下既能产生弹性变形,也能产生塑性变形,所以我们可以说金属和合金是一种弹塑性物质。

塑性不仅取决于变形物体的种类,并且与变形方式(应力和应变状态)和变形条件(变形温度和变形速度)有关。例如,铅通常具有很好的塑性,但在三向等拉应力作用下,却像脆性材料一样破裂,没有塑性变形。又如,极脆的大理石,在三向压应力的作用下却能产生较大的塑性变形。这两个例子充分证明:材料的塑性,并非某种物质不变的性质,而是与物质种类、变形方式及变形条件有关。

为了衡量金属塑性的高低,需用一种数量上的指标来表示,即塑性指标。塑性一般以金属材料开始破坏时的塑性变形量来表示。塑性指标是通过各种实验方法求得的,而各种实验方法均有其特定的受力状况和变形条件,所以塑性指标也是仅具有相对意义的。常用的塑性指标有

$$\text{伸长率:} \quad \delta = \frac{L_K - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

$$\text{断面收缩率:} \quad \psi = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100\% \quad (2-2)$$

式中: $L_0$ ——拉伸试样的原始标距长度;

$L_K$ ——拉伸试样破断后标距间的长度;

$A_0$ ——拉伸试样的原始断面面积;

$A_K$ ——拉伸试样破断处的断面面积。

## 2. 变形抗力及其指标

物体发生塑性变形是需要外力的。而外力又可以分成两类,一类是作用在物体表面上的力,叫做面力或接触力,它可以是集中力,但更一般的是分布力;另一类是作用在物体每个质点上的力,例如重力、磁力等,叫做体力。冲压成形时,体力相对面力和接触力而言是很小的,可以忽略不计。

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,或者说在一定的加载条件和一定的变形温度、速度条件下,引起塑性变形的单位变形力称为变形抗力。变形抗力反映了使材料产生塑性变形的难易程度;变形抗力和变形力数值相等,方向相反,一般以作用在金属和工具接触面上的平均单位面积变形力表示其大小。压缩变形时的变形抗力即是作用于施压工具表面的单位面积压力,又称为单位流动压力。

通常用真实应力作为变形抗力的指标。但真实应力与变形抗力是两个不同的概念,真实应力是在单向拉伸(或压缩)实验时作用在试样瞬间断面上的应力,即初始的或后续的屈服应力(或称流动应力)。只有在单向应力状态下,变形抗力等于材料在特定条件下的真实应力。而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下的真实应力大得多,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。

## 二、影响金属塑性变形和变形抗力的主要因素

变形抗力和塑性是两个不同的概念,塑性反映材料变形的能力,变形抗力则反映材料变形