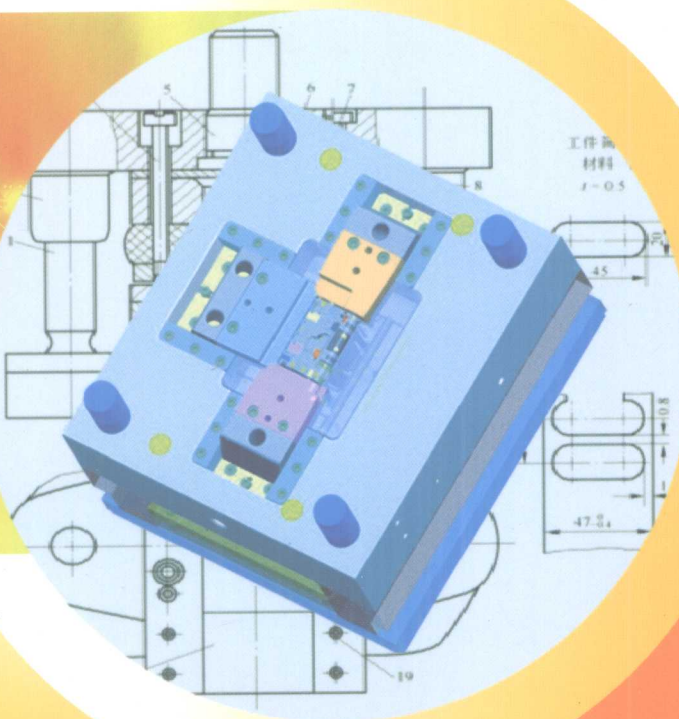




21 世纪中等职业教育系列教材  
中等职业教育系列教材编委会专家审定

# 模具工程技术基础

主编 姚志浩



北京邮电大学出版社  
<http://www.bupress.com>

中等职业教育系列教材  
中等职业教育系列教材编委会专家审定

# 模具工程技术基础

主 编 姚志浩

副主编 杨 斌 赵 博  
陈世民 吴晓飞

北京邮电大学出版社  
· 北 京 ·

---

**图书在版编目(CIP)数据**

模具工程技术基础/姚志浩主编. —北京:北京邮电大学出版社,2007

ISBN 978 -7 - 5635 - 1460 - 1

I. 模… II. 姚… III. 模具—专业学校—教材 IV. TG76

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 053887 号

---

书 名 模具工程技术基础

主 编 姚志浩

责任编辑 周 堃 沈 达

出版发行 北京邮电大学出版社

社 址 北京市海淀区西土城路 10 号 邮编 100876

经 销 各地新华书店

印 刷 北京市彩虹印刷有限责任公司

开 本 787 mm × 960 mm 1/16

印 张 9.75

字 数 198 千字

版 次 2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978 -7 - 5635 - 1460 - 1

定 价 18.00 元

如有印刷问题请与北京邮电大学出版社联系 电话:(010)82551166 (010)62283578

E-mail:publish@bupt.edu.cn

Http://www.buptpress.com

**版权所有 侵权必究**

# 出版说明

模具是现代工业生产的主要工艺设备之一。无论是工业制品的生产,还是新产品的开发,都离不开模具。现代工业的发展和技术水平的提高,很大程度上取决于模具工业的发展水平。许多新技术和新设备的产生与应用往往源于模具工业。从某种意义上说,模具制造技术代表了一个国家的工业制造技术的发展水平。

本书是根据教育部面向 21 世纪中等职业教育规划教材编写工作会议精神及教育部 2000 年 12 月公布的中等职业学校模具设计与制造专业教学计划和模具工程技术基础教学大纲(试行)编写的,是中等职业教育模具设计与制造专业教学用书。本书也可供从事模具专业的工程技术人员参考。

本书在编写中根据中等职业教育的教学特点,以培养有较强实践能力的中级应用型人才为目标,在保证必要的理论知识的同时,突出了综合性和实用性的教学方针。本书在介绍模具工程技术基本概念的基础上,系统地介绍了制件成型工艺及设备、模具的基本结构及功能、模具的基本要求以及模具设计的一般指导性原则,并通过实例,用工程的观点分析了制件成型工艺、设备、材料、模具结构、模具制造、模具成本等与模具相关的各方面问题。

本书共分六个项目,项目一介绍了制件成型工艺及设备;项目二介绍了模具的基本结构及功能;项目三介绍了模具的基本要求;项目四介绍了模具设计的一般指导性原则;项目五介绍模具工程技术应用综合实训;项目六主要介绍了粉末冶金模结构设计。

本书由姚志浩主编,杨斌、赵博、陈世民和吴晓飞为副主编。其中,姚志浩编写了项目四、项目五的内容;杨斌编写了项目二的内容;赵博编写了项目一的内容;陈世民编写了项目六的内容;吴晓飞编写了项目三的内容和附录习题内容。

由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请各位读者批评指正。

编者

# 目 录

<b>项目一 制件成型工艺及设备</b> .....	1
课题一 冲压工艺及设备 .....	1
课题二 塑料成型工艺及设备 .....	18
课题三 压铸工艺及设备 .....	27
<b>项目二 模具的基本结构及功能</b> .....	38
课题一 冷冲压模具的基本结构及功能 .....	38
课题二 冷冲压模具零部件结构与标准化 .....	58
课题三 注射模具的基本结构及功能 .....	67
<b>项目三 模具的基本要求</b> .....	76
课题一 模具的精度 .....	76
课题二 模具的寿命 .....	78
课题三 针对模具的设计、制造和使用的安全措施 .....	82
课题四 模具的使用和管理 .....	89
<b>项目四 模具设计的一般指导性原则</b> .....	97
课题一 冲模设计的程序 .....	97
课题二 注射模设计的程序 .....	99
课题三 压铸模设计的一般原则 .....	101

<b>项目五 模具工程技术应用综合实训</b> .....	104
课题一 制件生产工艺过程实训 .....	104
课题二 模具制造工艺过程实训 .....	105
课题三 模具安装和调整实验 .....	115
课题四 模具设计综合训练 .....	118
<b>项目六 粉末冶金模结构设计</b> .....	123
课题一 粉末冶金工艺与粉末冶金制件 .....	123
课题二 粉末冶金模具结构设计 .....	135
<b>附 录</b> .....	145

## 项目一 制件成型工艺及设备

### 【学习目标】

1. 掌握冲压模具的各种工艺方法。
2. 掌握塑料模具的各种工艺方法。
3. 掌握压铸模具的各种工艺方法。
4. 掌握各种工艺的设备选择方法。

### 课题一 冲压工艺及设备

冲压件的工艺性,是指其对冲压工艺的适应性能,即加工的难易程度。良好的冲压工艺性,是指在满足冲压件使用要求的前提下,能以最简单、最经济的冲压方式加工出零件。在实际生产中有时会发生使用要求与工艺要求相矛盾的情况,这时应与生产厂家协商解决,尽可能地使使用要求与工艺要求统一起来。

根据冷冲压加工零件的形状、尺寸、精度要求、原材料性能的不同,又考虑到生产批量和车间条件,在生产中所采用的冷冲压工艺不同。根据冷冲压件在加工过程中的变形特点和变形程度,冲压过程可分为分离工序、成型工序和复合工序。

#### (1) 分离工序

主要包括剪裁、冲裁等。其特点是板料受外力后,应力超过材料的强度极限,使板料发生剪裂或局部剪裂,并沿一定的轮廓相互分离。分离的断面质量应满足一定的要求。

#### (2) 成型工序

主要包括弯曲、拉伸及成型等。其特点是坯料受外力后,应力超过了材料的屈服极限,在坯料不被破坏的条件下,经塑性变形后成为一定形状及满足尺寸精度要求的制品或半成品。

#### (3) 复合工序

在冲压工艺过程中,将两个及两个以上基本工序合成一个工序,称为复合工序。采用复合工序可以提高生产效率。

### 一、冲裁及冲裁件的工艺性

#### 1. 冲裁工艺

冲裁工艺是利用冲裁模在压力机上使板料分离的一种冷冲压工艺,包括冲孔、落料、切

断、切口、剖切等工序。冲裁一般主要是指冲孔和落料。冲孔时,冲裁封闭曲线以外的部分为工件;落料时,冲裁封闭曲线以内的部分为工件。

## (1) 冲裁过程

如图 1-1 所示,凸模 1 与凹模 3 具有锋利的刃口并保持着均匀的间隙。冲裁时,凸模 1 在压力机滑块作用下下行,对支撑在凹模 3 上的板料 2 施加压力,使板料产生弹性变形。当板料在压力作用下产生的内应力超过了材料的屈服极限时,板料产生塑性变形。凸模继续施加压力使板料产生的内应力超过了材料的强度极限时,板料产生断裂分离得到工件 4。由于压力机运行的速度较快,工件冲裁过程在瞬间内完成。冲裁过程的三个阶段:弹性变形、塑性变形、断裂分离,如图 1-2(a)、(b)、(c) 所示。

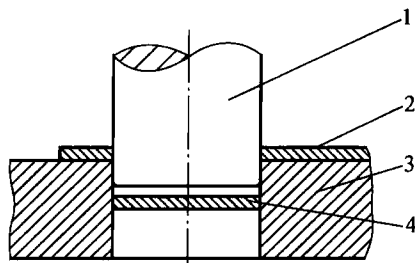
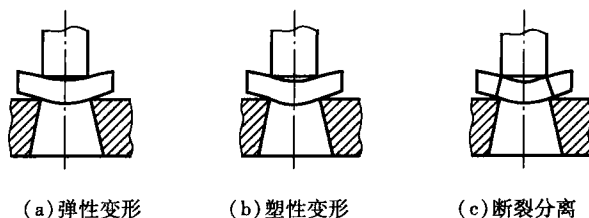


图 1-1 板料冲裁

1—凸模;2—板料;3—凹模;4—工件



(a) 弹性变形

(b) 塑性变形

(c) 断裂分离

图 1-2 冲压变形过程

## (2) 冲裁件断面特征

在冲裁件的断面中可清晰地看到这三个阶段所形成的断面形状,如图 1-3 所示。冲裁件断面形状一般由四部分组成,它们是塌角带 4、光亮带 3、断裂带 2 和毛刺 1。塌角带是在

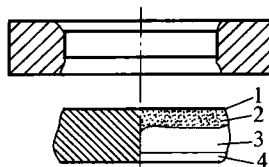


图 1-3 冲裁件断面特征

1—毛刺;2—断裂带;3—光亮带;4—塌角带



冲裁过程中弹性变形后期和塑性变形开始阶段形成的;光亮带产生于塑性变形阶段;断裂带产生于冲裁变形后期的断裂阶段;在板料断裂分离的瞬间被拉毛形成毛刺。一般来讲,若冲裁件的塌角带不大,光亮带宽度合适,断裂带的锥度小,毛刺小,则认为冲裁件的断面质量好。

### (3) 冲裁件的排样

冲裁件在条料上的布置形式称为排样。合理的排样设计,可以提高材料的利用率,降低材料的消耗。通常排样的方法有三种:废料排样、少废料排样和无废料排样。

## 2. 冲裁件的工艺性

冲裁件的工艺性,是指冲裁件对冲压工艺的适应性能。即冲裁件的结构形状、尺寸大小、工件精度等在冲裁时的难易程度。冲裁件的工艺性是否合理,对冲裁件的质量、模具寿命和生产效率影响很大。因此在设计冲裁件和拟定冲裁件的工艺规程时,必须从结构、形状、尺寸及模具强度等方面分析零件的工艺适应性,具体应注意如下几个问题:

(1) 冲裁件的形状力求简单、规则,有利于实现少废料和无废料生产。

(2) 冲裁件的内、外形转角处应避免有过尖的锐角,在一般情况下可用  $R \geq 0.25t$  ( $t$  为板料厚度) 的圆角半径代替尖角(在无废料冲裁或采用镶拼式结构中允许有锐角),以便于模具加工,并可减少热处理或冲裁时在尖角处开裂的现象,同时也能防止尖角部分刃口过快磨损。

(3) 尽量避免冲裁件上过长的悬臂与狭槽,应使它们的宽度  $b$  和深度  $d$  均不小于  $1.5t$ ,如图 1-4 所示。对于高碳钢及合金钢等硬材料,此值还应增大 30% ~ 50%;对于黄铜、紫铜和铝等软材料,此值还可减少 20% ~ 25%。

(4) 如图 1-4 所示,冲裁件的孔与孔之间的距离  $C'$ ,孔与冲裁件边缘之间的距离  $C$ ,因为受模具强度和冲裁件质量的限制,其值不能太小。一般要求  $C \geq 1.5t$ ,  $C' \geq 2t$ 。

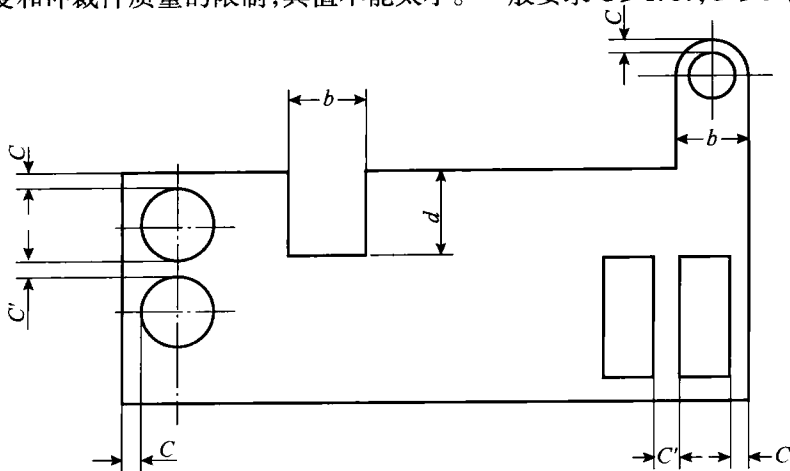


图 1-4 冲裁件的结构工艺性

(5) 在弯曲和拉伸件上冲孔时,其孔与工件直壁之间应保持一定距离,使孔边处于工件弯曲区之外,防止冲孔时因弯曲区内弯曲部件变形而折断凸模,其要求如图 1-5 所示。

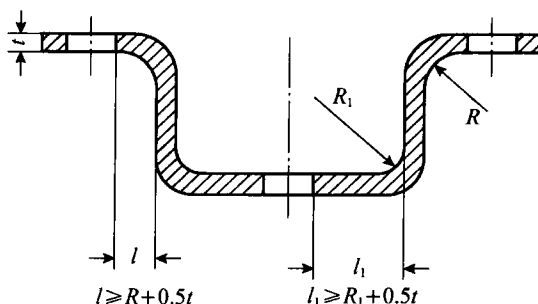


图 1-5 弯曲件的冲孔位置

(6) 冲裁件端部带圆弧时,若用落料成型,圆弧半径应等于宽度的一半,如图 1-6(a)所示;若用条料切断成型,则圆弧半径应略大于条料宽度的一半,如图 1-6(b)所示。否则,将会出现台肩,如图 1-6(c)所示。

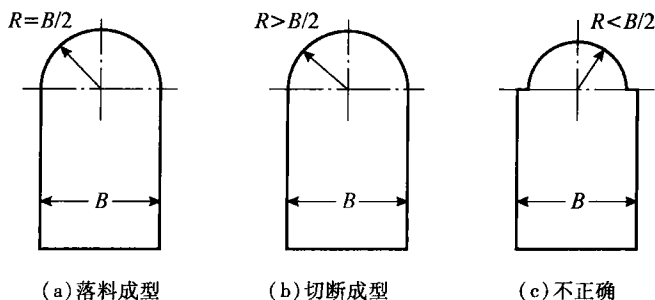


图 1-6 冲裁件的轮廓形状

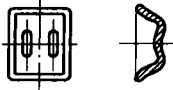
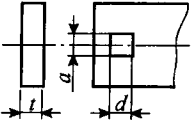
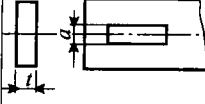
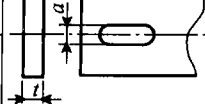
(7) 因为受凸模强度和刚度的限制,冲裁件上的孔不能太小。用自由凸模和带护套的凸模所能冲制的最小孔径分别如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 自由凸模冲孔的最小尺寸

(单位: mm)

材料				
钢 $\tau > 700 \text{ MPa}$	$d \geq 1.5t$	$a \geq 1.35t$	$a \geq 1.1t$	$a \geq 1.2t$
钢 $\tau = 400 \sim 700 \text{ MPa}$	$d \geq 1.3t$	$a \geq 1.2t$	$a \geq 0.9t$	$a \geq t$
钢 $\tau < 400 \text{ MPa}$	$d \geq t$	$a \geq 0.9t$	$a \geq 0.7t$	$a \geq 0.8t$
黄铜, 铜	$d \geq 0.9t$	$a \geq 0.8t$	$a \geq 0.6t$	$a \geq 0.7t$

(续表)

材料				
铝, 锌	$d \geq 0.8t$	$a \geq 0.7t$	$a \geq 0.5t$	$a \geq 0.6t$
纸胶板, 布胶板	$d \geq 0.7t$	$a \geq 0.6t$	$a \geq 0.4t$	$a \geq 0.5t$
硬纸, 纸	$d \geq 0.6t$	$a \geq 0.5t$	$a \geq 0.3t$	$a \geq 0.4t$

注: 一般要求  $d$  不小于  $0.3\text{mm}$ ;  $t$  为板料厚度。

表 1-2 带护套凸模冲孔的最小尺寸

(单位: mm)

材料	硬钢	软钢及黄铜	铝及锌
圆形孔 $d$	$0.5t$	$0.35t$	$0.3t$
矩形孔宽 $a$	$0.4t$	$0.3t$	$0.28t$

注:  $t$  为板料厚度。

## 二、弯曲及弯曲件的工艺性

### 1. 弯曲工艺

弯曲是根据零件形状的需要, 通过模具和压力机把毛坯弯成一定角度、一定形状工件的冲压工艺方法。弯曲的种类很多, 根据弯曲的材料不同, 使用的设备和工具也不同。弯曲可分为压弯、拉弯、滚弯和折弯等。一般应用最多的是利用模具在压力机上对板料的压弯。

#### (1) 弯曲变形过程

如图 1-7 所示是板料弯曲过程的示意图。将板料放在凹模上, 随着凸模的不断下压, 将使板料弯曲变形并逐渐地与凸模和凹模贴合, 待板料与凸模完全贴合后, 在压力机的作用下, 凸模退回, 便得到所需的弯曲件。在弯曲过程中, 材料经历了弹性变形和塑性变形两个阶段。

#### (2) 弯曲件的质量分析

在实际生产中, 影响弯曲件质量的主要因素是弯曲件的弯裂、弯曲件的回弹和弯曲件的偏移。

##### 1) 弯曲件的弯裂

板料弯曲时, 最外层的纤维沿着切向受到最大的拉伸而

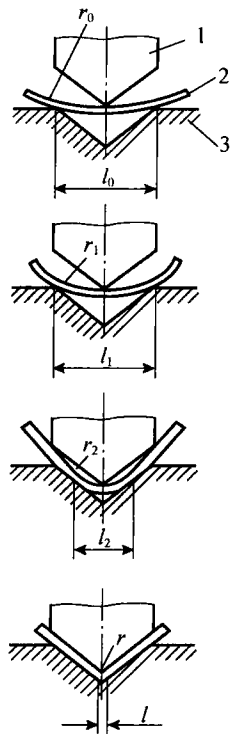


图 1-7 板料弯曲过程示意图

1—凸模; 2—板料; 3—凹模

变形。变形程度达到极限时,弯曲件的外表面会出现裂纹。这种现象称弯曲件的弯裂。弯曲变形程度与弯曲半径  $r$  有关。相对弯曲半径  $r/t$  越小,变形程度越大。当相对弯曲半径小到使最外层纤维濒于拉裂时,这种极限状态下相对的弯曲半径称为最小相对弯曲半径,用  $r_{\min}/t$  表示。 $r_{\min}/t$  的数值越小,板料弯曲性能越好。

影响最小相对弯曲半径的因素有以下几个:

①材料的机械性能。材料的塑性指标(如  $\sigma_s$ 、 $\sigma_{10}$ 、 $\xi_j$ 、 $\psi$ )越高, $r_{\min}/t$  数值越小。

②弯曲方向。板料经辗压后,呈纤维状组织,具有各向异性。顺纤维方向的塑性指标大多比垂直于纤维方向的高。因此,对同一种材料而言,它允许的最小相对弯曲半径不是一个定值。当工件折弯线与板料的辗压纹方向垂直时其数值最小;平行时其数值最大。因此,在弯曲  $r/t$  较小的工件时,必须注意毛坯的排样方法,使折弯线尽可能垂直于板料的辗压纹方向,如图 1-8 所示。

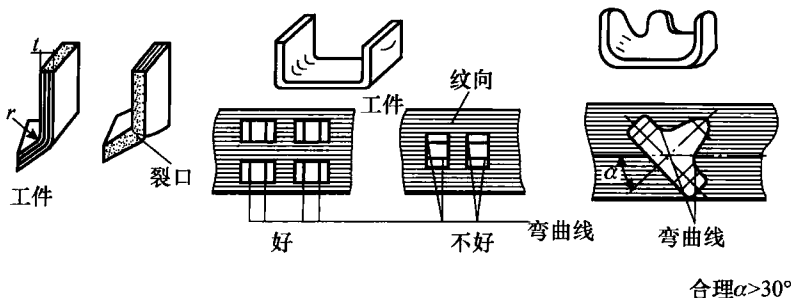


图 1-8 辗压纹方向与排样的关系

③弯曲中心角。理论上弯曲变形区恰好局限于圆角部分,变形程度与弯曲中心角(指弯曲圆弧所对的中心角  $\alpha$ )的大小无关。但实际弯曲过程中,板料的变形区并非局限于圆角部分。由于纤维的制约作用,其变形影响到圆角附近的直边,这实际扩大了弯曲变形区的范围。圆角附近的直边参加变形后,分散了集中在圆角部分的弯曲应变,对于圆角外层纤维濒于拉裂的极限状态有缓解作用,有利于降低最小相对弯曲半径的数值。弯曲中心角越小,变形分散的效应越显著,最小相对弯曲半径的数值也越小。

④板料的边缘和表面状态。下料时板料边缘的冷作硬化、毛刺以及板料表面带有划伤等缺陷,弯曲时易因受到拉伸应力而破裂,使最小相对弯曲半径增加。板料最小弯曲半径值如表 1-3 所示。

## 2) 弯曲件的回弹

弯曲件的回弹是指弯曲时弯曲件在模具中所形成的弯曲角与弯曲半径在出模后因弹性恢复而改变的现象,如图 1-9 所示。

回弹的程度以回弹角  $\Delta\psi$  表示:

表 1-3 板料最小弯曲半径

(单位:mm)

材料	退火或正火的		冷作硬化的	
	弯曲线位置			
	垂直辗压纹向	平行辗压纹向	垂直辗压纹向	平行辗压纹向
08,10	0.1t	0.4t	0.4t	0.8t
15,20	0.1t	0.5t	0.5t	1t
25,30	0.2t	0.6t	0.6t	1.2t
35,40	0.3t	0.8t	0.8t	1.5t
45,50	0.5t	1t	1t	1.7t
55,60	0.7t	1.3t	1.3t	2t
65Mn,T7	1t	2t	2t	3t
Cr18Ni9	1t	2t	3t	4t
硬铝(软)	1t	1.5t	1.5t	2.5t
硬铝(硬)	2t	3t	3t	4t
磷青铜	—	—	1t	3t
材料	退火或正火的		冷作硬化的	
	弯曲线位置			
	垂直辗压纹向	平行辗压纹向	垂直辗压纹向	平行辗压纹向
黄铜(半硬)	0.1t	0.35t	0.5t	1.2t
黄铜(软)	0.1t	0.35t	0.35t	0.8t
紫铜	0.1t	0.35t	1t	2t
铝	0.1t	0.35t	0.5t	1t
镁合金 MB <sub>1</sub>	加热到 300~400℃		冷作硬化状态	
	2t	3t	6t	8t
钛合金 BT5	加热到 300~400℃		冷作硬化状态	
	3t	4t	5t	6t

注:1. 当弯曲线与辗压纹向成定角度时,视角度的大小,可采用中间的数值,如 45°时可取中间数值;

2. 对在冲裁或剪裁时没有退火的窄毛料的弯曲时,应作为硬化的金属来使用;

3. 弯曲时通常将冲裁件有圆弧的一面放在弯曲圆弧的外层;

4. t 为板料厚度。

$$\Delta\psi = \psi - \psi_0 \quad (1-1)$$

式中  $\psi$ ——弯曲件的弯曲角度(°);

$\psi_0$ ——弯曲凸模的角度( $^\circ$ )。

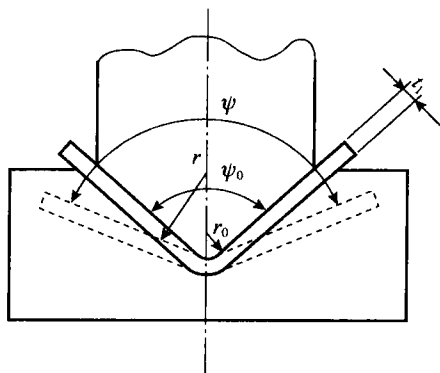


图 1-9 弯曲件回弹现象

回弹角  $\Delta\psi$  越大,弯曲件角度变化越大,弯曲件的尺寸精度越低。为了保证弯曲件的质量,弯曲时可采用校正弯曲、加热弯曲和拉伸弯曲来减小回弹度,或加大弯曲变形程度进行回弹补偿。

### 3) 弯曲件的偏移

在弯曲过程中,弯曲毛坯沿着凹模边缘滑动时,受到摩擦力的作用,由于摩擦力大小不等,使毛坯出现向左或向右的过量移动,这种现象称为弯曲件的偏移。

偏移会使弯曲件的尺寸精度达不到规定的要求,产生次品或废品。如图 1-10 所示为工件两直边高度  $h_1$ 、 $h_2$  不等,形成高度差  $h_2 - h_1$ ,即为次品。在实际生产中,应根据弯曲件的特征采取措施防止弯曲偏移的产生。一般防止弯曲偏移的措施是:利用弯曲坯料的孔进行定位;利用弯曲模中的顶板与凸模将坯料加紧弯曲;不对称零件先弯曲后再切开;尽量使弯曲模的凹模两边圆角半径相等;凸模和凹模间隙均匀。

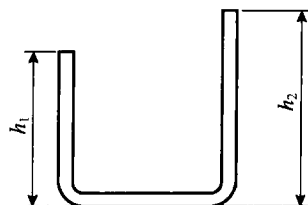


图 1-10 弯曲件的偏移

## 2. 弯曲件的结构工艺性

### (1) 弯曲件上的孔到弯曲线的距离

弯曲有孔的坯件时,为了防止孔的变形,孔的边缘距弯曲线应有一定的距离  $L$ ,如图 1-11(a) 所示。一般情况,当  $t < 2\text{mm}$  时,取  $L \geq t$ ;当  $t \geq 2\text{mm}$  时,取  $L \geq 2t$ 。当孔距弯曲线的距离太近时,如果零件允许,可设置工艺槽或工艺孔,如图 1-11(b)、(c) 所示,否则,只有在工艺安排上先弯曲后打孔。

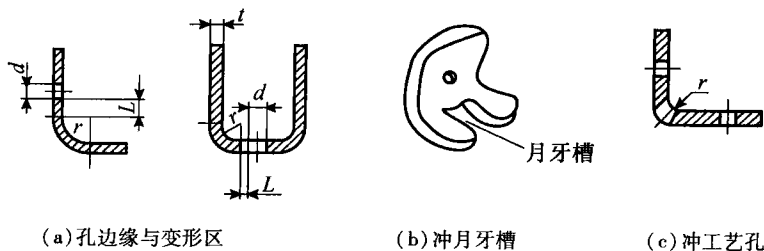


图 1-11 防止带孔的弯曲件孔变形的措施

### (2) 弯曲件的直边高度

在弯曲角为  $90^\circ$  时,为了使弯曲边有一定的变形稳定性,必须使弯曲边高度  $H \geq 2t$ 。若  $H < 2t$ ,则必须压槽或增加弯曲边的高度,然后再加工去掉增加的弯曲边的高度,如图 1-12 所示。

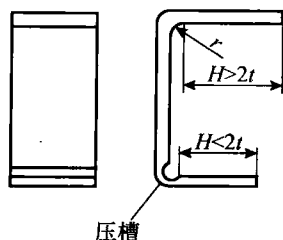


图 1-12 弯曲件直边高度

### (3) 增添工艺孔、槽或缺口

当弯曲件的弯曲线处于宽窄交界处时,为了使弯曲时易于变形,防止交界处开裂,可增添工艺孔、槽或切口,如图 1-13 所示。

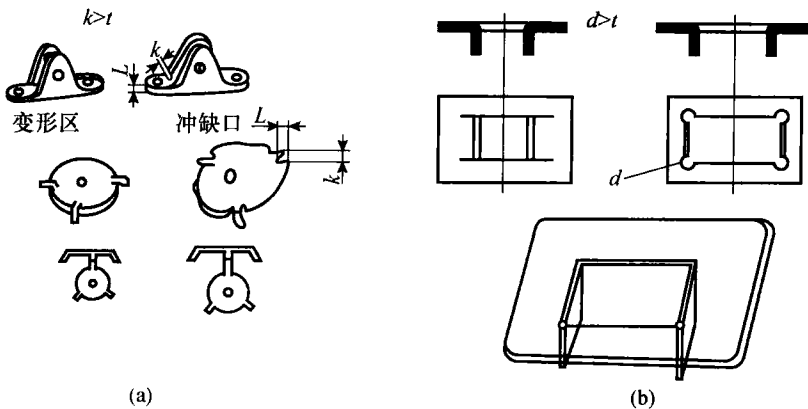


图 1-13 添加工艺孔、槽或缺口

## (4) 增添定位工艺孔

为了保证毛坯在弯曲模内准确定位,防止在弯曲过程中偏移,最好在弯曲件上增添定位用的工艺孔,如图 1-14 所示。

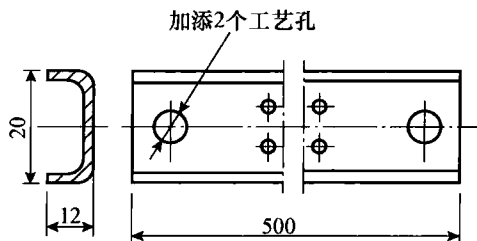


图 1-14 增添定位工艺孔

## 三、拉伸及拉伸件的工艺性

### 1. 拉伸工艺

拉伸工艺是指一定形状的平板毛坯通过拉伸模具制成各种形状的开口空心件,或以开口空心件为毛坯,通过拉伸模具进一步使空心件毛坯改变形状和尺寸的一种冲压工艺。

#### (1) 拉伸过程

将平板毛坯料 3 放在凹模 5 上,凸模 1 在压力机作用下下行,凸模底端压住材料,迫使材料滑向凹模型孔内拉伸成工件 4。当凸缘部分的材料全部转化为筒壁时,拉伸便告结束,如图 1-15 所示。

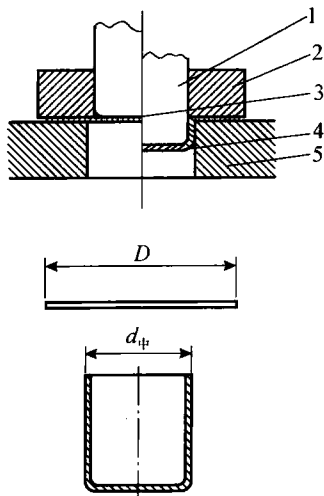


图 1-15 采用压边圈拉伸

1—凸模;2—压边圈;3—平板毛坯料;4—工件;5—凹模

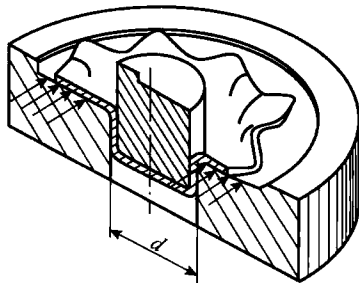


图 1-16 拉伸件的起皱



## (2) 拉伸件变形的特点

### 1) 变形程度大且不均匀

毛坯经过拉伸后发生了塑性变形,引起了冷作硬化。由于圆筒型件各部分塑性变形程度不一样,因此冷作硬化的程度也不一样,筒型件口部切向压缩变形最大,冷作硬化最严重,往下硬化程度则降低,在接近筒壁底部时,由于切向压缩变形最小,故冷作硬化最小。

### 2) 易起皱

拉伸时材料主要受径向拉应力和切向压应力的作用而发生塑性变形,如果切向压应力大到一定数值,超过了材料抗失稳的能力,此时材料便会失稳而弯曲隆起,产生皱折,如图 1-16 所示。

一般来说,切向压应力在坯料的外边缘为最大,故起皱首先在最外边缘出现。它将影响工件的质量,严重时造成工件拉破。为避免起皱,拉伸时采用压边圈 2 与凹模 5 一起将板料压住,板料只能在压边圈 2 与凹模 5 之间移动,便可防止皱折的产生,见图 1-15。

### 3) 拉伸件各处厚度不均

拉伸时材料各处变形不一致,因此工件各处厚度不均。一般拉伸件上部较厚,下部较薄,在凸模圆角处的材料最薄,易被拉破。

## 2. 拉伸件的工艺性

拉伸时为了有利于材料的塑性流动,提高拉伸变形程度,减少拉伸次数,对拉伸件有如下工艺要求:

(1) 在设计拉伸件时,应注明必须保证外形或内形尺寸,不能同时标注内、外形尺寸。

(2) 拉伸件的形状应尽量简单、对称。对于如图 1-17 所示的非对称拉伸件,工艺上可以用双拉伸,然后切成两件的方法,以改善拉伸时的受力状况。

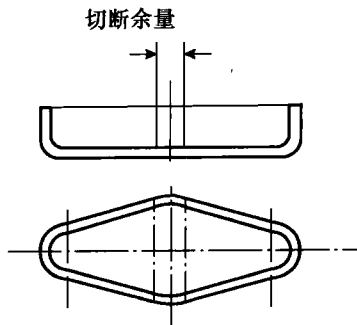


图 1-17 非对称拉伸件双拉伸方法

(3) 拉伸件的圆角半径要适当。对于如图 1-18 所示的圆筒形和矩形拉伸件,其各处的圆角半径应满足:  $r_1 \geq t$ ,  $r_2 \geq 2t$ ,  $r_3 \geq 3t$ ; 否则,需增加整形工序。如果从有利于变形的角度来看,最好取  $r_1 = (3 \sim 5)t$ ,  $r_2 = (4 \sim 8)t$ ,  $r_3 \geq 0.2H$ 。