

第 2 章 冲裁工艺及冲裁模设计

知识目标

- ✱ 理解冲裁工艺的基本概念；
- ✱ 理解冲裁时板料的变形过程及断面质量；
- ✱ 理解冲裁间隙对模具质量的影响；
- ✱ 熟悉冲裁模的分类及典型结构；
- ✱ 了解精密冲裁模的结构、特点及应用。

技能目标

- ✱ 重点掌握凸、凹模刃口尺寸的确定原则及计算方法；
- ✱ 掌握冲裁力的计算；
- ✱ 掌握压力中心的确定及计算；
- ✱ 掌握冲裁件排样的设计及材料利用率的计算；
- ✱ 掌握冲裁件的工艺性分析及冲压工艺方案的确定；
- ✱ 根据冲裁模的类型，能够对模具的主要零部件进行设计与选用；
- ✱ 根据本章介绍的理论知识及实例能够进行典型冲裁模的结构分析及模具设计。

冲裁是利用模具使板料沿着一定的轮廓形状产生分离的一种冲压工序。根据变形机理不同，冲裁工艺可以分为普通冲裁和精密冲裁。普通冲裁包括落料、冲孔、切断、切边、切口等，其中落料和冲孔应用最多。从板料上冲下所需形状的零件（或毛坯）称为落料；在零件（或毛坯）上冲出所需形状的孔（冲去部分为废料）称为冲孔。冲裁所使用的模具称为冲裁模，如落料模、冲孔模、切边模等。冲裁得到的制件可以是最终零件，也可以作为弯曲、拉深、成形等其他工序的坯料。精密冲裁是在普通冲压技术基础上，采用了强力齿圈压边、小间隙、小圆角、反顶力等工艺措施的冲裁分离加工方法，简称为精冲。

如图 2-1 所示为冲裁模典型结构及尺寸关系图。

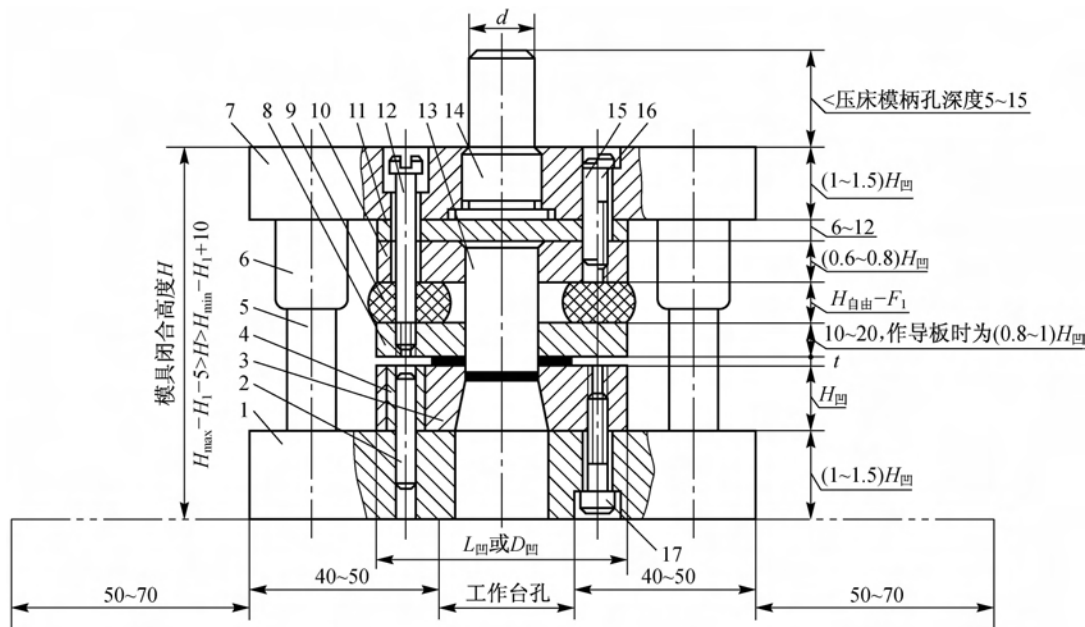


图 2-1 冲裁模典型结构及尺寸关系图

1—下模座; 2、15—销; 3—凹模; 4—镶套; 5—导柱; 6—导套; 7—上模座; 8—卸料板; 9—橡胶;
10—凸模固定板; 11—垫板; 12—卸料螺钉; 13—凸模; 14—模柄; 16、17—螺钉

2.1 冲裁变形过程分析

2.1.1 冲裁时板料的变形过程

在冲裁过程中,凸模与凹模的刃口轮廓与制件相同。当凸模下行时,将处于凸、凹模之间的毛坯板料冲裁成制件。板料的分离是瞬间完成的,板料冲裁过程大致可分为 3 个阶段,如图 2-2 所示。

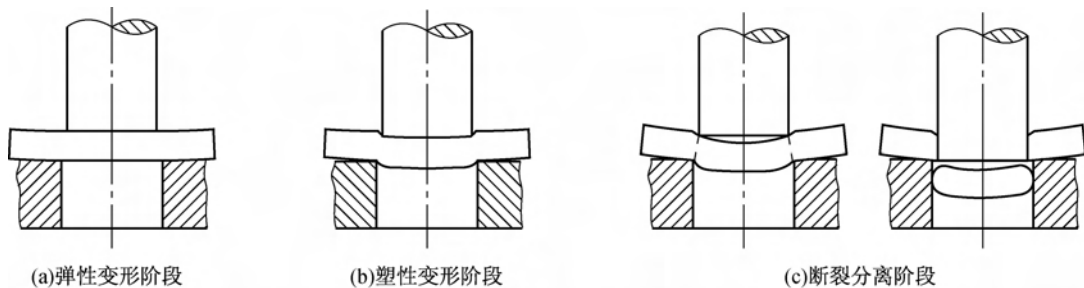


图 2-2 板料冲裁过程

1)弹性变形阶段

凸模对板料施加压力,使材料产生弹性变形。板料略微被挤入凹模型腔口,凸模下面的板料略有弯曲,凹模上的板料略上翘,见图 2-2(a)。

2) 塑性变形阶段

当凸模继续压入,板料内的应力达到屈服极限时,板料开始产生塑性剪切变形,见图 2-2(b)。凸模切入板料并将下部板料挤入凹模型腔孔内,形成光亮的剪切断面。



随着冲压过程的继续,应力不断增加,直至材料达到抗剪强度极限。

3) 断裂分离阶段

当板料的应力达到抗剪强度极限后,凸模继续对板料施压,在板料与凸模的接触刃口偏上处和与凹模的接触面刃口偏下处分别产生裂纹,见图 2-2(c)左图。当裂纹逐渐扩展并最终重合时,板料上下部分分离,见图 2-2(c)右图。

2.1.2 冲裁件断面质量

冲裁件正常的断面特征如图 2-3 所示。冲裁断面由圆角带、光亮带、断裂带及毛刺 4 个部分组成。

1. 圆角带

图 2-3 中 a 为圆角带,该区域主要是凸模刃口刚压入板料时,刃口附近的材料产生弯曲和伸长变形,材料被带进模具间隙的结果。

2. 光亮带

图 2-3 中 b 为光亮带,该区域主要是由于凸模压入板料,板料受到剧烈的挤压和摩擦所致。其高度占材料厚度的 $1/3 \sim 1/2$ 。光亮带分别垂直于板料上、下表面。材料塑性越好,凸、凹模间隙越小,光亮带越宽。

3. 断裂带

图 2-3 中 c 为断裂带,该区域是在断裂分离阶段形成的,由于凸、凹模刃口处产生的微裂纹在拉应力的作用下,不断扩展形成的断裂面。其断面粗糙,具有金属本色,并略带有一定的斜度。

4. 毛刺

图 2-3 中 d 为毛刺,其形成是由于在塑性变形阶段的后期,凸模和凹模的刃口切入被加工板料一定深度时,刃口正面材料被压缩,刃尖部分处于高压状态,使裂纹的起点不会在刃尖处发生,而是在模具侧面距刃尖不远的地方发生。在拉应力的作用下,裂纹延长,材料断裂面产生毛刺。普通冲裁时毛刺不可避免。

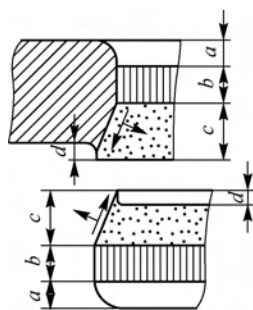


图 2-3 冲裁件的断面特征

2.2 冲裁间隙

2.2.1 冲裁间隙对模具质量的影响

冲裁间隙指凸、凹模刃口尺寸的差值,包括单面间隙和双面间隙(本书中双面间隙用 Z

表示)。冲裁间隙对冲裁件断面质量、冲裁件尺寸精度、模具寿命及冲裁力等有重要影响。

1. 冲裁间隙对冲裁件断面质量的影响

冲裁间隙对冲裁件的断面质量起着决定性的作用。当间隙过大或过小时,上下裂纹便不能重合。如果间隙过小,如图 2-4(a)所示,会使凸模产生的裂纹向外偏移,形成二次剪切,在剪切面上形成了略带锥度的第二个光亮带。由于间隙过小,板料与模具的挤压作用加大,在板料被分离时,冲裁件会出现尖锐的毛刺,使断面质量变差。在具有合理间隙的条件下,冲裁件所产生的初始裂纹将重合,可得到正常的断面质量。如图 2-4(b)所示。间隙过大时,使凸模产生的裂纹向内偏移。冲裁件断面上出现较大的断裂带,光亮带变小,毛刺和锥度增大,断面质量差,如图 2-4(c)所示。



小提示

板料受拉伸、弯曲后剪切断面圆角变大,光亮带变窄,断裂带变宽,锥度增加,冲裁件将产生穹弯。

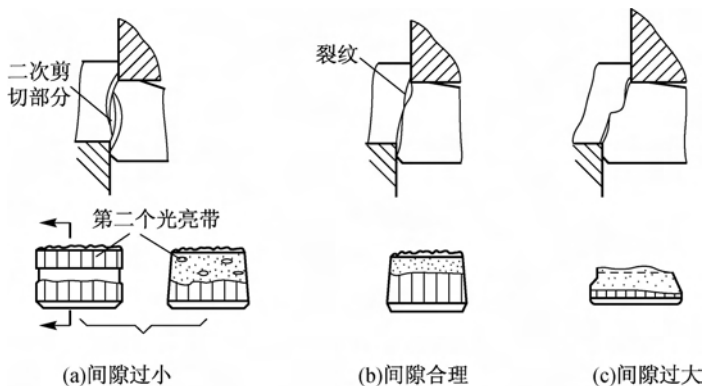


图 2-4 冲裁间隙大小对冲裁件断面质量的影响

2. 冲裁间隙对冲裁件尺寸精度的影响

冲裁间隙对冲裁件精度有很大影响。当间隙适当时,落料的尺寸等于凹模的尺寸,冲孔的尺寸等于凸模的尺寸。如果间隙过大,板料在冲裁过程中除受剪切外还产生较大的拉伸与弯曲变形,冲裁后由于回弹作用,将使冲裁件的尺寸向实体方向收缩。对于落料件,其尺寸小于凹模尺寸;对于冲孔件,其尺寸大于凸模尺寸。如果间隙过小,板料在冲裁过程中除受剪切作用外还会受到较大的挤压作用,同样由于回弹作用,使冲裁件的轮廓向实体的反方向膨胀。对于落料件,其尺寸大于凹模尺寸;对于冲孔件,其尺寸小于凸模尺寸。

3. 冲裁间隙对模具寿命的影响

模具寿命受多种因素的影响,而冲裁间隙是影响模具寿命最主要的因素之一。冲裁过程中,凸模与被冲的孔之间、凹模与落料件之间均有摩擦,而且间隙越小,模具作用的压应力越大,摩擦越严重,因此过小的间隙对模具寿命极为不利;较大的间隙可使凸模侧面与材料之间的摩擦减小,适当大的间隙还可补偿因模具制造和装配精度不够及动态间隙不匀所造成的不足,不至于啃伤刃口,从而提高模具寿命。

4. 冲裁间隙对冲裁力的影响

随着冲裁间隙的增大，材料所受的拉应力增大，材料容易断裂分离，因此冲裁力减小。继续增大间隙，则冲裁力的下降变慢，当单边间隙为材料厚度的 5%~20% 时，冲裁力的降低不超过 5%~10%。

2.2.2 冲裁间隙值的确定

设计模具时，选择一个合理的冲裁间隙，可获得冲裁件断面质量好、尺寸精度高、模具寿命长、冲裁力小的综合效果。确定合理的冲裁间隙通常有理论计算法、查表法及经验确定法。

1. 理论计算法

理论计算法的主要依据是冲裁时板料在凸、凹模刃口处产生的裂纹成直线汇合。如图 2-5 所示为冲裁过程中开始产生裂纹的瞬时状态。根据几何关系，可以得出合理的单面间隙 $Z/2$ 为

$$\frac{Z}{2}=t(1-\frac{b}{t})\tan \beta$$

(2-1)

式中， $Z/2$ 为单面间隙(mm)； t 为材料厚度(mm)； b/t 为相对切入深度； β 为裂纹方向角(°)。 b/t 及 β 的值可以查阅相关设计资料。

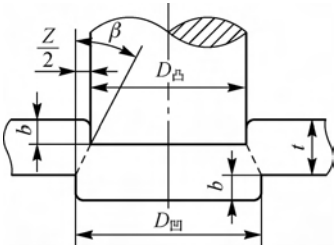


图 2-5 冲裁过程中产生裂纹的瞬时状态

理论计算法在生产中使用不方便，故很少使用。

2. 查表法

在生产实际中，通常利用试验方法得出的数据制成表格来确定合理的间隙值，分别见表 2-1 和表 2-2。

表 2-1 冲裁模初始双面间隙值(汽车、拖拉机行业)

单位:mm

材料厚度 t	08、10、35、09Mn、Q235		16Mn		40、50		65Mn	
	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$
<0.5	极小间隙							
0.5	0.040	0.060	0.040	0.060	0.040	0.060	0.040	0.060
0.6	0.048	0.072	0.048	0.072	0.048	0.072	0.048	0.072
0.7	0.064	0.092	0.064	0.092	0.064	0.092	0.064	0.092
0.8	0.072	0.104	0.072	0.104	0.072	0.104	0.064	0.092

续表

材料厚度 t	08、10、35、09Mn、Q235		16Mn		40、50		65Mn	
	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$	$Z_{\min}$	$Z_{\max}$
0.9	0.090	0.126	0.090	0.126	0.090	0.126	0.090	0.126
1.0	0.100	0.140	0.100	0.140	0.100	0.140	0.090	0.126
1.2	0.126	0.180	0.132	0.180	0.132	0.180	—	—
1.5	0.132	0.240	0.170	0.240	0.170	0.230	—	—
1.75	0.220	0.320	0.220	0.320	0.220	0.320	—	—
2.0	0.246	0.360	0.260	0.380	0.260	0.380	—	—
2.1	0.260	0.380	0.280	0.400	0.280	0.400	—	—
2.5	0.360	0.500	0.380	0.540	0.380	0.540	—	—
2.75	0.400	0.560	0.420	0.600	0.420	0.600	—	—
3.0	0.460	0.640	0.480	0.660	0.480	0.660	—	—
3.5	0.540	0.740	0.580	0.780	0.580	0.780	—	—
4.0	0.640	0.880	0.680	0.920	0.680	0.920	—	—
4.5	0.720	1.000	0.680	0.960	0.780	1.040	—	—
5.5	0.940	1.280	0.780	1.100	0.980	1.320	—	—
6.0	1.080	1.440	0.840	1.200	1.140	1.500	—	—
6.5	—	—	0.940	1.300	—	—	—	—
8.0	—	—	1.200	1.680	—	—	—	—

注:1. 冲裁皮革、石棉和纸板时,间隙取 08 钢的 25%。
2. $Z_{\min}$ 、 $Z_{\max}$ 分别为最小合理双面间隙和最大合理双面间隙。

表 2-2 冲裁模初始双面间隙值(电器、仪表行业) 单位:mm

材料名称		45 T7、T8(退火) 65Mn(退火) 磷青铜(硬) 铍青铜(硬)		10、15、20、30 钢 板、冷轧钢带 H62、H65(硬) 2A12 硅钢片		Q215、Q235 钢板 08、10、15 钢板 H62、H68(半硬) 磷青铜(软) 铍青铜(软)		H62、H68(软) 紫铜(软) 3A21~5A02 硬铝 2A12(退火)		
		≥190		140~190		70~140		≤70		
		≥600		400~600		300~400		≤300		
		Z _{min}		Z _{max}		Z _{min}		Z _{max}		
		Z _{min}		Z _{max}		Z _{min}		Z _{max}		
力学性能	HBW	≥190		140~190		70~140		≤70		
	R _m /MPa	≥600		400~600		300~400		≤300		
	材料厚度 t		Z _{min}		Z _{max}		Z _{min}		Z _{max}	
	0.3		0.040		0.060		0.030		0.050	
	0.5		0.080		0.100		0.060		0.080	
0.8		0.120		0.160		0.100		0.130		
1.0		0.170		0.200		0.130		0.160		
1.2		0.210		0.240		0.160		0.190		

续表

材料名称		45 T7、T8(退火) 65Mn(退火) 磷青铜(硬) 铍青铜(硬)		10、15、20、30 钢 板、冷轧钢带 H62、H65(硬) 2A12 硅钢片		Q215、Q235 钢板 08、10、15 钢板 H62、H68(半硬) 磷青铜(软) 铍青铜(软)		H62、H68(软) 紫铜(软) 3A21~5A02 硬铝 2A12(退火)	
力学性能	HBW	≥190		140~190		70~140		≤70	
	R _m /MPa	≥600		400~600		300~400		≤300	
材料厚度 <i>t</i>		Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}	Z _{min}	Z _{max}
1.5		0.270	0.310	0.210	0.250	0.150	0.190	0.100	0.140
1.8		0.340	0.380	0.270	0.310	0.200	0.240	0.130	0.170
2.0		0.380	0.420	0.300	0.340	0.220	0.260	0.140	0.180
2.5		0.490	0.550	0.390	0.450	0.290	0.350	0.180	0.240
3.0		0.620	0.650	0.490	0.550	0.360	0.420	0.230	0.290
3.5		0.730	0.810	0.580	0.660	0.430	0.510	0.270	0.350
4.0		0.860	0.940	0.680	0.760	0.500	0.580	0.320	0.400
4.5		1.000	1.080	0.780	0.860	0.580	0.660	0.370	0.450
5.0		1.130	1.230	0.900	1.000	0.650	0.750	0.420	0.520
6.0		1.400	1.500	1.000	1.200	0.820	0.920	0.530	0.630
8.0		2.000	2.120	1.600	1.720	1.170	1.290	0.760	0.880

注：*Z*_{min}、*Z*_{max}分别为最小合理双面间隙和最大合理双面间隙。

3. 经验确定法

根据近年来的研究与使用经验,在确定间隙值时要按要求分类选用。对尺寸精度、断面垂直度要求高的制件应选用较小间隙值;对断面垂直度与尺寸精度要求不高的制件,应以降低冲裁力、提高模具寿命为主,可用较大间隙值。

1)软材料

当 $t < 1\text{ mm}$ 时, $Z/2 = (3\% \sim 4\%)t$; 当 $t = 1 \sim 3\text{ mm}$ 时, $Z/2 = (5\% \sim 8\%)t$; 当 $t = 3 \sim 5\text{ mm}$ 时, $Z/2 = (8\% \sim 10\%)t$ 。

2)硬材料

当 $t < 1\text{ mm}$ 时, $Z/2 = (4\% \sim 5\%)t$; 当 $t = 1 \sim 3\text{ mm}$ 时, $Z/2 = (6\% \sim 8\%)t$; 当 $t = 3 \sim 8\text{ mm}$ 时, $Z/2 = (8\% \sim 13\%)t$ 。

2.3 凸、凹模刃口尺寸的确定

2.3.1 凸、凹模刃口尺寸的确定原则

生产实践证明:由于凸、凹模之间存在间隙,使落下的料或冲出的孔都带有锥度,落料件

的大端尺寸等于或接近于凹模刃口尺寸,冲孔件的小端尺寸等于或接近于凸模刃口尺寸,如图 2-6 所示。

在测量与使用中,落料件以大端尺寸为基准,冲孔件以小端尺寸为基准。冲裁时,凸模和凹模要与制件或废料发生摩擦,凸模越磨越小,凹模越磨越大,结果使间隙越来越大。因此在确定模具刃口尺寸及制造公差时,需遵循下述原则:

(1)设计落料模时,凹模刃口基本尺寸应趋向于工件的最小极限尺寸,设计冲孔凸模时其刃口基本尺寸趋向于工件孔的最大极限尺寸。

(2)冲裁中,考虑凸、凹模的磨损,设计落料模时,凹模基本尺寸应取尺寸公差范围内的较小尺寸;设计冲孔模时,凸模基本尺寸则应取工件孔尺寸公差范围内的较大尺寸。以保证凸、凹模磨损一定程度后,仍能冲出合格的制件。凸、凹模间隙应取最小合理间隙值。

(3)凸、凹模刃口尺寸的制造公差,主要取决于冲裁件的精度和形状。一般冲模的制造精度比冲裁件的精度至少高 1~2 级。冲模制造精度与冲裁件精度的关系见表 2-3。若制件未注公差,对于规则形状的制件,冲模可按 IT7~IT6 级精度制造;对于不规则制件,通常按 IT14 级处理,冲模可按 IT11 级制造。冲裁件的尺寸公差应按“入体”原则标注,落料件上偏差为零,下偏差为负值;冲孔件下偏差为零,上偏差为正值。

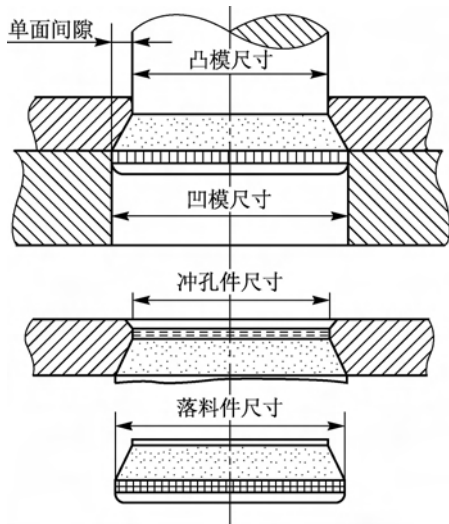


图 2-6 刃口尺寸与冲裁件尺寸关系

表 2-3 冲模制造精度与冲裁件精度

冲模制造 精度	材料厚度 t/mm												
	0.5	0.8	1.0	1.5	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0	12.0
IT7~IT6	IT8	IT8	IT9	IT10	IT10	—	—	—	—				
IT8~IT7	—	IT9	IT10	IT10	IT12	IT12	IT12	—	—				
IT9	—	—	—	IT12	IT12	IT12	IT12	IT12	IT14				

2.3.2 凸、凹模刃口尺寸的计算方法

由于模具的加工和测量方法不同,在进行凸、凹模刃口尺寸计算及标注时,其方法也不同,通常按如下方法进行。

1. 凸、凹模分开加工时的刃口尺寸计算

这种方法适用于圆形或形状简单的制件。采用这种方法时,要分别标注凸模与凹模刃口尺寸与制造公差。同时,为保证一定的间隙,凸、凹模制造公差必须满足下列条件:

$$\delta_{\text{凸}} + \delta_{\text{凹}} \leq Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}} \quad (2-2)$$

式中, $\delta_{\text{凸}}$ 为凸模制造公差(mm); $\delta_{\text{凹}}$ 为凹模制造公差(mm); Z_{max} 为最大合理双面间隙(mm); Z_{min} 为最小合理双面间隙(mm)。

若 $\delta_{\text{凸}} + \delta_{\text{凹}} > Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}}$, 可取 $\delta_{\text{凸}} = 0.4(Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}})$ 、 $\delta_{\text{凹}} = 0.6(Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}})$ 作为凸、凹模的制造公差。

这种方法的计算公式见表 2-4。

表 2-4 凸、凹模分开加工时刃口尺寸和制造公差的计算公式

工序性质	工件尺寸	凸模尺寸	凹模尺寸
落料	D_{-0}^0	$D_{\text{凸}} = (D - x\Delta - Z_{\text{min}})_{-\delta_{\text{凸}}}^0$	$D_{\text{凹}} = (D - x\Delta)_{+0}^{+\delta_{\text{凹}}}$
冲孔	$d_{+0}^{+\Delta}$	$d_{\text{凸}} = (d + x\Delta)_{-\delta_{\text{凸}}}^0$	$d_{\text{凹}} = (d + x\Delta + Z_{\text{min}})_{+0}^{+\delta_{\text{凹}}}$

注：计算时，先将工件尺寸转化成 D_{-0}^0 、 $d_{+0}^{+\Delta}$ 的形式。

表 2-4 中， $D_{\text{凸}}$ 、 $D_{\text{凹}}$ 分别为落料凸、凹模的刃口尺寸 (mm)； $d_{\text{凸}}$ 、 $d_{\text{凹}}$ 分别为冲孔凸、凹模的刃口尺寸 (mm)； D 、 d 分别为落料件外径和冲孔件孔径的基本尺寸 (mm)； $\delta_{\text{凸}}$ 、 $\delta_{\text{凹}}$ 分别为凸、凹模的制造公差 (mm)，一般情况下，凸模按 IT6 级、凹模按 IT7 级制造，也可按表 2-5 选取，或取 $\delta_{\text{凸}} = (1/5 \sim 1/4)\Delta$ ， $\delta_{\text{凹}} = (1/4)\Delta$ ； Δ 为零件 (工件) 的公差 (mm)； Z_{min} 为凸、凹模最小合理双面间隙 (mm)； x 为磨损系数，其值选取见表 2-6。

表 2-5 规则形状 (圆形、方形工件) 冲裁时凸、凹模的制造公差 单位：mm

基本尺寸	$\delta_{\text{凸}}$	$\delta_{\text{凹}}$	基本尺寸	$\delta_{\text{凸}}$	$\delta_{\text{凹}}$
≤ 18	0.020	0.020	180~260	0.030	0.045
18~30	0.020	0.025	260~360	0.035	0.050
30~80	0.020	0.030	360~500	0.040	0.060
80~120	0.025	0.035	>500	0.050	0.070
120~180	0.030	0.040			

表 2-6 磨损系数 x

材料厚度 t/mm	非 圆 形			圆 形	
	1	0.75	0.5	0.75	0.5
	工件公差 Δ/mm				
<1	≤ 0.16	0.17~0.35	≥ 0.36	<0.16	≥ 0.16
1~2	≤ 0.20	0.21~0.41	≥ 0.42	<0.20	≥ 0.20
2~4	≤ 0.24	0.25~0.49	≥ 0.50	<0.24	≥ 0.24
>4	≤ 0.30	0.31~0.59	≥ 0.60	<0.30	≥ 0.30

例 2-1 如图 2-7 所示的垫圈，材料为 08 钢，材料厚度 $t = 3\text{ mm}$ ，试计算凸、凹模刃口尺寸及制造公差。

解 由表 2-1 查得 $Z_{\text{min}} = 0.460\text{ mm}$ ， $Z_{\text{max}} = 0.640\text{ mm}$ 。则有

$$Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}} = (0.640 - 0.460)\text{ mm} = 0.180\text{ mm}$$

(1) 对落料尺寸 $\phi 40.2_{-0.34}^0$ 的凸、凹模制造公差查表 2-5 得

$$\delta_{\text{凸}} = 0.020\text{ mm}, \delta_{\text{凹}} = 0.030\text{ mm}$$

$$\delta_{\text{凸}} + \delta_{\text{凹}} = (0.020 + 0.030)\text{ mm} = 0.050\text{ mm} < Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}} = 0.180\text{ mm}$$

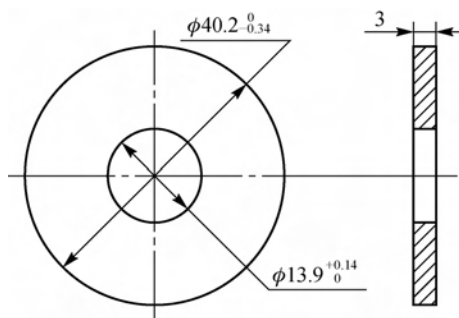


图 2-7 垫圈

尺寸 $\phi 40.2_{-0.34}^0$ 的公差 $\Delta = 0.34$ mm, 由表 2-6 查得 $x = 0.5$, 则凸、凹模刃口尺寸为

$$D_{\text{凹}} = (D - x\Delta)_{+0}^{+\delta_{\text{凹}}} = (40.2 - 0.5 \times 0.34)_{+0}^{+0.030} \text{ mm} = 40.03_{+0}^{+0.030} \text{ mm}$$

$$D_{\text{凸}} = (D - x\Delta - Z_{\text{min}})_{-0}^{0} = (40.2 - 0.5 \times 0.34 - 0.46)_{-0}^{0} \text{ mm} = 39.57_{-0.020}^{0} \text{ mm}$$

(2) 对冲孔尺寸 $\phi 13.9_{+0}^{+0.14}$ 的凸、凹模制造公差查表 2-5 得

$$\delta_{\text{凸}} = 0.020 \text{ mm}, \delta_{\text{凹}} = 0.020 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{凸}} + \delta_{\text{凹}} = (0.020 + 0.020) \text{ mm} = 0.040 \text{ mm} < Z_{\text{max}} - Z_{\text{min}} = 0.180 \text{ mm}$$

尺寸 $\phi 13.9_{+0}^{+0.14}$ 的公差 $\Delta = 0.14$ mm, 由表 2-6 查得 $x = 0.75$, 则凸、凹模刃口尺寸为

$$d_{\text{凸}} = (d + x\Delta)_{-0}^{0} = (13.9 + 0.75 \times 0.14)_{-0}^{0} \text{ mm} = 14.005_{-0.020}^{0} \text{ mm}$$

$$d_{\text{凹}} = (d + x\Delta + Z_{\text{min}})_{+0}^{+\delta_{\text{凹}}} = (13.9 + 0.75 \times 0.14 + 0.46)_{+0}^{+0.020} \text{ mm} = 14.465_{+0}^{+0.020} \text{ mm}$$

2. 凸、凹模配合加工时刃口尺寸的计算

对于冲制复杂零件的模具或单件生产的模具, 其凸、凹模常采用配合加工方法。凸、凹模刃口尺寸的计算, 落料件按凹模磨损后尺寸增大(如图 2-8 所示的 A 类尺寸)、减小(如图 2-8 所示的 B 类尺寸)和不变(如图 2-8 所示的 C 类尺寸)的规律分为 3 种; 冲孔件按凸模磨损后尺寸减小(如图 2-9 所示的 B 类尺寸)、增大(如图 2-9 所示的 A 类尺寸)和不变(如图 2-9 所示的 C 类尺寸)的规律分为 3 种。具体计算公式见表 2-7。

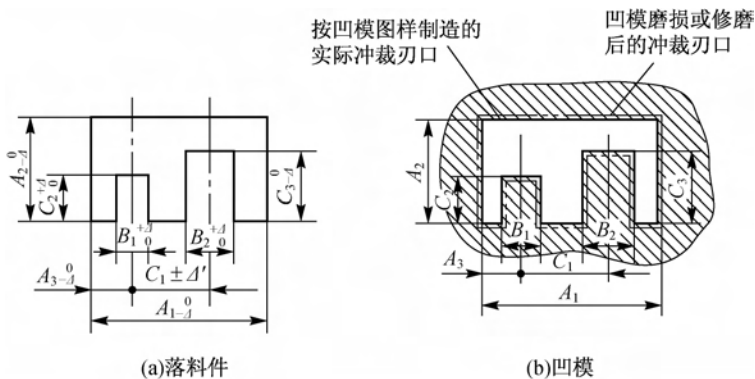


图 2-8 落料件和凹模尺寸

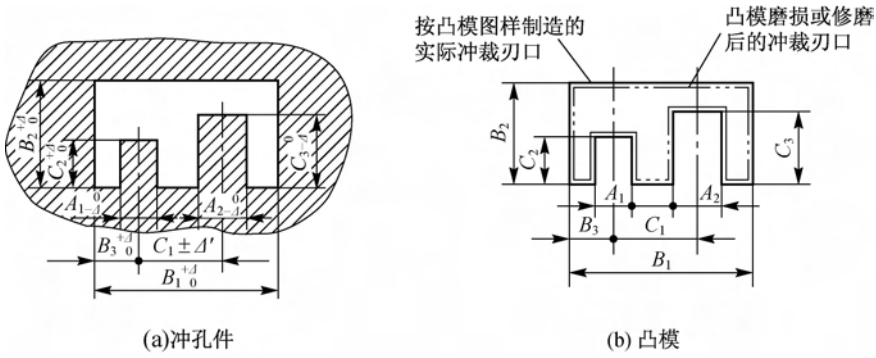


图 2-9 冲孔件和凸模尺寸

表 2-7 凸、凹模配合加工时刃口尺寸和制造公差的计算公式

工序性质	工件尺寸		凸模尺寸	凹模尺寸
落料(见图 2-8)	$A-\overset{0}{\Delta}$		按凹模尺寸配制,其双面间隙 为 $Z_{\max}-Z_{\min}$	$A_{\text{凹}}=(A-x\Delta)^{+0.25\Delta}_0$
	$B+\overset{+}{\Delta}_0$			$B_{\text{凹}}=(B+x\Delta)^{-0}_{-0.25\Delta}$
	C	$C+\overset{+}{\Delta}_0$		$C_{\text{凹}}=(C+0.5\Delta)\pm0.125\Delta$
		$C-\overset{0}{\Delta}$		$C_{\text{凹}}=(C-0.5\Delta)\pm0.125\Delta$
		$C\pm\Delta'$		$C_{\text{凹}}=C\pm0.125\Delta$
冲孔(见图 2-9)	$A-\overset{0}{\Delta}$		$A_{\text{凸}}=(A+x\Delta)^{-0}_{-0.25\Delta}$	按凸模尺寸配制,其双面间隙为 $Z_{\max}-Z_{\min}$
	$B+\overset{+}{\Delta}_0$		$B_{\text{凸}}=(B-x\Delta)^{+0.25\Delta}_0$	
	C	$C+\overset{+}{\Delta}_0$	$C_{\text{凸}}=(C+0.5\Delta)\pm0.125\Delta$	
		$C-\overset{0}{\Delta}$	$C_{\text{凸}}=(C-0.5\Delta)\pm0.125\Delta$	
		$C\pm\Delta'$	$C_{\text{凸}}=C\pm0.125\Delta$	

表 2-7 中, $A_{\text{凸}}$ 、 $B_{\text{凸}}$ 、 $C_{\text{凸}}$ 为凸模刃口尺寸(mm); $A_{\text{凹}}$ 、 $B_{\text{凹}}$ 、 $C_{\text{凹}}$ 为凹模刃口尺寸(mm); A 、 B 、 C 为工件基本尺寸(mm); Δ 为工件的公差(mm); Δ' 为工件的偏差(mm), 对称偏差时, $\Delta' = (1/2)\Delta$; x 为磨损系数, 其值的选取见表 2-6。

例 2-2 冲制变压器铁芯片零件, 材料为 D42 硅钢片, 材料厚度 $t = (0.35 \pm 0.04)$ mm, 尺寸如图 2-10 所示, 确定落料凸、凹模刃口尺寸及制造公差。

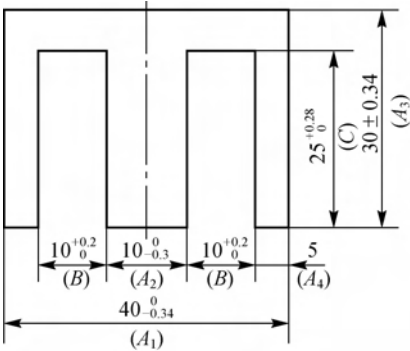


图 2-10 变压器铁芯片

解 由图可知该零件结构较为复杂,采用凸、凹模分开加工。凹模磨损后其尺寸变化有三种情况。

(1)尺寸增大的情况。凹模磨损后尺寸增大的是图中的 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 ,它们的尺寸公差分别为 $\Delta_1=0.34\text{ mm}$ 、 $\Delta_2=0.3\text{ mm}$ 、 $\Delta_3=0.68\text{ mm}$ (由于 A_4 尺寸未注公差,所以 Δ_4 未给出),由表 2-6 查磨损系数 x 分别为 $x_1=0.75$ 、 $x_2=0.75$ 、 $x_3=0.5$ 。

根据表 2-7 中公式得

$$A_{1\text{凹}}=(A_1-x_1\Delta_1)+{}^{+0.25\Delta_1}_0=(40-0.75\times 0.34)+{}^{+0.25\times 0.34}_0\text{ mm}=39.745+{}^{+0.085}_0\text{ mm}$$

$$A_{2\text{凹}}=(A_2-x_2\Delta_2)+{}^{+0.25\Delta_2}_0=(10-0.75\times 0.3)+{}^{+0.25\times 0.3}_0\text{ mm}=9.775+{}^{+0.075}_0\text{ mm}$$

$$A_{3\text{凹}}=(A_3-x_3\Delta_3)+{}^{+0.25\Delta_3}_0=(30.34-0.5\times 0.68)+{}^{+0.25\times 0.68}_0\text{ mm}=30+{}^{+0.17}_0\text{ mm}$$

由于 A_4 未注公差,所以在计算 $A_{4\text{凹}}$ 时,只要确定了 A_1 、 A_2 及 B 的尺寸,即可得出 $A_{4\text{凹}}$ 。

(2)尺寸减小的情况。凹模磨损后尺寸减小的是图中的尺寸 B ,其尺寸公差 $\Delta_B=0.2\text{ mm}$,由表 2-6 查得磨损系数 $x_B=0.75$ 。

按照表 2-7 中公式得

$$B_{\text{凹}}=(B+x_B\Delta_B)-{}^0_{-0.25\Delta_B}=(10+0.75\times 0.2)-{}^0_{-(0.25\times 0.2)}\text{ mm}=10.15-{}^0_{-0.05}\text{ mm}$$

(3)凹模磨损后没有变化的尺寸是 C ,其尺寸公差 $\Delta_C=0.28\text{ mm}$ 。

按照表 2-7 中公式得

$$\begin{aligned} C_{\text{凹}} &= (C+0.5\Delta_C)\pm 0.125\Delta_C = [(25+0.5\times 0.28)\pm 0.125\times 0.28]\text{ mm} \\ &= (25.14\pm 0.035)\text{ mm} \end{aligned}$$

(4)凸模刃口尺寸确定。由材料厚度及材料查表 2-2 得,冲裁合理间隙值取 $Z_{\min}=0.060\text{ mm}$ 、 $Z_{\max}=0.080\text{ mm}$,故所有凸模刃口尺寸按照凹模相应部分的尺寸配制,保证凸、凹模双面间隙为 $0.06\sim 0.08\text{ mm}$ 。

2.4 冲裁力及压力中心的确定

2.4.1 冲裁力的计算

冲裁力是冲裁过程中凸模对板料施加的压力,它是随凸模进入板料的深度(凸模行程)而变化的。



小提示

通常所说的冲裁力是指冲裁力的最大值,它是选用压力机和设计模具的重要依据之一。

平刃口模具冲裁时,其冲裁力 $F_{\text{冲}}$ 一般按下式计算

$$F_{\text{冲}}=KtL\tau \quad (2-3)$$

式中, $F_{\text{冲}}$ 为冲裁力(N); t 为材料厚度(mm); L 为冲裁周边长度(mm); τ 为材料的抗剪强度(MPa); K 为考虑实际生产中模具间隙值的波动和不均匀、刃口的磨损、材料力学性能和材料厚度等因素的影响而给出的修正系数,一般取 $K=1.3$ 。

为了方便计算,也可按下式计算冲裁力

$$F_{\text{冲}} = tLR_{\text{m}}$$

(2-4)

式中, R_{m} 为材料的抗拉强度(MPa),其他符号含义与式(2-3)中相同。

2.4.2 卸料力、推件力和顶件力的计算

冲裁时,工件或废料从凸模上取下来的力称为卸料力,从凹模内将工件或废料顺着冲裁方向推出的力称为推件力,逆着冲裁方向顶出的力称为顶件力,如图 2-11 所示。

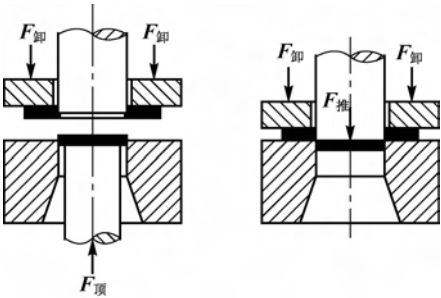


图 2-11 卸料力、推件力和顶件力

影响卸料力、推件力、顶件力的因素很多,生产中常采用经验公式计算。

$$F_{\text{卸}} = K_{\text{卸}} F_{\text{冲}}$$

(2-5)

$$F_{\text{推}} = nK_{\text{推}} F_{\text{冲}}$$

(2-6)

$$F_{\text{顶}} = K_{\text{顶}} F_{\text{冲}}$$

(2-7)

式中, $F_{\text{卸}}$ 、 $F_{\text{推}}$ 、 $F_{\text{顶}}$ 分别为卸料力、推件力和顶件力(N); $K_{\text{卸}}$ 、 $K_{\text{推}}$ 、 $K_{\text{顶}}$ 分别为卸料力系数、推件力系数和顶件力系数,其值见表 2-8; $F_{\text{冲}}$ 为冲裁力(N); n 为同时卡在凹模内的工件(或废料)数目, $n = h/t$ (其中, h 为凹模直刃口高度, t 为材料厚度)。

表 2-8 $K_{\text{卸}}$ 、 $K_{\text{推}}$ 、 $K_{\text{顶}}$ 数值

材料及厚度 t/mm		$K_{\text{卸}}$	$K_{\text{推}}$	$K_{\text{顶}}$
钢	≤ 0.1	0.065~0.075	0.1	0.14
	0.1~0.5	0.045~0.055	0.063	0.08
	0.5~2.5	0.04~0.05	0.055	0.06
	2.5~6.5	0.03~0.04	0.045	0.05
	> 6.5	0.02~0.03	0.025	0.03
铝及铝合金		0.025~0.08	0.03~0.07	
紫铜、黄铜		0.02~0.06	0.03~0.09	

注:卸料力系数 $K_{\text{卸}}$ 在冲多孔、大搭边及轮廓复杂时取上限值。

2.4.3 总冲裁工艺力的计算

冲裁时压力机的公称压力必须大于或等于冲裁工艺力的总和 $F_{\text{总}}$ 。

(1)采用弹性卸料装置和上出料方式的总冲裁工艺力为

$$F_{\text{总}} = F_{\text{冲}} + F_{\text{卸}} + F_{\text{顶}}$$

(2-8)

(2)采用刚性卸料装置和下出料方式的总冲裁工艺力为

$$F_{\text{总}} = F_{\text{冲}} + F_{\text{推}} \quad (2-9)$$

(3) 采用弹性卸料装置和下出料方式的总冲裁工艺力为

$$F_{\text{总}} = F_{\text{冲}} + F_{\text{卸}} + F_{\text{推}} \quad (2-10)$$

(4) 采用弹性卸料装置和刚性出料方式的总冲裁工艺力为

$$F_{\text{总}} = F_{\text{冲}} + F_{\text{卸}} \quad (2-11)$$

2.4.4 降低冲裁力的措施

为实现小设备冲裁大工件或使冲裁过程平稳以减小压力机振动,常采用下列措施降低冲裁力。

1. 凸模的阶梯布置

凸模阶梯布置时由于各凸模工作端面不在同一个平面,各凸模冲裁力的最大值不同时出现,从而达到降低冲裁力的目的,如图 2-12 所示。当凸模直径有较大的差异时,一般把小直径凸模做短一些,高度差 $H = (0.5 \sim 1)t$ (t 为材料厚度, mm)。凸模的阶梯布置会给刃磨造成一定的困难,仅在小批量生产时采用。

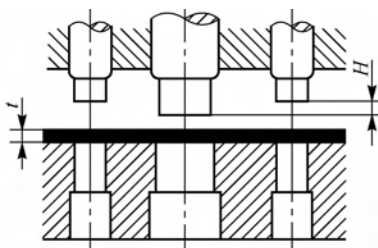


图 2-12 凸模阶梯布置

2. 斜刃冲裁

斜刃是把冲孔凸模或落料凹模的工作刃口制成斜刃,冲裁时刃口不是全部同时切入,而是逐步地将材料分离,能显著降低冲裁力,但斜刃刃口制造和刃磨都比较困难,刃口容易磨损,冲件也不够平整。为了能得到较平整的工件,落料时斜刃做在凹模上,如图 2-13(a)所示;冲孔时斜刃做在凸模上,如图 2-13(b)所示。

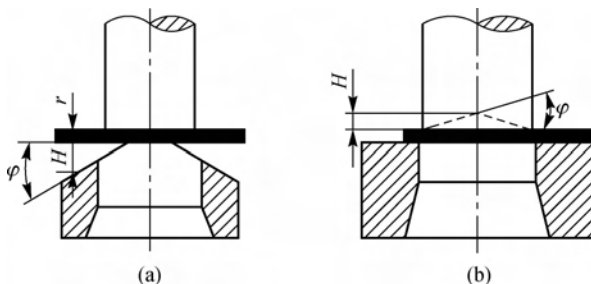


图 2-13 斜刃冲裁

另外,加热冲裁使金属抗剪强度降低,也能降低冲裁力。

2.4.5 冲压模具压力中心的确定

模具压力中心是指冲压时各个冲压力合力的作用点位置。为保证冲裁模正确和平衡地工作，冲裁模的压力中心必须通过模柄轴线并与压力机滑块的中心线相重合，才能减少冲裁模和压力机导轨的磨损，提高模具和压力机的寿命，避免冲压事故。

1. 简单几何形状压力中心的位置

冲裁对称形状工件，其压力中心位于工件轮廓图形的几何中心；冲裁直线段时，其压力中心位于直线段的中心。冲裁圆弧段时，其压力中心的位置如图 2-14 所示，并按下式计算

$$y = \frac{180^\circ R \sin \alpha}{\pi \alpha} = \frac{Rs}{b} \tag{2-12}$$

式中， y 为圆弧重心（即为压力中心的位置）到圆心的距离（mm）； R 为圆弧半径（mm）； α 为圆弧中心半角（°）； b 为弧长（mm）； s 为弦长（mm）。

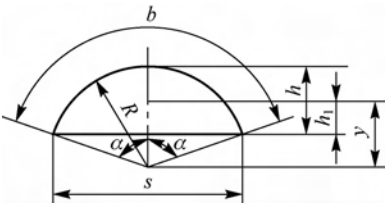


图 2-14 圆弧压力中心

2. 复杂形状压力中心和多凸模冲裁的压力中心

形状复杂零件的压力中心和多凸模冲裁的压力中心可用解析法求解，如图 2-15 所示。

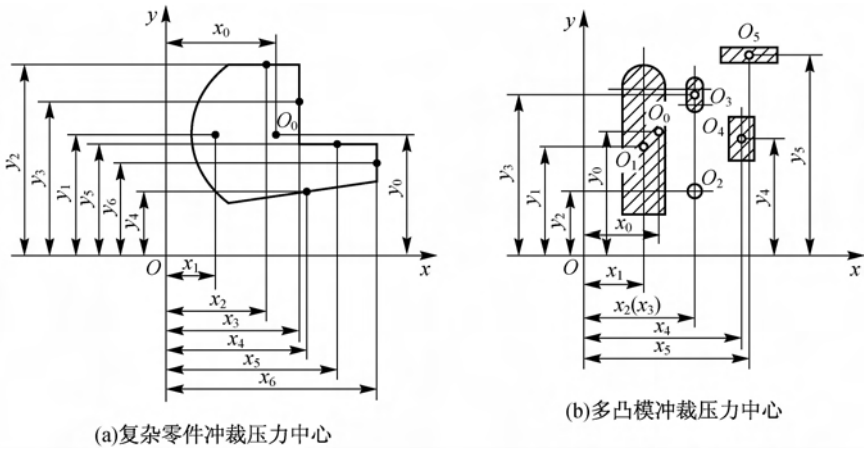


图 2-15 解析法求压力中心

解析法计算的依据是各分力对某坐标轴的力矩之和等于各力的合力对该坐标轴的力矩。求出合力作用点的位置 $O_0(x_0, y_0)$ ，即为所求模具的压力中心，见图 2-15。

计算公式为

$$x_0 = \frac{F_{\text{冲}1}x_1 + F_{\text{冲}2}x_2 + \cdots + F_{\text{冲}n}x_n}{F_{\text{冲}1} + F_{\text{冲}2} + \cdots + F_{\text{冲}n}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{\text{冲}i}x_i}{\sum_{i=1}^n F_{\text{冲}i}} \tag{2-13}$$

$$y_0 = \frac{F_{\text{冲}1}y_1 + F_{\text{冲}2}y_2 + \cdots + F_{\text{冲}n}y_n}{F_{\text{冲}1} + F_{\text{冲}2} + \cdots + F_{\text{冲}n}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{\text{冲}i}y_i}{\sum_{i=1}^n F_{\text{冲}i}} \quad (2-14)$$

因为冲裁力与冲裁周边长度成正比,见式(2-4),所以上两式中的各冲裁力 $F_{\text{冲}1}$ 、 $F_{\text{冲}2}$ 、 $\cdots$ 、 $F_{\text{冲}n}$,可分别用各冲裁周边长度 L_1 、 L_2 、 $\cdots$ 、 L_n 代替,即

$$x_0 = \frac{L_1x_1 + L_2x_2 + \cdots + L_nx_n}{L_1 + L_2 + \cdots + L_n} = \frac{\sum_{i=1}^n L_ix_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (2-15)$$

$$y_0 = \frac{L_1y_1 + L_2y_2 + \cdots + L_ny_n}{L_1 + L_2 + \cdots + L_n} = \frac{\sum_{i=1}^n L_iy_i}{\sum_{i=1}^n L_i} \quad (2-16)$$

例 2-3 冲制如图 2-16(a)所示的工件,求其压力中心。

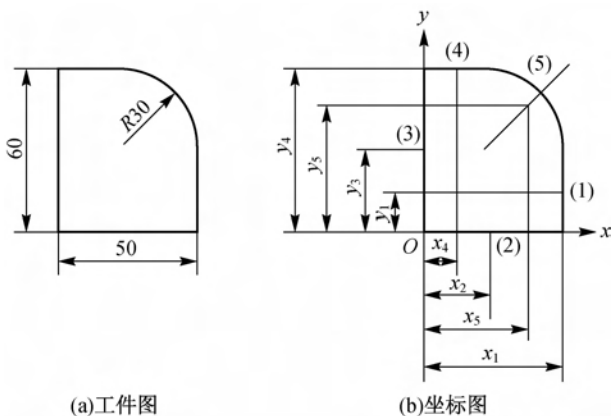


图 2-16 落料件的压力中心

解 将工件轮廓分成如图 2-16(b)所示的 5 段,选坐标轴 xOy 过两直角边(2)和(3),并标注出各段的重心到两坐标轴的距离。

圆弧(5)段重心的坐标,可以根据式(2-12)求得

$$x_5 = [(50 - 30) + \frac{180^\circ \times 30 \times \sin 45^\circ}{3.14 \times 45^\circ} \times \cos 45^\circ] = 39.1$$

$$y_5 = [(60 - 30) + \frac{180^\circ \times 30 \times \sin 45^\circ}{3.14 \times 45^\circ} \times \cos 45^\circ] = 49.1$$

设线段(1)、(2)、(3)、(4)、(5)的长度分别为 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 ,由于第(5)段为圆弧段,其中心坐标已求出,其余 4 段均为直线段,其重心为各自线段的中点位置,则各线段的长度和重心坐标如下:

$$L_1 = 30 \text{ mm}, x_1 = 50, y_1 = 15;$$

$$L_2 = 50 \text{ mm}, x_2 = 25, y_2 = 0;$$

$$L_3 = 60 \text{ mm}, x_3 = 0, y_3 = 30;$$

$$L_4 = 20 \text{ mm}, x_4 = 10, y_4 = 60;$$

$$L_5 = \frac{90^\circ \times 3.14 \times 30}{180^\circ} \text{ mm} = 47.1 \text{ mm}, x_5 = 39.1, y_5 = 49.1。$$

将上述数值代入式(2-15)、式(2-16),可求得工件的压力中心坐标:

$$x_0 = \frac{30 \times 50 + 50 \times 25 + 60 \times 0 + 20 \times 10 + 47.1 \times 39.1}{30 + 50 + 60 + 20 + 47.1} = 23.14$$

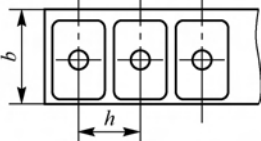
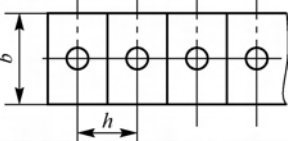
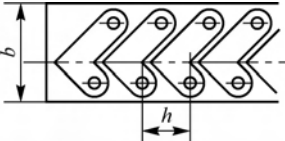
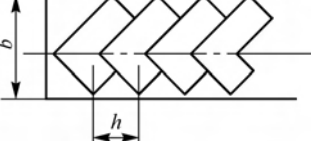
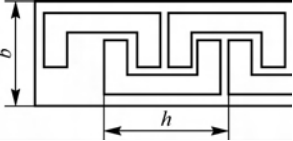
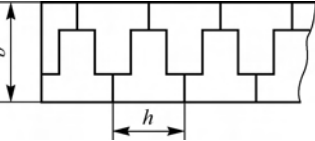
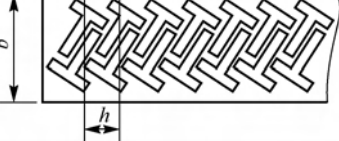
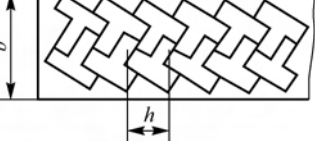
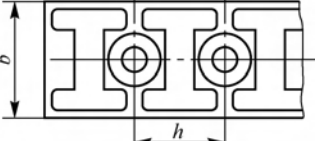
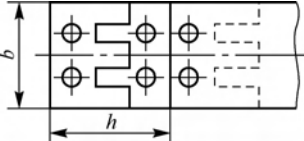
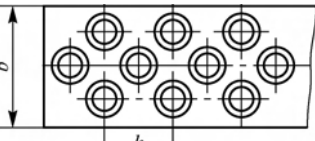
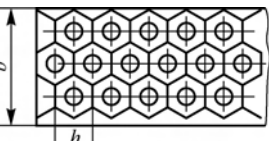
$$y_0 = \frac{30 \times 15 + 50 \times 0 + 60 \times 30 + 20 \times 60 + 47.1 \times 49.1}{30 + 50 + 60 + 20 + 47.1} = 27.83$$

2.5 冲裁件的排样

2.5.1 冲裁件排样的设计

冲裁件在条料或板料上布置的方法称为排样。根据材料的经济利用程度,排样方法可分为有废料、少废料和无废料排样三种。根据工件在条料上的布置形式,可分为直排、斜排、对排、混合排、多行排等形式。几种常见的排样方式见表 2-9。

表 2-9 排样方式

排样方式		有废料排样	少、无废料排样
直排			
斜排			
对排	直对排		
	斜对排		
混合排			
多行排			

2.5.2 搭边和条料宽度的确定

1. 搭边

排样时工件之间以及工件与条料侧边之间留下的工艺余料称为搭边。工件之间的搭边用 a_1 表示，工件与条料侧边之间的搭边用 a 表示。搭边的作用是补偿条料的定位误差，保证冲出合格的工件。搭边还可以保持条料有一定的刚度，便于送料。搭边过大，浪费材料；搭边过小，冲裁时条料容易翘曲或被拉断，不仅会增大工件毛刺，有时还会拉入凸、凹模间隙中损坏刃口，降低模具寿命，并且也影响工件的剪切表面质量。搭边值通常根据经验确定，冲裁时常用的搭边值见表 2-10。

表 2-10 搭边 a 和 a_1 的数值(低碳钢) 单位:mm

材料厚度 t	圆件及圆角 $r>2t$		矩形件边长 $l\leq 50$		矩形件边长 $l>50$ 或 $r\leq 2t$	
	工件间 a_1	侧边 a	工件间 a_1	侧边 a	工件间 a_1	侧边 a
≤ 0.25	1.8	2.0	2.2	2.5	2.8	3.0
0.25~0.5	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5
0.5~0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
0.8~1.2	0.8	1.0	1.2	1.5	1.5	1.8
1.2~1.6	1.0	1.2	1.5	1.8	1.8	2.0
1.6~2.0	1.2	1.5	1.8	2.5	2.0	2.2
2.0~2.5	1.5	1.8	2.0	2.2	2.2	2.5
2.5~3.0	1.8	2.2	2.2	2.5	2.5	2.8
3.0~3.5	2.2	2.5	2.5	2.8	2.8	3.2
3.5~4.0	2.5	2.8	2.5	3.2	3.2	3.5
4.0~5.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5
5.0~12	0.6t	0.7t	0.7t	0.8t	0.8t	0.9t

注：对于其他材料，将表中的数值乘以如下系数：中等硬度钢 0.9，硬钢 0.8，硬黄铜 1~1.1，硬铝 1~1.2，软黄铜、紫铜 1.2，铝 1.3~1.4，非金属 1.5~2。

2. 条料宽度的确定

排样方式和搭边值确定后，条料的宽度和步距就可以设计出来。条料宽度的确定与模具的结构有关。确定的原则是：最小条料宽度要保证冲裁时工件周边有足够的搭边值；最大

条料宽度能在冲裁时顺利地 在导料板之间送进条料,并有一定的间隙。步距是每次将条料送入模具进行冲裁的距离。步距与排样方式有关,是决定挡料销位置的依据。

1)有侧压装置时条料的宽度

有侧压装置的模具,能使条料始终沿基准导料板一侧送料,如图 2-17 所示。因此条料宽度为

$$B=(D+2a)_{-\delta}^0 \tag{2-17}$$

式中, B 为条料宽度的基本尺寸(mm); D 为条料宽度方向零件轮廓的最大尺寸(mm); a 为侧面搭边(mm),其值见表 2-10; δ 为条料下料剪切公差(mm),其值见表 2-11。

表 2-11 剪切公差 δ 及条料与导料板的间隙 c 单位:mm

条料宽度 B	条料厚度 t							
	≤ 1		1~2		2~3		3~5	
	δ	c	δ	c	δ	c	δ	c
≤ 50	0.4	0.1	0.5	0.2	0.7	0.4	0.9	0.6
50~100	0.5	0.1	0.6	0.2	0.8	0.4	1.0	0.6
100~150	0.6	0.2	0.7	0.3	0.9	0.5	1.1	0.7
150~220	0.7	0.2	0.8	0.3	1.0	0.5	1.2	0.7
220~300	0.8	0.3	0.9	0.4	1.1	0.6	1.3	0.8

2)无侧压装置时条料的宽度

无侧压装置的模具,其条料宽度应考虑在送料过程中因条料的摆动而使侧面搭边值减小。为了补偿侧面搭边值的减小部分,条料宽度应增加一个条料可能的摆动量,如图 2-18 所示。故条料的宽度为

$$B=[D+2(a+\delta+c)]_{-\delta}^0 \tag{2-18}$$

式中, c 为条料与导料板的间隙(即条料的可能摆动量)(mm),其值见表 2-11;其余参数含义与式(2-17)相同。

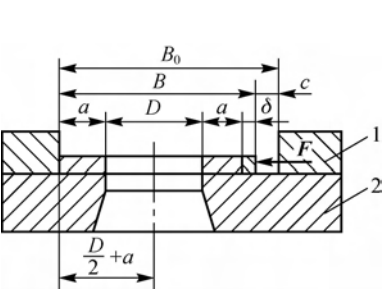


图 2-17 有侧压装置时条料宽度的确定
1—导料板;2—凹模

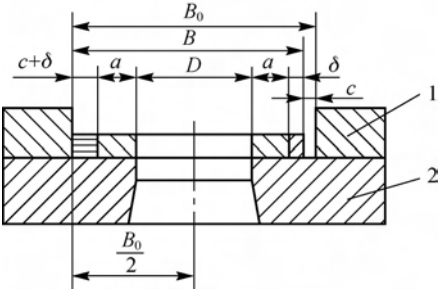


图 2-18 无侧压装置时条料宽度的确定
1—导料板;2—凹模

3)有定距侧刃时条料的宽度

当条料用定距侧刃定位时,条料宽度必须考虑侧刃切去的宽度,如图 2-19 所示。此时

条料的宽度为

$$B = (B_2 + nb) = (D + 2a + nb) - {}^0_{-s} \quad (2-19)$$

导料板之间的距离为

$$B_{01} = B + c, B_{02} = B_2 + y = D + 2a + y \quad (2-20)$$

式中, B_2 为前后两侧刃间宽度(mm); b 为侧刃余料(mm), 金属材料取 $1 \sim 2.5$ mm, 非金属材料取 $1.5 \sim 4$ mm(薄材料取小值, 厚材料取大值); n 为侧刃个数; B_{01} 为前侧刃导料板之间的距离(mm); B_{02} 为后侧刃导料板间距离(mm); y 为侧刃冲切后条料与导料板之间的间隙(mm), 常取 $0.1 \sim 0.2$ mm(薄材料取小值, 厚材料取大值)。

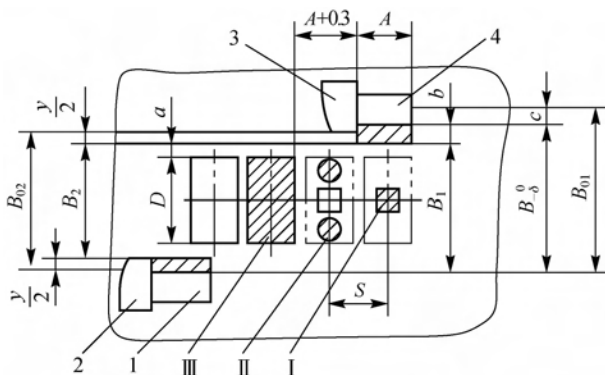


图 2-19 有定距侧刃时条料宽度的确定

I — 冲方孔; II — 冲圆孔; III — 落料

1 — 后侧刃; 2 — 后侧刃挡块; 3 — 前侧刃挡块; 4 — 前侧刃

2.5.3 材料利用率计算

衡量材料经济利用性的指标是材料的利用率。

一个步距内材料的利用率 η 为

$$\eta = \frac{nA}{BS} \times 100\% \quad (2-21)$$

式中, A 为冲裁件面积(包括内形结构废料)(mm^2); n 为一个步距内冲裁件数目; B 为条料宽度(mm); S 为步距(mm), 即相邻两工件对应点之间的距离。

一张板料上总的材料利用率 $\eta_{\text{总}}$ 为

$$\eta_{\text{总}} = \frac{NA}{LW} \times 100\% \quad (2-22)$$

式中, A 为冲裁件面积(包括内形结构废料)(mm^2); N 为一张板料上冲裁件总数目; W 为板料宽度(mm); L 为板料长度(mm)。

2.5.4 排样图

在确定条料宽度后, 还要选择板料规格, 并确定裁板方法(纵向裁板或横向裁板)。在裁板时还要同时考虑材料的利用率、纤维方向、操作方便等因素。当条料长度确定后, 就可以绘出排样图。如图 2-20 所示排样图, 图中主要参数含义如下: B 为条料宽度(mm), L 为条

料长度(mm), l 为工件中心与条料边界的距离(mm), t 为材料厚度(mm), S 为步距(mm), a_1 为工件间搭边(mm), a 为工件与条料侧面搭边(mm)。

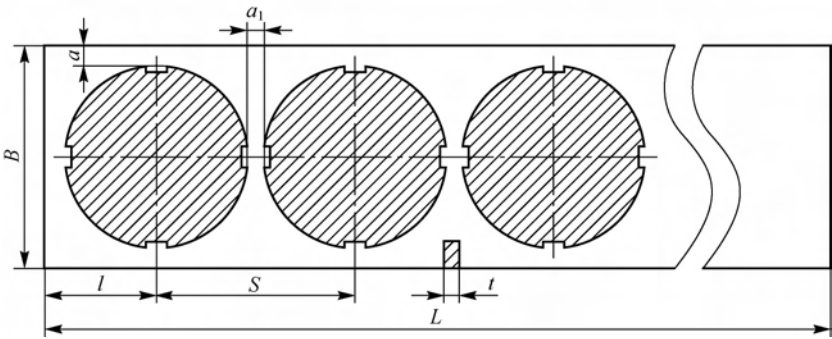


图 2-20 电机定子落料排样图

2.6 冲裁工艺设计

2.6.1 冲裁件的工艺性分析

冲裁件的工艺性是指冲裁件的冲压工艺适应性,即冲裁件的结构、形状、尺寸及公差等技术要求是否符合冲裁加工的工艺要求。良好的冲裁工艺性应能满足材料利用率高、工序数目较少、模具寿命高及加工容易、产品质量稳定等要求。

1. 冲裁件结构工艺性

1) 最小圆角半径

冲裁件的最小圆角半径允许值见表 2-12。如果是少、无废料排样冲裁或采用镶拼模具时,可不要求冲裁件有圆角。

表 2-12 冲裁件最小圆角半径

工 序	连接角度	黄铜、紫铜、铝	软 钢	合 金 钢
落料	$\geq 90^\circ$	$0.18t$	$0.25t$	$0.35t$
	$< 90^\circ$	$0.35t$	$0.50t$	$0.70t$
冲孔	$\geq 90^\circ$	$0.20t$	$0.30t$	$0.45t$
	$< 90^\circ$	$0.40t$	$0.60t$	$0.90t$

注: t 为材料厚度(mm)。

2) 冲裁件孔的最小尺寸

冲裁件上孔的尺寸受到凸模强度的限制,不能太小,冲孔的最小尺寸见表 2-13。

表 2-13 冲孔的最小尺寸

材 料	自由凸模冲孔		精密导向凸模冲孔	
	圆形孔	矩形孔	圆形孔	矩形孔
硬钢	$1.3t$	$1.0t$	$0.5t$	$0.4t$
软钢、黄铜	$1.0t$	$0.7t$	$0.35t$	$0.3t$
铝	$0.8t$	$0.5t$	$0.3t$	$0.28t$
酚醛层压布、纸板	$0.4t$	$0.35t$	$0.3t$	$0.25t$

注： t 为材料厚度 (mm)。

3) 最小孔距、孔边距

冲裁件孔与孔之间、孔与零件边缘之间的壁厚如图 2-21 所示，因受模具强度和零件质量的限制，其值不能太小。



请注意

一般要求 $c \geq 1.5t, c' \geq t$ (c 为方形孔之间及方形孔与零件边缘的距离， c' 为圆形孔之间及圆形孔与零件边缘的距离)。若在弯曲或拉深件上冲孔，冲孔位置与件壁间距满足如图 2-22 所示尺寸关系 (t 为材料厚度)。

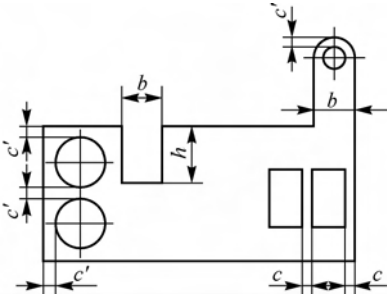


图 2-21 冲裁件的结构工艺性图

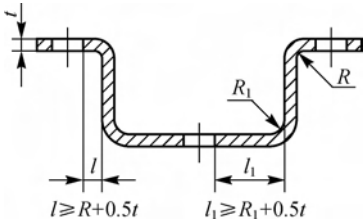


图 2-22 弯曲件的冲孔位置

4) 冲裁件上的悬臂和凹槽部分尺寸

如图 2-23 所示的 b 为冲裁件上悬臂和凹槽部分的宽度，它根据冲裁材料不同而不同。冲裁件材料为高碳钢时， $b \geq 2t$ ；冲裁件材料为黄铜、紫铜、铝、软钢等时， $b \geq 1.5t$ (t 为材料厚度)。

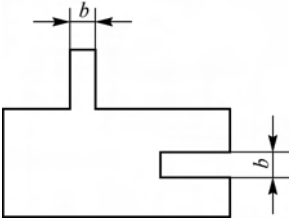


图 2-23 冲裁件的悬臂和凹模部分尺寸

2. 冲裁件的尺寸精度和断面的表面粗糙度

1) 尺寸精度

冲裁件的尺寸精度一般不超过 IT11 级，最高可达 IT10~IT8 级，冲孔比落料的尺寸精度高一级。冲裁件的外形与内孔尺寸公差、孔中心距公差分别见表 2-14 和表 2-15。

表 2-14 冲裁件外形与内孔尺寸公差

单位: mm

材料厚度 t	一般精度的冲裁件				较高精度的冲裁件			
	冲裁件尺寸(工件尺寸)							
	<10	10~50	50~150	150~300	<10	10~50	50~150	150~300
0.2~0.5	0.08/0.05	0.10/0.08	0.14/0.12	0.20	0.025/0.02	0.03/0.04	0.05/0.08	0.08
0.5~1	0.12/0.05	0.16/0.08	0.22/0.12	0.30	0.03/0.02	0.04/0.04	0.06/0.08	0.10
1~2	0.18/0.06	0.22/0.10	0.30/0.16	0.50	0.04/0.03	0.06/0.06	0.08/0.10	0.12
2~4	0.24/0.08	0.28/0.12	0.40/0.20	0.70	0.06/0.04	0.08/0.08	0.10/0.12	0.15
4~6	0.30/0.10	0.35/0.15	0.50/0.25	1.0	0.10/0.06	0.12/0.10	0.15/0.15	0.20

注:表中分子为外形尺寸公差,分母为内孔尺寸公差;一般精度的冲裁件采用 IT8~IT7 级精度的冲裁模,较高精度的冲裁件采用 IT7~IT6 级精度的冲裁模。

表 2-15 冲裁件孔中心距公差

单位: mm

材料厚度 t	一般精度的冲裁件			较高精度的冲裁件		
	孔中心距基本尺寸					
	<50	50~150	150~300	<50	50~150	150~300
<1	± 0.10	± 0.15	± 0.20	± 0.03	± 0.05	± 0.08
1~2	± 0.12	± 0.20	± 0.30	± 0.04	± 0.06	± 0.10
2~4	± 0.15	± 0.25	± 0.35	± 0.06	± 0.08	± 0.12
4~6	± 0.20	± 0.30	± 0.40	± 0.08	± 0.10	± 0.15

2)断面的表面粗糙度

冲裁件断面的表面粗糙度见表 2-16。

表 2-16 冲裁件断面的表面粗糙度

材料厚度 t/mm	≤1	1~2	2~3	3~4	4~5
表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	3.2	6.3	12.5	25	50

2.6.2 冲裁工艺方案的确定

在冲裁工艺分析的基础上,根据冲裁件的特点确定冲裁工艺方案。冲裁工艺方案可分为单工序冲裁、复合冲裁和级进冲裁。



小提示

单工序冲裁是在压力机一次行程中,由单一工序模具完成的冲压;复合冲裁是在压力机一次行程中,在模具的同一个工作位置同时完成多个工序的冲压;级进冲裁是把冲裁件的若干个冲压工序排列成一定的顺序,在压力机一次行程中条料在冲模的不同工序位置上,分别完成工件所要求的工序,并且在完成所有工序后,以后每次冲压都可以得到一个完整的冲裁件。组合(复合冲裁、级进冲裁)的冲裁工序比单工序冲裁生产效率高,获得的工件精度更高。

1. 冲裁工序组合

冲裁组合方式的确定应根据下列因素决定。

1) 生产批量

小批量生产采用单工序冲裁,中批和大批量生产采用复合冲裁或级进冲裁。

2) 工件尺寸公差等级

复合冲裁得到工件的尺寸公差等级较高,因为避免了多次冲压所造成的定位误差,而且工件较平整。级进冲裁得到工件的尺寸公差等级较复合冲裁低。

3) 工件尺寸、形状的适应性

工件尺寸较小时,常采用复合冲裁或级进冲裁,因为单工序冲裁下料不方便且生产率较低。中等尺寸的工件,常采用复合冲裁,因为若用单工序冲裁,需要制造多副模具,价格较复合冲裁模昂贵。

4) 模具制造、安装调试和成本

复杂形状的工件,常采用复合冲裁,因为此时复合冲裁比级进冲裁的模具制造、安装调试较容易、成本较低。

5) 操作方便和安全

复合冲裁的取件或清除废料困难,工作安全性较差;级进冲裁较安全。

综上所述,对于某个工件可以确定多个工艺方案。但必须对这些方案进行比较,选择在满足工件质量与生产率的条件下,模具成本低、寿命长、操作方便又安全的最佳工艺方案。

2. 冲裁顺序的安排

1) 多工序工件用单工序冲裁时的顺序安排

(1) 先落料使毛坯与条料分离,再冲孔或冲缺口。

(2) 冲裁大小相同,相距较近的孔时,为减少孔的变形,应先冲大孔,后冲小孔。

2) 级进冲裁的顺序安排

(1) 先冲孔或切口,最后落料或切断,将工件与条料分离。

(2) 采用定距侧刃时,定距侧刃切边工序安排与首次冲孔同时进行,以便控制送料步距。

2.7 冲裁模的分类及典型结构

2.7.1 冲裁模的分类

冲裁模的结构形式很多,可按不同的特征进行分类:

(1) 按工序性质可分为落料模、冲孔模、切断模、切口模、切边模和剖切模等。

(2) 按工序组合方式可分为单工序模、复合模和级进模。

(3) 按上、下模的导向方式可分为无导向的开式模和有导向的导板模、导柱模和导筒模等。

(4) 按凸、凹模的材料可分为硬质合金冲模、橡皮冲模、锌基合金冲模和聚氨酯橡胶冲模等。

(5) 按凸、凹模的结构和布置方式可分为整体模和镶拼模、正装模和倒装模。

(6)按自动化程度可分为手动操作模、半自动模和自动模。

2.7.2 冲裁模的典型结构

1. 单工序冲裁模

单工序冲裁模是指在压力机一次行程内只能完成一个冲压工序的冲裁模,简称为单工序模。如落料模、冲孔模、切断模、切口模、切边模等。下面对其典型模具结构进行介绍。

1) 落料模

(1)无导向敞开式落料模,如图 2-24 所示。其特点是上、下模无导向,结构简单,制造容易,冲裁间隙由冲床滑块的导向精度决定。常用于材料厚度较厚、精度较低的小批量冲裁件。

(2)导板式落料模,如图 2-25 所示。凸模与导板(又是固定卸料板)间选用 H7/h6 的间隙配合,且该间隙小于冲裁间隙。上模回程时不允许凸模离开导板,以保证对凸模的导向作用。该模具冲裁精度较高,模具寿命较长,但模具制造较困难,常用于加工材料厚度大于 0.3 mm 的简单冲压件。

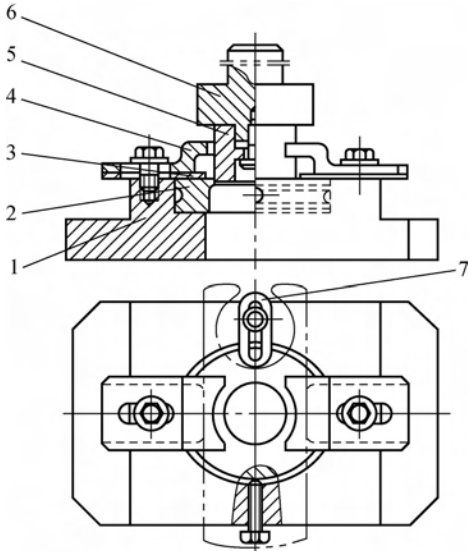


图 2-24 无导向敞开式落料模

1—下模座; 2—凹模; 3—导料板; 4—卸料板;
5—凸模; 6—模柄; 7—定位板

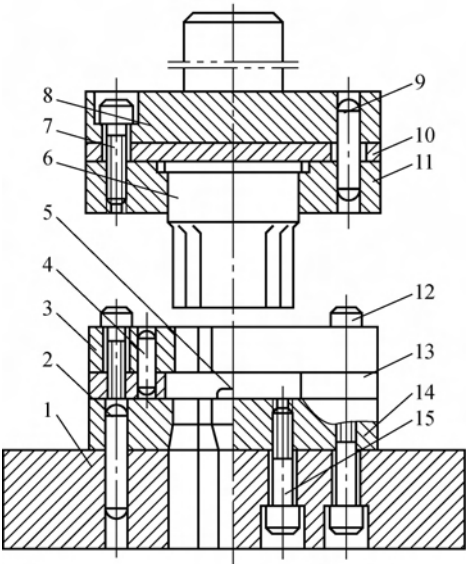


图 2-25 导板式落料模

1—下模座; 2、4、9—销; 3—导板; 5—挡料销; 6—凸模; 7、12、15—螺钉;
8—上模座; 10—垫板; 11—凸模固定板; 13—导料板; 14—凹模

(3)导柱式落料模,如图 2-26 所示。上、下模依靠导柱导套导向,间隙容易保证,并且该模具采用弹压卸料板和弹压顶出结构,冲裁时材料被上下压紧完成分离。零件变形小,平整度高。这种结构广泛用于材料厚度较小,并且有平面度要求的金属件和易于分层的非金属

件仲裁。

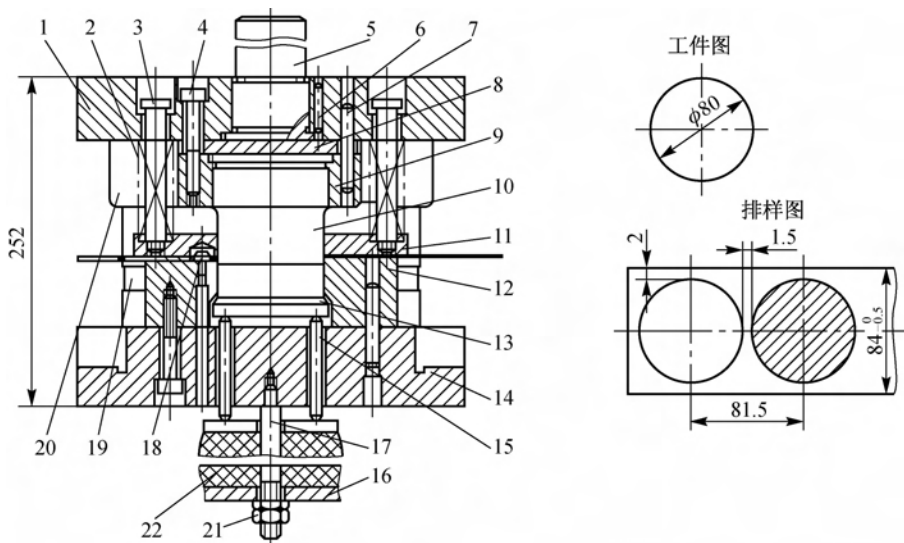


图 2-26 导柱式落料模

1—上模座；2—卸料弹簧；3—卸料螺钉；4、17—螺钉；5—模柄；6—防转销；7—销；8—垫板；
9—凸模固定板；10—落料凸模；11—卸料板；12—落料凹模；13—顶件板；14—下模座；
15—顶杆；16—托板；18—固定挡料销；19—导柱；20—导套；21—螺母；22—橡皮

2) 冲孔模

(1)单工序导柱式倒装冲孔模,如图 2-27 所示。凹模 9 位于上模,凸模 3 位于下模,该种结构为倒装式。在凸、凹模进行冲裁前,由于橡胶 4、14 的弹力作用,卸料板与凹模先压住条料,上模继续下压时进行冲裁分离,此时橡胶被压缩。上模回程时,橡胶 4 推动卸料板把箍在凸模上的工件卸下,在顶块 7 和橡胶 14 弹力的作用下,将凹模 9 中的废料顶出。由于工件材料厚度较薄,故该模具上、下采用弹性卸料装置,除卸料作用外,还保证冲孔零件的平整,提高零件质量。

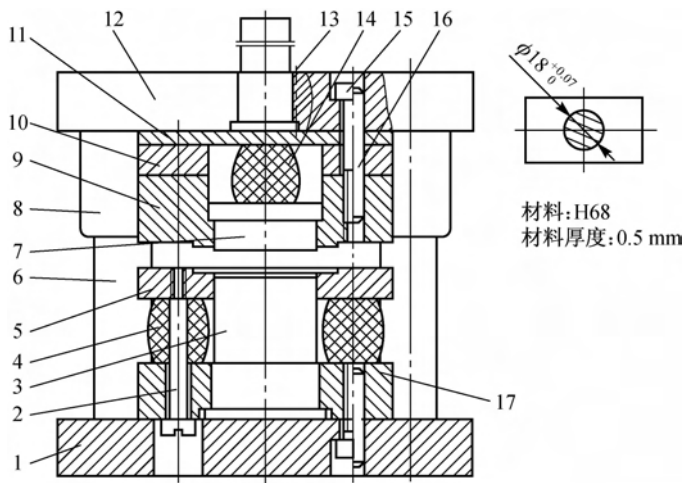


图 2-27 单工序导柱式倒装冲孔模

1—下模座; 2—卸料螺钉; 3—凸模; 4、14—橡胶; 5—卸料板; 6—导柱; 7—顶块; 8—导套; 9—凹模;
10—支承块; 11—垫板; 12—上模座; 13—止动销; 15—内六角螺钉; 16—圆柱销; 17—凸模固定板

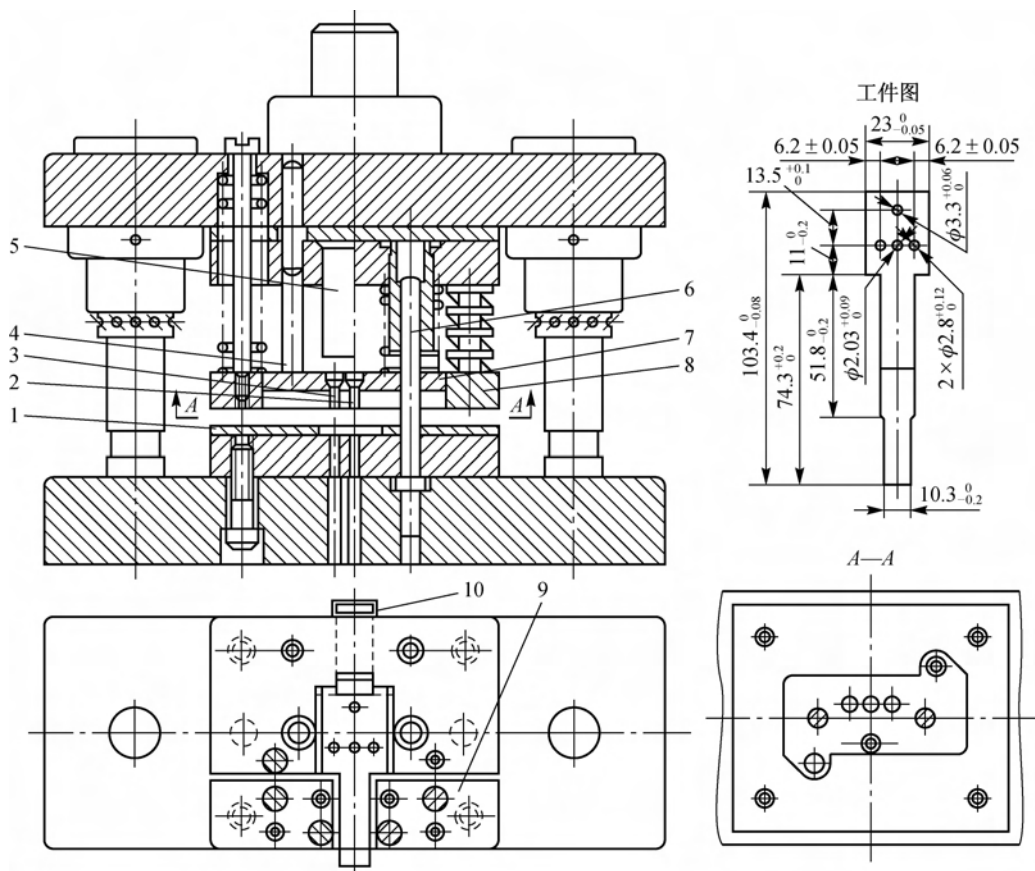


图 2-29 小孔冲模

1、9—定位板；2、3、4—凸模；5—冲击块；6—小导柱；7—小压板；8—大压板；10—后侧压块

2. 复合冲裁模

在压力机的一次工作行程中,在模具的同一部位同时完成多道工序的冲压模具,称为复合冲裁模(简称复合模)。如图 2-30 所示为复合模的基本结构,其主要特征是有一个凸凹模,该凸凹模在落料时起到落料凸模作用,冲内孔时起到冲孔凹模作用。由于落料凹模常装在下模,该结构称为正装复合模(或顺装复合模);若落料凹模装在上模,则称为倒装复合模。

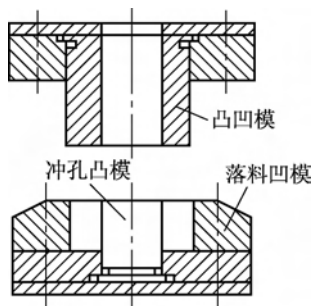


图 2-30 复合模基本结构

1) 正装复合模

如图 2-31 所示为正装落料冲孔复合模。凸凹模 10 位于上模,落料凹模 7 和冲孔凸模 5 位于下模。冲裁工作时,条料以导料销 18 和挡料销 19 定位。上模下压,凸凹模 10 和落料凹模 7 进行落料,落料件卡在落料凹模 7 中,同时冲孔凸模 5 进行冲孔,冲孔废料卡在凸凹模 10 的内孔内。卡在凹模 7 中的冲裁件由顶件装置顶出,顶件装置由带肩顶杆 1 和顶件块 6 及装在下模座底下的弹顶器组成(图中未画出)。卡在凸凹模 10 内孔中的冲孔废料由推件装置(推杆 9 和打杆 15 组成)推出。当上模上行至上止点时将废料推出,落料边料由弹压卸料装置卸下。

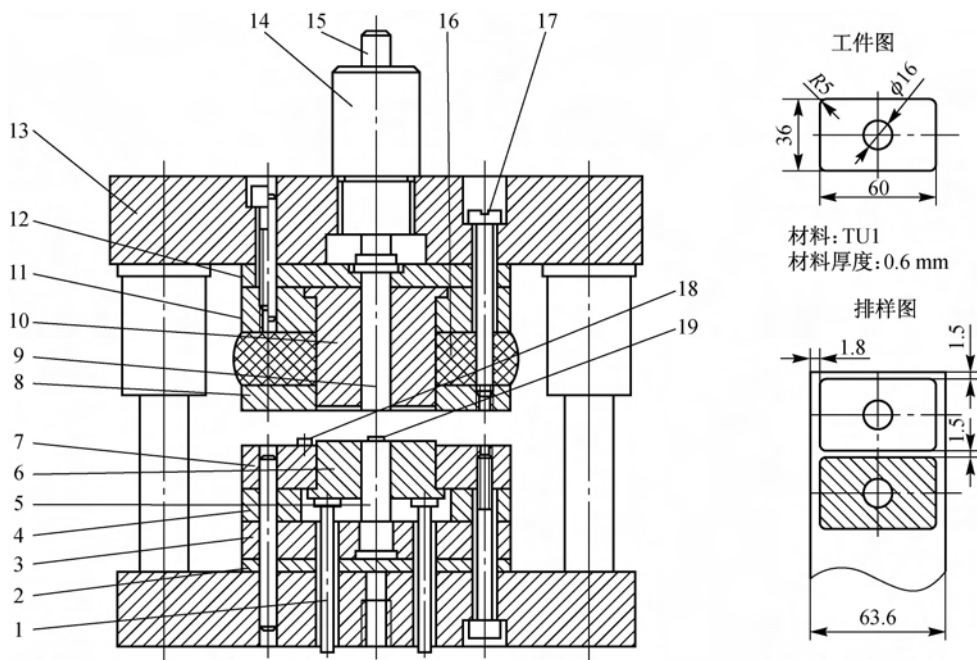


图 2-31 正装落料冲孔复合模

- 1—带肩顶杆; 2、4、12—垫板; 3—凸模固定板; 5—冲孔凸模; 6—顶件块; 7—落料凹模;
8—卸料板; 9—推杆; 10—凸凹模; 11—凸凹模固定板; 13—上模座; 14—模柄;
15—打杆; 16—橡胶; 17—卸料螺钉; 18—导料销; 19—挡料销

2) 倒装复合模

如图 2-32 所示为倒装落料冲孔复合模。落料凹模 16 位于上模,17 为冲孔凸模,4 为凸凹模。倒装复合模一般采用刚性推件装置把卡在凹模中的工件推出。刚性推件装置由推杆 11、推块 10、推销 9 及推件块 8 组成。冲孔废料可直接由凸模 17 从凸凹模 4 内孔中推出。



小提示

倒装复合模的设计要注意凸凹模的最小壁厚,当凸凹模壁厚较薄时,易导致凸凹模胀裂。最小壁厚的设计可查阅有关设计资料。

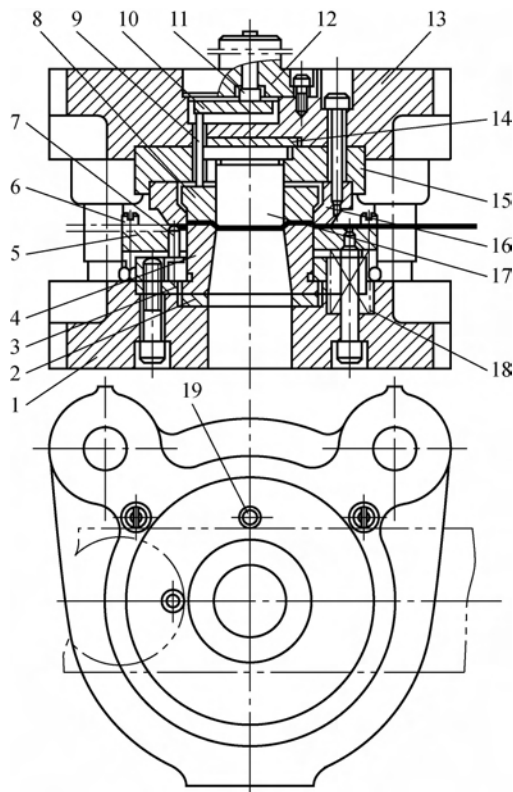


图 2-32 倒装落料冲孔复合模

- 1—下模座；2、14—垫板；3—上模固定板；4—凸凹模；5—卸料板；6—固定挡料销；
7、19—活动挡料销；8—推件块；9—推销；10—推块；11—推杆；12—模柄；
13—上模座；15—下模固定板；16—凹模；
17—凸模；18—弹簧

3. 级进冲裁模

级进冲裁模简称为级进模，又称为连续模、跳步模，是指压力机在一次行程中，依次在模具几个不同位置上同时完成多道冲压工序的模具。整个工件的成形是在级进过程中逐步完成的。级进成形属于工序集中的工艺方法，可使切边、切口、切槽、冲孔、塑性成形、落料等多种工序在一副模具上完成。级进模可分为普通级进模和精密级进模，本节主要介绍普通级进模。

1) 用导正销定距的级进模

如图 2-33 所示为用导正销定距的落料冲孔级进模。上、下模用导板导向。冲孔凸模 4 与落料凸模 3 之间的距离就是送料步距 S 。材料送进时，为了保证首件的正确定距，使用挡料销首次定位冲两个小孔；第二个工位由固定挡料销 1 进行初定位，由两个装在落料凸模上的导正销 2 进行精定位。始用挡料装置安装在导板下的导料板中间。在条料冲制首件时，用手推始用挡料销 7，使它从导料板中伸出抵住条料的前端即可冲第一个工件上的两孔。以后各次冲裁由固定挡料销 1 控制送料步距作初定位。



请注意

导正销与落料凸模的配合为 $H7/r6$, 其连接应保证在修磨凸模时的拆装方便。导正销头部的形状应有利于在导正时插入已冲的孔, 它与孔的配合应略有间隙。

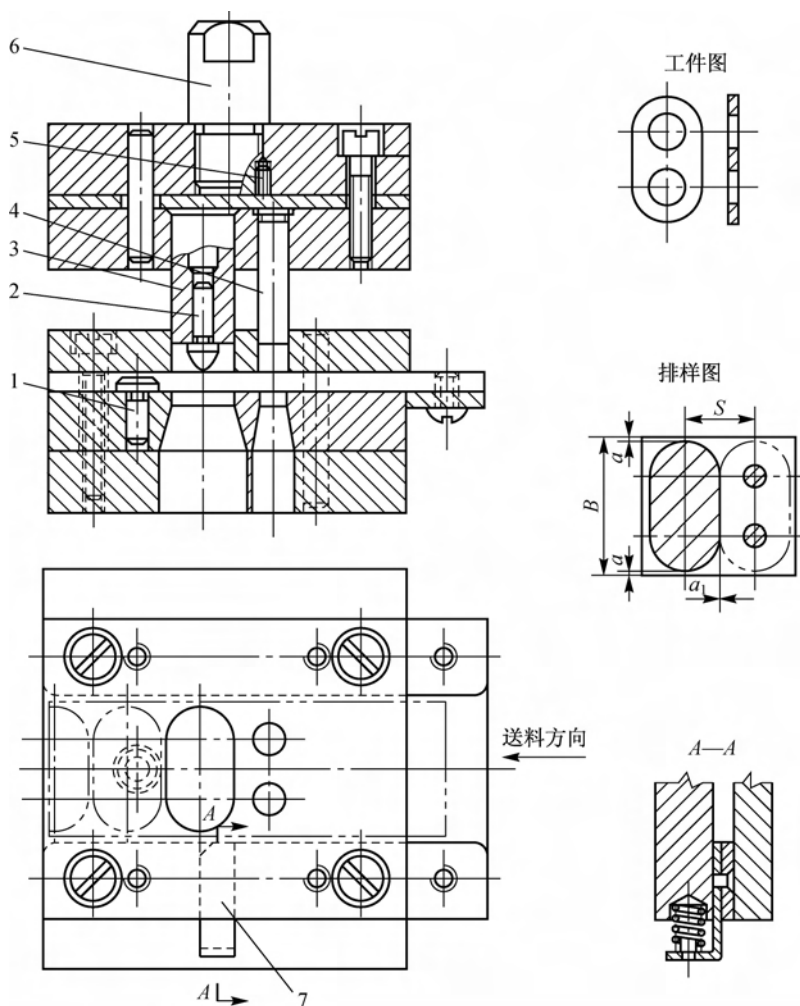


图 2-33 用导正销定距的落料冲孔级进模

1—固定挡料销；2—导正销；3—落料凸模；4—冲孔凸模；
5—螺钉；6—模柄；7—始用挡料销

用导正销定距结构简单, 当两定位孔间距较大时, 定位也较精确, 但它的使用受到一定的限制。若材料厚度 $t < 0.3 \text{ mm}$ 或较软的材料, 导正时孔边可能有变形, 因而不宜采用。

2) 用侧刃定距的级进模

如图 2-34 所示为双侧刃定距的落料冲孔级进模。它用成形侧刃 12 代替始用挡料销、挡料钉和导正销。用弹压卸料板 7 代替了固定卸料板。本模具采用前后双侧刃对角排列, 可使料尾的全部零件冲下。弹压卸料板 7 装于上模, 用卸料螺钉 6 与上模座连接。它的作用是当上模下降、凸模冲裁时, 弹簧 11 被压缩实现压料; 当凸模回程时, 弹簧回复推动卸料

器等)。

2. 结构零件

这类零件不直接参与完成工艺过程,也不和毛坯直接发生作用,包括导向零件(导柱、导套、导板、导筒等)、支承零件(模柄、模座、垫板、固定板等)、紧固零件(螺钉、销、键等)和其他零件(弹簧、橡胶、传动零件等)。

2.8.2 凸模及其组件的结构设计

1. 凸模的结构形式

凸模的结构形式是由冲裁件的形状、尺寸及冲模的加工工艺和装配工艺等条件决定的。其结构有整体式、镶拼式、阶梯式、直通式和带护套式等;其截面形状有圆形和非圆形;固定方法有台肩固定、铆接固定、直接用螺钉和销固定、黏结剂浇注法固定等。



小提示

对于圆形凸模国家已制定了标准的结构形状与尺寸规格,如图 2-35 所示,设计时可按国家标准选择。

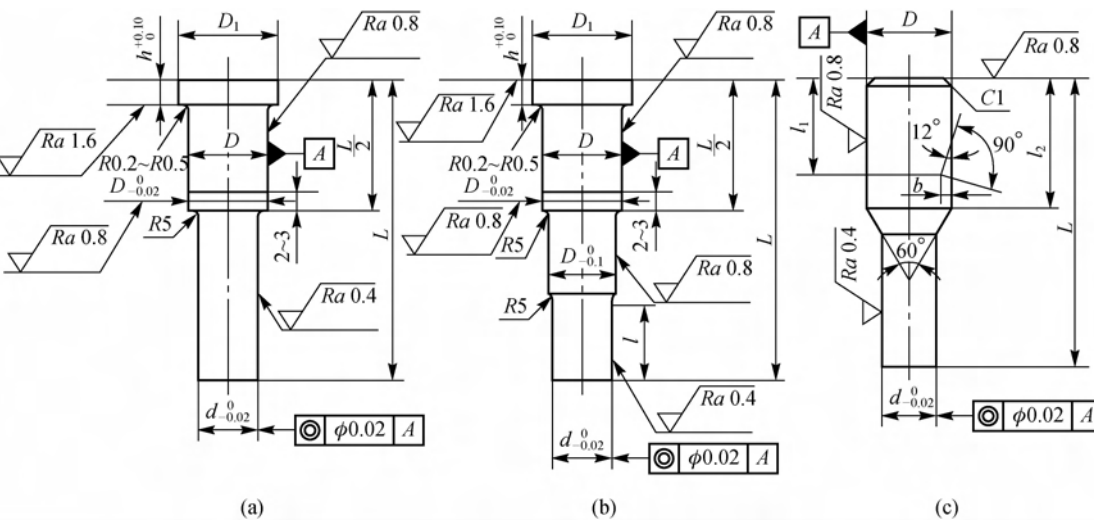


图 2-35 标准圆形凸模

2. 凸模长度的确定

凸模长度应根据模具结构的需要来确定。

当采用固定卸料板和导料板时,如图 2-36(a)所示,凸模长度 L 为

$$L=h_1+h_2+h_3+(15\sim 20) \tag{2-23}$$

当采用弹压卸料板时,如图 2-36(b)所示,凸模长度 L 为

$$L=h_1+h_2+t+(15\sim 20) \tag{2-24}$$

式中, L 为凸模长度(mm); h_1 、 h_2 、 h_3 、 t 分别为凸模固定板、卸料板、导料板、板料的厚度(mm)。



小提示

15~20 mm 为附加长度,包括凸模的修磨量、凸模进入凹模的深度及凸模固定板与卸料板间的安全距离。

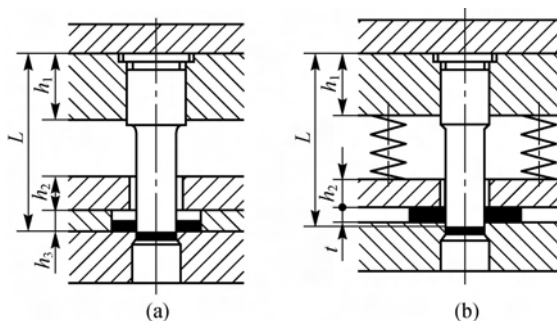


图 2-36 凸模长度的确定

3. 凸模技术要求及材料

凸模刃口要求有较高的耐磨性,并能承受冲裁时的冲击力,因此应有高的硬度与适当的韧性。形状简单、模具寿命要求不高的凸模可选用 T8A、T10A 等材料;形状复杂且模具有较高寿命要求的凸模可选用 Cr12、Cr12MoV、CrWMn 等材料,硬度取 58~62 HRC;要求高寿命、高耐磨性的凸模可选用硬质合金材料。

4. 凸模承载能力和抗失稳弯曲能力校核

在一般情况下,凸模的强度和刚度是足够的,不必进行强度校核。但对特别细长的凸模或截面尺寸很小而冲压板料较厚的凸模,必须进行承压能力和抗失稳弯曲能力的校核,以保证凸模设计的安全。

1) 凸模承载能力校核

凸模最小断面承受的压应力 σ 必须小于凸模材料的许用压力 $[\sigma]$,即

$$\sigma = \frac{F}{A_{\min}} \leq [\sigma] \quad (2-25)$$

对于非圆形凸模有

$$A_{\min} \geq \frac{F}{[\sigma]} \quad (2-26)$$

对于圆形凸模有

$$d_{\min} \geq \frac{4t\tau}{[\sigma]} \quad (2-27)$$

式中, σ 为凸模最小断面的压应力(MPa); F 为凸模纵向总压力(N); $A_{\min}$ 为凸模最小截面积(mm^2); t 为冲裁材料厚度(mm); τ 为冲裁材料的抗剪强度(MPa); $[\sigma]$ 为凸模材料的许用压应力(MPa)。

2) 凸模抗失稳弯曲能力校核

凸模在轴向压力(冲裁力)的作用下,不产生失稳的弯曲极限长度 $L_{\max}$ 与凸模的导向方式有关,如图 2-37 所示为有导向和无导向装置的凸模结构示意图。

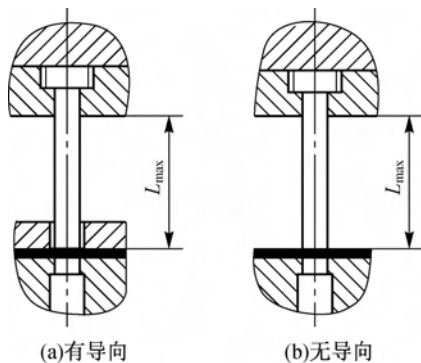


图 2-37 有、无导向装置的凸模结构

卸料板对凸模起导向作用的,见图 2-37(a),其凸模不发生失稳弯曲的极限长度 $L_{\max}$ 的计算如下:

对于圆形截面的凸模

$$L_{\max} \leq \frac{270d^2}{\sqrt{F_{\text{冲}}}} \quad (2-28)$$

对于非圆形截面凸模

$$L_{\max} \leq 1200 \sqrt{\frac{I}{F_{\text{冲}}}} \quad (2-29)$$

对于无卸料板和卸料板对凸模不起导向作用的,见图 2-37(b),其凸模不发生失稳弯曲的极限长度 $L_{\max}$ 的计算如下:

对于圆形截面的凸模

$$L_{\max} \leq \frac{95d^2}{\sqrt{F_{\text{冲}}}} \quad (2-30)$$

对于非圆形截面凸模

$$L_{\max} \leq 425 \sqrt{\frac{I}{F_{\text{冲}}}} \quad (2-31)$$

式中, $L_{\max}$ 为允许的凸模最大自由度(mm); d 为凸模的最小直径(mm); I 为凸模最小截面的惯性矩(mm^4)。

2.8.3 凹模的结构设计

1. 凹模刃口形式

常用凹模刃口形式如图 2-38 所示。其中图 2-38(a)、(b)、(c)为直通式刃口,其特点是制造方便,刃口强度高,刃磨后工作部分尺寸不变,广泛用于冲裁公差要求较小、形状复杂的精密制件。但因废料(或制件)的聚集而增大了推件力和凹模的胀裂力,给凸、凹模的强度都带来不利影响。图 2-38(d)、(e)为锥筒式刃口,在凹模内不聚集材料,侧壁磨损小、但刃口强度差,刃磨后刃口的径向尺寸略有增大。



小提示

凹模锥角 α 、后角 β 和刃口高度 h 均随制件材料厚度 t 的增加而增大,一般取 $\alpha=15' \sim 30'$ 、 $\beta=2^\circ \sim 3^\circ$ 、 $h=4 \sim 10 \text{ mm}$ 。

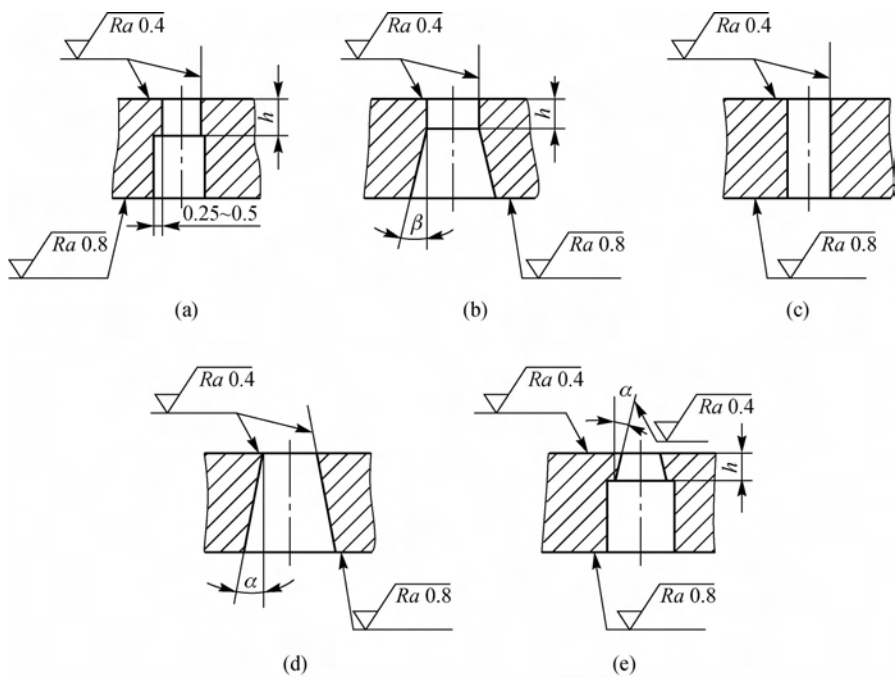


图 2-38 常用凹模刃口形式

2. 凹模的外形尺寸

凹模外形一般有矩形和圆形两种。凹模的外形尺寸应保证有足够的强度、刚度和修磨量。凹模的外形尺寸一般根据冲压材料厚度及冲裁件的最大外形尺寸确定,如图 2-39 所示。

凹模厚度 H 为

$$H=Kb \quad (\geq 15 \text{ mm}) \quad (2-32)$$

凹模壁厚 c 为

$$c=(1.5\sim 2)H \quad (\geq 30 \text{ mm}) \quad (2-33)$$

式中, b 为冲裁件的最大外形尺寸(mm); K 为系数,其值见表 2-17。

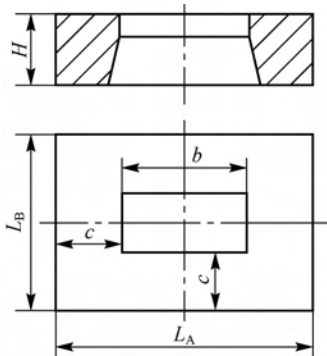


图 2-39 凹模的外形尺寸

表 2-17 系数 K 的值

b/mm	材料厚度 t/mm				
	0.5	1	2	3	>3
≤ 50	0.3	0.35	0.42	0.5	0.6
50~100	0.2	0.22	0.28	0.35	0.42
100~200	0.15	0.18	0.2	0.24	0.3
>200	0.1	0.12	0.15	0.18	0.22

根据凹模壁厚即可算出其相应凹模外形尺寸,然后可在冷冲模国家标准手册中选取标准值。

3. 凹模的固定方法

凹模一般采用螺钉和销固定。螺钉和销的数量、规格及它们的位置可根据凹模的大小,在标准的典型组合中查得。位置可根据结构需要做适当调整。螺孔、销孔之间及它们到模板边缘的尺寸,应满足有关设计要求。

4. 凹模技术要求与材料

凹模材料的选择一般与凸模一样,但热处理后的硬度应略高于凸模,一般取 60~64 HRC。凹模型孔轴线应与凹模顶面保持垂直,上、下平面应保持平行,型孔的表面粗糙度为 $Ra\ 0.8\sim0.4\ \mu\text{m}$ 。

2.8.4 定位零件的设计

为保证条料的正确送进及在模具中的正确位置,条料在模具送料平面中必须有两个方向的限位。一是在与条料宽度方向上的限位,保证条料沿正确的方向送进,称为送进导向;二是在送料方向上的限位,控制条料一次送进的距离(步距),称为送料步距。

由于条料形状和模具结构的不同,所以定位零件的种类很多。选择定位方式及定位零件时,应满足条料形状、模具结构、冲裁件精度和生产效率等要求。

1. 送进导向的定位零件

常见的送进导向的定位零件有导料销、导料板、侧压板等。

导料销导向定位多用于单工序模和复合模中,图 2-31 就是利用导料销 18 来控制送料方向及步距的实例。导料板一般设在条料两侧,其结构有两种:一种是标准结构,如图 2-40(a)所示,它与卸料板(或导板)分开制造;另一种是与卸料板制成整体结构,如图 2-40(b)所示。为了保证送料精度,使条料仅靠一侧的导料板送进,可采用侧压装置。如图 2-41 所示为常用的几种侧压装置结构。

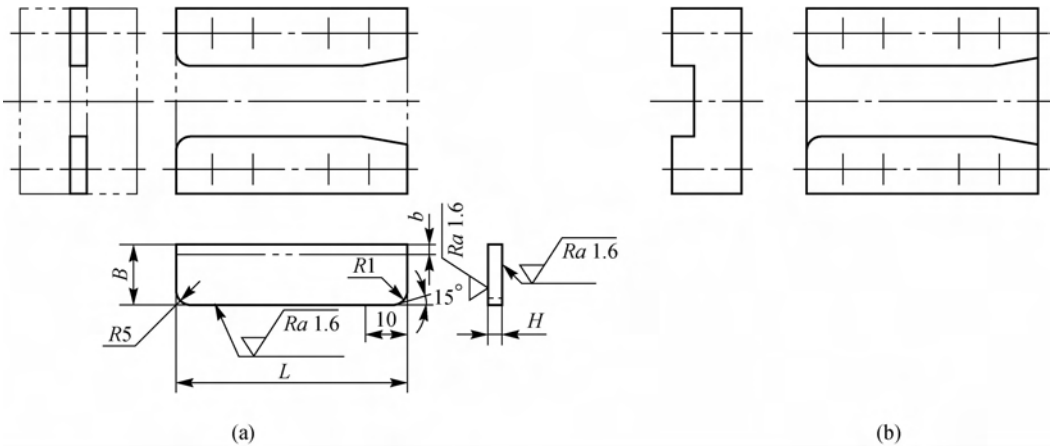


图 2-40 导料板结构

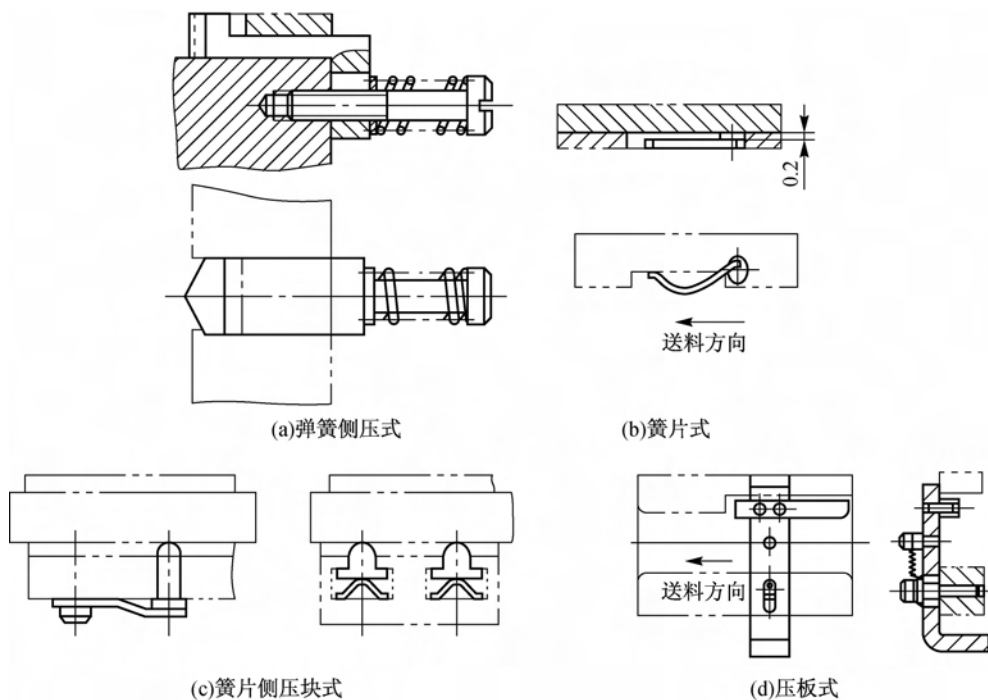


图 2-41 常用的几种侧压装置结构

2. 送料步距的定位零件

常见的送料步距的定位零件有挡料销、导正销和侧刃等。

常见的挡料销有固定挡料销、活动挡料销和始用挡料销三种形式。固定挡料销安装在凹模上,用来控制送料步距,特点是结构简单,制造方便,但安装孔可能会造成凹模强度的削弱,常用的有圆形和钩形挡料销,如图 2-42 所示。当凹模安装在上模座时,挡料销只能设置在位于下模的卸料板上,此时若在卸料板上安装固定挡料销,因凹模上要开设挡料销的让位会削弱凹模的强度,这时应采用活动挡料销。因此活动挡料销常用在倒装复合模中,其常见结构如图 2-43 所示。始用挡料销常用于级进模中的初始定位,开始冲裁时,将挡料销向里压紧,作为确定条料的准确位置用,如图 2-44 所示。

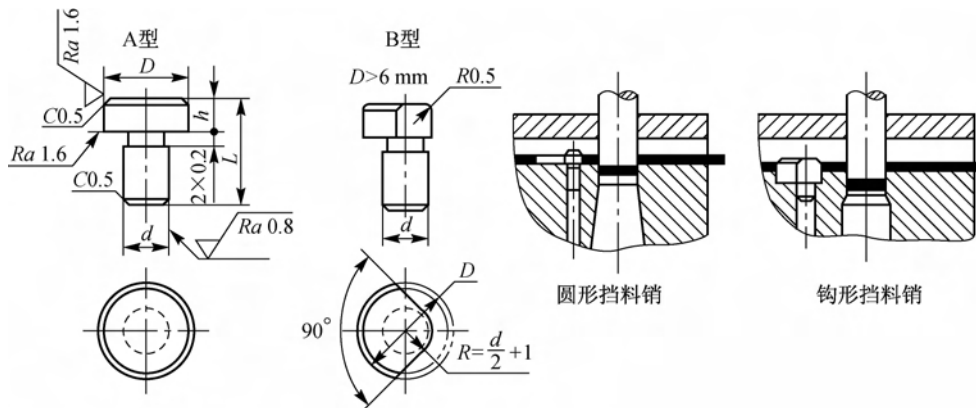


图 2-42 固定挡料销

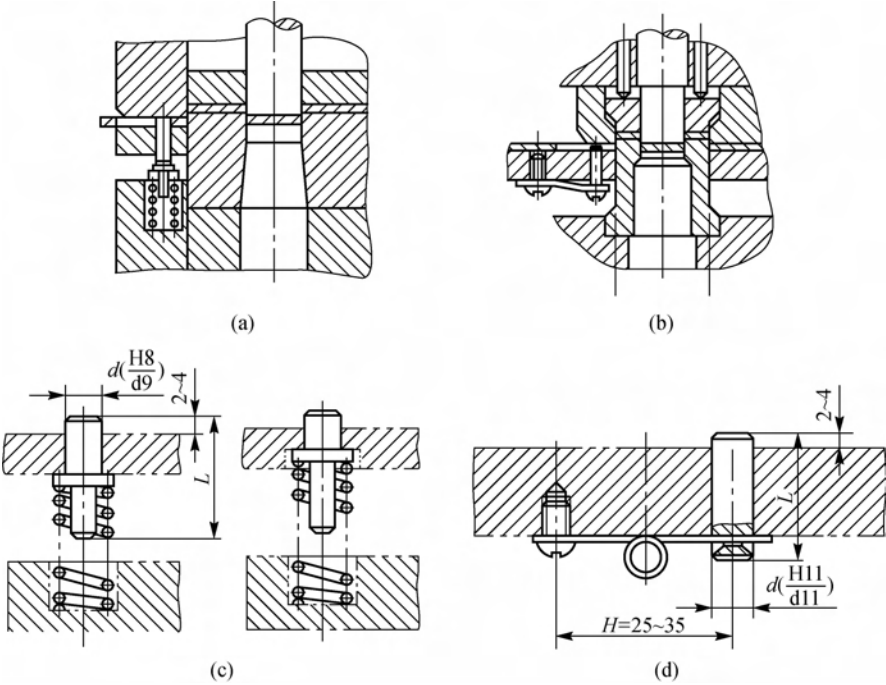


图 2-43 活动挡料销

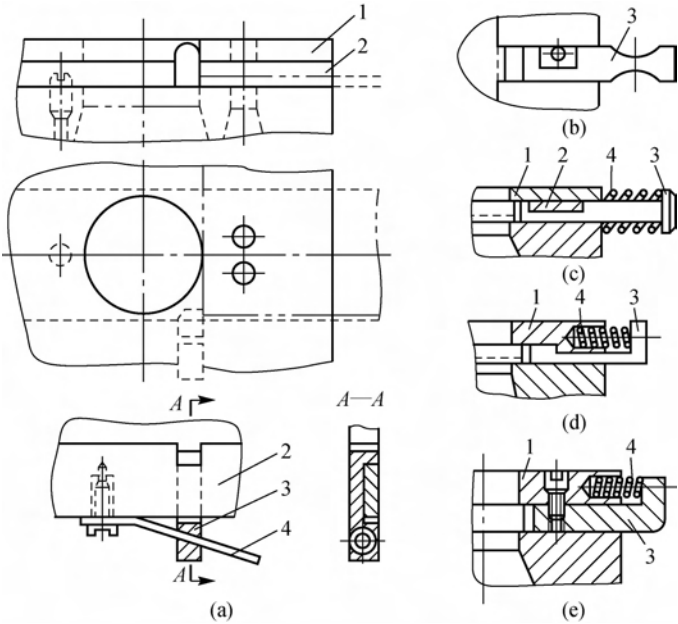
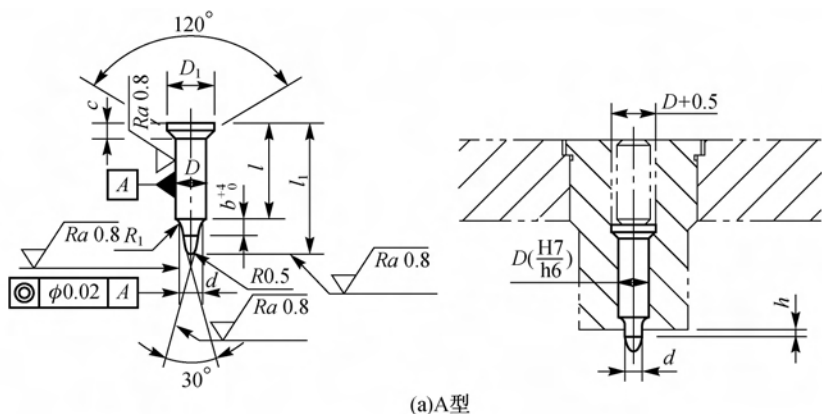


图 2-44 始用挡料销

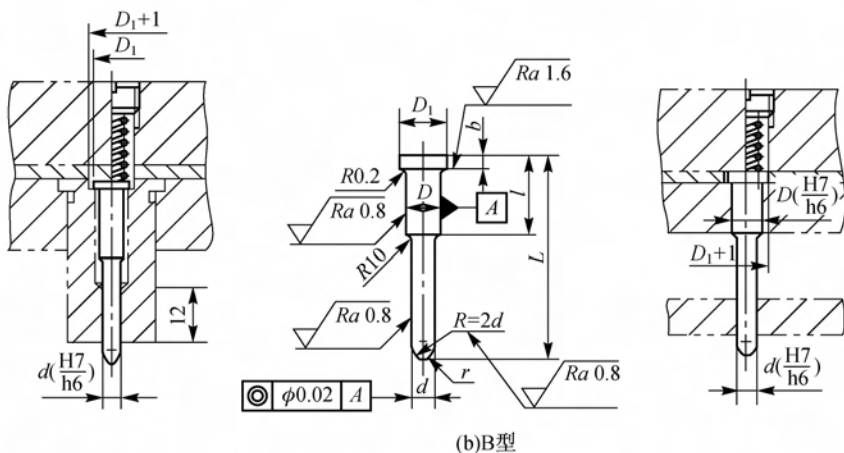
1—固定卸料板；2—导料板；3—始用挡块；4—簧片

导正销通常与挡料销配合使用在级进模中,以减小定位误差,保证孔与外形的相对位置尺寸要求。导正销的头部分直线与圆弧两部分,直线部分 h 不宜过大,一般取 $h=(0.5\sim1)t$ 。

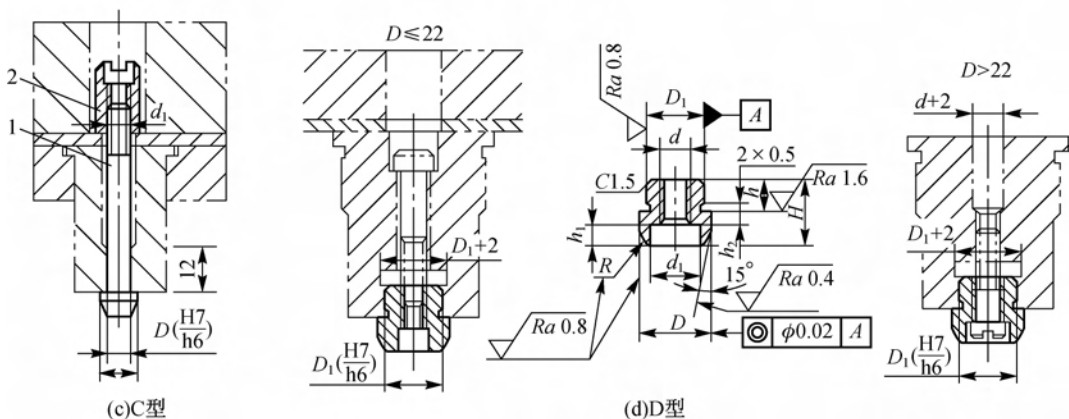
导正销与导正销孔之间有 $0.04 \sim 0.20 \text{ mm}$ 的间隙,设计时需视零件精度而定,一般取 H7/h6 配合。导正销的标准结构形式如图 2-45 所示。



(a)A型



(b)B型



(d)D型

图 2-45 导正销的标准结构形式

1—导正部分；2—带台肩螺母

在级进模中,为了限定条料送进距离,在条料侧边冲切出一定尺寸缺口的凸模,称为侧刃。侧刃定位精度高且可靠,一般用于薄料、定距精度和生产率要求高的情况。如图 2-46 所示为几种常用的侧刃结构,其中 I 型为无导向部分的侧刃,II 型为有导向部分的侧刃,这

两类侧刃又可根据刃口形状分为 A 型(矩形侧刃)、B 型(成型侧刃)、C 型(成型侧刃)多种。

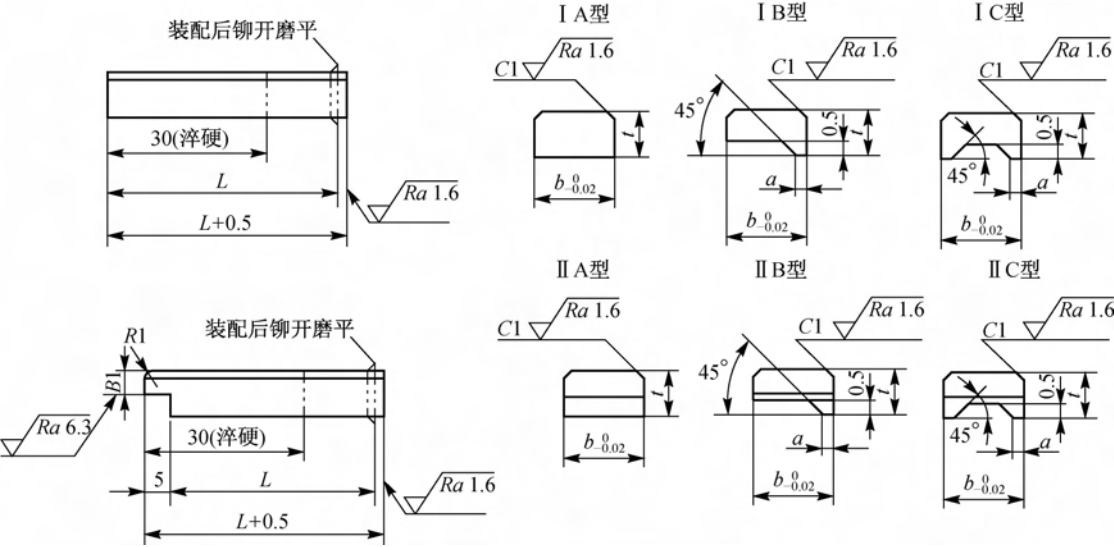


图 2-46 侧刃

3. 毛坯的定位零件

定位板和定位销是用作单个毛坯的定位装置,以保证前后工序相对位置精度或对工件内孔与外缘的位置精度的要求。如图 2-47 所示为毛坯外缘定位用的定位板和定位销。如图 2-48 所示为毛坯内孔定位用的定位板和定位销。

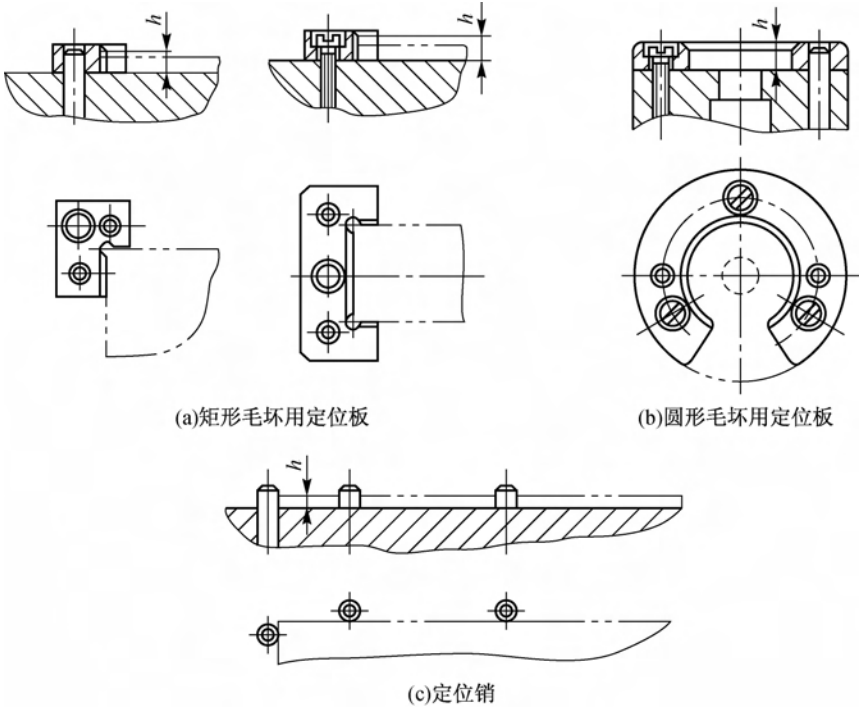


图 2-47 定位板和定位销(毛坯外缘定位)

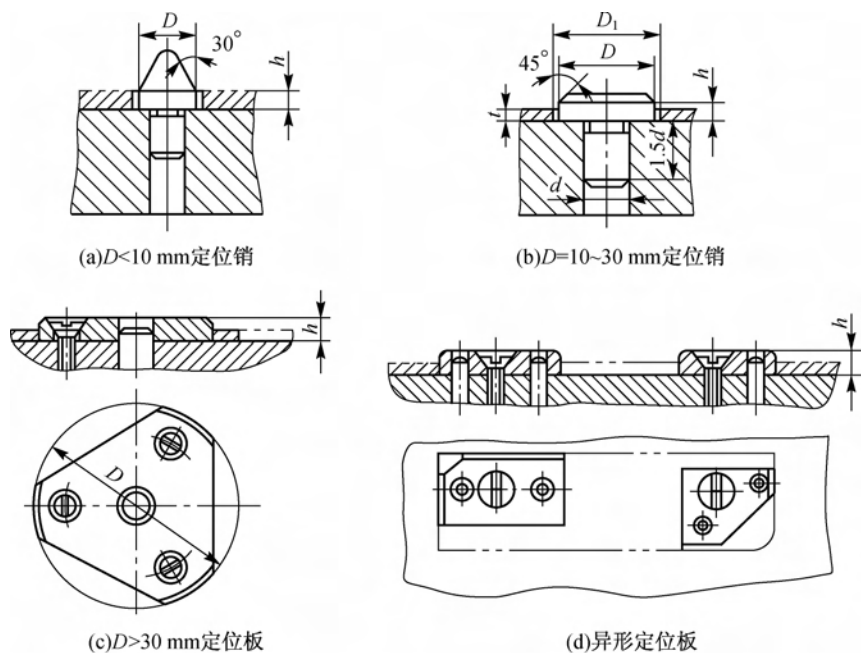


图 2-48 定位板和定位销(毛坯内孔定位)

2.8.5 卸料、顶件和推件的设计

1. 卸料的设计

设计卸料零件的目的是将冲裁后卡、箍在凸模上或凸凹模上的制件或废料卸掉,保证下次冲压正常进行。常用的卸料方式有如下几种。

1) 刚性卸料

刚性卸料采用固定卸料板结构,如图 2-49 所示。当卸料板只起卸料作用时,与凸模的间隙随材料厚度的增加而增大,单边间隙取 $(0.2 \sim 0.5)t$ 。当固定卸料板还起到对凸模的导向作用时,卸料板与凸模的配合间隙应小于冲裁间隙,此时要求凸模卸料时不能完全脱离卸料板。固定卸料板的卸料力大,卸料可靠。因此,冲裁板料较厚、卸料力较大、平直度要求不是很高的冲裁件,一般采用固定卸料板装置。

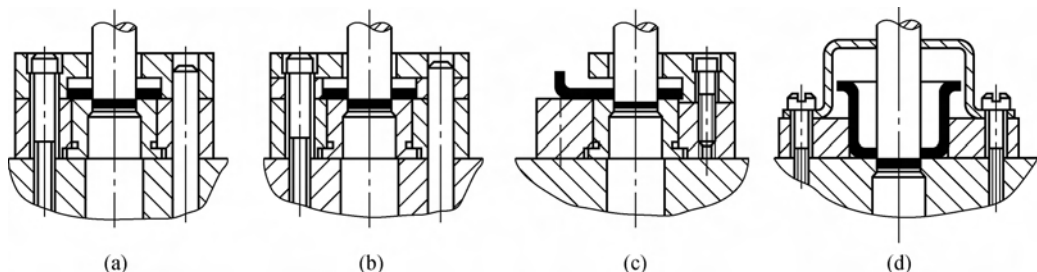


图 2-49 固定卸料板

2) 弹压卸料板

弹压卸料板具有卸料和压料的双重作用,主要用于材料厚度在 1.5 mm 以下的冲裁件。弹压卸料板与弹性元件(弹簧或橡胶)、卸料螺钉组成弹压卸料装置,如图 2-50 所示。

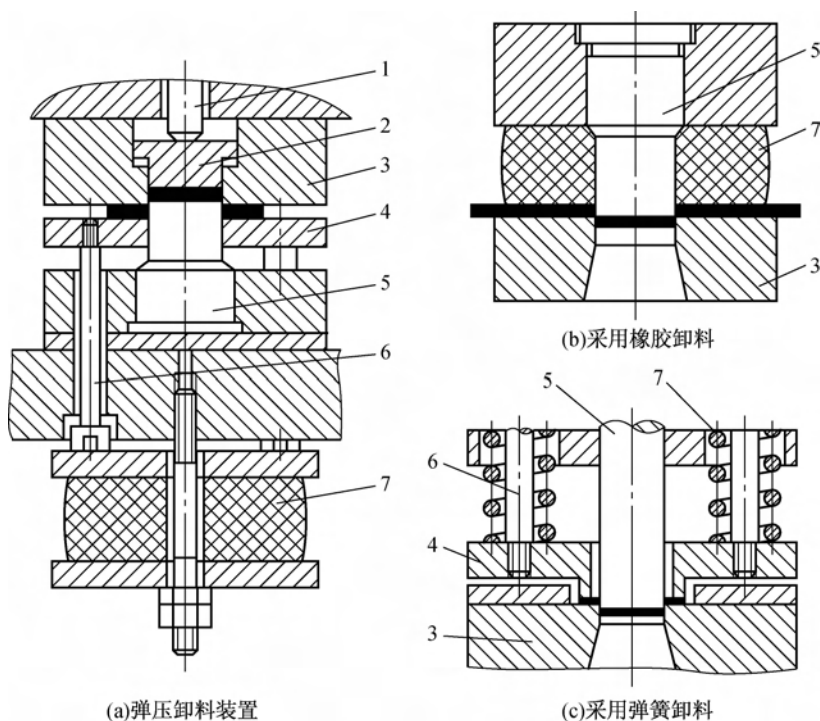


图 2-50 弹压卸料装置

1—推杆; 2—推件块; 3—凹模; 4—卸料板; 5—凸模; 6—卸料螺钉; 7—弹性元件



小提示

卸料板与凸模之间的单边间隙选择 $(0.1 \sim 0.2)t$,若弹压卸料板还要对凸模起导向作用,则二者的配合间隙应小于冲裁间隙。

3) 废料切刀

对于落料或成形件的切入,如果冲裁件尺寸较大、卸料力大,往往用废料切刀代替卸料板,将废料切开来完成卸料,如图 2-51 所示。当凹模向下切边时,同时把已切下的废料压向废料切刀上,从而将其切开。

2. 顶件和推件装置

顶件和推件的目都是从凹模中卸下冲裁件或废料。向上顶出的机构称为顶件装置,一般装在下模上。其基本组成有顶杆、顶件块和装在下模底下的弹顶器,弹顶器可以做成通用的,其弹性元件有弹簧、橡胶等,如图 2-52 所示。向下推出的机构称为推件装置,一般装在上模内;推件力由压力机的横梁作用,通过推杆将推件力传递到推件板(块)上,从而将工件(或废料)推出凹模。常见的刚性推件装置如图 2-53 所示,弹性推件装置如图 2-54 所示。

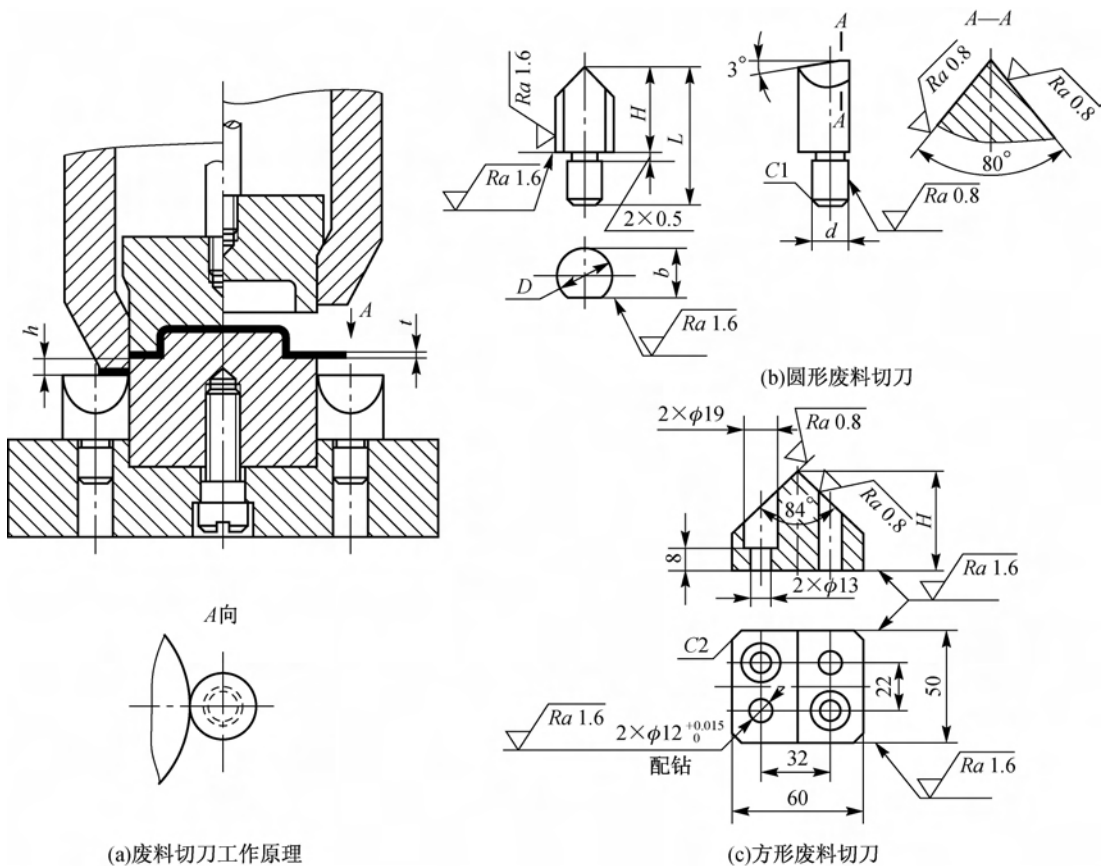


图 2-51 废料切刀

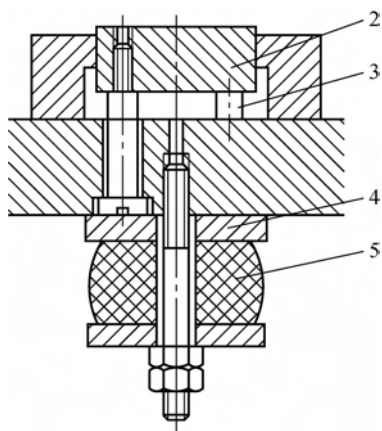


图 2-52 弹性顶件装置

1—顶件块；2—顶杆；3—支承板；
4—橡胶块

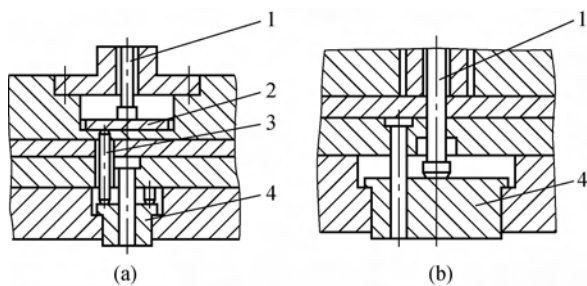


图 2-53 刚性顶件装置

1—打杆；2—推板；3—推杆；
4—推件块

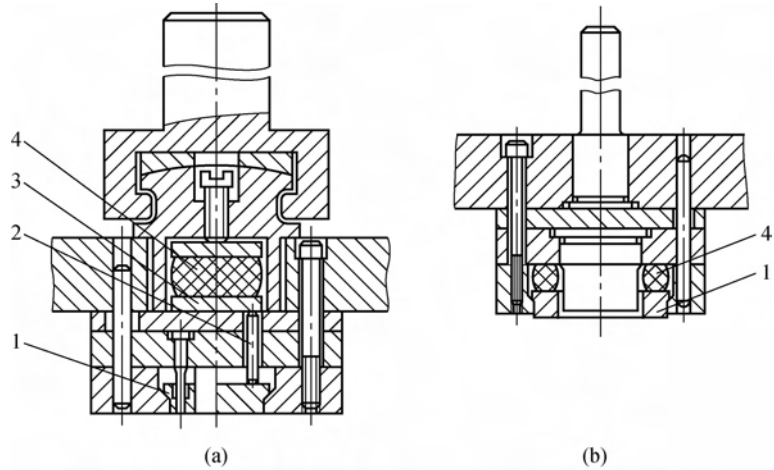


图 2-54 弹性推件装置
1—推件块；2—推杆；3—推板；4—橡胶

2.8.6 标准模架、导向及固定零件的选用

1. 标准模架

模架由上、下模座和导向零件组成,是整副模具的骨架,模具的全部零件都固定在它的上面,并承受冲压过程的全部载荷。模架及其组成零件已经标准化,并对其规定了一定的技术条件。常用的模架为导柱模架,其基本形式如图 2-55 所示。

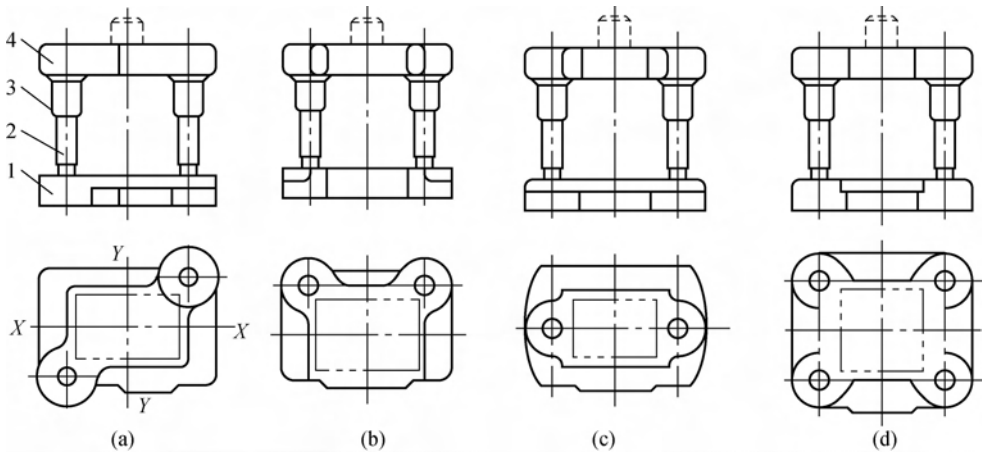


图 2-55 导柱模架的基本形式
1—下模座；2—导柱；3—导套；4—上模座

图 2-55(a)为对角导柱模架。由于导柱安装在模具中心对称的对角线上,所以上模座导柱上滑动平稳,常用于横向送料级进模或纵向送料的落料模、复合模(X 轴为横向,Y 轴为纵向)。

图 2-55(b)为后侧导柱模架。由于模架前面和左右不受限制,送料和操作比较方便。因导柱安装在后侧,工作时偏心距会造成导柱导套单边磨损,并且不能使用浮动模柄结构。

图 2-55(c)为中间导柱导套。导柱安装在模具的对称线上,导向平稳、准确,但只能沿一个方向送料。

图 2-55(d)为四导柱模架。该模架具有滑动平稳、导向准确可靠、刚性好等优点。常用于冲压尺寸较大或精度要求较高的冲压零件,以及大量生产用的自动冲压模架。

2. 导向零件

导向零件是用来保证上模相对下模的正确运动。对生产批量较大、零件公差要求较高、寿命要求较长的模具,一般都采用导柱、导套导向装置。

导柱和导套结构都已标准化,设计时可查阅相关手册。按导柱、导套导向方式的不同可分为滑动式导向装置和滚动式导向装置,分别如图 2-56 和图 2-57 所示。

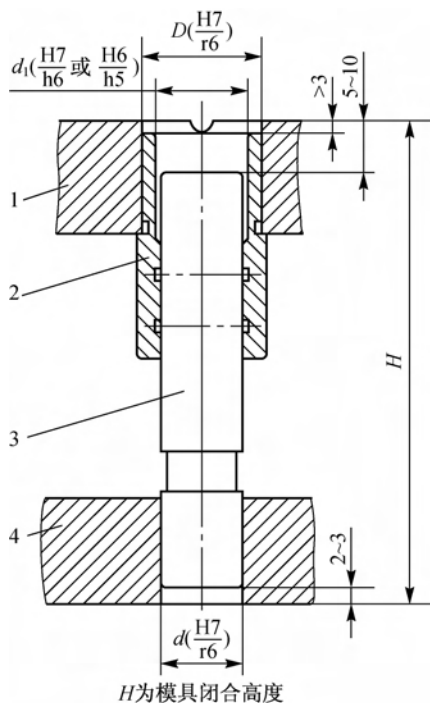


图 2-56 滑动式导向装置

1—上模座；2—导套；3—导柱；4—下模座

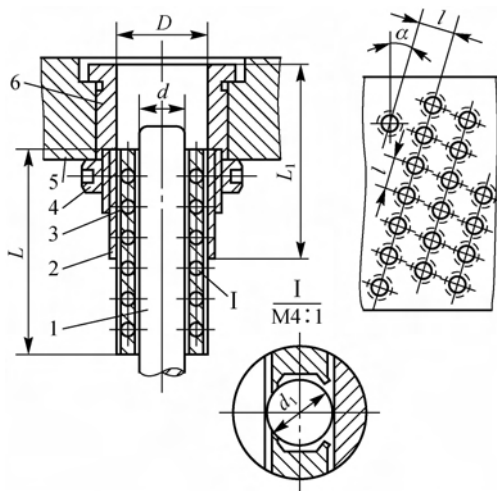


图 2-57 滚动式导向装置

1—导柱；2—保持器；3—滚珠；4—螺母；
5—上模座；6—导套



请注意

导柱、导套的配合精度根据冲裁模的精度、模具寿命、间隙大小来选用。当冲裁的板料较薄而模具精度、寿命要求较高时,选 H6/h5 配合的 I 级精度模架,材料厚度较大时选用 II 级精度的模架(H7/h6 配合)。对于冲薄料的无间隙冲模、高精密级进模、精冲模、硬质合金冲模等要求导向精度高的模具,可选择滚动式导向装置。

3. 固定零件

模具的固定零件有模柄、固定板、垫板、销、螺钉等。这些零件都可以从标准中查得,现将主要部件介绍如下。

1)模柄

模柄是连接上模与压力机的零件,对它的基本要求是:一是要与压力机滑块上的模柄孔正确配合,安装可靠;二是与上模正确且可靠连接。标准模柄结构形式如图 2-58 所示。

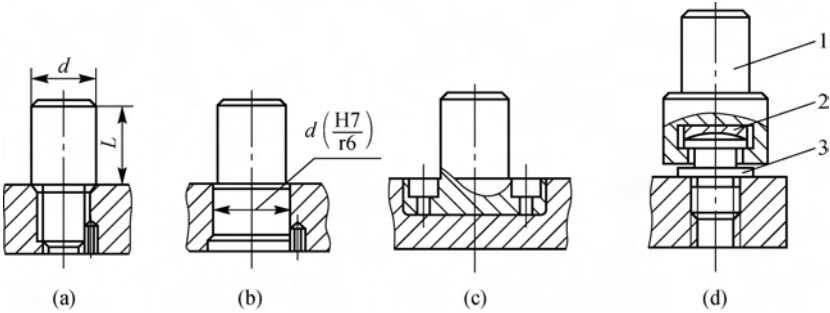


图 2-58 标准模柄结构形式

1—模柄; 2—垫块; 3—接头

2)固定板

固定板的作用是将凸模(或凹模、凸凹模)连接固定在正确的位置,例如图 2-1 中的 10。固定板的外形与凹模轮廓尺寸基本一致,厚度取凹模厚度的 $3/5 \sim 4/5$,材料可选用 Q235 或 45 钢。

3)垫板

垫板的作用是用来承受凸模或凹模的轴向压力,防止过大的冲压力在上、下模座上压出凹坑,影响模具正常工作,例如图 2-1 中的 11。垫板材料厚度根据压力大小选择,一般取 5~12 mm,外形尺寸与固定板相同,材料一般取 45 钢,热处理后硬度为 43~48 HRC。

2.9 精密冲裁

2.9.1 精密冲裁概述

精密冲裁的尺寸精度可达到 IT9~IT6 级,断面的表面粗糙度可达到 $Ra1.6 \sim 0.4 \mu m$,断面垂直度达 89.5° 以上,如图 2-59 所示。这是一项发展中的冲压新技术。如图 2-60 所示为带强力齿圈压板精冲模的精冲过程。

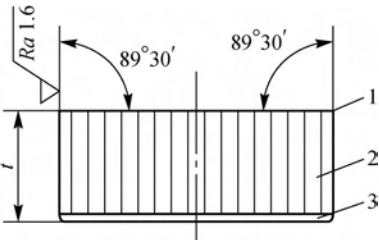


图 2-59 精冲件断面

1—断裂带; 2—光亮带; 3—圆角带

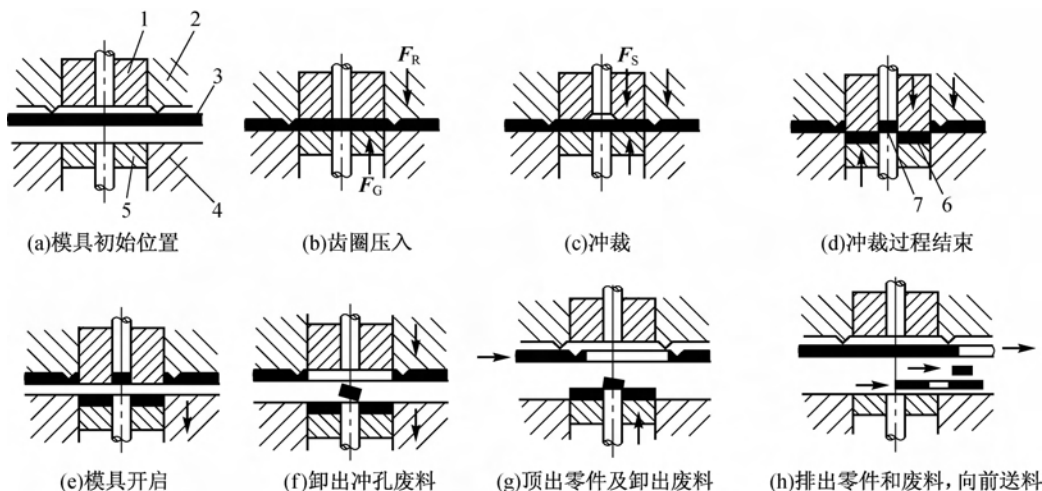


图 2-60 带强力齿圈压板精冲模的精冲过程

1—凸凹模；2—齿圈压板；3—材料；4—落料凹模；5—顶板；6—工件；7—冲孔废料

2.9.2 精密冲裁的工艺方法

1. 整修

整修是将普通冲裁后的毛坯放在整修模具中,进行一次或多次的整修加工,除去粗糙不平的冲裁断面和锥度,从而得到光滑的断面。经过整修后,零件的尺寸精度可达 IT7~IT6 级,表面粗糙度值可达 $Ra\ 0.8\sim 0.4\ \mu\text{m}$ 。常用的整修方法有外缘整修、内孔整修、叠料整修和振动整修。如图 2-61(a)所示为外缘整修,如图 2-61(b)所示为内孔整修。

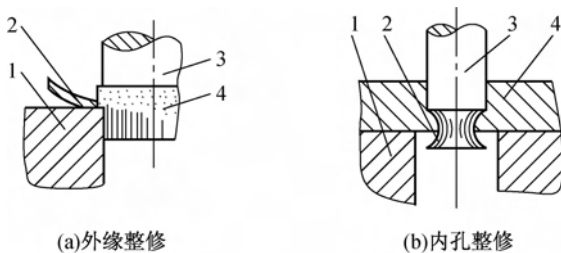


图 2-61 整修

1—凹模；2—切屑；3—凸模；4—工件

2. 光洁冲裁

1) 小间隙圆角刃口冲裁

如图 2-62 所示,与普通冲裁相比,小间隙圆角刃口冲裁采用了小圆角刃口(落料时为凹模刃口,冲孔时为凸模刃口)和很小的冲裁间隙,加强了冲裁区的静水压,起到抑制裂纹的作用。小圆角半径值一般取材料厚度的 10%,模具间隙取 $0.01\sim 0.02\ \text{mm}$ 。此方法适用于塑性较好的软铝、紫铜、软黄铜、05F 和 08F 等材料。制件公差可达 IT11~IT8 级,表面粗糙度可达 $Ra\ 1.6\sim 0.4\ \mu\text{m}$,但冲裁力比普通冲裁力大 50%左右。

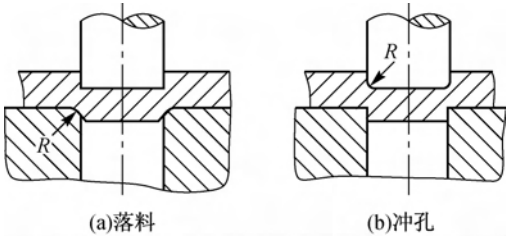


图 2-62 小间隙圆角刃口冲裁

2) 负间隙冲裁

负间隙冲裁的机理与小间隙圆角刃口冲裁基本相同,如图 2-63 所示。负间隙冲裁的凹模也带有小圆角刃口,其半径可取材料厚度的 5%~10%,而凸模刃口保持锋利。由于采用的凸模刃口尺寸比凹模刃口尺寸大,间隙为负值,冲裁时小圆角刃口凹模处静水压作用很强。

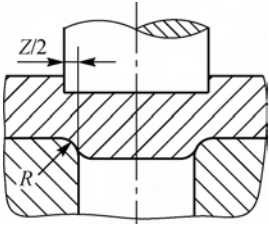


图 2-63 负间隙冲裁



请注意

冲裁时,凸模工作断面在下止点位置不能与凹模面接触,应保持 0.1~0.2 mm 距离。

光洁冲裁时,冲裁力比普通冲裁力大得多,冲裁铝件时大 30%~60%,冲裁软黄铜时大 2.25~2.8 倍,凹模易开裂。为防止开裂,可采用多层组合凹模,冲裁时保持良好的润滑,可延长模具寿命。

3. 对向凹模精冲法

对向凹模精冲是利用专用压力机,借助特殊结构的凸起凹模,在强力作用下使材料发生剪切变形,而变形区主要集中在搭边范围。对向凹模冲裁过程如图 2-64 所示。

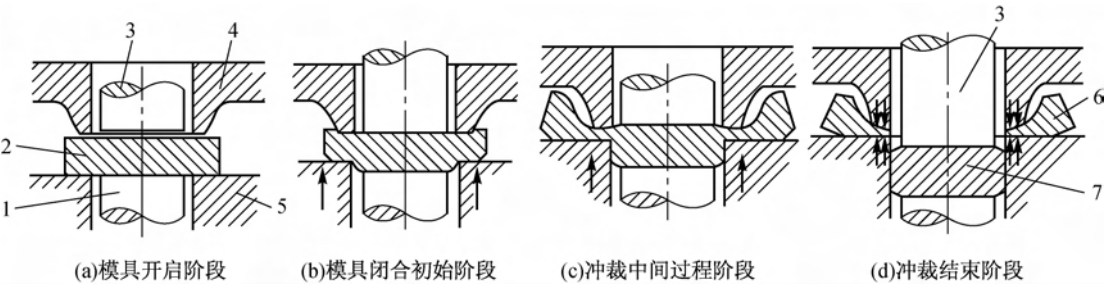


图 2-64 对向凹模冲裁过程

1—顶件器; 2—材料; 3—冲裁凸模; 4—凸起凹模; 5—凹模; 6—废料; 7—工件

对向凹模冲裁模具结构类似于强力压板精冲模具,不同之处只是将 V 形齿圈变为凸起凹模,所以模具具有上、下两个凹模,其主要工作部件有凸起凹模、平凹模、冲裁凸模和顶件器。如图 2-65 所示为固定凸模式对向凹模复合精冲模。

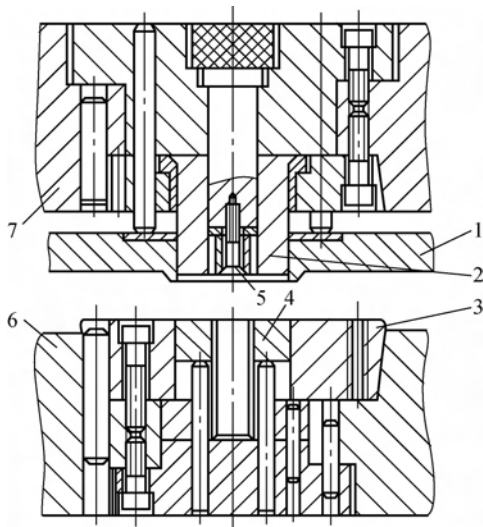


图 2-65 固定凸模式对向凹模复合精冲模

1—凸起凹模；2—冲裁凸模；3—平凹模；4—顶件器；5—卸料器；
6—上模座；7—下模座

2.9.3 精密冲裁件的工艺性

1. 冲裁件材料的工艺性

精冲材料必须具有良好的变形特性,如屈服极限低、硬度较低、屈强比较大、断面延伸率高等;具有理想的金相组织(球化退火后具有均匀分布的细粒状碳化物)、含碳量低等,以便在冲裁过程中不发生撕裂现象。

2. 冲裁件的结构工艺性

1) 圆角半径

为保证零件质量和模具寿命,要求精冲零件避免尖角太小的圆角半径。否则会在零件相应的剪切面上发生撕裂,以及在凸模尖角处崩裂和磨损。圆角半径设计可参照如图 2-66 所示。

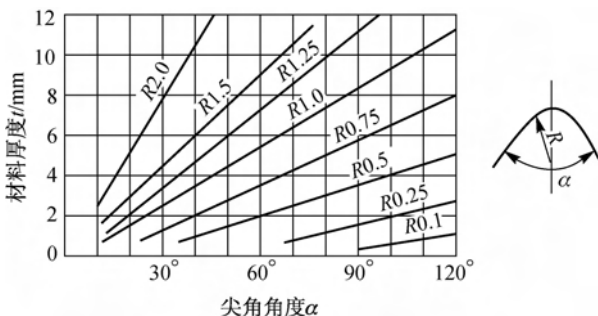


图 2-66 最小圆角半径

2) 孔径、槽宽和壁厚

精冲件的孔径 d 和槽宽 b 不能太小,否则也会影响模具寿命和零件质量。冲孔的最小孔径可从图 2-67 中查出,最小槽宽可从图 2-68 中查出。精冲件的壁厚是指孔、槽之间,或

孔、槽内壁与零件外缘之间的距离。

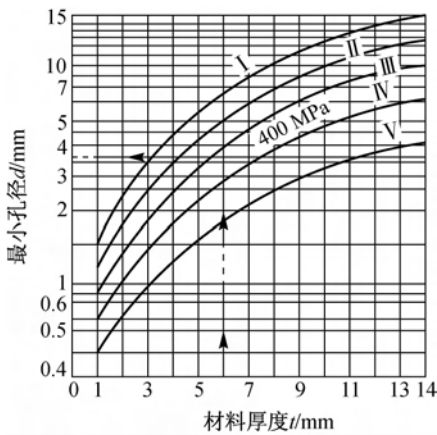


图 2-67 最小孔径

I — $R_m = 750 \text{ MPa}$; II — $R_m = 600 \text{ MPa}$; III — $R_m = 450 \text{ MPa}$;
IV — $R_m = 300 \text{ MPa}$; V — $R_m = 150 \text{ MPa}$

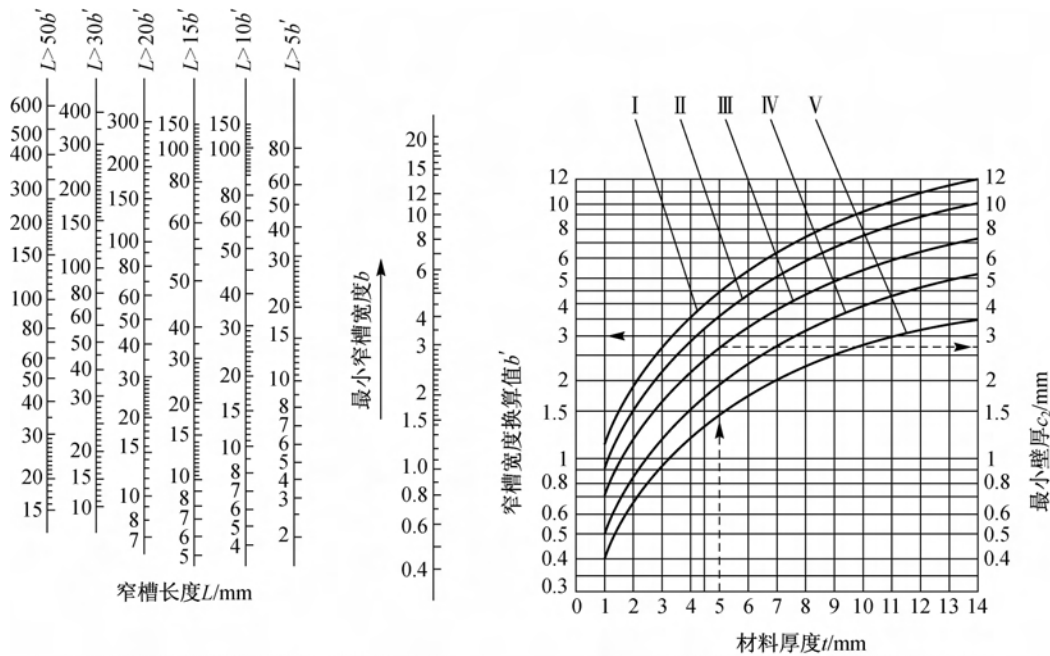


图 2-68 槽宽和壁厚

I — $R_m = 750 \text{ MPa}$; II — $R_m = 600 \text{ MPa}$; III — $R_m = 450 \text{ MPa}$;
IV — $R_m = 300 \text{ MPa}$; V — $R_m = 150 \text{ MPa}$

2.9.4 精密冲裁模的设计要点

1. 精冲模的设计要求和内容

精冲模的设计要求和内容具体包括以下方面：

(1) 模具结构必须满足精冲工艺要求，并能在工作状态下形成立体压应力体系。

- (2) 模具具有较高的强度和刚度,功能可靠,导向精度良好。
- (3) 认真考虑模具的润滑、排气,并能可靠清除冲出的零件和废料。
- (4) 合理选用精冲模具材料、热处理方法和模具零件的加工工艺性。
- (5) 模具结构简单、维修方便,具有良好的经济性。

2. 精冲的排样和精冲力的计算

排样直接影响材料的利用率。此外,模具的各工作部件的布置和结构形状取决于排样。因此,精冲排样设计显得尤为重要。

1) 合理的材料利用率

在进行如图 2-69 所示的零件排样时,为充分考虑提高材料利用率,可采用对头排。

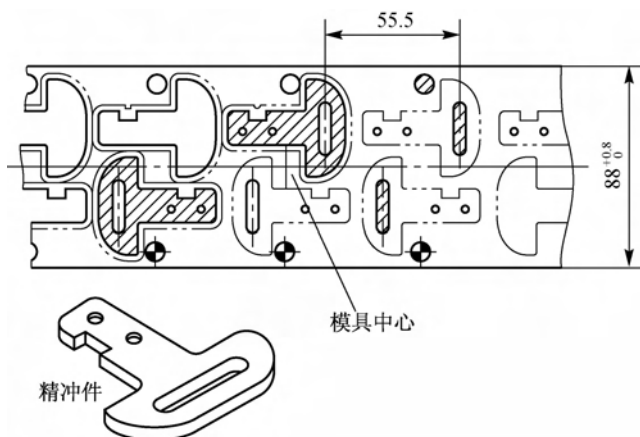


图 2-69 安全带搭扣排样图



请注意

排样时零件间要留有足够的齿圈位置。

2) 排样方向的确定

零件形状复杂的部分或表面粗糙度要求高的部分应放在送料侧(图中箭头方向),搭边最为充分,同时从冲裁过程看,材料整体部分的变形阻力比侧搭边部分大,故最为稳定,易使冲裁断面光洁,如图 2-70 所示。

3) 搭边计算

由于精冲时压边圈上带有 V 形齿圈,故搭边和步距数值都比普通冲裁时大。一般工件与工件间搭边 $a \geq 2t$,工件与条料间的边距(侧搭边) $a_1 \geq 1.5t$ 。

4) 冲裁力

由于精冲是在三向受力状态下进行冲裁,其变形抗力比普通冲裁时要大得多。保证精

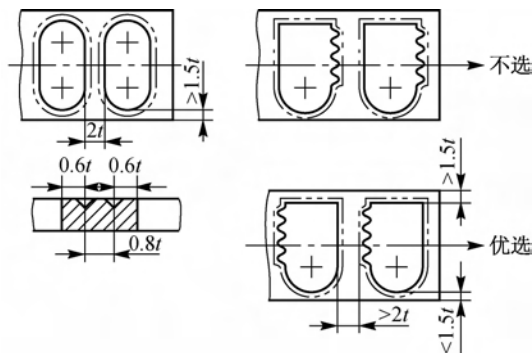


图 2-70 精冲排样方向的确定

冲需要的工艺力,是实现精冲工艺的重要要求。精冲总压力为

$$F_{总}=F_{冲}+F_{压边}+F_{反压} \tag{2-34}$$

$$F_{冲}=LtR_m f_1 \tag{2-35}$$

$$F_{压边}=LhR_m f_2 \tag{2-36}$$

$$F_{反压}=Sp \tag{2-37}$$

式中, $F_{总}$ 、 $F_{冲}$ 、 $F_{压边}$ 、 $F_{反压}$ 分别为精冲总压力、冲裁力、压边力、反压力(N); L 为剪切轮廓线长(mm);系数 $f_1=0.6\sim 0.9$;系数 $f_2=4$; h 为齿圈高度(mm); t 为材料厚度(mm); S 为工件的受压面积(mm²); p 为工件的单位反压力(MPa),常取20~70 MPa。

2.9.5 精密冲裁模的结构及特点

1. 活动凸模式复合精冲模

按凹模和压边圈的结构和固定方式,活动凸模式复合精冲模有两种结构形式。如图2-71所示的左右两部分分别为A型和B型两种模具结构。

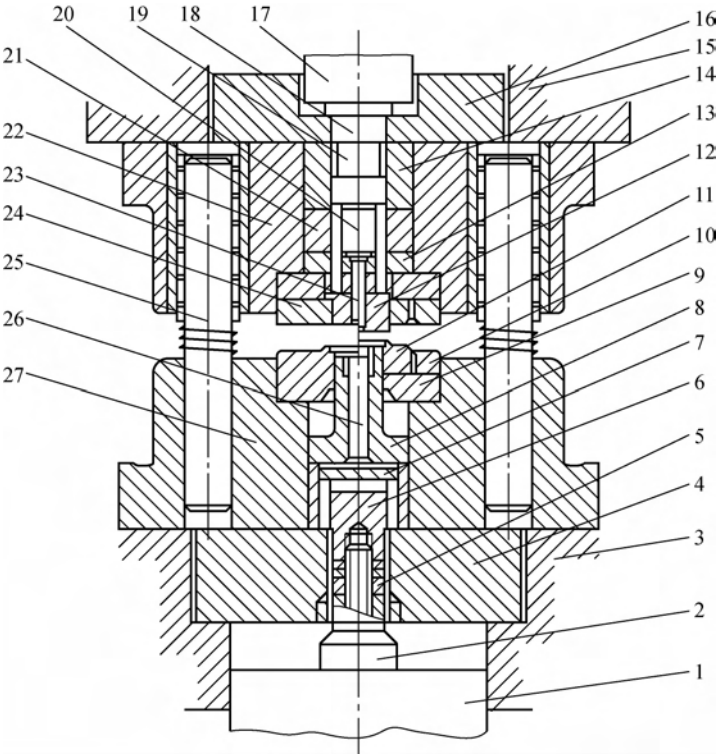


图 2-71 活动凸模式复合精冲模

- 1、17—液压活塞; 2、18—顶柱; 3—压床下工作台; 4、16—标准结合环; 5—定位板; 6—凸模座; 7—推板; 8—凸模;
9、21—垫板; 10—座圈; 11—压边圈; 12—顶件板; 13—冲孔凸模固定板; 14—支承环; 15—压床上工作台;
19、20—传力杆; 22、27—模座; 23—冲孔凸模; 24—凹模;
25—导向装置; 26—支承顶杆

(1)A 型结构。凹模 24 用螺钉和销钉紧固在上模座 22 内。顶件板 12 装在凹模 24 内,除了起压料和顶件作用外,还作为冲孔凸模 23 的导向装置。冲孔凸模固定板 13 承受冲孔

凸模 23 的回程压力,并支承凹模 24。垫板 21 和支承环 14 共同支承冲孔凸模 23 和凹模 24。作用在顶件板 12 上的反压力来自机床,经传力杆 19 和 20 传到顶件板 12 上。压边圈 11 用螺钉和销紧固在下模座 27 内,除对材料施压外,还对冲裁凸模 8 起导向作用,从而保证冲裁凸模 8 和凹模 24 的位置精度。冲裁凸模 8 同时也装在下模座 27 内,并用螺钉和销与凸模座 6 相连。凸模座 6 内装有支承顶杆 26、推板 7 和传力杆 19。凸模座带有紧固螺纹,承受冲裁凸模 8 的回程压力。机床压力经下模座 27 传到压边圈 11 上,并以同样的压力经传力杆 19 和推板 7 作用在支承顶杆 26 上。

(2)B 型结构。与 A 型结构的差别是凹模与齿圈压板都是镶拼结构。其工作原理与 A 型结构相同。

这种模具的优点是维修简单,安装方便,适用于冲裁力不大的中小型零件;缺点是在冲孔内孔多的零件时,凸模 8 的支承推板 7 强度不够。

2. 固定凸模式复合精冲模

固定凸模式复合精冲模如图 2-72 所示。落料凸模 9 装在垫座 12 上,并用螺钉和销紧固。压边圈 22 用外锥面装入支板 23 内,并用螺钉紧固。通过上部的传力杆 13 将压力传递到压边圈 22 和顶杆 10 上。图的右部所示的整体凹模 25 装在下模座 29 上,并用螺钉和销紧固。顶件板 6 装在凹模 25 内,顶件板 6 还作为冲孔凸模 7 的导向元件。机床的反压力由下部的传力杆 3 传递。凸模座板 5 承受冲孔凸模 7 的回程压力,并作用于下垫板 27 上。在冲裁过程中,由闭锁销 8 对凹模定心,从而保证凸模 9 和凹模 25 的位置精度。

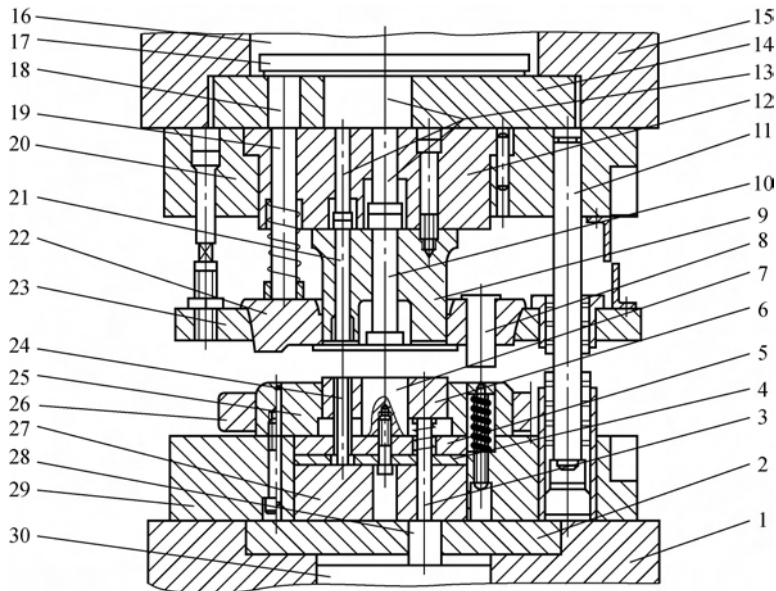


图 2-72 固定凸模式复合精冲模

- 1—压床下工作台; 2—专用下结合环; 3、13、19—传力杆; 4—上垫板; 5—凸模座板; 6—顶件板; 7—冲孔凸模;
8—闭锁销; 9—凸模; 10、21—顶杆; 11—导向件; 12—垫座; 14—专用上结合环; 15—压床上工作台;
16、30—液压活塞; 17—压板; 18、28—支承销; 20、29—模座;
22—压边圈; 23—支板; 24—冲孔凸模; 25—凹模;
26—缩紧环; 27—下垫板

这种模具的优点是结构稳定,凸模的支承好;缺点是制造和调整麻烦,且需要专用的结合环。

3. 简易精冲模

如图 2-73 所示为一简易精冲落料模的结构。它是利用碟簧在机械作用下变形产生的轴向压缩力对冲裁过程产生齿圈压力和顶件力。碟簧的尺寸和形状应按照所需的顶件力和齿圈压力参考有关标准选用或自行设计。

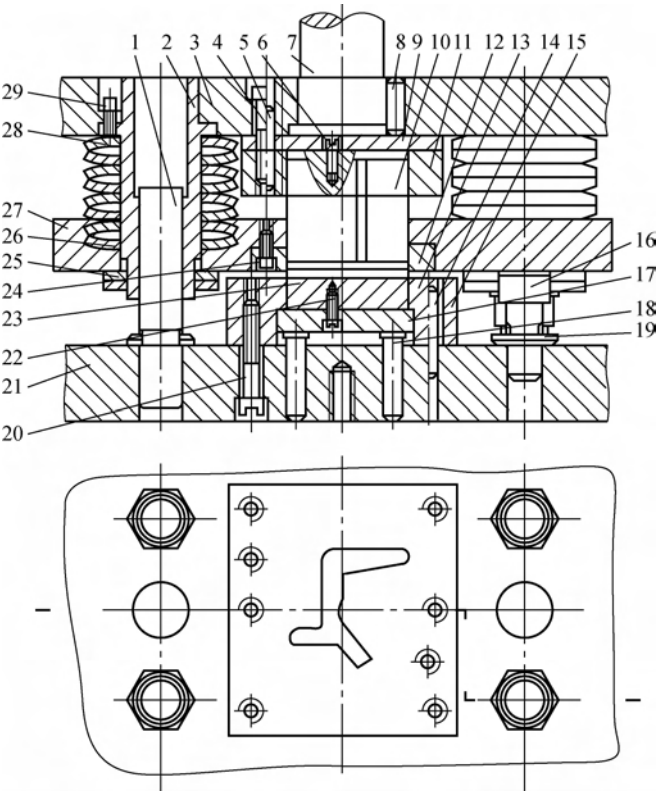


图 2-73 简易精冲落料模

- 1—导柱; 2—导套; 3—上模座; 4、6、20、22、24、29—螺钉; 5、8、14—销; 7—模柄; 9—垫板;
10—凸模; 11—凸模固定板; 12—齿圈压板; 13—销钉套; 15—凹模; 16—限位螺柱;
17—固定板; 18—顶杆; 19、25—螺母; 21—下模座; 23—推件板;
26—垫片; 27—卸料板; 28—碟簧

2.9.6 精密冲裁模齿圈的设计

精冲模与普通冲模最显著的区别是采用了 V 形齿圈。齿圈是指在压板和凹模上,围绕零件外形一定距离设置的 V 形凸起。

1. 齿圈的作用

齿圈有如下作用:

- (1) 固定被加工的板料,避免材料受弯曲或拉伸。
- (2) 抑制冲件以外的力,如与冲压方向垂直的水平侧向力对冲件的影响。

(3) 压应力提高了被加工材料的塑性变形能力。

(4) 减少圆角带。

(5) 兼起到卸料作用。

2. 齿圈的分布

齿圈的具体分布如下：

(1) 在塌角大的部分，V 形齿圈应和刃口的形状相一致。

(2) 在塌角较小的部分，V 形齿圈与刃口形状可以不一致，如图 2-74 所示。

(3) 冲孔时，不会产生剪切区以外材料的流动，一般不需要 V 形齿圈，冲大孔时（直径在 30 mm 以上），建议在顶杆上加上 V 形齿圈。

(4) 如果材料厚度 $t < 3$ mm，可使用平面压板，但它的压边力小，易出现纵向翘曲而引起附加拉应力。

(5) 如果材料厚度 $t \leq 4.5$ mm，可在压板或凹模面上使用一个单齿圈；如果 $t > 4.5$ mm，或材料强度高 ($R_m \geq 800$ MPa)，或者对于齿轮和带锐角的零件，通常使用两个 V 形齿圈，一个在齿圈压板上，另一个在凹模上，即双齿圈。

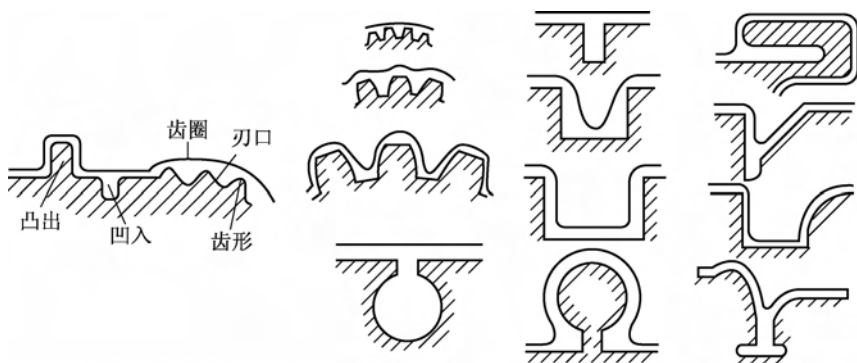


图 2-74 齿圈的分布

3. 齿圈的结构

1) 齿圈形状

精冲齿圈常用的形状如图 2-75 所示。其中图(a)比图(b)和图(c)的应用多，这是因为图(a)结构的静水压效果较好。

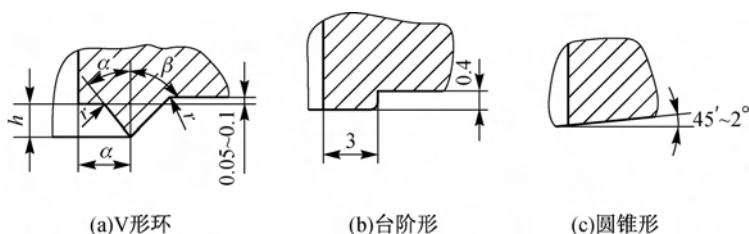


图 2-75 齿圈形状

4. 齿圈的保护

精冲时,齿圈与材料接触。为了防止齿圈与凹模相碰或双齿圈的互撞而造成破坏,在齿圈压板或凹模上设计高出齿顶的保护面,其高度必须小于材料厚度,以免冲裁时发生干涉,如图 2-79 所示。

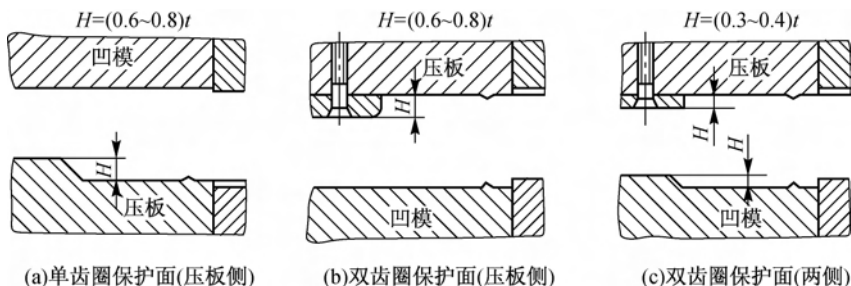


图 2-79 齿圈的保护

当凸起在一侧时, $H = (0.6 \sim 0.8)t$; 当凸起在两侧时, $H = (0.3 \sim 0.4)t$ 。



小提示

设计保护面时,还应考虑其位置的正确性,特别是受力状态,以防止弯曲或损坏。而且当两侧都有保护面时,高度必须一致,避免产生倾斜力。如图 2-80 所示,左图位置选择合理,右图齿圈保护位置工作时将产生变形。

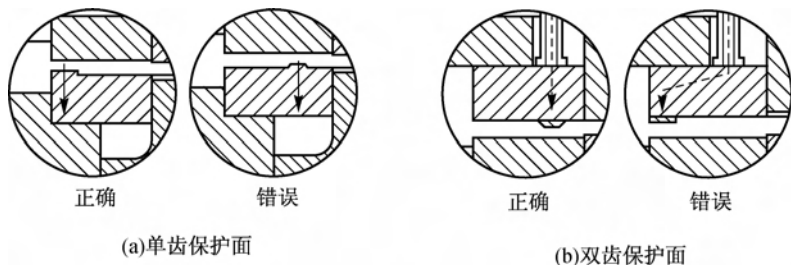


图 2-80 齿圈保护面的位置选择

2.10 冲裁模的设计步骤及实例

2.10.1 冲裁模的设计步骤

冲裁模设计的一般步骤包括以下几点。

1. 冲裁件工艺性分析

冲裁件工艺性分析的主要内容为:冲裁件的精度等级是否在冲裁工艺所能达到的范围;冲裁件的形状是否符合冲裁工艺要求;冲裁件尺寸是否超过了凸、凹模结构的限制。如果冲裁件的工艺性差,则会对冲裁模结构设计产生很大的影响。

2. 冲裁工艺方案的确定

确定工艺方案就是确定冲压件的工艺路线,主要包括冲压工序数目及工序组合、顺序等。确定工序的原则如下所述。

1) 保证冲裁件的质量

用复合模冲出的工件精度高于级进模,而级进模又高于单工序模。因此,对精度要求较高的冲裁件,宜采用复合模工序进行冲裁。

2) 经济性原则

在保证冲裁件质量的前提下,应尽可能降低生产成本,提高经济效益。所以,对于中批量的冲裁件应尽可能采用单工序模,而在试制与小批量生产时,应尽可能采用简易冲裁模。

3) 安全性原则

工人操作是否安全、方便是确定工艺方案要考虑的一个重要因素。

3. 选择模具的结构形式

冲裁方案确定后,模具类型(单工序模、复合模、级进模)即可选定,就可以确定模具的各个部分的具体结构,包括模架及导向方式、毛坯定位方式、卸料、压料、出件方式等。在进行模具结构设计时,还应考虑模具维修、保养和吊装的方便,同时要在各个细小的环节上尽可能考虑到操作者的安全等。

4. 进行必要的工艺计算

冲裁的工艺计算主要包括以下几个方面:

(1) 排样设计与计算。选择排样方法、确定搭边值、计算送料步距与条料宽度、计算材料利用率、画出排样图等。

(2) 计算冲压力。包括冲裁力、卸料力、推件力、顶件力等,初步选择压力机。

(3) 计算模具压力中心。

(4) 计算凸、凹模工作部分的尺寸并确定其制造公差。

(5) 弹性元件的选取与计算。

(6) 必要时,对模具的主要零件进行强度校验。

5. 模具的主要零部件设计

模具主要零部件设计,就是确定工作零件、定位零件、卸料和推出零件、导向零件和连接与固定零件的结构形式与固定方法。在设计时,还要考虑零部件的加工工艺和装配工艺性。

6. 校核模具闭合高度及压力机有关参数

冲裁模具总体结构尺寸必须与所选压力机相适应,即模具的总体平面尺寸应与压力机工作台或垫板尺寸以及滑块下平面尺寸相适应;模具的闭合高度应与压力机的装模高度或闭合高度相适应,如图 2-81 所示。

$$H_{\max} - 5 \geq H + h \geq H_{\min} + 10 \quad (2-39)$$

式中, H 为模具的闭合高度(mm); $H_{\max}$ 为压力机的最大闭合高度(mm); $H_{\min}$ 为压力机的最小闭合高度(mm); h 为压力机的垫板材料厚度(mm)。

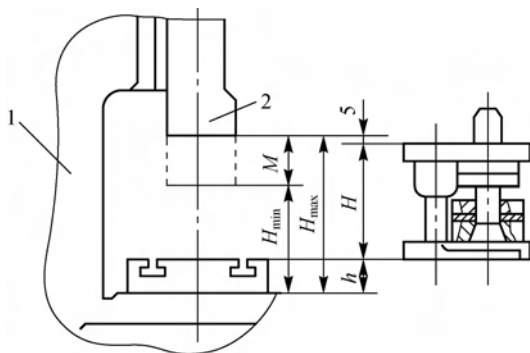


图 2-81 压力机闭合高度与模具闭合高度的关系

M—压力机连杆调节长度

1—床身；2—滑块



小提示

模具的其他外形尺寸也必须与压力机相适应。如模具外形轮廓平面尺寸与压力机的滑块底面尺寸及工作台面尺寸，模具的模柄与滑块模柄孔的尺寸，模具下模座下弹顶装置的平面尺寸与压力机工作台面尺寸等都必须相适应，才能使模具正确地安装和正常使用。

7. 绘制模具总装配图和零件图

在模具的总体结构及其相应的零部件结构形式确定后，便可绘制出模具总装配图和零件图。总装配图和零件图均应严格按照制图标准绘制。考虑到模具图的特点，允许采用一些常用的习惯画法。

1) 绘制模具总装配图

模具总装配图是拆绘模具零件图和装配模具的依据，应清楚表达各零件之间的装配关系及固定连接方式。模具总装配图的一般布置情况如图 2-82 所示。

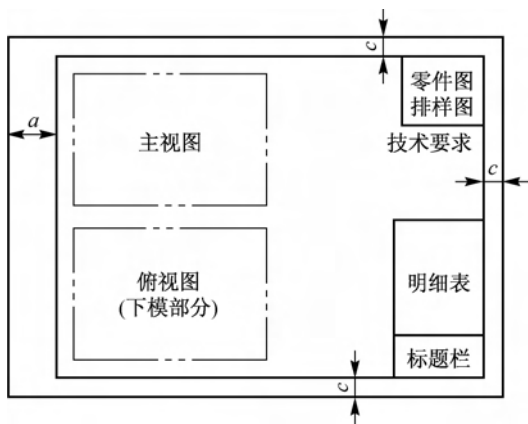


图 2-82 模具总装配图的一般布置情况

(1) 主视图。主视图是模具总装配图的主体部分，一般应画出上、下模座剖视图，上、下模一般画成闭合状态。模具处于闭合状态时，可以直观地反映出模具的工作原理，对确定模

具零件的相关尺寸及选用压力机的装模高度都极为方便。主视图中应标注闭合高度尺寸,主视图中条料和工件剖切面最好涂黑,以使图面更显清晰。

(2)俯视图。俯视图一般仅反映模具下模的结构,即俯视图是将上模去除后得到的投影。

2) 绘制模具零件图

模具零件图是模具加工的重要依据,应符合如下条件:

(1)视图要完整,且宜少勿多,以能将零件结构表达清楚为限。

(2)尺寸标注要齐全、合理,符合国家标准。

(3)设计基准选择应尽可能考虑制造的要求。制造公差、形位公差、表面粗糙度选用要适当,既要满足模具加工质量要求,又要考虑尽量降低制造成本。

(4)注明所用材料牌号、热处理要求及其他技术要求。



小提示

模具装配图中的非标准件均需分别画出零件图,一般的工作顺序也是先画出工作零件图,再依次画出其他各部件的零件图。有些标准零件需要补充加工的(如上、下标准模座上的螺孔、销孔等)也需要画出零件图,但在此情况下通常仅画出加工部位,非加工部位的形状和尺寸可以省略不画,只需在图中注明标准件代号与规格即可。

以上是设计冲裁模时的大致步骤,反映了在设计时所应考虑的主要工作。具体设计时,这些内容往往是交替进行的。

2.10.2 冲裁模的设计实例

设计如图 2-83 所示工件,生产批量为中小批量,材料为软黄铜 H62,材料厚度 $t=2$ mm,技术要求为工件平整,表面不得有划痕等缺陷。

1. 冲压件工艺性分析

此工件只有落料和冲孔两个工序。材料为软黄铜 H62,具有良好的塑性,适合冲裁。工件结构相对简单,且为对称结构,中间有一个 $\phi 16$ mm 的孔,最小壁厚为 10 mm,孔与边缘之间的距离也满足冲裁要求。工件的尺寸全部为自由尺寸,可按 IT14 级处理,尺寸精度较低,普通冲裁完全能够满足要求。

2. 冲压工艺方案确定

该工件包括落料、冲孔两个基本工序,可有以下几种冲压工艺方案。

方案一:先落料,后冲孔。采用单工序模生产。

方案二:采用落料、冲孔正装复合冲裁。用复合模生产。

方案三:采用冲孔、落料级进冲裁。用级进模生产。

方案一的模具结构简单,但需要两道工序,两套模具,生产效率虽然可以满足中小批量生产,但生产成本较高。此工件材料较软、材料厚度小、落料后冲孔时操作不方便,工件易产生变形。方案二只需一套模具,工件的精度及生产效率较高,能够保证工件的平整度要求。工件的最小壁厚为 10 mm,大于凸凹模许用的最小壁厚 1.8 mm。冲压后工件留在模具上,

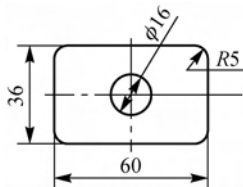


图 2-83 工件图

在清理模具上的废料时会影响冲压速度,操作上不方便。方案三也需要一套模具,生产效率高,操作方便,工件精度也能满足要求;但此工件生产方式为中小批量,不适于采用级进模生产。通过对上述三种工艺方案的分析比较,该工件的最佳工艺方案为方案二。

3. 主要设计计算

1) 排样的设计及材料利用率的计算

设计落料、冲孔复合模,首先要设计工件的排样图。根据工件的特点,采用如图 2-84 所示的排样方法,查表 2-10 得,工件与工件之间的搭边值取 $a_1 = 1.8 \text{ mm}$,工件与条料边界的搭边值取 $a = 2 \text{ mm}$;由表 2-11 查得, $\delta = 0.6 \text{ mm}$, $c = 0.2 \text{ mm}$ 。根据式(2-18),采用无侧压装置时条料宽度 B 为

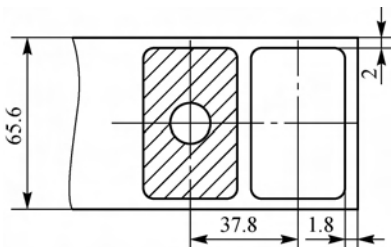


图 2-84 排样图

$$B = [D + 2(a + \delta + c)]_{-0}^0 = [60 + 2 \times (2 + 0.6 + 0.2)]_{-0.6}^0 \text{ mm} = 65.6_{-0.6}^0 \text{ mm}$$

查板材标准,选 $1\,000 \text{ mm} \times 1\,000 \text{ mm}$ 的 H62 板,根据工件尺寸及排样图可知,一个步距冲裁件数目 $n = 1$,冲裁件的面积(包括冲下的内孔废料) $A = 2\,138.5 \text{ mm}^2$,条料宽度 $B = 65.6 \text{ mm}$,步距 $S = 37.8 \text{ mm}$,板料长度 $L = 1\,000 \text{ mm}$,板料宽度 $W = 1\,000 \text{ mm}$,一张板料上能生产的工件数目 $N = 390$ 。

根据式(2-21),则一个步距的材料利用率为

$$\eta = \frac{nA}{BS} \times 100\% = \frac{1 \times 2\,138.5}{65.6 \times 37.8} \times 100\% = 86.2\%$$

根据式(2-22),则一张板料上总材料利用率为

$$\eta_{\text{总}} = \frac{NA}{LW} \times 100\% = \frac{390 \times 2\,138.5}{1\,000 \times 1\,000} \times 100\% = 83.4\%$$

2) 冲裁工艺力的计算

该模具采用正装复合模,拟选择弹性卸料、上出件方式。工件的材料为 H62,查附录 A 取 $R_m = 294 \text{ MPa}$,材料厚度 $t = 2 \text{ mm}$,冲裁周边长度 L 为落料件周边长度 $L_{\text{落}}$ 与冲孔周边长度 $L_{\text{孔}}$ 之和, $L_{\text{落}} = (50 + 26) \times 2 + 2\pi R = [(50 + 26) \times 2 + 2 \times 3.14 \times 5] \text{ mm} = 183.4 \text{ mm}$, $L_{\text{孔}} = 16\pi = 16 \times 3.14 \text{ mm} = 50.24 \text{ mm}$,所以 $L = L_{\text{落}} + L_{\text{孔}} = (183.4 + 50.24) \text{ mm} = 233.64 \text{ mm}$,根据冲裁工艺力的计算公式有:

冲裁力

$$F_{\text{冲}} = tLR_m = 2 \times 233.64 \times 294 \text{ N} = 137\,380 \text{ N} = 137.4 \text{ kN}$$

卸料力

$$F_{\text{卸}} = K_{\text{卸}} F_{\text{冲}} = 0.05 \times 137.4 \text{ kN} = 6.87 \text{ kN} \quad (\text{查表 2-8 取 } K_{\text{卸}} = 0.05)$$

顶件力

$$F_{\text{顶}} = K_{\text{顶}} F_{\text{冲}} = 0.05 \times 137.4 \text{ kN} = 6.87 \text{ kN} \quad (\text{查表 2-8 取 } K_{\text{顶}} = 0.05)$$

由式(2-10)得冲裁总工艺力为

$$F_{\text{总}} = F_{\text{冲}} + F_{\text{卸}} + F_{\text{顶}} = (137.4 + 6.87 + 6.87) \text{ kN} = 151.14 \text{ kN}$$

根据计算结果结合冲裁总工艺力与压力机公称压力之间的关系,拟选冲压设备为 J23-25A。

3) 压力中心的确定

因为零件为规则对称几何体,压力中心即为其几何中心。

4) 工作零件刃口尺寸计算

在确定工作零件刃口尺寸计算方法之前,首先要考虑工作零件的加工方法及模具装配方法。结合模具结构及工件生产批量,适宜采用配合加工落料凸模、凹模、凸凹模,使制造成本降低、装配工作简化。因此工作零件刃口尺寸计算就按配合加工的方法来计算,未注尺寸公差按 IT14 级处理,查冲压设计资料得工件相关尺寸及公差为: $\phi 16^{+0.43}_0$ mm、 $36^{+0.62}_0$ mm、 $60^{+0.74}_0$ mm、 $R5^{+0.30}_0$ mm。由图可知尺寸 $36^{+0.62}_0$ mm、 $60^{+0.74}_0$ mm、 $R5^{+0.30}_0$ mm 为落料尺寸,选凹模为设计基准,只需计算落料凹模刃口尺寸及公差即可,相应的凸模刃口尺寸由凹模的实际尺寸按间隙要求配制;尺寸 $\phi 16^{+0.43}_0$ mm 为冲孔尺寸,设计时以凸模刃口尺寸为基准,凹模刃口尺寸由实际凸模刃口尺寸按间隙要求配制。图中尺寸 $\phi 16^{+0.43}_0$ mm、 $36^{+0.62}_0$ mm、 $60^{+0.74}_0$ mm、 $R5^{+0.30}_0$ mm,凸、凹模磨损后都将增大,按照表 2-7 中的公式可以计算出相应的凸、凹模刃口尺寸。

查表 2-2 得冲裁模初始双面间隙为: $Z_{\min}=0.14$ mm、 $Z_{\max}=0.18$ mm,尺寸 $\phi 16^{+0.43}_0$ mm、 $36^{+0.62}_0$ mm、 $60^{+0.74}_0$ mm、 $R5^{+0.30}_0$ mm 的公差分别为 $\Delta_{16}=0.43$ mm、 $\Delta_{36}=0.62$ mm、 $\Delta_{60}=0.74$ mm、 $\Delta_5=0.30$ mm,由表 2-6 查得,所有尺寸的磨损系数 $x=0.5$;具体刃口尺寸计算如下。

(1) 落料凹模的刃口尺寸。

$36^{+0.62}_0$ mm 对应凹模刃口尺寸

$$(36-0.5 \times 0.62)^{+(0.25 \times 0.62)}_0 \text{ mm} = 35.7^{+0.155}_0 \text{ mm}$$

$60^{+0.74}_0$ mm 对应凹模刃口尺寸

$$(60-0.5 \times 0.74)^{+(0.25 \times 0.74)}_0 \text{ mm} = 59.6^{+0.185}_0 \text{ mm}$$

$R5^{+0.30}_0$ mm 对应凹模刃口尺寸

$$R(5-0.5 \times 0.30)^{+(0.25 \times 0.30)}_0 \text{ mm} = R4.85^{+0.075}_0 \text{ mm}$$

相应的落料凸模刃口基本尺寸与凹模刃口基本尺寸相同,分别为 35.7 mm、59.6 mm、R4.85 mm,不必标注公差,但要在技术要求中注明“凸模刃口尺寸与凹模刃口实际尺寸配制,保证凸、凹模双面间隙为 0.14~0.18 mm”。

(2) 冲孔凸模的刃口尺寸。

$\phi 16^{+0.43}_0$ mm 对应凸模刃口尺寸

$$\phi(16+0.5 \times 0.43)^{-0}_{(0.25 \times 0.43)} \text{ mm} = \phi 16.2^{-0}_{-0.11} \text{ mm}$$

相应的冲孔凹模刃口基本尺寸与凸模刃口基本尺寸相同,为 $\phi 16$ mm,不必标注公差,但要求在技术要求中注明“凹模刃口尺寸与凸模刃口实际尺寸配制,保证凸、凹模双面间隙为 0.14~0.18 mm”。

4. 模具总体设计

1) 模具类型的选择

由冲压工艺分析得出,采用正装复合模。

2) 定位方式的选择

因为定位采用的是条料,控制条料的送进方向可采用导料销,无侧压装置。控制条料的进给步距采用挡料销。

2) 卸料、顶件装置设计

(1) 卸料板的设计。由图 2-1 冲裁模各部件的尺寸关系并结合生产实际,将卸料板的周界尺寸与凹模的周界尺寸设计相同,厚度设计成 14 mm。卸料板采用 45 钢制造,淬火硬度为 40~45 HRC。

(2) 卸料螺钉的选用。卸料板上设置 4 个卸料螺钉,公称直径为 8 mm,螺纹尺寸为 M6×10 mm。卸料螺钉的尾部应留有足够的行程空间。卸料螺钉拧紧后,应使卸料板超出凸模断面 1 mm,有误差时通过在螺钉与卸料板之间安装垫片来调整。

(3) 顶件块的设计。正装复合模工件一般采用上出料方式,为了节约材料和防止下模座被冲裁力的压力挤压,通常在凹模下面、下模座上面加上一块垫板。顶件块与弹顶器用顶杆相连。

3) 模架与其他零部件的设计

该模具采用中间导柱式模架,该模架的导柱在模具中间位置,冲压时可防止由于偏心力矩而引起的模具歪斜。根据凹模周界尺寸,选择模架的规格。

(1) 导柱规格($d/\text{mm} \times L/\text{mm}$):左导柱 $\phi 28 \times 160$,右导柱 $\phi 32 \times 160$ 。

(2) 导套规格($d/\text{mm} \times L/\text{mm} \times D/\text{mm}$):左导套 $\phi 28 \times 115 \times 42$,右导套 $\phi 32 \times 160 \times 45$ 。

(3) 上、下模座相关尺寸:根据凹模周界尺寸,参照冷冲压设计资料确定,其中上模座厚度 $H_{\text{上}}$ 取 25 mm,下模座厚度 $H_{\text{下}}$ 取 30 mm。

(4) 上、下模垫板尺寸:垫板外形尺寸与凹模周界尺寸设计相同,厚度 $H_{\text{垫}}$ 均取 5 mm。

(5) 上、下固定板尺寸:固定板外形尺寸与凹模周界尺寸设计相同,厚度 $H_{\text{固}}$ 均取 20 mm,则模具闭合高度 $H_{\text{模}}$ 为

$$\begin{aligned} H_{\text{模}} &= H_{\text{上}} + H_{\text{下}} + 2H_{\text{垫}} + L_{\text{凸}} + L_{\text{凸凹}} - h \\ &= (25 + 30 + 2 \times 5 + 50 + 56 - 2) \text{ mm} = 169 \text{ mm} \end{aligned}$$

式中, $L_{\text{凸}}$ 为冲孔长度(mm); $L_{\text{凸凹}}$ 为凸凹模长度(mm); h 为落料凸模冲裁后进入凹模的深度(mm),取 2 mm。

可见该模具的闭合高度小于拟选用的压力机 J23-25A 的最大装模高度(180 mm),所以可以使用该型号压力机。

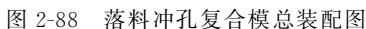


小提示

如果模具的闭合高度大于所选择压力机的最大装模高度,应修改模具各部件的结构尺寸,尤其是各部件厚度方向尺寸,或者重新选择压力机吨位。

6. 模具装配图

通过以上设计,可得到如图 2-88 所示的模具装配图。模具上模部分主要由上模座、垫板、凸凹模、凸凹模固定板、卸料橡胶及卸料板等组成。卸料方式采用弹性卸料方式,以橡胶为弹性元件。下模部分由下模座、落料凹模、垫板、冲孔凸模、固定板及导料销等组成。冲孔废料由打杆从凸凹模型腔内打出,工件由下模中推件块从落料凹模中顶出。



- 1—顶杆；2、4、13—垫板；3—凸模固定板；5—凸模；6—推件块；7—落料凹模；8—导料销；9—卸料板；
10—推杆；11—凸凹模；12—凸凹模固定板；14—上模座；15—模柄；16—打杆；
17—橡胶；18—卸料螺钉；19—挡料销；20—下模座

习 题 2

一、填空题

1. 冲裁时板料的变形过程可分为_____、_____和_____三个阶段。
2. 冲裁件的断面可分为_____、_____、_____和_____四个特征区域。
3. 冲裁间隙对冲裁件_____、_____、_____及_____等有影响。
4. 冲裁时,凸模和凹模要与制件或废料发生摩擦,凸模越磨越_____,凹模越磨越_____,结果使_____越来越大。
5. 落料件尺寸由_____决定,冲孔时孔的尺寸由_____决定。故设计落料模时,以_____为基准,间隙取在_____上;设计冲孔模时,以_____为基准,间隙取在_____上。
6. 冲裁时凸、凹模刃口尺寸计算通常有_____和_____两种方法。
7. 对称形状工件冲模压力中心,位于工件轮廓图形的_____。
8. 根据材料的经济利用程度,排样方法可分为_____、_____和_____三种。
9. 冲裁模的结构按工序组合方式可分为_____、_____和_____。
10. 凹模外形一般有_____和_____两种。

二、简答题

1. 请简述冲裁凸、凹模刃口尺寸的计算原则。

2. 怎样确定凸模的长度?
3. 在设计与制造冲裁模时,凸、凹模间隙应取在什么方向上?
4. 请简述凸、凹模常用的材料。
5. 为什么凸、凹模的硬度不同? 哪个更硬?
6. 排样的方式有哪几种类型?
7. 请简述模架的组成部件。
8. 什么是搭边? 有何作用?
9. 正装复合模与倒装复合模有何区别?
10. 冲裁模常用的定位零件有哪些?
11. 冲裁间隙对冲裁件尺寸精度有何影响?
12. 冲裁件的工艺性指的是什么?
13. 冲裁模设计的一般步骤是什么?

三、计算题

1. 如图 2-89 所示零件, $a = 80_{-0.42}^0 \text{ mm}$, $b = 40_{-0.34}^0 \text{ mm}$, $c = 35_{-0.34}^0 \text{ mm}$, $d = (22 \pm 0.14) \text{ mm}$, $e = 15_{-0.12}^0 \text{ mm}$, 材料厚度 $t = 1 \text{ mm}$, 材料为 10 钢。

- (1) 计算冲裁力、卸料力及顶件力。
- (2) 确定其压力中心。
- (3) 凸、凹模按配合方法加工时, 确定冲裁凸、凹模刃口尺寸及偏差。

2. 设计如图 2-90 所示零件的落料冲裁模, 材料为 Q235, 材料厚度 $t = 2 \text{ mm}$ 。

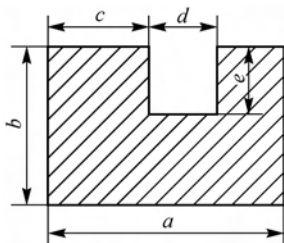


图 2-89

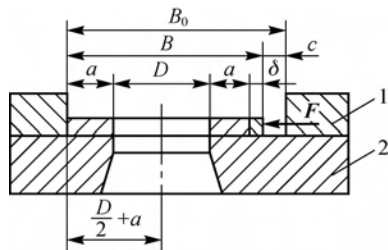


图 2-90

第 3 章 弯曲工艺及弯曲模设计

知识目标

- ✱ 理解弯曲工艺的基本概念；
- ✱ 了解弯曲时板料的变形过程、变形特点及应力应变状态；
- ✱ 理解弯曲件出现裂纹、回弹现象的原因及控制措施；
- ✱ 理解弯曲件的工艺性分析；
- ✱ 熟悉弯曲模的分类及典型结构。

技能目标

- ✱ 重点掌握弯曲件毛坯尺寸的计算及弯曲工艺力的计算；
- ✱ 掌握弯曲模工作零件的设计；
- ✱ 能够根据本章介绍的理论知识及实例进行典型弯曲模的结构分析及模具设计。

通过冲压使板料、棒料和管料各部分之间形成一定角度从而获得所需零件形状的工艺方法称为弯曲。弯曲是冲压的基本工序之一，在冲压生产中占有很大比例。弯曲零件的种类很多，如汽车的纵梁、自行车车把、各种电器零件的支架、门窗铰链等。弯曲件的基本类型如图 3-1 所示。弯曲方法有压弯、折弯、拉弯、辊弯、辊形等，但最常见的是用弯曲模在普通压力机上进行压弯。尽管各种弯曲方法不同，但其弯曲过程及特点具有相同规律。

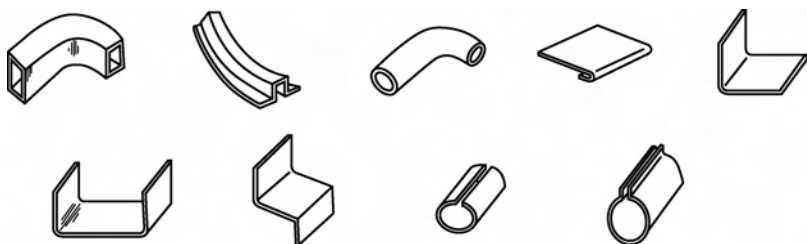


图 3-1 弯曲件的基本类型

3.1 弯曲变形过程分析

3.1.1 弯曲时板料的变形过程

V 形件弯曲是板料弯曲中最基本的一种弯曲形式，其弯曲过程如图 3-2 所示。开始弯

曲时,板料的弯曲内侧半径大于凸模的圆角半径。随着凸模的下压,板料的直边与凹模 V 形表面逐渐靠近,弯曲内侧半径 r 逐渐减小,即 $r_1 > r_2 > r_3 > r$,变形程度逐渐增加;同时,弯曲力臂 L 也逐渐减小,即 $L_1 > L_2 > L_3 > L_k$, L_k 为第 k 次弯曲后的弯曲力臂。当凸模、板料与凹模三者完全压紧,并且板料的弯曲内侧半径 r 及弯曲力臂 L 达到最小时,弯曲过程结束。

凸模、板料与凹模三者完全压紧后,如果再对弯曲件增加一定的压力,则称为校正弯曲。没有这一过程的弯曲称为自由弯曲。

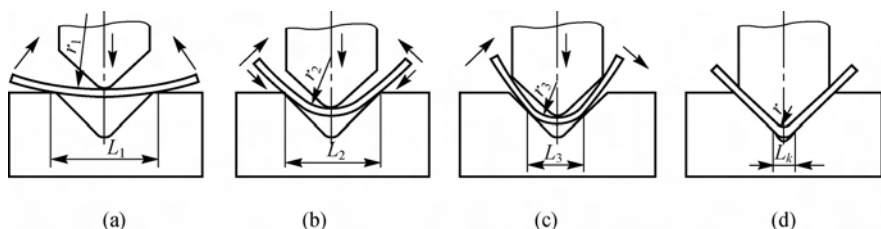


图 3-2 V 形件弯曲过程

3.1.2 板料弯曲变形特点

为了分析弯曲时板料的变形特点,常采用画网格的方法进行辅助分析。如图 3-3 所示,先在板料侧面用机械刻线或照相腐蚀的方法制成正方形网格,然后用工具观察并测量弯曲前后网格的尺寸和形状变化情况。

弯曲前,板料侧面线条均为直线,组成大小一致的正方形小格,纵向网格线长度 $\overline{aa} = \overline{bb}$,见图 3-3(a)。弯曲后,见图 3-3(b),通过观察网格形状的变化,可以看出弯曲变形具有以下特点:

(1) 圆角部分的正方形网格变成了扇形,远离圆角的直边部分没有变化,紧邻区域略受影响,说明弯曲变形区主要在圆角部分。通过不同角度的弯曲,会发现弯曲圆角半径越小,该变形区的网格变形越大。因此,弯曲变形程度可以用相对弯曲半径来表示,即 r/t 。

(2) 变形区内,板料外侧(靠凹模一侧)纵向纤维受拉而伸长;板料内侧(靠凸模一侧),纵向纤维受压而缩短。内、外侧至板料中心其缩短和伸长的程度逐渐变小。由于材料的连续性,在伸长和缩短两个变形区域之间,必定有一层金属纤维长度在弯曲变形前后保持不变,这一金属层称为应变中性层(图中 $O-O$ 层)。

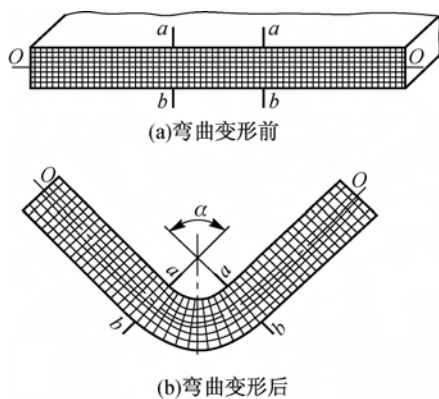


图 3-3 弯曲变形前后坐标网格的变化



小提示

当弯曲变形程度很小时,应变中性层的位置基本上处于材料厚度的中心,但当弯曲变形程度较大时,应变中性层将向材料内侧移动,变形量愈大,内移量愈大。

(3)弯曲变形程度较大时,变形区外侧材料受拉伸长,使得厚度方向的材料减薄;变形区内侧材料受压,使得厚度方向的材料增厚。由于应变中性层位置的内移,外侧的减薄区域随之扩大,内侧的增厚区域逐渐缩小,外侧的减薄量大于内侧的增厚量,因此使弯曲变形区的材料厚度变薄。变形程度愈大,变薄现象愈严重。

(4)板料弯曲时,分窄板和宽板两种情况。窄板(相对宽度 $B \leq 3t$, 其中 B 为板料宽度, t 为板料厚度)弯曲时,横截面变成扇形;而宽板(相对宽度 $B \geq 3t$)弯曲时,横截面几乎不变,仍保持矩形,如图 3-4 所示。

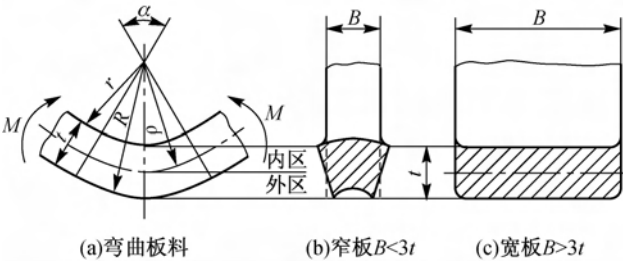


图 3-4 板料弯曲时横截面的变形

3.1.3 弯曲变形区的应力应变状态

由弯曲变形的特点可以很容易地确定变形区的应变状态。再按应力与应变的对应关系,便可以确定相应的应力状态,具体见表 3-1。

表 3-1 板料弯曲时的应力应变状态

变形区域	窄 板	宽 板
简图		
内区		
外区		

无论是窄板弯曲还是宽板弯曲,变形区的应力与应变状态沿切向和径向具有相同的特点,而沿板宽方向两者的应力与应变有较大的不同。

1. 切向方向

在切向,外区受拉,应力与应变均为正值,即 $\sigma_\theta > 0, \epsilon_\theta > 0$;而内区受压,应力与应变均为

负值,即 $\sigma_\theta < 0$ 、 $\epsilon_\theta < 0$ 。可见,切向应力沿材料厚度的分布是不连续的,由外区的拉应力转为内区的压应力。

2. 径向方向

在径向,即材料厚度方向,外区和内区的应变与相应切向应变的方向相反,即在外区, $\epsilon_\rho < 0$;在内区, $\epsilon_\rho > 0$ 。而外区与内区的径向应力均为压应力,即 $\sigma_\rho < 0$ 。这是由于切向变形沿材料厚度方向分布不均匀,就绝对值而言,由内、外表层的最大值向变形中性层递减为零,从而造成了材料层由内、外表层向变形中性层的相互挤压作用,使外区与内区的径向均产生压应力,并在变形中性层达到最大值时,而表层为零。

3. 板宽方向

在板宽方向,窄板与宽板的变形完全不同,其应力也完全不同。

1) 窄板

对于窄板,在板宽方向可以自由变形。因此,无论是外区还是内区,板宽方向的应力可视为零,即 $\sigma_B = 0$ 。而应变则与相应的切向应变方向相反,外区为压应变,即 $\epsilon_B < 0$;内区为拉应变,即 $\epsilon_B > 0$ 。

2) 宽板

对于宽板,在板宽方向基本不变形。因此无论是外区还是内区,板宽方向的应变可视为零,即 $\epsilon_B = 0$ 。对比窄板弯曲产生的截面畸变,可以看出宽板弯曲时,外区材料收缩受阻碍将产生拉应力,即 $\sigma_B > 0$,而内区材料伸长受阻碍将产生压应力,即 $\sigma_B < 0$ 。



小提示

由于窄板弯曲与宽板弯曲在板宽方向变形的特殊性,使得窄板弯曲时应力状态是平面的,应变状态是立体的;而宽板弯曲时正好相反,应变状态是平面的,应力状态是立体的。

3.2 弯曲件的质量控制

3.2.1 弯曲裂纹及其控制

1. 弯曲裂纹与最小相对弯曲半径

设弯曲件中性层的曲率半径为 ρ ,弯曲带圆心角为 α ,如图 3-5 所示。中性层曲率半径 $\rho = r + t/2$,且弯曲后材料厚度保持不变,即 $r_1 = r + t$,由此可得最外层的伸长率 $\delta_{\text{外}}$ 为

$$\delta_{\text{外}} = \frac{(r_1 - \rho)\alpha}{\rho\alpha} = \frac{1}{\frac{2r}{t} + 1}$$

将材料的伸长率 δ 代入 $\delta_{\text{外}}$,可求得最小相对弯曲半径与材料的伸长率的关系为

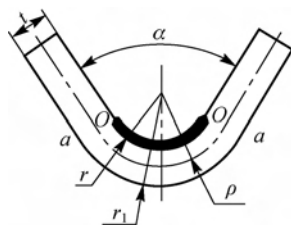


图 3-5 板料弯曲时的变形情况

$$\frac{r_{\min}}{t} = \frac{1-\delta}{2\delta}$$

由此可知,对于一定厚度的材料,弯曲半径愈小,外层材料的相对伸长量愈大。当外边缘材料的相对伸长量达到材料的伸长率时,就会产生弯曲裂纹。在保证毛坯最外层纤维不发生破裂的前提下,所能达到的内表面最小圆角半径与厚度的比值 $r_{\min}/t$ 称为最小相对弯曲半径。

2. 影响最小相对弯曲半径的因素

1) 材料的力学性能

材料的塑性愈好,其伸长率 δ 值愈大,最小相对弯曲半径 $r_{\min}/t$ 就愈小。

2) 弯曲件角度

弯曲件角度 α 愈大, $r_{\min}/t$ 愈小。这是因为在弯曲过程中,板料的变形并不局限在圆角变形区。由于材料的相互牵连,其变形扩展到圆角附近的直边部分,扩大了弯曲变形区范围,降低了圆角处应变的最大值,使 $r_{\min}/t$ 减小。 α 愈大,圆角中段应变大小的降低愈明显,所以,允许的 $r_{\min}/t$ 愈小。

3) 板料宽度

对于窄板弯曲,在板料宽度方向的应力为零。宽度方向的材料可以自由流动,以缓解弯曲圆角外侧的拉应力状态,因此,可使 $r_{\min}/t$ 减小。

4) 板料的热处理状态

经退火的板料由于塑性得到提高,所以 $r_{\min}/t$ 会减小。反之,冷作硬化的板料塑性降低, $r_{\min}/t$ 会增大。

5) 板料的边缘情况及表面情况

由于下料,造成板料边缘冷作硬化、产生毛刺以及板料表面被划伤等缺陷,弯曲时容易导致产生附加拉应力而增加破裂倾向,使 $r_{\min}/t$ 增大。

6) 相对于板料的弯曲方向

板料经过辗压后产生了纤维状组织,这种纤维状组织状态具有各向异性的力学性能。沿纤维方向的力学性能较好,抗拉强度较高,不易拉裂。因此,当折弯线与纤维组织方向垂直时, $r_{\min}/t$ 数值最小,平行时最大。为了获得较小的弯曲半径,应使折弯线和辗压方向垂直。当弯曲件具有两个折弯线且相互垂直时,要避免使折弯线平行于纤维方向,而应使折弯线与纤维方向保持一定的角度,如图 3-6 所示。

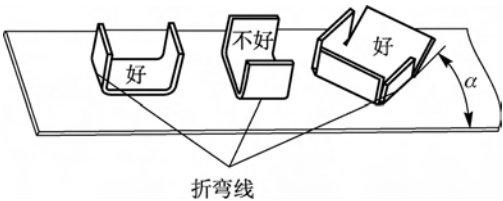


图 3-6 材料纤维方向对弯曲半径的影响

影响 $r_{\min}/t$ 的因素较多,难以建立 $r_{\min}/t$ 与这些影响因素的数量关系。实际应用中一般由试验确定。根据试验得到的最小相对弯曲半径 $r_{\min}/t$ 的试验数值见表 3-2。

表 3-2 最小相对弯曲半径 $r_{\min}/t$ 的试验数值

材 料	正火或退火		冷作硬化	
	弯曲线方向			
	与轧纹垂直	与轧纹平行	与轧纹垂直	与轧纹平行
铝	0	0.3	0.3	0.8
退火黄铜			1.0	2.0
黄铜 H68			0.4	0.8
05、08F			0.2	0.5
08、10、Q215	0	0.4	0.4	0.8
15、20、Q235	0.1	0.5	0.5	1.0
25、30、Q255	0.2	0.6	0.6	1.2
35、40	0.3	0.8	0.8	1.5
45、50	0.5	1.0	1.0	1.7
55、60	0.7	1.3	1.3	2.0
硬铝(软)	1.0	1.5	1.5	2.5
硬铝(硬)	2.0	3.0	3.0	4.0
镁合金 MA1-M MA8-M	300℃热弯		冷弯	
	2.0	3.0	6.0	8.0
	1.5	2.0	5.0	6.0
钛合金 BT1 BT5	300~400℃热弯		冷弯	
	1.5	2.0	3.0	4.0
	3.0	4.0	5.0	6.0
铝合金($t\leqslant 2\text{ mm}$) BM1、BM2	400~500℃热弯		冷弯	
	2.0	3.0	4.0	5.0

注：本表用于材料厚度 $t<10\text{ mm}$ 、弯曲角大于 90° 、剪切断面良好的情况。

3. 控制弯曲裂纹的措施

控制弯曲裂纹有如下措施：

(1)要选用表面质量好且无缺陷的材料做弯曲件的毛坯。如果毛坯有缺陷,应在弯曲前清除掉,否则弯曲时会在缺陷处开裂。

(2)在设计弯曲件时,应使工件弯曲半径大于其最小弯曲半径(即 $r_{\text{件}}>r_{\min}$),防止弯曲时由于变形程度过大产生裂纹。若需要 $r_{\text{件}}<r_{\min}$ 时,则应两次弯曲,最后一次以校正工序达到工件圆角半径的要求。

(3)弯曲时,应尽可能使弯曲线与板料轧制方向垂直或成大于 α 角(α 一般取 30°),见图 3-6。

(4)弯曲时毛刺会引起应力集中而使工件开裂,故应把有毛刺的一边放在弯曲内侧。

3.2.2 弯曲回弹及其控制

1. 回弹现象及回弹原因分析

常温下的塑性弯曲和其他塑性变形一样,在外力作用下产生的总变形由塑性变形和弹性变形两部分组成。当弯曲结束,外力去除后,塑性变形保留下来,而弹性变形则完全消失。弯曲变形区外侧因弹性恢复而缩短,内侧因弹性恢复而伸长,产生了弯曲件的弯曲角度和弯曲半径与模具相应尺寸不一致的现象。这种现象称为回弹,也叫回跳或弹复。回弹是弯曲成形时常见的现象,也是弯曲件生产中的一个棘手问题,如图 3-7 所示。

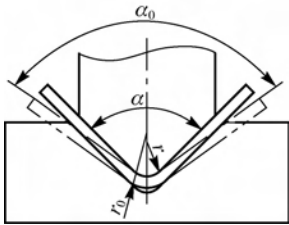


图 3-7 弯曲件的回弹

回弹的表现形式有弯曲半径增大和弯曲件角度增大两种情况。

1) 弯曲半径增大

卸载前板料的内半径 r (与凸模的半径吻合), 卸载后增加至 r_0 。弯曲半径的增量为

$$\Delta r = r_0 - r \tag{3-1}$$

式中, Δr 为弯曲半径的增量 (mm); r_0 为卸载后弯曲件的半径 (mm); r 为卸载前弯曲件的半径 (mm)。

2) 弯曲件角度增大

卸载前弯曲件角度为 α (与凸模的顶角吻合), 卸载后增大至 α_0 , 角度的增量为

$$\Delta \alpha = \alpha_0 - \alpha \tag{3-2}$$

式中, $\Delta \alpha$ 为弯曲件角度的增量 ($^\circ$); α_0 为卸载后弯曲件的角度 ($^\circ$); α 为卸载前弯曲件的角度 ($^\circ$)。

2. 影响回弹的主要因素

1) 材料的力学性能

材料的上屈服强度 R_{eH} 愈大, 弹性模量 E 愈小, 硬化指数 n 愈大, 则弯曲的回弹值也愈大。

2) 相对弯曲半径

相对弯曲半径 r/t 愈大, 板料的弯曲变形程度愈小, 在板料中性层两侧的纯弹性变形区增加愈多, 塑性变形区中的弹性变形所占的比例也愈大。故相对弯曲半径 r/t 愈大, 回弹值愈大。

3) 弯曲件角度

弯曲件角度 α 愈小, 表示变形区域愈大, 回弹的机率愈大, 所以角度回弹愈大, 但对弯曲半径的回弹影响不大。

4) 弯曲方式

板料弯曲方式有自由弯曲和校正弯曲。在无底的凹模中自由弯曲时, 回弹值大; 在有底的凹模内作校正弯曲时, 回弹值小。其原因是校正弯曲力较大, 可改变弯曲件变形区的应力状态, 增加圆角处的塑性变形程度。

5) 弯曲件的形状

一般 U 形件比 V 形件回弹小, “└┐”形件比 U 形件回弹小。

6) 模具间隙

U 形件弯曲时, 模具间隙对回弹值有直接影响。间隙大, 板料处于松动状态, 回弹就大; 间隙小, 板料被挤压(贴合模具), 回弹就小。

3. 控制回弹的措施

1) 改进零件的结构设计

在变形区增设加强筋或边翼, 增加弯曲件的刚性, 使弯曲件回弹困难, 如图 3-8 所示。

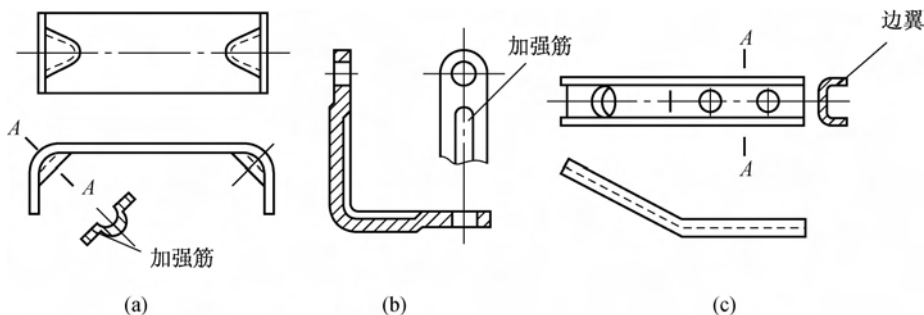


图 3-8 改进零件的结构设计

2) 从工艺上采取措施

(1) 用校正弯曲替代自由弯曲。

(2) 对一些硬材料及已冷作硬化的材料, 弯曲前先进行退火处理, 降低其上屈服强度 R_{eH} , 弯曲后视需要再做淬硬处理。

3) 从模具结构上采取措施

常用的方法有补偿法和校正法。

(1) 补偿法。补偿法即预先估算或试验出工件弯曲后的回弹量, 在设计模具时, 使弯曲工件的变形超过原设计的变形, 工件回弹后得到所需要的形状。如图 3-9(a) 所示为单角回弹的补偿, 根据已确定出的回弹角, 在设计凸模和凹模时减小模具的角度, 作出补偿。如图 3-9(b) 所示的情况可采取两种措施: 其一是使凸模向内侧倾斜, 形成补偿角 $\Delta\theta$; 其二是使凸、凹模单边间隙小于材料厚度, 凸模将毛坯压入凹模后, 利用毛坯外侧与凹模的摩擦力使毛坯的两侧都向内贴紧凸模, 从而实现回弹的补偿。如图 3-9(c) 所示的补偿法, 是在工件底部形成一个圆弧状弯曲, 凸、凹模分离后, 工件圆弧部分有回弹为直线的趋势, 带动其两侧板向内倾斜, 使回弹得到补偿。

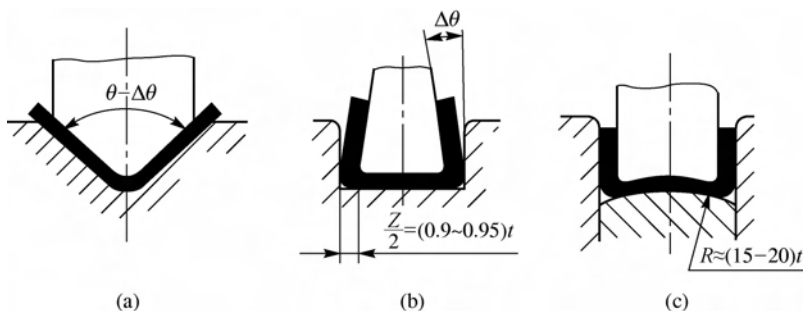


图 3-9 补偿法

(2)校正法。校正法是让校正压力集中在弯角处,使其产生一定塑性变形,克服回弹。如图 3-10 所示为弯曲校正力集中作用于弯曲圆角处。

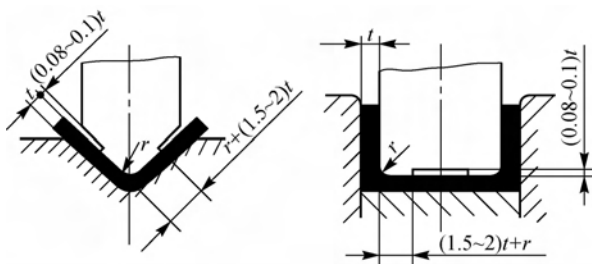


图 3-10 校正法

3.3 弯曲成形的工艺设计

弯曲成形的工艺设计主要包括弯曲件工艺性分析、弯曲件毛坯尺寸计算、弯曲工艺力的计算及弯曲工序安排等方面的内容。具有良好工艺性的弯曲件,同时采用合理的工序安排,不仅能提高弯曲件质量,减少废品率,而且能简化工艺和模具结构,降低生产成本。

3.3.1 弯曲件的工艺性分析

弯曲件结构形状、尺寸、材料性能对弯曲工艺的适应性称为弯曲件的工艺性。对弯曲件的工艺性分析应遵循弯曲过程变形规律,通常主要考虑以下几个方面。

1. 弯曲半径

弯曲件的弯曲半径不宜过大或过小。过大因受回弹影响,弯曲件的精度不易保证;过小则会产生裂纹。弯曲半径应大于表 3-2 中所列的最小相对弯曲半径。否则应选用多次弯曲,并在两次弯曲之间增加中间退火工序。对厚度较大的弯曲件可在弯曲角内侧压槽后再进行弯曲,如图 3-11 所示。

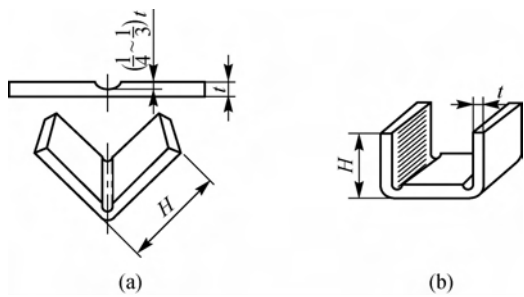


图 3-11 压槽后再进行弯曲

2. 弯曲件形状与尺寸的对称性

弯曲件的形状与尺寸应尽可能对称,高度也不应相差太大。当冲压不对称的弯曲件时,

因受力不均匀,板料容易偏移,尺寸不易保证,如图 3-12 所示。为防止板料的偏移,在设计模具结构时应考虑增设压料板,或增加工艺孔定位。

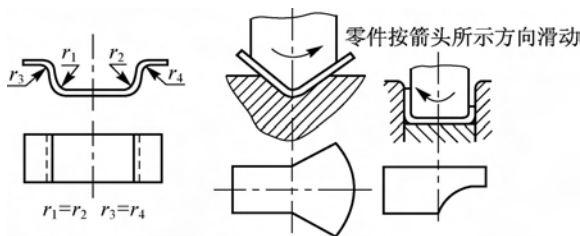


图 3-12 弯曲件形状对弯曲过程的影响

弯曲件形状应力求简单,边缘有缺口的弯曲件,若在板料上先将缺口冲出,弯曲时会出现叉口现象,严重时难以成形。这时必须在缺口处留有连接带,弯曲后再将连接带切除,如图 3-13 所示。

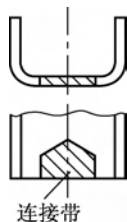


图 3-13 带有缺口的弯曲件

3. 直边高度

保证弯曲件直边平直的高度 h 大于 $2t$,如图 3-14(a)所示;否则,需先压槽或加高直边,弯曲后切掉,如图 3-14(b)所示。如果所弯直边带有斜线,且斜线达到变形区造成开裂,则应改变零件的形状,分别如图 3-14(c)和(d)所示。

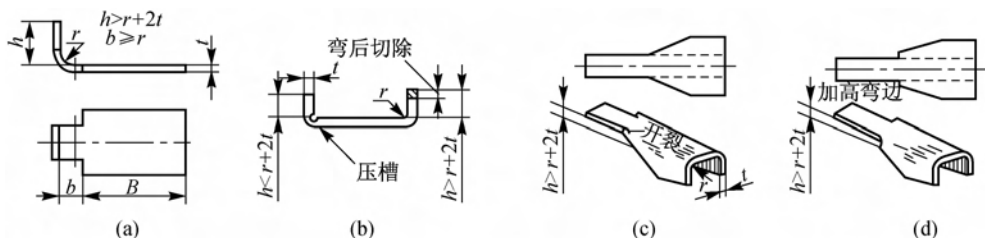


图 3-14 弯曲件直边高度对弯曲的影响

4. 孔边距

当弯曲件带孔时,一般先冲孔后弯曲,如果孔边距离弯曲线太近,弯曲时会引起孔的变形。因此,孔边缘到弯曲线的距离 L 不能太小,如图 3-15(a)所示,其值应满足下列条件:

- (1) 当 $t < 2 \text{ mm}$ 时, $L \geq t$ 。
- (2) 当 $t \geq 2 \text{ mm}$ 时, $L \geq 2t$ 。

如果工件上的孔边距离弯曲线太近而不能满足上述条件时,一般需弯曲后再冲孔。但

以弯曲件为工序件的冲孔模,因凹模壁较薄,设计时有一定的困难。如果工件结构上允许,可在弯曲变形区靠近孔处预先冲出工艺孔,如图 3-15(b)所示。使工艺孔变形来保证所要求的孔不产生变形。工艺孔的形状可视具体需要取圆形或椭圆形等简单形状。

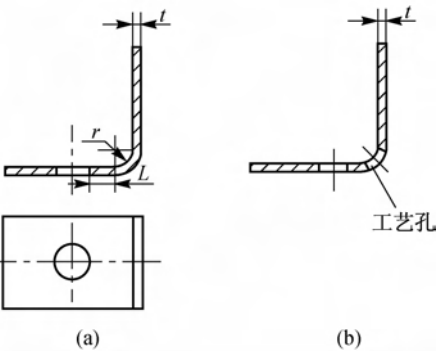


图 3-15 弯曲件孔边距

5. 局部边缘弯曲

当局部弯曲某一段边缘时,为防止在交接处由于应力集中而产生开裂,可预先冲裁卸荷孔或切槽,也可将弯曲线移动一段距离,以离开尺寸突变处,如图 3-16 所示。

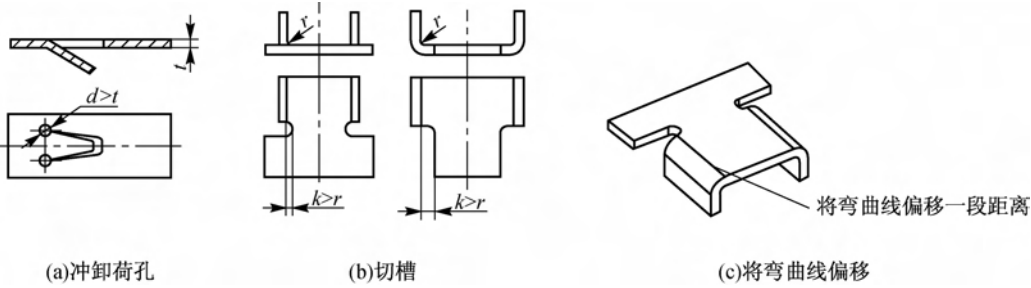


图 3-16 防止弯曲边交接处应力集中的措施

6. 弯曲件的尺寸精度

弯曲件尺寸公差见表 3-3。尺寸公差最好大于表中较高精度值,相应角度公差最好大于 $\pm 30'$,否则,应增加整形工序或采用其他工艺措施。

表 3-3 弯曲件的尺寸公差 单位:mm

材料 厚度 t	制件尺寸											
	较高公差等级的制件						一般公差等级的制件					
	≤ 3	3~10	10~25	25~63	63~160	160~400	≤ 3	3~10	10~25	25~63	63~160	160~400
≤ 0.5	0.07	0.09	0.12	0.16	0.22	0.26	0.11	0.14	0.20	0.26	0.36	0.42
0.5~1	0.09	0.12	0.18	0.22	0.30	0.38	0.14	0.20	0.28	0.36	0.48	0.62
1~3	0.12	0.18	0.26	0.32	0.42	0.54	0.20	0.30	0.40	0.50	0.68	0.88
3~6	—	0.24	0.32	0.40	0.54	0.70	—	0.38	0.50	0.66	0.88	1.10
> 6	—	—	0.40	0.46	0.62	0.88	—	—	0.62	0.76	1.00	1.40

3.3.2 弯曲件毛坯尺寸计算

弯曲件的毛坯尺寸可以通过中性层长度不变的特性或弯曲前后体积不变的原则进行计算。

1. 弯曲件中性层位置

在计算弯曲件的毛坯尺寸时,必须首先确定中性层的位置,中性层位置可用其弯曲半径 ρ 确定,如图 3-17 所示(α 为弯曲中心角)。 ρ 可按以下经验公式计算

$$\rho=r+xt \tag{3-3}$$

式中, ρ 为中性层弯曲半径(mm); r 为内弯曲半径(mm); t 为材料厚度(mm); x 为中性层位移系数,见表 3-4。

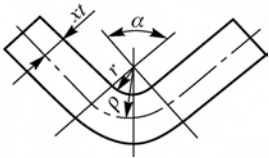


图 3-17 弯曲件中性层

表 3-4 中性层位移系数

r/t	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
x	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25	0.26	0.28	0.30	0.32	0.33
r/t	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	≥ 8.0
x	0.34	0.36	0.38	0.39	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50

2. 弯曲件毛坯展开长度计算

弯曲件的形状、弯曲半径及弯曲方法等不同,其毛坯展开尺寸的计算方法也不同。弯曲件毛坯展开长度的计算有以下几种。

1) $r>0.5t$ 的弯曲件

$r>0.5t$ 的弯曲件由于变薄不严重,按中性层展开的原理,毛坯总长度应等于弯曲件直线部分和圆弧部分长度之和,如图 3-18 所示。

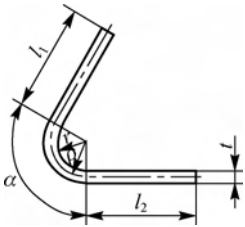


图 3-18 $r>0.5t$ 的弯曲件

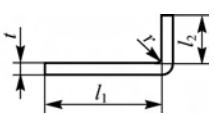
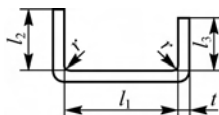
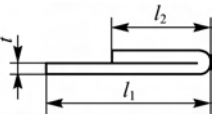
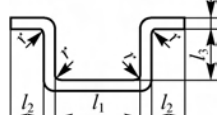
$$L_z=l_1+l_2+\frac{\pi\alpha}{180^{\circ}}\rho=l_1+l_2+\frac{\pi\alpha}{180^{\circ}}(r+xt) \tag{3-4}$$

式中, L_z 为坯料展开总长度(mm); l_1 、 l_2 分别为各直线段长度(mm); α 为弯曲中心角($^\circ$)。

2) $r \leq 0.5t$ 的弯曲件

对于 $r \leq 0.5t$ 的弯曲件, 由于弯曲变形时不仅制件的圆角变形区产生严重变薄, 而且与其相邻的直边部分也产生变薄, 故应按变形前后体积不变的条件确定坯料长度。通常采用表 3-5 所列经验公式计算。

表 3-5 $r \leq 0.5t$ 的弯曲件毛坯长度计算公式

简 图	计算公式	简 图	计算公式
	$L_z = l_1 + l_2 + 0.4t$		$L_z = l_1 + l_2 + l_3 + 0.6t$ (一次同时弯曲两个角)
	$L_z = l_1 + l_2 + 0.43t$		$L_z = l_1 + 2l_2 + 2l_3 + t$ (一次同时弯曲四个角) $L_z = l_1 + 2l_2 + 2l_3 + 1.2t$ (分为两次弯曲四个角)

3) 铰链式弯曲件

对于 $r = (0.6 \sim 3.5)t$ 的铰链件, 如图 3-19 所示。通常采用推圆的方法成形, 在卷圆过程中板料增厚, 中性层外移, 其坯料长度 L_z , 可按下列公式近似计算

$$L_z = l + 1.5\pi(r + x_1t) + r \approx l + 5.7r + 4.7x_1t \tag{3-5}$$

式中, l 为直线段长度(mm); r 为铰链内半径(mm); x_1 为卷边时中性层位移系数, 见表 3-6。

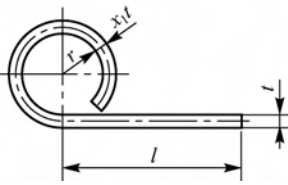


图 3-19 铰链式弯曲件

表 3-6 卷边时中性层位移系数 x_1 值

r/t	0.5~0.6	0.6~0.8	0.8~1	1~1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2	2~2.2	>2.2
x_1	0.76	0.73	0.7	0.67	0.64	0.61	0.58	0.54	0.5

3.3.3 弯曲工艺力的计算

弯曲力是选择压力机和设计模具的重要依据。由于弯曲力受材料性能、零件形状、弯曲方法、模具结构等多种因素的影响, 很难用理论分析的方法进行准确计算, 所以在生产中常采用经验公式来计算。

1. 自由弯曲的弯曲力

1) V 形件弯曲力

$$F_{\text{自}} = \frac{0.6KBt^2R_m}{r+t} \tag{3-6}$$

2)U 形件弯曲力

$$F_{自}=\frac{0.7KBt^2R_m}{r+t}$$
(3-7)

式中, $F_{自}$ 为自由弯曲在冲压行程结束时的弯曲力(N); B 为弯曲件的宽度(mm); t 为弯曲件材料厚度(mm); r 为弯曲件的内弯曲半径(mm); R_m 为材料的抗拉强度(MPa); K 为安全系数,一般取 $K=1.3$ 。

2. 校正弯曲的弯曲力

$$F_{校}=qA$$
(3-8)

式中, $F_{校}$ 为校正弯曲力(N); q 为单位面积校正力(MPa),其值见表 3-7; A 为校正部分投影面积(mm²)。

表 3-7 单位面积校正力 q 单位:MPa

材 料	材料厚度 t /mm			
	<1	1~3	3~6	6~10
铝	10~20	20~30	30~40	40~50
黄铜	20~30	30~40	40~60	60~80
10、15、20 钢	30~40	40~60	60~80	80~100
25、30 钢	40~50	50~70	70~100	100~120

3. 顶件力和压料力

如果弯曲模设有顶件装置或压料装置,其顶件力(或压料力)可近似取自由弯曲力 $F_{自}$ 的 30%~80%。

$$F_{顶}(或 F_{压})=(0.3\sim0.8)F_{自}$$
(3-9)

式中, $F_{顶}$ (或 $F_{压}$)为顶件力(或压料力)(N)。

4. 弯曲时压力机吨位的确定

自由弯曲时,压力机吨位的计算公式为

$$F_{压力机}\geq F_{自}+F_{顶}$$
(3-10)

校正弯曲时,由于校正力比顶件力或压料力大得多,所以 $F_{顶}$ 可以忽略。即

$$F_{压力机}\geq F_{校}$$
(3-11)

3.3.4 弯曲件的工序安排

弯曲件的工序安排应根据工件形状的复杂程度、弯曲材料的性质、尺寸精度要求的高低以及生产批量的大小等因素进行综合考虑。合理地安排弯曲工序可以简化模具结构,便于操作定位,减少弯曲次数,提高工件质量。

弯曲件工序安排一般方法如下:

(1)对于形状简单的弯曲件,如 V 形件、U 形件、Z 形件等可以采用一次弯曲成型的方法,如图 3-20 所示。

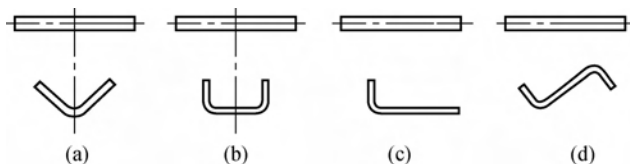


图 3-20 一道工序弯曲成形

(2) 对于形状较复杂的弯曲件,一般需要采用两次或多次弯曲成形,分别如图 3-21 和图 3-22 所示。



小提示

两次或两次以上弯曲时,应根据弯曲时材料的变形和移动等因素安排弯曲工序的先后顺序。一般先弯两端的外角,然后再弯中间部分的角,并要求确保后一次弯曲不影响前一次弯曲的成形部分,而前一次弯曲时应考虑使后一次弯曲应有可靠的定位基准。

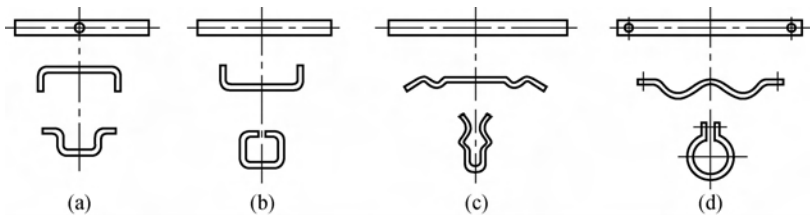


图 3-21 二道工序弯曲成形

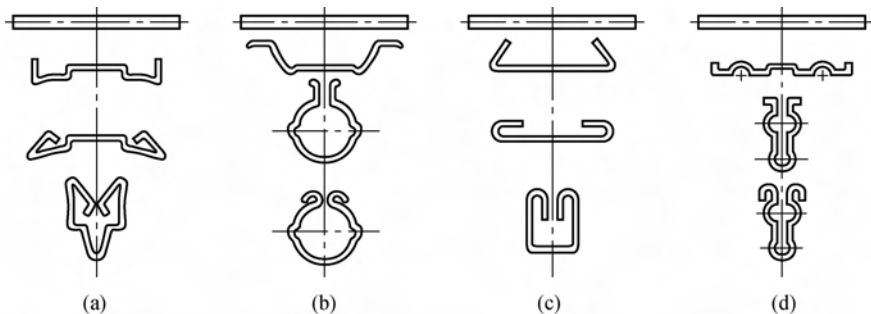


图 3-22 三道工序弯曲成形

(3) 对于批量大而尺寸较小的弯曲件(如电子产品中的元器件),为了提高生产效率和产品质量,可以采用多工位级进冲压的工艺方法,即在一副模具上安排冲裁、弯曲、切断等多道冲压工序,连续地进行冲压成形。

(4) 某些结构不对称的弯曲件,弯曲时毛坯容易发生偏移,可以采取工件成对弯曲成形,弯曲后再切开的方法,如图 3-23 所示,这样既防止了偏移,也改善了模具的受力状态。

(5) 如果弯曲件上孔的位置会受弯曲过程的影响,而且孔的精度要求较高时,该孔应在弯曲后再冲,否则孔的位置精度无法保证,如图 3-24 所示。

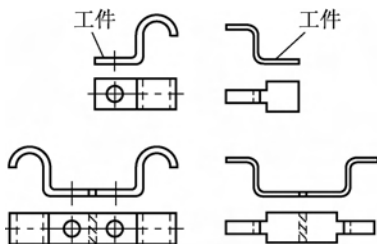


图 3-23 成对弯曲成形

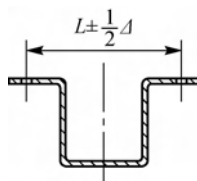


图 3-24 弯曲件的孔位精度

3.4 弯曲模的典型结构

常见的弯曲模结构类型有单工序弯曲模、级进弯曲模、复合弯曲模和通用弯曲模几种。

3.4.1 单工序弯曲模

1. V 形件弯曲模

V 形件形状简单,能够一次弯曲成形。V 形件的弯曲方法通常有沿弯曲件角平分线方向的 V 形弯曲法和垂直于一直边方向的 L 形弯曲法。如图 3-25(a)所示为简单的 V 形件弯曲模,其特点是结构简单、通用性好,但弯曲时坯料容易偏移,从而影响零件的精度。如图 3-25(b)~图 3-25(d)所示分别为带有定位尖、顶杆、V 形顶板的模具结构,可以防止坯料偏移,提高零件的精度。如图 3-25(e)所示为 L 形弯曲模,由于设置有顶板及定位销,可以有效防止弯曲时坯料的偏移,得到边长公差为 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 的零件。反侧压块的作用在于克服上、下模之间水平方向的错移力,同时也为顶板起导向作用,防止其窜动。

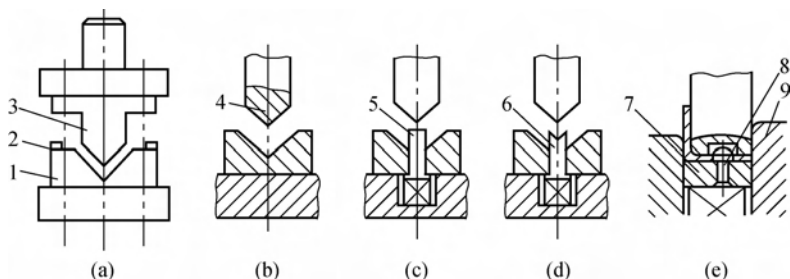


图 3-25 V 形件弯曲模的一般结构形式

1—凹模; 2—定位板; 3—凸模; 4—定位尖; 5—顶杆; 6—V 形顶板;
7—顶板; 8—定位销; 9—反侧压块

如图 3-26 所示为 V 形精冲弯曲模,两块活动凹模 4 通过转轴 3 铰接,定位板(或定位销)5 固定在活动凹模 4 上。弯曲前顶杆 1 将转轴 3 顶到最高位置,使两活动凹模成一平面。在弯曲过程中坯料始终与活动凹模 4 和定位板 5 接触,不会产生相对滑动和偏移,因此弯曲表面不会损伤,其质量较高。这种结构适用于有精确孔位的小零件以及没有足够的定位支承面、窄长的形状复杂的零件。

2. U 形件弯曲模

如图 3-27 所示为常用 U 形件弯曲模的结构形式。图 3-27(a) 结构最简单, 用于底部没有平整性要求的弯曲件。图 3-27(b) 用于底部要求平整的弯曲件。图 3-27(c) 用于材料厚度公差较大而外侧尺寸要求较高的弯曲件, 其凸模为活动结构, 可以随材料厚度自动调整凸模横向尺寸。图 3-27(d) 用于材料厚度公差较大而内侧尺寸要求较高的弯曲件, 其凹模两侧为活动结构, 可随材料厚度自动调整凹模横向尺寸。图 3-27(e) 为 U 形件精弯模, 两侧的凹模活动镶块用转轴 2 分别与顶板 1 铰接。弯曲前顶杆将顶板顶出凹模面, 同时顶板 1 与凹模活动镶块 4 成一平面, 镶块上有定位销 3 供工件定位之用。弯曲时工件与凹模活动镶块 4 一起运动, 保证两侧孔的同轴。图 3-27(f) 为弯曲件两侧壁厚变薄的弯曲模。

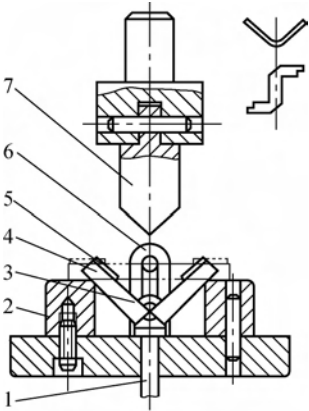


图 3-26 V 形精冲弯曲模

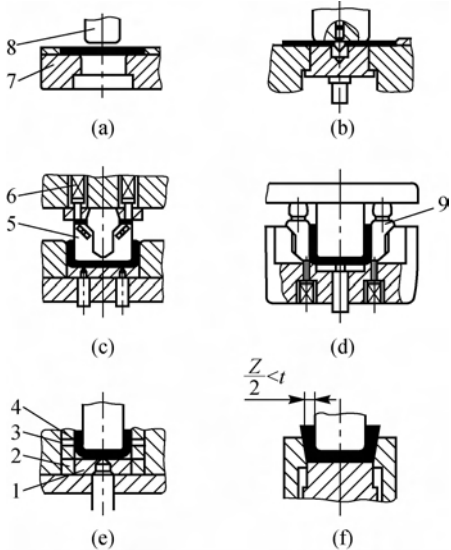


图 3-27 U 形件弯曲模

1—顶杆；2—支承板；3—转轴；4—活动凹模；
5—定位板（或定位销）；6—支架；7—凸模

1—顶板；2—转轴；3—定位销；4、9—凹模活动镶块；
5—凸模活动镶块；6—弹簧；7—凹模；8—凸模

3. Z 形件弯曲模

Z 形件一次弯曲即可成形, 图 3-28(a) 结构简单, 但由于没有压料装置, 压弯时坯料容易滑动, 只适用于精度要求不高的零件。图 3-28(b) 为有顶板和定位销的 Z 形件弯曲模, 能有效防止坯料的偏移。反侧压块的作用在于克服上、下模之间水平方向的错移力, 同时也为顶板起导向作用。图 3-28(c) 所示的 Z 形件弯曲模, 在冲压前活动凸模 7 在橡胶 9 的作用下与凸模 2 端面齐平。冲压时活动凸模 7 与顶板 5 将坯料夹紧, 并由于橡胶的弹力较大, 推动顶板下移使坯料左端弯曲。当顶板 5 接触下模座 6 后, 橡胶 9 压缩, 于是凸模 2 相对于活动凸模 7 下移将坯料右端弯曲成形。当压块 10 与上模座 11 相碰时, 整个工件得到校正。

4. 圆形件弯曲模

圆形件的尺寸大小不同, 其弯曲方法也不同, 一般按直径分为小圆和大圆两种。

1) 直径 $d \leq 5 \text{ mm}$ 的小圆形件

弯小圆的方法是先弯成 U 形, 再将 U 形弯成圆形。用两套简单模弯圆的方法如

图 3-29(a)所示。由于工件小,分两次弯曲操作不便,故可将两道工序合并。如图 3-29(b)所示为有侧楔的一次弯圆模,其工作过程为:上模下行,芯棒 1 将坯料弯成 U 形,上模继续下行,侧楔 4 推动活动凹模 2 将 U 形弯成圆形。如图 3-29(c)所示的也是一次弯圆模。上模下行时,压板 6 将滑块 3 往下压,滑块 3 带动芯棒将坯料弯成 U 形。上模继续下行,凸模 5 再将 U 形弯成圆形。如果工件精度要求高,可以旋转工件连冲几次,以获得较好的圆度。工件由垂直图面方向从芯棒上取下。

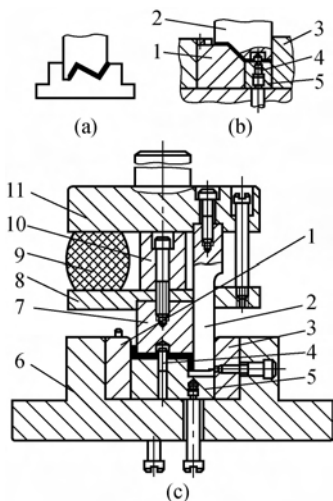


图 3-28 Z 形件弯曲模

- 1—凹模; 2—凸模; 3—反侧压块; 4—定位销; 5—顶板;
6—下模座; 7—活动凸模; 8—凸模托板;
9—橡胶; 10—压块; 11—上模座

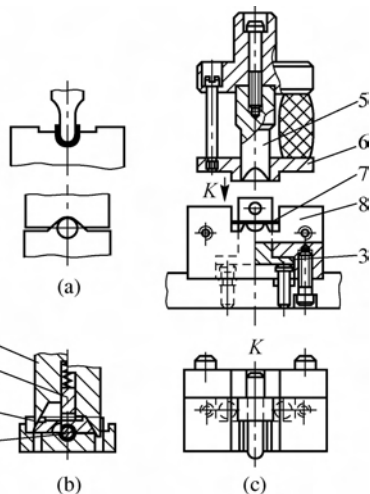


图 3-29 小圆弯曲模

- 1—芯棒; 2—活动凹模; 3—滑块; 4—侧楔;
5—凸模; 6—压板; 7—坯料; 8—凹模

2) 直径 $d \geq 20$ mm 的大圆形成件

如图 3-30(a)所示为带摆动凹模的一次弯曲成形模,凸模 2 下行先将坯料压成 U 形,凸模 2 继续下行,摆动凹模 3 将 U 形弯成圆形,工件顺凸模 2 轴线方向推开支承 4 取下。这种模具生产率较高,但由于回弹在工件接缝处留有缝隙和少量直边,工件精度差、模具结构也比较复杂。如图 3-30(b)所示为坯料绕芯棒卷制圆形件的方法。反侧压块 7 的作用是为凸模导向,并平衡上、下模之间水平方向的错移力。这种模具结构简单,工件的圆度较好,但需要行程较大的压力机。

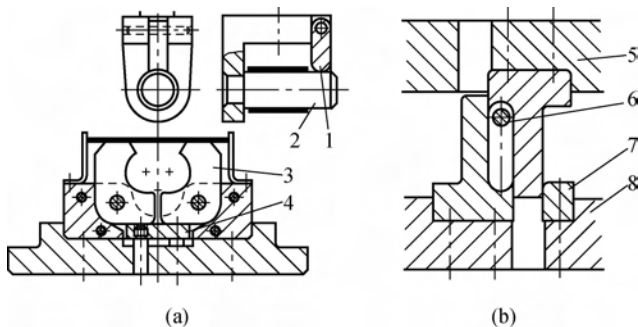


图 3-30 大圆一次弯曲成形模

- 1—顶板; 2—凸模; 3—摆动凹模; 4—支承压; 5—上模座; 6—芯棒; 7—反侧压块; 8—下模座

5. 铰链件弯曲模

铰链弯曲，一般先预弯头部，然后卷圆成形。预弯模结构如图 3-31 所示。

卷圆的原理通常采用推圆法，其过程如图 3-32 所示。卷圆模分为立式和卧式两种，如图 3-33 所示。图 3-33(a)为立式卷圆模，结构简单，适用于工件短或材料厚的铰链。图 3-33(b)为卧式卷圆模，有压料装置，工件质量好。

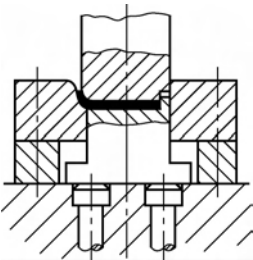


图 3-31 预弯模结构

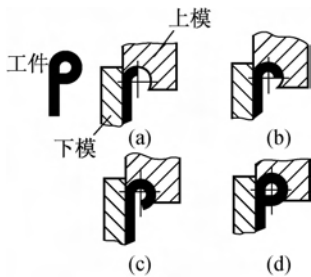


图 3-32 卷圆成形过程

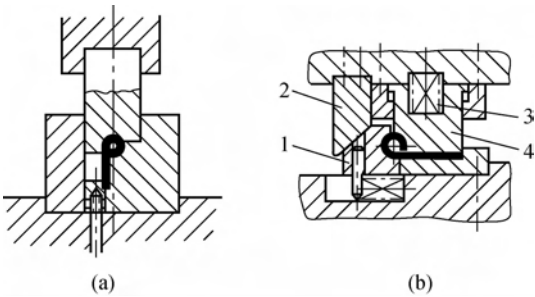


图 3-33 铰链件弯曲模

1—凹模；2—斜楔；3—弹簧；4—凸模

3.4.2 级进弯曲模

对于批量较大、尺寸较小的弯曲件，为了提高生产率和操作安全性，保证产品质量，可以采用连续弯曲的级进模进行多工位的冲裁、弯曲、切断等工艺成形，如图 3-34 所示。

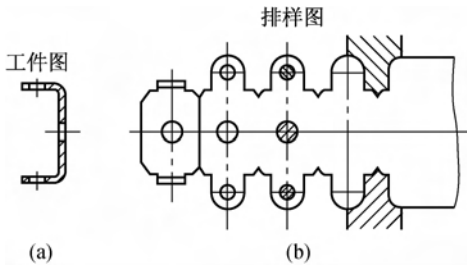


图 3-34 连续工艺成形

如图 3-35 所示为同时进行冲孔、切断和弯曲的级进模。条料以导料板导向并从刚性卸料板下面送至挡块 1 右侧定位。上模下行时，凸凹模 3 将条料切断并随即将切断的坯料压

弯成形。与此同时,冲孔凸模 4 在条料上冲孔。上模回程时,卸料板卸下条料,顶件销 2 在弹簧的作用下推出零件,获得侧壁带孔的 U 形弯曲件。

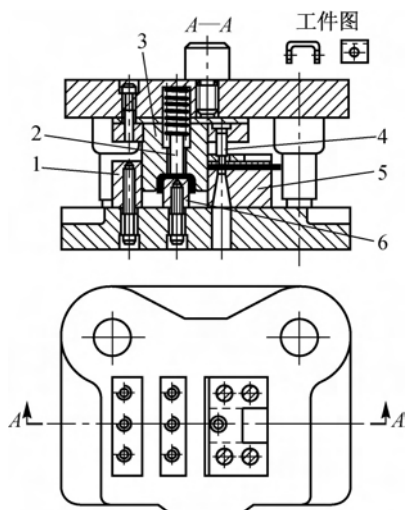


图 3-35 冲孔、切断、弯曲级进模

1—挡块; 2—顶件销; 3—凸凹模; 4—冲孔凸模;
5—冲孔凹模; 6—弯曲凸模

3.4.3 复合弯曲模

对于尺寸不大、尺寸及位置精度要求比较高的弯曲件,可以采用复合模进行成形,即在压力机的一次行程中,同时完成落料、弯曲、冲孔等几种不同性质的工序。如图 3-36(a)和图 3-36(b)所示为切断、弯曲复合模的结构简图;如图 3-36(c)所示为落料、弯曲、冲孔复合模,该模具结构紧凑,工件精度高,但凸凹模修磨困难。

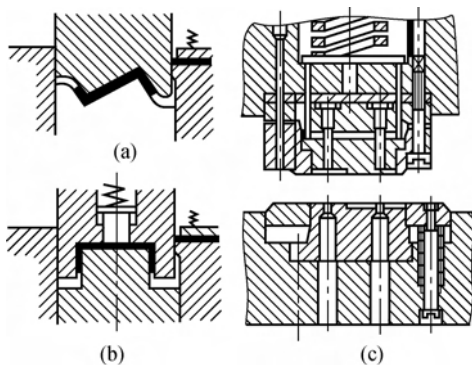


图 3-36 复合弯曲模

3.4.4 通用弯曲模

通用弯曲模适用于生产量小、品种多、形状尺寸经常改变的小批量或试制弯曲件的生产。采用通用弯曲模不仅可以制造一般的 V 形和 U 形零件,还可以制造精度要求不高的复

杂形状零件,如图 3-37 所示。

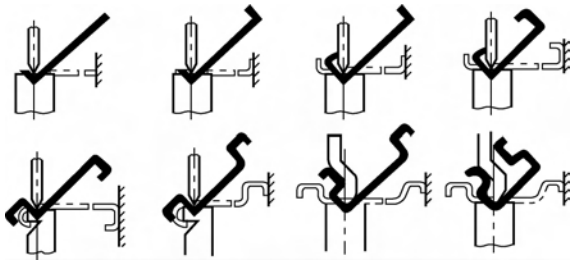


图 3-37 多次 V 形弯曲制造复杂形状零件举例

如图 3-38 所示为折弯机用弯曲模端面形状。在凹模四个面上分别制出适应弯曲的几种槽口,见图 3-38(a),凸模形式有直臂式和曲臂式两种,分别见图 3-38(b)和图 3-38(c),工作圆角半径可做成几种尺寸,以方便按工件的需要予以更换。

如图 3-39 所示为通用 V 形弯曲模,凹模 4 由两块组合而成,每块具有不同角度的四个工作面,组合起来能够弯曲多种 V 形弯曲件。凸模 5 按工件的弯曲角和圆角半径更换。定位板 3 能够根据需要做横向和纵向调节。

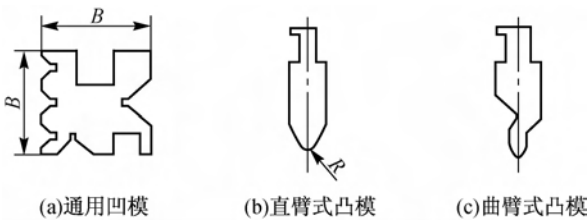


图 3-38 折弯机用弯曲模端面形状

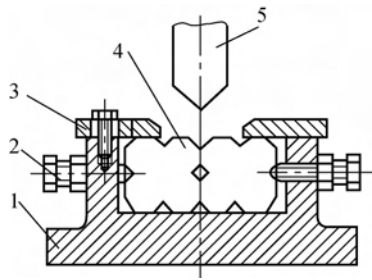


图 3-39 通用 V 形弯曲模

1—下模座；2—调节螺钉；3—定位板；
4—凹模；5—凸模

3.5 弯曲模工作零件设计

3.5.1 凸、凹模圆角半径

1. 凸模圆角半径

当弯曲件的相对弯曲半径 r/t 较小时,凸模圆角半径 $r_{\text{凸}}$ 应与工件弯曲半径相等,但不能小于材料所允许的最小弯曲半径 r_{min} 。

当弯曲件的相对弯曲半径 r/t 较大($r/t > 10$),且精度要求较高时,必须考虑回弹的影响,根据回弹值的大小对凸模圆角半径进行修正。

2. 凹模圆角半径

凹模圆角半径 $r_{\text{凹}}$ 的大小对弯曲力以及弯曲件的质量均有影响。过小的凹模圆角半径

会使弯矩的弯曲力臂减小,毛坯沿凹模圆角滑入时的阻力增大,弯曲力增加,并易使工件表面擦伤甚至出现压痕。



小提示

在生产中,通常根据材料的厚度选取凹模圆角半径,即:

- (1) $t < 2\text{ mm}$, $r_{凹} = (3 \sim 6)t$ 。
- (2) $t = 2 \sim 4\text{ mm}$, $r_{凹} = (2 \sim 3)t$ 。
- (3) $t > 4\text{ mm}$, $r_{凹} = 2t$ 。

3.5.2 凹模深度

凹模的深度应大小适当,若过小则弯曲件两端自由部分太长,工件回弹大且不平直;若过大则凹模增高,浪费材料并需要较大的压力机工作行程。

对于 V 形弯曲件,凹模深度及底部最小厚度如图 3-40(a)所示,其数值可从表 3-8 中查出。

表 3-8 V 形弯曲件的凹模深度 l_0 和底部最小厚度 h 单位: mm

弯曲件边长 l	材料厚度 t					
	≤ 2		$2 \sim 4$		> 4	
	h	l_0	h	l_0	h	l_0
10~25	20	10~15	22	15	—	—
25~50	22	15~20	27	25	32	30
50~75	27	20~25	32	30	37	35
75~100	32	25~30	37	35	42	40
100~150	37	30~35	42	40	47	50

对于 U 形弯曲件,若直边高度不大或要求两边平直,凹模深度应大于工件的深度,如图 3-40(b)所示,图中 h_0 的值可从表 3-9 中查出。如果弯曲件的直边较长,而且对平直度的要求不高,凹模深度可以小于工件的高度,如图 3-40(c)所示,凹模深度 l_0 的值可从表 3-10 中查出。

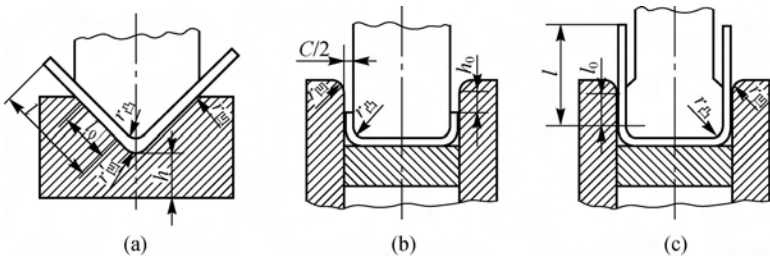


图 3-40 弯曲模工作部分的尺寸

表 3-9 U 形弯曲件凹模的 h_0 值 单位: mm

材料厚度 t	≤ 1	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~10
h_0	3	4	5	6	8	10	15	20	25

表 3-10 U 形弯曲件的凹模深度 l_0

单位: mm

弯曲件边长 l	材料厚度 t				
	<1	1~2	2~4	4~6	6~10
<50	15	20	25	30	35
50~75	20	25	30	35	40
75~100	25	30	35	40	40
100~150	30	35	40	50	50
150~200	40	45	55	65	65

3.5.3 凸、凹模的间隙

V 形件弯曲时,凸、凹模的间隙是靠调整压力机的闭合高度来控制的,设计时可以不予考虑。

U 形件弯曲时,应选择适当的凸、凹模的间隙。间隙过大则回弹大,工件的形状和尺寸误差增大。间隙过小会加大弯曲力,使工件厚度减薄,增加摩擦,会擦伤工件并降低模具寿命。U 形件凸、凹模的单边间隙值一般可按下式计算:

$$Z/2=t_{\max}+ct=t+\Delta+ct$$

(3-12)

式中, $Z/2$ 为凸、凹模的单边间隙(mm); $t_{\max}$ 为工件材料的最大厚度(mm); t 为材料厚度的基本尺寸(mm); Δ 为材料厚度的正偏差(mm); c 为间隙系数,其值见表 3-11。

表 3-11 U 形件弯曲模凸、凹模间隙系数 c 值

弯曲件高度 H/mm	弯曲件宽度 $B\leqslant 2H$				弯曲件宽度 $B>2H$				
	材料厚度 t/mm								
	<0.5	0.6~2	2.1~4	4.1~5	<0.5	0.6~2	2.1~4	4.1~7.5	7.6~12
10	0.05	0.05	0.04	—	0.10	0.10	0.08	—	—
20	0.05	0.05	0.04	0.04	0.10	0.10	0.08	0.06	0.06
35	0.07	0.05	0.04	0.04	0.15	0.10	0.08	0.06	0.06
50	0.10	0.07	0.05	0.04	0.20	0.15	0.10	0.06	0.06
70	0.10	0.07	0.05	0.05	0.20	0.15	0.10	0.10	0.08
100	—	0.07	0.05	0.05	—	0.15	0.10	0.10	0.08
150	—	0.10	0.07	0.05	—	0.20	0.15	0.10	0.10
200	—	0.10	0.07	0.07	—	0.20	0.15	0.15	0.10

当工件精度要求较高时,间隙值应适当减小,可取 $Z/2=t$ 。

3.5.4 凸、凹模工作部分尺寸确定

设计凸模和凹模工作宽度尺寸与弯曲件的尺寸标注有关。设计原则是:弯曲件标注外形尺寸时,应以凹模为设计基准件,间隙取在凸模上;弯曲件标注内形尺寸时,应以凸模为设计基准件,间隙取在凹模上。如图 3-41 所示为弯曲模及弯曲件的尺寸标注示意图。在确定

尺寸时,还应注意弯曲件的尺寸、公差、回弹情况和模具的磨损规律等。

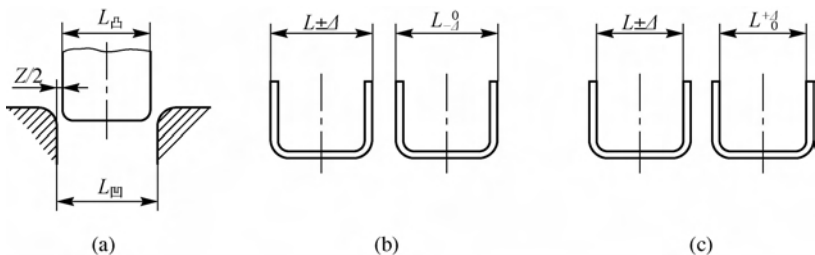


图 3-41 弯曲模及弯曲件的尺寸标注

1. 标注外形尺寸的弯曲件

图 3-41(b)中,当弯曲件为双向对称偏差时,凹模尺寸为

$$L_{凹} = (L - 0.5\Delta)^{+\delta_{凹}}_0 \quad (3-13)$$

式中, $L_{凹}$ 为弯曲凹模宽度尺寸(mm); L 为弯曲件外形基本尺寸(mm); Δ 为弯曲件尺寸偏差(mm); $\delta_{凹}$ 为弯曲凹模制造公差,采用 IT9~IT7。

当弯曲件为单向偏差时,凹模尺寸为

$$L_{凹} = (L - 0.75\Delta)^{+\delta_{凹}}_0 \quad (3-14)$$

式中, $L_{凹}$ 为弯曲凹模宽度尺寸(mm); L 为弯曲件外形基本尺寸(mm); Δ 为弯曲件尺寸偏差(mm); $\delta_{凹}$ 为弯曲凹模制造公差,采用 IT9~IT7。

凸模尺寸为

$$L_{凸} = (L_{凹} - Z)^{-\delta_{凸}}_0 \quad (3-15)$$

式中, $L_{凸}$ 为弯曲凸模宽度尺寸(mm); $L_{凹}$ 为弯曲凹模宽度尺寸(mm); Z 为弯曲模双边间隙(mm); $\delta_{凸}$ 为弯曲凸模制造公差,采用 IT9~IT7。或者凸模尺寸按凹模实际尺寸配制,保证双边间隙值 Z 。

2. 标注内形尺寸的弯曲件

图 3-41(c)中,当弯曲件为双向对称偏差时,凸模尺寸为

$$L_{凸} = (L + 0.5\Delta)^{-\delta_{凸}}_0 \quad (3-16)$$

式中, $L_{凸}$ 为弯曲凸模宽度尺寸(mm); L 为弯曲件内形基本尺寸(mm); Δ 为弯曲件尺寸偏差(mm); $\delta_{凸}$ 为弯曲凸模制造公差,采用 IT9~IT7。

当弯曲件为单向偏差时,凸模尺寸为

$$L_{凸} = (L + 0.75\Delta)^{-\delta_{凸}}_0 \quad (3-17)$$

式中, $L_{凸}$ 为弯曲凸模宽度尺寸(mm); L 为弯曲件内形基本尺寸(mm); Δ 为弯曲件尺寸偏差(mm); $\delta_{凸}$ 为弯曲凸模制造公差,采用 IT9~IT7。

凹模尺寸为

$$L_{凹} = (L_{凸} + Z)^{+\delta_{凹}}_0 \quad (3-18)$$

式中, $L_{凹}$ 为弯曲凹模宽度尺寸(mm); $L_{凸}$ 为弯曲凸模宽度尺寸(mm); Z 为弯曲模双边间隙(mm); $\delta_{凹}$ 为弯曲凹模制造公差,采用 IT9~IT7。或者凹模尺寸按凸模实际尺寸配制,保证双边间隙值 Z 。

3.6 弯曲模设计实例

设计如图 3-42 所示的保持架零件图。生产批量为中批量,材料为 20 钢,材料厚度 $t=0.5\text{ mm}$ 。

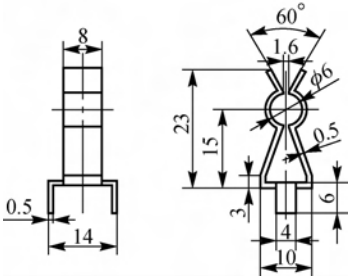


图 3-42 保持架零件图

3.6.1 弯曲零件工艺分析

此工件生产方式为中批量,材料为 20 钢,具有良好的塑性,适合于冲压加工。工件整体结构虽然较复杂,但具有对称性,而且尺寸全部为自由尺寸,所以经过多次弯曲工艺便能成形。由此,该工件只需落料和弯曲两个基本工序,但弯曲需要两道工序才能完成。经过分析保持架采用单工序冲压,需要 3 道工序,如图 3-43 所示。这 3 道工序依次为落料、异向弯曲和最终弯曲。每道工序各用一套模具。现将第 2 道工序的异向弯曲模介绍如下。

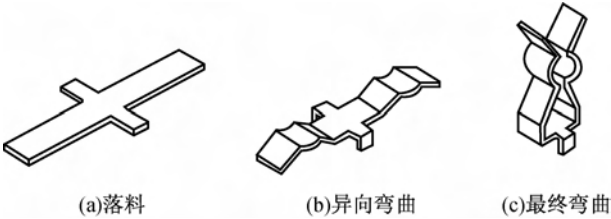


图 3-43 工件弯曲工序图

异向弯曲工序的工件如图 3-44 所示。从图中可以看出,工件整体呈现左右对称分布,在 b 、 c 、 d 、 e 各有两处弯曲, bc 圆弧段的半径为 $R3\text{ mm}$,其余各段均为直线。中间部位有两个突耳,呈对称向下弯曲。由于弯曲件的弯曲呈现对称分布,所以可以得知共有 8 条弯曲线。

异向弯曲时,由于工件多处弯曲,而且弯曲方向不同,所以在弯曲过程中要重点考虑工件定位,防止转动。根据实际情况,可通过设计相应的凹模结构加以解决。另外, bc 段为圆弧,其余

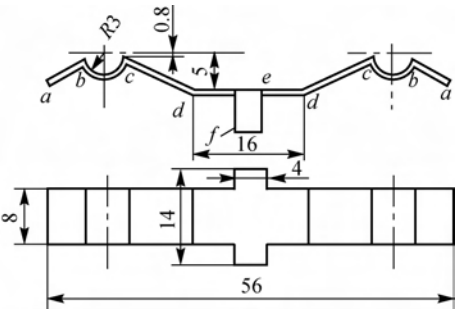


图 3-44 异向弯曲件

为直线段,所以 bc 段的凸、凹模结构要仔细考虑。为了便于将成形后的工件顺利卸下,可以在凹模下面设计弹顶器。

3.6.2 模具结构

坯料在弯曲过程中极易滑动,必须采取定位措施。本工件中部有两个突耳,在凹模的对应部位设置沟槽,冲压时突耳始终处于沟槽内,用这种方法实现坯料的定位。

保持弯曲模装配图如图 3-45 所示。上模座采用带柄矩形模座,凸模用凸模固定板固定;下模部分由凹模、凹模固定板、垫板和下模座组成。模座下面装有弹顶器,弹顶力通过两细杆传递到顶件块上。

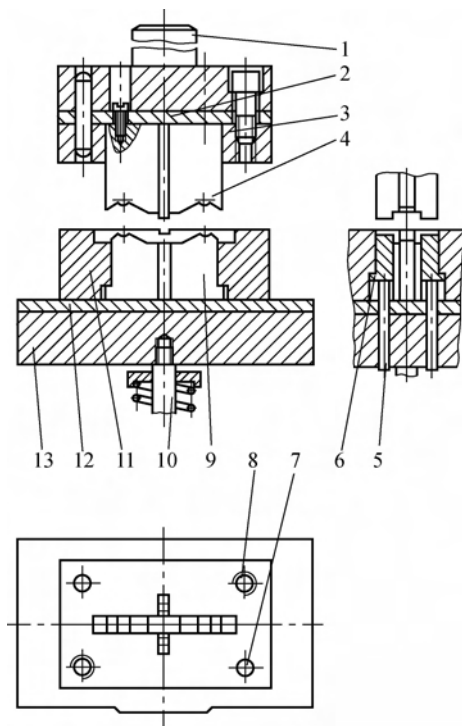


图 3-45 保持架弯曲模装配图

1—带柄矩形上模座; 2、12—垫板; 3—凸模固定板; 4—凸模; 5—推杆; 6—顶件块; 7—销;
8—螺栓; 9—凹模; 10—弹顶器; 11—凹模固定板; 13—下模座

模具工作过程:将落料后的坯料放在凹模上,并使中部的两个突耳进入凹模固定板的槽中。当模具下行时,凸模中部和顶件块压住坯料的突耳,使坯料准确定位在槽内。模具继续下行,使各部弯曲逐渐成形。上模回程时,弹顶器通过顶件块将工件顶出。

3.6.3 弯曲工艺的主要计算

1. 弯曲力计算

图 3-44 中的 8 条弯曲线均按自由弯曲计算,图 3-44 中的 b 、 c 、 d 各处弯曲力按式(3-6)计算,当弯曲内侧半径 r 取 $0.1t$ 时,则每处的弯曲力为

$$F_{\text{自}} = \frac{0.6KBt^2R_m}{r+t} = \frac{0.6 \times 1.3 \times 8 \times 0.5^2 \times 450}{0.1 \times 0.5 + 0.5} \text{ N} = 1\,276.36 \text{ N}$$

工件共有 6 处弯曲, 6 处总的弯曲力为

$$1\,276.36 \times 6 \text{ N} = 7\,658.16 \text{ N}$$

图 3-44 中的 e 处弯曲与上述计算类同, 只是弯曲件宽度为 4 mm, 则 e 处单侧弯曲力为 638.18 N, 而两侧的弯曲力应再乘以 2, 即 $638.18 \times 2 \text{ N} = 1\,276.36 \text{ N}$ 。总的弯曲力为

$$F_{\text{总}} = (7\,658.16 + 1\,276.36) \text{ N} = 8\,934.52 \text{ N}$$

2. 校正弯曲力的计算

按式(3-8)计算为 $F_{\text{校}} = qA$, 式中 q 查表 3-7 得 30 MPa, 面积 A 按水平面的投影面积计算, 见图 3-44 中俯视图。

$$A = [56 \times 8 + 4 \times (14 - 8)] \text{ mm}^2 = 472 \text{ mm}^2$$

所以

$$F_{\text{校}} = (30 \times 472) \text{ N} = 14\,160 \text{ N}$$

自由弯曲力和校正弯曲力的和为

$$F = F_{\text{自}} + F_{\text{校}} = (8\,934.52 + 14\,160) \text{ N} = 23\,094.52 \text{ N}$$

3. 弹顶力的计算

弹顶器的作用是将弯曲后的工件顶出凹模, 由于所需的顶出力很小, 在突耳的弯曲过程中, 弹顶器的力不宜太大, 应当小于单边的弯曲力, 否则弹顶器将压弯工件使工件在直边部位出现变形。

选用圆柱螺旋压缩弹簧, 从冲压设计资料中选取弹簧, 其中径 $D = 14 \text{ mm}$, 钢丝直径 $d = 1.2 \text{ mm}$, 最大工作负荷 $F_N = 41.3 \text{ N}$, 最大单圈变形量 $f_n = 5.575 \text{ mm}$, 节距 $t = 7.44 \text{ mm}$ 。

如图 3-44 主视图所示, 顶件块位于上止点时应和 b 、 c 点等高, 上模压下时与 f 点等高, 弹顶器的工作行程 $f_x = (4.2 + 6) \text{ mm} = 10.2 \text{ mm}$, 弹簧有效圈数 $n = 3$, 最大变形量为

$$f_1 = n f_n = 3 \times 5.575 \text{ mm} = 16.73 \text{ mm}$$

弹簧的弹性系数 K 可按下式估算

$$K = \frac{F_N}{n f_n} = \frac{41.3}{3 \times 5.575} = 2.47$$

弹簧预先压缩量选为 $f_0 = 8 \text{ mm}$, 则弹簧预紧力为

$$F_0 = K f_0 = 2.47 \times 8 \text{ N} = 19.76 \text{ N}$$

下止点时弹簧弹顶力为

$$F_1 = K f_x = 2.47 \times 10.2 \text{ N} = 25.2 \text{ N}$$

此值远小于 e 处的弯曲力, 故符合要求。

4. 回弹量的计算

影响回弹值的因素很多, 各因素又互相影响, 理论计算出来的数值往往不准确, 所以在实际中, 根据经验来初定回弹角, 然后再试模修正。本例题采用补偿法来消除回弹。

3.6.4 弯曲模主要零部件设计

1. 凸模

凸模是由两部分组成的镶拼结构, 如图 3-46 所示。这样的结构便于线切割加工。图中

凸模 B 部位的尺寸按回弹补偿角度设计。 A 部位位于弯曲工件的两突耳处,起凹模作用。凸模用凸模固定板和螺钉固定。 A 部位与 B 部位的间隙按式(3-12)计算,查附录 D,取 $\Delta = 0.05 \text{ mm}$;查表 3-11,取 $c=0.05$;由于 $t=0.5 \text{ mm}$,故

$$Z/2 = t_{\max} + ct = t + \Delta + ct = (0.5 + 0.05 + 0.05 \times 0.5) \text{ mm} = 0.575 \text{ mm}$$

2. 凹模

凹模采用镶拼结构,与凸模结构类似,如图 3-47 所示。凹模下部设计有凸台,用于凹模的固定。凹模工作部位的几何形状,可对照凸模的几何形状并考虑工件厚度进行设计。凸模和凹模均采用 Cr12 制造,热处理硬度为 62~64 HRC。

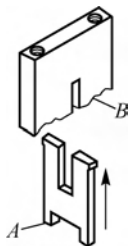


图 3-46 凸模镶拼示意图

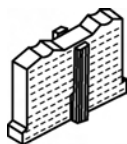


图 3-47 凹模镶拼示意图

习 题 3

一、填空题

1. 窄板弯曲后横截面呈_____形状。窄板弯曲时的应变状态是_____的,而应力状态是_____。
2. 弯曲终了时,_____称为弯曲中心角。
3. 在弯曲变形区内,内层纤维切向受_____应变,外层纤维切向受_____应变,而中性层_____。
4. 相对弯曲半径 r/t 越大,则回弹量_____。
5. 弯曲件需多次弯曲时,弯曲次序一般是先弯_____,后弯_____;前次弯曲应考虑后次弯曲有可靠的_____,后次弯曲不能影响前次已成形的形状。
6. 当弯曲件几何形状不对称时,为了避免压弯时坯料偏移,应尽量_____的工艺。

二、简答题

1. 怎样确定中性层的位置?
2. 弯曲过程中材料的变形区发生了哪些变化? 试简要说明板料弯曲变形区的应力和应变情况。
3. 弯曲件的弯曲变形程度用什么来表示? 弯曲时的极限变形程度受哪些因素的影响?
4. 弯曲件设计对其工艺性有哪些要求?
5. 弯曲件的工序是如何安排的?
6. 如何计算弯曲件的展开长度?

- 7. 弯曲产生裂纹的原因及影响因素有哪些？
- 8. 如何控制弯曲裂纹的产生？
- 9. 弯曲产生回弹的原因及影响因素有哪些？
- 10. 如何减小弯曲回弹量？
- 11. V 形件的弯曲方式有哪几种？各有什么特点？
- 12. U 形件的弯曲特点是什么？
- 13. Z 形件的弯曲有何特点？
- 14. 弯曲凸、凹模圆角半径如何确定？

三、计算题

1. 试计算如图 3-48 所示弯曲件的毛坯展开长度尺寸。

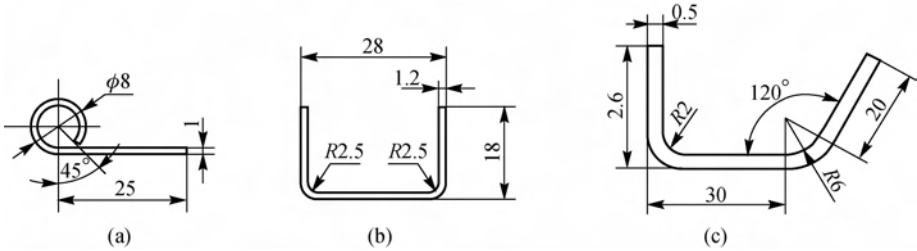


图 3-48

2. 如图 3-49(a)所示工件，材料为 Q235A。计算弯曲凸、凹模工作部分的尺寸及公差，标注在如图 3-49(b)所示的结构上，并计算弯曲力。

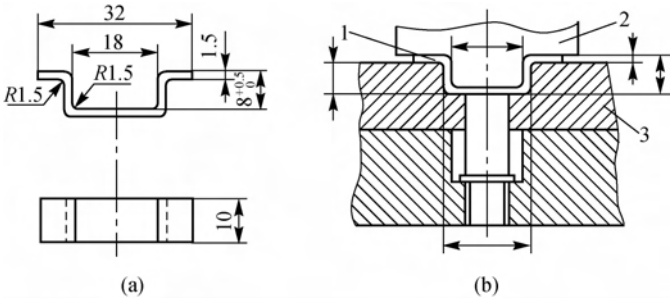


图 3-49

1—工件；2—凸模；3—凹模