

怎样编好冷冲压工艺

南京国营长江机器厂

蒋逸钧

第三讲：精心工艺数据计算

工艺计算是编制工艺的重要一环，是确定工艺方案和选择加工设备，选择模具结构形式的重要依据，必须精心计算。

3.1 对冲裁件

3.1.1 冲裁力的计算

冲裁力是指材料分离时的最大抗剪能力。它是由零件的剪切长度，材料厚度，机械性能，冲模的间隙数值与凸、凹模刃口的利钝状况决定的。冲裁力一般由以下公式计算：

$$P = 1.3 \cdot \tau \cdot t \cdot L \approx 1.1 \cdot t \cdot \sigma_s$$

式中：P—冲裁力，N。

L—冲裁件周长，mm。

σ_s —材料抗拉强度， mm^2 。

τ —材料抗剪强度， N/mm^2 。

圆形冲裁件由以下公式计算：

$$P = 1.3 \cdot \pi \cdot b \cdot t \cdot \tau \approx \pi \cdot b \cdot t \cdot \sigma_s$$

式中： π —圆周率；b—直径，mm。

t—材料厚度；

τ —材料抗剪强度， N/mm^2 。

σ_s —材料抗拉强度， N/mm^2 。

1.3为系数，（称安全系数）

考虑零件厚度不完全一致，切削刃口因磨损变钝，材料冷作硬化以材料机械性能波动等因素而定。

在冲裁过程中，还有推出卡在凹模内的料所需的推出力或顶出卡在凹模里的料所需的顶出力；以及退下包在凸模上的料所需的卸料力。

其计算方法如下：

$$\text{卸料力： } P_{\text{卸}} = K_{\text{卸}} \cdot P$$

$$\text{推料力： } P_{\text{推}} = n \cdot K_{\text{推}} \cdot P$$

$$\text{顶出力： } P_{\text{顶}} = K_{\text{顶}} \cdot P$$

式中：P—冲裁力，N；

$K_{\text{卸}}$ —卸料力系数；

n—卡在凹模里料的数量（零件或废屑数目），如凹模刃壁为圆筒直壁， $n = h/t$

h：凹模刃壁部分高度；t：材料厚度。如刃壁无直口而带锥形， $n = 1$ 。

$K_{\text{推}}$ —推出力系数；

$K_{\text{顶}}$ —顶出力系数。

$K_{\text{卸}}$ 、 $K_{\text{推}}$ 、 $K_{\text{顶}}$ 的数值与零件的形状复杂程度，冲件间隙大小，冲模种类、材料厚度、润滑等有关。具体数值见表11。

表11 卸料力、推出力、顶出力系数

材料	厚度	$K_{\text{卸}}$	$K_{\text{推}}$	$K_{\text{顶}}$
钢	≤ 0.1	0.06~0.09	0.1	0.14
	$> 0.1 \sim 0.5$	0.04~0.07	0.065	0.08
	$> 0.5 \sim 2.5$	0.025~0.06	0.03	0.06
	$> 2.5 \sim 3.5$	0.02~0.05	0.015	0.05
	> 3.5	0.015~0.04	0.025	0.03
铝、铝合金		0.03~0.08	0.03~0.07	0.03~0.07
紫铜、黄铜		0.02~0.06	0.03~0.09	0.03~0.09

3.1.2 确定冲制条料宽度的计算

确定条料宽度，首先要选择合理的搭边和工作与工件间的边距。搭边和边距是补偿工件在冲压过程中的定位误差，确保冲出合格零件；同时，有了搭边，使条料保持刚性，便于操作送料。但搭边不能过大或过小。如搭边和边距过小，在冲裁时，条料易于拉断，零件产生毛刺，搭边拉入凸、凹模间隙，还会损坏模具。在冲制时，过小的搭边，降低条料刚性，操作者难以送料，甚至有时造成压手事故；如搭边过大，材料浪费，影响经济效益。所以，搭边和边距必须合理选择。在实际生产过程中，搭边和边距由表12、表13查得。并为图17所示

知道冲制零件所需的搭边和边距后，条料的宽度尺寸可以确定。但在冲裁的实际生产过程中，由于模具结构形式、剪床方式的不同，计算条料宽度也应根据冲裁的模具结构而定，并应有条料宽度公差给以补偿。

1. 用复合料冲裁的条料宽度：

采用无定距侧刃的复合模，条料宽度可按公式确定（如图17）

表12 冲件的搭边b和边距a数值(mm)
(适用于弹压卸料板形式的冲模)

材料厚度t	圆形或类似圆形工件		矩形或类似矩形工件			
			L≤50		L>50mm	
	a	b	a	b	a	b
≤0.25	1.0	1.2	1.2	1.5	1.5~2.5	1.8~2.6
>0.25	0.8	1.0	1.0	1.2	1.2~2.2	1.5~2.5
>0.5	0.8	1.0	1.0	1.2	1.5~2.5	1.8~2.6
>1	1.0	1.3	1.2	1.5	1.8~2.8	2.2~3.2
>1.5	1.2	1.5	1.5	1.8	2~3	2.4~3.4
>2	1.5	1.9	1.8	2.2	2.2~3	2.7~3.7
>2.5	1.8	2.2	2.0	2.4	2.5~3.5	3~4
>3	2.0	2.5	2.2	2.7	2.8~3.8	3.3~4.3
>3.5	2.2	2.7	2.5	3.0	3~4	3.5~4.5
>4	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5~4.5	4~5
>5	0.5t	0.6t	0.6t	0.7t	0.8t	0.9t

说明: 1、矩形工件, 其长度L在50~100mm内, 搭边b可取下限值; L在100~200mm内, b取中间值; L在200~300mm内, b可取上限值。

2、对硬纸板, 硬橡皮、纸胶板, 表中尺寸应乘系数1.3。如系皮革及纸等纸材料, 表中尺寸应加一倍。

3、表中搭边与边距的数值已考虑到剪切条料宽度公差的需要。

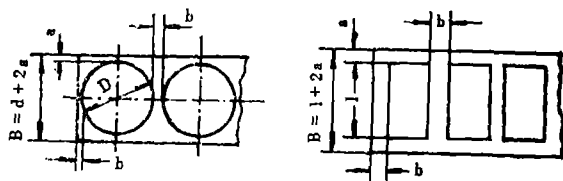


图17 无侧刃复合模排样条料宽度

$$B - \Delta = L + 2a$$

式中: B—一条料公称宽度, mm;

L—工件垂直送料方向的尺寸, mm;

a—边距, mm, 查表12或表13;

Δ —一条料宽度公差, Δ 值与材料厚度, 条料宽度以及不同下料方式有关, 其值可查表14或表15。

②有定距侧刃的连续冲模条料宽度:

有定距侧刃的连续冲模条料宽度, 如图18, 可按式计算:

$$B - \Delta = l + 2a + nc$$

式中: B—一条料公称宽度, mm;

《电子工艺技术》1991年第6期

表13 条料宽度B的公差 Δ

条料宽度B	条料厚度t(mm)			
	~1	>1~2	>2~3	>3~5
≤50	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9
50~100	-0.5	-0.6	-0.8	-1.0
100~150	-0.6	-0.7	-0.9	-1.1
150~220	-0.7	-0.8	-1.0	-1.2
220~300	-0.8	-0.9	-1.1	-1.3

表14 用滚剪机剪切的条料最小宽度公差

材料厚度 (mm)	条料宽度B(mm)		
	~20	>20~30	>30~50
	偏 差		
~0.5	-0.05	-0.08	-0.10
>0.5~1	-0.08	-0.10	-0.15
>1~2	-0.10	-0.15	-0.20

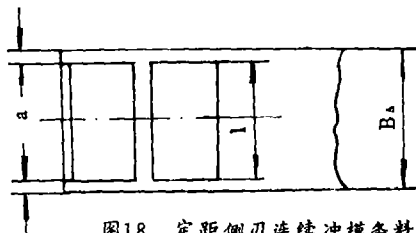


图18 定距侧刃连续冲模条料宽度

a—边距, mm, 查表12;

c—侧刃裁切的条边宽度, 查表16;

n—侧刃数量;

l—工件外轮廓垂直送料方向的尺寸(mm)。

注: 比例为双侧刃。也可用单侧刃, 可视零件具体要求而定。

表15 侧刃裁切的条边宽度C(mm)

条料厚度t	尺 寸 C	
	金 属	非金属
≤1.5	1.5	2
>1.5~2.5	2.0	3
>2.5~3.0	2.5	4

③冲制条料长度的决定:

冲制条料长度不宜太长或太短。条料太长, 给操作者带来不便; 太短, 条料送到料尾手指容易伸进模具而压伤; 另外, 还要避免条料从头至尾冲裁最后一只零件时, 只冲半件或1/3件零件, 特别跳步模冲小孔时, 如果到料尾端头只冲半件或1/3件如图19, 小凸模刃口易于变钝, 甚至断裂, 造成模具报废。所以, 确定条料长度, 不但要考虑材料利

用率, 操作者的人身安全, 而且要根据冲裁步距及零件具体情况认真计算。

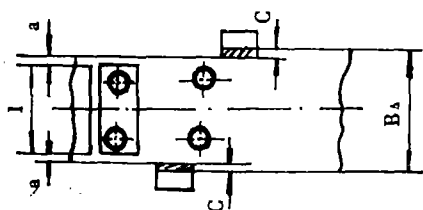


图19 冲孔落料条料示意图

一般冲制条料的长度, 以 ≤ 1 米为宜。最短要超过模具送料方向长度的2~3倍。

条料冲制的零件数可用下式计算:

条料零件数(件) = $L - C / B - b \times$ 排数

式中: 排数: 单排样乘1, 双排样乘2倍数……

L—条料送料方向长度;

C—余料送料方向长度;

B—零件送料方向宽度;

b—零件间搭边。

3.2 对弯曲件

弯曲件的工艺计算主要是弯件展开长度和弯曲力的计算。计算弯曲件展开长度是编制工艺备料的重要步骤。方法是根据弯曲件层的长度在弯曲前后不变这一原则进行的。即展开长度为直线部分和弯曲部分的中性层长度之和, 见图20。但是如果弯曲尺用中性层计算, 则模具弯出的一般长度较长。这是由于在塑性弯曲形程度增大时, 中性层位置的内移。内移系数一般小于或等于0.5。(也有例外, 铰链卷圆位移系数大于或等于0.5)。所以, 在用模具弯曲计算展开长度时, 弯曲部分要考虑中性层的曲率半径。

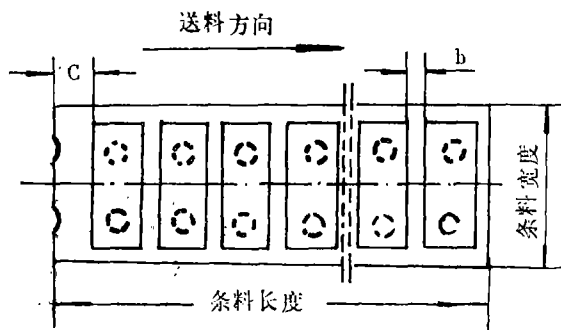


图20 毛坯展开示意图

中性层的曲率半径按下式计算: $P = r + x \cdot t$

式中: x—中性层位移系数;

t—材料厚度, mm; r—内圆弧半径, mm;

中心层位移系数x见表16

表16 中性层位移系数X

弯曲形式	$K = \gamma / t$						
	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
V型	0.1	0.14	0.16	0.18	0.20	0.22	0.23
U型	0.21	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28
L型	—	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15
Q型	—	0.77	0.76	0.75	0.73	0.72	0.70

弯曲形式	$K = \gamma / t$						
	1.4	1.5	1.6	1.8	2.0	2.5	3
V型	0.27	0.28	0.29	0.30	0.31	0.32	0.33
U型	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.38	0.41
L型	0.19	0.20	0.21	0.23	0.25	0.28	0.32
Q型	0.64	0.62	0.60	0.58	0.54	0.52	0.50

注: 1、表中数值适用于低碳钢。

2、表中V形弯曲角按90°角考虑, 当弯曲角小于90°时, x值适当取小些, 反之取大些。

弯曲件毛坯的展开尺寸计算公式 见图21~29。

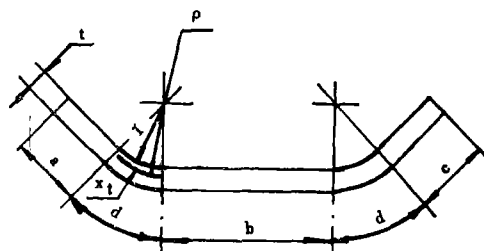


图21 无圆角直角的弯曲示意图

毛坯长度计算公式:

$$L = l_1 + l_2 + K \cdot t \text{ (mm)}$$

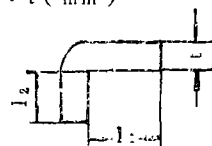


图22 有圆角的单直角示意图

毛坯长度计算公式:

$$L = l_1 + l_2 + \pi / 2 (r + x \cdot t) \text{ (mm)}$$

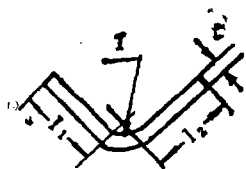


图23 半圆U形示意图

毛坯长度计算公式:

$$L = 2l + \pi(r + x \cdot t) \quad (\text{mm})$$

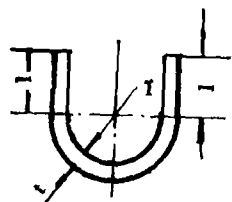


图24 有圆角的双直角示意图

毛坯长度计算公式:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 + \pi(r + x \cdot t) \quad (\text{mm})$$

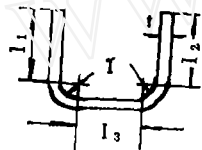


图25 有圆角的多直角示意图

毛坯长度计算公式:

$$L = l_1 + l_2 + \dots + l_n + \pi/2(r_1 + x_1 \cdot t) + \pi/2(r_2 + x_2 \cdot t) + \dots + \pi/2(r_{n-1} + x_{n-1} \cdot t)$$

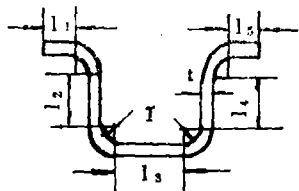


图26 铰链的卷圆的示意图

毛坯长度计算公式:

$$L = 1.5 \pi(r + x \cdot t) + r + l$$

弯曲力的计算:

弯曲力的大小与材料性能、表面质量、模间隙、模具圆角半径、弯曲方式、凹模支承点的间距等有关,用理论的计算比较复杂又很难计算正确。在目前生产中,一般用经验公式近似计算:

对于V形自由弯曲件,如图27。

$$P = c \cdot b \cdot t^2 \cdot \sigma_b / 2L = K \cdot b \cdot t \cdot \sigma_b$$

式中: P —弯曲力, N ;

C —系数,取1.3;

b —弯曲件宽度, mm ;

t —弯曲件材料厚度, mm ;

σ_b —弯曲件材料抗拉强度, N/mm^2 ;

K —系统, $K \approx (1 + 2t/L) \cdot t/2L$

$2L$ —支点间距离。

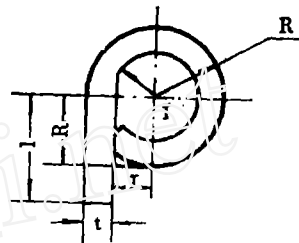


图27 形V自由弯曲

对于U形双角弯曲件,如图28。

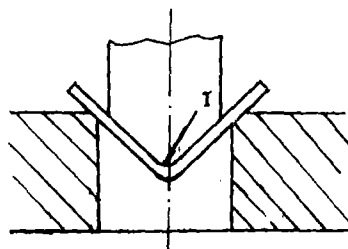


图28 形U自由弯曲

$$P = K \cdot b \cdot t \cdot \sigma_b$$

r —弯曲件内侧弯曲半径, mm ;

式中: K 系数,取 $K = 0. \sim 0.6$;

b —弯曲件宽度, mm ;

t —弯曲件材料厚度, mm ;

σ_b —弯曲件材料抗拉强度, N/mm^2

对于V形接触弯曲件,如图29。

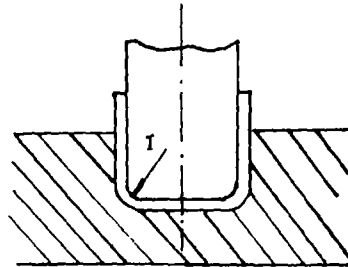


图29 V形接触弯曲

$$P = 0.6 \cdot C \cdot b \cdot t^2 \cdot \sigma_b / r + t$$

式中: P —弯曲力, N ;

C—系数, 取 $C=1\sim1.3$;
 r —弯曲件内侧弯曲半径, mm;
 t —弯曲件材料厚度, mm;
 b —弯曲件宽度, mm;
 σ_b —弯曲件材料抗拉强度, N/mm^2

对于U形双角接触弯曲件, 如图30。

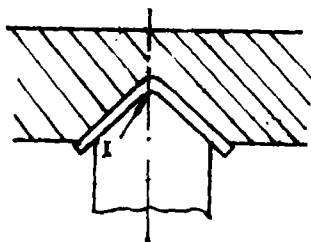


图30 U形接触弯曲

$$P = 0.7 \cdot C \cdot b \cdot t^2 \cdot \sigma_b / (r + t)$$

式中: P —弯曲力, N;

C—系数, 取 $C=1\sim1.3$;

r —弯曲件内侧弯曲半径, mm;

t —弯曲件材料厚度, mm;

b —弯曲件宽度, mm;

σ_b —弯曲件材料抗拉强度, N/mm^2 。

校正弯曲的校形力, 可按以下公式计算:

$$P_{\text{校}} = F \cdot q$$

式中: F —压弯件校正部分投影面积, mm^2 ;

q —单位校正力, N/mm^2 , 可按表18选取。

表17 单位校正压力 $q(N/mm^2)$

材料	材料厚度			
	< 1	1~3	3~6	6~10
铝	1.5~2.0	2~3	3~4	4~5
黄铜	2.0~3.0	3~4	4~6	6~8
10~20号钢	3.0~4.0	4~6	6~8	8~10
25~35号钢	4.0~5.0	5~7	7~10	10~12

必须指出, 在一般压力机上, 校正力同校模深度(即压力机闭合高度的调整)和弯制件材料厚度的变化有很大关系; 校模深度和弯件厚度的少量变化会显著改变校正力的数值, 因此, 表17的数据仅

为计算时参考。

3.3 对引伸件

引伸件的工艺计算, 项目繁多。要编好此类工艺, 必须全面考虑, 精心计算。计算的主要内容有: 引伸件展开尺寸、引伸系数, 然后决定是一次引伸。多次引伸要计算各道引伸直径; 还有是引伸力的计算。

3.3.1 引伸件的展开尺寸:

引伸件展开尺寸的计算, 是根据材料厚度在引伸过程中不变这一近似假设, 引伸前后等面积法, 即零件的表面积和毛坯面积相等原则进行计算的。

对形状简单的圆筒形引伸件, 通常可将其分成几个简单体, 求其面积之和, 根据等面积法, 求其毛坯直径。

直径 D 可按下式求得:

$$D = \sqrt{4 \cdot F / \pi}$$

式中: F —引伸件表面积, mm^2 ;

π 为圆周率。

为方便起见, 常用的圆形引伸件毛坯直径 D 可按图31~43和计算公式进行计算。

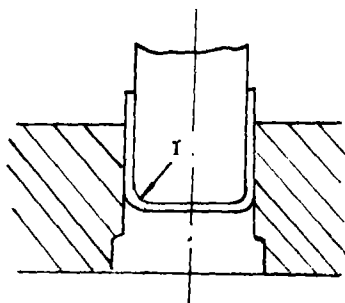


图 31

$$D = \sqrt{d^2 + 4dh}$$

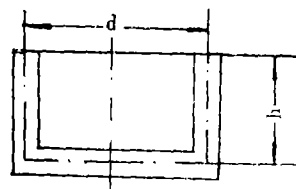


图 32

$$D = \sqrt{d_2^2 + 4d_1 \cdot h}$$

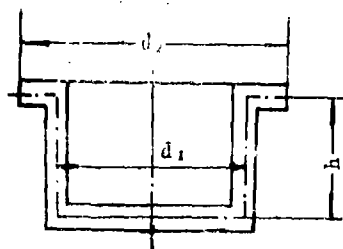


图 33

$$D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1 h_1 + d_2 \cdot h_2)}$$

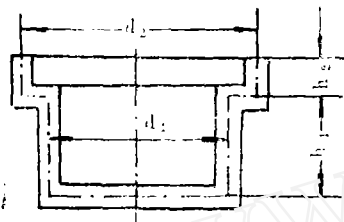


图 34

$$D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1 h_1 + d_2 h_2)}$$

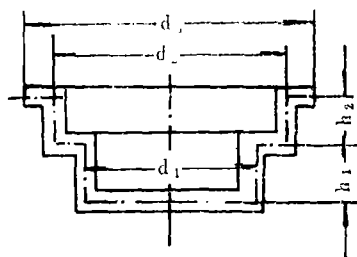


图 35

$$D = \sqrt{d_1^2 + 2[(d_1 + d_2) + 4d_2 \cdot h]}$$

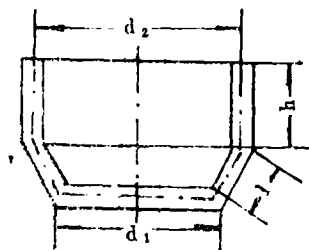


图 36

$$D = \sqrt{d^2 + 4(h_1^2 + h_2^2)}$$

当 \$r_1 \approx r\$ 时:

$$D = \sqrt{d_1^2 + 6.28 r d_1 + 8 r^2 + 4 d_2 h + 6.28 r_1 d_2 + 4.56 r_1^2}$$

当 \$r_1 = r\$ 时:

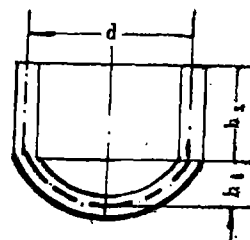


图 37

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4 d_2 h + 6.28 r \cdot d_1 + 8 r^2}$$

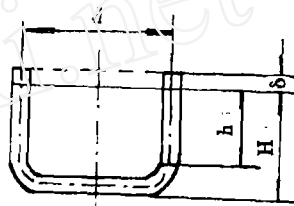


图 38

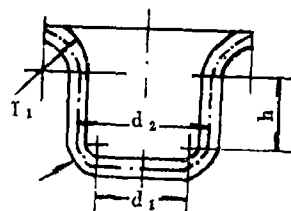


图 39

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4 d_2 h + 2 \pi r (d_1 + d_3) + 4 \pi r^2}$$

当 \$r_1 \approx r\$ 时:

$$D = \sqrt{d_1^2 + 2 \pi r d_1 + 8 r^2 + 4 d_2 h + 2 \pi r_1 d_2 + 4.56 r_1^2 + d_4^2 - d_3^2}$$

当 \$r_1 = r\$ 时:

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4 d_2 h + 2 \pi r (d_1 + d_2) + 4 \pi r^2 + d_4^2 - d_3^2}$$

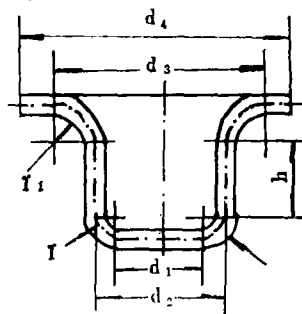


图 40

$$D = \sqrt{d_2^2 + d_1^2}$$

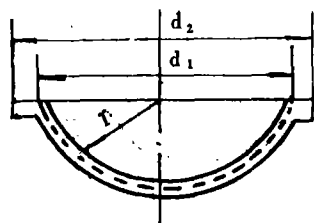


图 41

$$D = \sqrt{d_1^2 + 2r(\pi d_1 + 4r)}$$

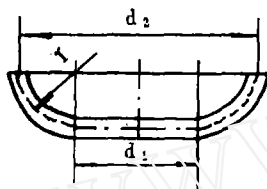


图 42

$$D = \sqrt{d_2^2 + 4(d_1 h_1 + d_2 h_2) + 2l(d_2 + d_3)}$$

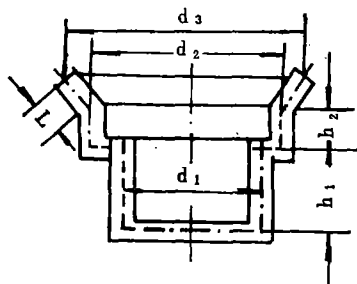


图 43

$$D = \sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2)}$$

引伸后的零件，一般要修正。所以，计算毛坯尺寸前，应考虑修边余量。修边余量见图44、45和表18、19。

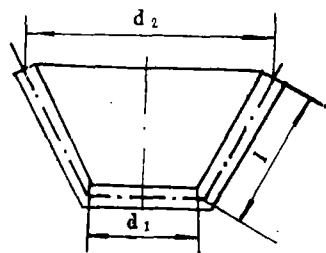


图 44

必须指出，引伸件的毛坯算法只是近似的。

• 54 •

表18 无突缘引伸件的修边余量

零件总 高度 H (mm)	修边余量数值σ(mm)			
	零件相对高度h/d			
	0.5~0.8	0.8~1.6	1.6~2.5	2.5~4
10	1.2	1.5	1.8	2
20	1.5	1.8	2	2.5
50	2	2.5	3.3	4
100	3	3.8	5	6
150	4	5	6.5	8
200	5	6.3	8	10
250	6	7.5	9	11
300	7	8.5	10	12

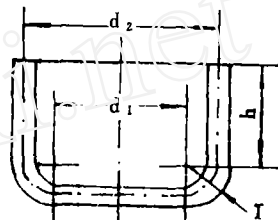


图 45

表19 有突缘引伸件的修边余量

凸缘直 径 d ₁ (mm)	修边余量数值σ(mm)			
	相对凸缘直径 d ₁ /d			
	<1.5	1.5~2	2~2.5	2.5~3
25	2	1.8	1.5	1.2
50	2.5	2.0	1.8	1.6
100	3.5	3.0	2.5	2.2
150	4.3	3.6	3.0	2.5
200	5.0	4.2	3.5	2.7
250	5.5	4.6	3.8	2.8
300	6	5	4	3

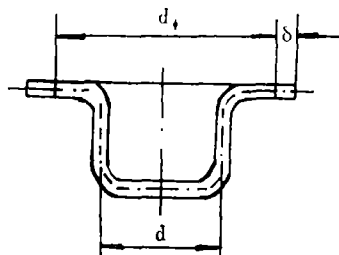


图 46

注：1、对于高的引伸件必须规定中间修边工序。

2、对于厚度小于0.5mm的薄材料作多道引伸时，应按表值增加30%。

在实际过程中，引伸时由于受材料机械性能、模具的几何形状、模具间隙、润滑、零件的几何形状、引伸系数等多种因素的影响，计算出来的毛坯直径

《电子工艺技术》1991年第6期

往往与实际有些差别。毛坯直径过大，会增加进料时的阻力，变形困难，易使零件拉裂，而且浪费材料；毛坯直径过小，不能保证零件尺寸要求，造成废品。所以，对形状复杂，有特殊要求的零件，经试引伸后，一般要加以必要的修正。

3.3.2 引伸次数的决定

引伸件引伸次数的决定，首先要计算引伸系数。计算引伸系数是编制冷冲压工艺确定引伸工序次数的根据。

引伸系数可用下式表示：

$$m = d / D_0$$

式中：m—引伸系数；

D_0 —引伸前毛坯直径；

d—引伸后零件直径。

对于第二次、第三次及以后各道引伸工序的引伸系数也可用下边的类似公式计算：

$$m_n = d_n / d_{n-1}$$

式中： m_n —第n道引伸工序的引伸系数；

d_n —第n道引伸工序后所得的圆筒形零件直径。

d_{n-1} —第n道工序所用的圆筒形毛坯直径。

为使引伸正常进行，保证引伸件拉深时材料不发生破坏，可采用最小引伸系数，即极限引伸系数。（在编制工艺时，为尽量减少工序次数，就合理地采用极限引伸系数）。

对板材塑性好，组织均匀、晶粒大小适中，板材引伸性能好，可采用较小的极限引伸系数。当毛坯的相对厚度小，材料引伸性能差，引伸时容易起皱，可采用较大的极限引伸系数。在实际工作中，一般极限引伸系数（无凸缘筒形引伸件）可按表20选取。

表20 无凸缘圆筒形零件的引伸系数

引伸次数	引伸系数	毛坯相对厚度 $t / D_0 \times 100$					
		0.08	0.15	0.3	0.60	1.0	1.5
1	m_1	0.63	0.60	0.58	0.55	0.53	0.50
2	m_2	0.82	0.80	0.79	0.78	0.79	0.75
3	m_3	0.84	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
4	m_4	0.86	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80
5	m_5	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.82

注：1、t为材料厚度； D_0 为毛坯直径；

2、本表适用于08、10号钢，根据材料塑性的不同，上述数值可加减不大于7%。

知道极限引伸系数后，就可根据零件的尺寸和平板的毛坯直径尺寸，从第一道引伸工序开始逐步地向后推算，便可求出所需的引伸工序数目和中间毛坯尺寸。

即：根据各次引伸系数计算出各次引伸直径：

$$d_1 = m_1 \cdot D_0$$

$$d_2 = m_2 d_1$$

$$d_3 = m_3 d_2$$

$$d_n = m_n \cdot d_{n-1}$$

式中： D_0 —引伸前毛坯直径，（平板毛坯）

d_1 —第一次引伸直径；

m_1 —第一次引伸系数；

d_2 —第二次引伸直径；

m_2 —第二次引伸系数；

d_3 —第三次引伸直径；

d_n —第n次引伸工序后的圆筒形直径（即零件直径）；

d_{n-1} —第n次工序引伸毛坯直径；

m_n —第n次工序引伸系数。

在实际生产过程中，由于极限引伸系数与板料的机械性能、内部组织、毛坯相对厚度 t / D_0 ，模具凹模圆角半径、间隙、结构形式，压力机大小及速度、润滑油等有关。过小的极限引伸系数会使零件拉深部分变薄甚至破裂。因此，一般应采用稍大于极限的引伸系数，即对引伸系数作适当调整（稍放大些），使之符合产品图要求。

调整的系数值可按下式计算：

$$n \sqrt{d / d_n}$$

式中：d—所需产品图零件的直径；

d_n —n次引伸计算所得的极限直径；

n—引伸所需的次数。

3.3.3 引伸高度的计算（无凸缘的筒形件）

对多工序引伸直径决定后，还须计算工序引伸高度。如图47，在计算某工序引伸高度时，应确定它的底部圆角半径（即引伸凸模的圆角半径）。确定引伸凸模的圆角半径，应尽可能取和凹模圆角半径相等或略小（ $r_{凸} = 0.7 - 1.0 r_{凹}$ ）每道工序还可递减20—30%以保证凸模顺利进入上道半成品。一般凹模圆角半径应尽可能大些，这样可以减少引伸系数，提高零件质量。但凹模圆角半径 $r_{凹}$ 也不能太大，太大会降低压料圈的作用，可能引起起皱，甚至破裂。因此，凹模圆角半径应适当。

一般 $r_{凹}$ 可按下式计算：

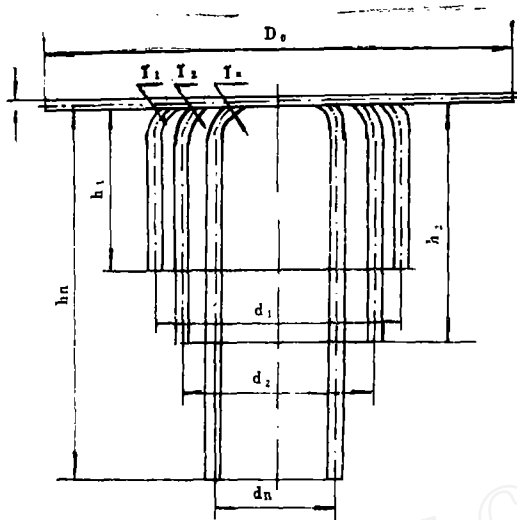


图47 多次引伸筒形件直径及高度变化

$$r_{\text{凹}} = 0.8 \sqrt{(D - d) t}$$

式中：D—毛坯直径或上一道引伸直径，mm

d—引伸直径，mm；

t—材料厚度，mm；

各次引伸高度可按下列公式计算：

$$h_1 = 0.25 (D^2 / d_1 - d_1) + 0.43 r_1 / d_1 (d_1 + 0.32 r_1)$$

$$h_2 = 0.25 (D^2 / d_2 - d_2) + 0.43 r_2 / d_2 \times (d_2 + 0.32 r_2)$$

$$h_n = 0.25 (D^2 / d_n - d_n) + 0.43 r_n / d_n \times (d_n + 0.32 r_n)$$

式中：D—引伸件展开毛坯直径，(平板)；

d₁—第一次引伸后直径；

d₂—第二次引伸后直径；

d_n—第n次引伸后直径；

r₁—第一次引伸后底部圆角半径；

r₂—第二次引伸后底部圆角半径；

r_n—第n次引伸后底部圆角半径；(所获产品图零件底部圆角半径)

h₁—第一次引伸后高度；

h₂—第二次引伸后高度；

h_n—第n次引伸后高度；(所获产品图零件高度)

3.3.4 引伸力的计算

引伸力与引伸系数，材料的机械性能、零件的

形状尺寸、凹模的圆角半径、润滑等直接有关，用理论计算十分复杂，实用也不方便。在实际生产中，一般都用经验公式计算。

下式是常用的计算形式：

第一次引伸力：

$$P_1 = \pi d_1 t \sigma_b K_1 \quad N$$

第二次及以后各次引伸力：

$$P_2 = \pi d_2 t_2 \sigma_b K_2 \quad N$$

式中：π—圆周率；

d₁—第一次引伸后的零件直径，mm；

d₂—第二次引伸后的零件直径，mm；

σ_b—材料的抗拉强度，N/mm²；

k₁、k₂为系数，其值见表21、22；

t—为材料厚度，mm。

表21 系数K₁值表

厚度 t/D ₀ ×100	引伸系数							
0.5	0.52	0.55	0.6	0.65	0.70	0.75	0.80	
5	0.75	0.65	0.60	0.5	0.43	0.35	0.28	0.20
2	0.90	0.80	0.75	0.5	0.50	0.42	0.35	0.25
1.2	1.0	0.90	0.80	0.68	0.56	0.47	0.37	0.30
0.8	1.1	1.0	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40	0.33
0.5	1.1	1.0	0.82	0.67	0.55	0.45	0.36	
0.2		1.1	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40	
0.1			1.1	0.90	0.75	0.60	0.50	

表22 系数K₂值表

厚度 t/D ₀ ×100	引伸系数							
	0.75	0.78	0.80	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92
5	0.60	0.50	0.42	0.32	0.28	0.20	0.15	0.12
2	0.75	0.60	0.52	0.42	0.32	0.25	0.20	0.14
1.20	0.90	0.75	0.62	0.52	0.42	0.30	0.25	0.15
0.80	1.00	0.82	0.70	0.57	0.46	0.35	0.27	0.18
0.50	1.1	0.92	0.76	0.63	0.50	0.40	0.30	0.20
0.20	1.0	0.85	0.70	0.56	0.44	0.33	0.23	
0.10	1.1	1.0	0.82	0.68	0.55	0.40	0.30	