

# 冷冲压工艺与冷冲压模具

编者：夏立戎

上海市工业技术学校

## 前 言

为了实现党的十六大提出的全面建设小康社会的奋斗目标,落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》精神,促进学校的职业教育更好地适应社会与企业对技能型人才的需要,进行学校的课程教材改革是一项积极有效的举措,是一项长期而艰巨的工作,需要我们的不懈努力。

为了配合学校课程教材改革工作,我们根据各专业的教学改革计划及培养目标,贯彻“以就业为导向,以能力为本位,以素质为基础”的指导思想,以必需够用,兼顾发展为原则,组织各专业骨干教师开发编写了此系列校本教材。教材定位准确,精心打造,借鉴了国内外职业教育先进教学模式、上海市中等职业学校专业教学标准,结合了学校学分制教学与管理的特点。教材从内容到形式有所创新,强化了知识性和实践性的统一,有机地整合了专业综合知识与技能,突出技能点,注重了对学生创新思维的培养,实训内容按项目课题成系列展开,考核要求明确,可操作性强。系列校本教材将根据专业需要及现代职业教育技术发展动向,不断更新。

本教材可供中等职业学校教学之用,亦可作相关的培训教材。

王 刚

# 目 录

第一章 冷冲压的基本知识 .....	1
第一节 冷冲压概述 .....	1
第二节 冷冲压工件所用材料 .....	4
第三节 冷冲压模具所用材料 .....	4
第四节 冷冲压设备及其使用 .....	8
第二章 冲裁工艺及冲裁模具 .....	12
第一节 冲裁的基本知识 .....	12
第二节 冲裁模刃口尺寸计算 .....	20
第三节 冲压力和压力中心 .....	22
第四节 落料模 .....	25
第五节 冲孔模 .....	37
第六节 其他冲裁模 .....	41
第七节 复合模 .....	44
第八节 级进模 .....	47
第三章 弯曲工艺与弯曲模具 .....	51
第一节 弯曲的基本知识 .....	51
第二节 弯曲中的主要工艺问题 .....	55
第三节 弯曲工艺计算 .....	61
第四节 弯曲模 .....	66
第四章 拉深工艺及拉深模具 .....	76
第一节 拉深的基本知识 .....	76
第二节 拉深工艺计算 .....	83
第三节 拉深模 .....	93
第四节 其他形状零件拉深工艺简介 .....	95
第五章 局部成形工艺及模具 .....	102
第一节 胀形 .....	102
第二节 缩口 .....	104
第三节 翻边 .....	106
第四节 卷边 .....	109

# 第一章 冷冲压的基本知识

## 第一节 冷冲压概述

### 一、冷冲压加工

常温下利用压力机和冷冲压模具对金属板料或型材施加压力,使其产生塑性变形或断裂分离,从而得到零件所需的形状和尺寸,这样一种加工方法称为冷冲压。

冷冲压所加工的材料主要是金属板材,所以也有板料冲压之称。当然冷冲压也可以冲压非金属材料,例如纸板,皮革,塑料等。采用冷冲压加工,工件的尺寸大到汽车的覆盖件,小到电子仪器上的弹性接触件;工件的精度一般可达IT9~IT10级,精密冲裁时可达IT7~IT8级。冷冲压是一种少无切削的加工工艺,材料利用率很高。普通冲压时压力机的冲压次数每分钟约60~120次,高速冲压时约400~1000次,生产效率高,特别适合大批量生产。此外,有些复杂的零件,只能采用冷冲压的加工方法来制造。因此,冷冲压在制造业加工中得到了广泛的应用,它是航天、汽车、电机、家用电器、电子仪表、日用五金等行业中进行产品制造的一种重要的加工工艺。

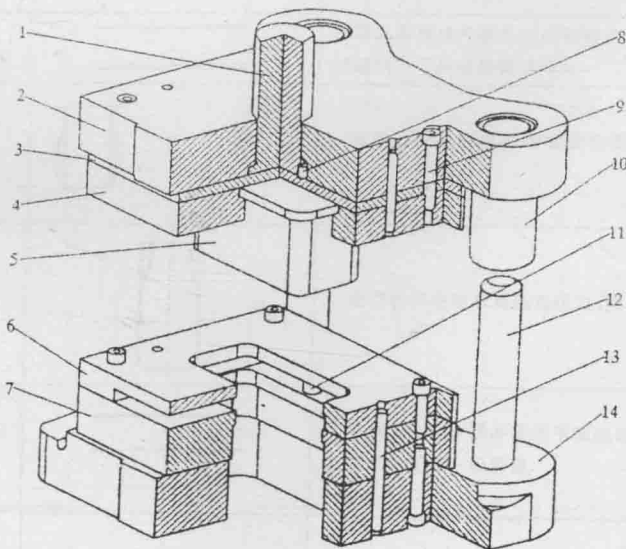


图 1-1 冲裁模

- 1—模柄; 2—上模板; 3—垫板; 4—凸模固定板; 5—凸模; 6—固定卸料板;  
7—凹模; 8—止转销; 9—内六角螺钉; 10—导套; 11—固定挡料钉; 12—导柱;  
13—圆柱销; 14—下模板

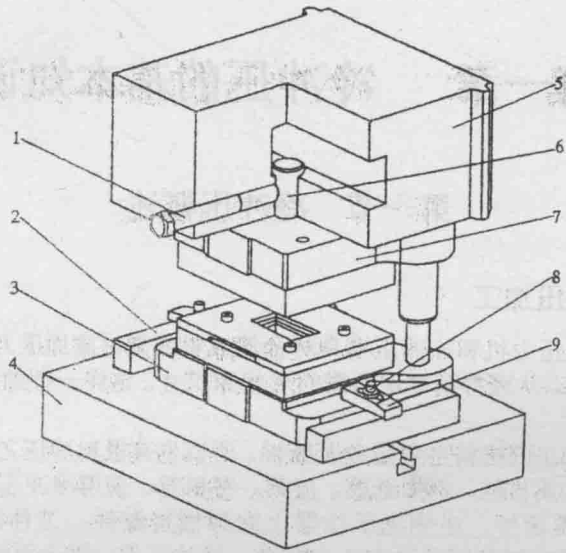


图 1-5 模具在压力机上的安装位置

- 1—压紧螺钉；2—垫块；3—下模板；4—压力机工作台面；5—滑块；6—模柄；  
7—上模板；8—螺钉；9—压板

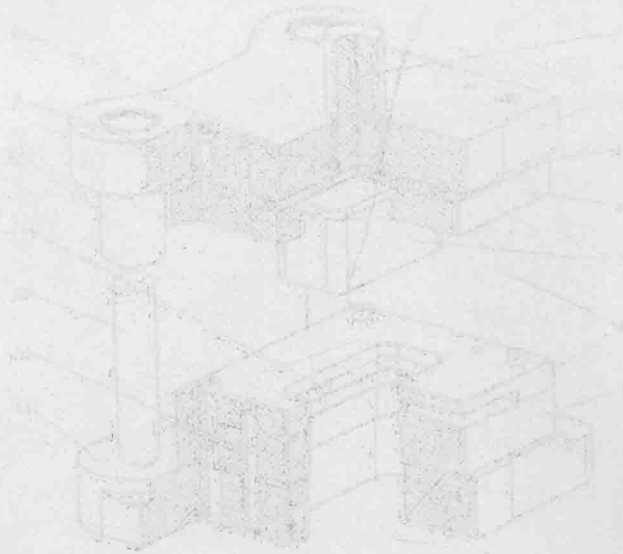

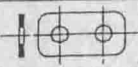
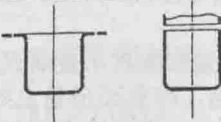
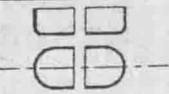
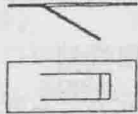
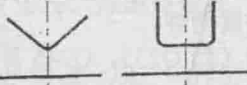
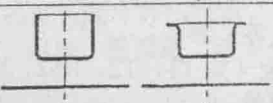
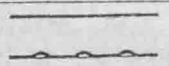
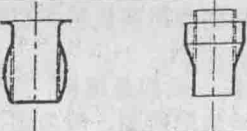

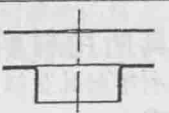



图 1-5 (续)

一个复合工序。例如落料和冲孔复合，落料和拉深复合等。

表 1-1 常用的冷冲压工序的名称和特征

类别	工序名称	工序简图	工序特征
分离工序(冲裁)	落料		用落料模沿封闭轮廓线冲裁板料或条料,冲掉的部分是所需制件
	冲孔		用冲孔模沿封闭轮廓线冲掉半成品毛坯上部分材料,冲掉的部分是废料
	切边		用切边模将拉深件边缘的多余材料冲切下来
	剖切		用剖切模将弯曲件或拉深件剖成两部分或几部分
	切口		用切口模将部分材料切开,但并不使它完全分裂,切开部分材料发生弯曲
变形工序	弯曲		用弯曲模将平板毛坯或型材压弯成一定角度和形状
	拉深		用拉深模将平板毛坯拉深成开口空心件
	起伏胀形		用成形模使平板毛坯或制件产生局部胀形,以得到起伏不平的各种筋或凸台
	胀形		从空心件毛坯内部施加径向压力使局部直径胀大
	缩口		在空心件毛坯口部施加压力,使局部直径缩小
变形工序	翻边		用翻边模在有预冲孔的平板毛坯上,翻出直径更大并成竖立的一段直壁
	卷边		用卷边模使拉深件的边缘向外卷成圆弧状



## 第二节 冷冲压工件所用材料

### 一、对冷冲压工件所用材料的要求

冷冲压工件所用材料，不仅要满足根据产品的使用场合而设计的技术要求，还应当满足冲压工艺要求，冷冲压的工艺要求主要是：

1、要求材料有较高的延伸率或断面收缩率，较低的屈服极限 $\sigma_s$ 和较高的强度极限 $\sigma_b$ 。这样，在拉深变形工艺中其允许的变形程度大，冲压加工所需的变形力小，有利于冲压工艺的稳定性 and 变形均匀性，从而减少拉深工序以及中间退火的次数。

2、要求材料表面应光洁平整，无缺陷和损伤。金属表面质量高的材料冲压加工时不易破裂，不易擦伤模具，成形后工件表面质量也好。

3、材料厚度公差应符合国家规定标准。因为弯曲模的模具间隙按照一定厚度的材料确定，材料厚度公差太大，不仅会影响工件的质量，还可能导致损坏模具。

### 二、冷冲压工件所用材料的种类和规格

在冷冲压生产中使用各种规格的金属材料及非金属材料，其中最常用的是金属板料。金属板料分黑色金属和有色金属两种。

黑色金属板料主要有：普通碳素钢（如 Q235、Q245 等）、优质碳素钢（如 08、10、15、20、35 等）、不锈钢（如 1Cr13、2Cr13 等）、电工硅钢（如 DW11、DW21 等）、电工纯铁（如 DT1、DT4 等）牌号。

有色金属板料主要有：铜及铜合金（如 T1、T2、H62、H68 等）、铝及铝合金（1060、1200、2A12、5A02 等）牌号。

非金属材料有：纸板、胶木板、橡皮、毛毡、塑料板和纤维板等。

金属板料由轧钢厂按照不同规格整块供应，如 2mm 钢板有 800mm×1600mm、1000mm×2000mm 等，冲压前按需要用剪板机将整块板料剪成一定宽度的条料，然后再把条料用于冲压加工。

除了板料以外还有带料和线料。带料一般都是薄料，用于大批量生产，长度可以是几百米，多数由钢厂成卷供应。线料的断面一般为圆形或可以根据需要由钢厂定做。

冷冲压常用材料的机械性能见附表 1。

## 第三节 冷冲压模具所用材料

### 一、对冷冲压凸、凹模的性能要求

1、有足够的强度和一定的韧性

冷冲压工艺中应用最广的是冲裁。冲裁时凸、凹模刃口受到弯曲、挤压和剪切力的作用，还要受到冲击力，因此要求凸、凹模有足够的强度和一定的抗冲击韧性。

## 2、有足够的硬度和耐磨性

冲裁时板料与刃口部分产生强烈的摩擦，刃口逐渐由锋利变钝，当磨损达到一定程度，冲裁件上会产生很大的毛刺，这时就要修磨凸、凹模刃口。经过多次修磨后，凸模变短，凹模变薄，直到无法正常工作。因此凸、凹模材料要求有高硬度和良好的耐磨性。

## 3、有良好的热处理性能

凸、凹模材料一般都要进行热处理淬火，所以要求淬透性好，淬火后变形小。

# 二、冷冲压凸、凹模常用材料

## 1、碳素工具钢 (T8A、T10A)

碳素工具钢价格便宜，经热处理后有较高的硬度和一定的耐磨性。存在的主要缺陷是淬透性低，热硬性、耐磨性差，淬火后变形开裂的倾向大，模具使用寿命短。碳素工具钢只适宜用来制造尺寸较小、形状简单、卸载较轻、生产批量不大的冷冲压凸、凹模零件。

## 2、低合金工具钢 (CrWMn、9Mn2V)

此类钢的硬度、韧性、耐磨性、热硬性都比碳素工具钢高，使用寿命也比碳素工具钢长，淬火变形小，淬透性较好。一般用来制造要求变形小、形状复杂、轻负载的凸、凹模零件。

## 3、高碳高铬模具钢 (Cr12、Cr12MoV)

对于形状复杂的重负载冷冲压模具，必须采用性能更好的高碳高铬模具钢。这类钢具有强度高、耐磨、易淬透、淬火变形小等优点，因此在冷冲压模具中应用最广。

## 4、高速工具钢 (W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2)

高速钢具有很高的抗压屈服强度和良好的韧性、红硬性和耐磨性。主要用来制作重负载的凸、凹模零件。

## 5、硬质合金 (YG、YT)

这类合金是以碳化钨、碳化钛为基体，以钴、镍等铁族金属作粘结剂，加压成型，再经烧结而成的一种多相组合材料。具有高的硬度、高的抗压强度和高的耐磨性，主要用于大批量、高寿命的冷冲压模具。其缺点是不能进行切削加工，脆性较大，价格也较昂贵。

## 6、钢结硬质合金 (YE)

这是一种以合金钢为基体，以碳化钨或碳化钛为硬质相，用烧结方法制造的一种材料。它既具有合金钢的可锻造、机械加工、焊接及热处理的性能，又具有硬质合金的高硬度、高耐磨性的特点。其使用寿命约为一般模具钢的几十倍至几百倍，是一种很好的模具材料。

冷冲压凸、凹模材料及其他零件材料的选用，可以参见表 1-2 和表 1-3。



表1-2 模具工作零件的常用材料及热处理要求

模具类别	零件名称及使用条件	材料牌号	热处理硬度 HRC	
			凸模	凹模
冲裁模	1 冲裁料厚 $\delta \leq 3\text{mm}$ ，形状简单的凸模、凹模和凸凹模	T8A, T10A, 9Mn2V	58~62	60~64
	2 冲裁料厚 $\delta \leq 3\text{mm}$ ，形状复杂或冲裁料厚 $\delta > 3\text{mm}$ 的凸模、凹模和凸凹模	CrWMn, 9Mn2V, Cr12, Cr12MoV, GCr15	58~62	62~64
	3 要求高度耐磨的凸模、凹模和凸凹模，或生产批量大、要求特长寿命的凸、凹模	W18Cr4V, 12Cr4W2MoV	60~62	61~63
		65Cr4Mo3W2VNb (65Nb)	56~58	58~60
4 材料加热冲裁时用的凸、凹模	Y15, Y20	—		
	3Cr2W8V, 5CrNiMo, 5CrMnMo	48~52		
	6Cr4Mo3Ni2WV (CG-2)	51~53		
弯曲模	1 一般弯曲用的凸模、凹模及镶块	T8A, T10A, 9Mn2V	56~60	
	2 要求高度耐磨的凸、凹模及镶块，形状复杂的凸、凹模及镶块，冲压生产批量特别大的凸、凹模及镶块	CrWMn, Cr12, Cr12MoV, GCr15	60~64	
	3 材料加热弯曲时用的凸、凹模	5CrNiMo, 5CrNiTi, 5CrMnMo	52~56	
模具类别	零件名称及使用条件	材料牌号	热处理硬度 HRC	
			凸模	凹模
拉深模	1 一般拉深用的凸模和凹模	T8A, T10A, 9Mn2V	58~62	60~64
	2 要求耐磨的凹模和凸凹模，或冲压生产批量大、要求特长寿命的凸、凹模	Cr12, Cr12MoV, GCr15	60~62	62~64
		Y15, Y20	—	
3 材料加热拉深时用的凸、凹模	5CrNiMo, 5CrNiTi	52~56		

表 1-3 模具一般零件的常用材料及热处理要求

零件名称	使用情况	材料牌号	热处理硬度 HRC
上、下模板 (座)	一般负荷	HT200, HT250	28~32 (调质)
	负荷较大	HT250, Q235	
	负荷特大, 受高速冲击	45	
	用于滚动式导柱模架	QT400-17, ZG310-570	
	用于大型模具	HT250, ZG310-570	
模柄	压入式、旋入式和凸缘式	Q235	—
	浮动式模柄及其球面垫块	45	43~48
导柱、导套	大量生产	20	58~62 (渗碳淬硬)
	单件生产	T10A, 9Mn2V	56~60
	用于滚动配合	Cr12, GCr15	62~64
垫板	一般用途	45	43~48
	单位压力特大	T8A, 9Mn2V	52~56
推板、顶板	一般用途	Q235	—
	重要用途	45	43~48
推杆、顶杆	一般用途	45	43~48
	重要用途	CrWMn	56~60
导正销	一般用途	T10A, 9Mn2V	52~56
	高耐磨	Cr12MoV	60~62
固定板、卸料板		Q235, 45	
定位板		45	43~48
		T8	52~56
导料板 (导尺)		45	43~48
托料板		Q235	—
挡料销、定位销		45	43~48
废料切刀		T10A, 9Mn2V	56~60
定距侧刃		T8A, T10A, 9Mn2V	56~60
侧压板		45	43~48
侧刃挡块		T8A	54~58
零件名称	使用情况	材料牌号	热处理硬度 HRC
拉深板压边圈		T8A	54~58
斜楔、滑块		T8A, T10A	58~62
		45	43~48
限位圈 (块)		45	43~48
弹簧		65Mn, 50Si2MnA	40~48

## 第四节 冷冲压设备及其使用

### 一、曲轴压力机

压力机的作用是冷冲压工艺提供冲压动力。压力机种类繁多，但是生产中最常见，应用最多的是机械式曲轴压力机。其工作原理见图 1-2。

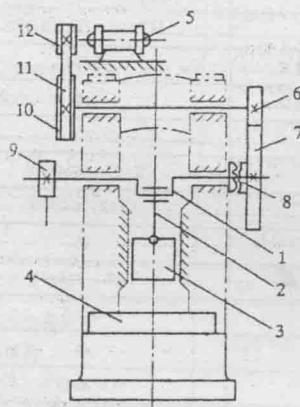


图 1-2 曲轴压力机工作原理

1—曲轴；2—连杆；3—滑块；4—工作台；  
5—电动机；6—小齿轮；7—大齿轮；8—离合器；  
9—制动器；10—大带轮；11—V带；12—小带轮

开关闭合后，电动机旋转，小带轮带动大带轮转动，通过小齿轮再带动大齿轮转动。合上离合器，曲轴开始转动，然后通过连杆滑块机构，带动滑块作上下往复运动。压力机每完成一个冲次，即上下运动一个循环，离合器自动分离，滑块会自动停在上止点上，除非按下连续冲压开关，压力机才会连续循环冲压。

### 二、压力机的主要技术参数

#### 1、公称压力

压力机滑块的压力在上下运动中不是一个常数，而是随曲轴旋转角的变化而变化，见图 1-3。公称压力是指压力机曲轴旋转到离下止点  $25^{\circ} \sim 30^{\circ}$  处，滑块所提供的压力。

#### 2、滑块行程

滑块从上止点到下止点经过的距离，其数值是曲轴偏心距的 2 倍。

#### 3、滑块每分钟冲次

滑块每分钟上、下运动的次数。普通压力机一般为 60~120 次/min，高速压力机可达每分钟千次以上。

#### 4、闭合高度

滑块运动到下止点，滑块底平面与压力机工作台面之间的距离。由于连杆的

高度可以调节，所以闭合高度可以改变，即可以从最小闭合高度调节到最大闭合高度。

#### 5、工作台面尺寸

工作台面的外形（长、宽）尺寸及中间漏料孔的尺寸。

#### 6、模柄孔尺寸

滑块下平面中心处安放模具模柄的圆孔尺寸。

#### 7、电动机功率

常用曲轴压力机的规格见附表 2。

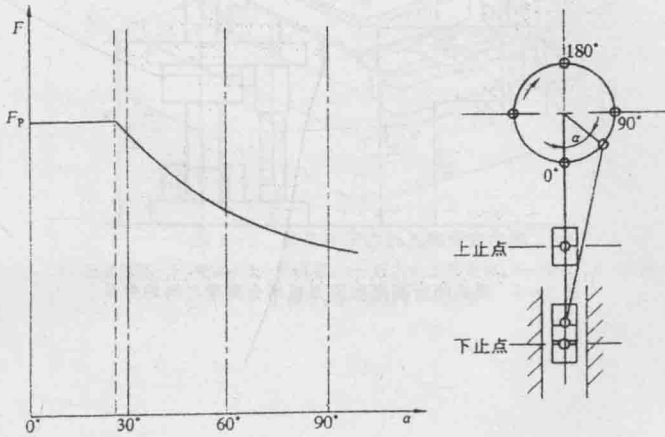


图 1-3 压力机曲轴转角与滑块压力的关系曲线

### 三、压力机的选用

选用压力机一般应考虑以下几个因素：

- 1、完成冲压工艺所需的冲压力必须小于压力机的公称压力。
- 2、压力机滑块行程应满足冲压后制件的取出。
- 3、模具的闭合高度必须大于压力机的最小闭合高度，同时必须小于压力机的最大闭合高度，见图 1-4。模具的闭合高度，就是模具完成正常冲压，在闭合的状态下上模板的上平面到下模板的下平面之间的距离。如果模具的闭合高度小于压力机最小闭合高度，则可以在模具和压力机工作台面之间增加垫板。如果模具闭合高度大于压力机最大闭合高度，则必须选择大一挡规格的压力机。

- 4、模柄的尺寸必须与压力机滑块的模柄孔尺寸相匹配。

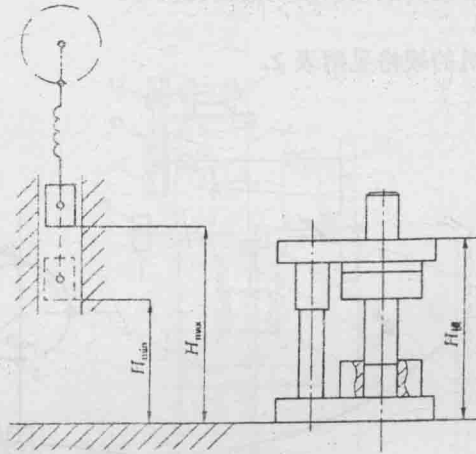


图 1-4 模具闭合高度和压力机闭合高度之间的关系

#### 四、模具在压力机上的安装

一般中、小型模具在压力机上的安装位置见图 1-5。该图中的模具是一副冲裁模，其安装的顺序如下：

1、首先根据冲裁模具的闭合高度来初步调整压力机滑块的闭合高度，使滑块在下止点时其底平面与工作台面之间的距离大于冲裁模的闭合高度。

2、然后将滑块升到上止点，把冲裁模放在压力机的工作台面上。

3、再将滑块下行到下止点，并使模柄 6 插入滑块中心的模柄孔中，然后放松连杆锁紧装置，调节连杆长度，使滑块的下平面与上模板的上平面贴紧，然后用压紧螺钉 1 把模柄压紧。接着用压板 9 和螺钉 8 初步固定下模部分（不拧紧螺钉）。

4、进一步调节连杆长度，使模具达到正常闭合状态。例如对于冲裁模，让凸模进入凹模 0.5~1mm，闭合高度调节好后必须锁紧连杆锁紧装置。

5、开动压力机，空行程 1~2 次，将滑块停在下止点，拧紧螺钉 8 使下模固定住。

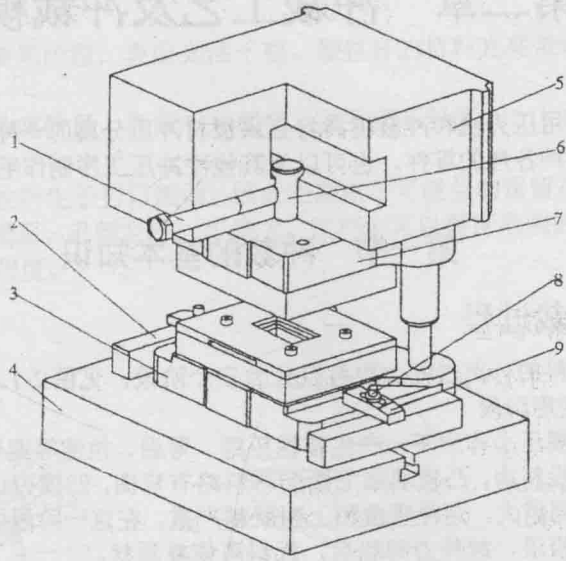


图 1-5 模具在压力机上的安装位置

- 1—压紧螺钉；2—垫块；3—下模板；4—压力机工作台面；5—滑块；6—模柄；  
7—上模板；8—螺钉；9—压板



## 第二章 冲裁工艺及冲裁模具

冲裁是利用压力机和冲裁模具将金属板材冲压分离的一种冷冲压工艺。冲裁既可以制取各种各样的零件，也可以为其他冷冲压工序制作毛坯。

### 第一节 冲裁的基本知识

#### 一、冲裁过程

冲裁时材料的分离过程大致可以分为三个阶段，见图 2-1。

##### 1、弹性变形阶段

板料在凸模压力作用下，产生弹性压缩、弯曲、拉伸等变形，此时凸、凹模分别略微挤入板料内，凸模端部下面的材料略有弯曲，凹模刃口上面的材料开始上翘。冲裁间隙越大，这种弯曲和上翘就越严重。在这一阶段中，材料内部应力尚未超过弹性极限，故外力卸载后，板料可恢复原状。

##### 2、塑性变形阶段

当凸模继续下压，材料内的应力达到屈服极限时，便开始塑性剪切变形，凸、凹模刃口不断切入到板料的内部，直到刃口附近产生应力集中出现微裂纹为止。

##### 3、断裂分离阶段

随着凸模的进一步下降，在凸、凹模刃口附近产生的微裂纹不断扩展，并上下重合，板料的断面分离，整个冲裁过程结束。

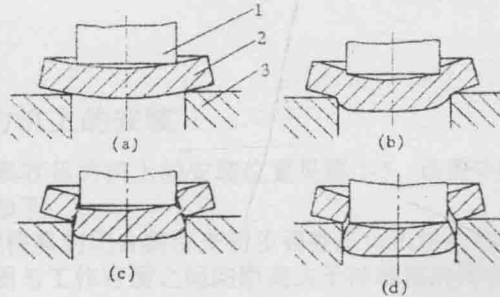


图 2-1 冲裁过程

(a) 弹性变形；(b) 塑性变形；(c) 产生裂纹；(d) 断裂分离

1—凸模；2—板料；3—凹模

#### 二、冲裁件的断面特征

普通冲裁件的断面具有以下四个特征，见图 2-2。

##### 1、圆角带

它是冲裁初始阶段，由于板料纤维的弯曲与拉伸所形成的。

#### 2、光亮带

它产生于塑性变形阶段，表面光洁平整。塑性好的材料光亮带较宽。

#### 3、断裂带

它产生于断裂分离阶段，表面十分粗糙，并且带有斜度。

#### 4、毛刺

由于冲裁时裂纹产生于刃口侧面，因此毛刺就不可避免的保留在制件上。此外，当模具刃口磨损后，毛刺会进一步增大。生产中可以根据毛刺的大小来判断冲裁模刃口的磨损程度。

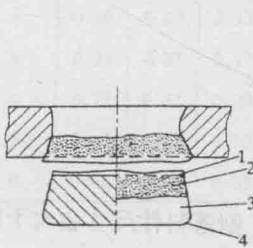


图 2-2 冲裁件的断面特征

1—毛刺；2—断裂带；3—光亮带；4—圆角带

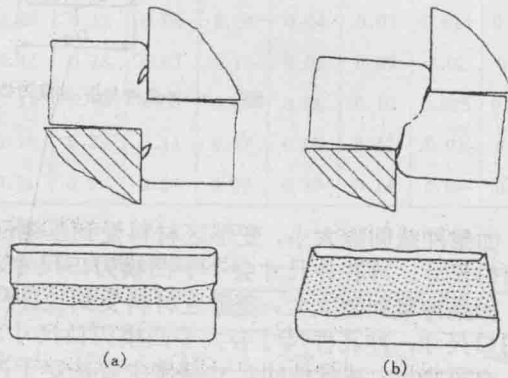


图 2-3 冲裁间隙对冲裁件断面质量的影响

(a) 间隙太小；(b) 间隙太大

### 三、冲裁间隙

冲裁时凸模和凹模之间的间隙称为冲裁间隙。冲裁间隙是冲裁工艺中的一个重要工艺参数，它对冲裁件的断面质量、尺寸精度及模具寿命都有十分重要的影响。

冲裁间隙用  $Z$  来表示，它一般等于凸、凹模刃口之间的差值，即：

$$Z = D - d$$

式中：  $D$ ——凹模刃口尺寸

$d$ ——凸模刃口尺寸。

#### 1、冲裁间隙对冲裁件断面质量的影响

冲裁间隙太小，板料上、下裂纹不重合，上、下裂纹中间的材料随着冲裁的进行被第二次剪切，在断面上形成二次光亮带，见图 2-3a。

如果冲裁间隙太大，上、下裂纹也不重合，变形区材料受到很大的拉伸，裂纹产生较早，故光亮带较窄，断裂带较宽，断裂带斜度也较大，见图 2-3b。

当冲裁间隙合理时，上、下裂纹重合，冲裁件断面具有正常的四个特征。

#### 2、冲裁间隙对冲裁件尺寸精度的影响

当冲裁间隙适当时，落料件尺寸等于凹模刃口尺寸，冲孔件尺寸等于凸模刃口尺寸，见图 2-4。

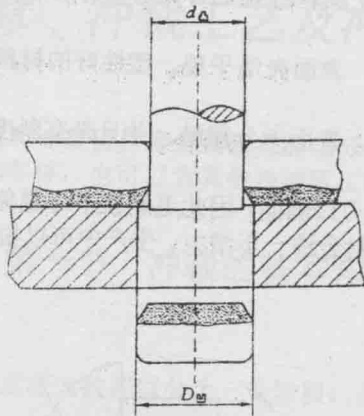


图 2-4 冲裁件与凸、凹模刃口尺寸的关系

如果冲裁间隙太小,变形区材料受到压缩应力较大,则落料件尺寸会大于凹模刃口尺寸,冲孔件尺寸会小于凸模刃口尺寸。

如果冲裁间隙太大,变形区材料受到拉伸应力较大,则落料件尺寸会小于凹模刃口尺寸,冲孔件尺寸会大于凸模刃口尺寸。

必须指出,冲裁件的尺寸精度主要决定于冲裁模的制造精度。合理间隙确定后,如果模具的刃口部分尺寸制造公差得不到保证,同样会使原来合理的间隙变成不合理的间隙。

### 3、冲裁间隙对模具寿命的影响

冲裁过程中,凸、凹模与材料之间要发生相对运动,产生摩擦。故冲裁间隙越小,摩擦就越严重,对模具寿命极为不利。因此,适当放大冲裁间隙,可以使凸、凹模侧面与材料的摩擦大为减小,从而提高模具的寿命。

### 4、合理冲裁间隙值的确定

合理冲裁间隙就是在这一冲裁间隙下,冲裁件的断面质量较好,尺寸精度较高,模具寿命较长。但是对于同一间隙值,要想同时满足上述各方面的要求是不可能的。综合考虑上述各个因素的影响。可选择一个适当的间隙范围作为合理冲裁间隙,其上限为最大合理间隙  $Z_{max}$ ,下限为最小合理间隙  $Z_{min}$ 。考虑到模具在使用过程中的磨损会使间隙增加,故制造新模具时要采用  $Z_{min}$ 。

必须指出,不同的行业、不同的材料、不同的零件、不同的精度、不同的生产批量,其冲裁间隙的选取是不一样的。表 2-1 和表 2-2 供设计时参考。