

冲压模具设计

项目四 拉深工艺与拉深模设计

主讲：陈 坚

拉深工艺与拉深模设计

4.2 相关知识



拉深变形过程分析



拉深件的质量问题及控制



拉深件的工艺性



旋转体拉深件坯料尺寸的确定



圆筒形件拉深工艺的计算



其它形状零件的拉深



拉深力、压料力与拉深压力机



拉深模设计与拉深工艺的辅助工序



拉深工艺与拉深模设计

4.2.6 其它形状零件的拉深

1. 带凸缘圆筒形件的拉深

图 5-15 所示为带凸缘圆筒形件及其坯料，通常按凸缘尺寸的大小分为**窄凸缘**（ $d_t/d = 1.1 \sim 1.4$ ）和**宽凸缘**（ $d_t/d > 1.4$ ）两种类型。

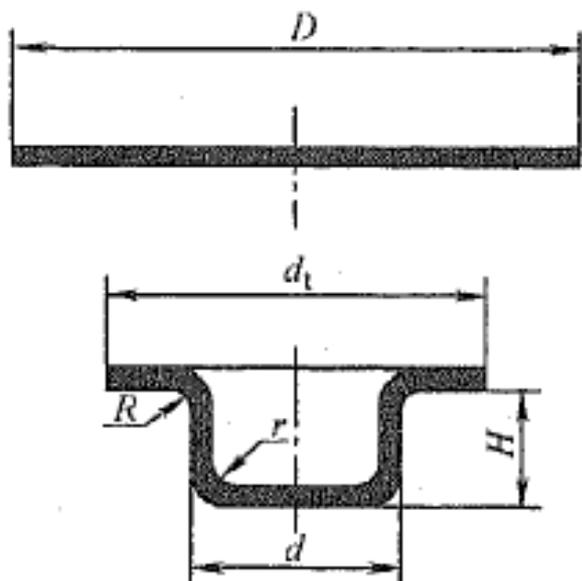


图 5-15 带凸缘圆筒形件及其坯料

带凸缘圆筒形件的拉深**变形过程**与无凸缘圆筒形件**相同**，但由于拉深时**凸缘并没有完全转化成**圆筒形件的侧壁，且保留凸缘的宽窄与板料整体变形程度有关，故其相应的**工艺计算方法**与普通无凸缘圆筒形件又有一定的**区别**。



拉深工艺与拉深模设计

(1) 窄凸缘圆筒形件的拉深

前几道工序按无凸缘圆筒形件进行拉深及尺寸计算，而最后两道工序采用锥形凹模和锥形压边圈进行拉深，留出锥形凸缘，这样整形亚平时可减小凸缘区切向拉深变形，可防止外缘开裂。

如下图所示的窄凸缘圆筒形件，在后两次拉深时留出锥形凸缘，最后整形达到要求。

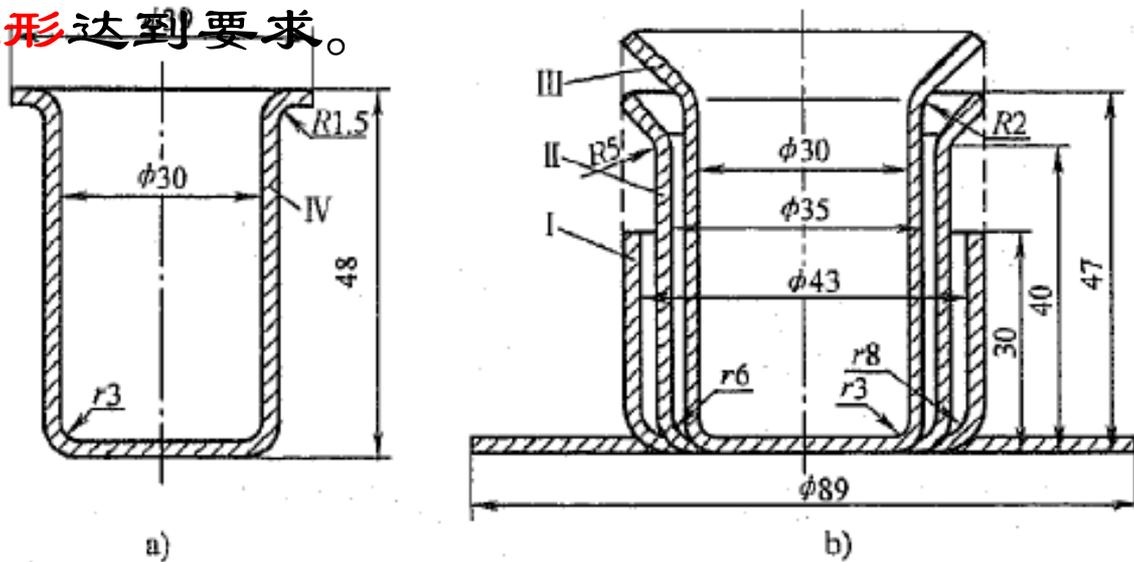


图 5-16 窄凸缘圆筒形件的拉深



拉深工艺与拉深模设计

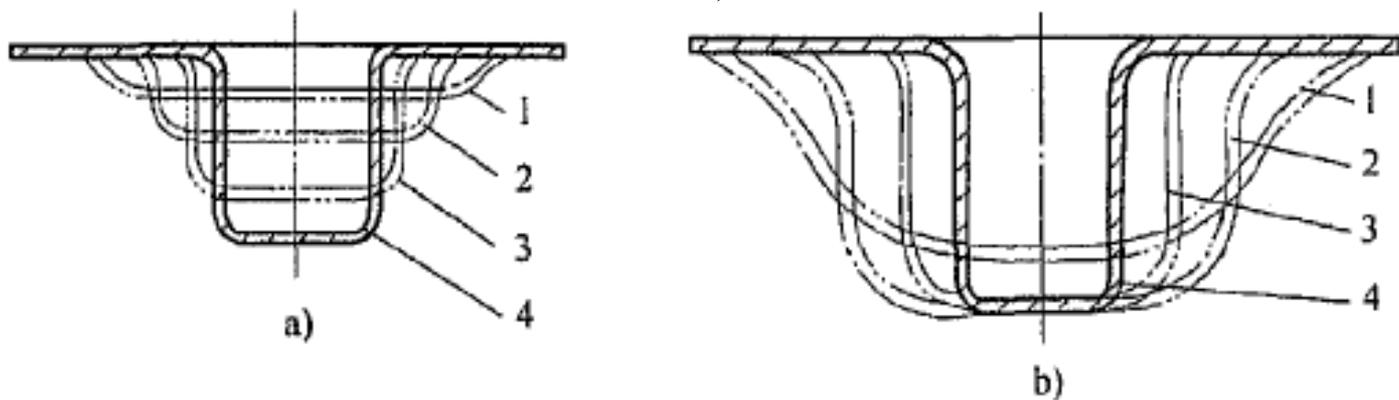
(2) 宽凸缘圆筒形件的拉深

凸缘尺寸的微小变化（减少），都会引起筒壁部分过大的拉应力，导致危险断面破裂。故**第一次拉深时就应拉出所需以后的凸缘外径**，在以后各次拉深时，**凸缘保持不变**，仅仅依靠筒壁部分材料的转移来达到要求。

生产实际中，宽凸缘圆筒形件需多次拉深时有两种方法：

1) 减小筒形直径，增加圆筒高度

主要用于对于**中小型凸缘圆筒形件**（ $d_t < 200\text{mm}$ ），各次拉深的凸缘圆角半径和底部圆角半径基本不变。采用此方法，易在工件上留下各次拉深的痕迹，需在最后增加一道整形工序。



拉深工艺与拉深模设计

2) 保持圆筒高度，减小筒形直径

主要用于**大型凸缘圆筒形件**（ $d_t > 200\text{mm}$ ）。在首次拉深时尽可能取较大的凸缘圆角半径和底部圆角半径，高度基本拉到零件要求的尺寸。以后各次拉深时，逐步减小半角半径和圆筒形直径，拉深高度基本不变。用这种方法拉深，拉成的零件表面较光滑，但只适用于**坯料相对厚度较大、采用大圆角过渡不易起皱的情况**。

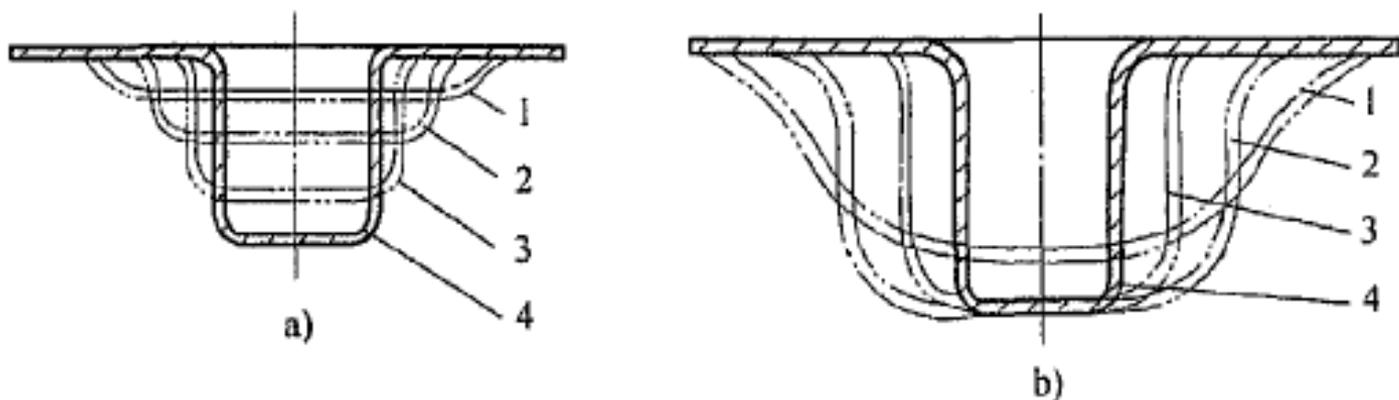


图 5-17 宽凸缘圆筒形件的拉深方法



拉深工艺与拉深模设计

(3) 带凸缘圆筒形件的拉深系数

带凸缘圆筒形件的拉深系数为： $m_t = d/D$

式中 m_t —— 带凸缘圆筒形件拉深系数；

d —— 拉深件筒形部分的直径；

D —— 坯料直径。

当拉深件底部圆角半径 r 与凸缘处圆角半径 R 相等，即 $r = R$ 时，坯料直径为：
$$D = \sqrt{d_t^2 + 4dH - 3.44dR}$$

$$\text{则 } m_t = d/D = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d_t}{d}\right)^2 + 4\frac{H}{d} - 3.44\frac{R}{d}}}$$

由上式可知，带凸缘圆筒形件的拉深系数与凸缘的相对直径 d_t/d 、零件的相对高度 H/d 、相对圆角半径 R/d 三个因素有关，其影响程度依次减小。



拉深工艺与拉深模设计

表 5-12 带凸缘圆筒形件首次拉深的极限拉深系数 $[m_1]$

凸缘的相对直径 d_t/d	坯料相对厚度 t/D (%)				
	>2 ~ 1.5	>1.5 ~ 1.0	>1.0 ~ 0.6	>0.6 ~ 0.3	>0.3 ~ 0.1
<1.1	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59
1.3	0.49	0.51	0.53	0.54	0.55
1.5	0.47	0.49	0.50	0.51	0.52
1.8	0.45	0.46	0.47	0.48	0.48
2.0	0.42	0.43	0.44	0.45	0.45
2.2	0.40	0.41	0.42	0.42	0.38
2.5	0.37	0.38	0.38	0.38	0.35
2.8	0.34	0.35	0.35	0.35	0.33
3.0	0.32	0.33	0.33	0.33	0.33

带凸缘圆筒形件首次拉深的极限拉深系数 $[m_1]$ 见表 5-12。

由表可知，当 $d_t/d < 1.1$ 时，极限拉深系数与无凸缘基本相同； d_t/d 大时，其极限拉深系数比无凸缘小。当坯料直径 D 一定时， d_t/d 越大， $[m]$ 越小，但不表示其变形程度大。



拉深工艺与拉深模设计

由上述可知，在影响 m_t 的因素中，因 R/d 影响较小，故当 m_t 一定时， d_t/d 与 H/d 的关系也就确定了。故可用拉深件的**相对高度**来表示带凸缘圆筒形件的**变形程度**。首次拉深的极限相对高度见表 5-13

表 5-13 带凸缘圆筒形件首次拉深的极限相对高度 [H_1/d_1]

凸缘的相对直径 d_1/d	坯料相对厚度 t/D (%)				
	>2 ~ 1.5	>1.5 ~ 1.0	>1.0 ~ 0.6	>0.6 ~ 0.3	>0.3 ~ 0.1
<1.1	0.90 ~ 0.75	0.82 ~ 0.65	0.70 ~ 0.57	0.62 ~ 0.50	0.52 ~ 0.45
1.3	0.80 ~ 0.65	0.72 ~ 0.56	0.60 ~ 0.50	0.53 ~ 0.45	0.47 ~ 0.40
1.5	0.70 ~ 0.58	0.63 ~ 0.50	0.53 ~ 0.45	0.48 ~ 0.40	0.42 ~ 0.35
1.8	0.58 ~ 0.48	0.53 ~ 0.42	0.44 ~ 0.37	0.39 ~ 0.34	0.35 ~ 0.29
2.0	0.51 ~ 0.42	0.46 ~ 0.35	0.38 ~ 0.32	0.34 ~ 0.29	0.30 ~ 0.25
2.2	0.45 ~ 0.35	0.40 ~ 0.31	0.33 ~ 0.27	0.29 ~ 0.25	0.26 ~ 0.22
2.5	0.35 ~ 0.28	0.32 ~ 0.25	0.27 ~ 0.22	0.23 ~ 0.20	0.21 ~ 0.17
2.8	0.27 ~ 0.22	0.24 ~ 0.19	0.21 ~ 0.17	0.18 ~ 0.15	0.16 ~ 0.13
3.0	0.22 ~ 0.16	0.20 ~ 0.16	0.17 ~ 0.14	0.15 ~ 0.12	0.13 ~ 0.10

注：1. 表中大数值适用于大圆角半径，小数值适用于小圆角半径。随着凸缘直径的增大及相对高度的减小，其数值也跟着减小。

2. 表中数值适用于 10 钢，比 10 钢塑性好的材料取接近表中大数值的值，塑性差的取小数值。



拉深工艺与拉深模设计

当带凸缘圆筒形件的**总拉深系数** $m_t = d/D$ **大于首次极限拉深系数**，且零件的**相对高度** H/d **小于极限相对高度**，则可以一次拉深成形，否则需要多次拉深。

带凸缘圆筒形件**以后各次拉深系数**为： $m_i = d_i / d_{i-1}$

其值与凸缘宽度及外形尺寸无关，可取**与无凸缘圆筒形件的相应拉深次数相等或略小的数值**，见表 5-14。

表 5-14 带凸缘圆筒形件以后各次的极限拉深系数

拉深系数	坯料相对厚度 t/D (%)				
	>2 ~ 1.5	>1.5 ~ 1.0	>1.0 ~ 0.6	>0.6 ~ 0.3	>0.3 ~ 0.1
$[m_2]$	0.73	0.75	0.76	0.78	0.80
$[m_3]$	0.75	0.78	0.79	0.80	0.82
$[m_4]$	0.78	0.80	0.82	0.83	0.84
$[m_5]$	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86



拉深工艺与拉深模设计

(4) 带凸缘圆筒形件的各次拉深高度

根据带凸缘圆筒形件坯料直径计算公式，可推导出各次拉深高度的计算公式如下：

$$H_i = \frac{0.25}{d_i} (D^2 - d_i^2) + 0.43(r_i + R_i) + \frac{0.14}{d_i} (r_i^2 - R_i^2) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

- 式中**
- H_i —— 各次拉深工序件的高度；
 - d_i —— 各次拉深工序件的高度；
 - D —— 坯料直径；
 - r_i —— 各次拉深工序件的底部圆角半径；
 - R_i —— 各次拉深工序件的凸缘圆角半径。



拉深工艺与拉深模设计



请看下面的案例



拉深工艺与拉深模设计

计算下图所示宽凸缘筒形件的毛坯直径、拉深次数及各次半成品尺寸。材料为 08 钢，料厚 $t=2\text{mm}$ 。

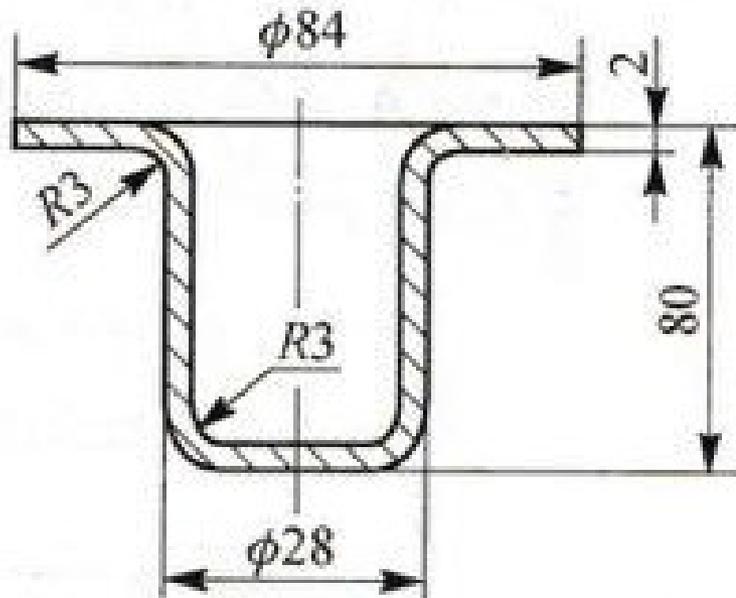


图 5-22 宽凸缘筒形件



拉深工艺与拉深模设计

解 料厚大于 1 mm, 下面均按中线尺寸计算。

(1) 确定修边余量 Δd 。当 $d_1/d = 84/26 \approx 3.2$, $d_1 = 84$ 时, 查表 5-2, 取修边余量 $\Delta d = 2.2$ mm, 故实际凸缘直径为

$$d_1 = 84 + 2 \times 2.2 = 88.4 \text{ mm}$$

(2) 初算毛坯直径。查表 5-4 知, $d_1 = 28 - 2 - 8 = 18$ mm, $d_2 = 28 - 2 = 26$ mm, $d_3 = 26 + 8 = 34$ mm, $d_4 = 88.4$ mm, $h = 80 - 2 - 8 = 70$ mm, $r = 4$ mm, 初算毛坯直径为

$$D = \sqrt{d_1^2 + 4d_2h + 2\pi r(d_1 + d_2) + 4\pi r^2 + d_4^2 - d_3^2}$$

$$D = \sqrt{18^2 + 4 \times 26 \times 70 + 2\pi \times 4r(18 + 26) + 4\pi \times 4^2 + 88.4^2 - 34^2}$$

$$D = \sqrt{8\ 910.2 + 6\ 658.6} \approx 125 \text{ mm}$$

其中, $6\ 658.6 \times \pi/4$ mm² 为该零件凸缘部分的表面积, $8\ 910.2 \times \pi/4$ mm² 为该零件除去凸缘部分的表面积。

(3) 判断一次能否拉出。由 $h/d = 78/26 = 3$, $d_1/d = 88.4/26 = 3.4$, $t/D = 2/125 = 1.6\%$, 查表 5-10 得, 第一次拉深许可的相对高度 $h_1/d_1 = 0.18 \sim 0.22$, 远小于工件的 $h/d = 3$, 所以一次不能拉出。



拉深工艺与拉深模设计

(4) 确定首次拉深的工序尺寸。

① 选取 m_1 、 d_1 ：因为确定宽凸缘筒形件的首次处深系数 m_1 时，需要先假定一个 d_1/d 的值，所以用逼近法以表格的形式列出有关数据进行比较来选取 m_1 和 d_1 。

$n = d_1/d$ (假定值)	第一次拉深直径 $d_1 = d_1/n$	实际拉深系数 $m_1 = d_1/D$	带凸缘筒形件 第一件拉深系数 [m_1]由表 5-11 查取	拉深系数相差值 $\Delta m = m_1 - [m_1]$
1.2	$88.4/1.2 \approx 73.6$	0.59	0.49	+0.10
1.3	$88.4/1.3 = 68$	0.54	0.49	+0.05
1.4	$88.4/1.4 \approx 63.1$	0.50	0.47	+0.03
1.5	$88.4/1.5 \approx 58.9$	0.47	0.47	0

选取 $m_1 = 0.47$, $d_1 = 59$ mm (即 $d_1/d_1 \approx 1.5$)



拉深工艺与拉深模设计

②确定筒底及凹模的圆角过渡处中间层圆角半径 r_1 。

由式 $R=0.8 \sqrt{(D-d_1)t}$ (R 为凹模式凸模圆角半径,在后面将详细介绍)知

$$r_1=0.8 \sqrt{(D-d_1)t}=0.8 \sqrt{(125-59) \times 2}=9.2 \text{ mm}$$

取第一次拉深时筒底及凹模的圆角过渡处中间层圆角半径 $r_1=10 \text{ mm}$ 。

③重新计算毛坯直径。如图 5-23 所示,为了保证以后拉深时凸缘不参加变形,宽凸缘拉深件第一次拉入凹模的材料面积比零件实际需要的面积多 5%,即第一次拉深时拉入凹模的材料实际面积应为

$$A=\frac{\pi}{4} \times \{8\ 910.2+[(59+2 \times 10)^2-34^2]\} \times 105\%=\frac{\pi}{4} \times 14\ 695 \text{ mm}^2$$

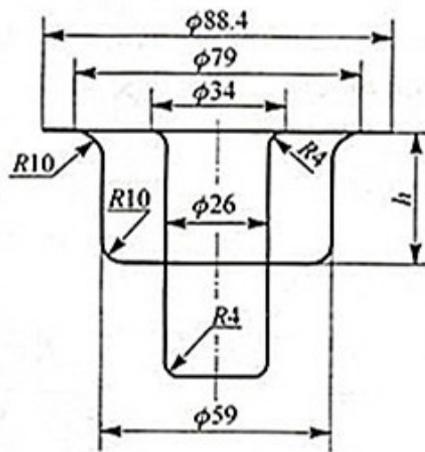


图 5-23 第一次拉深工序尺寸计算示意图



拉深工艺与拉深模设计

在多拉入凹模 5% 的材料后,重新计算的毛坯直径应为

$$D = \sqrt{14\,695 + (88.4^2 - 79^2)} = 127.5 \text{ mm}$$

④ 计算第一次拉深高度 h_1 。由 $D = \sqrt{d_i^2 + 4dH - 3.44dR}$ 可知

$$H = 0.25 \frac{D^2 - d_i^2}{d} + 0.86R$$

即

$$H_1 = 0.25 \times \frac{127.5^2 - 88.4^2}{59} + 0.86 \times 10 = 44.4 \text{ mm}$$

⑤ 验算 m_1 选得是否合理。根据 $d_i/d_1 = 88.4/59 = 1.5$ 和 $t/D = 2/127.5 = 1.57\%$, 查表 5-10 得许可的相对高度 $h_1/d_1 = 0.58 \sim 0.70$, 而实际的工序件 $h_1/d_1 = 44.4/59 = 0.75$, 显然 $0.70 < 0.75$, 所以所选的 m_1 已经超过第一次拉深的允许变形程度, 是不合适的, 需要重



拉深工艺与拉深模设计

(5)重新确定第一次拉深的工序尺寸。

①选取 $m_1=0.50$, $d_1=63$ mm(即 $d_1/d_1=1.4$)。

③选取 $r_1=10$ mm。

③重新计算毛坯直径。

第一次拉深时拉入凹模的材料实际面积应为

$$A = \frac{\pi}{4} \times \{8\ 910.2 \div [(63+2 \times 10)^2 - 34^2]\} \times 105\% \approx \frac{\pi}{4} \times 15\ 375.4\ \text{mm}^2$$

重新计算的毛坯直径应为

$$D = \sqrt{15\ 375.4 \div (88.4^2 - 83^2)} \approx 127.7\ \text{mm}$$

④计算第一次拉深高度 h_1 为

$$h_1 = 0.25 \times \frac{127.7^2 - 88.4}{63} + 0.86 \times 10 \approx 42.3\ \text{mm}$$

⑤验算 m_1 选得是否合理。根据 $d_1/d_1=1.4$ 和 $t/D=2/127.7=1.57\%$, 查表 5-10 得许可的相对高度 $h_1/d_1=0.58\sim 0.70$, 而实际的工序件 $h_1/d_1=42.3/63=0.67$, 显然 $0.70 > 0.67$, 所以本次所选的 m_1 是合适的。图 5-24 为第一次拉深工序图。

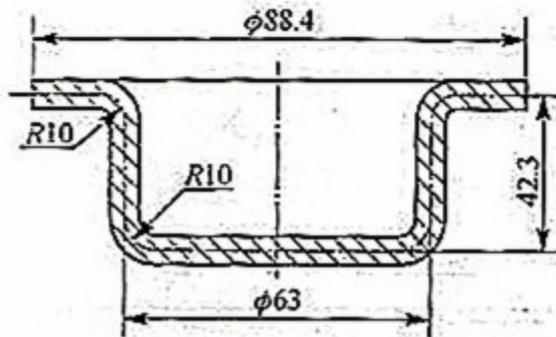


图 5-24 第一次拉深工序图



拉深工艺与拉深模设计

(6) 计算以后各次拉深的工序件尺寸。

① 确定以后各次还需要拉深的次数。查表 5-3 得, $m_2 = 0.73$, $m_3 = 0.76$, $m_4 = 0.78$, $m_5 = 0.80$, 用推算法确定所需次数。

$$d_2 = m_2 d_1 = 0.73 \times 63 \approx 46 \text{ mm}$$

$$d_3 = m_3 d_2 = 0.76 \times 46 \approx 35 \text{ mm}$$

$$d_4 = m_4 d_3 = 0.78 \times 35 \approx 27.3 \text{ mm}$$

$$d_5 = m_5 d_4 = 0.80 \times 27.3 \approx 21.8 \text{ mm}$$

当第五次拉深时, $d_5 = 21.8 \text{ mm}$, 已经小于零件尺寸 $d = 26 \text{ mm}$, 所以不必再拉深, 即以后还需拉深四次, 总共要拉深五次。

② 重新调整各次拉深系数, 计算各次拉深后工序件的直径。取 $m_2 = 0.76$, $m_3 = 0.79$, $m_4 = 0.81$, $m_5 = 0.84$, 则

$$d_2 = m_2 d_1 = 0.76 \times 63 \approx 48 \text{ mm}$$

$$d_3 = m_3 d_2 = 0.79 \times 48 \approx 38 \text{ mm}$$

$$d_4 = m_4 d_3 = 0.81 \times 38 \approx 31 \text{ mm}$$

$$d_5 = m_5 d_4 = 0.84 \times 31 \approx 26 \text{ mm}$$



拉深工艺与拉深模设计

③确定以后各次拉深的 R_{T1} 和 R_{A2} 。取 $R_{T2} = R_{A2} = 8 \text{ mm}$, $R_{T3} = R_{A3} = 6 \text{ mm}$, $R_{T4} = R_{A4} = 5 \text{ mm}$, $R_{T5} = R_{A5} = 3 \text{ mm}$ (根据零件要求)。

④计算以后各次拉深工序件的高度尺寸。设第二次拉深时多拉入凹模的材料面积为 3.3.5%(其余 1.5%的材料返回到凸缘),第三次拉深时多拉入的材料为 2%(其余 1.5%的材料返回到凸缘),第四次拉深时多拉入的材料为 1%(其余 1%的材料返回到凸缘)。第二、三、四次拉深的假想坯料直径分别为

$$D_2 = \sqrt{\frac{15\ 375.4}{105\%} \times 103.5\% + (88.4^2 - 83^2)} \approx 126.8 \text{ mm}$$

$$D_3 = \sqrt{\frac{15\ 375.4}{105\%} \times 102\% + (88.4^2 - 83^2)} \approx 125.9 \text{ mm}$$

$$D_4 = \sqrt{\frac{15\ 375.4}{105\%} \times 101\% + (88.4^2 - 83^2)} \approx 125.4 \text{ mm}$$

由此,可以计算出各次拉深的工序件高度为

$$H_2 = 0.25 \times \frac{126.8^2 - 88.4^2}{48} + 0.86 \times 9 \approx 50.8 \text{ mm}$$

$$H_3 = 0.25 \times \frac{125.9^2 - 88.4^2}{38} + 0.86 \times 7 \approx 59 \text{ mm}$$

$$H_4 = 0.25 \times \frac{125.4^2 - 88.4^2}{31} + 0.86 \times 6 \approx 68.9 \text{ mm}$$



拉深工艺与拉深模设计

最后一道拉深后达到零件的高度，将多拉入的 1% 的材料返回到凸缘，拉深工序结束。将上述按中线尺寸计算的工序件尺寸换算为外径和高度尺寸，如图 5-25 所示。

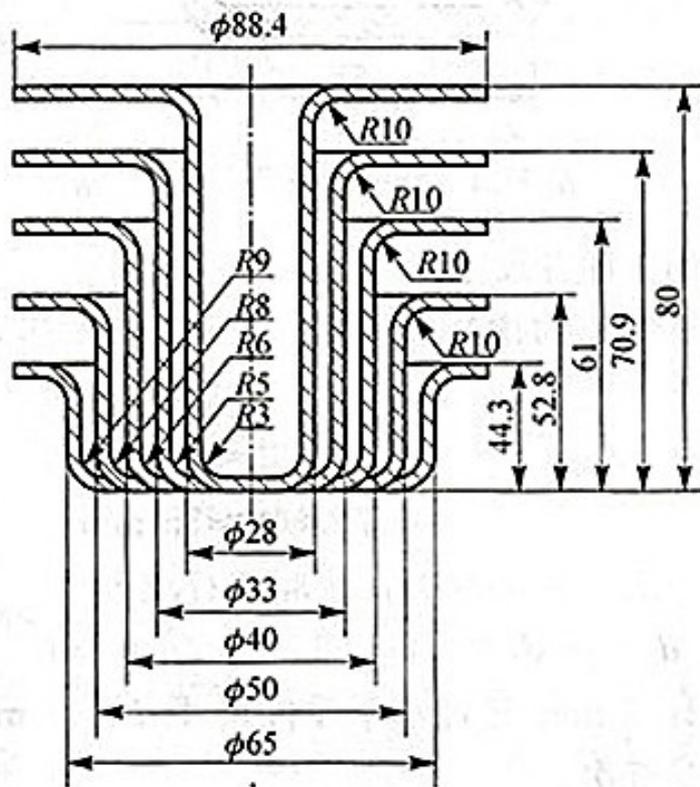


图 5-25 拉深工序件尺寸



拉深工艺与拉深模设计

2. 阶梯圆筒形件的拉深

阶梯圆筒形件如图 5-20 所示，每个阶梯相当于圆筒形件的拉深。但其拉深次数及拉伸方法与圆筒形件时有区别的。

主要问题是确定拉深次数，故应先计算零件的高度 H 与最小直径 d_n 的比值 H/d_n ，然后根据坯料相对厚度 t/D ，查表 5-10。如果拉深次数为 1，则可一次拉深成形，否则需要多次拉深成形。

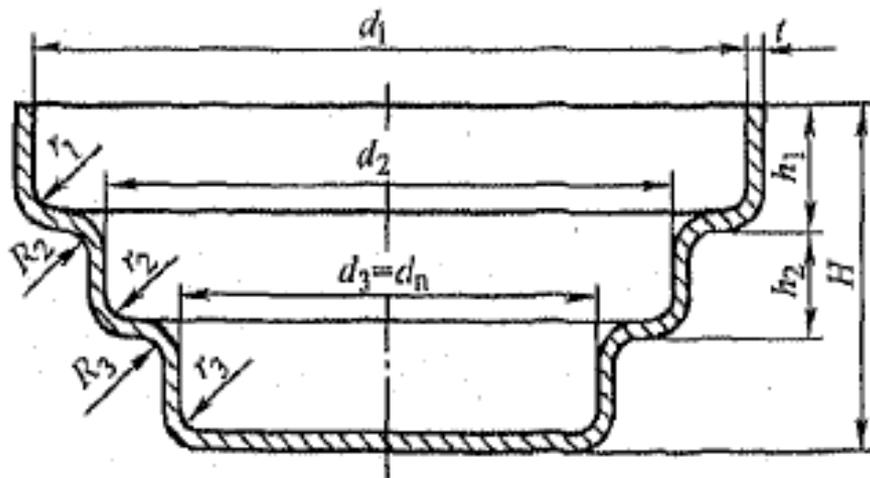


图 5-20 阶梯圆筒形件



拉深工艺与拉深模设计

如需多次拉深，根据阶梯圆筒形件的各部分尺寸关系不同，其拉深方法也有所不同，具体如下：

1) 当任意两相邻阶梯直径的比值 d_i/d_{i-1} 都不小于相应的圆筒形件的极限拉深系数时，其由大阶梯到小阶梯依次拉出，如下图 5-21a 所示，拉深次数等于阶梯直径数目与最大阶梯成形所需的拉深次数之和。

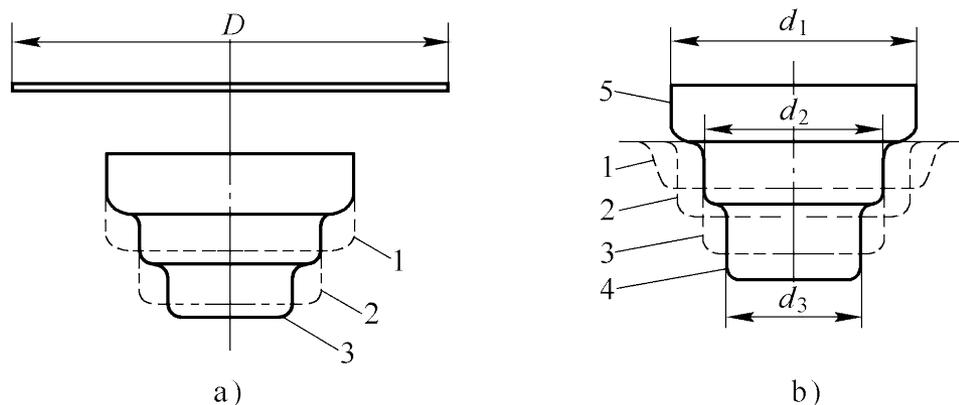


图 5-21 阶梯圆筒形件多次拉深方法



拉深工艺与拉深模设计

2) 当某相邻阶梯直径的比值 d_i/d_{i-1} 小于相应圆筒形件的极限拉深系数时，则可先按带凸缘圆筒形件的拉深方法拉出直径 d_i ，再将凸缘拉成直径，其顺序时由小到大，如图 5-21b 所示。图中因 d_2/d_1 小于相应圆筒形件的极限拉深系数，故先用带凸缘圆筒形件的拉深方法拉出直径 d_2 ， d_3/d_2 不小于相应圆筒形件的极限拉深系数，可直接从 d_2 拉到 d_3 ，最后拉出 d_1 。

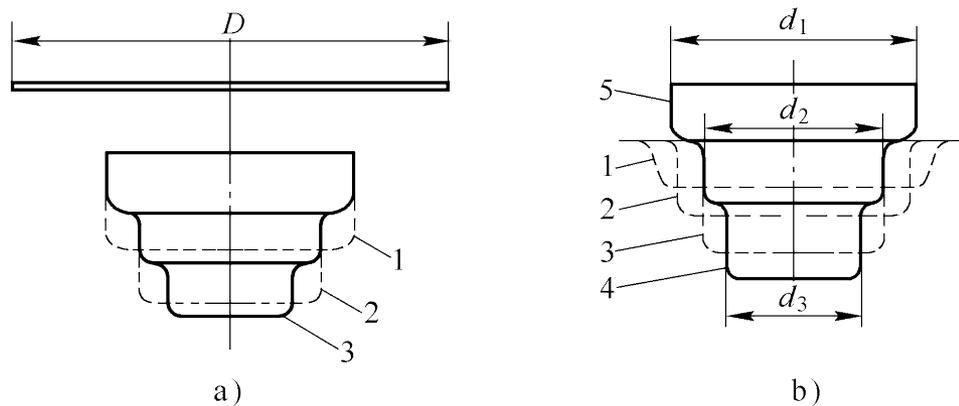


图 5-21 阶梯圆筒形件多次拉深方法



拉深工艺与拉深模设计

3) 当零件为浅阶梯圆筒形件，且坯料相对厚度 (t/D) 较大、相邻阶梯直径差不大时，可先拉成大圆角半径的圆筒形件，然后用校形方法得到零件的形状和尺寸，但需要注意材料的局部变薄，以免影响零件质量。

此外，当阶梯件的最小阶梯直径 d_n 很小， d_n/d_{n-1} 过小、其高度 h_n 又不大时，最小阶梯可以用胀形的方法得到，但材料容易变薄，影响零件质量。



拉深工艺与拉深模设计

3. 轴对称曲面形状件的拉深

轴对称曲面形状件包括**球形件**、**抛物线形件**和**锥形件**等。

此类零件不能简单地用**拉深系数**去衡量和判断成形难易程度，也**不能**用它作为工艺过程设计和模具设计的依据。

(1) 球形件的拉深

球形件的拉深**凸模是球面**，在开始拉深时凸模与坯料平面只**有一点接触**，凸模的压力都集中在这一点上，使该处的材料**严重变薄**。另外在拉深过程中，材料的**很大部分未被压边圈压住**，故易**起皱**，而且由于间隙过大，皱纹也不易消除。

生产过程中，为避免球形件的拉深起皱，可适当的调整和增大压料力。而压料力较大时，会受到弹簧或气垫结构尺寸的限制，故常采用**反拉深**、**带压料筋拉深**和**双弯曲拉深**，如图 5-22 所示。但过大的增大径向拉应力，又会加大材料产生变薄或拉裂的倾向。故如何根据具体情况，确定合理的压料力，是保证球形件拉深质量的关键之一。



拉深工艺与拉深模设计

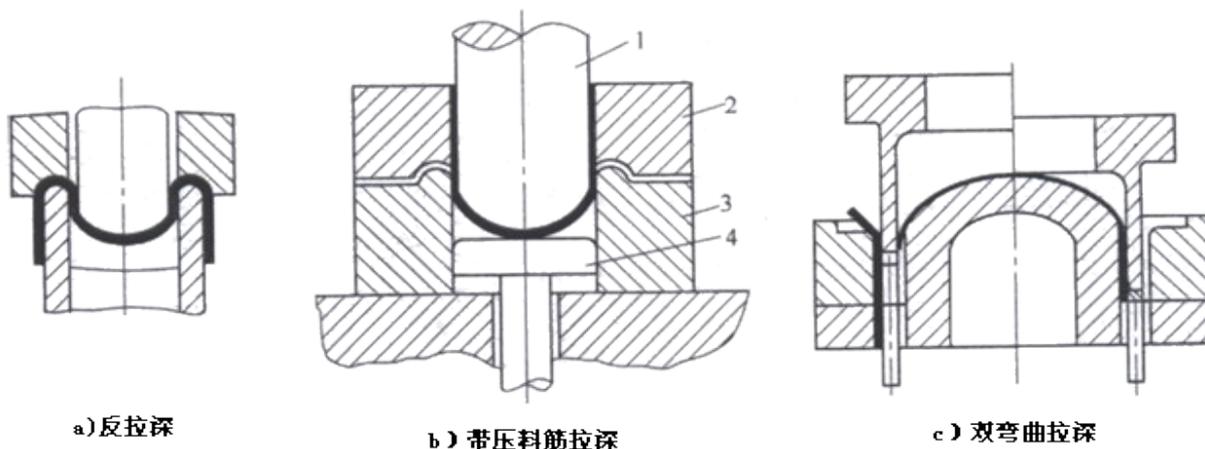


图 5-22 球形件拉深方法

1- 凸模； 2- 压料圈； 3- 凹模； 4- 顶件块

球形件又可分为**半球型件**和**浅球形件**，如图 5-23 所示。

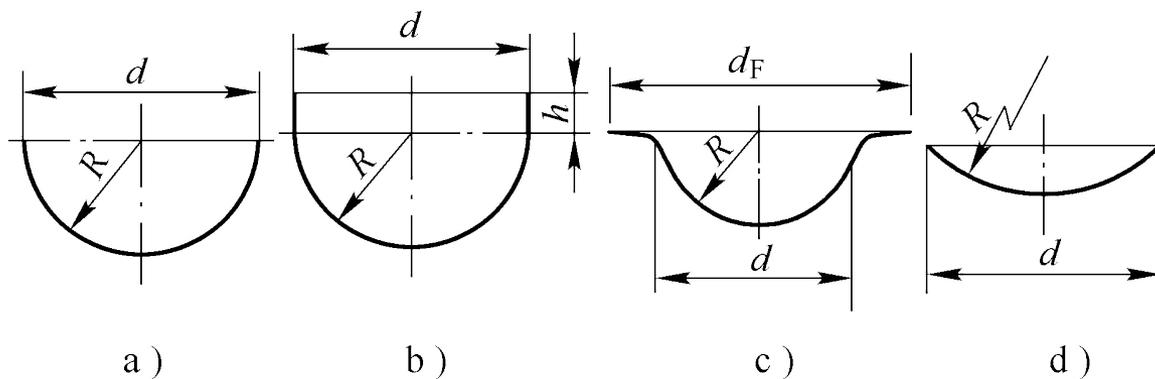


图 5-23 球形件类型



拉深工艺与拉深模设计

1) 半球形件的拉深

半球形件的拉深系数，在任何直径下均为常数，即

$$m = \frac{d}{D} = \frac{d}{\sqrt{2}d} \approx 0.71$$

在这种情况下，**不能用拉深系数**作为设计工艺过程的依据。球形件拉深的主要质量问题是坯料中间起皱，故**以坯料相对厚度 t/D** 作为判断难易程度和选定拉深方法的**依据**。

根据不同的相对厚度，半球形件的拉深有以下三种方法：

① 当 $t/D > 3\%$ 时，可用不带压料装置的简单拉深模一次拉深成形，但必须采用**球面底的凹模**，在行程终了时得到**校正**，如图 5-24 所示。

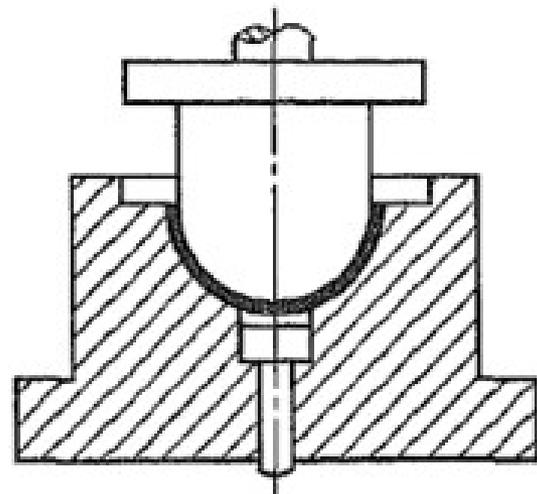


图 5-24 半球形件的校正拉深



拉深工艺与拉深模设计

② 当 $t/D=0.5\% \sim 3\%$ 时，需用带**压边圈**的拉深模或**反拉深模**进行拉深，以防止起皱。

③ 当 $t/D < 0.5\%$ 时，则采用**反拉深模**（图 5-22a）或带有**压边筋的凹模**（图 5-22b）进行拉深，以增大材料流动阻力。

当球形件带有高度为 $(0.1 \sim 0.2) d$ 的直壁（图 5-23b）或带有每边宽度为 $(0.1 \sim 0.5) d$ 的凸缘（图 5-23c）时，虽然变形程度有所增大，但对球面的有相当大的好处。拉深不带直壁或凸缘而表面质量和尺寸精度要求较高的半球形件时，常**加大坯料直径，形成凸缘**，以确保拉深质量，其加工余量在拉深后切除。



拉深工艺与拉深模设计

2) 浅球形件的拉深

浅球形件（图 5-23d）在拉深成形时，除了易起皱外，坯料还易偏移，且卸载后一定的回弹。

① 当坯料直径 $D \leq 9\sqrt{rt}$ 时，可不压料用球形底的凹模一次成形。但成形时，坯料易偏移，还可能产生一定的回弹。当球面半径 r 较大，而零件的深度和厚度较小时，必须按回弹量修正模具。

② 当坯料直径 $D > 9\sqrt{rt}$ 时，由于起皱严重，应附加一定宽度的凸缘并采用强力压料装置或带压料筋的模具，防止偏移。



拉深工艺与拉深模设计

(2) 抛物线形件的拉深

抛物线形件的拉深，按其相对高度 h/d (h 为零件高度， d 为零件直径) 的不同，分为以下两种情况：

1) 对于深度较浅的抛物线形件 ($h/d < 0.5-0.6$)，其变形特点与半球形件相似，因此拉深方法可按半球形件进行；

2) 对于深度较大的抛物线形件 ($h/d \geq 0.5-0.6$)，由于零件高度较大，顶部圆角较小，故拉深难度较大，一般需进行反拉深或正拉深多工序逐步成形。为保证零件尺寸精度和表面质量，最后一道拉深工序应有一定的胀形变形，可使坯料面积小于零件表面积。



拉深工艺与拉深模设计

如图 5-25 所示，灯罩的材料为 08 钢，厚度为 0.8mm，经计算得坯料直径 $D=280\text{mm}$ 。根据 $h/d \approx 0.58$ ， $t/D \approx 0.28\% < 0.5\%$ ，采用上述半球形件的第三种成形方法，用压边筋的凹模进行拉深。

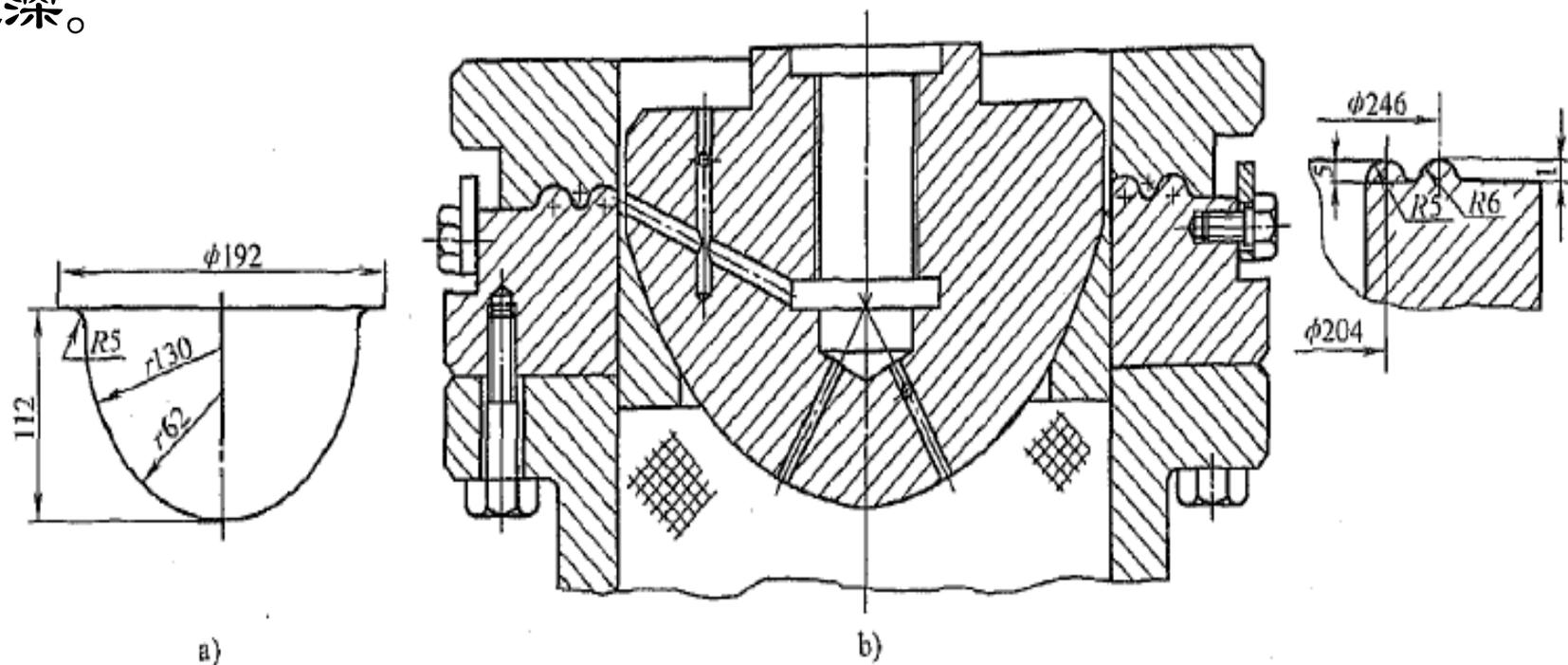


图 5-25 抛物线形灯罩及其拉深模
a) 灯罩零件图； b) 灯罩拉深模

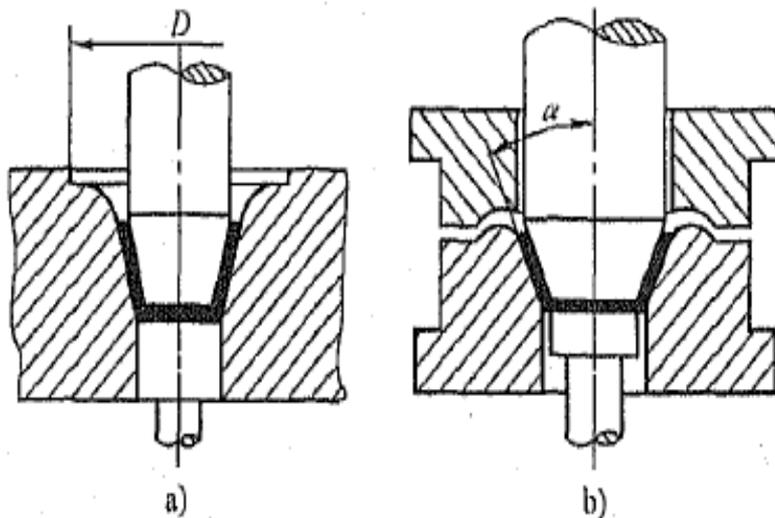


拉深工艺与拉深模设计

(3) 锥形件的拉深

锥形件开始拉深时，凸模与坯料接触面积小，压力集中，坯料易产生局部变薄；且由于自由面积大，压料面积小，工件其起皱。另一方面，因为零件底部与口部尺寸差别较大，拉深后回弹现象严重。故拉深锥形件比球形件困难。

1) 浅锥形件

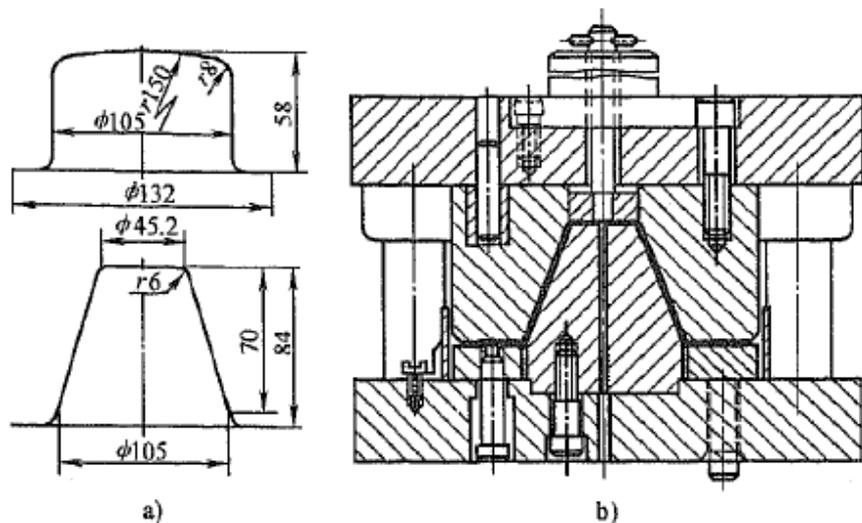


相对高度小的锥形件拉深方法

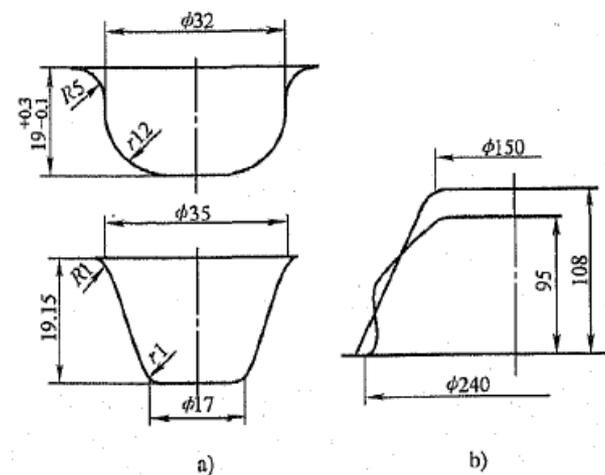


拉深工艺与拉深模设计

2) 中等深度锥形件



锥形件拉深方法及拉深模



锥形件两次成形方法

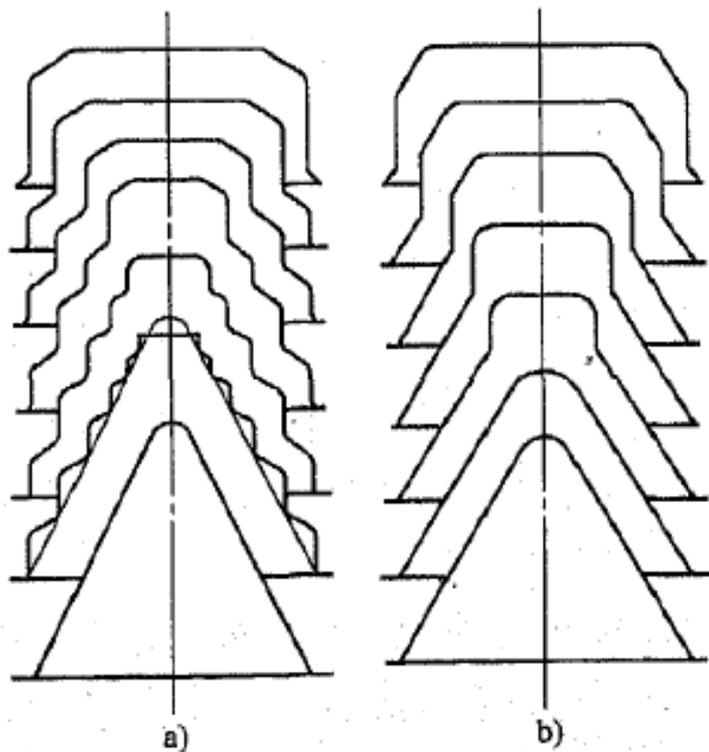


拉深工艺与拉深模设计

3) 深锥形件

a) 阶梯过渡法

b) 锥面逐步增大法



深锥形件的逐步成形方法



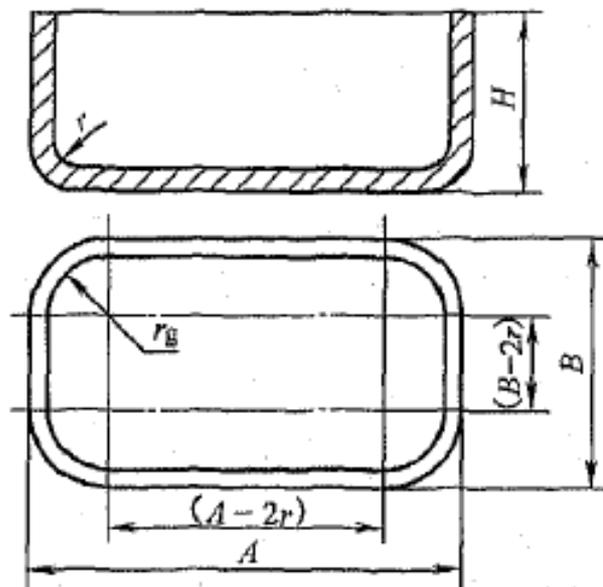
拉深工艺与拉深模设计

4. 盒形件的拉深

(1) 盒形件拉深的变形特点

圆角部分是四分之一的圆柱面，直边部分是直壁平面

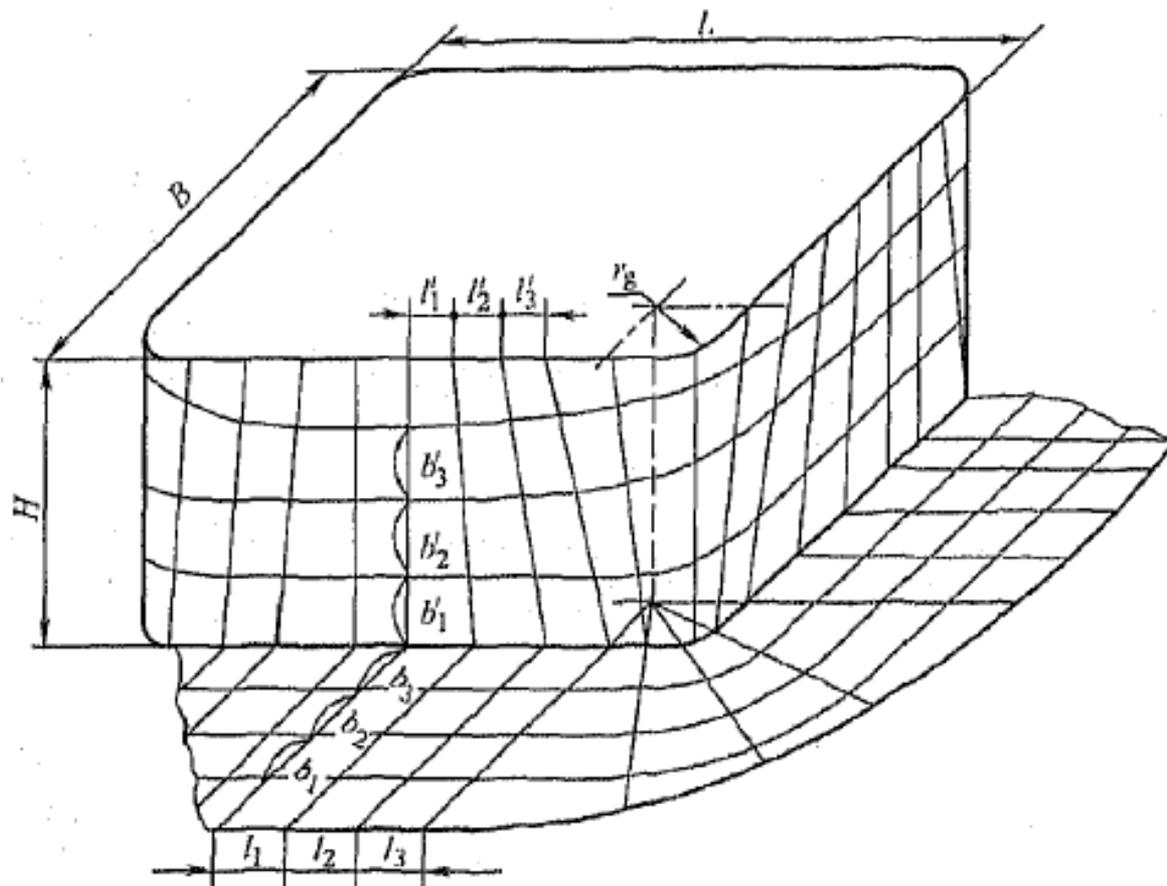
○



盒形件



拉深工艺与拉深模设计



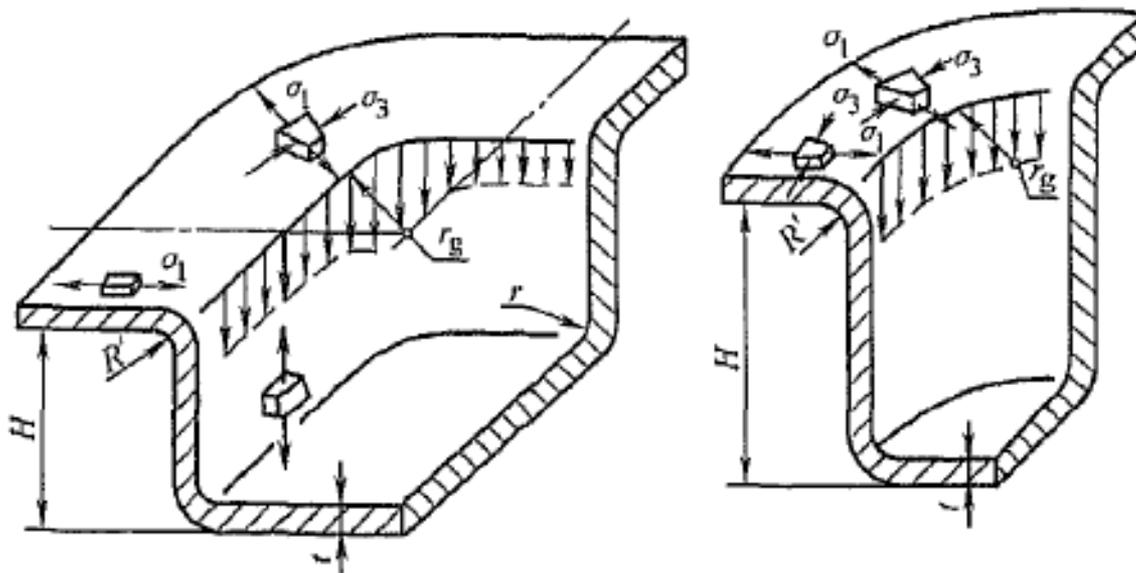
盒形件拉深的网格试验



拉深工艺与拉深模设计

盒形件拉深变形有以下特点：

- 1) 盒形件拉深变形的性质与圆筒形件相同，坯料变形区（凸缘）也是一拉一压的应力状态。



盒形件拉深时的应力分布



拉深工艺与拉深模设计

2) 盒形件拉深时坯料周边上的应力和变形分布是不均匀的。

3) 直边和圆角变形相互影响的程度取决于相对圆角半径 r_g/B 和相对高度 H/B 。

(2) 一次拉深成形低盒形件坯料形状和尺寸的确定

低盒形件在拉深时，其坯料的形状和尺寸可按下述步骤来确定：



拉深工艺与拉深模设计

a) 将盒形件的直边按弯曲变形、圆角部分按四分之一圆筒形拉深变形分别展开，得 ABCDEF 轮廓的坯料。其中：

$$l_z = H + 0.57r$$

$$R = \sqrt{2r_g H} \quad (\text{当 } r_g = r \text{ 时})$$

$$R = \sqrt{r_g^2 + 2r_g H - 0.86r(r_g + 0.16r)} \quad (\text{当 } r_g > r \text{ 时})$$

b) 修正展开的坯料形状，使圆角光滑过渡。作法是：过 BC 的中点作圆弧 R 的切线，再以 R 为半径作圆弧与直边和切线相切。



拉深工艺与拉深模设计

(3) 盒形件拉深变形程度

首次拉深
$$m_1 = \frac{r_{g1}}{R_y}$$

以后各次拉深
$$m_i = \frac{r_{gi}}{r_{g(i-1)}} \quad (i = 2, 3, 4, \dots, n)$$

式中 R_y ——坯料圆角的假想半径， $R_y = R_b - 0.7 (B - 2r_g)$ ；

r_{g1} 、 r_{gi} ——首次和以后各次拉深后工序件口部的圆角半径；
 m_1 、 m_i ——首次和以后各次的拉深系数。



THANK YOU!
