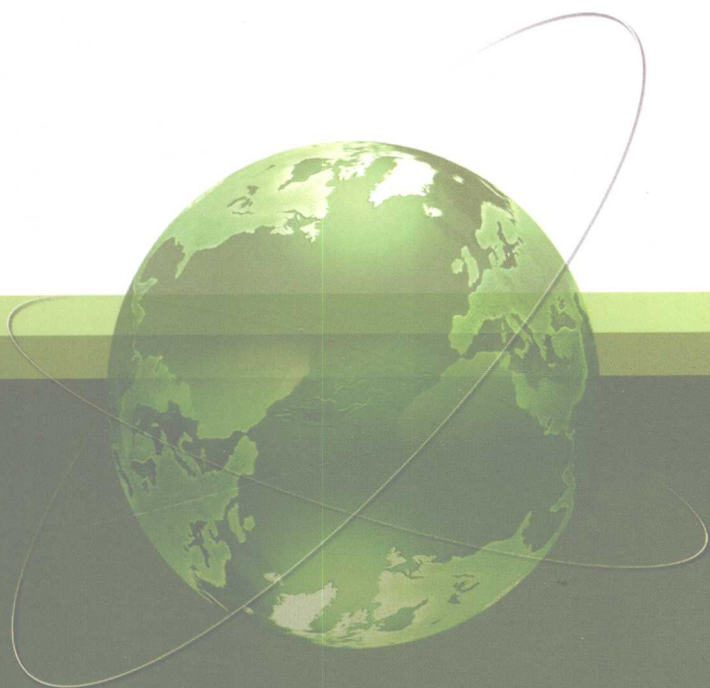




21世纪高职高专规划教材

(模具类)

冷冲压模设计与制造



贾铁钢 主编

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子教案

21 世纪高职高专规划教材
(模具类)

冷冲压模设计与制造

主 编 贾铁钢
副主编 徐政坤 郭有文
参 编 朱 宇 张桂侠
主 审 宋满仓



机械工业出版社

本书共分8章,内容包括冲压模具设计基础、冲裁模设计、弯曲模设计、拉深模设计、其他冲压成形模设计、多工位级进模设计、冲压工艺规程的编制、冲压模具制造与装配。

本书系统介绍了冷冲压模具设计基本原理、方法以及模具零件的加工设备、加工方法。在讲述冲裁模具、弯曲模具、拉深模具以及多工位级进模中,每章都有设计步骤及实例;在讲述冲压模具制造与装配中,详细介绍了各种机械加工、数控加工、电火花加工的特点以及能加工的模具零件。书中还介绍了最新的电解成形加工、超声波抛光、高速切削加工、电铸成形加工的特点。

本书可作为高职高专各类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,也可供从事模具设计、制造和管理的人员学习和参考。

本书配有电子教案,凡一次性购书30本以上者免费赠送一份电子教案。请与本书责任编辑余茂祚联系(联系电话010-88379759,邮箱yumaozuo@163.com)

图书在版编目(CIP)数据

冷冲压模设计与制造/贾铁钢主编. —北京:机械工业出版社, 2008. 11

21世纪高职高专规划教材

ISBN 978-7-111-25619-9

I. 冷… II. 贾… III. ①冷冲模-设计-高等学校: 技术学校-教材②冷冲模-制模工艺-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG385.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第180988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:余茂祚 责任编辑:余茂祚 赵克法 金友兰

版式设计:张世琴 责任校对:姚培新

封面设计:马精明 责任印制:邓博

北京京丰印刷厂印刷

2009年1月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·16印张·395千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-25619-9

定价:26.00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) 68354423

封面无防伪标均为盗版

21 世纪高职高专规划教材

编 委 会 名 单

编委会主任 王文斌

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

王建明	王明耀	王胜利	王寅仓	王锡铭
刘 义	刘晶磷	刘锡奇	杜建根	李向东
李兴旺	李居参	李麟书	杨国祥	余党军
张建华	茆有柏	秦建华	唐汝元	谈向群
符宁平	蒋国良	薛世山	储克森	

编委会委员 (按姓氏笔画为序, 黑体字为常务编委)

王若明	田建敏	成运花	曲昭仲	朱 强
刘 莹	刘学应	许 展	严安云	李连邨
李学锋	李选芒	李超群	杨 飒	杨群祥
杨翠明	吴 锐	何志祥	何宝文	余元冠
沈国良	张 波	张 锋	张福臣	陈月波
陈向平	陈江伟	武友德	林 钢	周国良
宗序炎	赵建武	恽达明	俞庆生	晏初宏
倪依纯	徐炳亭	徐铮颖	韩学军	崔 平
崔景茂	焦 斌			

总 策 划 余茂祚

前 言

随着我国交通、电子、通信制造业的迅速发展,以及“世界加工基地、加工中心”的建立,模具工业迅速发展,模具制造技术水平的高低,已成为衡量一个国家制造业水平高低的重要标志,并在很大程度上决定着产品质量、效益和新产品的开发能力。

模具制造技术对模具行业人员的素质和能力要求越来越高,为了使学生在有限的学时内,学习并掌握模具设计,以及模具零件加工制造的基本知识,具备冷冲压模具设计与制造的基本技能,编者在生产实践和多年教学的基础上,按照职业教育培养高等技能型应用人才的需要,编写了这本《冷冲压模具设计与制造》教材。

本书简单介绍了冲压模具设计基础;详细讲解了冲裁模具、弯曲模具、拉深模具三种主要类型模具,以及多工位级进模的结构及设计方法;讲述了冲压工艺规程的编制,冲压模具制造与装配,冲压模具的装配与试模基础知识。在讲述冲裁模具、弯曲模具、拉深模具以及多工位级进模时,每章都给出设计步骤及设计实例。在讲述冲压模具制造与装配中,详细介绍了各种机械加工、数控加工、电火花加工的特点,以及能加工的模具零件。本书还介绍了最新的电解成形加工、超声波抛光、高速切削加工、电铸成形加工的特点。

本书作为高职高专模具设计与制造专业技能应用型人才培养的教材,也可以作为模具制造企业工程技术人员的参考书。

本书由大连职业技术学院贾铁钢主编,大连理工大学宋满仓主审。

全书共分为8章,第1章由山西机电职业技术学院郭有文编写,第2、4章由张家界航空工业职业技术学院徐政坤编写,第3章由大连职业技术学院朱宇编写,第5章由安徽国防科技职业学院张桂侠编写,第6、7、8章由大连职业技术学院贾铁钢编写。

由于编者水平有限,书中难免有错误和疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 冲压模具设计基础..... 1

- 1.1 冲压加工及模具的概念、特点及应用 1
- 1.2 冲压成形理论基础 1
- 1.3 冲压用材料 2
- 1.4 冲压设备的选用 4
- 思考与练习..... 6

第2章 冲裁模设计..... 7

- 2.1 冲裁变形过程分析 7
- 2.2 冲裁件的工艺性..... 12
- 2.3 冲裁间隙..... 15
- 2.4 凸、凹模刃口尺寸的确定..... 20
- 2.5 排样..... 26
- 2.6 冲压力与压力中心的计算..... 33
- 2.7 冲裁模的典型结构..... 39
- 2.8 冲裁模主要零部件的设计与选用..... 50
- 2.9 冲裁模设计步骤及实例..... 74
- 思考与练习 85

第3章 弯曲模设计 87

- 3.1 弯曲变形过程分析..... 87
- 3.2 弯曲件的展开尺寸..... 96
- 3.3 弯曲力的计算..... 99
- 3.4 弯曲件的工艺性 101
- 3.5 弯曲件的工序安排 105
- 3.6 弯曲模的典型结构 107
- 3.7 弯曲模工作零件的设计与制造 120

- 3.8 弯曲模设计步骤及实例 123
- 思考与练习..... 126

第4章 拉深模设计..... 127

- 4.1 拉深变形过程分析 127
- 4.2 拉深件的工艺性 131
- 4.3 旋转体拉深件坯料尺寸的确定 133
- 4.4 圆筒形件的拉深工艺计算 138
- 4.5 圆筒形件的拉深力、压料力与压料装置 149
- 4.6 其他形状零件的拉深 152
- 4.7 拉深工艺的辅助工序 167
- 4.8 拉深模设计 169
- 4.9 拉深模设计步骤及实例 176
- 思考与练习..... 179

第5章 其他冲压成形模设计..... 180

- 5.1 胀形 180
- 5.2 翻孔与翻边 184
- 5.3 缩口 190
- 5.4 校形 192
- 思考与练习..... 195

第6章 多工位级进模设计..... 196

- 6.1 多工位级进模的特点与发展趋势 196
- 6.2 多工位级进模的排样设计 197
- 6.3 多工位级进模典型结构 205
- 6.4 多工位级进模设计要点及实例 209
- 思考与练习..... 215

第7章 冲压工艺规程的编制.....	216	8.2 冲压模具常规机械 加工方法	227
7.1 冲压工艺规程编制的 步骤及方法	216	8.3 电火花加工方法	230
7.2 冲压工艺规程制订实例	220	8.4 数控机床加工方法	234
思考与练习.....	225	8.5 其他加工方法	237
第8章 冲压模具制造与装配.....	226	8.6 冲压模具的装配与试模	239
8.1 概述	226	思考与练习.....	247
		参考文献.....	248

第1章 冲压模具设计基础

冲压主要是用于加工板料零件,包括钢铁材料、非铁材料以及非金属板料零件等。它在电子产品、汽车、仪器仪表、家用电器等行业中应用非常广泛。

1.1 冲压加工及模具的概念、特点及应用

1.1.1 冲压加工及模具的概念

冲压加工是利用安装在压力机上的模具,对板料施加压力,使板料在模具中产生分离或变形,获得所需形状和尺寸的产品零件的一种加工方法。由于冲压加工经常在材料的冷状态(室温)下进行,因此也称冷冲压加工。

冲压模具是生产冲压件的专用工具,或者称为将板料加工成冲压零件的专用工艺装备。

1.1.2 冲压加工的特点与应用

冲压加工是依靠压力机和模具完成加工的。它与切削、铸造等加工方法相比较,有很多优点,因而应用广泛。

1. 特点

- 1) 可以制造壁薄、形状复杂的零件,以及制造带有加强肋、起伏或翻边的工件。
- 2) 冲压件一般不再经切削加工,或仅需要少量的切削加工,可以节省材料。
- 3) 生产效率高。采用多工位级进模,可在一台压力机上完成多道冲压工序,实现由带料开卷、矫平、冲裁到成形、精整的全自动生产。一般每分钟可生产几十件、上百件,高速压力机每分钟可生产千件以上。
- 4) 冲压机床操作方便,要求的工人技术等级不高。
- 5) 冲压模具制造精度要求高、制造复杂、周期长、制造费用昂贵,小批量生产受到限制。

2. 应用 全世界的钢材中,有60%~70%是板材,其中大部分是经过冲压制成成品。汽车、农机的车身、底盘、油箱、散热器片等75%~80%是冲压件。在电子产品中接线端子、引线框架、插头弹片等80%~85%是冲压件。机电产品中的电机、电器的铁心硅钢片等都是冲压加工的;仪器仪表、家用电器、自行车、办公机械、生活器皿、钟表等产品中,也都有大量冲压件。冲压加工零件的范围大到汽车的纵梁、覆盖件,小到钟表的秒针。

目前全世界模具年产值约为600~650亿美元,日、美等工业发达国家的模具工业产值已超过机床工业,我国模具工业产值也接近了机床工业产值。在模具工业的总产值中,冲压模具约占40%~50%。

1.2 冲压成形理论基础

1.2.1 金属塑性变形概述

1. 塑性变形的物理概念 在外力作用下,金属产生形状与尺寸的变化称为变形,它分为弹性变形和塑性变形。

假若除去外力，金属中原子立即恢复到原来稳定平衡的位置，原子排列畸变消失和金属完全恢复了自己的原始形状和尺寸，则这样的变形称为弹性变形。

假若除去外力，金属的形状和尺寸都发生了永久改变。这种在外力作用下产生不可恢复的永久变形称为塑性变形。

2. 金属的塑性与变形抗力

(1) 塑性及塑性指标

1) 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。

2) 塑性一般以材料开始破坏时的塑性变形量来表示。常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率。伸长率与断面收缩率越高，则金属塑性越好。

(2) 塑性变形时，变形金属抵抗塑性变形的力称为变形抗力。变形抗力提高，意味着要使金属产生塑性变形必须要加大外力。

1.2.2 影响金属塑性和变形抗力的因素

1. 影响金属塑性的主要因素 金属的塑性不是固定不变的，它受金属的内在因素（晶格类型、化学成分、组织状态等）和外部条件（变形温度、应变速率、变形的力学状态等）的影响。因此通过创造合适的内、外部条件，就有可能改善金属的塑性行为。

2. 影响金属变形抗力的主要因素

1) 化学成分的影响。纯度越高，变形抗力越小。不同牌号的合金，组织状态不同，变形抗力值也不同。

2) 合金元素、杂质元素对变形抗力的影响。一般合金、杂质含量越高，变形抗力越大。

3) 变形温度对变形抗力的影响。温度升高，金属原子间结合力降低，变形抗力降低。

4) 变形程度对变形抗力的影响。随着变形程度的增加，只要回复和再结晶来不及发生，都会必然产生加工硬化，提高变形抗力。其提高的幅度与材料的硬化率有关。

1.3 冲压用材料

冲压加工主要是以加工钢铁材料、非铁材料为主，也可加工塑料、橡胶、纸板等非金属材料。

1.3.1 冲压对材料的基本要求

冲压加工所用材料，不仅要满足冲压零件结构要求，而且要满足冲压工艺的要求，主要包括以下几个方面：

1. 力学性能要求 材料应具有良好的塑性。冲裁时良好的塑性能获得较好的断面质量；弯曲时可获得较小的弯曲半径；拉深时可获得较小的拉深系数。

一般来说，材料的伸长率 δ 大、屈强比 σ_s/σ_b 小、弹性模量大、硬化指数 n 高有利于各种冲压成形工序。

1) 伸长率 δ 。一般地说，伸长率是影响翻孔或扩孔成形性能的主要原因。伸长率越高，则金属塑性越好

2) 屈服点 σ_s 。屈服点 σ_s 小，材料容易屈服，则变形抗力小。

3) 屈服比 σ_s/σ_b 。屈服比小, 即屈服点 σ_s 值小, 抗拉强度 σ_b 值大, 容易产生塑性变形而不易产生拉裂。

4) 硬化指数 n 。单向拉伸硬化曲线 $\sigma = K_n n$, 指数 n 为硬化指数, 表示在塑性变形中材料的硬化程度。硬化指数 n 高时, 说明在变形中材料加工硬化严重。

2. 表面质量要求 材料表面应光滑平整, 无氧化皮、裂纹、划伤等缺陷。表面状态好的材料, 加工时不易产生裂纹, 零件表面状态也好。

优质钢板表面质量分三组: I 组 (高质量表面)、II 组 (较高质量表面) 和 III 组 (一般质量表面)。

3. 材料成形性能要求 此要求主要用于做弯曲和拉深件时, 由于板料变形条件复杂, 对于不同的弯曲件和拉深件使用不同的材料。

1) 铝镇静钢 08Al 按其拉深质量分为三级: ZF (最复杂) 用于拉深最复杂的零件, HF (很复杂) 用于拉深很复杂的零件, F (复杂) 用于拉深复杂零件。

2) 深拉深薄钢板按冲压性能分 Z (最深拉深)、S (深拉深) 和 P (普通拉深) 三级。

3) 材料可处于退火状态 (或软状态) (M), 也可处于淬火状态 (C) 或硬态 (Y)。

4. 材料厚度公差的要求 模具凸凹模间隙适应于一定厚度的板料, 材料厚度超差, 会影响冲压零件的质量并损坏模具。

材料厚度公差分为 A (高级)、B (较高级) 和 C (普通级) 三种。

1.3.2 冲压常用材料及选用

冲压最常用的材料是金属板料, 有时也用非金属板料。金属板料分钢铁材料、非铁材料两种。

1. 钢铁材料板料按性质分类

1) 碳素结构钢板。常用的有 Q195、Q215、Q235、Q235A 等。

2) 优质碳素结构钢板。常用的有 08F、08、10、15、20、35、45、50、Q345、20Mn2、30Mn2、45Mn2 等。

3) 低合金高强度结构钢板。常用的有 Q295、Q345 等。

4) 电工硅钢板。常用的有 DR510、DR440 等。

5) 不锈钢板。常用的有 1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti、1Cr13、2Cr13 等。

2. 非铁材料

1) 铜及铜合金。常用的有 T1、T2、H62、H68 等。

2) 铝及铝合金。常用的有 1070A、1060、1050A、1350、2A01、3A21、5A12 等。

3. 冲压用非金属材料 它包括胶木板、橡胶、塑料板等。

4. 冲压材料的规格

(1) 板料。常见规格是指非定做的、厂家按照市场常用的板料生产的, 主要有 600mm × 1200mm、700mm × 1400mm、1000mm × 2000mm、1250mm × 2500mm 等。

(2) 带料、卷料

1) 带料。这是指用剪板机将板料剪成各种不同宽度的条料。

2) 卷料。卷料用于连续冲压, 由开卷机和送料器自动送料。一般厂家按照市场常用规格宽度 (如 750mm、1000mm 宽度) 生产卷料, 然后根据要求用滚剪机将较大的卷料剪成适合于模具使用的宽度并卷成卷料使用。

1.4 冲压设备的选用

冲压设备选择是否合适,直接关系到模具是否能正确使用,冲压的零件能否满足设计要求,也决定着设备的安全、合理使用、模具的寿命、生产效率、成本的高低等。

1.4.1 冲压设备的选用原则

冲压设备类型的选择主要是根据冲压零件的结构、冲压工艺特点和生产率、安全操作等因素来确定的,主要包括以下几方面:

- 1) 中小形状的冲裁件、拉深件、弯曲件,一般选择开式压力机,如图 1-1 所示。
- 2) 大中形状、精度要求较高的冲压件,一般选择闭式压力机,如图 1-2 所示。
- 3) 产量大的应选用高速压力机或多工位自动压力机。
- 4) 板较厚、产量小的,一般选择液压机。
- 5) 薄的冲裁件、精密冲裁件,一般选择导向准确的精密压力机。
- 6) 大型拉深件,一般选择双动拉深压力机。

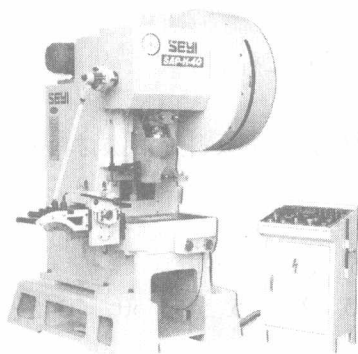


图 1-1 开式曲柄压力机

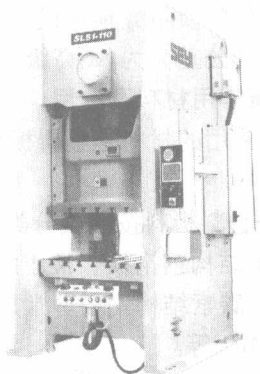


图 1-2 闭式曲柄压力机

1.4.2 模具的安装

压力机的公称压力、滑块行程、行程次数应满足模具的冲压力、冲压行程、生产效率;其次模具的相关尺寸要与压力机的安装部分尺寸相协调。在此前提下再进行模具的安装。

1. 工作台板及滑块尺寸 工作台板尺寸($A \times B$)及滑块尺寸($J \times K$)一般应大于模具底座各边 50~70mm。其工作台孔尺寸(D)应大于工件或废料尺寸,以便漏料。对于有弹顶装置的模具,工作台孔尺寸还应大于下弹顶器的外形尺寸。模柄直径和高度应与滑块模柄孔尺寸(d 和 L)相适配(见图 1-3)。

2. 装模高度的选择 模具的闭合高度 H_d 要与压力机的装模高度 H 相匹配。压力机的装模高度是指滑块在下死点位置时,滑块下端面到工作台板上表面的距离。当滑块调整到最高位置时,装模高度达到最大值,成为最大装模高度 $H_{\max}$ 。当滑块调整到最低位置时,装模高度达到最小值,成为最小装模高度 $H_{\min}$ (见图 1-3)。

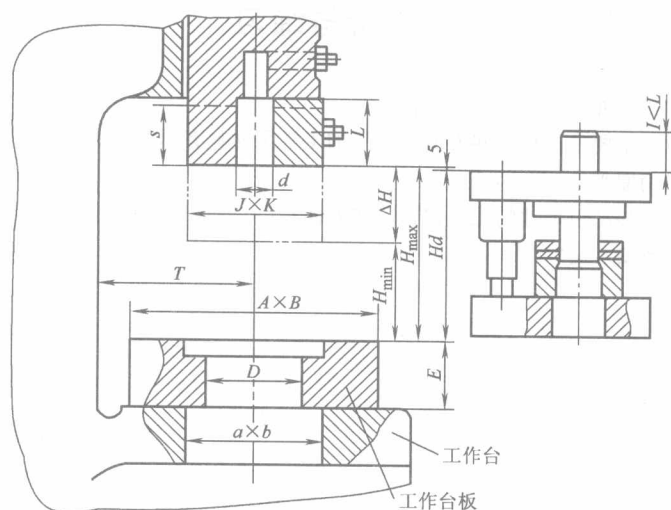


图 1-3 模具与压力机安装部分尺寸关系

模具的闭合高度应介于压力机的最大装模高度与最小装模高度之间，如图 1-3 所示。压力机滑块最高和最低位置的调整是通过调节压力机连杆的长度进行的，小型压力机一般用扳手手动调整，较大型压力机采用电动调节。当滑块调整到最高位置时，连杆的长度最短，当滑块调整到最低位置时，连杆的长度最长。考虑到模具闭合高度也应留有一定的调整量，模具闭合高度不能恰好等于压力机的最大装模高度 $H_{\max}$ ，比压力机的最大装模高度小 5mm。连杆太长，容易变形，所以模具闭合高度比压力机的最小装模高度大 10mm，一般应满足

$$(H_{\min} + 10) \leq \text{模具闭合高度 } H_d \leq (H_{\max} - 5)$$

式中 $H_{\max}$ ——压力机最大装模高度，连杆调到最短；

$H_{\min}$ ——压力机最小装模高度，连杆调到最长。

3. 模具的安装

1) 开动压力机，将滑块调到下死点位置，用尺测量一下滑块下端面到工作台板上表面的距离，应大于模具的闭合高度，然后将滑块调到上死点位置。

2) 将压力机滑块的下底面，工作台板上表面，以及模具上下模座安装面擦拭干净。

3) 将模具放在压力机工作台板上，将滑块调到下死点位置，并调节滑块高度，使滑块下端面与冲压模具上模座上平面贴合。

4) 用压板或螺栓将模具上模紧固在压力机的滑块上，下模初步固定在工作台板上，螺栓不用拧得太紧。

5) 将滑块稍上调 3~5mm，开动压力机空行程数次，上下模导柱与导套对正后，其配合也没问题，拧紧下模紧固螺栓。

6) 调整好模具闭合高度进行试冲，检查首件，合格后开始批量生产。

思考与练习

1. 什么是冲压加工？冲压加工的特点是什么？
2. 冲压对材料的基本要求包括哪些方面？冲压加工常用材料有哪些？
3. 冲压设备的选用原则？
4. 模具与压力机安装部位尺寸的关系包括哪些方面？
5. 模具是怎样进行安装的？

第2章 冲裁模设计

冲裁是利用模具使板料产生相互分离的冲压工序。冲裁工序的种类很多，常用的有切断、落料、冲孔、切边、切口、剖切等。一般来说，冲裁主要是指落料和冲孔。从板料上沿封闭轮廓冲下所需形状的冲件或工序件叫落料；从工序件上冲出所需形状的孔（冲去部分为废料）叫冲孔。例如，冲制一平面垫圈，冲其外形的工序是落料，冲其内孔的工序是冲孔。

冲裁是冲压工艺中最基本的工序之一，它既可直接冲出成品零件，又可为弯曲、拉深和成形等其他工序制备坯料，因此，在冲压加工中应用非常广泛。

根据变形机理不同，冲裁可以分为普通冲裁和精密冲裁两大类。

2.1 冲裁变形过程分析

2.1.1 冲裁变形过程

图 2-1 所示为冲裁工作示意图。凸模 1 与凹模 2 具有与冲件轮廓相同的锋利刃口，且相互之间保持均匀合适的间隙。冲裁时，板料 3 置于凹模上方，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，使冲件与板料分离而完成冲裁工作。

从凸模接触板料到板料相互分离的过程是在瞬间完成的。当凸、凹模间隙正常时，冲裁变形过程大致可分为以下三个阶段。

1. 弹性变形阶段 如图 2-2a 所示，当凸模接触板料并下压时，在凸、凹模压力作用下，板料开始产生弹性压缩、弯曲、拉伸（ $AB' > AB$ ）等复杂变形。这时，凸模略为挤入板料，板料下部也略为挤入凹模洞口，并在与凸、凹模刃口接触处形成很小的圆角。

同时，板料稍有穹弯，材料越硬，凸、凹模间隙越大，穹弯越严重。随着凸模的下压，刃口附近板料所受的应力逐渐增大，直至达到弹性极限，弹性变形阶段结束。

2. 塑性变形阶段 当凸模继续下压，使板料变形区的应力达到塑性条件时，便进入塑性变形阶段，如图 2-2b 所示。这时，凸模挤入板料和板料挤入凹模的深度逐渐加大，产生塑性剪切变形，形成光亮的剪切断面。随着凸模的下降，塑性变形程度增加，变形区材料硬化加剧，变形抗力不断上升，冲裁力也相应增大，直到刃口附近的应力达到抗拉强度时，塑性变形阶段便告终。由于凸、凹模之间间隙的存在，此阶段中冲裁变形区还伴随有弯曲和拉伸变形，且间隙越大，弯曲和拉伸变形也越大。

3. 断裂分离阶段 当板料内的应力达到抗拉强度后，凸模再向下压入时，则在板料上与凸、凹模刃口接触的部位先后产生微裂纹，如图 2-2c 所示。裂纹的起点一般在距刃口很

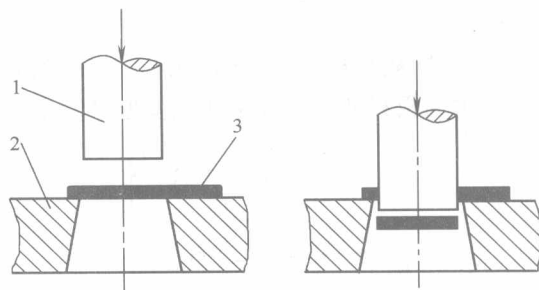


图 2-1 冲裁工作示意图

1—凸模 2—凹模 3—板料

近的侧面，且一般首先在凹模刃口附近的侧面产生，继而才在凸模刃口附近的侧面产生。随着凸模的继续下压，已产生的上、下微裂纹将沿最大切应力方向不断地向板料内部扩展，当上、下裂纹重合时，板料便被剪断分离，如图 2-2d 所示。随后，凸模将分离的材料推入凹模洞口，冲裁变形过程便告结束。

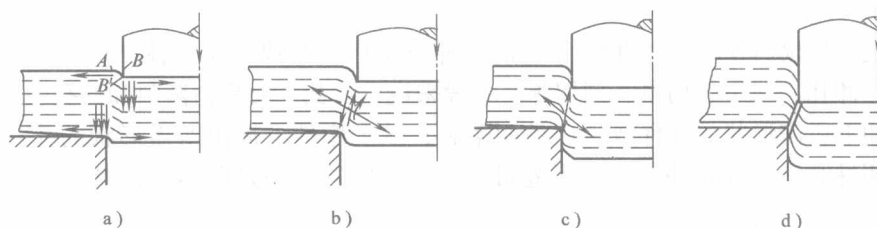


图 2-2 冲裁变形过程

a) 弹性变形阶段 b) 塑性变形阶段 c)、d) 断裂分离阶段

2.1.2 冲裁变形时的受力与应力分析

图 2-3 所示为无压紧装置冲裁时板料的受力情况，因凸模与凹模之间存在间隙 Z (单边为 $Z/2$)，使凸、凹模作用于板料的力呈不均匀分布，主要集中于凸、凹模刃口。其中， F_1 、 F_2 分别为凸、凹模对板料的垂直作用力； F_3 、 F_4 分别为凸、凹模对板料的侧压力； μF_1 、 μF_2 分别为凸、凹模端面与板料间的摩擦力； μF_3 、 μF_4 分别为凸、凹模侧面与板料间的摩擦力。作用力 F_1 与 F_2 不在一直线上，形成力矩 M ($M \approx F_1 Z/2$)，力矩 M 使板料在冲裁时产生穹弯。

由于冲裁时板料弯曲的影响，其变形区的应力状态是复杂的，且与变形过程有关。图 2-4 所示为板料冲裁过程中塑性变形阶段变形区一些特征点的应力状态，可作如下推断：

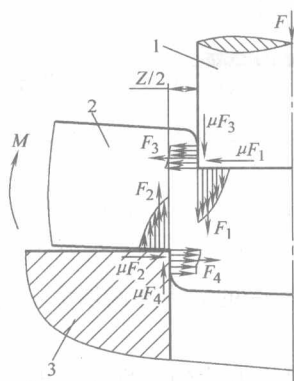


图 2-3 冲裁时作用于板料上的力

1—凸模 2—板料 3—凹模

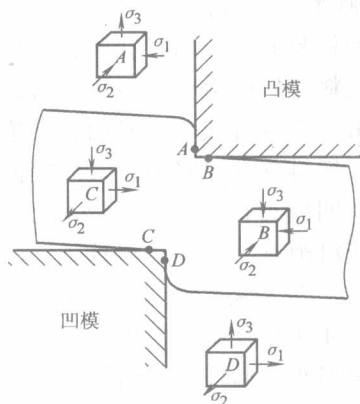


图 2-4 冲裁变形区的应力状态

A 点 (凸模侧面)：径向受凸模侧压力作用，并处于弯曲的内侧，因此，径向应力 σ_1 为压应力；切向受凸模侧压力作用将引起拉应力，而板料的弯曲又引起压应力，因此，切向应力 σ_2 为合成应力，一般为压应力；轴向受凸模的拉拽和垂直方向摩擦力的作用，因此，轴向应力 σ_3 为拉应力。

B 点（凸模端面）：受凸模正压力作用，并处于板料弯曲内侧，因此，产生三向压应力，为强压应力区。

C 点（凹模端面）：受凹模正压力作用，并处于板料弯曲外侧，因此，径向应力 σ_1 和切向应力 σ_2 都为拉应力，轴向应力 σ_3 为压应力，但主要是受压应力作用。

D 点（凹模侧面）：凹模侧压力将引起径向压应力和切向拉应力，而板料的弯曲又引起径向拉应力和切向压应力，因此，径向应力 σ_1 和切向应力 σ_2 均为合成应力，一般都是拉应力；轴向受凹模侧壁垂直方向摩擦力作用，因此，轴向应力 σ_3 为拉应力。因而 D 点为强拉应力区。

从以上各点的应力状态可以看出，凸模与凹模端面（即 B、C 处）的压应力高于侧面（A、D 处）的，且凸模刃口附近的压应力又比凹模刃口附近的高，这就是冲裁时裂纹首先在凹模刃口附近的侧面（D 处）产生，继而才在凸模刃口附近的侧面（A 处）产生的原因。

2.1.3 冲裁件的质量及其影响因素

冲裁件的质量是指冲裁件的断面状况、尺寸精度和形状误差。冲裁件的断面应尽可能垂直、光滑、毛刺小；尺寸精度应保证在图样规定的公差范围以内；冲件外形应符合图样要求，表面尽可能平直。

影响冲裁件质量的因素很多，主要有材料性能、间隙大小及均匀性、刃口锋利程度、模具结构及排样（冲裁件在板料或条料上的布置方法）、模具精度等。

1. 冲裁件的断面质量及其影响因素 由于冲裁变形的特点，冲裁件的断面明显地呈现出四个特征区，即塌角、光面、毛面和毛刺，如图 2-5 所示。

塌角 a：它是由于冲裁过程中刃口附近的材料被牵连拉入变形（弯曲和拉伸）的结果。

光面 b：它是紧挨塌角并与板平面垂直的光亮部分，是在塑性变形阶段凸模（或凹模）挤压切入材料后，材料受刃口侧面的剪切和挤压作用而形成的。光面越宽，说明断面质量越好。正常情况下，普通冲裁的光面宽度约占全断面的 $1/3 \sim 1/2$ 。

毛面 c：它是表面粗糙且带有锥度的部分，是由于刃口附近的微裂纹在拉应力作用下不断扩展断裂而形成的。因毛面都是向材料体内倾斜，所以对一般应用的冲裁件并不影响其使用性能。

毛刺 d：毛刺是由于裂纹的起点不在刃口，而是在刃口附近的侧面而自然形成的。普通冲裁的毛刺是不可避免的，但间隙合适时，毛刺的高度很小，易于去除。毛刺影响冲裁件的外观、手感和使用性能，因此，冲裁件总是希望毛刺越小越好。

冲裁件的四个特征区域在整个断面上各占的比例不是一成不变的，其影响因素主要有以下几个方面：

（1）材料力学性能的影响。塑性好的材料，冲裁时裂纹出现得较迟，材料被剪切挤压的深度较大，因而光面所占比例大，毛面较小，但塌角、毛刺也较大；而塑性差的材料，断裂倾向严重，裂纹出现得较早，使得光面所占比例小，毛面较大，但塌角和毛刺都较小。

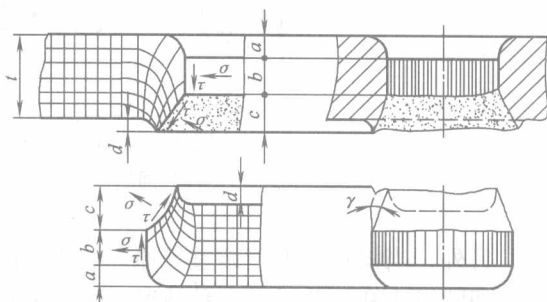


图 2-5 冲裁件的断面质量

(2) 冲裁间隙的影响。冲裁间隙是影响冲裁件断面质量的主要因素。间隙合适时, 上、下刃口处产生的剪切裂纹基本重合, 这时光面约占板厚的 $1/2 \sim 1/3$ 左右, 塌角、毛刺和毛面斜角均较小, 断面质量较好, 如图 2-6a 所示。

当间隙过小时, 凸模刃口处的裂纹相对凹模刃口处的裂纹向外错开, 上、下裂纹不重合, 材料在上、下裂纹相距最近的地方将发生第二次剪裂, 上裂纹表面压入凹模时受到凹模壁的压挤产生第二光面或断续的小光亮块, 同时部分材料被挤出, 在表面形成薄而高的毛刺, 如图 2-6b 所示。这种断面两端呈光面, 中部有带夹层(潜伏裂纹)的毛面, 塌角小, 冲裁件的翘曲小, 毛刺虽比合理间隙时高一些, 但易去除, 如果中间夹层裂纹不是很深, 仍可使用。

当间隙过大时, 材料的弯曲与拉伸增大, 拉应力增大, 易产生剪裂纹, 塑性变形阶段较早结束, 致使断面光面减小, 毛面增大, 且塌角、毛刺也较大, 冲裁件弯弯增大。同时, 上、下裂纹也不重合, 凸模刃口处的裂纹相对凹模刃口处的裂纹向内错开了一段距离, 致使毛面斜角增大, 断面质量不理想, 如图 2-6c 所示。

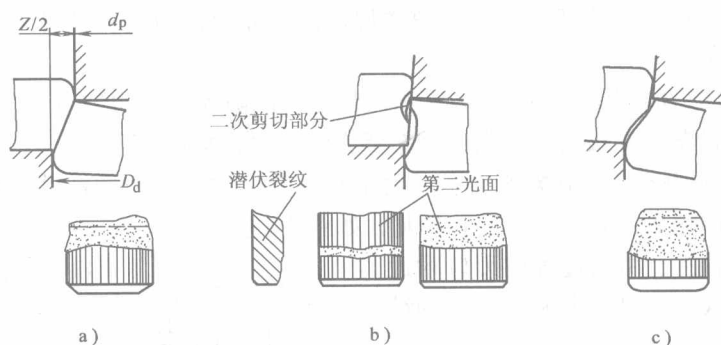


图 2-6 间隙大小对冲裁件断面质量的影响

a) 间隙合适 b) 间隙过小 c) 间隙过大

另外, 当模具因安装调整等原因使得间隙不均匀时, 可能在凸、凹模之间存在着间隙合适、间隙过小和间隙过大几种情况, 因而在冲裁件断面上分布着上述各种情况的断面。

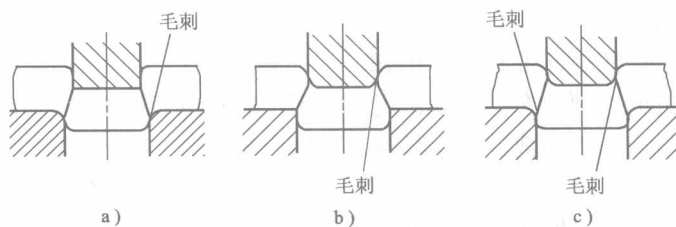


图 2-7 凸、凹模刃口磨钝后毛刺的形成

a) 凹模磨钝 b) 凸模磨钝 c) 凸、凹模均磨钝

(3) 模具刃口状态的影响。模具刃口状态对冲裁件的断面质量也有较大影响。当凸、凹模刃口磨钝后, 因挤压作用增大, 所以, 冲裁件的圆角和光面增大。同时, 因产生的裂纹偏离刃口较远, 故即使间隙合理也将在冲裁件上产生明显的毛刺, 如图 2-7 所示。实践表