

拉深模设计手册

编 译	陈 镇 庭
	刘 世 安
审 核	张 鼎 承

上海市虹口区科学技术协会

拉深模设计手册

编译 陈 镇 庭
刘 世 安

审核 张 鼎 承

上海市虹口区科学技术协会

出 版 说 明

本书是由上海市虹口区科技协会模具学组组织，主要根据苏联1979年最新出版B·П·罗曼诺夫斯基所著《冷压手册(第六版)》俄文版有关拉深部分选辑编译而成。内容较该手册1959年俄文版(中译本1965年出版)有重大修改充实，详细介绍了拉深工艺数据、工艺方法、展开图形、拉深力和结构参数等新近资料。

本书可供从事冲压工作的工程技术人员以及高等和中等工业学校师生参考。

本书承张鼎承高级工程师审校修改，并同意转载两篇论著附后，作为本书采用名词的依据以及弥补罗氏原书一个公式的不足。此外，邓石城工程师也为本书的出版提供了帮助。特此致谢。

编译者 刘世安 陈镇庭

目 录

出版说明

第一章 拉深件毛坯形状及尺寸	(1)
一、形状简单的圆筒形拉深件(旋转体)的毛坯尺寸	(1)
二、形状复杂的圆形拉深件(旋转体)的毛坯尺寸	(8)
三、无凸缘矩形和方形盒拉深件的毛坯形状和尺寸	(12)
四、带凸缘矩形盒拉深件的毛坯形状和尺寸	(19)
五、形状复杂而不对称的拉深件的毛坯尺寸	(21)
六、变薄拉深件的毛坯尺寸	(21)
第二章 拉深工艺计算及工艺过程的拟定	(23)
一、拉深系数和变形程度	(23)
二、拉深无凸缘圆筒形零件的工艺计算	(24)
三、拉深带凸缘圆筒形零件的工艺计算	(31)
四、带料连续拉深的工艺计算	(34)
五、拉深无凸缘低矩形和方形盒零件的工艺计算	(40)
六、拉深无凸缘高矩形和方形盒零件的工艺计算	(42)
七、拉深带凸缘矩形盒零件的工艺计算	(50)
八、形状复杂的旋转体零件的拉深工艺	(52)
九、变薄拉深工艺	(56)
第三章 拉深力和压料力的确定	(60)
第四章 拉深模工作部分尺寸的确定	(65)
一、拉深模的圆角半径	(65)
二、拉深模的间隙	(67)
三、拉深模凹凸模尺寸及制造公差	(69)
附录一 冲压名词“压延”、“拉延”、“拉深”、“拉伸”、“引伸”浅议——兼介冷作硬化系数和各向异性系数	(71)
附录二 矩形拉深件展开尺寸探讨——评 B·JI·罗曼诺夫斯基《冷压手册》的一个公式	(76)

第一章 拉深件毛坯形状及尺寸

拉深是把平毛坯变成空心零件或进一步改变空心零件形状和尺寸的一种冲压工艺。由于金属在塑性变形过程中体积保持不变,所以可按毛坯与成品零件体积相等的关系来确定拉深件毛坯展开尺寸。

对于壁厚没有变薄的拉深件,材料厚度的变化一般可略而不计。这时可按毛坯与成品零件(计入切边余量)面积相等的关系来确定毛坯展开尺寸。

对于变薄拉深件,可按毛坯与成品零件(计入切边余量)体积相等的关系来确定毛坯展开尺寸。

在确定毛坯展开尺寸时应根据拉深件的不同形状而分别采用不同的计算方法。常见的拉深件形状有以下几种:

- (1)形状简单的圆筒形拉深件(旋转体);
- (2)形状复杂的圆形拉深件(旋转体);
- (3)矩形和方形盒拉深件;
- (4)形状复杂而不对称的拉深件;
- (5)材料变薄的拉深件。

下面将分别叙述确定各种拉深件毛坯形状和尺寸的方法。

一、形状简单的圆筒形拉深件(旋转体)的毛坯尺寸

在壁厚没有变薄的拉深中,毛坯尺寸可以根据毛坯与成品零件(加上切边余量)面积相等的关系来确定。

圆筒形拉深件的毛坯是圆形的,其直径可用下式求得:

$$D = 1.13\sqrt{F} = 1.13\sqrt{\sum f}$$

式中: F ——成品零件的面积 mm^2

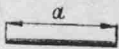
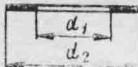
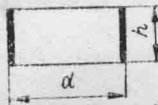
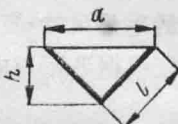
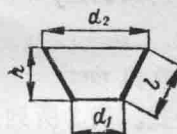
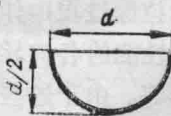
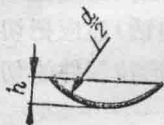
$\sum f$ ——成品零件各个单元体面积的总和 mm^2

表1所列是求解简单几何形状面积的公式。表2所列是求解形状常见的拉深件毛坯直径的公式。

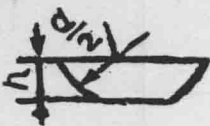
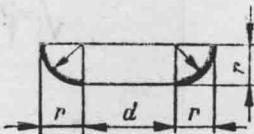
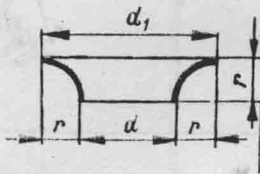
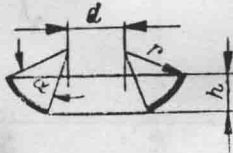
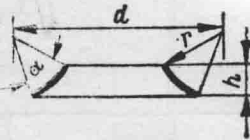
表2所列的几何公式都没有考虑在实际拉深过程中伴随出现的一系列因素所造成的误差。例如,材料厚度的不均匀性,材料机械性能的各向异性,模具间隙、压料圈压紧程度、润滑油层的不均匀性,毛坯的定位误差,等等。由于这些误差,特别是材料机械性能各向异性的影响,造成拉深件边缘高低不齐或歪斜。所以多数零件在拉深后还得对边缘或凸缘进行切边。为此,在计算毛坯尺寸时必须加上适当的切边余量。但是这个问题在表2的公式中没有予以考虑,故设计计算时(如果需切边的话)还应把切边余量加到成品零件的高度或凸缘直径的公称尺寸上。表3所列是无凸缘圆筒形拉深件的切边余量。表4所列是带凸缘圆筒形拉深件的切边余量。

为防止产生边缘不齐的现象,建议采用修正毛坯几何形状或采用补偿各向异性的拉深工艺方法。后者较好,因其不要求预先对材料的各向异性程度进行试验。

表1 简单几何形状的面积

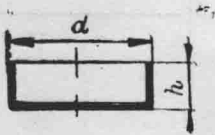
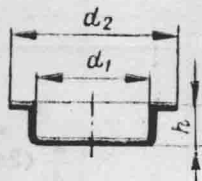
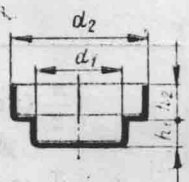
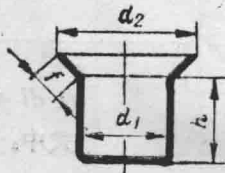
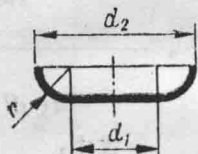
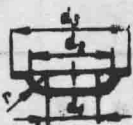
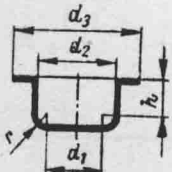
序 号	表 面 形 状	简 图	面 积 F_0
1	圆 形		$\frac{\pi d^2}{4}$
2	圆 环 形		$\frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$
3	圆 筒 形		$\pi d h$
4	圆 锥 形		$\frac{\pi d l}{2}$
5	圆 锥 台		$\frac{\pi l}{2} (d_2 + d_1)$
6	半 球 形		$\frac{\pi d^2}{2}$
7	球 缺		$\pi d h$

续

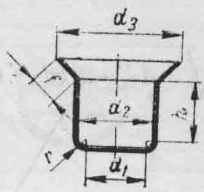
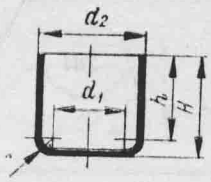
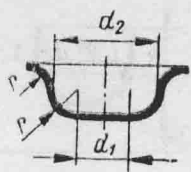
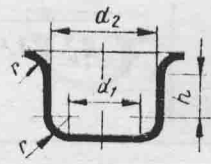
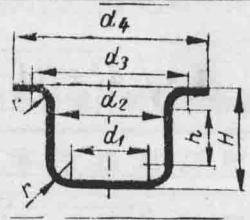
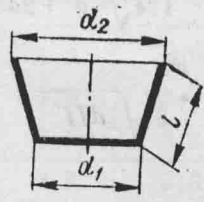
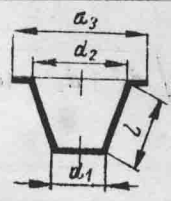
序 号	表 面 形 状	简 图	面 积 F_0
8	球 台		πdh
9	四 分 之 一 凸 圆 弧 环		$\frac{\pi}{4} (2\pi dr + 8r^2)$
10	四 分 之 一 凹 圆 弧 环		$\frac{\pi}{2} (\pi dr + 2.28r^2)$ 或 $\frac{\pi}{4} (2\pi d_1 r - 8r^2)$
11	凸 圆 弧 环		$\pi (dl + 2rh)$ 式中: $l = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0.017 r \alpha$
12	凹 圆 弧 环		$\pi (dl - 2rh)$ 式中: $l = \frac{\pi r \alpha}{180} = 0.017 r \alpha$

注：本表简图及公式中的各项尺寸均以材料厚度的中线计算

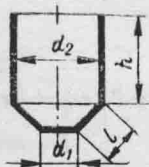
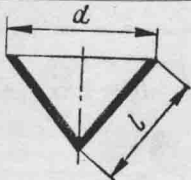
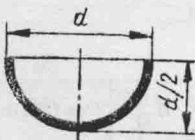
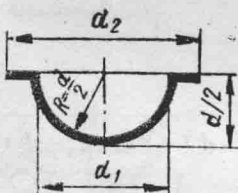
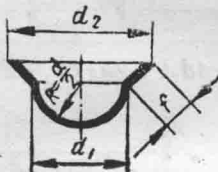
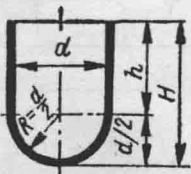
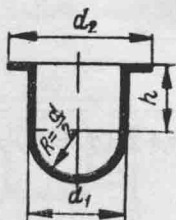
表2 确定毛坯直径的公式

序号	零件形状	毛料直径 D_0
1		$\sqrt{d^2 + 4dh}$
2		$\sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$
3		$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$
4		$\sqrt{d_1^2 + 4d_1h + 2f(d_1 + d_2)}$
5		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi rd_1 + 8r^2}$
6		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi rd_1 + 8r^2 + d_3^2 - d_2^2}$
7		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi rd_1 + 8r^2 + 4d_2h + d_3^2 - d_2^2}$

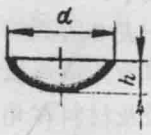
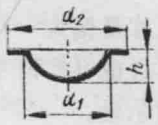
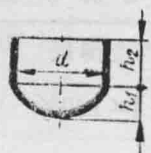
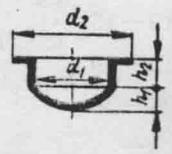
续

序 号	零 件 形 状	毛 料 直 径 D_0
8		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + 4d_2 h + 2f(d_2 + d_3)}$
9		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r d_1 + 8r^2 + 4d_2 h}$ 或 $*\sqrt{d_2^2 + 4d_2 H - 1.72r d_2 - 0.56r^2}$
10		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r (d_1 + d_2) + 4\pi r^2}$
11		$\sqrt{d_1^2 + 2\pi r (d_1 + d_2) + 4d_2 h + 4\pi r^2}$
12		$\sqrt{d_1^2 + 4d_2 h + 2\pi r (d_1 + d_2) + 4\pi r^2 + d_4^2 - d_3^2}$ 或 $*\sqrt{d_4^2 + 4d_2 H - 3.44r d_2}$
13		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2)}$
14		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$

续

序 号	零 件 形 状	毛 料 直 径 D_0
15		$\sqrt{d_1^2 + 2l(d_1 + d_2) + 4d_2h}$
16		$\sqrt{2dl}$
17		$\sqrt{2} d = 1.4d$
18		$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
19		$1.4\sqrt{d_1^2 + f(d_1 + d_2)}$
20		$1.4\sqrt{d^2 + 2dh}$ 或 $* 2\sqrt{dH}$
21		$\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1h}$

续

序 号	零 件 形 状	毛 料 直 径 D_0
22		$\sqrt{d^2 + 4h^2}$
23		$\sqrt{d_2^2 + 4h^2}$
24		$\sqrt{d^2 + 4(h_1^2 + dh_2)}$
25		$\sqrt{d_2^2 + 4(h_1^2 + d_1h_2)}$

注：带 * 号的公式适用于已知零件总高度 H 的场合。

表3 无凸缘圆筒形拉深件的切边余量 mm

零件总高度	零 件 相 对 高 度 $\frac{h}{d}$			
	0.5—0.8	0.8—1.6	1.6—2.5	2.5—4.0
10	1.0	1.2	1.5	2.0
20	1.2	1.6	2.0	2.5
50	2.0	2.5	3.3	4.0
100	3.0	3.8	5.0	6.0
150	4.0	5.0	6.5	8.0
200	5.0	6.3	8.0	10.0
250	6.0	7.5	9.0	11.0
300	7.0	8.5	10.0	12.0

表2所列的几何公式没有指出拉深工艺方法，特别是拉深过程中产生的变薄现象对毛坯尺寸的影响。我们知道，在拉深过程中无论在最初阶段还是在最终阶段，由于材料的变薄都会使表面积有所增加。设按表2公式计算而得的毛坯直径为 D_0 ，毛坯的表面积为 $F_0 = \frac{\pi}{4} D_0^2$ ，毛坯拉深成形后所得工件的表面积为 F ，那么面积增加系数 $\beta = \frac{F}{F_0}$ 。

表5是10号钢拉深时毛坯面积增加系数的经验数据。

由上所述，若要较为精确地计算毛

表4 带凸缘圆筒形拉深件的切边余量 mm

凸缘直径 d_0	凸缘相对直径 $\frac{d_0}{d}$			
	1.5以下	1.5—2.0	2.0—2.5	2.5—2.8
25	1.6	1.4	1.2	1.0
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	6.0	5.0	4.0	3.0

坯尺寸时,应考虑上述面积增大的因素。具体可按下式计算毛坯直径尺寸:

$$D = \frac{D_0}{\sqrt{\beta}}$$

式中: D ——实际选用的毛坯尺寸。

表2所列的几何公式为简化起见,对多数几何形状的零件都没有考虑圆角半径及材料在角部的延伸(如表中项1—4, 13—16的公式),这样求得的毛坯尺寸要偏大一些,所以使用这些公式计算时也可酌情考虑不加或取用较小的切边余量。

表5 拉深时毛坯面积的增加系数

拉 深 方 法	最大变薄量 $\left(\frac{\Delta S}{S}\right) \times 100\%$	面积增加系数 β	
		$m = 0.6$	$m = 0.48$
无压料板拉深圆筒形零件 $\left(\frac{S}{D} \times 100 > 2\right)$	0	0.98 (小于1)	1.00
有压料板拉深圆筒形零件 $\left(\frac{S}{D} \times 100 < 2\right)$	10—15	1.01	1.03
带宽凸缘圆筒形零件的拉深	15—20	1.02	1.05
带凸缘半球形零件的拉深	25—30	1.04	1.08
多工序拉深形状复杂的零件	—	1.03	1.06

- 注: 1. 所列数据适用于用普通润滑油拉深的情况。
2. 当采用较小的 r_M 值时, 系数 β 可稍为增大一些。
3. 对于铝及退火钢, 系数 β 要增大些。

表2(表1)所列公式中各尺寸均按厚度的中线计算, 即:

$$d_0 = d_{\text{外}} - S$$

式中 d_0 ——拉深件计算直径

$d_{\text{外}}$ ——拉深件外径尺寸

S ——材料厚度

二、形状复杂的圆形拉深件(旋转体)的毛坯尺寸

形状复杂的圆形拉深件的毛坯也是圆形的, 其直径可按旋转体表面积求得。

旋转体表面积可根据久里金——帕普施法则确定。该法则指出: 由任何形状的母线绕轴旋转所得到的旋转体面积等于母线长度与其重心的旋转轨迹长度(即母线重心的圆周长度)的乘积, 即:

$$F = 2\pi R_s L$$

式中 F ——旋转体表面积 mm^2

L ——母线长度, $L = l_1 + l_2 + \dots + l_n$ mm

R_s ——由母线重心到轴的距离 mm

对于形状复杂的旋转体表面积可以看作是由其分解而成的许多形状简单的旋转体表面积的
和, 即:

$$F = \sum f$$

$$= 2\pi \sum lr$$

式中 l ——由母线分解而成的各单元要素的长度

r ——由各单元要素的重心到轴的距离

毛坯的直径可用下式计算:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} F} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum f} = \sqrt{8 \sum lr}$$

具体说来, 求解形状复杂的圆形拉深件毛坯尺寸的方法有两种: 图解法和绘图解析法。用第一种方法得到的结果是近似的, 用第二种方法可得到较为准确的结果。

(一) 图解法(图1)

1. 将母线分解为各个单元要素(直线或圆弧), 并在图上找出各要素重心位置。通过各重心分别作出与轴平行的直线。

2. 过任一点 A 作出与轴平行的直线。过 A 点在该直线上按各单元要素的长度顺序连续截取线段。由各线段的端点与任一点 O 作连线(图1右部)。

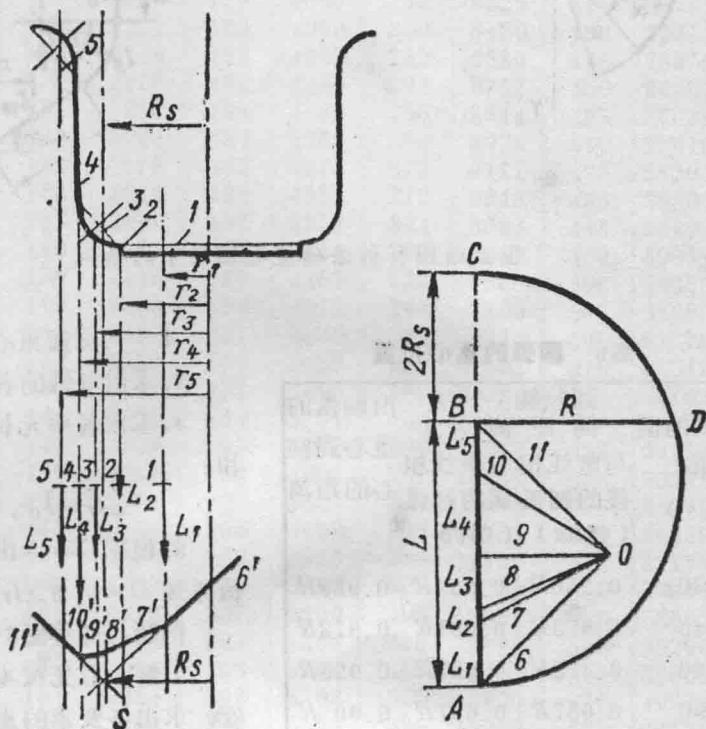


图1. 图解法确定毛坯尺寸

3. 如图1左下部所示,

依次作出与上述连线平行的线(如: $6' \parallel 6$, $7' \parallel 7$, $8' \parallel 8$ 等)。最外面的两条素线 $6'$ 和 $11'$ 的交点 S 即为母线的重心。 S 到轴线的距离即为 R_s 。

4. 由毛坯直径计算公式 $D = \sqrt{8LR_s}$, 可得到 $R^2 = 2R_sL$ 的关系。由此, 可用作图法(图1右部)求出毛坯半径 R 。具体作法如下: 取 $AB = \sum l = L$, 延长 AB 到 C 点, 使 $BC = 2R_s$, 以 AC 为直径作半圆。过 B 点作 AC 的垂线, 它与圆弧交于 D 点。 BD 即为毛坯半径 R 。

(二) 绘图解析法(图2):

1. 将零件的轮廓线(厚度的中线)分解为各个单元要素, 主要是直线和圆弧部分。对曲线部分则应进一步近似地分解为若干直线部分。

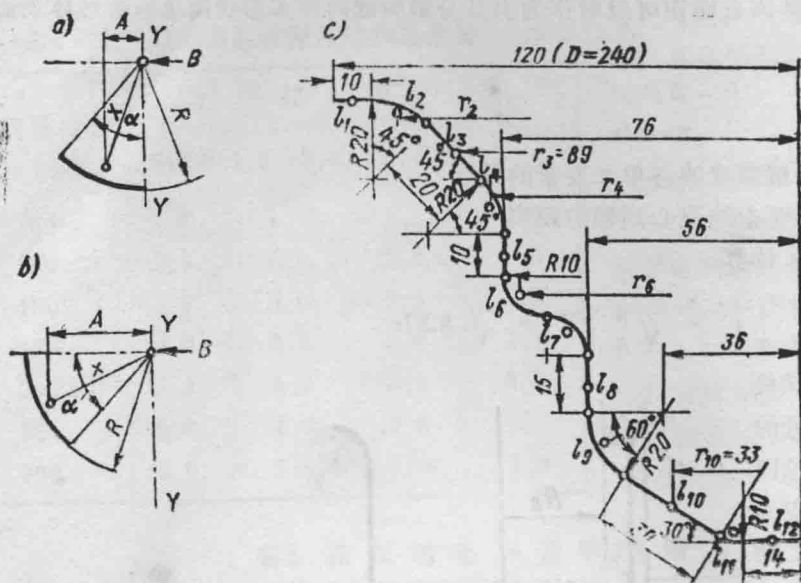


图2 绘图解析法确定毛坯尺寸的示例

表6 圆弧的重心位置

圆弧的圆心角 α (°)	到竖轴 $y-y$ 的距离 A		由圆弧的重心到圆心的距离 x
	与竖线相接的圆弧 (图2a)	与横线相接的圆弧 (图2b)	
30	$0.256R$	$0.955R$	$0.988R$
45	$0.373R$	$0.901R$	$0.978R$
60	$0.478R$	$0.827R$	$0.955R$
90	$0.637R$	$0.637R$	$0.90R$

乘积 $l_i r_i$, 数值列于表8中。求得总和 $\sum l r = 11710$ 。最后查表7求得毛坯直径 $D = 306 \text{ mm}$ 。

以上所述两种计算毛坯直径的方法都没有考虑材料的变薄现象。多数情况下, 在拉深后还需切边, 而材料变薄无非是增大些切边量, 所以并不影响拉深件的尺寸。但是, 对于不切边的拉深件则应考虑材料变薄的影响, 按下列公式较为精确地计算毛坯尺寸:

$$D = 1.13 \sqrt{F \alpha}$$

$$= \sqrt{8 \sum l r \alpha}$$

式中 α ——拉深过程中的材料变薄系数, 一般取为(0.9—1.0)

2. 标出各单元要素的重心。对直线而言, 重心位置即为中点, 而圆弧的重心位置则可由表6查得。

各圆弧重心的半径 r (即圆弧重心到零件轴线的距离) 可按下面的方法计算:

对于凸出的圆角:

$$r = B + A$$

对于凹进的圆角:

$$r = B - A$$

式中 B ——过圆弧圆心的竖轴到零件轴线的距离

A ——圆弧重心到过圆心的竖轴的距离

3. 求出母线的各单元要素长度 l 。

4. 求出各单元长度 l 与其重心半径 r 乘积之和:

$$\sum l r = l_1 r_1 + l_2 r_2 + \dots + l_n r_n$$

5. 根据 $\sum l r$, 由表7查得毛坯直径。该表的数值系按 $D = \sqrt{8 \sum l r}$ 得出的。

例题: 计算图2C所示零件的毛坯直径。

解: 首先按零件轮廓算得各单元要素的长度。求出各要素的重心位置, 并求出重心到零件旋转轴的距离。然后计算各要素长度与其重心半径的

表7 根据 Σlr 值确定毛坯直径

D, MM	Σlr	D, MM	Σlr	D, MM	Σlr	D, MM	Σlr	D, MM	Σlr	D, MM	Σlr
20	50	70	612.5	120	1800	170	3612	240	7200	400	20000
21	55	71	630.5	121	1830	171	3655	242	7320	405	20503
22	60.5	72	645.5	122	1860	172	3698	244	7442	410	21012
23	66	73	666	123	1891	173	3741	246	7564	415	21528
24	72	74	684.5	124	1922	174	3784	248	7688	420	22050
25	78	75	703	125	1953	175	3828	250	7812	425	22578
26	84.5	76	722	126	1984	176	3872	252	7938	430	23112
27	91	77	741	127	2016	177	3916	254	8064	435	23653
28	98	78	760.5	128	2048	178	3960	256	8192	440	24200
29	105	79	780	129	2080	179	4005	258	8320	445	24753
30	112.5	80	800	130	2112	180	4050	260	8450	450	25312
31	120	81	820	131	2145	181	4095	262	8580	455	25878
32	128	82	840.5	132	2178	182	4140	264	8712	460	26450
33	136	83	861	133	2211	183	4186	266	8844	465	27028
34	144.5	84	882	134	2244	184	4232	268	8978	470	27612
35	154	85	903	135	2278	185	4278	270	9112	475	28203
36	162	86	924.5	136	2312	186	4324	272	9248	480	28800
37	171	87	946	137	2346	187	4371	274	9384	485	29403
38	180.5	88	968	138	2380	188	4418	276	9522	490	30012
39	190	89	990	139	2415	189	4465	278	9660	495	30628
40	200	90	1012.5	140	2450	190	4512	280	9800	500	31250
41	210	91	1035	141	2485	191	4560	282	9940	505	31878
42	220.5	92	1058	142	2520	192	4608	284	10082	510	32512
43	231	93	1081	143	2556	193	4656	286	10224	515	33153
44	242	94	1104.5	144	2592	194	4704	288	10368	520	33800
45	263	95	1128	145	2628	195	4758	290	10512	525	34453
46	264.5	96	1152	146	2664	196	4802	292	10658	530	35112
47	276	97	1176	147	2701	197	4851	294	10804	535	35778
48	285.5	98	1200	148	2738	198	4900	296	10952	540	36450
49	300	99	1225	149	2775	199	4950	298	11100	545	37128
50	312.5	100	1250	150	2812	200	5000	300	11250	550	37812
51	325	101	1275	151	2850	202	5100	305	11628	555	38503
52	338	102	1300	152	2888	204	5202	310	12012	560	39200
53	351	103	1326	153	2926	206	5304	315	12409	565	39903
54	364.5	104	1352	154	2964	208	5408	320	12800	570	40612
55	378	105	1378	155	3003	210	5512	325	13203	575	41328
56	392	106	1404	156	3042	212	5618	330	13612	580	42050
57	406	107	1430	157	3081	214	5724	335	14028	585	42778
58	420.5	108	1458	158	3120	216	5832	340	14450	590	43512
59	435	109	1485	159	3161	218	5940	345	14878	595	44253
60	450	110	1512	160	3200	220	6050	350	15312	600	45000
61	465	111	1540	161	3240	222	6166	355	15753	610	45512
62	480.5	112	1568	162	3280	224	6272	360	16200	620	48050
63	496	113	1596	163	3321	226	6384	365	16653	630	49612
64	512	114	1624	164	3362	228	6485	370	17112	640	51200
65	528	115	1653	165	3403	230	6612	375	17578	650	52812
66	544.5	116	1682	166	3444	232	6715	380	18050	660	54450
67	651	117	1711	167	3486	234	6844	385	18528	670	56112
68	578	118	1740	168	3528	236	6962	390	19012	680	57800
69	595	119	1770	169	3570	238	7080	395	19503	690	59512

三、无凸缘矩形和方形盒拉深件的毛坯形状及尺寸

无凸缘矩形和方形盒零件的拉深变形，沿其周边的分布是不均匀的：圆角部分变形大，直边部分变形小，而以直边中间部分的变形最小。因此，这类拉深乃是一种复杂的冲压过程。

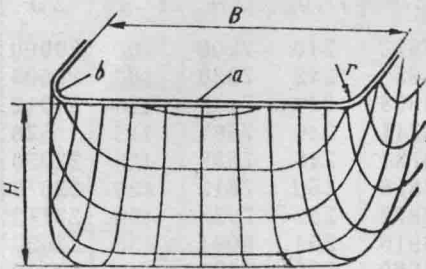


图3矩形盒零件的座标网格在拉深后的变形

图3所示，是划在毛坯上的座标网格在拉深后的变形情况。由图可见，零件的侧壁并不是简单的弯曲，而是更为复杂的变形。它包括沿周边的压缩和沿高度方向的拉长。此外，零件上端壁厚略微增大。因而通常所述的圆角部分的变形相当于圆筒形零件的拉深而直边部分的变形相当于简单弯曲的说法，实是一种简化的并不很精确的概念。

表9给出了在图3所示矩形盒零件直壁边缘的中点a和圆角边缘的b点沿周边的近似压缩应变以

及同样相对高度的圆筒形零件拉深时的应变值。所给的应变值与 $\frac{r}{B}$ 比值有关，故有一定的范围。表9提供的数据除了进一步说明上述变形特点外，还指出了矩形盒零件的拉深变形与其相对高度 $\frac{H}{B}$ 和相对圆角半径 $\frac{r}{B}$ 有关。由表9还可看出，低矩形盒零件($H = 0.3B$)直壁部分的应变较小，故可不予考虑而近似地看作为简单弯曲。但高矩形盒零件($H \geq 0.5B$)的应变较大，这就不容忽视。所以，在确定毛坯和工艺计算时应严格区分可用一道工序拉深成形的低矩形盒和需用多道工序拉深成形的高矩形盒零件，根据不同的情况相应采用不同的方法。

对于无凸缘矩形和方形盒零件的拉深，可以根据金属向侧壁转移的程度，按拉深件的不同参数组合而区分为不同的情况。图4是无凸缘矩形和方形盒零件拉深情况分析图。图中不同区域的拉深件应采用不同的方法来确定毛坯和进行工艺计算。

表8 计算毛坯直径例题的附表(图2C) m m

段落	<i>l</i>	<i>r</i>	<i>lr</i>	段落	<i>l</i>	<i>r</i>	<i>lr</i>
1	10,0	115,0	1150	7	15,7	59,6	935
2	15,5	102,5	1609	8	15,0	56,0	840
3	20,0	89,0	1780	9	21,0	52,5	1103
4	15,5	78,0	1225	10	30,0	33,0	990
5	10,0	76,0	760	11	5,2	16,6	86
6	15,7	72,4	1137	12	14,0	7,0	98
				$\Sigma lr = 11710$			

注：段落的编号顺序要与各要素的顺序一致。

图4中曲线1和2分别给出了毛坯有大的相对厚度($\frac{S}{D} \times 100 = 2$)和小的相对厚度($\frac{S}{D} \times 100 = 0.6$)时，在一道工序内

表9 近似的压缩应变(%)

矩形盒零件的相对高度	矩形盒零件拉深时的相对应变		圆筒形零件拉深时的应变
	在直边的中点上(图3a)	在圆角的上边上(图3b)	
$H = B$	26—30	45—50	52
$H = 0.5B$	15—20	33—38	42
$H = 0.3B$	5—8	25—30	32

拉深成形的矩形和方形盒零件的最大高度。位于界限线以上的区域(I_a、I_b和I_c)是多道工序拉深的范围；位于界限线以下的区域(II_a、II_b和II_c)是单道工序拉深的范围。

对于中间相对厚度时的拉深情况，也可通过表10直接确定是单道工序成形还是需多道工序成形进而确定拉深区域范围。表10给出了用一道工序拉深成形的矩形和方形盒零件的最大高度H与宽度B、角

表10用一道工序拉深成形的矩形盒零件的相对高度 $\frac{H}{B}$
(08—10号钢)

角部相对 圆角半径 $\frac{r}{B}$	相对厚度 $(\frac{S}{D} \times 100\%)$			
	2.0—1.5	1.5—1.0	1.0—0.5	0.5—0.2
0.30	1.2—1.0	1.1—0.95	1.0—0.9	0.9—0.85
0.20	1.0—0.9	0.9—0.82	0.85—0.7	0.8—0.7
0.15	0.9—0.75	0.8—0.7	0.75—0.65	0.7—0.6
0.10	0.8—0.6	0.7—0.55	0.65—0.5	0.6—0.45
0.05	0.7—0.5	0.6—0.45	0.55—0.4	0.5—0.35
0.02	0.5—0.4	0.45—0.35	0.4—0.3	0.35—0.25

注：1. 矩形盒零件可拉深的高度除了与相对圆角半径 $\frac{r}{B}$ 和毛料相对厚度 $\frac{S}{D}$ 有关外，还与绝对尺寸有关。表中的较大值适用于小尺寸的矩形盒零件($B < 100\text{mm}$)，表中的较小值适用于大尺寸的矩形盒零件($B > 100\text{mm}$)。
2. 对于其它材料，应根据金属塑性的大小选取表中的数据再作出或大或小的修正。例如：对于20—25号钢，可选取0.85—0.9。

部相对圆角半径 $\frac{r}{B}$ 以及毛坯相对厚度 $\frac{S}{D}$ 的关系。

矩形和方形盒拉深件确定毛坯和工艺计算时，拉深件高度尺寸 H 应包括所需的切边余量在内。

$H = H_0 + \Delta H_0 = (1 + \Delta)H_0$
式中 H ——拉深件高度尺寸
 H_0 ——零件的高度尺寸
 Δ ——矩形和方形拉深件的切边余量系数，见表11。

表11矩形和方形盒拉深件的切边余量系数

拉深工序数	切边余量系数 Δ
1	0.03—0.05
2	0.04—0.06
3	0.05—0.08
4	0.06—0.10

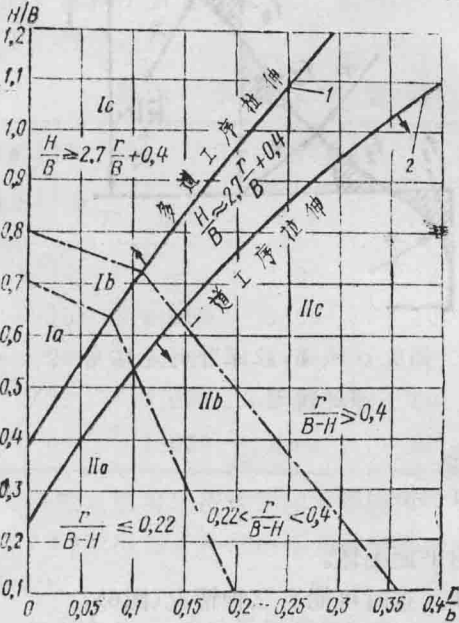


图4 无凸缘矩形和方形盒零件拉深情况分析图

(一)用单道工序拉深成形的矩形和方形盒零件(区域Ⅱ)的毛坯计算

在矩形和方形盒零件拉深情况分析图(图4)的界限线(曲线1或2)以下的区域为单道工序拉深区域。在这一部分，又可根据金属由角部向侧壁转移的程度，进一步划分为Ⅱ_a、Ⅱ_b和Ⅱ_c三个区域。不同区域的拉深件在确定毛坯和工艺计算时应采用不同的方法。

1. 位于区域Ⅱ_a的拉深件，角部具有较小的圆角半径， $\frac{r}{B-H} \leq 0.22$ 。

这类拉深件的特点在于只有少量的金属从角部向侧壁转移，而并没有改变侧壁高度。因此，可以假设仅在零件的角部产生拉深变形，而直壁部分只是弯曲变形。确定毛坯时可用几何方法将矩形和方形盒零件的侧壁和圆角部分分别在底平面上展开，并使毛坯角部轮廓具有