



新
编

锻压精密技术实用手册

◎ 主编 陈路

北京科海电子出版社

新编锻压 精密技术实用手册

主编 陈 路

下
卷

北京科海电子出版社

翻边方法：

外缘翻边可用橡皮模成形，也可在收缩机或模具上成形。用橡皮模成形对翻边没有压紧，故不产生拉深作用，而是使边缘产生有皱纹的弯曲，需要手工修整去掉皱纹。

图 4-5-20 为在橡皮模内的各种翻边方法，图 4-5-21 是用模具进行的内外缘翻边。为获得精确的零件，在制作翻边模时，还应考虑零件弹复的大小。

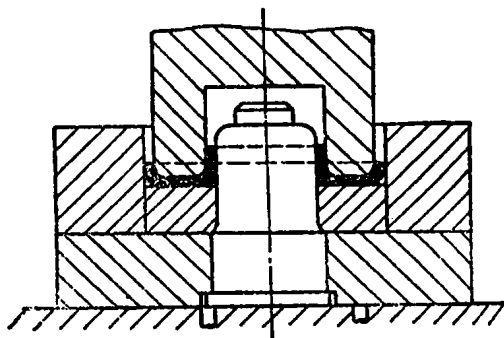


图 4-5-21 内外缘同时翻边的方法

第三节 缩 口

缩口工艺，是一种将已拉深好的无凸缘空心件或管坯开口端直径缩小的冲压方法。如图 4-5-22。

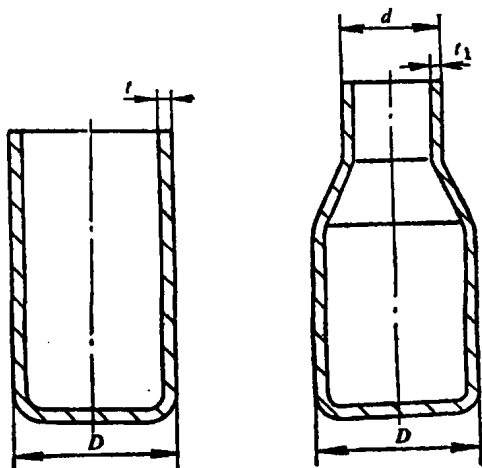


图 4-5-22 空心件的缩口

缩口前、后工件端部直径变化不宜过大, 否则, 端部材料会因受压缩变形剧烈而起皱 (有条件时可在毛坯内插入心棒)。因此, 由较大直径缩成很小直径的颈口, 往往需多次缩口。

一、缩口变形程度的计算

(1) 总的缩口系数。

$$K_{\text{缩}} = \frac{d_n}{D}$$

式中 d_n ——工件开口端要求缩小的最后直径, $[d_n]$ 为 mm;

D ——空心毛坯的直径, $[D]$ 为 mm。

(2) 每一工序的平均缩口系数。

$$K_j = \frac{d_1}{D} = \frac{d_2}{d_1} = \cdots = \frac{d_n}{d_{n-1}}$$

式中 d_1 、 d_2 …… d_n 分别为第 1 次, 第 2 次, 第 n 次缩口外径。

(3) 缩口次数。

$$n = \frac{1gK_{\text{缩}}}{1gK_j}$$

缩口系数与模具的结构形式关系极大, 还与材料的厚度和种类有关。材料厚度愈小, 则系数要相应增大。例如, 无心柱式的模具, 材料为黄铜板, 其厚度在 0.5mm 以下者 K_j 取 0.85, 厚度在 0.5 ~ 1mm 时 K_j 取 0.8 ~ 0.7。0.5mm 以下的软钢的平均缩口系数按 0.8 计算。

表 5-10 给出了不同材料和不同模具形式的平均缩口系数。

一般第一道工序的缩口系数采用

$$K_1 = 0.9K_j$$

表 4-5-10

平均缩口系数 K_j

材料名称	模 具 形 式		
	无支承	外部支承	内外支承
软钢	0.70 ~ 0.75	0.65 ~ 0.60	0.30 ~ 0.35
黄铜 H62、H68	0.65 ~ 0.70	0.50 ~ 0.55	0.27 ~ 0.32
铝	0.68 ~ 0.72	0.53 ~ 0.57	0.27 ~ 0.32
硬铝 (退火)	0.73 ~ 0.80	0.60 ~ 0.63	0.35 ~ 0.40
硬铝 (淬火)	0.75 ~ 0.80	0.68 ~ 0.72	0.40 ~ 0.43

以后各次工序

$$K_n = (1.05 \sim 1.1) K_j$$

图 4-5-23a 为外交承结构, b 为有内外支承结构缩口模示意图。图 4-5-24 为无心柱缩口模示意图。

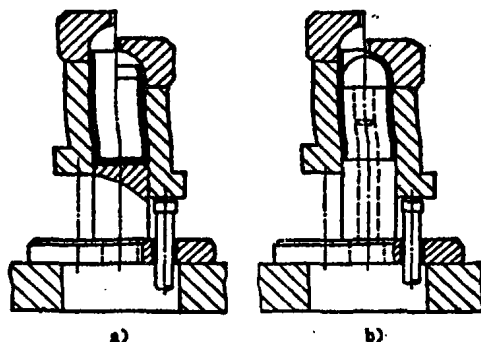


图 4-5-23 有支承的缩口模

a) 外部支承 b) 内外交承

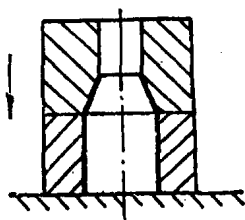


图 4-5-24 无心柱缩口模示意图

二、缩口后材料厚度的变化

缩口时颈口略有增厚, 通常不予考虑。在精确计算时, 颈口厚度按下式计算:

$$t_1 = t_0 \sqrt{\frac{D}{d_1}}$$

$$t_n = t_{n-1} \sqrt{\frac{d_{n-1}}{d_n}}$$

缩口时, 一般要发生比缩口模尺寸大 0.5~0.8% 的弹复。

三、缩口的毛坯计算

根据变形前后体积不变的原则来计算毛坯尺寸。如图 4-5-25 ~ 27。

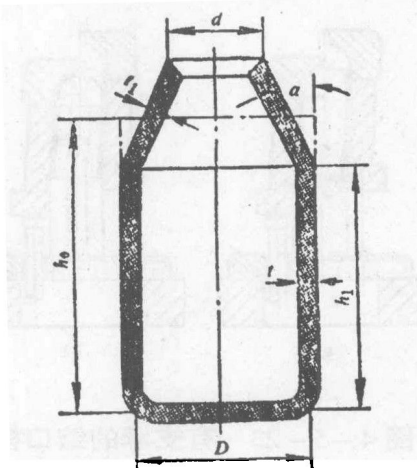


图 4-5-25 缩口型式 (之一)

$$h_0 = 1.05 \left[h_1 + \frac{D^2 - d^2}{8D \sin \alpha} \left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right) \right]$$

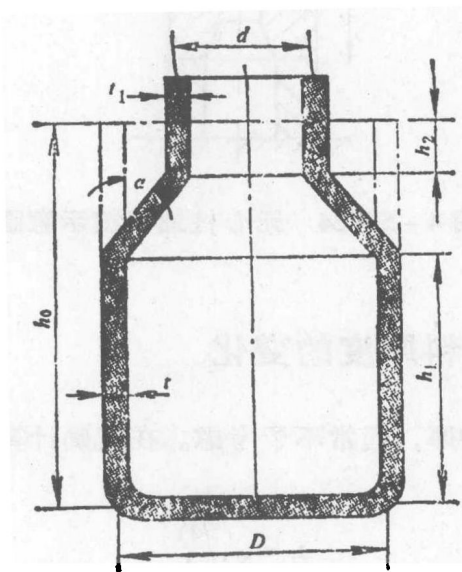


图 4-5-26 缩口型式 (之二)

$$h_0 = 1.05 \left[h_1 + h \sqrt{\frac{d}{D}} + \frac{D^2 - d^2}{8D \sin \alpha} \left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right) \right]$$

h —毛坯压缩部分高度 $h = h_0 - h_1$

四、缩口力的计算

如图 4-5-24 所示其缩口力可按式计算：

$$F = K \left[1.1\pi D_t \sigma_s \left(1 - \frac{d}{D} \right) (1 + \mu \tan \alpha) / \cos \alpha \right]$$

式中 F ——缩口力， $[F]$ 为 N；

t ——毛坯厚度（按厚度不变计）， $[t]$ 为 mm；

D ——毛坯直径（按中心层）， $[D]$ 为 mm；

d ——缩口部分直径（按中心层）， $[d]$ 为 mm；

μ ——凹模与毛坯接触面的摩擦系数；

σ_s ——假定的材料屈服强度， $[\sigma_s]$ 为 MPa ($\sigma_s \approx \sigma_b$)；

α ——凹模的圆锥角度；

K ——速度系数，在曲柄压力机上工作时 $K = 1.15$ 。

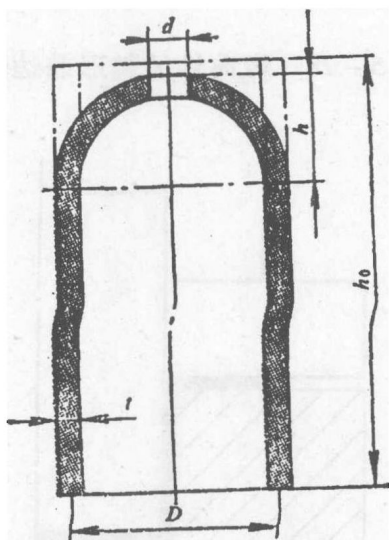


图 4-5-27 缩口型式 (之三)

$$h_0 = h_1 + \frac{1}{4} \left(1 + \sqrt{\frac{D}{d}} \right) \sqrt{D^2 - d^2}$$

h_1 ——圆柱部分高度

第四节 整形 (校平)

冷冲压中的整形工作有两种作用；

一是将毛坯或零件不平的面或曲度加以压平变直。

一是将经过弯曲或拉深的零件校正成要求的形状和尺寸。校平工作常在冲裁后进行，因为漏模冲裁工件都不够平直，如果工件要求平面度直线度较高，则需校平。由于目前对整形工艺中各种规律的研究和认识还很不够，所以要得到平面度或尺寸精度很高的冲压件仍是非常困难的。

这里所讲的仅为冲压件的整形、校平工作，不包括板材、管、型材等在专用设备上的整形与校平。

(1) 弯曲工件由于弹复，以及由于拉深或翻边凹模圆角半径的限制而使工件不能达到较小的圆角半径，往往用整形模使其达到较准确的尺寸和形状。如图 4-5-28，4-5-29 所示。

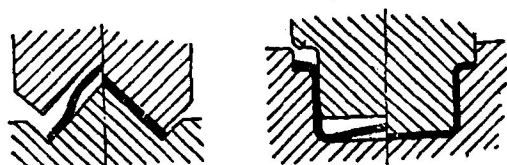


图 4-5-28 弯曲件的整形兼边部精压

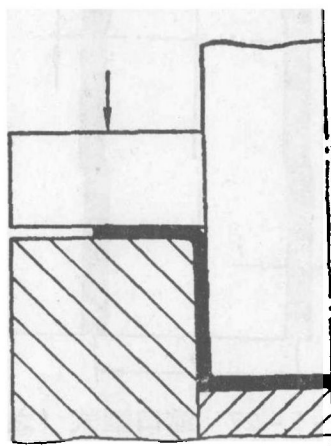


图 4-5-29 拉深件的整形兼角部精压

(2) 对平板零件的校平工作有二种校平模，一是平面校平模，一是尖齿校平模。对于材料较薄且表面不允许有细痕的零件，都采用平面模。由于平面模的单位压力较小，校平后工件仍有相当大的弹复，效果不好。主要用于平直度要求不高，由软金属制成的小型零件。为消除压力机台面与托板平直度不高的影响，通常采用浮动凸模或浮动凹模，其单位压力为 80~100MPa。

(3) 对于材料较厚、平直度要求较高且表面上容许有细痕的工件，一般采用细齿模（图 4-5-30a）。齿形用正方形或菱形。用细齿模校平时，零件表面留有较深的压痕且模齿易于磨钝。所以生产上多采用粗齿校平模，即把齿顶做成具有一定的宽度。它主要用于材料厚度较小和由铝、青铜、黄铜制成的工件（图 4-5-30b）。

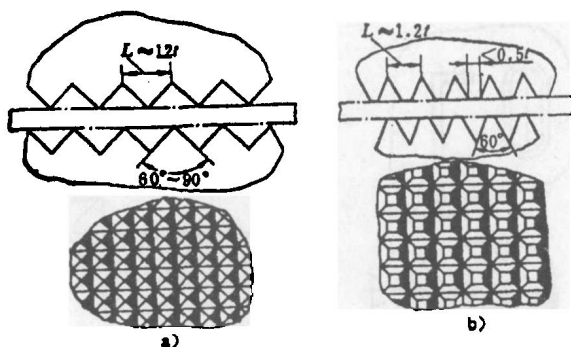


图 4-5-30 校平模齿形

a) 细齿; b) 粗齿

(4) 用模子校平的压力由下式计算：

$$F = Ap$$

式中 F ——校平力， $[F]$ 为 N；

A ——工件的校平面积， $[A]$ 为 mm^2 ；

p ——单位压力， $[p]$ 为 MPa。

对于软钢和黄铜

在平面模上校平 $p = 80 \sim 100 \text{ MPa}$ ；

在细齿模上校平 $p = 100 \sim 200 \text{ MPa}$ ；

在粗齿模上校平 $p = 200 \sim 300 \text{ MPa}$ 。

在大批生产中，厚板零件的校平可成叠的在液压机上进行。压力不随每叠零件的数量而变化并长期保持液压机压力。对于不大的平板零件也可采用滚轮校平。

第五节 压印与精压

一、压印

压印是使材料厚度发生变化，并使材料充塞模腔，在零件表面上形成起

伏花纹或字样的工序，属体积变形。

压印应用最广和最典型的例子是用金属板来制造硬币、纪念章及在钟表业和餐具等的艺术压印。在大多数情况下，压印是在封闭模内进行，以免金属被挤到型腔外面。对于较大工件的压印或形状特殊事后需切边的工件，则采用敞开的表面压印。图 4-5-31 为压印模简图。

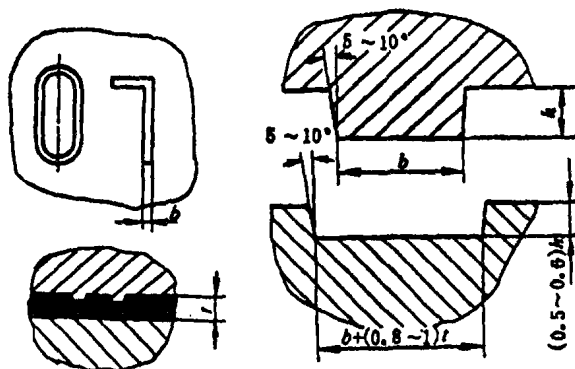


图 4-5-31 压印模简图

压印时要注意凸起宽度不要窄而高，要避免尖角等。结构的工艺性见图 4-5-32。

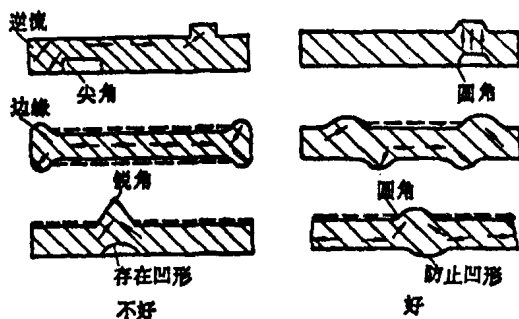


图 4-5-32 压印件的工艺性

在压印过程中虽然金属的位移不大，但为了得到清晰的花纹则需要相当大的单位压力。

压印力根据以下的经验公式计算：

$$F = pA$$

式中 F ——压印力， $[F]$ 为 N；

A ——零件校平面的投影面积， $[A]$ 为 mm^2 ；

p ——单位压力, $[p]$ 为 MPa, 其试验值见表 4-5-11。

表 4-5-11 压印时单位压力的试验值

工 作 性 质	单位压力/MPa
在黄铜板上敲开压凸纹	200 ~ 500
在 $t < 1.8\text{mm}$ 的铜板上压凸凹图案	800 ~ 900
用淬得很硬的凸模在凹模上压制轮廓	1000 ~ 1100
银币或镍币的压印	1500 ~ 1800
在 $t < 0.4\text{mm}$ 的薄黄铜板上压印单面花纹	2500 ~ 3000
不锈钢上压印花纹	2500 ~ 3000

注: 对未经整形的毛坯, 压床必须有储备功率 $\approx 50\%$, 所需压力的数值随材料厚度的减小和变形速度的提高而急剧增加, 只有当材料的流动性很大时所需压力才会减小。

为使工件有良好的表面, 事先应将毛坯作退火、酸洗、喷砂等处理。

二、精压

精压工作是将初步成形的毛坯, 在精压模的模板间压制成尺寸准确、表面光滑的工件, 有时也用来精压热模锻锻件来代替机械加工。精压可使工件达到 0.05mm 以下的尺寸精度和非常低的表面粗糙度。

精压的方法有二种:

- (1) 平面精压, 只对工件厚度方向的个别平面和尺寸进行精压;
- (2) 体积精压, 对工件所有的表面及尺寸都进行精压, 将多余的金属挤出形成飞边, 然后用整修或修边的方法将其去掉。

图 4-5-33 为用平面精压法制成的工件的例子, 图 4-5-34 为平面及立体精压简图。

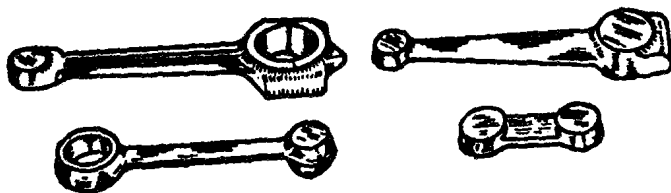


图 4-5-33 用平面精压法所得的工件

在平面精压中的镦粗程度, 一般为原毛坯厚度的 $5 \sim 10\%$, 精压的精度

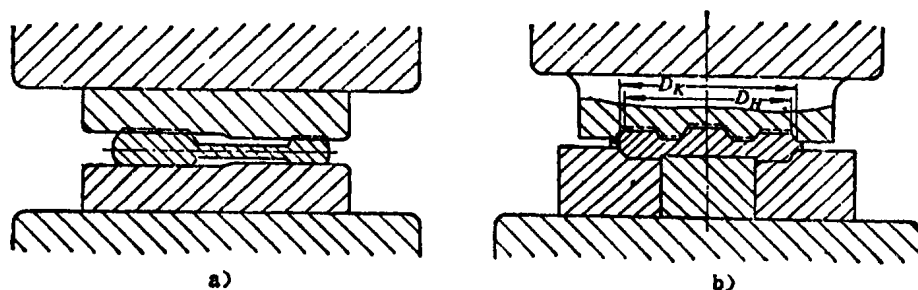


图 4-5-34 平面及立体精压简图

a) 平面精压 b) 立体精压

及质量，视压机的能力及状态、模具制造的质量及精度、安装及调整精度、精压余量的数值及变动大小而定。

表 4-5-12 所列为在精压中高度上的尺寸公差。

表 4-5-12 在精压中高度上尺寸的极限偏差

精压面的水平投影面积/mm ²	偏差/mm	
	一般精压精度	高级精压精度
3 以下	± 0.10	± 0.05
3 ~ 10	± 0.15	± 0.08
10 ~ 20	± 0.20	± 0.10
20 ~ 40	± 0.25	± 0.15

表 4-5-13 为平面精压中水平尺寸的公差。

表 4-5-13 平面精压时水平尺寸的极限偏差

工件直径或宽度 mm	工件厚度与 直径或宽度之比	偏 差 /mm	
		一般精度	高级精度
20 ~ 40	< 0.25	+1.5 ~ -0.5	+1.0 ~ -0.3
	0.25 ~ 0.5	+1.2 ~ -0.5	+0.8 ~ -0.3
	> 0.6	+0.8 ~ -0.5	+0.5 ~ -0.3
40 ~ 75	< 0.25	+2.0 ~ -0.5	+1.2 ~ -0.3
	0.25 ~ 0.5	+1.5 ~ -0.5	+1.0 ~ -0.3
	> 0.5	+1.0 ~ -0.5	+0.8 ~ -0.3

在平面精压中,金属在垂直于压缩方向上的流动不受限制,因此精压层愈厚,工件沿此方向尺寸的变化也愈大,所以毛坯的相应尺寸应稍减小。由于精压面中部的变形抗力比边缘要大,故在精压后中部厚度比边缘稍大些,因此,要得到十分平整的精压面,应根据弹性变形量将精压模制成相应的凸面,或使用有凹面的毛坯,或二种方法兼用。

表 4-5-14, 4-5-15 所列是需要经过精压的工件尺寸的加工余量及公差的合理数值。

毛坯在精压前应退火和酸洗除锈,并在滚筒中滚光或在喷砂机中打干净。

表 4-5-14 待精压件(齿轮、圆板、衬套等)尺寸的
加工余量及偏差

(单位为 mm)

零件直径	厚度 < 18			厚度 18 ~ 50			厚度 50 ~ 120		
	精压加工余量		尺寸 偏差	精压加工余量		尺寸 偏差	精压加工余量		尺寸 偏差
	一般精度	高级精度		一般精度	高级精度		一般精度	高级精度	
< 30	0.3	0.1	+0.4	-	-	-	-	-	-
30 ~ 80	0.4	0.2	+0.5	0.5	0.25	+0.5	-	-	-
50 ~ 80	0.5	0.25	+0.6	0.6	0.30	+0.6	0.8	0.4	+0.8
120 ~ 180	0.6	0.3	+0.8	0.8	0.4	+0.8	1.0	0.5	+1.0

表 4-5-15 待精压件(连杆、杠杆、支臂等)尺寸的
加工余量及偏差

(单位为 mm)

零件直径	厚度 < 10			厚度 10 ~ 30			厚度 30 ~ 80		
	精压加工余量		尺寸 偏差	精压加工余量		尺寸 偏差	精压加工余量		尺寸 偏差
	一般精度	高级精度		一般精度	高级精度		一般精度	高级精度	
< 30	0.3	0.1	+0.4	0.4	0.2	+0.5	-	-	-
30 ~ 80	0.4	0.20	+0.5	0.5	0.25	+0.6	0.6	0.3	+0.8
80 ~ 120	0.5	0.25	+0.6	0.6	0.3	+0.8	0.8	0.4	+1.0
120 ~ 180	0.6	0.3	+0.8	0.8	0.4	+1.0	1.0	0.5	+1.2

表 4-5-16

精压时的单位压力

材 料	单位压力/MPa	
	平面精压	立体精压
铝合金	1000 ~ 1200	1400 ~ 1700
10 ~ 15 号钢	1300 ~ 1600	1800 ~ 2200
20 ~ 25 号钢	1800 ~ 2200	2500 ~ 3000
35 ~ 45 号钢	2500 ~ 3000	3000 ~ 3500
4Cr14Ni14W2Mo	2500 ~ 3000	3000 ~ 3500

精压模板采用 T10A、Cr12Mo 钢制成，热处理硬度为 HRC58 ~ 60，并抛光到发亮的程度。

精压所需的压力，可由下列公式计算：

$$F = pA$$

式中 F ——精压力， $[F]$ 为 N；

p ——精压的单位压力， $[p]$ 为 MPa，其值见表 5-16；

A ——精压面积， $[A]$ 为 mm^2 。

精压应在精压机或强有力的机械压力机上进行。

第六节 旋 压

旋压是一种特殊的成形工艺，它是将板料或空心零件的毛坯固定在旋压机上（或供旋压用的车床上），在毛坯随机床转动的同时，用简单的工具（赶棒或旋轮）使毛坯逐渐成形（图 4-5-35）。在旋压过程中，改变毛坯的形状，直径增大或减小，而其厚度不变或有少许变化者称为普通旋压。在旋压中不仅改变毛坯的形状而且明显的改变（减薄）其壁厚者称为变薄旋压，又叫强力旋压。变薄旋压是用旋轮通过机械或液压传动，强力挤压毛坯（单位压力可达 2500 ~ 3500MPa），使毛坯产生预定的变薄，形成工件的筒壁（图 4-5-36）。

一、普通旋压

普通旋压的基本方式主要有：拉深旋压（拉旋）、缩径旋压（缩旋）、和扩径旋压（扩旋）等三种。

拉深旋压是指用旋压的方法生产拉深件的方法。也就是由平板毛坯通过

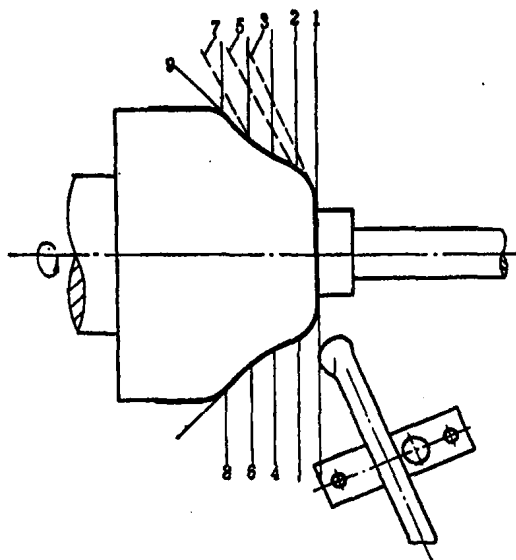


图 4-5-35 用圆头赶棒的旋压程序
(1~9 系毛坯的连续位置)

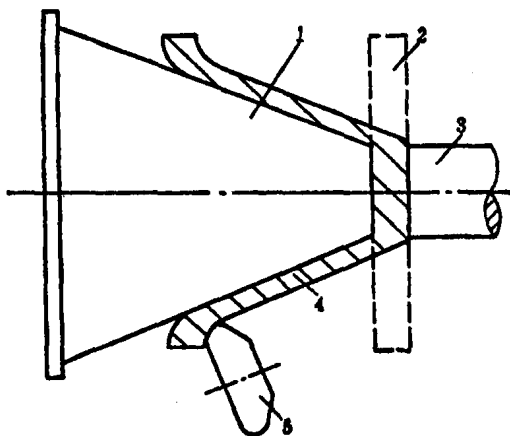


图 4-5-36 变薄旋压示意图
1—模具；2—毛坯；3—顶块；4—工件；5—旋轮

普通旋压的方法生产空心零件的方法（图 4-5-35）。在旋压过程中，赶棒与毛坯基本上为点接触。毛坯在赶棒的作用下，一是材料产生局部的凹陷而发生塑性流动，一是材料沿旋压力的方向倒伏。前一种现象为成形所必需，因为只有使毛坯局部塑性流动，螺旋式地由底向外发展，才有可能引起毛坯的切向收缩和径向延伸，使平毛坯经多次过渡而最终取得和模具一致的外

形。倒伏则使毛坯产生教折、振动和失去稳定。当转速增加到一定值后，倒伏过程来不及完成，毛坯可以稳定。转速过高，易使材料过渡旋薄。拉深旋压是普通旋压中最主要和应用最广泛的旋压方法。

旋压时合理选择芯模的转速是很重要的。转速过低，坯料边缘易起皱，增加成形阻力，甚至导致工件的破裂。转速过高，材料变薄严重。表 4-5-17 所列为铝合金旋压时的主轴转数。

对于软钢，旋压机主轴转数可取 400 ~ 600r/min；铜 600 ~ 800r/min；黄铜 800 ~ 1100r/min。

表 4-5-17 旋压机主轴转数（铝合金）

料厚/mm	毛坯外径/mm	加工温度/℃	转数/r·min ⁻¹
1.0~1.5	< 300	室温	600~1200
1.5~3.0	300~600	室温	400~750
3.0~5.0	600~900	室温	250~600
5.0~10.0	900~1800	200	50~250

旋压锥形件可能成形的极限比值为：

$$\frac{d_{\min}}{D} = 0.2 \sim 0.3$$

式中 $d_{\min}$ ——圆锥体的最小直径， $[d_{\min}]$ 为 mm；

D ——坯料直径， $[D]$ 为 mm。

旋压筒形件的比值，根据毛坯的相对厚度一般为：

$$\frac{d}{D} = 0.6 \sim 0.8$$

式中 d ——圆筒直径， $[d]$ 为 mm。

如果要求的零件不可能在一道工序中完成，旋压应以连续的几道工序在不同的胎模上进行，但胎模的最小直径是相同的（图 4-5-37）。

施压过程材料的硬化程度比在压床上拉深时要大得多，故经几个道次后需中间退火。

拉深旋压的毛坯直径可按冲压时的公式计算。由于施压时金属发生减薄，引起表面积增加，有时比初始毛坯增大 20 ~ 30%。旋压浅形件时面积变化较小。因此，直径可比理论值小 3 ~ 5%。拉旋时的进给量通常取 0.25 ~ 1.0mm/r，也可增大到 2 ~ 4mm/r。它与操作者的技术熟练程度有关。由于旋压时工具与毛坯产生很大的摩擦，因此须施以适当的高粘度润滑剂，对于表面要求高的产品，可以使用非金属涂层作为润滑剂。

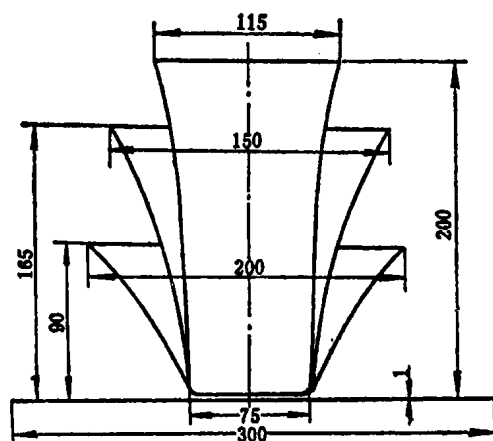


图 4-5-37 几道连续工序的旋压

普通旋压除拉旋外，还有将回转体空心件或管毛坯进行径向局部旋转压缩，以减小其直径的缩径旋压。和使毛坯进行局部（中部或端部）直径增大的扩径旋压（图 4-5-38 中的 b、c）。再加上其它辅助成形工序，旋压可以完成旋转体零件的拉深、缩口、胀形、翻边、卷边、压筋、叠缝等不同工序，其优点是机动性好，能用最简单的设备和模具制造出形状复杂的零件，生产周期短。缺点是若用手工操作，劳动强度大，技术水平要求高，质量不够稳定。适用于小批生产及制造有凸起及凹进形状的空心零件。图 4-5-38 为各种旋压成形方法示意图。

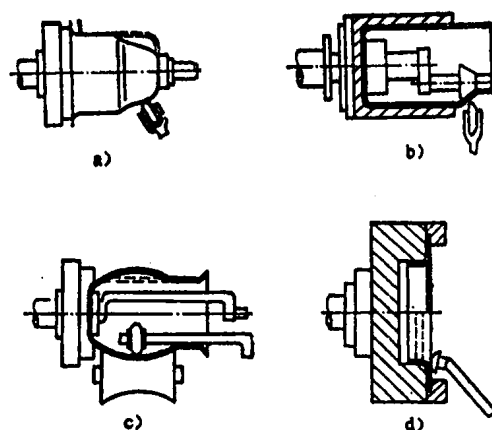


图 4-5-38 各种旋压成形方法

a) 拉深; b) 缩口; c) 胀形; d) 翻边