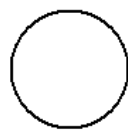


第4篇

冲 压



主编单位 机械工业部北京机电研究所
哈尔滨锅炉厂

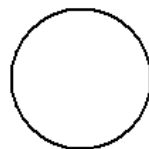
编写单位 武汉工学院
哈尔滨锅炉厂
机械工业部机电研究所
山东工业大学
机械工业部第五设计研究院

主 编 刘才正 张桂霞

副主编 姜奎华 涂光祺

编写人 姜奎华 常志华 张桂霞 涂光祺
刘才正 何奕琦 吴觉伪

主 审 李硕本



常用符号表

A ——面积(mm^2)	F_1 ——冲裁力或成形力(N)
$b(B)$ ——宽度(mm)	F_2 ——压边力(N)
c ——冲裁双面间隙(mm)	F_3 ——反顶力(N)
d, D ——直径(mm)	F_4 ——卸料力(N)
d_0 ——圆孔直径、管径(mm)	F_5 ——顶件力(N)
D_0 ——坯料直径(mm)	F_r ——径向力(N)
D_e ——外径(mm)	F_θ ——切向力(N)
D_i ——内径(mm)	F_z ——轴向力(N)
D_f ——旋轮直径(mm)	W ——功(J)
d_t ——凸缘直径(mm)	σ ——正应力(MPa)
h ——高度(mm)	σ_s ——屈服强度(MPa)
H ——水头(m)	σ_b ——抗拉强度(MPa)
$l(L)$ ——长度(mm)	τ ——剪应力(切应力)(MPa)
n ——转速(r/min)	ϵ ——线应变
$r(R)$ ——半径(mm)	γ ——剪应变(切应变)
r_d ——凹模圆角半径(mm)	δ ——伸长率(%)
r_p ——凸模圆角半径(mm)	ψ ——断面收缩率(%)
r_f ——旋轮圆角半径(mm)	p ——单位压力(MPa)
R_x ——相对弯曲半径(mm)	c ——材料塑性常数
t ——厚度(mm)	n ——硬化指数
v ——线速度(m/s)	r ——厚向异性系数
z ——冲裁单面间隙(mm)	μ ——摩擦系数
E ——弹性模量(MPa)	ν ——泊松比
F ——力(N)	f ——旋轮进给比





第 1 章 概 论

冲压是一种金属塑性加工方法，其坯料主要是板材、带材、管材及其他型材，利用冲压设备通过模具的作用，使之获得所需要的零件形状和尺寸。

材料、模具和设备是冲压的三要素。

冲压加工要求被加工材料具有较高的塑性和韧性，较低的屈强比和时效敏感性，一般要求碳素钢伸长率 $\delta \geq 16\%$ 、屈强比 $\sigma_s/\sigma_b \leq 70\%$ ，低合金高强度钢 $\delta \geq 14\%$ 、 $\sigma_s/\sigma_b \leq 80\%$ 。否则，冲压成形性能较差，工艺上必须采取一定的措施，从而提高了零件的制造成本。

模具是冲压加工的主要工艺装备。冲压件的表面质量、尺寸公差、生产率以及经济效益等与模具结构及其合理设计的关系很大。按照冲压工序的组合方式分有：单工序的简单模、多工序的连续模和复合模。

冲压设备主要有机械压力机和液压机。在大批量生产中，应尽量选用高速压力机或多工位自动压力机；在小批量生产中，尤其是大型厚板冲压件的生产中，多采用液压机。

1 冲压在机械制造中的地位及特点

冲压既能够制造尺寸很小的仪表零件，又能够制造诸如汽车大梁、压力容器封头一类的大型零件；既能够制造一般尺寸公差等级和形状的零件，又能够制造精密（公差在微米级）和复杂形状的零件。占全世界钢产 60%~70% 以上的板材、管材及其他型材，其中大部分经过冲压制成成品。冲压在汽车、机械、家用电器、电机、仪表、航空航天、兵器等制造中，具有十分重要的地位。

冲压件的重量轻、厚度薄、刚度好。它的尺寸公差是由模具保证的，所以质量稳定，一般不需再经机械切削即可使用。冷冲压件的金属组织与力学性能优于原始坯料，表面光滑美观。冷冲压件的公差等级和表面状态优于热冲压件。

大批量的中、小型零件冲压生产一般是采用复合模或多工位的连续模。以现代高速多工位压力机为中心，配置带料开卷、矫正、成品收集、输送以及模具库和快速换模装置，并利用计算机程序控制，可组成生产率极高的全自动冲压生产线。采用新型模具材料和各种表面处理技术，改进模具结构，可得到高精度、高寿

命的冲压模具，从而提高冲压件的质量和降低冲压件的制造成本。

冲压生产的工艺和设备正在不断发展，除传统的使用压力机和钢制模具制造冲压件外，液压成形以及旋压成形、超塑成形、爆炸成形、电水成形、电磁成形等各种特种冲压成形工艺亦迅速发展，把冲压的技术水平提高到了一个新的高度。特种冲压成形工艺尤其适合多品种的中小批量（甚至是数十件）零件的生产。对于普通冲压工艺，可采用简易模具、低熔点合金模具、成组模具和冲压柔性制造系统等，组织多品种的中小批量零件的冲压加工。

总之，冲压具有生产率高、加工成本低、材料利用率高、操作简单、便于实现机械化与自动化等一系列优点。采用冲压与焊接、胶接等复合工艺，使零件结构更趋合理，加工更为方便，可以用较简单的工艺制造出更复杂的结构件。

2 冲压工艺分类

冲压工艺大致可分为分离工序和成形工序两大类。分离工序是在冲压过程中使冲压件与坯料沿一定的轮廓线相互分离，同时冲压件分离断面的质量也要满足一定的要求，其分类见表 4-1-1；成形工序是使冲压坯料在不破坏的条件下发生塑性变形，并转化成所要求的成品形状，同时也应满足尺寸公差等方面的要求，其分类见表 4-1-2。

按照冲压时的温度情况有冷冲压和热冲压两种方式。这取决于材料的强度、塑性、厚度、变形程度以及设备能力等，同时应考虑材料的原始热处理状态和最终使用条件。

1. 冷冲压 金属在常温下的加工，一般适用于厚度小于 4mm 的坯料。优点为不需加热、无氧化皮，表面质量好，操作方便，费用较低。缺点是有加工硬化现象，严重时使金属失去进一步变形能力。冷冲压要求坯料的厚度均匀且波动范围小，表面光洁、无斑、无划伤等。

2. 热冲压 将金属加热到一定的温度范围（表 4-1-3）的冲压加工方法。优点为可消除内应力，避免加工硬化，增加材料的塑性，降低变形抗力，减少设备的动力消耗。



表4-1-1 分离工序分类

工序名称	简图	特点及常用范围	工序名称	简图	特点及常用范围
切断		用剪刀或冲模切断板材, 切断线不封闭	切口		在坯料上沿不封闭线冲出缺口, 切口部分发生弯曲, 如通风板
落料		用冲模沿封闭线冲切板料, 冲下来的部分为工件	切边		将工件的边缘部分切掉
冲孔		用冲模沿封闭线冲切板料, 冲下来的部分为废料	剖切		把半成品切开成两个或几个工件, 常用于成双冲压

表4-1-2 成形工序分类

工序名称	简图	特点及常用范围	工序名称	简图	特点及常用范围	
压弯		把坯料弯成一定的形状	缩口		把空心工件的顶部缩小	
弯	卷板		对板料进行连续三点弯曲, 制成曲面形状不同的零件	翻边		把工件的外缘翻起圆弧或曲线状的竖立边缘
	滚弯		通过一系列轧辊把平板卷料滚弯成复杂形状	翻孔		把工件上有孔的边缘翻出竖立边缘
	拉弯		在拉力与弯矩共同作用下实现弯曲变形可得精度较好的零件	扩口		把空心工件的顶部扩大, 常用于管子
拉	拉深		把平板形坯料制成空心工件, 壁厚基本不变	起伏		把工件上压出筋条、花纹或文字, 在起伏处的整个厚度上都有变形
	变薄拉深		把空心工件拉深成侧壁比底部为薄的工件	卷边		把空心件的边缘卷成一定形状
	胀形					使工件的一部分凸起, 呈凸肚形



(续)

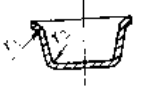
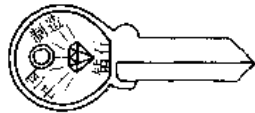
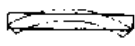
工序名称	简图	特点及常用范围	工序名称	简图	特点及常用范围
成形		把形状不太准确的工件校正成形, 如获得小的 r 等	成形		在工件上压出文字或花纹, 只在制件厚度的一个平面上有变形
校平		校正工件的平直度			

表 4-1-3 常用材料热冲压的温度范围

材料牌号	热冲压温度 (°C)	
	加热	终止 ≥
Q235-A, 15, 20, 20g, 22g	900~1050	700
16Mn, 16MnRE, 15MnV, 15MnVRE, 15MnTi, 14MnMoV, 18MnMoNb, 18MnMoNbRE, 15MnVN, 15MnVNRE	950~1050	750
Cr5Mo, 12CrMo, 15CrMo	900~1000	750
14MnMoVBRE, 12MnCrNiMoVCu	1050~1100	850
14MnMoNbB	1000~1100	750
0Cr13, 1Cr13	1000~1100	850
1Cr18Ni9Ti, 12Cr1MoV	950~1100	850
黄铜 H62, H68	600~700	400
铝及其合金 L2, LF2, LF21	350~400	250
钛	420~560	350
钛合金	600~840	500

3 现代冲压加工发展趋势

(1) 深入研究冲压变形的基本规律、各种冲压工艺的变形理论、失稳理论与极限变形程度等, 应用有限

元、边界元等技术, 对冲压过程进行数字模拟分析, 以预测某一工艺过程中坯料对冲压的适应性及可能出现的质量问题, 从而优化冲压工艺方案, 使塑性变形理论逐步起到对生产过程的直接指导作用。

(2) 制造冲压件用的传统金属材料, 正逐步被高强度钢板、涂敷镀层钢板、塑料夹层钢板和其他复合材料或高分子材料替代。随着材料科学的发展, 加强研究各种新材料的冲压成形性能, 不断发展和改善冲压成形技术。

(3) 在模具设计与制造中, 开发并应用计算机辅助设计和制造系统 (CAD/CAM), 发展高精度、高寿命模具和简易模具 (软模、低熔点合金模具等) 制造技术以及通用组合模具、成组模具、快速换模装置等, 以适应冲压产品的更新换代和各种生产批量的要求。

(4) 推广应用数控冲压设备、冲压柔性加工系统 (FMS)、多工位高速自动冲压机以及智能机器人送料取件, 进行机械化与自动化的流水线冲压生产。

(5) 精冲与半精冲、液压成形、旋压成形、爆炸成形、电水成形、电磁成形、超塑成形等技术得到不断发展和应用, 某些传统的冲压加工方法将被它们所取代, 产品的冲压加工趋于更合理、更经济。

第2章 冲压变形基础与板材成形性能

绝大多数冲压变形都可看作是受平面应力状态作用的。一般在坯料厚度方向上不受力或受数值不大的力 (变薄拉深除外), 即可以忽略厚度方向上的应力数值, 并认为板 (或管) 面内的两个主应力在厚度方向上是不变的 (弯曲变形不在此例)。在分析坯料塑性变形时, 一般也都是考察面内相互垂直的两个主应力的性质与大小。

1 冲压塑性变形

1.1 塑性变形

从金属的应力—应变图 (图 4-2-1) 可见, 屈服点 (应力 σ_s)、塑性拉伸失稳点 (应力 σ_m) 和断裂点 (应力 σ_f) 将金属变形分为弹性变形和塑性变形 (其中, σ_s



$-\sigma_{max}$ 阶段为稳定塑性变形, $\sigma_{max}-\sigma_f$ 阶段为不稳定塑性变形)。

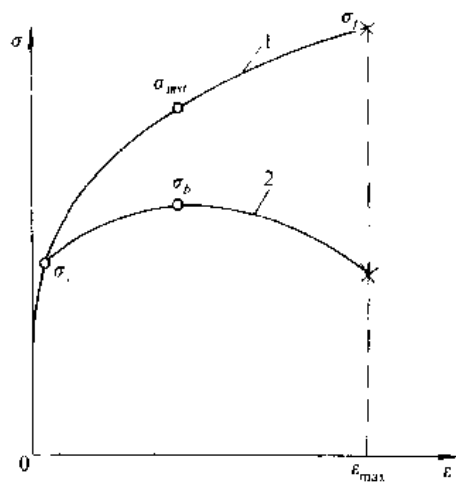


图 4.2-1 金属的应力-应变图

1—真实应力曲线 2—假想应力曲线

利用塑性变形(主要是 $\sigma_s-\sigma_{max}$ 阶段)将金属坯料冲压成形的工序称为成形工序(或称变形工序), 利用剪切破坏获得零件的冲压工序称为分离工序。

1.2 加工硬化

金属经塑性变形后强度指标(如 σ_s 、HB)增加、塑性指标(如 δ 、 ψ)降低的现象称为加工硬化。当应力应变关系为 $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} > 0$, 材料表面出现加工硬化; 当 $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = 0$ 时则为理想塑性状态, 此时无加工硬化, 例如热冲压变形。

冲压变形时的加工硬化曲线(真实 $\sigma-\varepsilon$ 曲线)常

表 4.2-2 系数 β 的数值

中间主应力情况举例		β
$\sigma_2 = \sigma_1$ 或 $\sigma_2 = \sigma_3$		1.0
$\sigma_2 = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ (平均应力)		1.155
σ_2 不属上面两种情况时		≈ 1.1

用经验公式表示:

$$\sigma = c\varepsilon^n$$

硬化指数 n (简称 n 值) 表示冲压材料的硬化特性。 n 值大, 即材料加工硬化显著, 冲压变形均匀性好, 抗塑性拉伸失稳能力强, 但对后续成形工序不利。 n 值的测试方法参见本章 5.4 节。常用冲压材料的 n 、 c 值见表 4.2-1。

表 4.2-1 常用冲压材料的 n 、 c 值

材料	n	c ($\times 10\text{MPa}$)
低碳钢	0.19~0.22	71~75
60/40 黄铜	0.46	99
65/35 黄铜	0.39~0.44	76~82
磷青铜	0.52	110
磷青铜 (低温退火)	0.52	89
银	0.91	47
紫铜	0.27~0.34	42~46
硬铝	0.12~0.13	32~38
铝	0.25~0.27	16~21
不锈钢	0.5	

注: 本表适用于室温, 低速塑性加工, 材料为退火状态。

1.3 塑性条件

材料进入并保持塑性状态的条件称为塑性条件。它反映塑性变形时应力之间的关系, 与应力状态无关。冲压常用简化的 Mises 塑性条件:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \beta\sigma_s$$

系数 β 的数值见表 4.2-2。



2 冲压成形的力学特点与分类

2.1 冲压成形主应变与主应力

通过分析冲压变形区坯料的主应变和建立应变状态图的方法，可对坯料的受力情况和变形特点作概略的定性分析，在一定程度上可满足冲压工艺设计和零件质量分析的要求。

2.1.1 主应变与应变状态图

绘制坯料变形区内三个主应变的变化曲线，可以

清楚地了解冲压的变形性质。例如，图4-2-2是胀形时的主应变在变形区的变化情况：板面内最大主应变 ϵ_r 均为正值，属伸长变形；另一主应变 ϵ_θ 自中心至压边筋由正值变为负值，即胀形件底部沿圆周方向是伸长的，但在凹模孔口附近则为收缩变形；厚度应变 ϵ_z 均为负值，即减薄。

同样的方法可分析其他冲压成形的主应变。

若以板面内的两个主应变 ϵ_r 和 ϵ_θ 为坐标轴，可建立各种冲压工艺的应变状态图。图4-2-3及图4-2-4分别为胀形和拉深时的应变状态图。以图4-2-4为例，可看出拉深工艺的应力应变状态比较复杂。

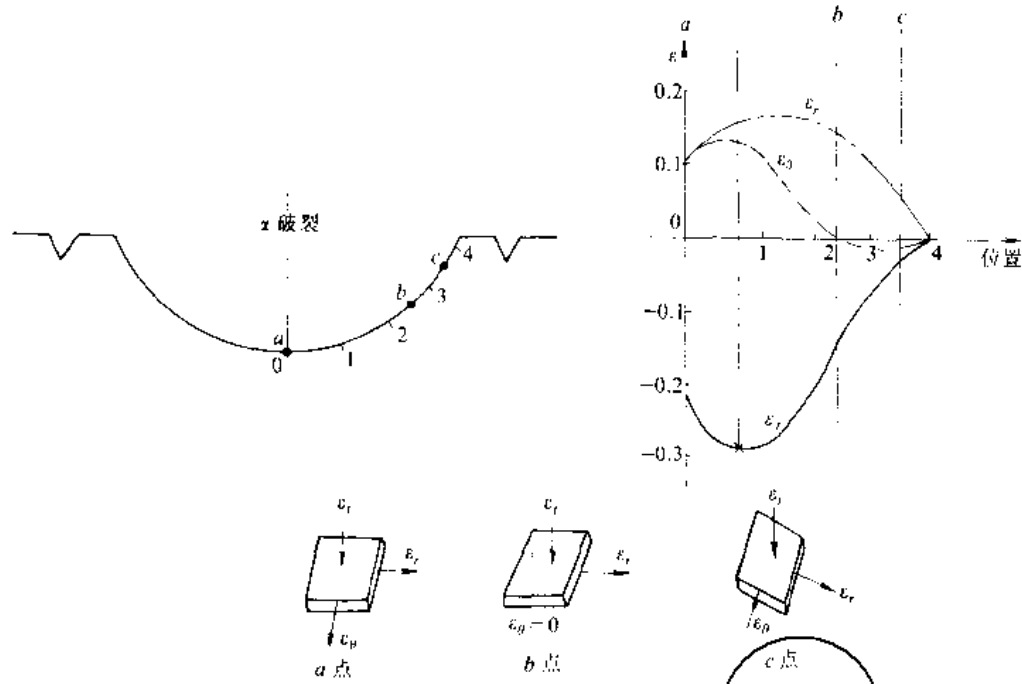


图4-2-2 胀形时的主应变

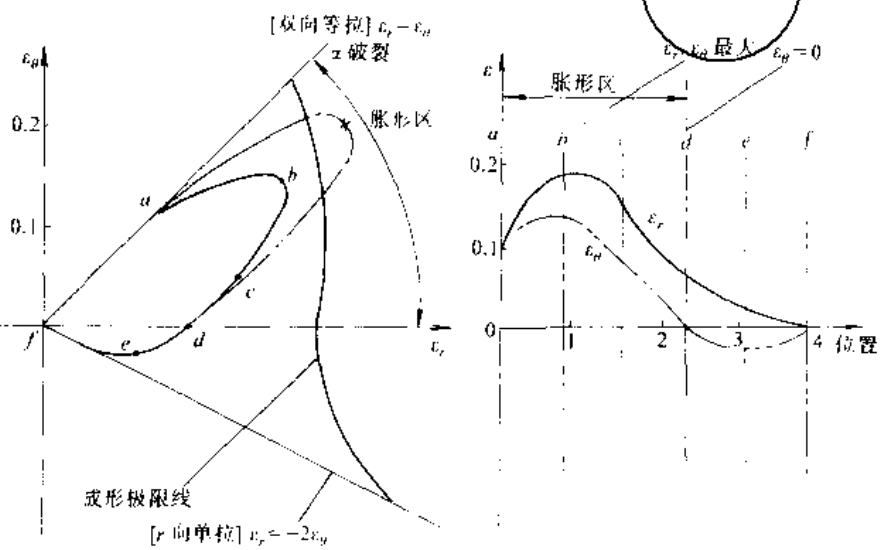


图4-2-3 胀形应变状态图



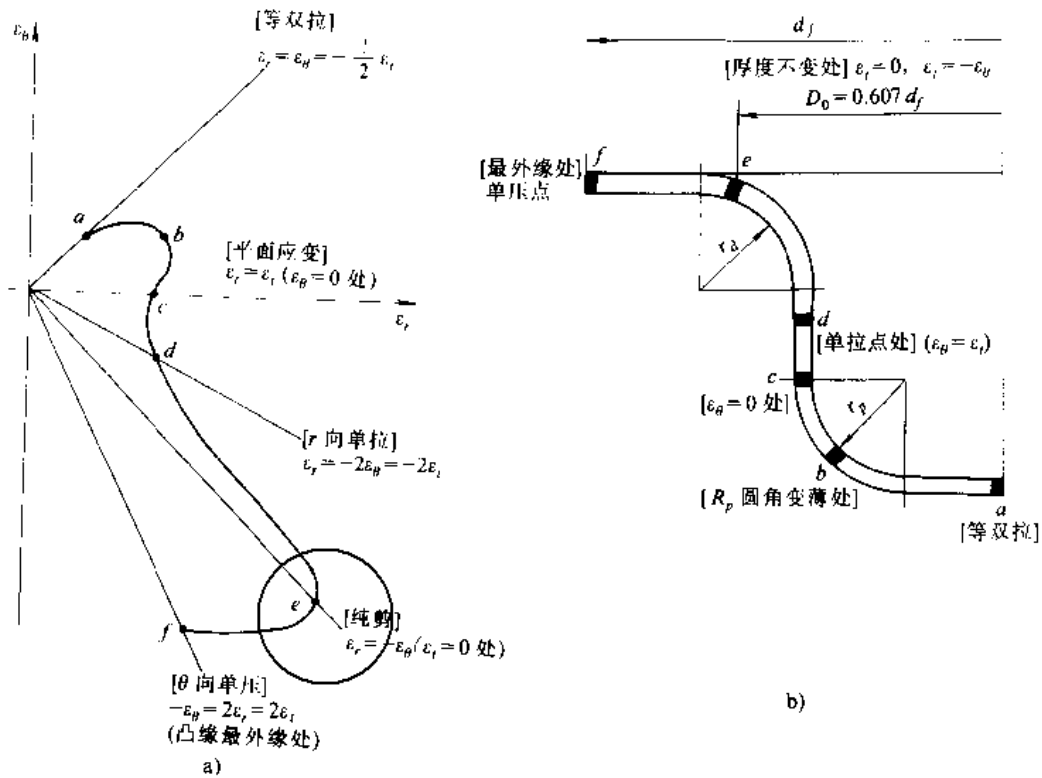


图 4-2-4 拉深应变状态图

a) 应变状态图 b) 拉深坯料的典型点

2.1.2 应力应变特点

冲压工艺的应力应变对应图示于图 4-2-5。图中 $\alpha = 26^\circ 34'$ ，各线的应力应变状态特点见表 4-2-3。

图 4-2-6 是胀形、扩孔和翻边的成形工艺域，图 4-2-7 是拉深的成形工艺域。它们示出了各成形工艺在应力与应变状态图中的位置。

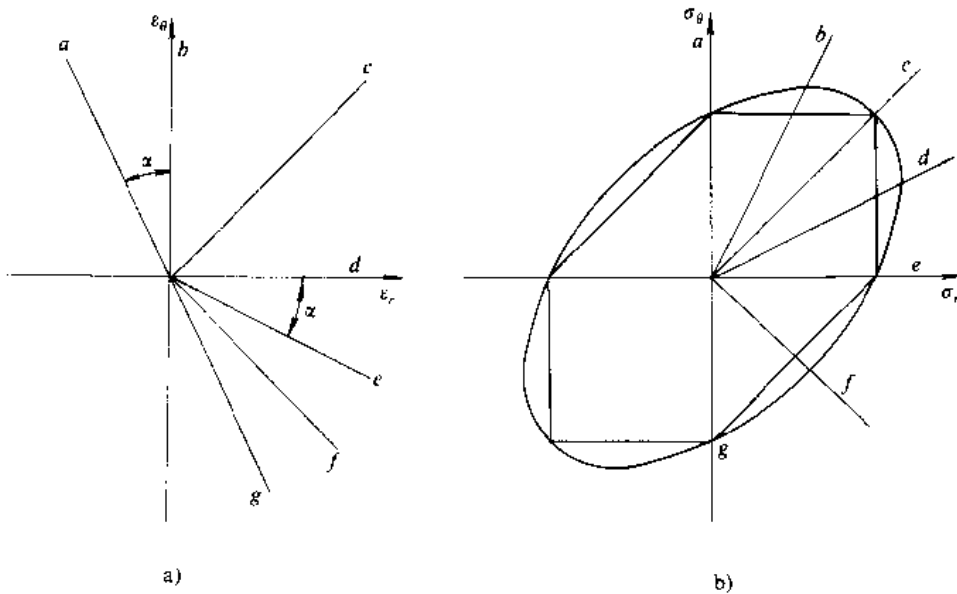


图 4-2-5 冲压工艺的应力应变对应图

a) 应变状态图上的各线 b) 应力状态图上的各点



表 4-2-3 冲压变形区的各种应力应变状态的特点

应变状态 态线序号	应力状态		应变状态		应变状态 态线序号	应力状态		应变状态	
	性质	数值	性质	数值		性质	数值	性质	数值
a	单拉	$\sigma_y > 0$	一拉二压	$\epsilon_\theta = -2\epsilon_r$ $= -2\epsilon_t$	d	双拉	$\sigma_r = 2\sigma_\theta$	平面应变	$\epsilon_r = -\epsilon_t$ $\epsilon_\theta = 0$
b	双拉	$\sigma_\theta = 2\sigma_r$	平面应变	$\epsilon_\theta = \epsilon_t$ $\epsilon_r = 0$	e	单拉	$\sigma_r > 0$	一拉二压	$\epsilon_r = -2\epsilon_\theta$ $= -2\epsilon_t$
c	等 双拉	$\sigma_r = \sigma_\theta$	等双拉	$\epsilon_r = \epsilon_\theta$ $= -\frac{1}{2}\epsilon_t$	f	纯剪	$\sigma_r = -\sigma_\theta$	纯剪	$\epsilon_r = -\epsilon_\theta$
					g	单压	$\sigma_t < 0$	一压二拉	$-\epsilon_\theta = 2\epsilon_r$ $= 2\epsilon_t$

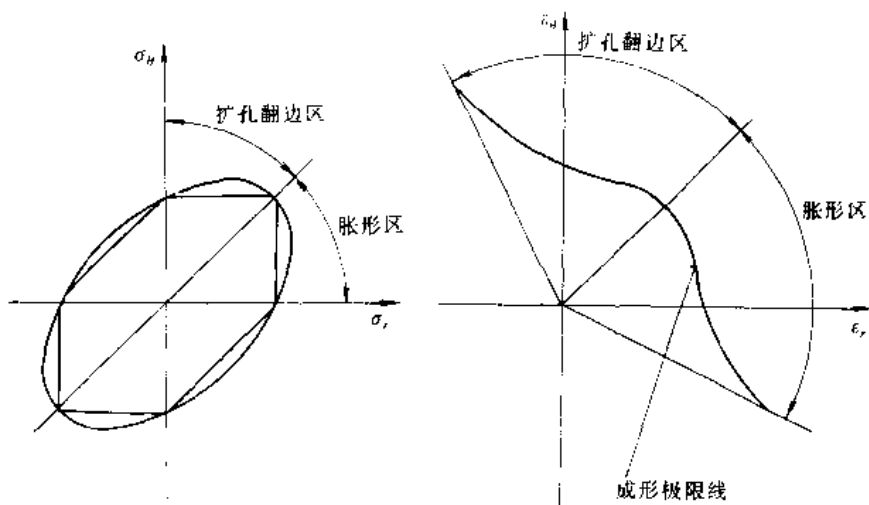


图 1-2-6 胀形、扩孔和翻边的成形工艺线

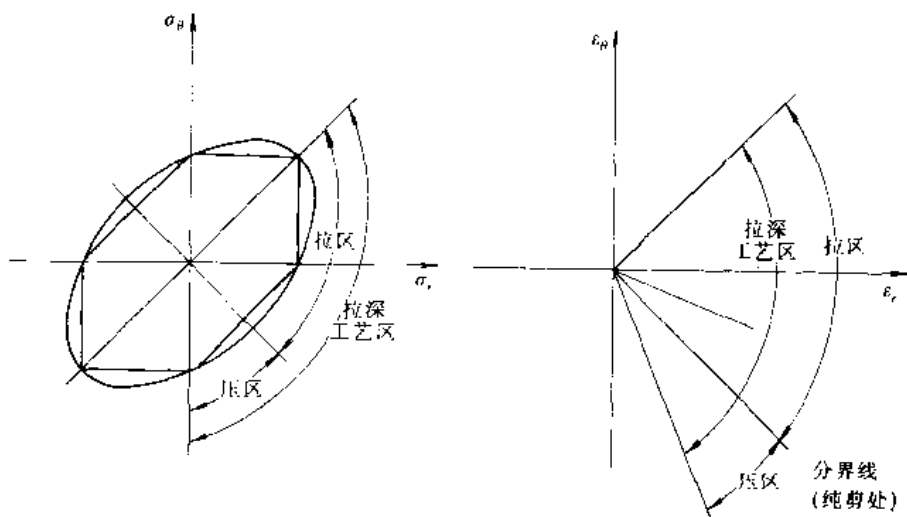


图 4-2-7 拉深的成形工艺线

2.2 冲压成形分类

板材成形区域图如图 4-2-8 所示; ABGHIO 为冲压成形区域, AB 线为压应力状态下的起皱线, CD 线

是拉一压应力状态下的破裂线, EF 线为单拉—双拉应力状态下的破裂线, GHI 是缩颈线。图 4-2-8 的左半部分, 次主应变 ϵ_θ 为负值, 冲压成形的失效形式为起皱或由于集中失稳而产生缩颈和破裂; 在右半部分,



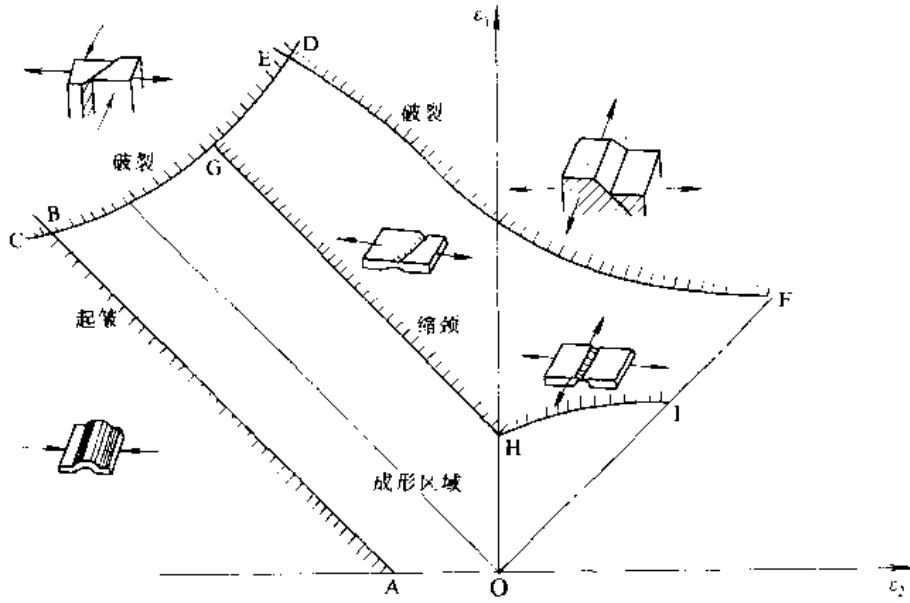


图 4-2-8 冲压成形与破坏区域

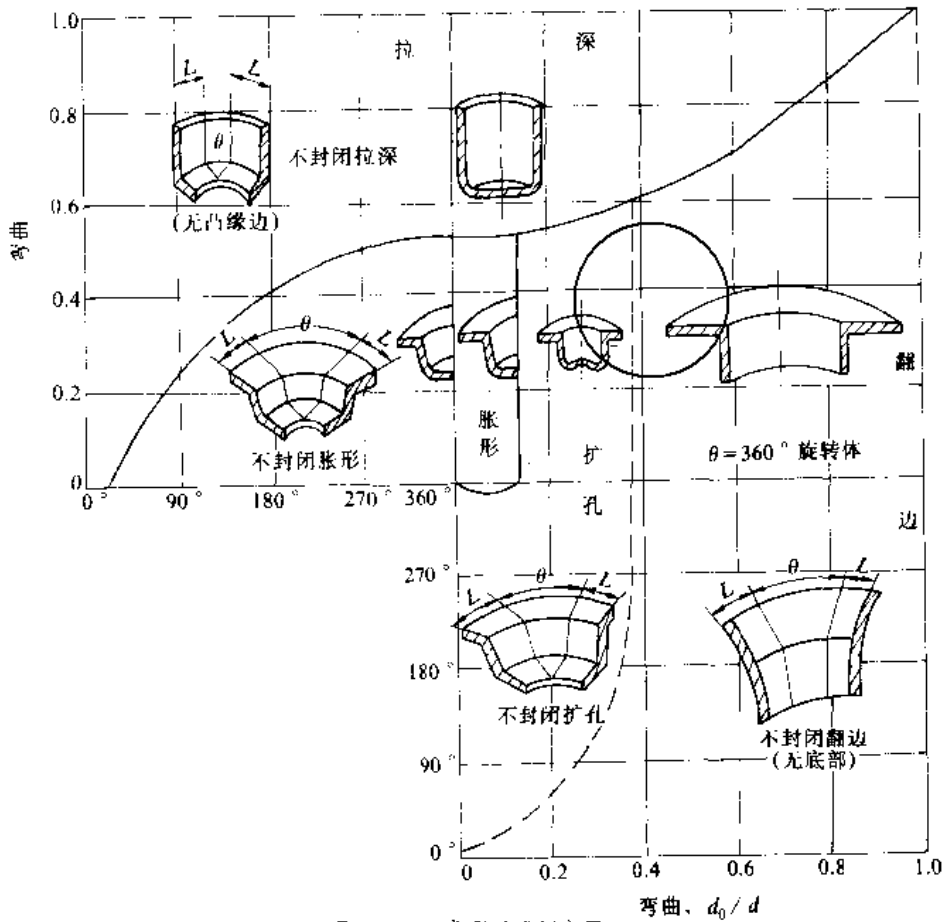


图 4-2-9 成形区域划分图

板面内两个主应变 ϵ_1, ϵ_2 均为正值, 失效形式是塑性失稳而产生的缩颈和破裂^①。

冲压变形的基本形式有伸长类变形、压缩类变形和弯曲变形三种。冲压变形时的材料破裂分为: 由于弯曲作用而产生的破裂(弯曲破裂)、由于材料强度不足

而产生的破裂(α 破裂)和由于材料塑性不足而产生的

① 摘自姜奎华, 塑性应力状态的判据, 金属科学与工艺, 1982 (1): 84~92 页。



破裂(β破裂)。按照变形的形式与破裂情况的组合,冲压成形工艺大体可以划分为四类^[2]:拉深、胀形、伸长类翻边和弯曲(表4-2-4)。日本学者吉田清太给出了冲压工艺成形区域划分图(图4-2-9)。

表4-2-4 冲压成形工艺与变形和破裂形式的关系

	压缩类变形	伸长类变形	弯曲变形
α破裂 β破裂 弯曲破裂	拉深	胀形 伸长类翻边	弯曲

划分冲压工艺成形区域的基本参数有三个,即(1)拉深系数 d/D_0 (纵坐标);(2)翻边系数 d_c/d (横坐标);(3)轴对称冲压件的旋转角 θ ($\theta < 360^\circ$ 时属不封闭冲压件)。由图4-2-9可见,拉深系数 d/D_0 从

表4-2-5 伸长类变形与压缩类变形对比

项 目	伸 长 类 变 形	压 缩 类 变 形
变形区质量问题的表现形式	变形区因受拉过度而破坏	变形区受压引起的失稳起皱
成形极限的含义	主要受板料塑性的限制,与板厚的关系不大	一般不受板料塑性的影响,板厚的影响较大
变形区厚度变化	变薄	增厚
提高成形极限的方法	一般不用多次成形方法,只能用提高板料塑性和使变形均化等方法	常用多次成形的方法

注:摘自参考文献[1]12~14页。

3 冲压成形中的变形趋向性及其控制

3.1 冲压变形趋向性

冲压过程中,可以把坯料划分成变形区和传力区。冲压变形力通过坯料的传力区而施加于变形区,使其产生塑性变形。在成形过程中变形区和传力区的范围与尺寸不断地变化,而且它们也互相转化。图4-2-10a所示缩口过程开始时,随着凹模的下降,变形区B不断扩大,传力区A不断减小,金属由传力区转移到变

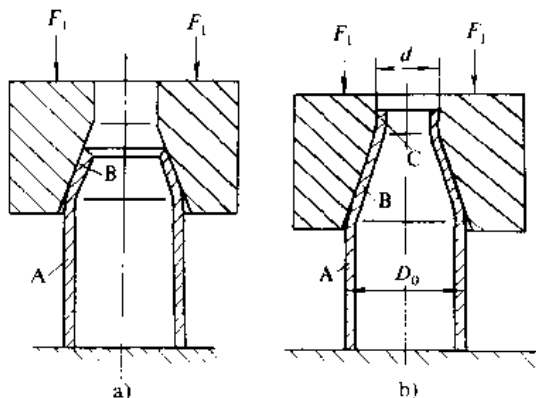


图4-2-10 缩口加工中工件各区的划分
A—传力区 B—变形区 C—已变形区

形区。当缩口发展到图4-2-10b所示的阶段时,变形区的尺寸不再发生变化,从传力区进入变形区的金属体积和从变形区转移出去的相等,为稳定变形过程。这时,传力区A不断减小,已变形区C不断增大,而变形区B的尺寸及其内应力的数值与分布规律都不变。

根据冲压变形时的应力与应变状态图,可以把冲压变形概括为两大类:伸长类变形与压缩类变形。当作用于坯料变形区内的拉应力的绝对值最大时,在这个方向上的变形一定是伸长变形,称这种冲压变形为伸长类变形。当作用于坯料变形区内的压应力的绝对值最大时,在这个方向上的变形一定是压缩变形,称这种冲压变形为压缩类变形。伸长类变形与压缩类变形的对比见表4-2-5。

变形区和传力区之间分界面上的内力,其大小相同。在同一内力作用下,在这两个区内,产生的变形的方式不同,金属的相互尺寸关系也不同,所以必定有一个区所需的变形力较小,因而首先进入塑性状态,产生塑性变形。这个区是塑性区。为使冲压过程顺利进行,必须保证坯料上应该变形的部分——变形区成为塑性区,以便把塑性变形局限于变形区,并排除传力区产生塑性变形的可能。

如图4-2-10所示的缩口,在A与B两者交界面上的应力为 σ ,传力区产生塑性变形的方式是墩粗,其变形所需要的压应力为 σ_s 。不产生墩粗变形的条件是

$$\sigma < \sigma_s$$

变形区产生塑性变形的方式为切向收缩的缩口,它所需要的压应力是 σ_{sk} 。产生缩口变形的条件是

$$\sigma \geq \sigma_{sk}$$

所以,缩口时传力区不产生塑性变形的条件是

$$\sigma_{sk} \leq \sigma_s$$



因为 $\sigma_{\text{拉}}$ 的数值决定于缩口系数 d/D ，所以上式就成为确定极限缩口系数的依据。

在设计工艺过程、选定工艺方案、确定工序和半成品尺寸时，也必须遵循变形区应为塑性区的条件。如图 4-2-11 所示零件，当 D 与 d 之差较大， h 较小时，可用带孔的环形坯料翻孔；但是，当 D 与 d 之差较小， h 较大时，翻孔就不能保证坯料外环是弹性区和翻孔部分是塑性区的条件，外径必然收缩，使翻孔成为不可能。这时，必须改为拉深后切底和切外缘；或将环形坯料的外径加大成 D' ，在翻孔成形后再冲切外圆（虚线所示）。

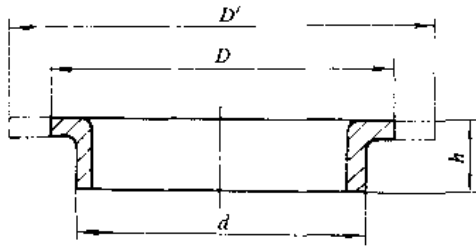


图 4-2-11 变形趋向性对冲压工艺的影响

当变形区或传力区有两种以上的变形方式时，则首先发生的是需变形力最小的变形方式。因此，在工艺过程设计和模具设计时，除要保证变形区为塑性区外，还要保证其所需的变形方式要求最小的变形力。例如，在缩口（图 4-2-10）时，变形区可能产生的塑性变形是切向收缩的缩口变形或在切向压应力作用下的失稳起皱；传力区可能产生的是墩粗变形或纵向失稳。在这四种变形趋向中，必须使缩口变形所需要的变形力最小，工件才能正常缩口。又如在冲裁时，在冲压力的作

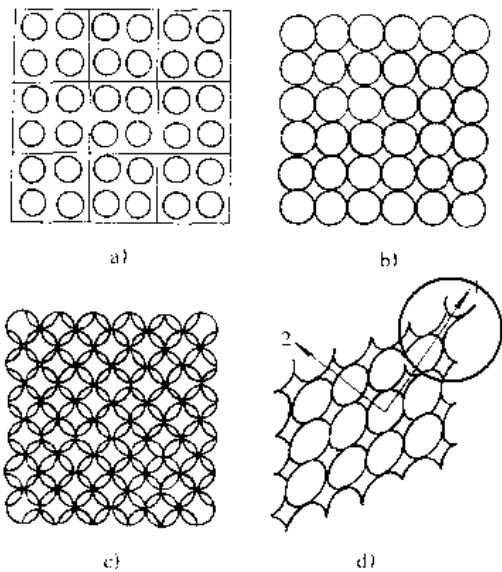


图 4-2-12 圆形网格

a)、b)、c) 常见形式 d) 变形后网格的变化
1、2—主应变方向

用下，坯料具有产生剪切和弯曲变形两种趋向。当冲裁间隙小到一定程度，建立起对弯曲变形不利而对剪切有利的条件，便可在产生很小的弯曲变形的情况下实现剪切。

分析复杂形状工件的变形趋向性，可按三个主轴方向分别分析其应变。最直接的方法是实验法，即在坯料上制网格，一般常用圆形网格（图 4-2-12），这样比较容易观察并测量其在冲压过程中的实际应变。圆形网格（ $\phi 1.5 \sim 20\text{mm}$ ）的几种形式见图 4-2-12a、b、c，可采用直接刻线、感光照像和电解腐蚀等方法复制在坯料表面。直接刻线要划伤坯料，容易在刻线处过早开裂，刻画精度也较低，但制作容易。感光照像会由于冲压时摩擦使网格模糊不清，电解腐蚀的精度较高，应力集中小，但制作需要专用设备。

3.2 影响冲压变形的因素

影响冲压变形的因素是材料本身的特性和应力状态。应力状态有两个方面：一是主应力方向，二是主应力数值。前者由冲压工艺的性质决定，后者与工艺参数有关。

图 4-2-13 是环形坯料的变形趋向。由于坯料尺

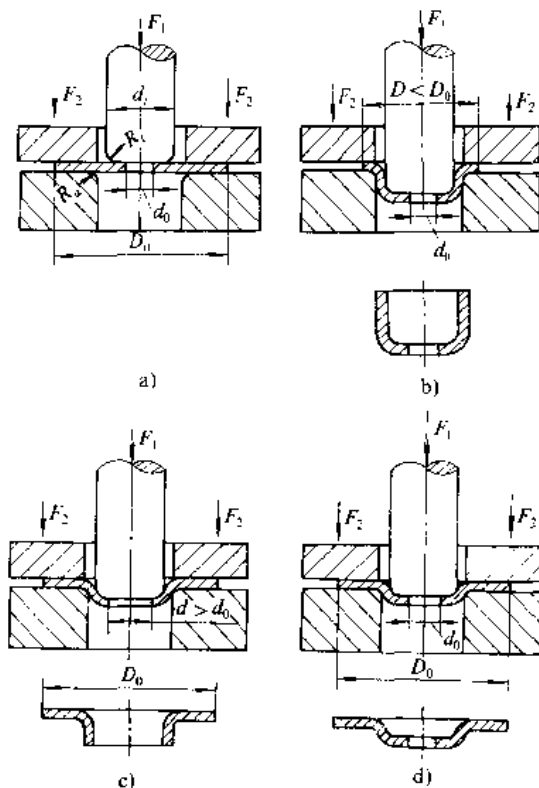


图 4-2-13 环形坯料的变形趋向

a) 变形前的坯料与模具 b) 拉深
c) 扩孔 d) 胀形



寸 D_0 、 d_0 与 d 的相对关系不同,有三种可能的变形趋向(拉深、扩孔与胀形),形成三种形状完全不同的零件。具体数据及变形趋向见表 4-2-6。

表 4-2-6 环形坯料的变形趋向

尺寸关系	成形方式 (变形趋向)	备注
$\frac{D_0}{d} < 1.5-2; \frac{d_0}{d} < 0.15$	拉深	
$\frac{D_0}{d} > 2.5; \frac{d_0}{d} > 0.2 \sim 0.3$	扩孔	要得到图 4-2-13c 所示的零件, $\frac{d_0}{d}$ 的数值也必须加大,否则内孔会开裂
$\frac{D_0}{d} > 2.5; \frac{d_0}{d} < 0.15$	胀形	当 $\frac{d_0}{d} = 0$ 时,是完全的胀形

【例 4-2-1】 钢球活座套的冲压过程(图 4-2-14),包括冲裁、拉深、冲孔和翻孔四道工序。在拉深工序中,坯料外环是塑性区,发生塑性变形,使外径由 $\phi 59\text{mm}$ 减到 $\phi 52\text{mm}$ 。但在冲出 $\phi 24\text{mm}$ 的内孔以后,中间部分由弹性区变为塑性区,原来是塑性区的外环转变成弹性区,这就使变形区由外环转移到中间部分,从而保证了内孔的翻孔变形。

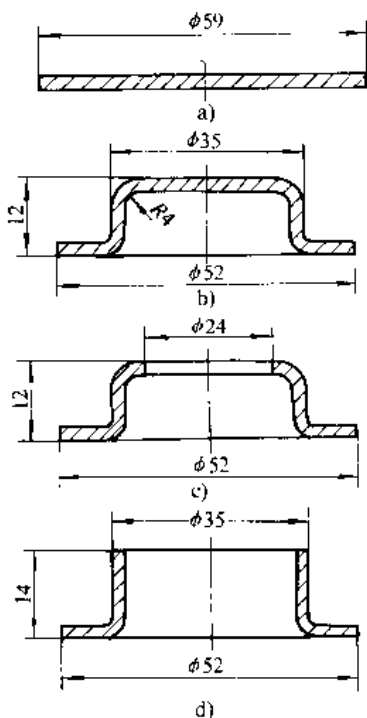


图 4-2-14 钢球活座套的冲压过程
a) 冲裁 b) 拉深 c) 冲孔 d) 翻孔

冲压成形工序中影响坯料变形的因素还有凸模与凹模工作部分的圆角半径、间隙和摩擦等。

3-3 冲压变形的控制

冲压成形的质量问题有开裂、起皱、划伤以及形状与尺寸精度不良等。

冲压件的厚度变薄与开裂属同一性质的问题,变薄的极限情况就是开裂。冲压件的厚度变厚与起皱也属同一性质的问题,严重时就形成皱褶。划伤是冲压变形时坯料表面与模具间摩擦所引起的。形状与尺寸精度除与冲压件工艺性、模具精度等有关外,还与金属变形有关。

控制金属变形的基本原则是“松”还是“紧”。“松”,就是在需要金属材料拉入的地方减小变形阻力。当某处需要金属材料拉入而又不能拉入时,就会产生变薄,甚至没有金属材料拉入而开裂。“紧”,就是在不需要金属材料拉入的地方增大变形阻力。当某处不需要金属材料拉入而又任其拉入时,金属就会多余,严重时发生波浪形甚至起皱。

控制冲压变形时应注意以下几点:

(1) 控制冲压变形主要是控制变形区内金属的变形。因此,首先必须清楚什么地方是变形区。冲压各工序的变形区见表 4-2-7。

(2) 分析变形的性质。要搞清变形是属伸长类(或厚度变薄)还是属压缩类(或厚度变厚)。例如图 4-2-15 为非圆孔翻孔,圆弧 1-2-3 段属翻孔性质(伸长类变形),切向受拉应力,口部变薄,破坏形式为开裂;而圆弧 1-3 段属拉深性质(压缩类变形),切向受压应力,口部变厚,废品形式为起皱。

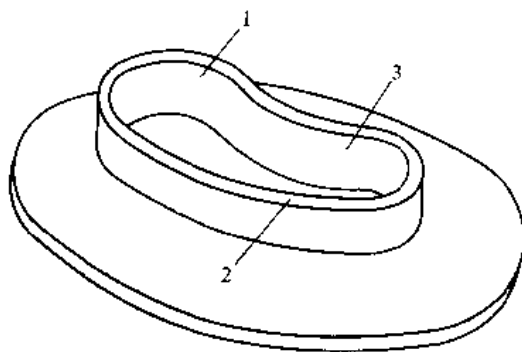


图 4-2-15 非圆孔翻孔

控制冲压变形的措施有:

(1) 合理设计模具工作部分的形状与尺寸。例如,对具有一定深度的矩形件拉深,应保证直边“紧”、四角“松”,可以使四角部分的模具间隙值比直边部分的大(图 4-2-16),也可以调整凹模的圆角半径,即使四角处的圆角半径大于直边处的圆角半径(图 4-2-17)。



表 4-2-7 冲压成形方法的坯料变形区及其主应力和主应变图

成形方法	成形方法简图①	主应力图	主应变图	备注	
伸长类变形	孔的翻边			1 为切向 2 为径向 3 为厚度方向	
	圆柱形工件的均匀胀形或校形、拉弯				
	圆柱形工件的局部胀形			1 为切向 2 为径向 3 为厚度方向	
	平板坯料的局部胀形、曲面形状拉深件的中间部分或起伏成形				
扩口				1 为切向 2 为轴向 3 为厚度方向	
宽板的弯曲变形	外层				1 为长度方向 2 为宽度方向 3 为厚度方向
	内层				3 为长度方向 2 为宽度方向 1 为厚度方向
压缩类变形	拉深				3 为切向 1 为径向 2 为厚度方向 当拉深系数小时, 内边缘 ϵ_2 为负
	缩口				3 为切向 2 为轴向 1 为厚度方向

① 交叉的断面线表示毛坯的变形区。



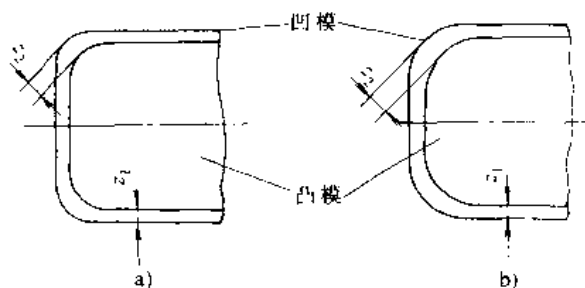


图 4-2-16 矩形件拉深时的模具间隙
a) 减小凹模 r_d b) 加大凸模 r_p $z_1 < z_2$

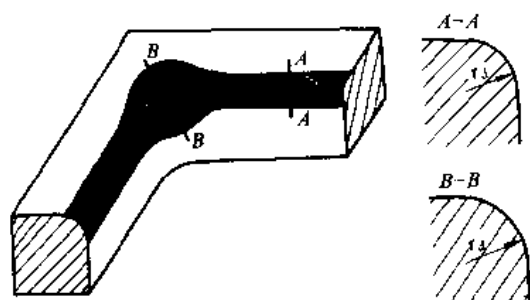


图 4-2-17 矩形件拉深凹模的圆角半径

(2) 改变坯料与模具接触表面之间的摩擦状态。常可以采取以下几种方法：

1) 正确润滑。在要求“松”的地方加强润滑，如图 4-2-18 是拉深时的润滑部位。良好的润滑，同时还能起到减少划伤、防止粘模、烧伤和提高模具寿命的作用。

2) 调整压边力。这对拉深工序尤为重要。如图 4-2-19，拉深时加大压边力，可使 A 点的径向拉应力 σ_1 数值增大和切向压应力 σ_2 数值减小（塑性条件 $\sigma_1 - \sigma_2 = \beta\sigma_s$ ），从而防止起皱。加大压边力，也就是增大了金属的变形阻力，调整方便，在生产中常用。

3) 采用拉深筋（或拉深槛）。当增大对平压边圈上的压力还嫌不足时，可采用拉深筋（或拉深槛）。其主要作用与布置方法见表 4-2-8。

(3) 改变坯料变形区的应力性质、材料热处理状态或更换材料。具体方法有：

1) 开工艺切口。如拉深汽车门板时，在易开裂的

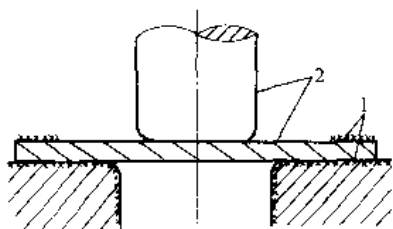


图 4-2-18 拉深时的润滑部位
1—润滑区 2—不润滑区

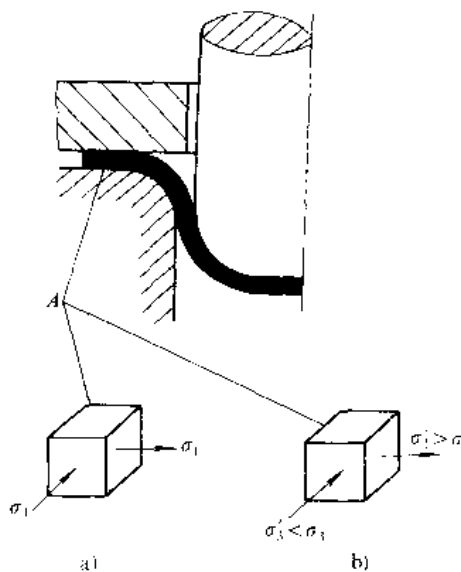




图 4-2-19 拉深时压边力的影响
a) 压边力小 b) 压边力大

表 4-2-8 拉深筋的作用与布置

拉深筋的作用	布置方法
调整拉应力和压应力的数值，防止起皱	沿圆弧部分设筋
增大变形抗力，提高硬化程度，增强工件刚性	整圈设筋（或间断设筋）浅件用拉深
调整工件各部分金属流动的阻力，使各部分金属流动均匀	矩形件在直壁部分设筋  阶梯件在深度浅的部分设筋 

地方开工艺切口（图 4-2-20）后，解除约束，使之变成自由边界，起到了放松的作用，可避免开裂。

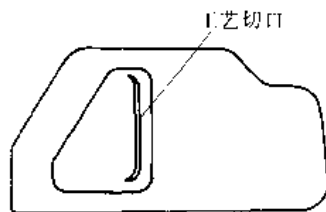


图 4-2-20 拉深汽车门板时的工艺切口

2) 更换工艺。如球形件拉深时，曲面部位容易起皱。可以改一般拉深为液压胀形（图 4-2-21），此时曲面上的应力状态为双拉的应力状态，从根本上消除了起皱的可能。

3) 采用局部加热或深冷，降低变形区的变形抗力或提高传力区的强度。例如，在拉深和缩口时对变形区局部加热，在不锈钢工件的拉深时对传力区局部深冷，



对镁合金、钛合金等在屈强比 σ_s/σ_b 较小的温度区间进行拉深等方法，都能加大一次成形的极限变形程度。

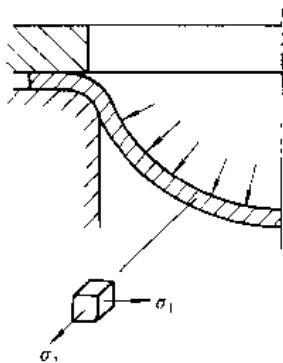


图 4-2-21 液压胀形的应力状态

4 冲压成形极限

起皱与开裂是冲压变形过程顺利进行的两个主要障碍，其实质都是坯料塑性变形不能稳定进行的结果^①。所以，起皱与开裂又统称为失稳。前者为受压失稳，后者为拉伸失稳。冲压成形极限是指坯料不发生失稳破坏时的极限变形程度。分为一次冲压工序的极限变形程度和总的极限变形程度。受压失稳，一般可以通过加大压边力或采用拉深筋等工艺措施得到解决。因此，这里仅涉及拉伸失稳方面的问题。

4.1 成形极限理论基础

在以拉应力为主的变形方式中，材料变形程度过大，往往容易产生缩颈和开裂，这种现象叫做拉伸失稳（或塑性拉伸失稳）。拉伸失稳只可能发生在材料的塑性变形阶段，分为分散性失稳和集中性失稳。材料在受拉变形到出现开裂，随变形程度增大表面粗糙度也将逐渐增加（图 4-2-22）。在此变化过程可以见到表面粗

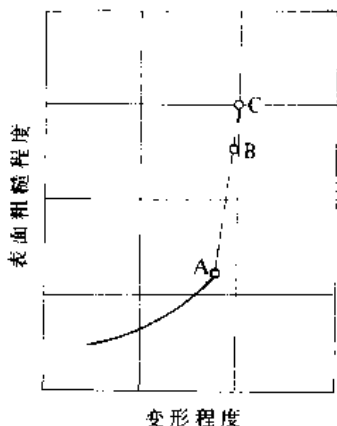


图 4-2-22 板面粗糙度的变化
(摘自参考文献 [3] 464~468 页)

糙度的突然变化 (A 点)，继而在某一局部出现明显的连续变薄现象——缩颈 (B 点)，最后材料在该处开裂 (C 点)。表面粗糙度的突然加剧，实质上就是材料开始出现微观的分散性变薄——分散性失稳；继续发展，就会转变成宏观的集中性变薄——集中性失稳；发展的极限状态，则是材料开裂。

4.1.1 拉伸失稳理论

假定板面内两个主应力为 σ_1 和 σ_2 ，主应变为 ϵ_1 和 ϵ_2 。H. W. Swift 给出分散性失稳条件^②

$$d\sigma_1/\sigma_1 = d\epsilon_1$$

$$d\sigma_2/\sigma_2 = d\epsilon_2$$

R. Hill 给出集中性失稳条件^③

$$d\sigma_1/\sigma_1 = -d\epsilon_3$$

分散性失稳和集中性失稳是拉伸不稳定变形的不同发展阶段。由于分散性失稳亚稳定变形的发展，变形不断向某一局部集中，已中止变形的部分对继续变形的部分（沿主轴 2 方向）有抑制作用，当使得 $d\epsilon_3 = 0$ 时，便有 $d\epsilon_1 = -d\epsilon_3$ （塑性变形： $d\epsilon_1 + d\epsilon_2 + d\epsilon_3 = 0$ ），分散性失稳过渡到了集中性失稳。所以，若是从材料拉伸变形的稳定着眼，可以用分散性失稳作为判据；但从材料开裂前极限变形程度的估计着眼，就应以集中性失稳作为判据了^④。

板材受双向拉应力（设 $\alpha = \sigma_2/\sigma_1 \geq 0$ ）作用，发生分散性失稳时之应变强度

$$\epsilon_{fi} = \frac{4 \sqrt{(1-\alpha+\alpha^2)^3}}{(1+\alpha)(4-7\alpha+4\alpha^2)^n}$$

发生集中性失稳时之应变强度

$$\epsilon_{fn} = \frac{2 \sqrt{1-\alpha+\alpha^2}}{1+\alpha} n$$

上述两式中， n 是材料的硬化指数。应注意的是，当 $0 \leq \alpha \leq 0.5$ 时， $\epsilon_{fi} \leq \epsilon_{fn}$ ，即材料先分散失稳后集中失稳；当 $0.5 \leq \alpha \leq 1$ 时， $\epsilon_{fi} \geq \epsilon_{fn}$ ，这一结论与实际观察并不一致。所以，R. Hill 准则只有应用在 $0 \leq \alpha \leq 0.5$ 的范围内才符合实际情况。在 $0.5 \leq \alpha \leq 1$ 范围内，集中性失稳的发生可以用 M-K 理论加以说明。其要点是^⑤：由于受拉板料厚度不均（物理性质方面的不均与板厚不均等效），在垂直于最大主应力 σ_1 方向发展为一凹槽（图 4-2-23）。槽内 $d\epsilon_{1B}$ 略大于槽外 $d\epsilon_{1A}$ ，而 $d\epsilon_{2B} = d\epsilon_{2A}$ ，

② 摘自胡世光，板料冷压成形原理，北京：国防工业出版社，1979，121 页。

③ 摘自参考文献 [6] 252 页。



于是应变比 $d\epsilon_{2B}/d\epsilon_{1B} < d\epsilon_{2A}/d\epsilon_{1A}$ 。随着变形的发展,槽内材料的变薄比槽外快,即在槽内 $d\epsilon_{2B}/d\epsilon_{1B}$ 逐渐下降。这时,槽外的材料继续变形,直至有 $d\epsilon_{2B}/d\epsilon_{1B} \approx 0$ 时为止。当 $d\epsilon_{2B}/d\epsilon_{1B} \approx 0$ 时,槽外材料的应变值即为板料在这种应力状态下的集中性失稳值。

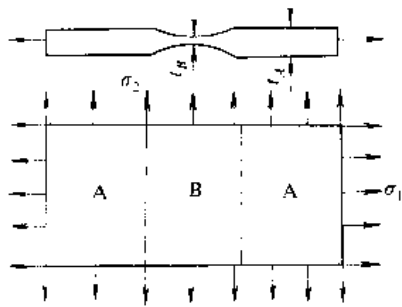


图 4-2-23 双拉板凹槽示意图

4.1.2 成形极限方程

拉伸失稳理论乃是研究板料拉伸成形极限的基础。设

- (1) 应力比值 α 为常数;
- (2) 忽略弹性变形,采用 Le'ry-Mises 应力应变关系;
- (3) 变形过程中,应力主轴与应变主轴重合;
- (4) 材料硬化规律满足函数式 $\sigma_i = c\epsilon_i^n$ 。

对于各向同性材料,板面内的两个极限应变为:

(1) 当 $0 \leq \alpha \leq 0.5$ 时,有

$$\epsilon_{f1} = \frac{2-\alpha}{1-\alpha} n$$

$$\epsilon_{f2} = \frac{2\alpha-1}{1-\alpha} n$$

(2) 当 $0.5 \leq \alpha \leq 1$ 时,有

$$\epsilon_{f1} = \frac{2(2-\alpha)(1-\alpha-a^2)}{(1+\alpha)(4-7\alpha+4\alpha^2)} n$$

$$\epsilon_{f2} = \frac{2(2\alpha-1)(1-\alpha+a^2)}{(1+\alpha)(4-7\alpha+4\alpha^2)} n$$

4.1.3 成形极限图 (FLD)

极限变形程度对冲压成形至关重要。应力比值 α 不同,其具体数值也不同,习惯上是用拉伸失稳区板面内的两个主应变 $\epsilon_1 - \epsilon_2$ 的关系曲线来表示,这种图形称为成形极限图 (FLD),如图 4-2-24 所示。由于出现拉伸失稳的前提条件不同,可以得出不同的极限应变曲线。实际上,测量缩颈点的应变与开裂点的应变是不同的,所以,成形极限不是一条线,而是一个区间。应当指出,产生缩颈以后,材料虽未开裂,但此时已有

局部变薄,变形已经不均匀,所以严格地讲,此时冲压件的质量已存在问题了。当然,并非所有冲压件都有如此严格的要求。关于冲压成形极限的选择,应当从材料产生缩颈或开裂和冲压件允许的质量这两个方面来综合考虑。

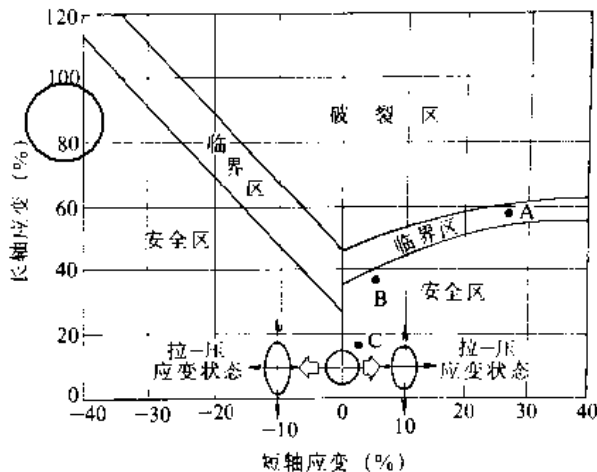


图 4-2-24 成形极限图

4.2 影响成形极限的因素

影响 FLD 的主要因素是材料的硬化指数 n 和变形经历 (加载历史)。 n 值大的材料,FLD 中曲线的位置亦高。变形经历的影响如图 4-2-25 所示。当后续变形时的应力比值 α 较开始时的小,则极限应变曲线的位置下降 (如曲线 2 是先等双拉 $\alpha=1$ 后单拉 $\alpha=0$ 得到的);反之,则提高 (如曲线 3 是先单拉后等双拉得到的)。图 4-2-25 中曲线 1 是 α 为常数条件下得到的。

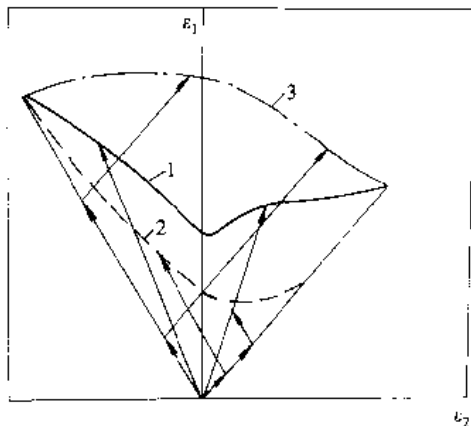


图 4-2-25 变形经历对 FLD 的影响

材料的厚向异性系数 r (参见本章 5.5 节)、表面粗糙度及板厚尺寸对 FLD 亦有影响。 r 值较小的材料,成形极限将会有所降低。表面粗糙度与材料晶粒度间具有比例增加的关系,当板料厚度与晶粒度的比值



减小时，亦会使材料的极限应变值减小。

4.3 FLD 的建立及其应用

冲压成形时，坯料的变形区或传力区的变形方式大多是以拉为主^[1]。因此，FLD 不仅有理论与学术价值，而且对生产有指导作用。

4.3.1 FLD 的建立

最初 S. P. Keeler 提出 FLD 的右半部（拉—拉应变部分）和 G. W. Goodwin 补充 FLD 的左半部（拉—压应变部分），并没有将拉伸失稳理论直接用于 FLD 的建立，而是完全以工艺试验为基础^[2]。目前，能够实用的也大多是借助实验绘制的 FLD，常用的实验方法是采用矩形坯料，用半球形凸模胀形，实验装置如图 4-2-26 所示。为得到 FLD 中 $0 \leq \epsilon_2/\epsilon_1 \leq 1$ 范围内 ϵ_1 和 ϵ_2 之极限值，是用正方形坯料（200mm×200mm），改变凸模与坯料间的摩擦条件，如用聚氨酯垫可获得靠近等双拉的极限应变点和用干摩擦条件可获到 $\epsilon_2 \approx 0$ 的极限应变点； $-0.5 \leq \epsilon_2/\epsilon_1 \leq 0$ 范围内 ϵ_1 和 ϵ_2 之极限值，是通过减小坯料宽度尺寸得到的，如单拉点的极限应变值是用 200mm×25mm 的矩形坯料。

每种规格的试件要各取 5 件，矩形坯料的宽度间隔为 10~20mm，实验坯料的轧制方向应一致。

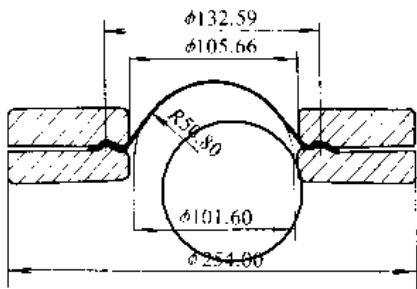


图 4-2-26 制作 FLD 实验装置

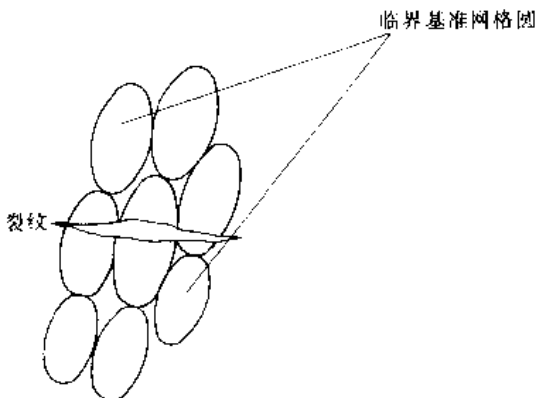


图 4-2-27 临界基准网格圆

试件表面应采用感光照像和电解腐蚀等方法制取圆形网格。网格尺寸一般取 2.5mm 左右。

测量材料的极限应变值时，首先要选择好临界基准网格圆。一般可以选择与裂纹（缩颈）横贯的网格相邻的、并且没有开裂的网格圆（图 4-2-27）。

4.3.2 FLD 应用^[3]

FLD 是对板料成形性能的一种定量描述，同时也可用作对冲压工艺成败性的判断。

应用网格技术测量冲压件危险点的应变值，并标注在 FLD 上，如图 4-2-24 所示。如果落在临界区内（A 点），说明很危险，零件冲压时废品率很高；如果是靠近极限曲线（B 点），说明相当危险，必须对各有关条件严格控制；如果远离极限曲线（C 点），说明过分安全，尚有潜力可挖，对民用产品常可以换成成形性较低、较便宜的材料。

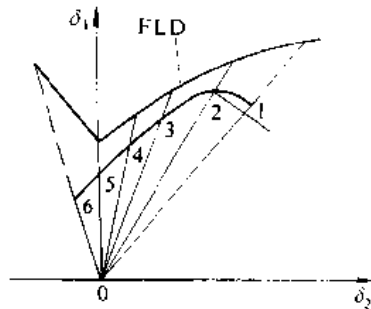
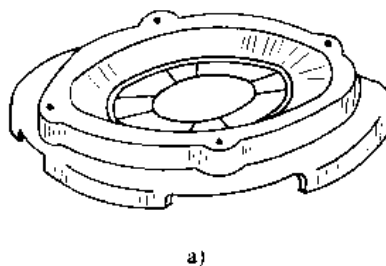
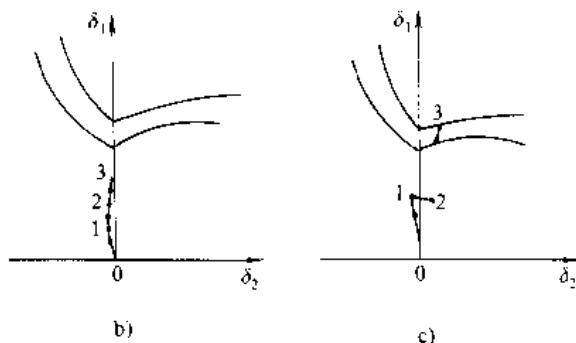


图 4-2-28 用 FLD 预测危险性



a)



b)

c)

图 4-2-29 变形过程与 FLD 对比

a) 汽车轮毂盖 b) 正常情况 c) 有故障



将同一瞬间冲压件上各点的应变连成曲线，即应变状态图，与材料的FLD对比(图4·2-28)，可以找出冲压变形的安全裕度及潜在的危险点。多工序成形时，作出危险点的应变路线，与FLD对照，可分析产生的原因。如图4·2-29，汽车轮毂盖分三道工序成形，正常情况下危险点的应变路线如图4·2-29b。某次突然产生大量废品，查出危险点的应变路线如图4·2-29c。通过比较，看出问题是：工序1拉深深度偏大，拉入材料过多，致使在工序2中将多余的材料挤出去。原因是：设备检修后，调整时使工序1的冲压行程大12mm。消除此因素后，生产又回到稳定状态。

FLD至少有以下几方面的应用：(1)分析冲压件的潜在危险点的位置；(2)为提高冲压件质量，指出应采取的工艺措施的方向；(3)合理选用材料及坯料的形状与尺寸；(4)对冲压生产过程实施监控，等等。

5 板料冲压性能及测试

板料对冲压成形工艺的适应能力叫做板料冲压性能。其作用如下：

- (1) 作为板料生产与使用部门之间的付货与验收标准，以保证冲压生产的正常进行。
- (2) 用于分析冲压件的质量问题和寻找解决的工艺措施。
- (3) 合理选择冲压原材料。

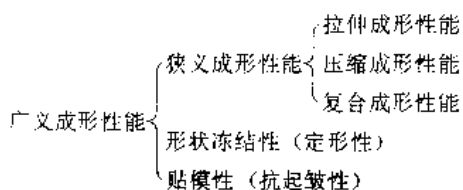
5·1 成形时的破裂

破裂是冲压成形的主要失效形式，分为 α 破裂、 β 破裂和弯曲破裂。

虽然拉深件的底部破裂，与胀形件破裂同属 α 破裂，但胀形破裂总是出现在坯料的变形区，而拉深破裂却是产生在传力区，因此，板料拉深和胀形时对 α 破裂的抵抗能力不同。拉深的极限变形程度(如拉深系数等)，主要是受坯料传力区的承载能力的限制；胀形的极限变形程度(如胀形深度)，主要取决于材料的塑性。

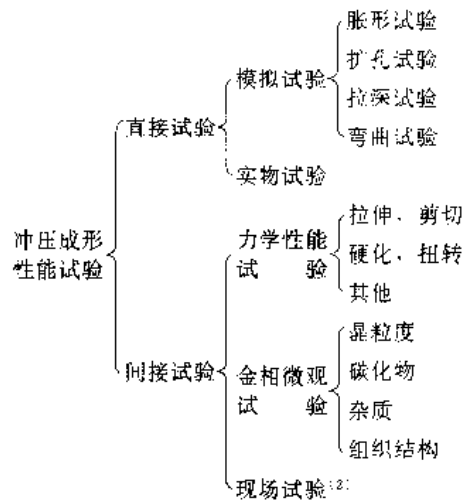
5·2 成形性能分类

板料的成形性能分为广义和狭义两个内容⁽²⁾，它们的关系是：



狭义成形性能反映冲压加工中材料不发生破裂(或缩颈)所能达到的最大变形程度，故也叫抗破裂性。

冲压成形性能试验如下：



5·3 力学性能参数

在材料的力学性能参数中，屈服强度 σ_s 、屈服比 σ_s/σ_b 、伸长率 δ 等强度指标与塑性指标，可用来表示材料的基本成形性能。测试方法参见工程材料卷第12篇第6章。

5·4 加工硬化指数

硬化指数 n (n 值)是评定板料伸长类成形性能的一个重要参数。 n 值大，则拉伸失稳时的极限应变大。这对于胀形、扩孔、内凹曲线翻边等伸长类成形来说，可以在一次成形中获得较大的极限变形程度。 n 值对复杂形状零件的成形也有影响，在以胀形为主的成形工艺中， n 值大的板料，成形性能好。

n 值可以根据拉伸试验结果所得的硬化曲线，利用关系式 $\sigma=ce^n$ 来求得。也可以利用阶梯形试件(图4·2-30)，拉伸至缩颈或断裂后，由下面的公式计算得到：

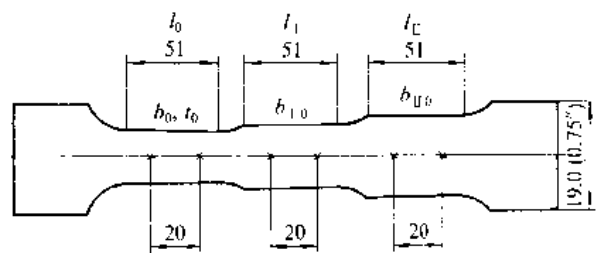


图4·2-30 阶梯形试样

$$b_0 = 12.70 \quad b_{1,0} = 12.33 \quad b_{U,0} = 13.97$$



$$n = \frac{\ln \frac{b_{1.0}}{b_{1.0}} + (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\ln \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}$$

式中 ϵ_2, ϵ_1 —— 测量初始宽度为 $b_{2.0}$ 和 $b_{1.0}$ 工作部分的伸长应变。

5.5 厚向异性系数

厚向异性系数 r (也叫塑性应变比 r , 简称 r 值) 是评定板料压缩类成形性能的一个重要参数。 r 值是板料试样单向拉伸试验中宽度应变 ϵ_b 与厚度应变 ϵ_t 之比, 即

$$r = \epsilon_b / \epsilon_t$$

板料 r 值的大小, 反映板平面方向与厚度方向应变能力的差异。 $r=1$ 时, 为各向同性; $r \neq 1$ 时, 为各向异性。当 $r > 1$, 说明板平面方向较厚度方向更容易变形, 或者说板料不易变薄。 r 值与板料中晶粒的择优取向有关, 本质上是属于板料各向异性的一个量度。

r 值与冲压成形性能有密切的关系, 尤其是与拉深成形性能直接相关。板料的 r 值大, 拉深成形时, 有利于凸缘的切向收缩变形和提高拉深件底部的承载能力。图 4-2-31 示出拉深时的应力状态, 对照各向异性板料的屈服椭圆 (图 4-2-32) 知: 拉深件凸缘的应力状态类似于屈服椭圆第二象限区的情况, 而底部的应力状态则类似于第一象限区的情况。 r 值增加, 会同时使底部的强度增加和凸缘的变形抗力减小, 这对拉深是非常有利的。大型覆盖件成形, 基本上是一种拉深与胀形相结合的复合成形, 当拉深变形的成分占主导地位时, 板料 r 值大, 成形性能好。

板平面中最主要的三个方向是与轧制方向呈 0° 、 45° 和 90° , 相应地用 r_0 、 r_{45} 和 r_{90} 表示。由于不同方向上测得的数值是变化的 (图 4-2-33), 板料的厚向异性

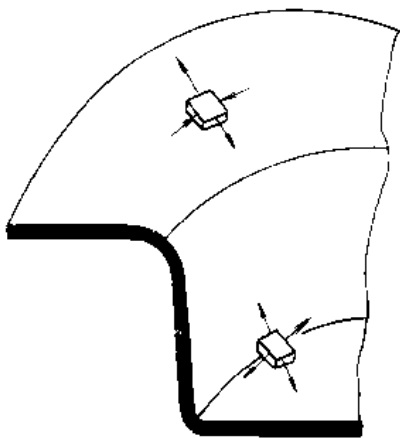


图 4-2-31 拉深时的应力状态

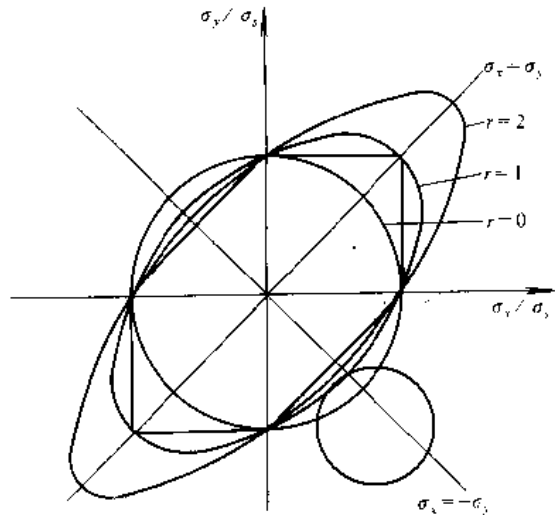


图 4-2-32 平面应力时各向异性材料的屈服椭圆

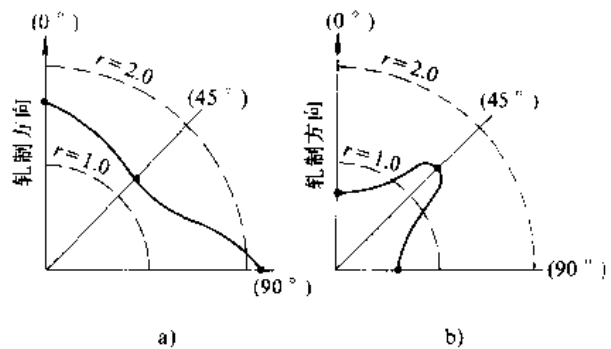


图 4-2-33 r 值在板平面内的变化

a) $\Delta r > 0$ b) $\Delta r < 0$

(摘自参考文献 [10] 159 页)

系数常用平均值 \bar{r} 表示。

$$\bar{r} = \frac{1}{4} (r_0 + 2r_{45} + r_{90})$$

板平面内各向异性的差别用 Δr 表示。

$$\Delta r = \frac{1}{2} (r_0 - 2r_{45} + r_{90})$$

用圆形坯料拉深筒形件, 当 $\Delta r > 0$ 时, 凸耳出现在 0° 和 90° 方向; 当 $\Delta r < 0$ 时, 凸耳出现在 $\pm 45^\circ$ 方向; $\Delta r = 0$ 时, 不产生凸耳。由于凸耳的位置与大小和 Δr 有关, 所以 Δr 也叫凸耳参数。

6 冲压工艺性能试验

测定或评价板料的冲压成形性能时, 广泛采用模拟试验方法。

6.1 杯突试验 (GB4156—84)

杯突试验 (Erichsen 试验) 如图 4-2-34 所示。试验时, $90\text{mm} \times 90\text{mm}$ 的试样或宽度 90mm 的条料试样



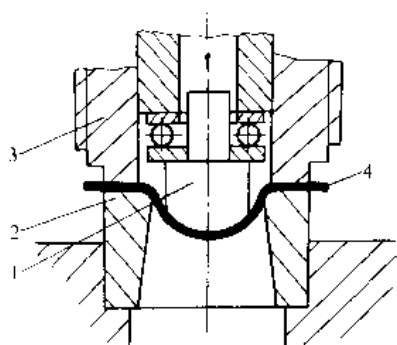


图 4-2-34 杯突试验

1—凸模 2—凹模 3—压边圈 4—试样

放在凹模与压边圈之间压死（压边力取 10kN），测出试样刚好破裂时的凸模压入深度 I_E 。杯突试验是模拟胀形工艺，所以试验值 I_E 可作为材料的胀形成形性能

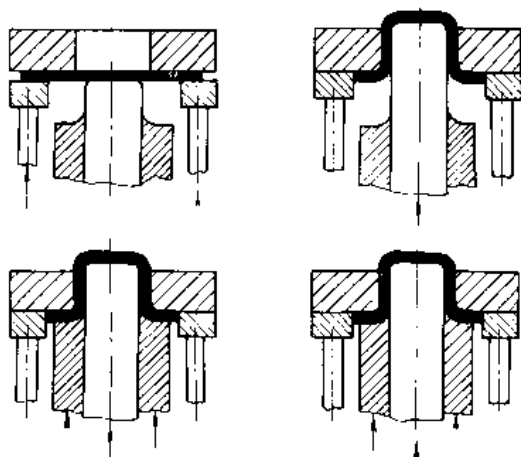
指标。 I_E 值大，胀形成形性能好。

6.2 拉深力对比试验 (JB4409.2—88)

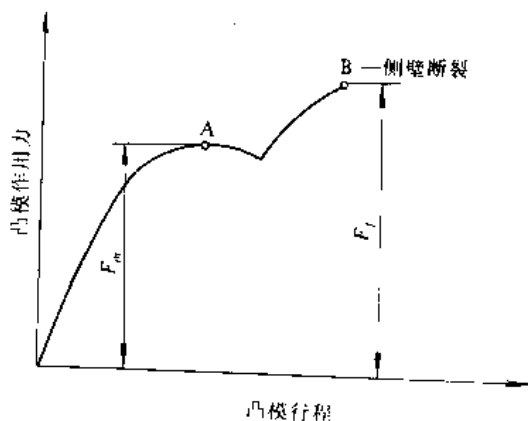
拉深力对比试验（也称 Engelhardt 试验或 TEP 试验）。如图 4-2-35 所示。试验时，先用外压边圈压紧试样（直径 $\phi 52\text{mm}$ ），启动凸模（直径 $\phi 30\text{mm}$ ）进行拉深，并测出最大拉深力 F_m ；然后用内压边圈将试样凸缘压死，通过凸模继续加载直至破裂，测得破裂时的极限载荷 F_f 。试验结束后按下式计算 T 值，并作为材料的拉深成形性能指标。

$$T = \frac{F_f - F_m}{F_f} \times 100\%$$

T 值越大，表明试样到拉深极限的富裕量越大，拉深性能越好。



a)



b)

图 4-2-35 TEP 试验

a) 试验方法 b) 力—行程曲线

6.3 冲杯试验 (JB4409.3—88)

冲杯试验（也叫 Swift 拉深试验、LDR 试验），是采用 $\phi 50\text{mm}$ 的平底凸模将试样拉深成形（图 4-2-36）。试验过程中，采用逐级增大试样直径 D_0 的办法，测定杯体底部不被拉破而又能将凸缘全部拉入凹模的最大直径 $D_{0\text{max}}$ ，并用下式计算极限拉深比（LDR）作为拉深成形性能指标。

$$LDR = D_{0\text{max}} / d_p$$

LDR 越大，材料的拉深性能越好。

6.4 扩孔试验 (JB4409.4—88)

图 4-2-37 是扩孔试验的示意图。试验时，将试样凸缘压死，凸模端部芯杆插入试样孔中，随着凸模运

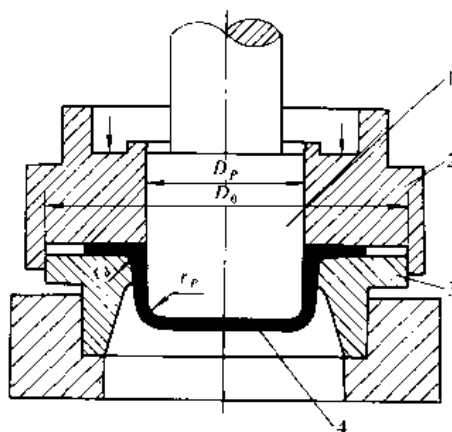


图 4-2-36 冲杯试验

1—凸模 2—压边圈 3—凹模 4—试样



动,内孔扩大,直至孔边缘出现裂纹为止。扩孔试验的性能参数

$$\lambda = \frac{d_f - d_0}{d_0} \times 100\%$$

式中 d_0 ——试样内孔的初始直径 (mm);

d_f 孔缘破裂时的孔径平均值, $d_f = \frac{1}{2} (d_{fmax} + d_{fmin})$ (mm)。

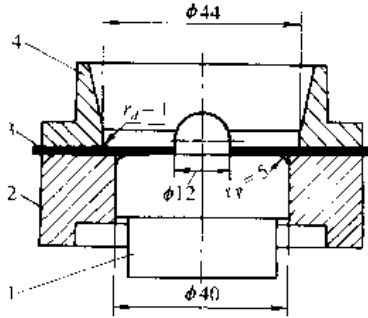


图 4-2-37 扩孔试验

1—凸模 2—压边圈 3—试样 4—凹模

板料厚度为 1.0~2.0mm, 试件直径 $D_0 \geq 70$ mm

6.5 锥杯试验 (JB4409.6—88)

锥杯试验(福井试验)是通过钢球把试样冲成锥杯(图 4-2-38),当发现材料破裂时停止试验,测量杯口的最大直径 D_{max} 和最小直径 D_{min} ,并用下式计算锥杯试验值 CCV 。锥杯试验参数可按表 4-2-9 选取。

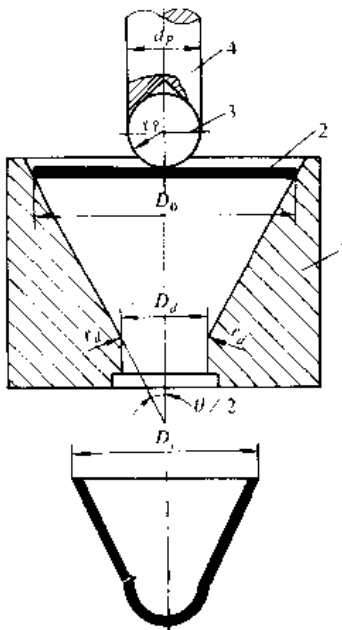


图 4-2-38 锥杯试验

1—凹模 2—试样 3—钢球 4—凸模

$$CCV = \frac{1}{2} (D_{max} + D_{min})$$

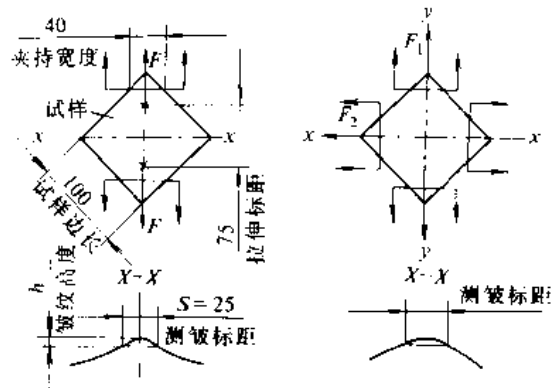
表 4-2-9 锥杯试验参数 (JB4409.6—88)

(mm)

型 号	13 型	17 型	21 型	27 型
板厚	0.5~0.8	0.8~1.0	1.0~1.3	1.3~1.5
凹模开启角度 θ (°)	60	60	60	60
凹模孔直径 D_d	14.60	19.95	24.40	32.00
凹模圆角半径 r_d	3.0	4.0	6.0	8.0
凸模直径 d_p	12.70	17.46	20.64	26.99
钢球半径 r_p	$D_p/2$	$D_p/2$	$D_p/2$	$D_p/2$
试片直径 D_0	36	50	60	78

6.6 方板对角拉伸试验

方板对角拉伸试验 (YBT) 分为单向对角拉伸和双向对角拉伸两种。两种方法的试样尺寸、拉伸标距、夹持宽度等均相同。该试验的示意图见图 4-2-39。



a)

b)

图 4-2-39 方板对角拉伸试验

a) 单向对角拉伸 b) 双向对角拉伸

单向对角拉伸试验可在普通材料试验机上进行。此时,只沿试样上某一指定的对角线方向加载拉伸,至试样上的测量标距伸长 1% 时测量方板中部的起皱高度 h 。测皱时可用图 4-2-40 所示的简易测皱装置。

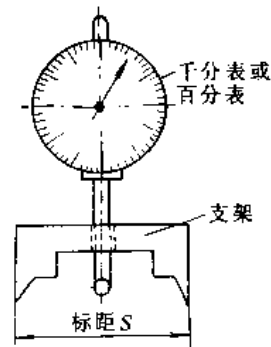


图 4-2-40 简易测皱装置



进行双向对角拉伸时,可在两个方向上同时加载,也可以不同时加载,视试验要求而定。它主要是用来研究加载方式和变形路径对材料起皱特性的影响。方板双向对角拉伸,需要专用试验设备。

在形状冻结性方面,用卸载前后皱高的变化量 Δh 来评定回弹的大小。

方板对角拉伸试验的结果,可用于研究解决复杂形状零件冲压成形中的贴模性和形状冻结性。

7 板料成形性能参数间的相关性

板料的冲压成形性能试验有间接试验(如拉伸试验)和直接试验(如模拟试验)。前者的结果能够在相当大的程度上反映板料的冲压成形性能,但是由于在应力状态上与真实冲压成形时存在一定的差别,往往只能通过分析定性地说明问题;后者的结果只能反映一种特定的成形性能,而且受诸多人为因素的影响,使

其波动性较大。分析这两种试验结果之间的相关性,有助于深入理解各种性能参数与指标的实质,进一步开发拉伸试验的潜力,避免模拟试验的盲目性。

7.1 板料力学性能参数与成形性能间的相关性

各种冲压工艺的应力状态与应变状态区域如表4-2-10所示。可以发现,无论是由变形区破坏还是由传力区破坏决定材料的成形极限,破裂处的应力与应变状态大多数属于拉伸类,即板平面内的两个主应力 σ_r 与 σ_θ 基本上在单拉到等双拉的应力区范围内变化。常规拉伸试样为单向拉应力状态,这与大部分冲压工艺的应力状态是不一致的。因此,从常规拉伸试验的力学性能参数(强度指标与塑性指标)中单取一项,很难找到与不同性质的冲压成形工艺间有直接的对应关系。作为补充,有缺口试样和带孔试件的拉伸试验。

表 4-2-10 各种冲压工艺的应力状态与应变状态区域

冲压成型工艺	应力状态	应力状态区	应变状态区	应力状态类别
胀形	$\sigma_r > 0$ $\sigma_\theta > 0$			拉伸类
扩孔	$\sigma_\theta > 0$ $\sigma_r > 0$			拉伸类
翻边	$\sigma_\theta > 0$ $\sigma_r > 0$			拉伸类
拉深	凸缘部分 (压区) $ \sigma_\theta > \sigma_r$			压缩类
	其余部分 (拉区) $\sigma_r > \sigma_\theta $			拉伸类
弯曲	外层 (拉区) $\sigma_r > 0, \sigma_\theta > 0$			拉伸类
	内层 (压区) $\sigma_r < 0, \sigma_\theta < 0$			压缩类



采用逐步回归，不断对回归方程和回归系数进行显著性检验，不同冲压工艺的板料成形性能参数与拉伸试验值间的关系如表4-2-11。

表4-2-11 板料成形性能参数与拉伸试验值的关系

性能参数	常规试样	缺口试样	带孔试样
LDR			$\propto \Delta\delta^{(2)}$
I_E		$\propto 1/\frac{\sigma_t^{(1)}}{\sigma_b^{(1)}}$	
K	$\propto \delta$		
λ		$\propto \frac{\sigma_s^{(1)}}{\sigma_b^{(1)}}, \delta^{(1)}$	
CCV			$\propto 1/\delta_v^{(2)}$

注：1. 液压胀形试验值 $K=(h_{max}/D_d)^2$ ，其中 h_{max} ——最大胀形高度 (mm)； D_d ——凹模口部直径 (mm)。
2. 总伸长率 δ ，均匀伸长率 δ_u ， $\Delta\delta=\delta-\delta_u$ 。上标 (1) 为用缺口试样测得，上标 (2) 为带孔试样测得。
3. 摘自杨玉英等，拉伸试验值与板材成形性能参数的相关性研究，第一次中日冲压学术会议论文集，北京：中国机械工程学会锻压专业学会，1991，17~19页。

YBT 起皱高度 h 与常规试样拉伸得到的力学性能参数间的关系如图4-2-41。

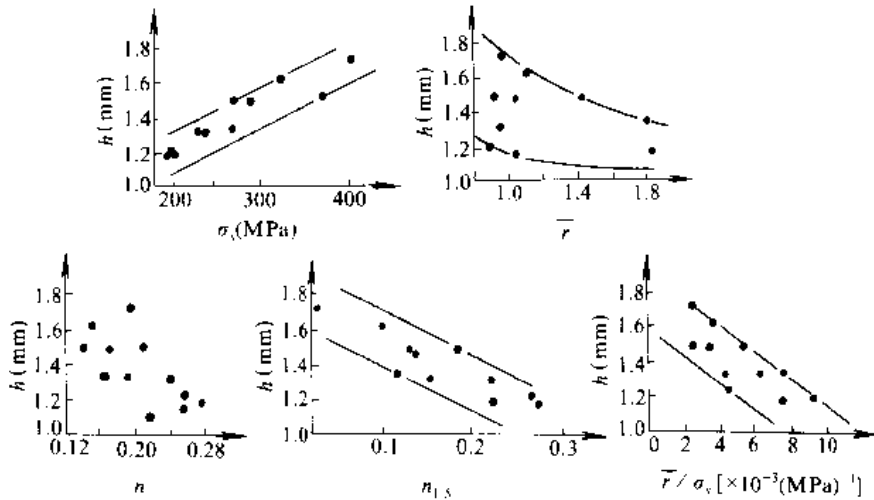


图4-2-41 YBT 起皱高度 h 与力学性能间的关系

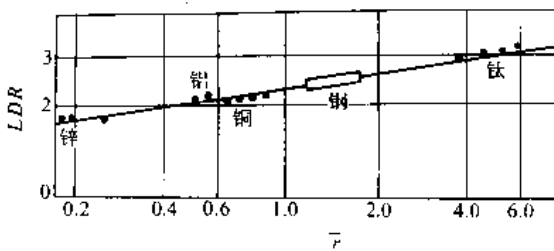


图4-2-42 r 值与 LDR 的关系

(摘自胡世光，板料冷压成形原理，北京：国防工业出版社，1979，89页)

板料的成形性能是受力学性能参数的综合影响。应用多元统计分析，可望更进一步地揭示板料的常规拉伸试验值与成形性能间的相关性。

7.2 板料 n 、 r 值及 x 值与成形性能间的相关性

表4-2-12 列出了常用的8种国产冲压板料的 n 值与成形性能参数 h 、 λ 、 K 、 β (极限翻边率 $\beta = \ln \frac{d_0}{d_t}$) 之间的相关系数。不难看出 n 值可用作评定板料的胀形、扩孔、伸长类翻边等冲压成形性能。

表4-2-12 n 值与 h 、 λ 、 K 、 β 的相关系数

相关系数	h	λ	K	β
n	0.8913	0.9233	-0.8849	0.8991

注：1. 常用的3种国产板材的牌号为08、15，镀锌板，不锈钢板，A1，L3，T2，H62。
2. 测定 h 、 λ 、 K 、 β 的试片尺寸为 80×80 mm，每种试样均测定了4件，取其平均值。
3. 试验冲头半径 $R10$ mm，上模孔径 $\phi 27$ mm，压边圈孔径 $\phi 33$ mm，试验设备为 BT6 杯突试验机。

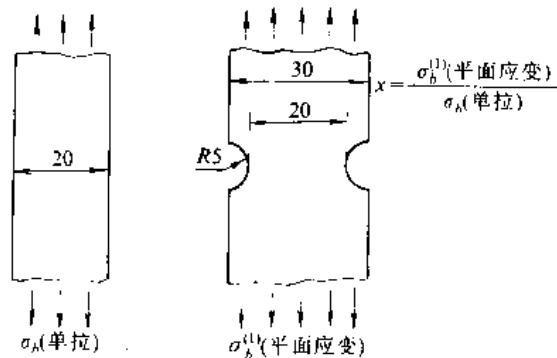


图4-2-43 x 值的求法



板料的 r 值与冲杯试验值 LDR 的关系如图 4-2-42, 它们之间具有较好的相关性。对 6 种常用冲压板料 (08、15 钢、镀锌板、不锈钢板、T2、H52) 的研究, 证实 r 值与 TZP 试验值 T 的相关系数为 0.8810。因此, 可以认为 r 值能较好地反映板料拉深的冲压性能。

x 值是缺口试样与常规试样拉伸时的抗拉强度之比, 即 $x = \sigma_b^{(1)} / \sigma_b$ (图 4-2-43)。它与其他成形性能

评定指标间的相关系数见表 4-2-13。

表 4-2-13 x 值与其他成形性能评定指标间的相关系数

相关系数	r	n	h	λ	K	β
x	0.9603	0.6421	0.7174	0.8251	-0.8088	0.8484

第3章 矫正

轧制材料及金属压力加工半成品的瓢曲、弧弯、波浪形和弯曲等缺陷, 应矫正后才能划线、切割或转其他工序。一般轧制材料下料前的允许偏差见表 4-3-1。

表 4-3-1 轧材下料前的允许偏差 (mm)

偏差名称	简图	允许值
钢板、扁钢的局部挠度		$t \geq 14$ $f \leq 1$ $t < 14$ $f \leq 1.5$
角钢、槽钢、工字钢、管子的不直度		$f \leq \frac{L}{1000}$ $L \geq 5$
角钢两肢的倾斜度		$\Delta \leq \frac{6}{100}$
工字钢、槽钢翼缘的倾斜度		$\Delta \leq \frac{6}{80}$

1 矫正方法

常用的矫正方法有手工矫正、机械矫正及火焰矫正等。

机械矫正是通过弯曲或拉伸完成的, 主要用冷矫。当变形程度大或设备能力不足时可采用热矫。

对允许局部加热的材料, 其局部变形可用火焰矫正。

机械矫正的分类及适用范围见表 4-3-2; 常用矫正设备的矫正精度见表 4-3-3。

表 4-3-2 机械矫正的分类及适用范围

类别	简图	适用范围
拉伸机矫正		1. 薄板瓢曲矫正 2. 型材扭曲矫正 3. 管材、带材、线材的矫直
压力机矫正		板材、管材、型材的局部矫正
辊式机矫正	正辊 	板材、管材、型材的矫正
	斜 	圆截面管材、棒材的矫正
	辊 	圆截面薄壁细管的精矫
		圆截面厚壁管、棒材的矫直



表 4-3-3 常用矫正设备的矫正精度

(mm/m)

设备	矫正范围	矫正精度
多辊板材矫平机	板材矫平	1.0~2.0
多辊角钢矫正机	角钢矫直	1.0
矫直切断机	卷材(棒材,扁钢)矫直切断	0.5~0.7
斜辊矫正机	圆截面管材及棒材的矫正	毛料 0.5~0.9 精料 0.1~0.2
卧式压力弯曲机	工字钢、槽钢的矫直	1.0
立式压力弯曲机	工字钢、槽钢的矫直	1.0
摩擦压力机	坯料的矫直	精料模矫时 0.05~0.15
手动压力机	坯料的矫直	
液压机	大型轧材的矫正	

2 板材矫平——辊矫

2.1 辊矫原理

为使弯曲部分能够矫直,不仅要使板材原始曲率伸直,还要向相反方向再多弯曲一些,才能补偿负荷解除后的弹复。

用多辊矫板机矫板时,板材由轴辊的转动而咬入。当其通过这些轴辊时,受到多种原始曲率伸直和再向相反方向的多次正反交变再弯曲,使弯曲部分产生塑性变形,最终将板材矫平。多辊矫板机见图 4-3-1。

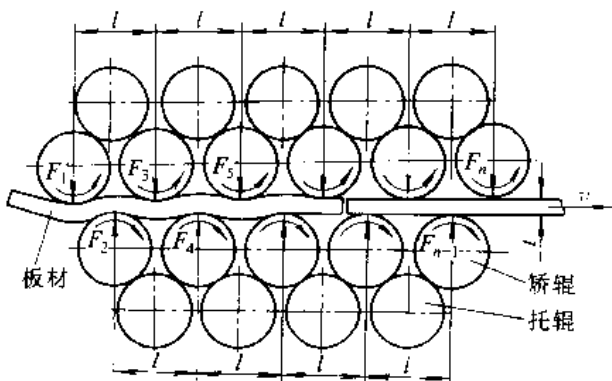


图 4-3-1 多辊矫板机

图 4-3-2 为辊矫原理图。如将具有三种曲率 $1/\rho_{01}$ 、 $1/\rho_{02}$ 、 $1/\rho_{03}$ 的板料弯成同一曲率 $1/\rho_1$, 然后卸载, 则曲率分布将由 x_0 变为 x_1 。若再向反方向弯成曲率 $1/\rho_2$, 卸载后其曲率分布为 x_2 。由图可知, 正反弯曲次数愈多则曲率愈趋均匀 ($x_0 > x_1 > x_2 \dots$), 且曲线很快向纵轴靠拢即板料趋于平直。

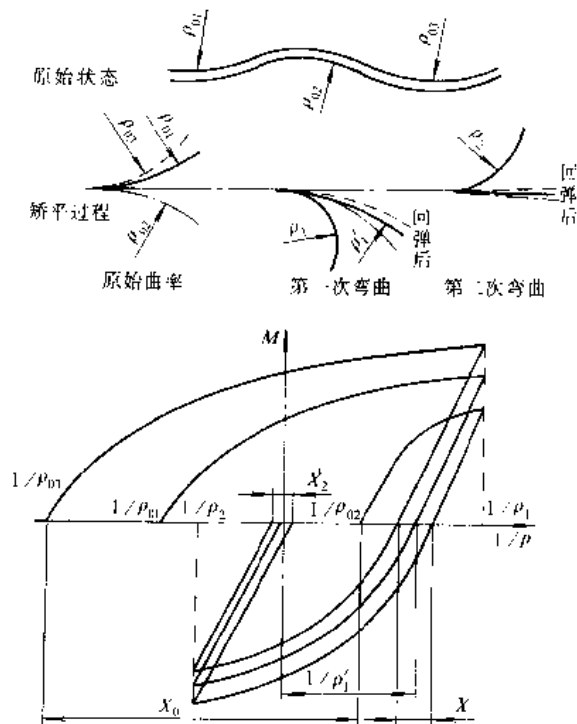


图 4-3-2 辊矫原理图

2.2 矫板特性

根据板材的咬入条件, 可矫曲率半径

$$\rho_{\min} = cl \quad (\text{mm})$$

式中 l ——辊距 (mm);

c ——与辊数 n 有关的常数, 其值如下:

n	5	7	9
c	1.17	0.90	0.80

一般板材需往返多次方可矫平。矫正次数与被矫板材内的应力度系数 α 有关。

$$\alpha = \frac{Et}{2\sigma_s \rho}$$

式中 ρ ——矫正曲率半径 (mm);

t ——被矫板材厚度 (mm);

E ——被矫板材弹性模量 (MPa);

σ_s ——被矫板材屈服强度 (MPa)。

由公式可见, 辊数越多, 矫正曲率 $1/\rho$ 越大则 α 越



大，矫正质量越高；板厚越小，材料屈服极限越高，则 α 越小，越难矫平。一般：


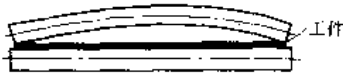
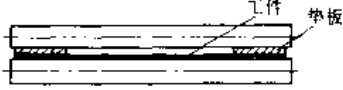
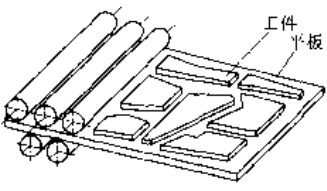
(4) 高强度钢最好使 $\alpha \geq 10$ 。

- (1) $\alpha \leq 1$ 时无法矫平；
- (2) $\alpha = 4 \sim 6$ 时，需三次才能矫平；
- (3) $\alpha > 6$ 时，只需一次就能矫平。

2.3 特殊情况的矫平

板材有特殊情况时，需采取一定的措施才能矫平，见表 4-3-4。

表 4-3-4 几种特殊情况的矫平

钢板特征	简图	矫平方法
松边钢板（中部较平，两侧纵向呈波浪形）		调整托辊，使上辊向下挠曲
紧边钢板（中部纵向呈波浪形两侧较平）		调整托辊，使上辊向上挠曲
单边钢板（一侧纵向呈波浪形另侧较平）		调整托辊，使上辊倾斜
小块钢板		将厚度相同的小块钢板布于大平板上矫正后翻转再矫

3 管材及型材矫正

管材及棒材可用斜辊机、正辊机、压力机及拉伸机矫正。其中以斜辊机的矫正效率和精度最高，应用最广泛。常用斜辊机结构见表 4-3-5。

型材可用弯曲压力矫正机或带成型辊的正辊机矫正。一般型材可冷矫的最小曲率半径及最大挠度见表 4-3-6。超出此范围应采取适当措施防止型材截面畸变和扭转。



表 4-3-5 常用斜辊机结构特点

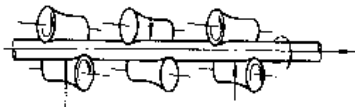
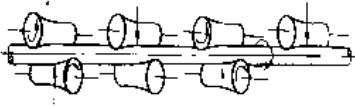
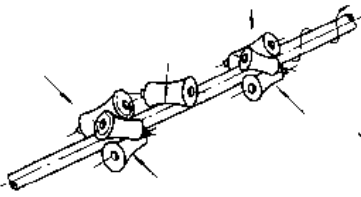
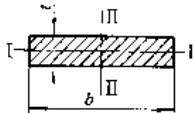
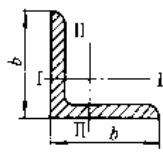
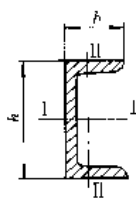
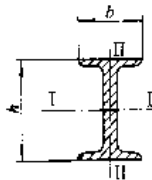
型 式	简 图	特 点
2-2-2 型		1. 主动辊成对布置以保证对称施加圆周力, 使工件保持稳定 2. 具有一个矫正循环
2-2-2-1 型		1. 上动辊成对布置以保证对称施加圆周力, 使工件保持稳定 2. 具有两个矫正循环, 矫正质量较高
3-1-3 型		1. 具有一个矫正循环 2. 由三个辊子构成夹持孔型, 比两个辊子的夹持力大, 矫正能力大, 矫正不圆度效果好

表 4-3-6 型材冷矫最小曲率半径及最大挠度

(mm)

型材名称	简 图	中 性 轴	最小弯曲半径	最大挠度	备 注
扁 钢		I—I I—I	50t 100b	$L^2/400t$ $L^2/800b$	L—弯曲弦长
角 钢		I—I II—II	90b	$L^2/720b$	
槽 钢		I—I II—II	50h 90b	$L^2/400h$ $L^2/720b$	
工 字 钢		I—I II—II	50h 50b	$L^2/400h$ $L^2/400b$	

4 矫正力

1. 矫正力计算 矫正力可按表 4-3-7 中公式近似计算。

2. 矫板规格换算 矫板机最大负荷特性

$$W_L = \frac{\sigma_s b_{\max} t_{\max}^2}{1000} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (\text{表 4-3-9} \sim \text{表 4-3-11})$$



表 4-3-7 矫正力计算公式

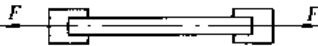
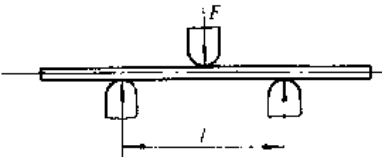
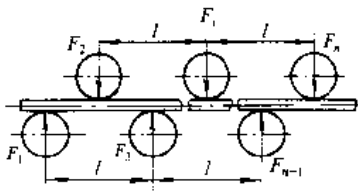
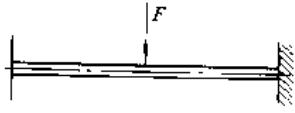
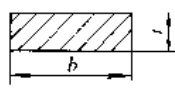
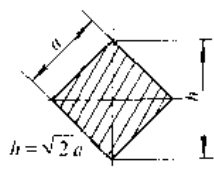
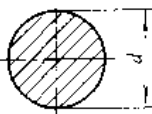
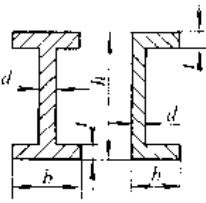
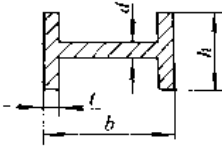
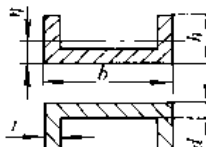
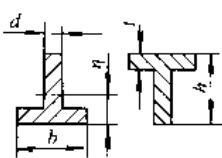
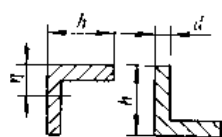
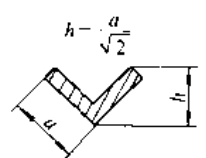
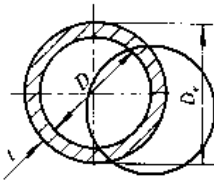
受力简图	适用设备	公 式	备 注
	拉伸矫正机	$F = \sigma_s A$	F ——矫正力 (N) F_{max} ——单根矫正辊最大矫正力 (N) ΣF ——各矫正辊总矫正力 (N) M ——塑性弯曲力矩 (N·mm) K_1 ——型材截面形状系数 (见表 4-3-8) A ——材料截面积 (mm ²) l ——辊距 (mm) n ——辊数
	弯曲矫正压力机, 2-2-2 型斜辊机 (不计夹持工件力)	$F = \frac{4M}{l}$	
	正辊机 2-2-2-2-1 型斜 辊机 (不计夹持工件 力)	$F_{max} = F_{i1} = \frac{8M}{l}$ $\Sigma F = \frac{4(n-2)}{l} \left(\frac{1}{K_1} + 1 \right) M$ $M = K_1 \sigma_s W$	
	3-1-3 型斜辊 机	$F = \frac{8M}{l}$	

表 4-3-8 型材截面形状系数 K_1

截面形状及 弯曲方式	简 图	公 式	数 值
矩 形			$K_1 = 1.5$
正方形侧放			$K_1 = 2.0$
圆 形			$K_1 = 1.7$
工字形及槽形 竖放		$K_1 = 1.5h \frac{bh^2 - (b-d)(h-2t)^2}{bh^3 - (b-d)(h-2t)^3}$	标准截面时 $K_1 = 1.2$



(续)

截面形状及弯曲方式	简图	公 式	数 值															
工字形横放		$K_1 = 1.5h \frac{2th^2 + (b-2t)d^2}{2th^3 + (b-2t)d^3}$	标准截面时 $K_1 = 1.8$															
槽形横放		$K_1 = \frac{3ht(h-\eta)^2}{b\eta^3 - (b-2t)(\eta-d)^3 + 2t(h-\eta)^3}$	标准截面时 $K_1 = 1.55$															
T字形翼缘朝内或朝外		$K_1 = \frac{1.5hd(h-\eta)^2}{b\eta^3 - (b-d)(\eta-t)^3 + d(h-\eta)^3}$																
等边角形翼缘朝内或朝外		$K_1 = \frac{1.5hd(h-\eta)^2}{h\eta^3 - (h-d)(\eta-d)^3 + d(h-\eta)^3}$	标准截面时 $K_1 = 1.5$															
等边角形侧放			$K_1 = 1.5$															
管子		$K_1 = \frac{4(3-6t_x+4t_x^2)}{3\pi(1-t_x)(1-2t_x+2t_x^2)}$ 或 $K_1 \approx 1.7(1-\beta^3)/1-\beta^6$ $t_x = \frac{t}{D_e} \quad \beta = \frac{D_i}{D_e}$	<table border="1"> <tr> <td>t_x</td> <td>K_1</td> <td>β</td> </tr> <tr> <td>0~0.05</td> <td>1.3</td> <td>0.9~1</td> </tr> <tr> <td>0.06~0.12</td> <td>1.4</td> <td>0.75~0.89</td> </tr> <tr> <td>0.13~0.20</td> <td>1.5</td> <td>0.6~0.74</td> </tr> <tr> <td>0.21~0.30</td> <td>1.6</td> <td>0.4~0.59</td> </tr> </table>	t_x	K_1	β	0~0.05	1.3	0.9~1	0.06~0.12	1.4	0.75~0.89	0.13~0.20	1.5	0.6~0.74	0.21~0.30	1.6	0.4~0.59
t_x	K_1	β																
0~0.05	1.3	0.9~1																
0.06~0.12	1.4	0.75~0.89																
0.13~0.20	1.5	0.6~0.74																
0.21~0.30	1.6	0.4~0.59																

式中 b_{max} 设备名义最大矫正板宽 (mm);
 t_{max} 设备名义最大矫正板厚 (mm);
 σ_s 设备名义矫正板材屈服强度 (MPa)。

荷和接触应力太大,为了安全,一般只对板材的屈服强度和厚度进行换算,即

$$\sigma_s t_{max}^2 = \sigma_{s1} t_{min}^2$$

(1) 可矫最大板厚

无托辊矫板机,按最大负荷特性换算:

$$\frac{\sigma_{s1} b_1 t_{1max}^2}{1000} = W_r$$

式中 σ_{s1} 被换算板材的屈服强度 (MPa);
 b_1 被换算板材的宽度 (mm);
 t_{1max} 被换算板材的厚度 (mm)。

有托辊矫板机,由于板料窄到一定程度后托辊负

(2) 可矫最小板厚

矫正机的结构参数决定后,可矫最小板厚与板材屈服强度成正比,换算公式如下:

$$t_{1min} = \frac{\sigma_{s1}}{\sigma_s} t_{min}$$

式中 t_{1min} 被换算板材的最小厚度 (mm);

t_{min} 设备名义矫正板材最小厚度 (mm)。



表 4-3-9 冷矫钢板宽 1000mm 以上矫正机基本参数

组别	辊数 n	辊距 l (mm)	辊径 d (mm)	钢板最小厚度 t_{min} (mm) $(\sigma_s \leq 400\text{MPa})$	辊身有效长度 L (mm)								最大矫正速度 v_{max} (m/s)	主电机最大功率 P_{max} (kW)	最大负荷特性 W_r (N·m)
					1200	1450	1700	2000	2300	2800	3500	4200			
					钢板宽度 b (mm)										
					1000	1250	1500	1800	2000	2500	3200	4000			
					钢板最大厚度 t_{max} (mm)										
1	23	25	23	0.2	0.6								1	13	141
2	23	32	30	0.3	1.2	1	0.9						1	30	477
3	23	40	38	0.4	2	1.6	1.5	1.4					1	55	1383
4	21	50	48	0.5	2.8	2.5	2.2	2	2				1	80	3138
5	17 (21)	63	60	0.8	4	3.8	3.5	3.2	3				1	95 (110)	7060
6	17	80	75	1	5.5	5	4.5	4	4				1	130	12552
7	13	100	95	1.5	8	7	7	6	6				1	155	28241
8	13	125	120	2		10	9	8	8				0.5	130	50207
9	11	160	150	3		15	14	13	12				0.5	130	112965
10	11	200	180	4			19	18	17	16			0.3	245	251034
11	9	250	220	5					25	22	20		0.3	180	502067
12	9	300	260	6					32	28	25		0.3	210	784480
13	7	400	340	10						40	36	32	0.2	180	1608184
14	7	500	420	16						50	45	40	0.1	110	2510336

表 4-3-10 冷矫带钢宽度 600mm 以下矫正机基本参数

组别	辊数 n	辊距 l (mm)	辊径 d (mm)	钢板最小厚度 t_{min} (mm) $\sigma_s \leq 40\text{MPa}$	辊身有效长度 l (mm)		最大矫正速度 v_{max} (m/s)	主电机最大功率 P_{max} (kW)	最大负荷特性 W_r (N·m)
					500	800			
					钢板宽度 b (mm)				
					400	600			
					钢板最大厚度 t_{max} (mm)				
1	17	25	23	0.2	1	0.8	1	7.5	151
2	17	32	30	0.3	1.5	1.2	1	17	339
3	13	50	48	0.5	2.5	2	1	22	941
4	11	80	75	1	5	4	1	30	3766
5	9	125	120	2	10	8	0.5	22	15101

冶金工业出版社



表 4-3-11 冷矫非铁金属板材矫正机基本参数

组别	辊数 n	辊距 l (mm)	辊径 d (mm)	板材最小厚度 t_{min} (mm) ($\sigma_s \leq 300\text{MPa}$)	辊身有效长度 l (mm)					最大矫正速度 v_{max} (m/s)	主电机最大功率 P_{max} (kW)	最大负荷特性 W_p (N·m)
					1200	1450	1700	2300	2800			
					板材宽度 b (mm)							
					1000	1250	1500	2000	2500			
					板材最大厚度 t_{max} (mm)							
1	23	25	23	0.3	0.7					13	144	
2	23	32	30	0.4	1.2	1	1		1	30	441	
3	23	40	38	0.5	2	1.8	1.5		1	55	990	
4	21	50	48	0.6	3	2.5	2.5	2	1	80	265	
5	21	63	60	1	4.5	4	4	3.5	3	110	6619	
6	17	80	75	1.5	6	5.5	5	4.5	4	130	11767	
7	17	100	95	2		8	8	6.5	6	180	26476	
8	13	125	120	3		11	10	9	8	0.5	130	47069
9	11	160	150	4		17	16	13	12	0.5	130	105905
10	11	200	180	5			23	20	18	0.5	245	238286

第4章 冲 裁

冲裁是利用冲模使材料分离的冲压工艺,它是落料、冲孔、切断、切边、切口、剖切等工序的总称。

合理时,上、下裂纹向内扩展最后重合,材料分离,如图 4-4-1c 所示,形成粗糙锥形剪裂带。

1 冲裁变形过程

冲裁时,材料的变形过程经历三个阶段:

(1) 弹性变形阶段。凸模加压,材料发生弹性压缩与弯曲并略有挤入凹模口,如图 4-4-1a 所示。

(2) 塑性变形阶段。材料内应力达到屈服强度,凸模压入材料,产生纤维的弯曲和拉伸,得到光亮的剪切带,如图 4-4-1b 所示。

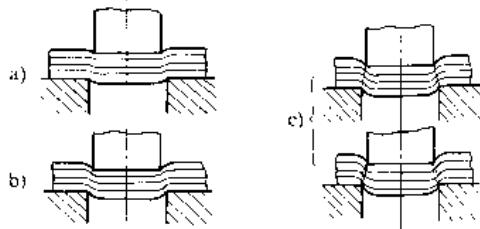


图 4-4-1 冲裁变形过程

(3) 剪裂分离阶段。材料内应力达到抗剪强度,冲裁力达到最大值,光亮带终止。由于应力集中和出现拉应力,靠近凸、凹模刃口处的材料出现裂纹。在间隙值

2 冲裁间隙

冲裁间隙系指凸、凹模刃口间的缝隙的距离,用符号 z 表示,见图 4-4-2。

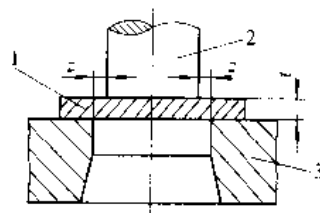


图 4-4-2 冲裁间隙

1—材料 2—凸模 3—凹模 t —料厚

2.1 冲裁间隙选用依据

选用冲裁间隙值的主要依据是在保证冲裁件断面质量和尺寸精度的前提下,使模具寿命最高,对下列情况,应酌情增减冲裁间隙:

(1) 在同样条件下,冲孔间隙可比落料时大些。



(2) 冲小孔 ($d < t$) 时, 凸模易折断, 间隙应取大些。但应采取措施防止废料回升。

(3) 硬质合金模具应比钢模的间隙大30%左右。

(4) 凹模为斜壁刃口时间隙应比直壁刃口小。

(5) 电火花加工凹模型孔时, 其间隙应比磨削加工小 $(0.5 \sim 2)\%t$ 。

(6) 复合模的凸凹模壁厚较薄时, 为防止胀裂, 应放大冲孔间隙。

(7) 采用弹性压料装置时间隙可大些。

(8) 高速冲压时模具容易发热, 间隙应增大, 如行程次数超过 200 次/min 时, 间隙应增大 10% 左右。

(9) 热冲时间隙应减小。

(10) 硅钢片随含硅量增加, 间隙相应取大些。

(11) 对需攻丝的孔, 间隙应取小值。

2.2 冲裁间隙分类

根据冲件剪切面质量、尺寸精度、模具寿命和力能消耗等因素, 将冲裁间隙分成 I、II、III 三种类型, 见表 4-4-1。

按金属材料的种类、供应状态和厚度给出相应于表 4-4-1 的三类间隙比值见表 4-4-2。

非金属材料红纸板、胶纸板、胶布板的间隙比值分两类: 相当于表 4-4-2 中 I 类时, 取 $(0.5 \sim 2)\%t$; 相当于 II 类时取 $(>2 \sim 4)\%t$ 。纸、皮革、云母纸的间隙比值取 $(0.25 \sim 0.75)\%t$ 。

表 4-4-1 冲裁间隙分类


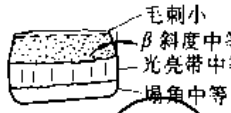
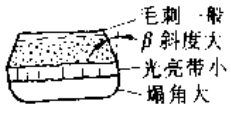
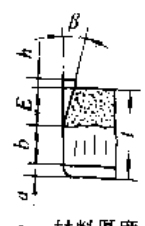

类别		I	II	III	
分类依据					
剪切面特征					
冲件剪切面质量		塌角深度 a	$(4 \sim 7)\%t$	$(6 \sim 8)\%t$	$(8 \sim 10)\%t$
	光亮带 b	$(35 \sim 55)\%t$	$(25 \sim 40)\%t$	$(15 \sim 25)\%t$	
	剪裂带 E	小	中	大	
	毛刺高度 h	一般	小	一般	
	斜度 β	$4^\circ \sim 7^\circ$	$7^\circ \sim 8^\circ$	$8^\circ \sim 11^\circ$	
冲件精度	挠度 f		稍小	小	较大
	尺寸精度	落料件	接近凹模尺寸	稍小于凹模尺寸	小于凹模尺寸
冲孔件		接近凸模尺寸	稍大于凸模尺寸	大于凸模尺寸	
模具寿命		较低	较高	最高	
力能消耗	冲裁力	较大	小	最小	
	卸、推料力	较大	最小	小	
	冲裁功	较大	小	稍小	
适用场合		冲件剪切面质量、尺寸精度要求较高时, 采用小间隙	冲件剪切面质量、尺寸精度要求一般时, 采用中等间隙, 因残余应力小, 能减小破裂, 适于后续塑性变形的工件	冲件剪切面质量、尺寸精度要求不高时, 应优先采用大间隙, 以利于提高冲模寿命	



表 4-4-2 冲裁间隙 (单边) 比值 (%)

类别	I	II	III
低碳钢 08F、10F、10、20、Q235A、Q215B	3.0~7.0	7.0~10.0	10.0~12.5
中碳钢 45 不锈钢 1Cr18Ni9Ti、4Cr13 膨胀合金 (可伐合金) 4J29	3.5~8.0	8.0~11.0	11.0~15.0
高碳钢 T8A、T10A 65Mn	8.0~12.0	12.0~15.0	15.0~18.0
纯铝 L2、L3、L4、L5 铝合金 (软态) LF21 黄铜 (软态) H62 紫铜 (软态) T1、T2、T3	2.0~4.0	4.5~6.0	6.5~9.0
黄铜 (硬态) 铅黄铜 紫铜 (硬态)	3.0~5.0	5.5~8.0	8.5~11.0
铝合金 (硬态) LY22 锡磷青铜 铝青铜 铍青铜	3.5~6.0	7.0~10.0	11.0~13.0
镁合金	1.5~2.5		
硅钢	2.5~5.0	5.0~9.0	

2.3 冲裁间隙选用方法

选用冲裁间隙时,应针对冲件技术要求,使用特点和生产条件等因素,首先按表 4-4-1 确定拟采用的间隙类别,然后按表 4-4-2 相应选取该类间隙的比值,经计算便可得到间隙数值。

按表 4-4-2 选取冲裁间隙比值时,还有以下要求:

(1)表中适用于厚度为 10mm 以下的金属材料。考虑到料厚对间隙比值的影响,将料厚分成 0.1~1.0; 1.2~3.0; 3.5~6.0; 7.0~10.0mm 四档,当料厚为 0.1~1.0mm 时,各类间隙比值取下限值,并以此为基础,随着料厚的增加,再逐档递增 (0.5~1.0)%t (非铁金属和低碳钢取小值,中碳钢和高碳钢取大值)。

(2)凸、凹模的制造偏差和磨损均使间隙变大,故新模具应取最小间隙。

(3)其他金属材料的间隙比值可参照表中抗剪强度相近的材料选取。

3 冲裁力

3.1 冲裁力计算

冲裁力 F_0 的大小取决于冲裁内外周边的总长度、

材料的厚度和抗拉强度按下式计算:

$$F_0 = f_1 L t \sigma_b \quad (\text{N})$$

式中 f_1 ——系数,取决于材料的屈强比,可从图

4-4-3 求得;

L ——冲裁内外周边的总长 (mm);

t ——材料厚度 (mm);

σ_b ——材料的抗拉强度 (MPa)。

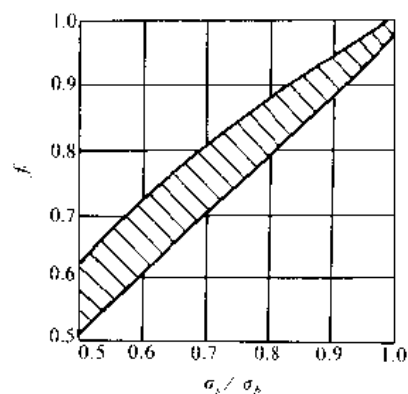


图 4-4-3 f_1 与材料屈强比的关系

3.2 降低冲裁力的方法

3.2.1 波形刃口

波形刃口冲裁时材料是逐步分离的,可以减小冲



裁力和冲裁时的振动和噪声。其结构按冲裁要求决定，落料时为了得到平整的工件，凸模做成平刃，凹模做成波刃（图 4-4-4a, b），冲孔时则相反（图 4-4-4c, d）。波形刃口应力求对称。

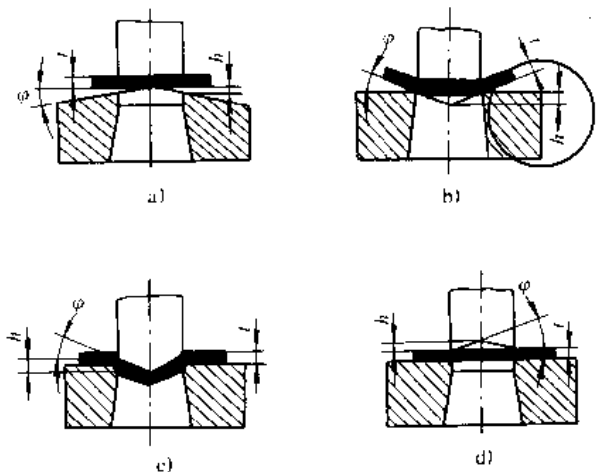


图 4-4-4 波刃结构

a)、b) 落料 c)、d) 冲孔

波形刃口冲裁力 F_s 按下式计算，减力程度与波峰高度 h 波角 φ 有关

$$F_s = kF_0 \quad (\text{N})$$

式中 k — 减力系数（见表 4-4-3）；

F_0 — 平刃口冲裁力（N）。

表 4-4-3 波刃参数

t (mm)	h (mm)	φ	k
<3	$2t$	<5°	0.5~0.3
3~10	t	<8°	0.8~0.5

3-2-2 阶梯凸模

在多个凸模冲裁中，凸模可设计成高低不同的阶梯形式（图 4-4-5）由于各凸模不同时接触材料，因此总冲裁力不是各凸模冲裁力之和。在决定压力机吨位时，应分别计算每个凸模的冲裁力，取其中最大的冲裁力作为确定压力机吨位的依据。

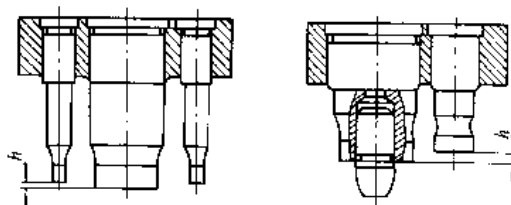


图 4-4-5 阶梯凸模

h —凸模高度差

材料加热红冲也是行之有效的减力方法。

3-3 卸料力、推件力和顶件力计算

冲裁时工件或废料从凸模上卸下的卸料力 F_1 ，从凹模内将工件或废料顺冲裁方向推出的推件力 F_2 ，逆冲裁方向顶出的顶件力 F_3 分别按以下公式计算：

$$F_1 = k_1 F_0 \quad (\text{N})$$

$$F_2 = nk_2 F_0 \quad (\text{N})$$

$$F_3 = k_3 F_0 \quad (\text{N})$$

$$n = \frac{h}{l}$$

式中 F_0 — 冲裁力（N）；

n — 同时卡在凹模内的工件或废料数目；

h — 凹模洞口直壁高度（mm）；

k_1, k_2, k_3 — 分别为卸料力、推件力和顶件力系数，按表 4-4-4 选取。

表 4-4-4 卸料力、推件力和顶件力系数

材 料	t (mm)	k_1	k_2	k_3
钢	≤ 0.1	0.065~0.075	0.1	0.14
	$> 0.1 \sim 0.5$	0.045~0.055	0.065	0.08
	$> 0.5 \sim 2.5$	0.04~0.05	0.055	0.06
	$> 2.5 \sim 6.5$	0.03~0.04	0.045	0.05
	> 6.5	0.02~0.03	0.025	0.03
铝、铝合金		0.025~0.08	0.03~0.07	0.03~0.07
紫铜、黄铜		0.02~0.06	0.03~0.09	0.03~0.09

注： k_1 在冲多孔、大搭边和轮廓复杂时取上限值。



4 排样和搭边

合理的排样应保证材料利用率高,模具结构简单,工件质量好,操作方便,生产率高。

4.1 条料上的排样

有搭边排样示于表4.4-5,无搭边排样示于表4.4-6;条料的宽度精度(见表4.4-7)和送料精度能满足零件的尺寸精度时可以采用无搭边排样,它是节约材料的有效途径。

表 4.4-5 有搭边排样形式

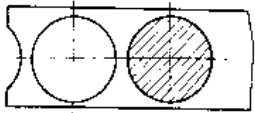
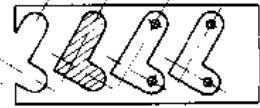

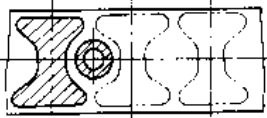
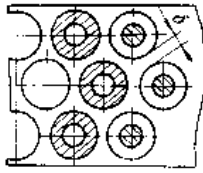
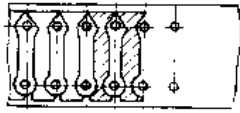
形式	简图	用途
直排		几何形状简单的零件(如圆形等)
斜排		L形或其他复杂外形零件,这些零件直排时废料较多
对排		T、U、I形零件,这些零件直排或斜排时废料较多
混合排		两个材料及厚度均相同的不同零件,适于大批量生产
多排		大批量生产中轮廓尺寸较小的零件
冲裁搭边		大批量生产中小而窄的零件

表 4.4-6 无搭边排样形式

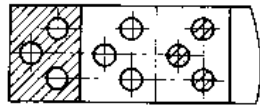
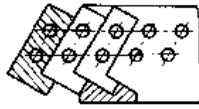
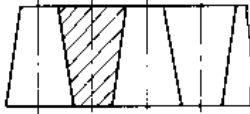
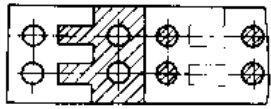
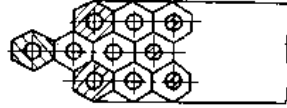
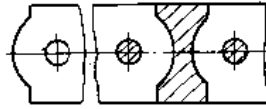
形式	简图	用途
直排		矩形零件
斜排		L形或其他形状零件,在外形上允许有不小的缺陷
对排		梯形零件
混合排		两外形互相嵌入的零件(铰链或U-I形等)
多排		大批量生产中尺寸较小的矩形、方形及六角形零件
冲裁搭边		用宽度均匀的条料或卷料制造的长形件

表 4.4-7 斜刃剪板机下料精度 (mm)

板厚 t	宽 度				
	<50	50~100	100~150	150~220	220~300
<1	+0.2	+0.2	+0.3	+0.3	+0.4
	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.6
1~2	+0.2	+0.3	+0.3	+0.4	+0.4
	-0.4	-0.5	-0.6	-0.6	-0.7
2~3	+0.3	+0.4	+0.4	+0.5	+0.5
	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8
3~5	+0.4	+0.5	+0.5	+0.6	+0.6
	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9

4.2 板料上的排样

板料上排样应注意的事项:

- (1) 注意板料轧制纤维方向以防止弯曲类零件的开裂。
- (2) 如果条料宽度就是工件的尺寸时,其所能达到的尺寸精度就是下料精度,可按表4.4-7确定。
- (3) 手工送料时条料长度不宜超过1~1.5m。
- (4) 当余料尺寸较大又无法避免时,应尽可能保留完整的余料,如图4.4-6b所示,供其他冲压件应用。



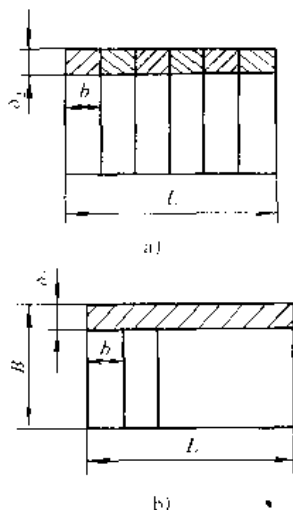


图 4-4-6

a) 余料被剪碎 b) 余料完整

4.3 搭边

冲裁时的合理搭边值见表 4-4-8。

表 4-4-8 冲裁时合理搭边值 (mm)

料厚 t	手送料						自动送料	
	圆形		非圆形		往复送料		a	a_1
	a	a_1	a	a_1	a	a_1		
≤ 1	1.5	1.5	2	1.5	3	2	2.5	2
$> 1 \sim 2$	2	1.5	2.5	2	3.5	2.5	3	2
$> 2 \sim 3$	2.5	2	3	2.5	4	3.5	3.5	3
$> 3 \sim 4$	3	2.5	3.5	3	5	4	4	3
$> 4 \sim 5$	4	3	5	4	6	5	5	4
$> 5 \sim 6$	5	4	6	5	7	6	6	5
$> 6 \sim 8$	6	5	7	6	8	7	7	6
> 8	7	6	8	7	9	8	8	7

注：非金属材料（皮革、纸板、石棉等）的搭边值应比金属大 1.5~2 倍。

5 冲裁件结构工艺性

冲裁件结构工艺性应考虑的原则：

(1) 形状应尽量简单，由规则的几何形状如圆弧与互相垂直的直线所组成，有利于节约材料，减少工序，提高模具寿命和降低工件成本。

(2) 冲裁件的外形和内孔应避免尖角，需有适当的圆角，一般圆角半径 R 应大于料厚的一半，即 $R > 0.5t$ 。

(3) 优先选用圆形孔，由于受凸模强度的限制，冲模冲孔的最小尺寸见表 4-4-9。

表 4-4-9 冲孔的最小尺寸 (mm)

材 料	冲孔最小直径或最小边长	
	圆 孔	方 孔
硬钢	$1.3t$	$1t$
软钢及黄铜	$1t$	$0.7t$
铝	$0.8t$	$0.5t$
夹布胶木及夹纸胶木	$0.4t$	$0.35t$

(4) 冲裁件上应避免窄长的悬臂和凹槽，悬臂和凹槽的宽度 b （见图 4-4-7a）应大于或等于料厚的 2 倍即 $b \geq 2t$ 。对于高碳钢、合金钢等较硬材料允许值应增加 30%~50%，对于黄铜、铝等较软材料允许值可减少 20%~25%。

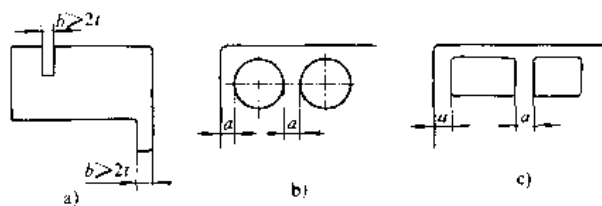


图 4-4-7 悬臂、凹槽、孔边距、孔间距

(5) 冲裁件的孔间距和孔边距 a （见图 4-4-7b、c）应大于或等于料厚的 2 倍即 $a \geq 2t$ 。但要保证 $a > 3 \sim 4\text{mm}$ 。用连续模冲裁且工件精度要求不高时， a 可适当减小，但是不小于 t 。

6 冲裁件尺寸公差

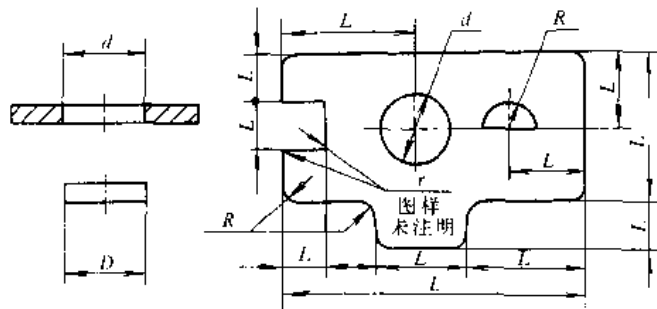
冲裁件长度、孔间距、孔边距、直径的极限偏差按表 4-4-10 确定，分为 A、B、C、D 四个精度等级。

冲裁件圆弧半径 R （见表 4-4-10 图）的极限偏差按表 4-4-11 确定。



表 4-4-10 冲裁件长度 L 、直径 D 、 d 的极限偏差

(mm)



基本尺寸	精度等级	厚度尺寸范围				
		>0.1~1	>1~3	>3~6	>6~10	>10
>1~6	A	±0.05	±0.10	±0.15	—	—
	B	+0.10	±0.15	±0.20	—	—
	C	±0.20	±0.25	±0.30	—	—
	D	±0.40	±0.50	±0.60	—	—
>6~18	A	±0.10	±0.13	±0.15	±0.20	—
	B	±0.20	±0.25	±0.25	±0.30	—
	C	±0.30	±0.40	±0.50	±0.60	—
	D	±0.60	±0.80	±1.00	±1.2	—
>18~50	A	±0.12	+0.15	±0.20	±0.25	±0.35
	B	±0.25	+0.30	+0.35	±0.40	±0.50
	C	±0.50	±0.60	±0.70	±0.80	+1.00
	D	±1.00	±1.20	±1.40	±1.60	±2.00
>50~180	A	±0.15	±0.20	±0.25	±0.30	±0.40
	B	±0.30	±0.35	+0.45	±0.55	±0.65
	C	±0.60	±0.70	±0.90	±1.10	±1.30
	D	±1.20	±1.40	±1.80	±2.20	±2.60
>180~400	A	±0.20	±0.25	±0.30	±0.40	±0.50
	B	+0.40	±0.50	+0.60	±0.80	+1.00
	C	+0.80	±1.00	±1.20	±1.60	+2.00
	D	±1.40	±1.60	±2.00	±2.60	±3.20
>400~1000	A	±0.35	+0.40	±0.45	+0.50	±0.70
	B	±0.70	±0.80	±0.90	+1.00	+1.40
	C	+1.40	±1.60	+1.80	±2.00	±2.80
	D	±2.40	±2.60	±2.80	+3.20	±3.60
>1000~3150	A	±0.60	±0.70	+0.80	±0.85	±0.90
	B	+1.20	+1.40	+1.60	+1.70	±1.80
	C	±2.40	±2.80	±3.00	+3.20	+3.60
	D	+3.20	±3.40	±3.60	±3.80	±4.00



表 4-4-11 冲裁圆弧半径 R 的极限偏差

(mm)

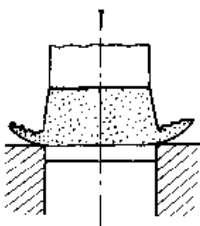
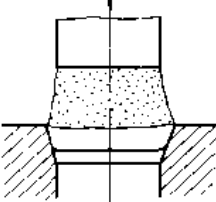
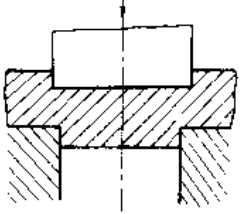
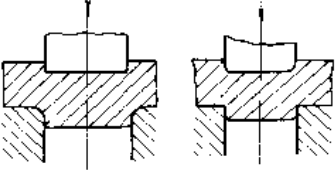
基本尺寸	精度等级	厚度尺寸范围				
		$>0.1\sim1$	$>1\sim3$	$>3\sim6$	$>6\sim10$	>10
$>1\sim6$	A、B	± 0.20	± 0.30	± 0.40	—	—
	C、D	± 0.40	± 0.50	± 0.60	—	—
$>6\sim18$	A、B	± 0.40	± 0.50	± 0.50	± 0.60	—
	C、D	± 0.60	± 0.80	± 1.00	± 1.20	—
$>18\sim50$	A、B	± 0.50	± 0.60	± 0.70	± 0.80	± 1.00
	C、D	± 1.00	± 1.20	± 1.40	± 1.60	± 2.00
$>50\sim180$	A、B	± 0.60	± 0.70	± 0.90	± 1.10	± 1.30
	C、D	± 1.20	± 1.40	± 1.80	± 2.20	± 2.60

7 提高冲裁质量的几种冲压工艺

当冲裁件的剪切面要求作为工作表面或配合表面

时,采用一般冲裁工艺不能满足零件的技术要求,可采用表 4-4-12 所示冲压工艺,其中强力压边精密冲裁应用最为广泛。

表 4-4-12 提高冲裁质量的几种冲压工艺

类别	工艺名称	简图	方法要领	主要优缺点
精	整修		切余不光洁表面,小间隙 0.006~0.01mm 或负间隙,按料厚和形状定整修余量和次数	精度高,粗糙度小,塌角和毛刺小,定位要求高,不易除屑,效率低于精冲
	挤光		锥形凹模,挤光余量单边 < 0.04~0.06mm	质量低于精冲和整修,只适于软料,效率低于精冲
半精冲	负间隙冲裁		凸模 $>$ 凹模 $(0.05\sim0.3)\%$, 凹模圆角 $(0.05\sim0.1)\%$	粗糙度较小,只适于软料,塌角、毛刺较大
	小间隙圆角刃口冲裁		间隙 $<$ 0.02mm, 落料: 凹模刃口圆角 0.1 $\%$, 冲孔: 凸模刃口圆角 0.1 $\%$	粗糙度较小,塌角、毛刺较大



(续)

类别	工艺名称	简图	方法要领	主要优缺点
半精冲	往复冲裁		第一步冲裁深 $0.25r$, 第二步反向冲下工件	剪切面上仍有断裂区, 运动复杂
精冲	强力区边精冲		小间隙单边 $0.005r$, 在压边圈和反压板夹持下冲裁	尺寸精度高, 粗糙度小, 塌角和毛刺较小, 效率高, 模具和机床复杂
	对向凹模精冲		凸起凹模压入 $(0.7\sim 0.8)r$ 再进行冲裁	尺寸精度高, 粗糙度小, 塌角、毛刺小, 可冲厚料和塑性差的材料, 模具和机床复杂



第5章 精密冲裁^[9]

强力压边精密冲裁通过一次冲压行程即可获得剪切面粗糙度小和尺寸精度高的工件。它是目前提高冲裁件质量经济而有效的方法。

1 精冲变形过程

精冲从形式上看是分离工序, 但实际上工件和条料在最后分离前始终保持为一个整体, 即精冲过程中材料自始至终是塑性变形的过程。

精冲变形过程示于图4-5-1, 图4-5-1a表示精冲开始时的状况, 图4-5-1b表示冲裁凸模进入材料一定深度 x 时的情况。A、B两点分别表示凸模和凹模的刃口, AB联线将间隙区分为I、II两个部分, 塑性变形主要集中在间隙区, 即I、II为塑性变形区, 间隙两侧为刚性平移的传力区, 它分为两部分, 即靠近I、II区的塑性变形影响区III和弹性变形区IV。精冲的塑性变形始终在以AB为对角线的矩形中进行, 例如当凸模进入材料一定深度 x 时, A点以上的部分和B点以

下的部分均已完成变形, 精冲继续进行时, 塑性变形将在缩短了了的AB为对角线的矩形中进行。精冲过程中I区材料将被凸模逐渐挤压到条料上, II区材料将被凹模逐渐挤压到工件上, 当AB距离达最小值时, 材料全部转移, 精冲过程完毕。

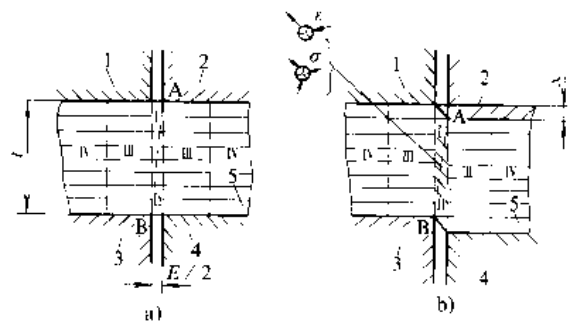


图4-5-1 精冲变形区域及变形过程

1—压边圈 2—凸模 3—凹模 4—反压板 5—工件
I、II—塑性变形区 III—塑性变形影响区
IV—弹性变形区



精冲件出现的倒锥现象,即凸模侧大凹模侧小,就是上述材料转移的结果。

变形区材料的变形程度,随过程的进行变形区逐渐缩短而增加,这些变形程度不同的材料逐次转移到工件表面,形成精冲件剪切面从凹模侧到凸模侧变形程度逐渐增加。

图 4·5-1 中给出的精冲塑性变形区的变形力学简图显示主应力简图为三向压应力状态,主应变简图为平面应变状态, $\epsilon_1 = \epsilon_2, \epsilon_3 = 0$, 视精冲过程为纯剪切的变形过程。

精冲时为了抑制冲裁过程中材料产生撕裂,保证塑性变形过程的进行采取了以下措施:

- (1) 精密冲裁前 V 形环压边圈压住材料,防止剪切变形区以外的材料在剪切过程中随凸模流动;
- (2) 压边圈和反压板的夹持作用,再结合凸、凹模的小间隙使材料在冲裁过程中始终保持和冲裁方向垂直,避免弯曲翘起而在变形区产生拉应力,从而构成塑性剪切的条件;
- (3) 必要时将凹模或凸模刃口倒以圆角,以便减少刃口处的应力集中,避免或者延缓裂纹的产生,改善变形区的应力状态;
- (4) 利用压边力和反压力提高变形区材料的球形压应力张量即静水压,以提高材料的塑性;
- (5) 材料预先进行球化处理,或采用专门适于精冲的特种材料;
- (6) 采用适于不同材料的工艺润滑剂。

2 精冲力

精冲工艺过程是在压边力、反压力和冲裁力三者同时作用下进行的(图 4·5-2a)。冲裁结束卸料力将废料从凸模上卸下,顶件力将工件从凹模内顶出完成整个工艺过程(图 4·5-2b)。因此,正确的计算,合理的

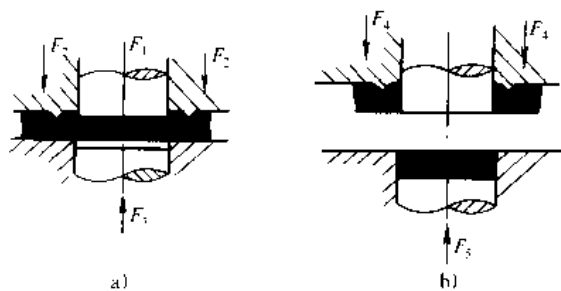


图 4·5-2 精冲过程作用的力

F_1 —冲裁力 F_2 —压边力 F_3 —反压力
 F_4 —卸料力 F_5 —顶件力

调试和选定以上诸力,对于选用精冲压力机、模具设计、保证工件的质量以及提高模具寿命都具有重要意义。

2·1 冲裁力

冲裁力 F_1 按下式计算:

$$F_1 = f_1 L t \sigma_b \quad (\text{N})$$

式中 f_1 ——系数,取决于材料的屈强比,可从图 4·4-3 求得;

L ——冲裁内外周边总长 (mm);

t ——材料厚度 (mm);

σ_b ——材料抗拉强度 (MPa)。

精冲时由于模具间隙小,刃口有圆角,材料处于三向受压应力状态,和一般冲裁相比提高了变形抗力,因此取系数 $f_1 = 0.9$, 故精冲的冲裁力为:

$$F_1 = 0.9 L t \sigma_b \quad (\text{N})$$

2·2 压边力

压边力 F_2 按以下经验公式计算:

$$F_2 = 2 f_2 L_e h \sigma_b \quad (\text{N})$$

式中 f_2 ——系数,取决于 σ_b , 可由表 4·5-1 查得;

L_e ——工件外周边长度 (mm);

h ——V 形齿高 (mm);

σ_b ——材料的抗拉强度 (MPa)。

表 4·5-1 系数 f_2 值

σ_b (MPa)	200	300	400	600	800
f_2	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2

2·3 反压力

反压力 F_3 可按以下经验公式计算:

$$F_3 = p A \quad (\text{N})$$

式中 A ——工件的平面面积 (mm²);

p ——单位反压力,一般为 200~700MPa。

反压力也可用另一经验公式计算:

$$F_3 = 20\% F_1 \quad (\text{N})$$

2·4 总压力

V 形环压边圈压入材料所需的压力 F_2 远大于精冲过程中为了保证工件剪切面质量要求 V 形环压边圈保持的压力 F'_2 , 一般 $F'_2 = (30 \sim 50)\% F_2$ 。为了提高精冲压力机的有效负载能力,目前大多数精冲压力机的压边系统都有无级调节的部分自动卸压装置。精冲开始时,首先在压边力 F_2 作用下 V 形环压边圈压入



材料,完成压边后,压机自动卸压到预先调定的保压压边力 F_1 ,然后再进行冲裁。因此实现精冲所需的总压力 F_2 是 F_1 、 F_2' 及 F_3 之和。即

$$F_2 = F_1 + F_2' + F_3 \quad (\text{N})$$

2.5 卸料力和顶件力

精冲完毕,在滑块回程过程中不同步地完成卸料和顶件。压边圈将废料从凸模上卸下,反压板将工件从凹模内顶出。卸料力 F_2' 和顶件力 F_3 按以下经验公式计算:

$$F_2' = (5 \sim 10)\% F_1 \quad (\text{N})$$

$$F_3 = (5 \sim 10)\% F_2 \quad (\text{N})$$

3 精冲件结构工艺性

精冲件的几何形状,在满足技术要求的前提下应力求简单,尽可能是规则的几何形状,避免尖角。

精冲件的尺寸极限,如最小孔径、最小悬臂和槽宽等都比普通冲裁的小,这是由于精冲设备具有良好的刚性和导向精度,精冲过程的速度低、冲击小;精冲模架的刚性好,导向精度高;凸凹模和冲孔凸模在压边圈、反压板无松动滑配长距离的导向和支撑下,避免了纵向失稳提高了承受载荷的能力。

实现精冲的零件尺寸极限范围,主要取决于模具的强度,也和剪切面质量,模具寿命等有关。

本节给出了圆角半径、槽宽、悬臂、环宽、孔径、孔边距、齿轮模数的极限范围图表。各种几何形状的零件实现精冲的难易程度分为三级: S_1 容易; S_2 中等; S_3 困难。模具寿命随精冲难度的增加而降低。

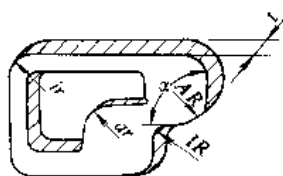
在 S_2 的范围内,模具冲切元件用高速工具钢($\sigma_{0.2} = 300\text{MPa}$)制造,被精冲的材料 $\sigma_n \leq 600\text{MPa}$ 。在 S_3 范围以下,一般不适于精冲。

3.1 圆角半径

精冲难易程度与圆角半径、料厚的关系见图4.5-3。

精冲件内外轮廓的拐角处必须采用圆角过渡,以保证模具的寿命及零件的质量。圆角半径在允许的范围内尽可能取得大些。它和零件角度,零件材料、厚度及强度有关。

【例4.5-1】 已知零件角度 30° ,材料厚度为 3mm ,半径为 1.45mm ,由图4.5-3查得其加工难易程度在 S_2 和 S_3 之间。



$$\begin{aligned} R_1 &= 0.6R_A \\ r_1 &= 0.6R_A \\ r_2 &= R_A \\ r_2 &= R_1 \end{aligned}$$

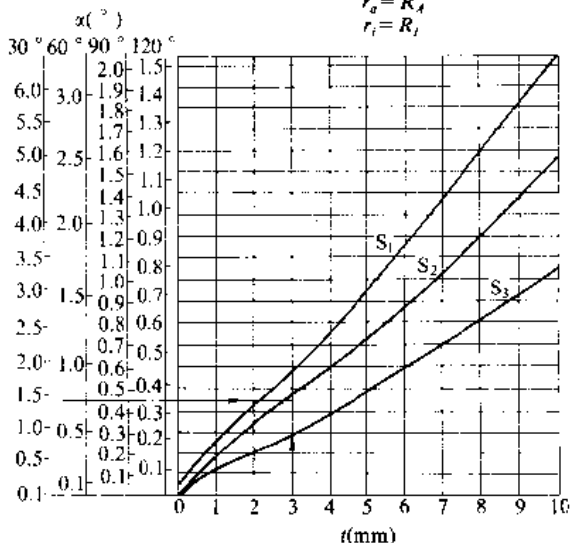
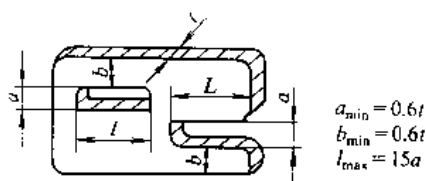


图4.5-3 精冲难易与圆角半径、料厚的关系

3.2 槽宽和悬臂

精冲件槽的宽度和长度,悬臂的宽度和长度取决于零件的料厚和强度,应尽可能增大它们的宽度,减小它们的长度,以提高模具的寿命。

精冲难易程度与槽宽、悬臂和料厚的关系见图4.5-4。



$$\begin{aligned} a_{\min} &= 0.6t \\ b_{\min} &= 0.6t \\ l_{\max} &= 15a \end{aligned}$$

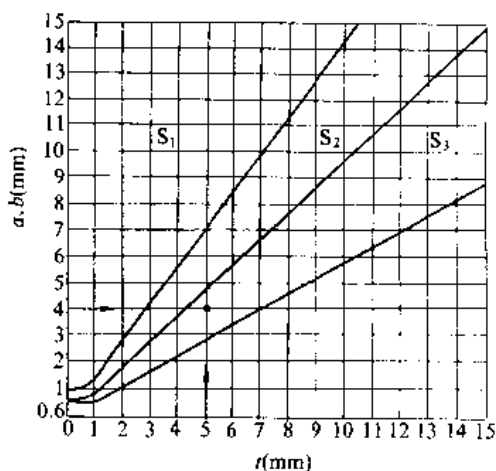


图4.5-4 精冲难易程度与槽宽、悬臂和料厚的关系



【例 4-5-2】 已知零件槽宽 a 悬臂 b 为 4mm，材料厚度 5mm，由图 4-5-4 查得其加工难易程度为 S_3 。

3.3 环宽

精冲难易程度与环宽和料厚的关系见图 4-5-5。

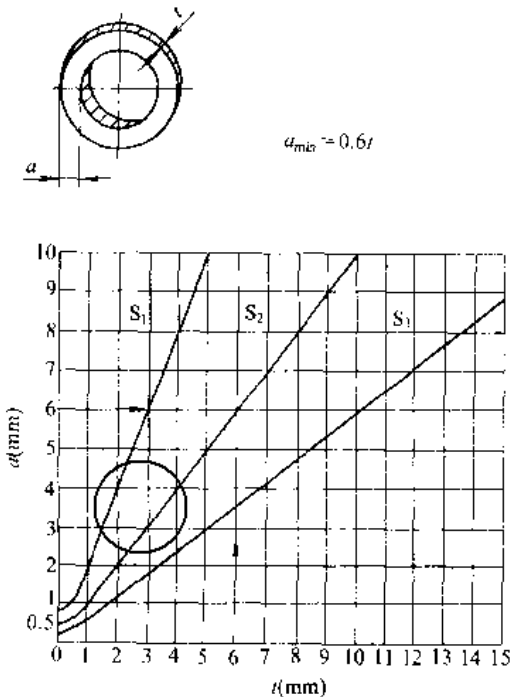


图 4-5-5 精冲难易程度与环宽和料厚的关系

【例 4-5-3】 已知零件环宽 6mm，料厚 6mm，由图 4-5-5 查得其加工难易程度在 S_2 和 S_3 之间。

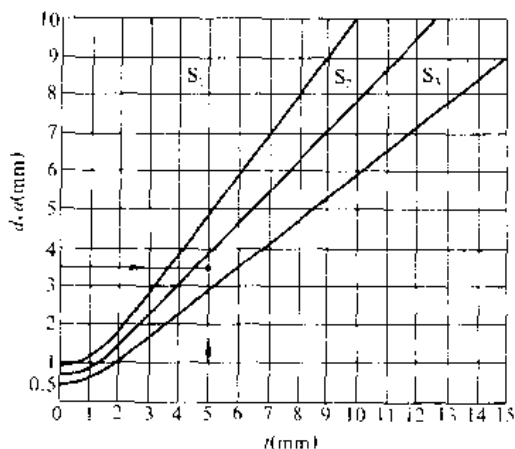
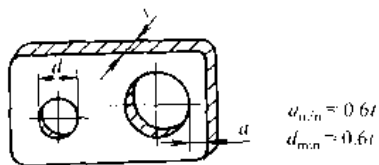


图 4-5-6 精冲难易程度与孔径、孔边距和料厚的关系

3.4 孔径和孔边距

精冲难易程度与孔径、孔边距和料厚的关系见图 4-5-6。

【例 4-5-4】 已知零件孔径 3.5mm，材料厚度 5mm，由图 4-5-6 查得其难易程度为 S_3 。

3.5 齿轮模数

精冲难易程度与齿轮模数和料厚的关系见图 4-5-7。

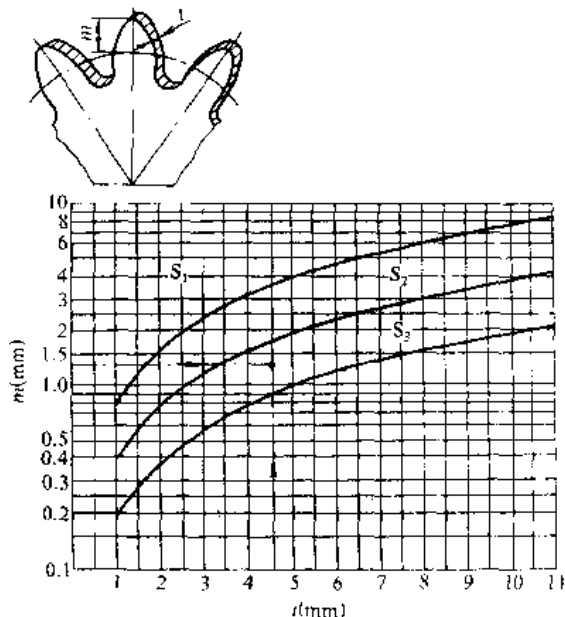


图 4-5-7 精冲难易程度与齿轮模数和料厚的关系

【例 4-5-5】 已知齿轮模数 1.4mm，材料厚度 1.5mm，由图 4-5-7 查得其难易程度为 S_3 。

3.6 半冲孔相对深度

精冲半冲孔是精冲复合工艺的一种，半冲孔的变形程度用相对深度表示，它直接影响零件的结构工艺性。

4 精冲复合工艺

精冲和其他工艺的复合简称精冲复合工艺。某些原来由铸、锻毛坯切削加工的零件，切削加工后铆、焊组装的零件，可用精冲复合工艺加工的零件来代替。

4.1 半冲孔

4.1.1 半冲孔工艺过程分析

半冲孔是利用精冲工艺在冲裁过程中工件和条料



始终保持为整体这一特点而派生出来的新工艺。其变形过程和零件轮廓附近有齿圈压边的精冲过程基本类同，如图4·5-8所示。由于一般半冲孔均在精冲件的内部进行，半冲孔的变形部位距工作边缘较远，外部材料的刚端作用及精冲件外圈齿圈压边的作用，可以防止半冲孔剪切区以外的材料在变形过程中随凸模流动。凸凹模和反压板，半冲孔凸模和顶杆的夹持作用使材料在半冲孔过程中始终保持和冲裁方向垂直而不翘起，再结合半冲孔凸模和凹模之间的小间隙构成了变形区材料获得纯剪切的条件。另外在半冲孔凸模、顶杆、凸凹模和反压板的强压作用下，半冲孔变形区的材料处于三向受压的应力状态，提高了塑性，避免了精冲件的凸台部分和本体分离或产生撕裂。

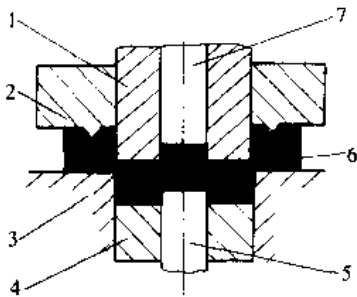


图4·5-8 精冲-半冲孔复合工艺过程示意图
1-凸凹模 2-压边圈 3-凹模 4-反压板
5-半冲孔凸模 6-工件 7-顶杆

4·1·2 半冲孔相对深度

图4·5-9为精冲半冲孔零件，零件的材料厚度为 t ，半冲孔凸模进入材料的深度为 h ，凸台和本体部分连接的厚度为 $t-h$ 。

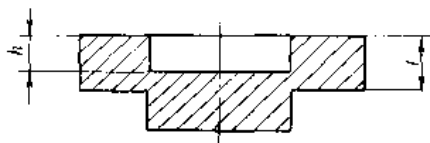


图4·5-9 精冲半冲孔零件

半冲孔凸模进入材料的深度 h 和材料厚度之比是衡量半冲孔变形程度的指标，称为半冲孔相对深度，用 c 表示。

$$c = \frac{h}{t}$$

半冲孔相对深度 c 和凸台同本体连接处的抗剪强度 τ 之间的关系示于图4·5-10。对于塑性较好的材料，在 c 值很大 $t-h$ 很薄的情况下，凸台和本体仍为一个整体，并保持一定的强度。但是考虑到连接部分材料由于变形剧烈硬化而变脆，在冲击载荷下凸台和本

体有分离的危险，因此推荐软钢的极限半冲孔相对深度 c_{max} 一般取0.65~0.75。如图4·5-10。试验材料为20钢， $\sigma_s=40\text{MPa}$ ，料厚8mm，半冲孔间隙0.03mm。

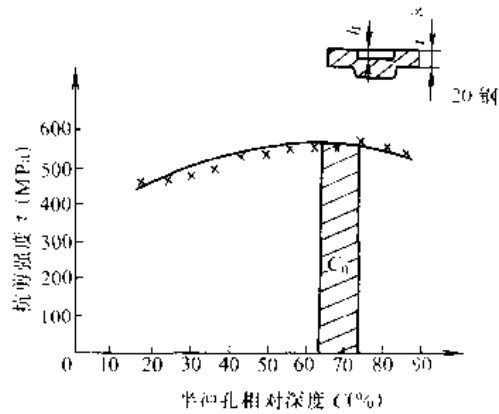


图4·5-10 半冲孔相对深度 c 和连接处抗剪强度 τ 的关系

4·1·3 半冲孔工艺实例

图4·5-11为汽车座椅调角器零件，是精冲半冲孔工艺的典型实例。此零件模数为25，压力角 32° ，齿数23。

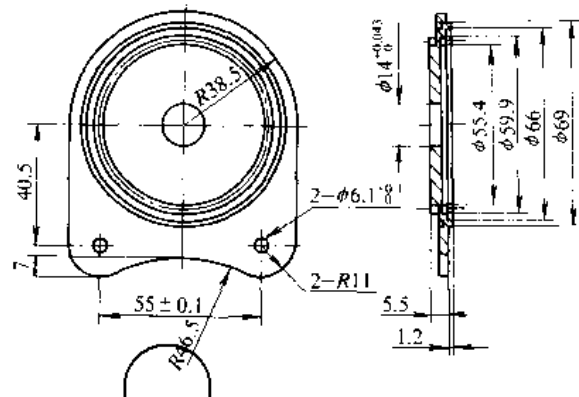


图4·5-11 汽车座椅调角器零件

图4·5-12为各种半冲孔零件。图a为双联齿轮，图b为齿轮偏心轴，图c、d为齿轮凸轮，图e为棘轮方形凸台。

实例表明：半冲孔工艺可将各种异形凸台(包括齿形)附在任何形状的平面零件上，也可以作为异形盲孔(包括内齿)附在任何形状的零件上，此时只需将相应的凸台部分机加工掉即可。加工异形盲孔是半冲孔工艺的另一独特功能。

图4·5-13所示是由两个精冲件组成的半冲孔组合零件。图a为链轮原来的结构形式，它用铸造或锻造毛坯，通过若干道机械加工工序来完成，图b为两个精冲件组成的零件，两个零件各自只需一道冲压工序



即可完成,而且两件共用一套模具,其中一件只需将冲孔凸模相应地减短即可。图c为原来的双联齿轮结构形式,它同样是用铸造或锻造毛坯,通过多道机械加工工序完成的,图d为两个精冲半冲孔件组成的零件。

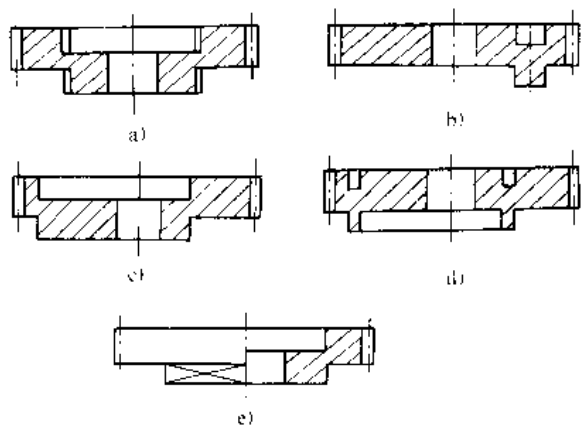


图 4-5-12 精冲—半冲孔零件

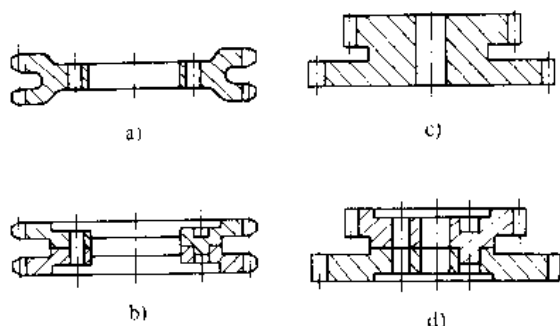


图 4-5-13 半冲孔组合件

例 4-5-13 的实例表明,各种形状的扁平类零件都有可能用相应的精冲半冲孔件来组合。

4.2 压扁

压扁精冲复合工艺是获得不等厚精冲件的另一种方法,一般在连续模上进行。这种工艺要先冲出定位孔,通过定位销保证每一工步的送料精度,还要在材料局部压扁的周围预先切口,以便压扁时材料易于流动。条料的厚度均按工件的最大厚度来选取,工件的其他厚度通过压扁来获得。由于在连续模上进行,条料经压扁硬化后不可能进行退火,因此压扁精冲一般只适于硬化指数较低的低碳钢等材料。

压扁精冲工艺的技术关键主要是压扁后材料的硬化对后续精冲表面质量的影响。图 4-5-14 给出了 20 钢的相对压扁量 $\left\{ \frac{l-l_1}{l} \times 100\% \right\}$ 与加工硬化的实验结果。材料的厚度和强度(硬度)是制定精冲工艺方案以及设计精冲模具的主要原始数据。

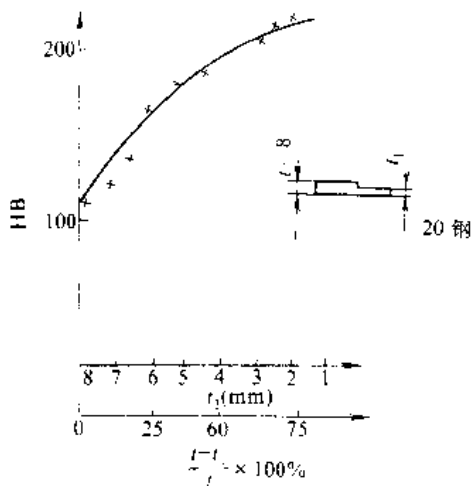


图 4-5-14 20 钢相对压扁量与加工硬化的实验结果

图 4-5-15 为压扁精冲的实例。

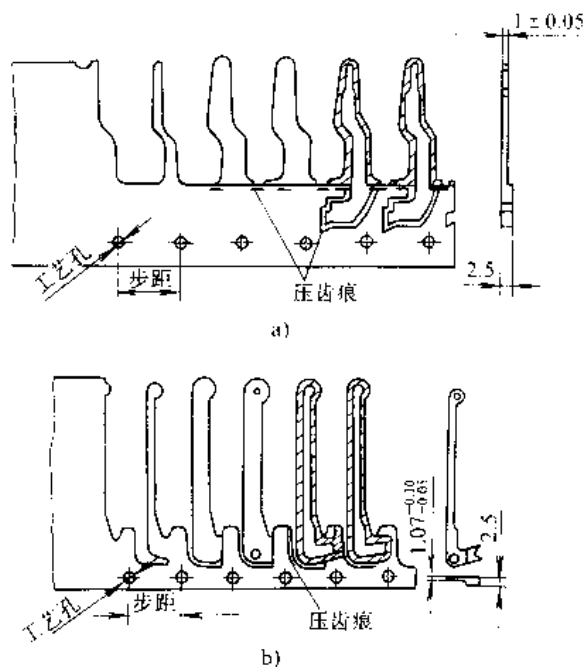


图 4-5-15 压扁精冲实例

4.3 弯曲

精冲和弯曲复合有三种情况,即精冲和弯曲同时进行;先弯曲后精冲和先精冲后弯曲。

精冲和弯曲同时进行采用精冲弯曲复合模,它适于切口弯曲和浅 Z 形弯曲,要求弯曲高度小于料厚,弯曲角度小于 75° 。

先弯曲后精冲的复合模如图 4-5-16 所示,要求弯曲角 $\alpha < 75^\circ$;压边圈只在平面上有齿形,斜面上不带齿;另外模具闭合时还要求凸模和凹模的平刃口和斜刃口都相切合缝,这样条料完成弯曲后精冲时可防止凸模进入凹模。



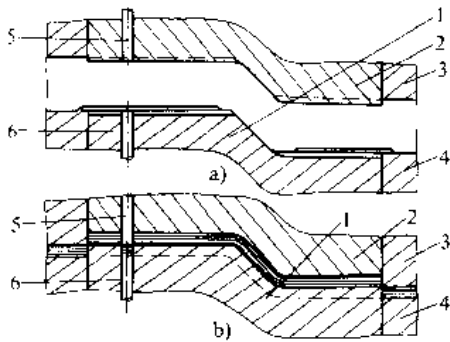


图 4-5-16 弯曲精冲复合模

1—凸模 2—反压板 3—凹模 4—压边圈
5 冲孔凸模 6 顶杆

先精冲后弯曲主要采用精冲弯曲连续模完成，当然也可用两付模具，先完成精冲后再用另一模具完成弯曲。

4.4 压沉孔

沉头孔若在工件的塌角面，则可和精冲一次复合完成，表 4-5-2 为各种材料压 90°沉孔的最大深度 h_{max} ，沉孔的角度和深度改变时，应注意使压缩的体积

不超过表列相应数值。

表 4-5-2 压沉孔最大深度

	材料强度 σ_b (MPa)	300	450	600
	h_{max} (mm)	0.4±0.3±0.2		

当在工件的毛刺面或两面都有沉孔时，需有预成形工序。

压印、挤压、翻孔、起伏和浅拉深都可和精冲复合。

5 精冲件质量

精冲件的质量与模具结构、模具精度、凸模和凹模刃口的状态、工件材料的种类、金相组织和料厚，设备精度、冲裁速度、压边力和反压力以及润滑条件等因素有关。正常情况下精冲件的尺寸公差和几何形状公差示于表 4-5-3。

表 4-5-3 精冲件尺寸公差和几何形状公差

料 厚 (mm)	抗拉强度极限至 600 (MPa)			100mm 长度 上的平面度 (mm)	剪切面垂直度 (mm)
	内 形 IT 等级	外 形 IT 等级	孔 距 IT 等级		
0.5~1	6~7	7	7	0.13~0.060	0~0.01
1~2	7	7	7	0.12~0.055	0~0.014
2~3	7	7	7	0.11~0.045	0.001~0.018
3~4	7	8	7	0.10~0.040	0.003~0.022
4~5	7~8	8	8	0.09~0.040	0.005~0.026
5~6.3	8	9	8	0.085~0.035	0.007~0.030
6.3~8	8~9	9	8	0.08~0.030	0.009~0.038
8~10	9~10	10	8	0.075~0.025	0.011~0.042
10~12.5	9~10	10	9	0.065~0.025	0.015~0.055
12.5~16	10~11	10	9	0.055~0.020	0.020~0.065

精冲件的尺寸一致性好，公差在 0.01mm 之内。

剪切面质量包括表面粗糙度、表面完好率和允许的撕裂等级三项内容。

精冲件可达到的剪切面粗糙度为 $R_a 3.6 \sim 0.2 \mu m$ ，一般为 $R_a 2.5 \sim 0.03 \mu m$ 。

精冲件剪切面状况及其采用符号的意义示于图 4-5-17。

JB/Z280-87 规定表面完好率分五个等级，列于表 4-5-4，允许的撕裂分四个等级，列于表 4-5-5。

表 4-5-4 精冲件表面完好率等级 (%)

级 别	I	II	III	IV	V
t_1	100	100	90	75	50
t_2	100	90	75	—	—



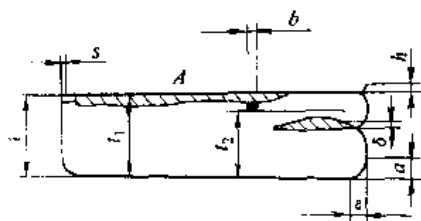


图 4-5-17 剪切面状况及常用符号意义

t_1 —材料厚度 t_1 —剪切终端存在表层剥落时, 光洁剪切面最小部分与料厚的百分比 t_2 —剪切终端存在鳞状表层剥落时, 光洁剪切面最小部分与料厚的百分比 b —最大允许的鳞状表层剥落宽度(所有 b 的总和不得大于相关轮廓部分的 10%) s —表层剥落深度 h —毛刺高度 e —塌角宽度 a —塌角深度 g —撕裂带的最大宽度 A —剪切终端表层剥落带

表 4-5-5 精冲件允许的撕裂等级

级 别	1	2	3	4
g (mm)	0.3	0.6	1	2

精冲件剪切面粗糙度按 GB1031-83 规定用 R_a 或 R_v 表示。

R_a 用于剪切面不允许有表层剥落和撕裂时;

例如: $\sqrt{0.62}$ 表示剪切面粗糙度为 $R_a 0.62$, 表面完好率为 I 级, 无撕裂。

R_a 用于允许剪切面有表层剥落或撕裂时, 在符号的右上方横线上用罗马字 I、II、N、V 分别表示表面完好率的等级, 用阿拉伯字 1, 2, 3, 4 分别表示允许撕裂的等级。 $\sqrt{1.25}^I$ 表示剪切面粗糙度为 $R_a 1.25$, 表面完好率为 II 级。 $\sqrt{2.5}^2$ 表示剪切面粗糙度为 $R_a 2.5$, 允许 2 级撕裂。

精冲件存在塌角和毛刺, 但都比普通冲裁件小。

6 精冲材料

大约 95% 的精冲件是钢件, 其中大部分是低碳钢, 适于精冲的主要钢种列于表 4-5-6。

未列入表中的钢种, 可参考表中含碳量接近的钢种, 但对于含硫、磷较高的非镇静钢, 即使是低碳钢, 精冲时也会出现问题, 选材时需慎重。表中第二项, 可精冲的大约最大厚度是一个范围, 它与材料组织、工件的技术要求有关。钢材以球化完全, 弥散良好, 分布均匀的细球状碳化物组织为最佳。

表 4-5-6 适于精冲的主要钢种

钢 种	可精冲的大约最大厚度 (mm)	精冲适用性①
08, 10	15	1
15	12	1
20, 25, 30	10	1
35	8	2
40, 45	7	2
50, 55	6	2
60	4	2
70, T8A, T10A	3	3
15Mn, 16Mn	8	2
15CrMn	5	2
20MnMoB	8	2
20CrMo	4	2
G Cr15	6	3
1Cr18Ni9	8	2
0Cr13	6	2
1Cr13	5	2
4Cr13	4	2

① 1—优良; 2—中等; 3—困难。

适于精冲的铜和铜合金、铝和铝合金列于表 4-5-7。

表 4-5-7 铜和铜合金、铝和铝合金的精冲适用性

材 料	精冲适用性①
T ₂ , T ₃ , T ₄ , TU1, TU2	1
H96, H90, H80, H70, H68	1
H62	2
HSn70-1, HSn62-1	2
HNi65-5	2
QSn4-3	2
QBe2, QBe1.7	3
QA17	3
L ₁ , L ₂ , L ₃ , L ₄ , L ₅ , L ₆ , L ₇	1
LF21	1
LF2, LF3	2
LY11, LY12	2

① 1—优良; 2—中等; 3—困难。

7 精冲模具

精冲模和普通复合模类似, 但冲裁间隙小, 有 V 形环压边圈, 工件和废料都是上出料, 要求精度高, 刚性和导向性好。

7.1 结构分类

精冲模按结构特点分为活动凸模式 (图 4-5-18)



和固定凸模式(图4·5-19)。前者指压边圈固定在模座上,凸模和模座有相对运动,后者的凸模固定在模座上,压边圈和模座有相对运动。精冲中小件时,宜选用活动凸模结构,精冲轮廓较大或窄而长的工件以及采用连续模时,宜选用固定凸模结构。

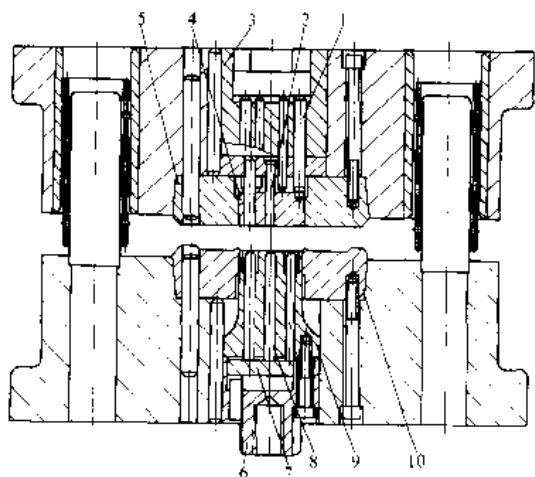


图4·5-18 活动凸模式精冲模

- 1-顶杆 2-冲孔凸模 3-垫板 4-反压板
5-凹模 6-凸模座 7-桥板 8-顶杆
9-凸模 10-压边圈

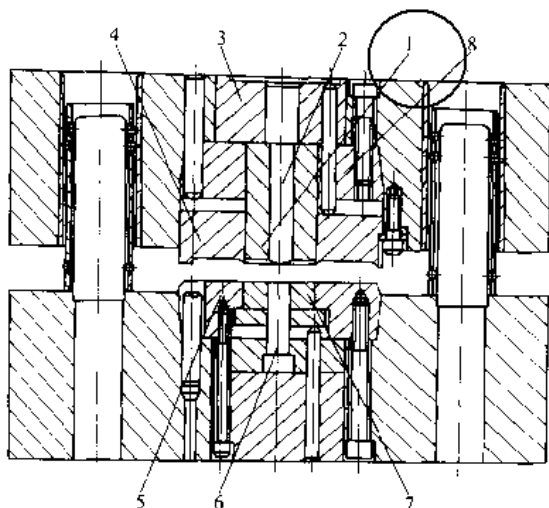


图4·5-19 固定凸模式精冲模

- 1-凸模 2-顶杆 3-垫板 4-压边圈 5-凹模
6-冲孔凸模 7-反压板 8-凸模座

精冲压力机有活动工作台,固定工作台和复合工作台三种结构,前二种分别适用于活动凸模式和固定凸模式精冲模,复合工作台对两种结构均适用。

精冲模按功能可分为:

(1) 简单模。只冲外形不冲孔,如精冲卡尺尺框、尺身的模具。

(2) 复合模。同时冲出外形和内形。

(3) 连续模。分若干个工步,用于精冲复合工艺或采用复合模结构凸凹模的强度太弱时。图4·5-20为压沉孔精冲连续模,图a为模具图,图b为工步图。

7·2 排样与搭边

排样原则和普通冲裁相同,对于外形两侧剪切面质量要求有差异的工件,排样时应将要求高的一侧放在进料方向,以便冲裁时搭边更充分。如图4·5-21所示,零件带齿的一侧要求高,将齿形一侧放在进料方向。

精冲由于采用了V形环压边,搭边宽度比普通冲裁大。表4·5-8给出了精冲所需搭边的最小值。

表4·5-8 搭边最小值 (mm)

料厚 t	搭边最小值	
	x	y
0.5	1.5	2
1	2	3
1.5	2.5	4
2	3	4.5
2.5	4	5
3	4.5	5.5
3.5	5	6
4	5.5	6.5
5	6	7
6	7	8
8	8	10
10	10	12
12	12	15
15	15	18

7·3 V形环尺寸

V形环在压边圈上,与冲裁轮廓保持一定距离,其



尺寸取决于料厚。料厚4mm以下采用单面V形环，尺寸示于表4·5-9。料厚超过4mm采用双面V形环。尺寸示于表4·5-10。一个V形环在压边圈上，另一个在

凹模上。对于齿轮等要求剪切面垂直度较高的零件，即使料厚不到4mm也应采用双V形环。冲直径30mm以上的孔时应在顶杆上加V形环，小孔可不加。

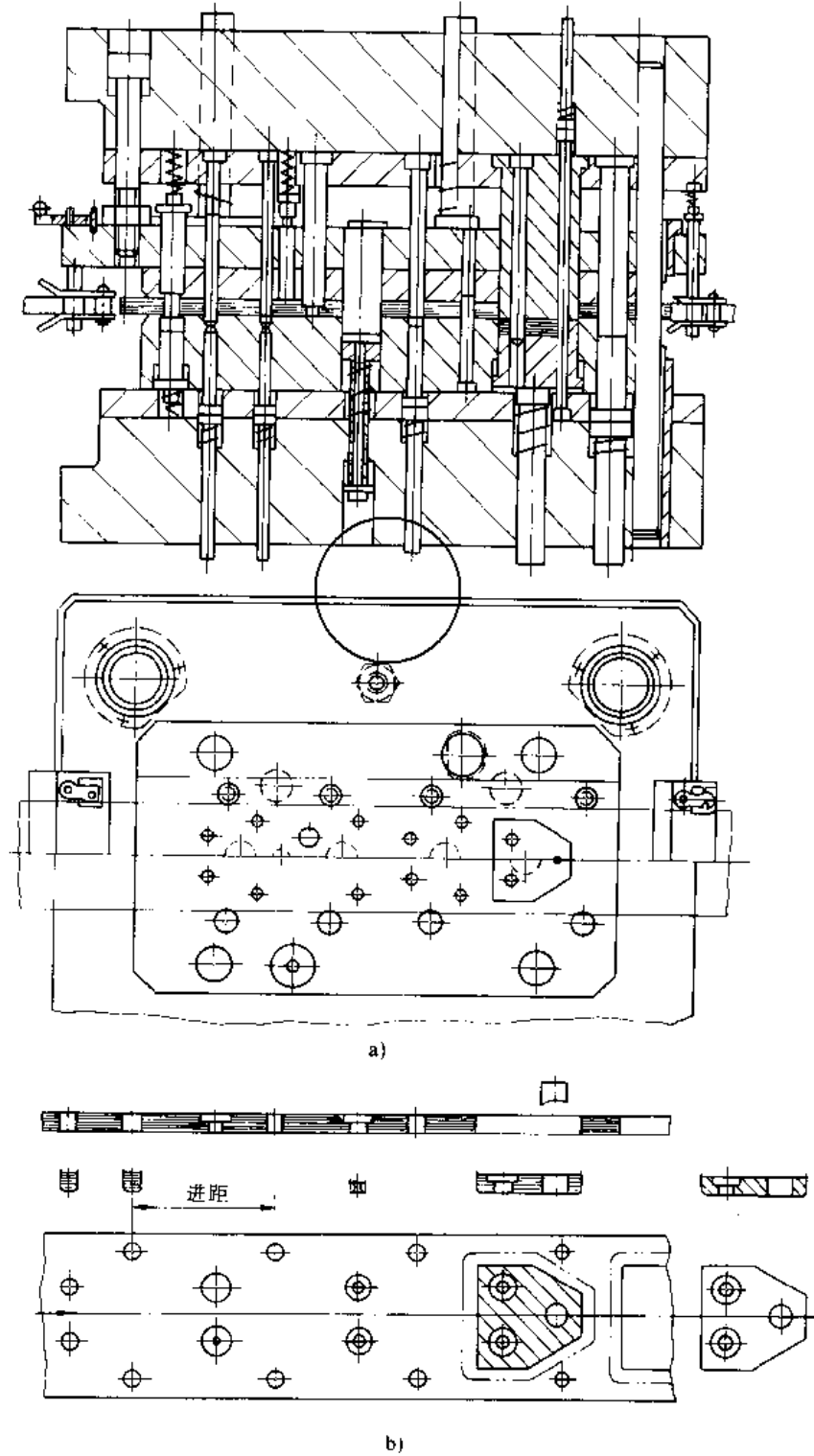


图4·5-20 压沉孔精冲连续模



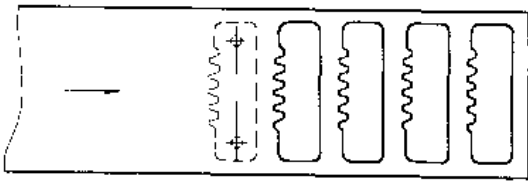


图 4-5-21 排样

表 4-5-9 单面 V 形环尺寸 (mm)

料厚 t		
	a	h
0.5~1	1	0.3
1~1.5	1.3	0.4
1.5~2	1.6	0.5
2~2.5	2	0.6
2.5~3	2.4	0.7
3~3.5	2.8	0.8
3.5~4	3.2	0.9

表 4-5-10 双面 V 形环尺寸 (mm)

料厚 t			
	a	h	H
4~5	2.5	0.6	0.9
5~6	3	0.8	1.1
6~8	3.5	1.1	1.4
8~10	4.5	1.2	1.6
10~12	5.5	1.6	2
12~15	7	2.2	2.6

V 形环一般沿冲裁轮廓分布,但当工件有较小的内凹轮廓时,V 形环可以不紧沿轮廓分布,如图 4-5-22。



图 4-5-22

1—刃口 2—V 形环

7.4 间隙

凸模和凹模的间隙数值见表 4-5-11。它和料厚、冲裁轮廓及材质有关。外形上向内凹的轮廓,V 形环不沿轮廓分布的部分,按内形确定间隙。

合理选取间隙,保证四周间隙均匀,并在结构上使冲切元件有足够的刚度和导向精度,使其在整个工作过程中保持间隙均匀恒定不变是实现精冲的技术关键。

表 4-5-11 凸模和凹模的单边间隙 Z ($\%t$)

料厚 t (mm)	外形	内形 (孔、直径 d)		
		$d < t$	$d = 1 \sim 5t$	$d > 5t$
0.5	0.5	1.25	1.0	0.5
1		1.25	1.0	0.5
2		1.25	0.5	0.25
3		1.0	0.5	0.25
4		0.85	0.375	0.25
6		0.85	0.25	0.25
10		0.75	0.25	0.25
15		0.5	0.25	0.25

7.5 凸模和凹模尺寸

在正常情况下,精冲件的外形比凹模刃口稍小,精冲件的内孔比冲孔凸模的刃口也稍小,在确定凸模和凹模尺寸时,必须考虑这一特点。另外还应注意模具磨损对工件尺寸的影响分为三种情况,如图 4-5-23 所示。

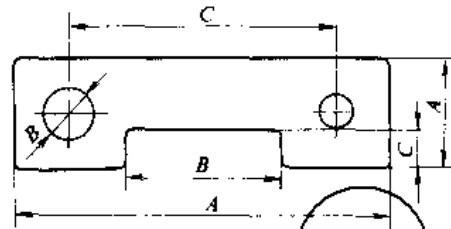


图 4-5-23 模具磨损对零件尺寸影响

A—零件尺寸逐渐增大 B—零件尺寸逐渐减小

C—零件尺寸基本不变

(1) 随模具刃口磨损零件尺寸逐渐增大,如图中尺寸 A。

(2) 随模具刃口磨损零件尺寸逐渐减小。如图中



尺寸B。

(3) 模具磨损对零件尺寸基本无影响, 如图中尺寸C。

7.5.1 落料

精冲件的外形尺寸取决于凹模, 此时间隙应取在凸模上。

随着凹模的磨损零件尺寸逐渐增大, 应按上述第一类情况确定, 精冲凹模刃口的尺寸A为:

$$A = \left(L_{\min} + \frac{\Delta}{4} \right)_{- \delta}$$

如果零件外形有内凹的部分, 则该处零件尺寸随凹模的磨损而逐渐减小, 属第二类情况, 此处精冲凹模刃口的尺寸B为:

$$B = \left(L_{\max} - \frac{\Delta}{4} \right)_{+ \delta}$$

式中 L_{\min} ——零件的下限尺寸 (mm);

L_{\max} ——零件的上限尺寸 (mm);

Δ ——零件的公差 (mm);

δ ——模具的制造公差 (mm)。

7.5.2 冲孔

精冲件的内形尺寸取决于凸模, 此时间隙应取在凹模上。

随着凸模的磨损零件尺寸逐渐减小, 属于上述第二类情况, 精冲凸模的尺寸B应确定为:

$$B = \left(L_{\max} - \frac{\Delta}{4} \right)_{+ \delta} \quad (\text{mm})$$

如果零件内形上有凸出的部分, 则该处零件尺寸将随凸模的磨损而增大, 属第一类情况, 此处精冲凸模刃口尺寸A为:

$$A = \left(L_{\min} + \frac{\Delta}{4} \right)_{- \delta} \quad (\text{mm})$$

对于上述第三类情况, 应使新模具的刃口尺寸等于零件的平均尺寸, 即取刃口名义尺寸为:

$$C = (L_{\min} + L_{\max}) / 2 \quad (\text{mm})$$

7.6 其他结构特点

参看图 4.5-19 和图 4.5-20。

(1) 反压板和凹模; 压边圈和凸模; 冲孔凸模和反压板等模具零件之间应无间隙滑配。

(2) 压边圈内平面应高出凸模平面 δ 值, 精冲压力机上的精冲模 δ 值一般为 0.2mm 左右。在通用压力机上采用自制压边系统时, δ 值视系统刚性而定, 一般应

适当增大, 保证冲裁前 V 形环已压入坯料。

(3) 反压板应高出凹模面 0.1~0.2mm, 顶杆头部倒圆以利清除废料。

(4) 垫板应高出板座表面 0.01~0.03mm, 使凹模或凸模得到切实的支承。

(5) 凸模由压边圈定位, 冲孔凸模由反压板定位。

(6) 护齿垫在压边圈上, 其高度小于料厚而大于 V 形环齿高。

(7) 应注意排气。

(8) 试模时如在制件的剪切面上发现有撕裂, 增加压边力不能克服时, 可将模具对应部位的刃口倒圆, 圆角半径一般为 0.01~0.03mm 以下。

8 在普通压力机上精冲

一般精冲均需在专用的三动精冲压力机上进行。但在普通的压力机上附加压边系统和反压系统也可进行精冲。压边、反压可采用液压 (图 4.5-24a)、气动

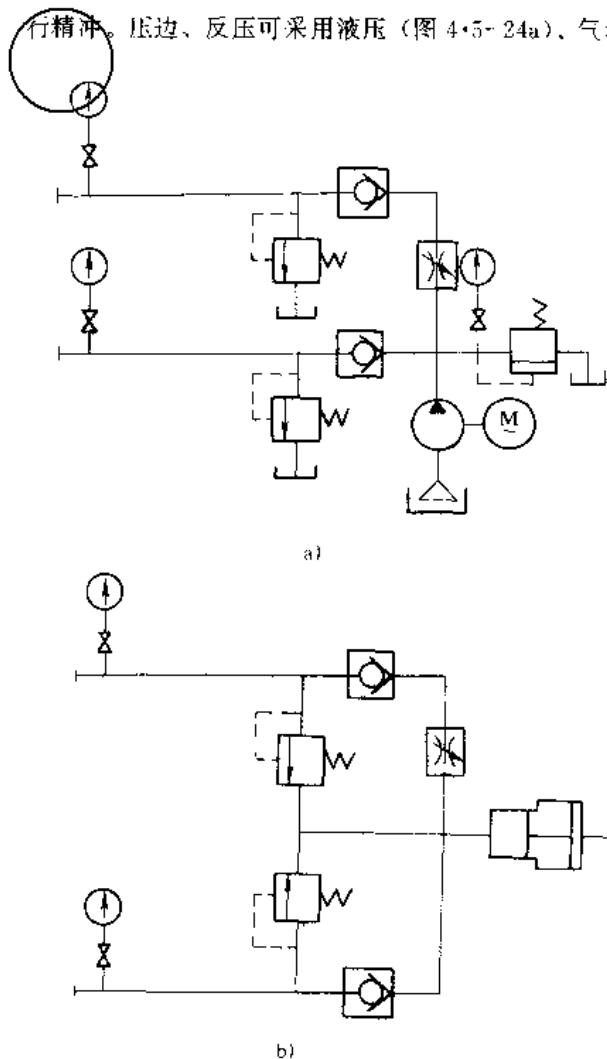


图 4.5-24 液压模架驱动方式
a) 液压系统 b) 气动液压系统



液压(图4·5-24b,在液压系统中用气动增压缸代替液压泵)或机械(弹簧、橡皮等)系统驱动。

压边、反压系统可单独成为一个系统如图4·5-25

所示的液压模架,也可装在精冲模或压力机内,如图4·5-26所示。

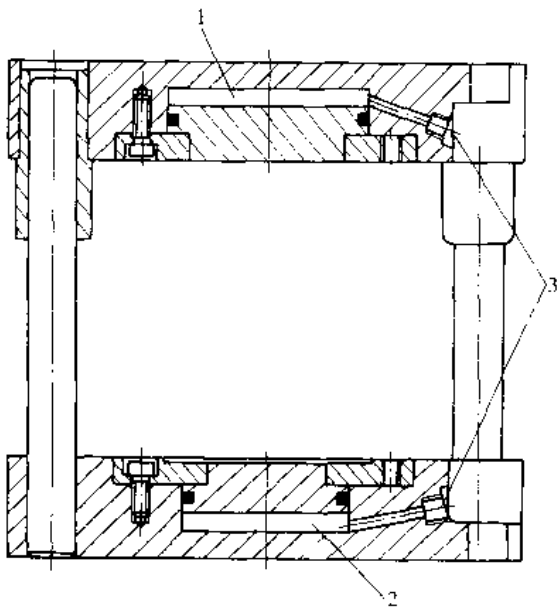


图 4·5-25 液压模架
1 压边系统 2-反压系统 3-进油孔

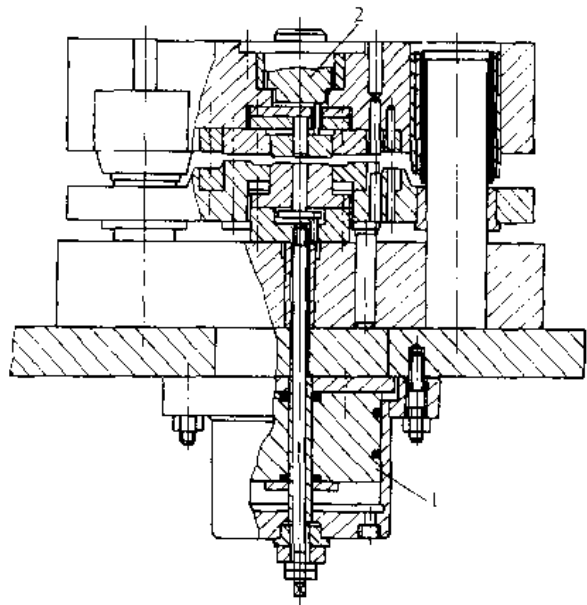


图 4·5-26 液压精冲模
1-压边系统 2-反压系统

第6章 弯 曲

将板材、型材或管材弯成一定曲率和一定角度的冲压工序称为弯曲。

根据采用的设备和工具的不同,弯曲分为压弯、滚弯、拉弯和转板。

1 弯曲变形过程

弯曲过程变形区切向应力的变化如图4·6-1所示。变形区集中在曲率发生变化的部分,外侧受拉,内

侧受压。受拉区和受压区以中性层为界。初始阶段变形区内、外表层的应力小于材料的屈服强度 σ_s ,这一阶段称为弹性弯曲阶段,如图4·6-1a所示。弯曲继续进行,变形区曲率半径逐渐减小,内、外表层首先由弹性变形状态过渡到塑性变形状态,随后塑性变形由内、外两侧继续向中心扩展,最后达到塑性弯曲过程,切向应力的变化如图4·6-1b、c所示。

弹性弯曲时,中性层位于料厚的中心,塑性弯曲

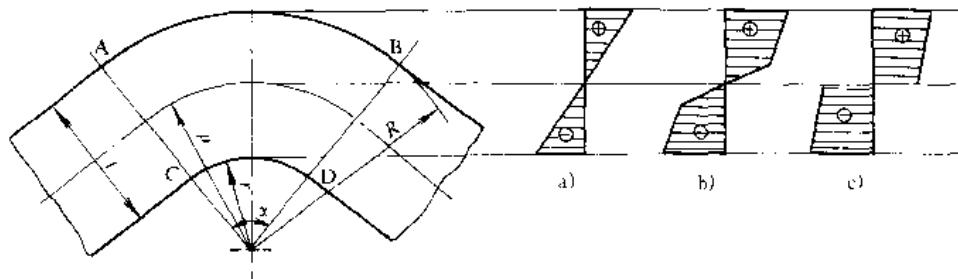


图 4·6-1 弯曲过程变形区切向应力分布发生的变化
a) 弹性弯曲 b) 弹-塑性弯曲 c) 塑性弯曲



时, 中性层的位置随变形程度增加而内移。

对于相对宽度(料宽 b 和料厚 t 的比值) $b/t < 3$ 的窄板, 宽向和厚向材料均可自由变形, 弯曲时横截面将产生很大的畸变, 如图 4-6-2 所示, 其应变状态是立体的, 宽度方向应力为 0, 为平面应力状态。

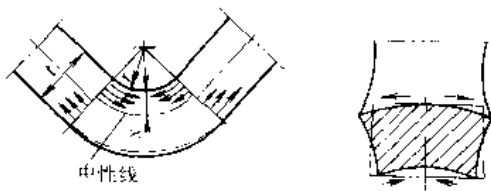


图 4-6-2 窄板弯曲时横截面的畸变

对于相对宽度 $b/t > 3$ 的宽板, 宽度方向受到材料的约束, 不能自由变形, 为平面应变状态, 其应力状态是立体的。

2 最小弯曲半径

弯曲时毛坯变形外表面在切向拉应力作用下产生的切向伸长变形用下式计算

$$\epsilon = \frac{1}{2 \frac{r}{t} + 1}$$

式中 r ——弯曲零件内表面的圆角半径 (mm);

t ——料厚 (mm)。

从上式可以看出, 相对弯曲半径 r/t 越小, 弯曲的变形程度越大, 在使毛坯外层纤维不发生破坏的条件下, 能够弯成零件内表面的最小圆角半径称为最小弯曲半径 r_{\min} , 实际生产中用它来表示弯曲工艺的极限变形程度。

影响最小弯曲半径的因素为:

(1) 材料的力学性能。材料的塑性指标越高, 最小弯曲半径的数值越小。

(2) 弯曲线方向, 弯曲线与材料轧纹方向垂直时, 最小弯曲半径的数值最小。平行时, 数值最大。

(3) 板材的表面质量和剪切面质量。质量差会使材料的最小弯曲半径增大, 清除毛刺和剪切面硬化层有利于提高弯曲的极限变形程度。

(4) 弯曲角。弯曲角 α 较小时, 变形区附近的直边部分也参与变形, 对变形区外层纤维于拉裂的极限状态有缓解作用, 有利于降低最小弯曲半径。弯曲角对最小弯曲半径的影响示于图 4-6-3。 $\alpha < 70^\circ$ 时影响显著。

(5) 板材的厚度。厚度较小时, 切向应变变化梯度大, 邻近的内层可起到阻止外表面金属产生局部的不

稳定塑性变形的作用, 这种情况下可获得较大的变形和较小的最小弯曲半径。料厚对最小弯曲半径的影响示于图 4-6-4。

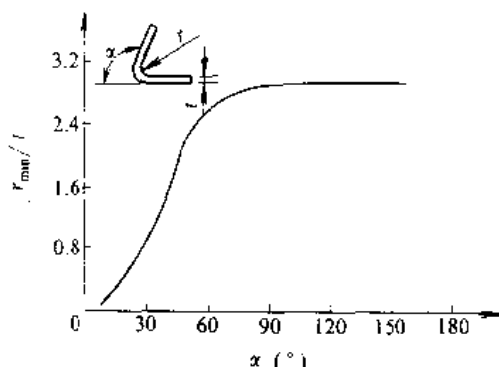


图 4-6-3 弯曲角对最小弯曲半径的影响

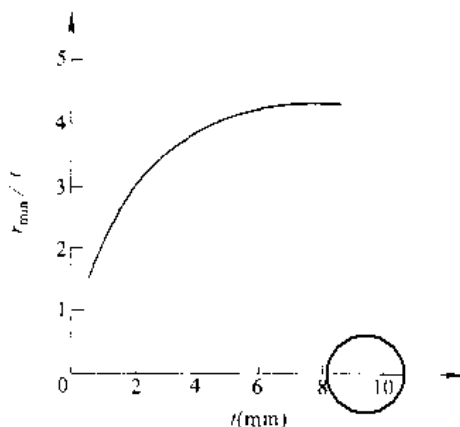


图 4-6-4 料厚对最小弯曲半径的影响
各种材料的最小弯曲半径列于表 4-6-1。

表 4-6-1 各种材料的最小弯曲半径

材 料		(mm)	
牌 号	状态	弯曲线与轧纹方向垂直	弯曲线与轧纹方向平行
08F、08Al		0.2t	0.4t
10、15		0.5t	0.8t
20		0.8t	1.2t
25、30、35、40、10Ti、13MoTi、16MnL		1.3t	1.7t
65Mn	退火	2.0t	4.0t
	硬	3.0t	6.0t
	硬	0.5t	2.0t
1Cr18Ni9	半硬	0.3t	0.5t
	软	0.1t	0.2t



(续)

材 料		弯曲线与轧纹方向垂直	弯曲线与轧纹方向平行
牌 号	状态		
1J79	硬	0.5t	2.0t
	软	0.1t	0.2t
3J1	硬	3.0t	6.0t
	软	0.3t	0.6t
3J53	硬	0.7t	1.2t
	软	0.4t	0.7t
TA1	硬	3.0t	4.0t
TA5	硬	5.0t	6.0t
TB2	硬	7.0t	8.0t
H62	硬	0.3t	0.8t
	半硬	0.1t	0.2t
	软	0.1t	0.1t
HPb59-1	硬	1.5t	2.5t
	软	0.3t	0.4t
BZn15-20	硬	2.0t	3.0t
	软	0.3t	0.5t
QSn6.5-0.1	硬	1.5t	2.5t
	软	0.2t	0.3t
QBe2	硬	0.8t	1.5t
	软	0.2t	0.2t
T2	硬	1.0t	1.5t
	软	0.1t	0.1t
L3、L4	硬	0.7t	1.5t
	软	0.1t	0.2t
LC4	淬火 加人工时效	2.0t	3.0t
	软	1.0t	1.5t
LF5、LF6、LF21	硬	2.5t	4.0t
	软	0.2t	0.3t
LY12	淬火 加自然时效	2.0t	3.0t
	软	0.3t	0.4t

注：1. t为材料厚度。

2. 表中数值适用于下列条件：原材料为供货状态，90°角V形校正压弯，材料厚度小于20mm，宽度大于3倍料厚，剪切面的光亮带在弯角外侧。

3 弯曲回弹

塑性弯曲和任何一种塑性变形一样，外载卸除以后，都伴随有弹性变形，使工件尺寸与模具尺寸不一致，这种现象称为回弹。回弹的表现形式有两种，如图4-6-5所示。

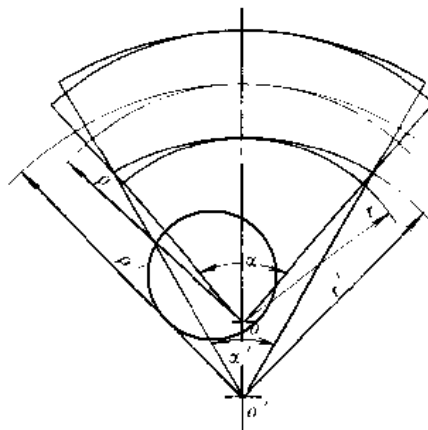


图 4-6-5 弯曲时的回弹

(1) 曲率减小。曲率由卸载前的 $\frac{1}{\rho}$ 减小至卸载后的 $\frac{1}{\rho'}$ 。回弹量 $\Delta k = \frac{1}{\rho} - \frac{1}{\rho'}$ 。

(2) 弯角减小。弯曲角由卸载前的 α 减小至卸载后的 α' 。回弹角 $\Delta\alpha = \alpha - \alpha'$ 。

3.1 影响回弹的因素

(1) 材料的力学性能。材料的屈服强度 σ_s 越大，硬化指数 n 越大，弹性模数 E 越小，回弹量越大。

(2) 相对弯曲半径 $\frac{r}{t}$ ， $\frac{r}{t}$ 减小变形程度增大时，回弹量减小。

(3) 弯曲角 α 。 α 越大，变形区长度越大， $\Delta\alpha$ 越大，对曲率的回弹无影响。

(4) 弯曲条件：

1) 弯曲方式及模具结构。不同的弯曲方式和模具结构，对毛坯弯曲过程、受力状态及变形区和非变形区都有关系，直接影响回弹的数值。

2) 弯曲力。弯曲工艺经常采用带有一定校正成分的弯曲方法，校正力对回弹量有影响，但单角弯曲和双角弯曲影响各不相同。

3) 模具的几何参数。凸、凹模间隙，凸模圆角半径，凹模圆角半径对回弹的影响示于图4-6-6~图



4·6-8。

4) 摩擦。模具和毛坯表面间的摩擦,使变形区产生切向拉应力时,有利于减小弯曲的回弹。

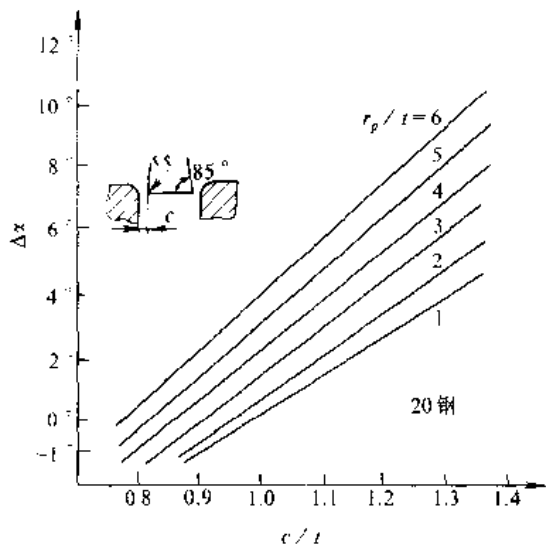


图 4·6-6 间隙对回弹的影响

3·2 回弹量

几种碳钢作 V 形弯曲时,不同弯曲角、不同相对弯曲半径时的回弹角 $\Delta\alpha$ 示于图 4·6-9 至图 4·6-12。

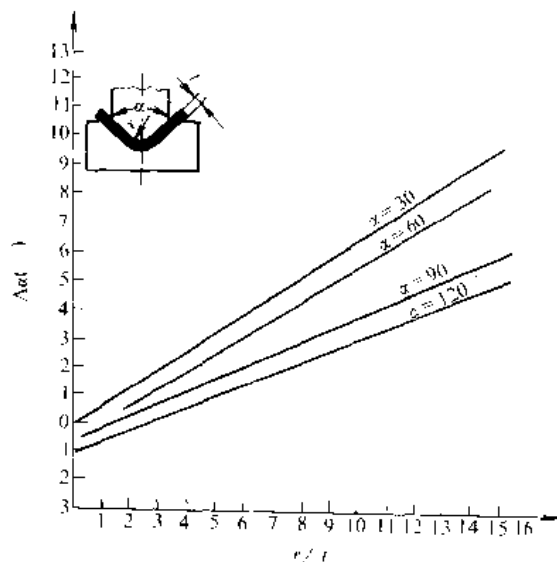


图 4·6-9 08~10 钢弯曲时的回弹角 $\Delta\alpha$

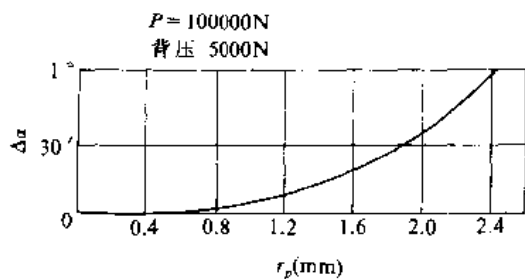


图 4·6-7 凸模圆角对回弹的影响

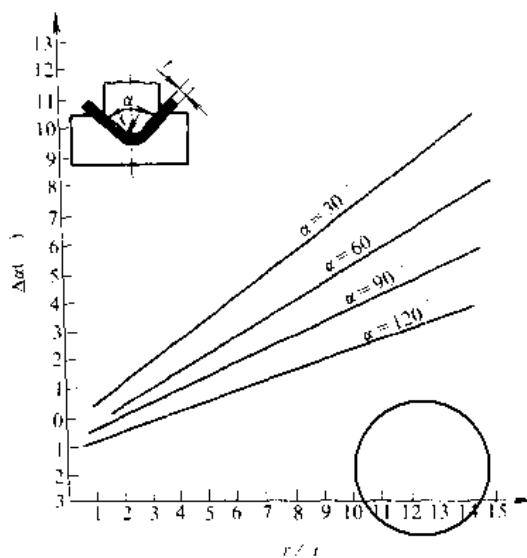


图 4·6-10 15~20 钢弯曲时的回弹角 $\Delta\alpha$

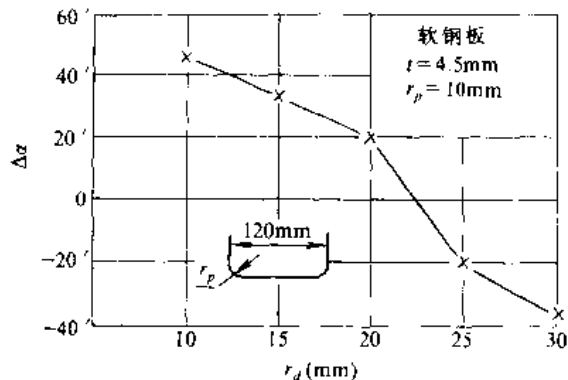


图 4·6-8 凹模圆角对回弹的影响

3·3 减小回弹的措施

(1) 根据有关的资料提供的回弹值,对模具工作部分的几何形状作相应的修正。

(2) 利用弯曲毛坯不同部位回弹的规律,适当地调整各种影响因素(模具的圆角半径,间隙,开口宽度,顶件板的反压,校正力等)来抵消回弹。图 4·6-13 系



角,使卸载回弹后零件的弯曲角符合精度要求。如图4-6-14所示。

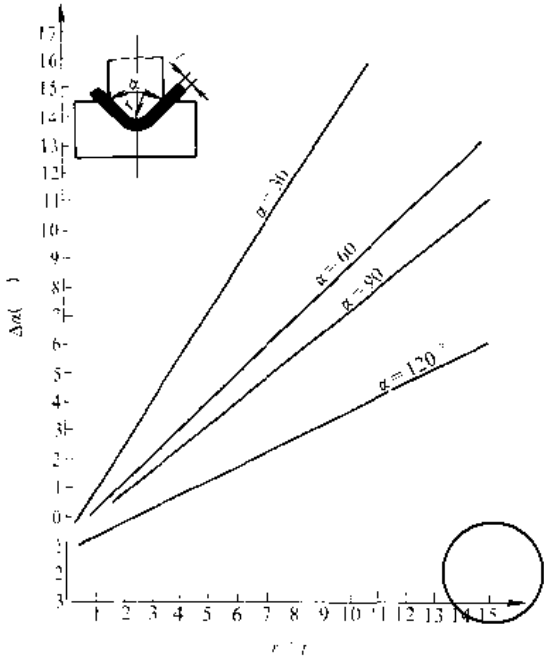


图4-6-11 25~30钢弯曲时的回弹角 $\Delta\alpha$

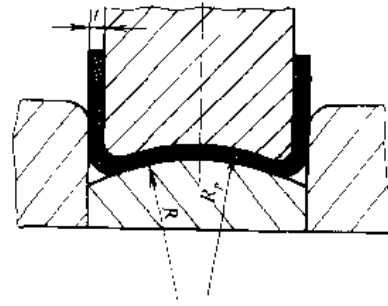


图4-6-13 弧形凸模的补偿作用

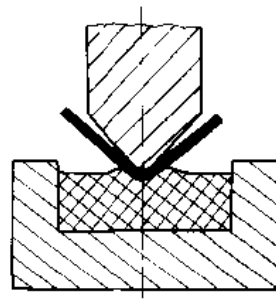


图4-6-14 弹性凹模弯曲

(4) 将弯曲凸模做成局部突起的形状或减小圆角部分的模具间隙,使凸模力集中作用在弯曲变形区,改变变形区外侧受拉内侧受压的应力状态,变为三向受压的应力状态,改变了回弹性质,达到减小回弹的目的,如图4-6-15~图4-6-17所示。

(5) 采用带摆动块的凹模结构,如图4-6-18所示。

(6) 采用提高工件结构刚性的办法,如图4-6-19~图4-6-21所示。

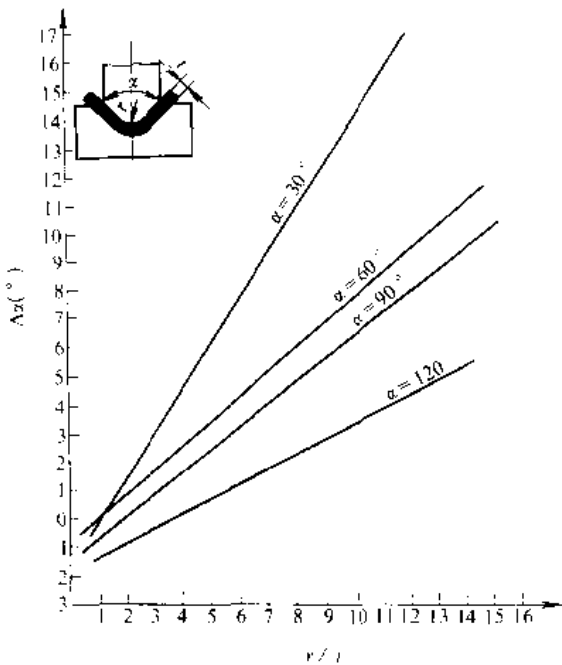


图4-6-12 35钢弯曲时的回弹角 $\Delta\alpha$

将凸模端面和顶件板做成弧形。卸载时利用弯曲件底部的回弹来补偿两个圆角部分的回弹。

(3) 利用聚胺脂橡胶等软凹模取代金属刚性凹模,采用调节凸模压入软凹模深度的方法来控制弯曲

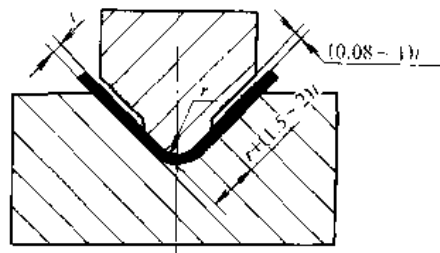


图4-6-15 凸模局部突起的单角弯曲



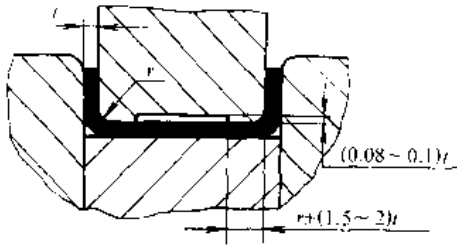


图 4-6-16 凸模局部突起的双角弯曲

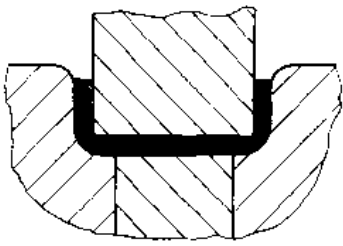


图 4-6-17 圆角部分间隙减小的弯曲

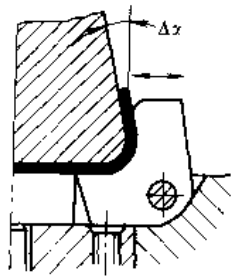


图 4-6-18 带摆动块的凹模结构

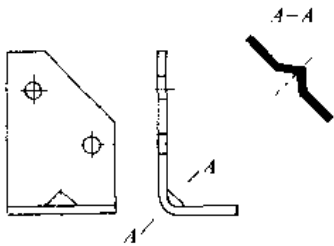


图 4-6-19 在弯角部位加三角筋

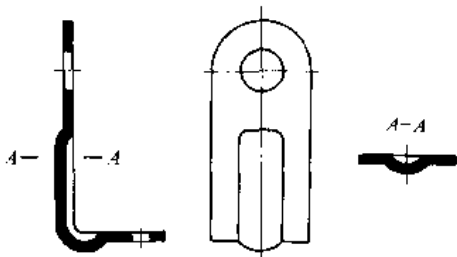


图 4-6-20 在弯角部位加条形筋

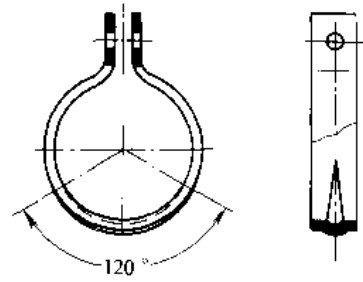


图 4-6-21 在环箍上加筋

(7) 采用拉弯, 如图 4-6-22 所示, 毛坯弯曲时加以切向拉力, 改变毛坯横截面内的应力分布, 使之趋于均匀, 内、外两侧都受拉, 以减少回弹。

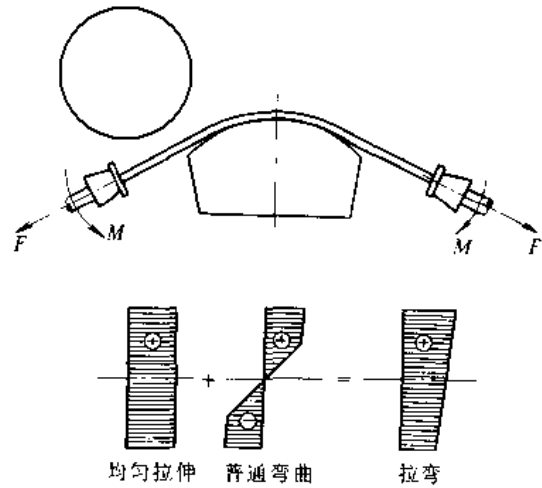


图 4-6-22 拉弯

4 弯曲毛坯展开长度的计算

由于弯曲前后中性层的长度不变, 因此弯曲毛坯的展开长度为直线部分和弯曲部分中性层长度之和。中性层曲率半径 ρ 示于图 4-6-23。

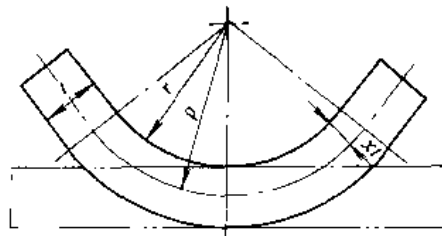


图 4-6-23 中性层的曲率半径 ρ

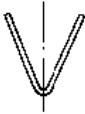
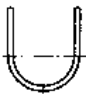
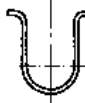

中性层曲率半径 ρ 按下式计算:

$$\rho = r + xt \quad (\text{mm})$$

式中 x 为中性层位移系数, 按表 4-6-2 选取。



表 4-6-2 中性层位移系数 x

$\frac{r}{t}$	弯 曲 形 式			
				
0.3	0.1	0.21	—	—
0.5	0.14	0.23	0.1	0.77
0.6	0.15	0.24	0.11	0.76
0.7	0.18	0.25	0.12	0.75
0.8	0.2	0.26	0.13	0.73
0.9	0.22	0.27	0.14	0.72
1	0.23	0.28	0.15	0.70
1.1	0.24	0.29	0.16	0.69
1.2	0.25	0.30	0.17	0.67
1.3	0.25	0.31	0.18	0.66
1.4	0.27	0.32	0.19	0.64
1.5	0.28	0.33	0.20	0.62
1.6	0.29	0.34	0.21	0.60
1.8	0.30	0.35	0.23	0.58
2.0	0.31	0.36	0.25	0.54
2.5	0.32	0.38	0.28	0.52
3	0.33	0.41	0.32	0.50
4	0.36	0.45	0.37	0.50
5	0.41	0.48	0.42	0.50
6	0.45	0.50	0.48	0.50

注：1. 本表适用于低碳钢。

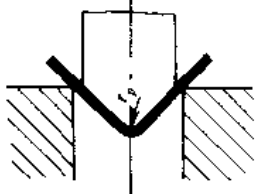
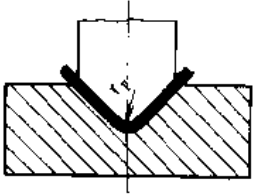
2. 表中 V 形压弯角度按 90° 考虑，当弯曲角 $\alpha < 90^\circ$ 时， x 应当减小，反之应当增大。

5 弯曲力计算

弯曲力是设计模具和选择压力机的重要依据。影响弯曲力的因素甚多，包括材料的性能、工件的形状、

弯曲的方法以及模具结构等等。很难用理论方法准确计算，在生产中通常采用表 4-6-3 所列的经验公式进行弯曲力估算。

表 4-6-3 计算弯曲力的经验公式

弯曲方式	简 图	经验公式	备 注
V 形自由弯曲		$P = \frac{Cbt^2\sigma_b}{2L}$ $- Kbt\sigma_b$ $K \approx \left(1 - \frac{2t}{L}\right) \frac{t}{2L}$	P —弯曲力 (N) b —弯曲件宽度 (mm) σ_b —抗拉强度 (MPa) t —料厚 (mm) $2L$ —支点内距离 (mm) r_p —凸模圆角半径 (mm) C —系数 K —系数
V 形接触弯曲		$P = 0.6 \frac{Cbt^2\sigma_b}{r_p + t}$ $C = 1 \sim 1.3$	F —校形部分投影面积 (mm ²) q —校形所需单位压力 (MPa) 见表 4-6-4



(续)

弯曲方式	简图	经验公式	备注
U形自由弯曲		$P = Kbt\sigma_b$ $K = 0.3 \sim 0.6$	P—弯曲力 (N) b—弯曲件宽度 (mm) σ_b —抗拉强度 (MPa) t—料厚 (mm) 2L—支点内距离 (mm) r_p —凸模圆角半径 (mm)
U形接触弯曲		$P = 0.7 \frac{Cbt^2\sigma_b}{r_p + t}$ $C = 1 \sim 1.3$	C—系数 K—系数 F—校形部分投影面积 (mm ²) q—校形所需单位压力 (MPa) 见表 4-6-4
校形弯曲的校形力		$P_c = F \cdot q$	

表 4-6-4 校形弯曲时的单位压力 (MPa)

材料	材料厚度 t (mm)	
	<3	3~10
铝	30~40	50~60
黄铜	60~80	80~100
10~20 钢	80~100	100~120
25~35 钢	100~120	120~150
钛合金 BT1	160~180	180~210
钛合金 BT3	160~200	200~260

保证。

(2) 弯边高度。弯直角时，为了保证工件的质量，弯边高度 h 必须大于最小弯边高度 h_{min} ，如图 4-6-24 所示，即

$$h > h_{min} = r + 2t$$

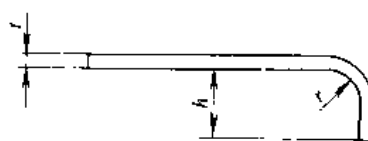


图 4-6-24 弯边高度

6 弯曲件结构工艺性

弯曲件结构工艺性直接影响产品的质量和生产成本，是设计弯曲零件的主要依据。

(1) 弯曲半径。弯曲件的圆角半径应大于表 4-6-1 所示最小弯曲半径，但也不宜过大。弯曲半径过大时，受回弹的影响，弯曲角度和弯曲半径的精度都不易

(3) 局部弯曲根部结构。局部弯曲根部由于应力集中容易撕裂，需在弯曲部分和不弯曲部分之间冲孔 (图 4-6-25a)、切槽 (图 4-6-25b)，或将弯曲线位移一定距离 (图 4-6-25c)。

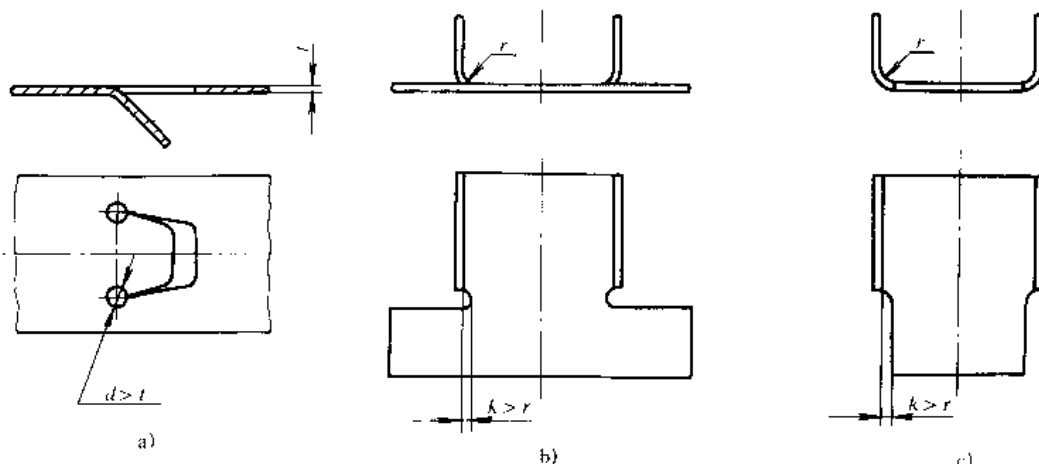


图 4-6-25 局部弯曲根部结构

a) 冲孔 b) 切槽 c) 弯曲线位移一定距离



(4) 弯曲件的孔边距。孔位过于靠近弯曲区时孔会产生变形,图4-6-26所示孔边到弯边的距离 l 满足以下条件时,可以保持孔的精度。

$$t < 2 \text{ (mm) 时 } l \geq r + t$$

$$t \geq 2 \text{ (mm) 时 } l \geq r + 2t$$

(5) 弯曲件公差。一般弯曲件长度的自由公差示于表4-6-5,角度的自由公差示于表4-6-6。

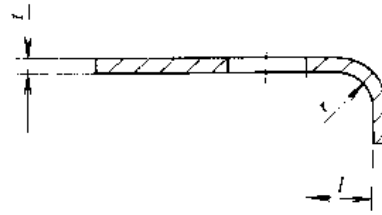
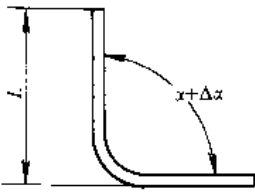


图4-6-26 弯曲件的孔边距

表4-6-5 弯曲件长度自由公差 (mm)

长度尺寸		3~6	>6~18	>18~50	>50~120	>120~260	>260~500
材料厚度	≤2	±0.3	±0.4	±0.6	±0.8	±1.0	±1.5
	>2~4	±0.4	±0.6	±0.8	±1.2	±1.5	±2.0
	>4	—	±0.8	±1.0	±1.5	±2.0	±2.5

表4-6-6 弯曲件角度自由公差

	L (mm)	≤6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50
	Δα		3°	+2°30'	±2°	±1°30'
	L (mm)	>50~80	>80~120	>120~180	>180~260	>260~360
	Δα	±1°	±50'	±40'	±30'	±25'

7 滚弯

滚弯在专用多轴滚弯机上进行,如图4-6-27

所示,滚弯可获得横截面形状十分复杂、纵向长度不受设备限制的超长型材,材料利用率高,生产率极高,可以和冲孔、压印、定尺剪切和焊接等工艺复合进行。

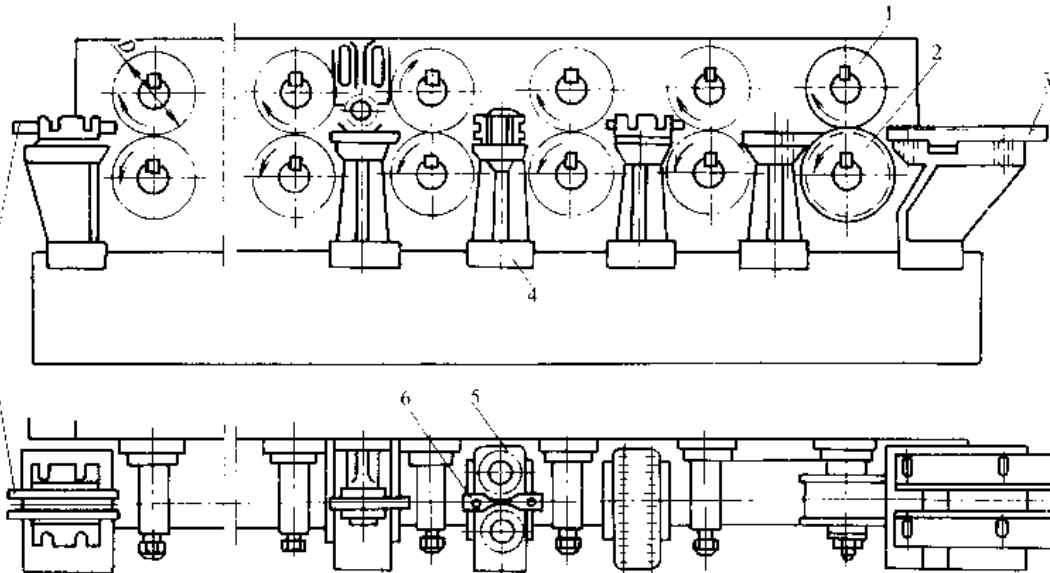


图4-6-27 轻型滚弯机示意图

1—上辊轮 2—下辊轮 3—入口导轨 4—支座 5—导向轮 6—导板 7—出口导板

7.1 滚弯工艺特征

逐次弯曲成形是滚弯工艺的特征。无论是一对辊

轮,还是各对辊轮之间弯曲成形,都是逐次进行的。

图4-6-28所示是带料通过多对辊轮逐次滚弯成形的过程。



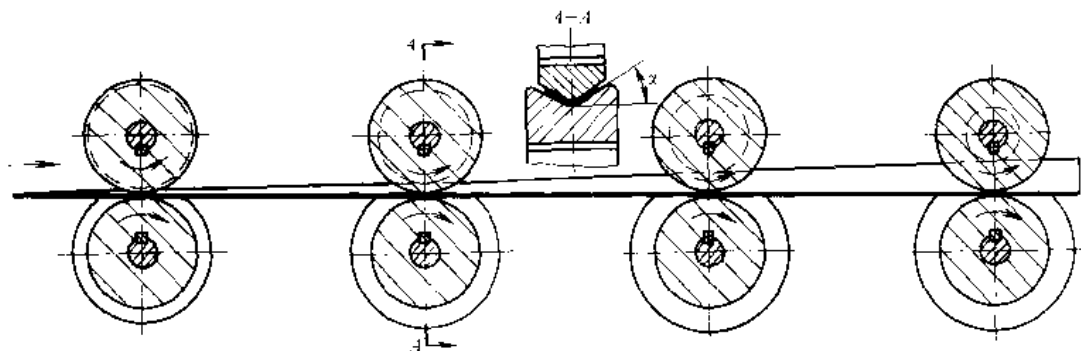


图 4-6-28 滚弯成形过程

图 4-6-29 所示是带料在第一对辊轮中逐次弯曲成形的过程,带料从辊轮入口处咬入,一面弯曲一面向前运动,至辊轮中心(截面 4)成形完毕,并从辊轮中穿出。

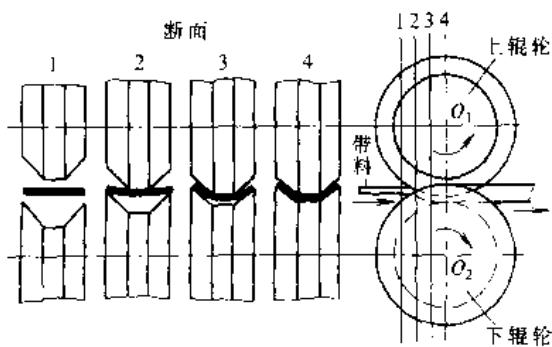


图 4-6-29 辊轮中的成形过程

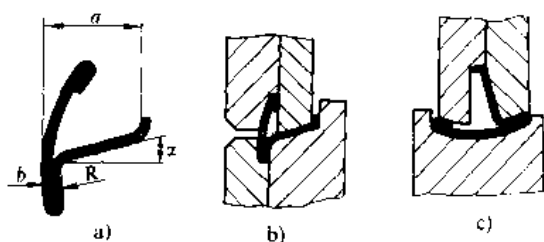


图 4-6-30 毛坯截面在辊轮中的位置

3. 导向线的确定 使带料向前移动通过多对辊轮弯成所需截面,需要有水平导向线和垂直导向线。水平导向线从第一对辊轮开始到最后一对辊轮为止,应保持在同一水平面上,如图 4-6-31 所示,它是确定辊轮节圆直径计算毛坯运动线速度的依据。

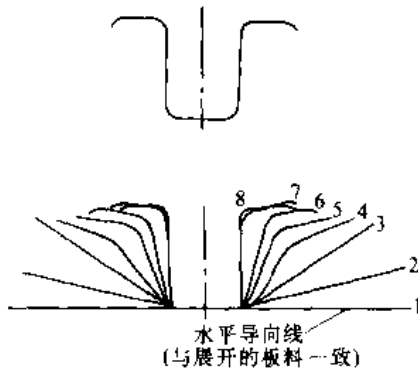


图 4-6-31 水平导向线

垂直导向线垂直于辊轮轴线,在对称截面中,垂直导向线和截面中心线一致。对于非对称的截面,应使垂直导向线两侧的变形量均等。如图 4-6-32 所示。

4. 滚弯顺序和弯曲角度的确定 根据滚弯件截面采用相应的滚弯顺序。一般采取先内后外的顺序,如图 4-6-33a 所示,可使毛坯边缘平直,横向流动阻力小;已变形的中间部分在以后工步中不再变形,定位稳定;由于毛坯计算不精确而出现多料或短料现象均反映到毛坯的边缘上,便于修正。采用先外后内的弯曲顺序,如图 4-6-33b 所示,可充分发挥工作型辊的作用,改善毛坯宽展趋势。

7.2 滚弯工艺设计

1. 毛坯展开宽度计算 滚弯毛坯展开宽度计算和压弯相同,按中性层的展开长度计算。

圆弧部分的中性层曲率半径

$$\rho = r + xt \quad (\text{mm})$$

式中 r — 内弯曲半径 (mm);

t — 料厚 (mm);

x — 中性层位移系数,见表 4-6-2。

复杂形状的滚弯件,圆角部位变薄严重,滚弯后宽展量可达 2%~5%。

2. 毛坯截面在辊轮中的位置 确定毛坯截面在辊轮中的位置时应考虑工件重要尺寸的精度,主要表面不被划伤,同时还要注意后续工序的要求以及调整方便等。图 4-6-30a 为轿车车窗装饰条的截面形状,要求保证装配尺寸 a ,并避免划伤镀铬表面 b 。从保证装配尺寸 a 来看,选择图 4-6-30b 所示方案合适,但从避免划伤表面 b 和观察、调整方便来看采用图 4-6-30c 所示方案更有利。



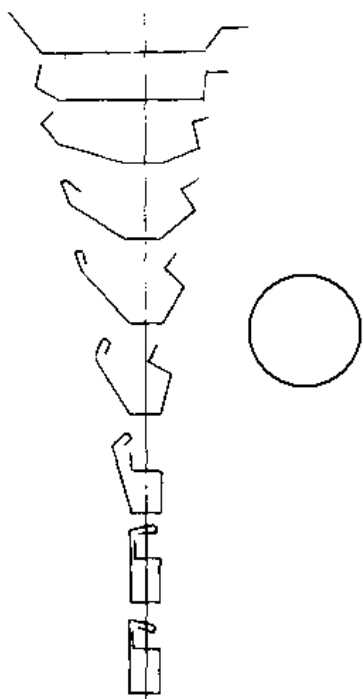


图 4-6-32 垂直导向线

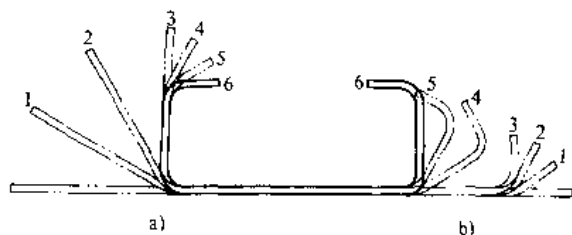


图 4-6-33 滚弯顺序

弯曲角度的选择,以一次弯曲的角度不超过表 4-6-7 所列数值为原则。

在一对辊轮中,同时弯曲的角不应超过二个。为了补偿回弹,后几组定型辊轮对弯曲角应作修正。

表 4-6-7 一次弯曲推荐的最大角度

工具类型	材料厚度 (mm)		
	0.5~0.8	0.8~1.2	1.2~1.5
主要辊轮	45°	30°	22°
辅助(侧)辊	30°	20°	15°
导板	20°	15°	12°

滚弯直边时,弯曲角度和直边高度的关系示于图 4-6-34,上升角列于表 4-6-8。

表 4-6-8 滚弯直边的上升角

滚弯材料	滚弯直边上升角
软质材料	3°
不锈钢	1°35'
一般金属材料	1°25'

图 4-6-34 是根据带料从滚弯开始到滚弯结束区间,直边边缘平滑过渡尽量减小外纤维伸长而确定的。用它来确定所需辊轮对数和各对辊轮弯曲角度的合理分配。

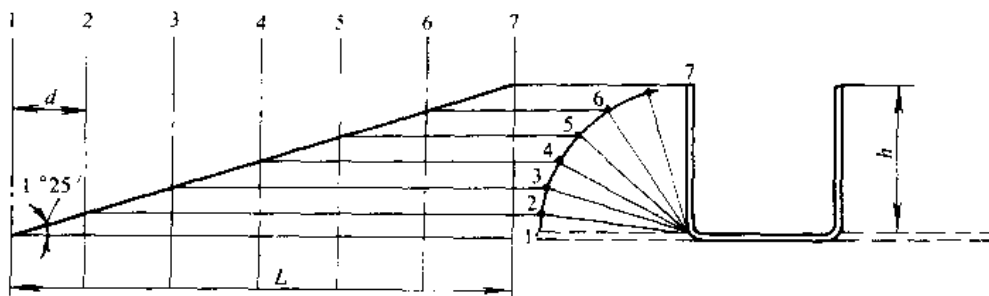


图 4-6-34 弯曲角度和直边高度的关系

8 卷板

8.1 卷板工艺

8.1.1 分类

卷板是用卷板机对板料进行连续三点弯曲的过程。按卷制温度不同可分为冷卷,热卷及温卷。按卷制

曲面形状不同分类见表 4-6-9。

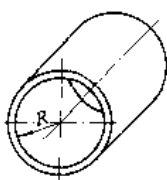
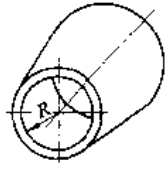
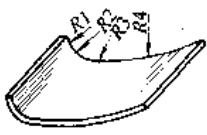
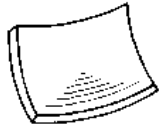

8.1.2 卷板过程^[24]

卷板的工艺过程:

1. 预弯 平板两端各有一段长度由于没有接触上辊不发生弯曲,称为剩余直边。工艺上把平板开始弯曲的最小力臂叫作理论剩余直边,其大小与设备及其弯曲形式有关,见图 4-6-35 及表 4-6-10。



表 4-6-9 卷板分类

分类	名称	简图	备注
单曲率卷制	圆柱面		简便、常用
	圆锥面		简便常用
	任意柱面		仿形或自控
双曲率卷制	球面		沿卷板机轴向曲率不大时可以卷制
	双曲面		

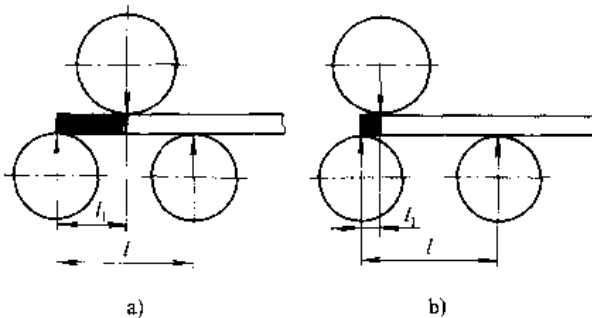


图 4-6-35 卷板机不同形式的理论剩余直边

a) 对称弯曲 $l_1 = l/2$ b) 不对称弯曲 $l_1 < l/2$

为了避免板料从辊筒间脱出, 实际剩余直边常比理论值大。一般对称弯曲时为 $(6 \sim 20)t$, 不对称弯曲时为对称弯曲时的 $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{10}$ 。

由于剩余直边在矫圆时难以完全消除, 并造成较大的焊缝应力及设备负荷, 容易产生质量和设备事故, 故一般应对板料进行板边预弯, 使剩余直边接近理论

值。常用预弯方法有:

表 4-6-10 平板弯曲时理论剩余直边

设备分类		卷板机		压力机
弯曲形式	对称弯曲	不对称弯曲		模具压弯
		三辊	四辊	
剩余	冷弯 $l/2$	$(1.5 \sim 2)t$	$(1 \sim 2)t$	$1.0t$
直边	热弯 $l/2$	$(1.3 \sim 1.5)t$	$(0.75 \sim 1)t$	$0.5t$

(1) 卷板机预弯。凡可以进行不对称弯曲的卷板机或带弯边垫板的对称三辊机都具有弯边的能力。

(2) 采取适当措施在卷板机上预弯。

(3) 用专用预弯模在水压机上预弯, 见图 4-6-36。

2. 对中 对中的目的是使工件母线与辊筒轴线平行, 防止产生扭斜。

3. 卷圆 卷圆的方式分一次进给与多次进给。冷卷回弹量显著, 须加一定的过卷量。热卷不必考虑回弹。

4. 矫圆 一般矫圆分三个步骤:

(1) 加载。根据经验或计算将辊筒调到所需的最大矫正曲率位置。

(2) 滚圆。将滚筒在矫正曲率下滚卷 1~2 圈 (着重滚卷近焊缝区) 使整圆曲率均匀一致。

(3) 卸载。逐渐卸除载荷, 使工件在逐渐减少的矫正载荷下多次滚卷。



8.1.3 锥体卷制

使上辊与侧辊斜交 (不平行), 并使辊压线始终与扇形坯料的母线重合就能卷成锥体。辊筒的倾斜度可用下式计算

$$\tan\beta = \frac{\left[(R_1 + r_c)^2 - \left(\frac{L}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{L} - \frac{\left[(R_2 + r_c)^2 - \left(\frac{L}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{L}$$

式中 β ——倾斜辊轴线与水平方向的夹角 ($^\circ$);

R_1, R_2 ——锥体大、小口的外半径 (mm);

r_c ——侧辊半径 (mm);

l ——侧辊中心距 (mm);

L ——锥体母线长度 (mm)。

对辊筒不能作倾斜调节的卷板机, 可将辊筒位置按大口曲率半径的需要调节好, 并在上辊筒上卷制小口的部位加一个适当厚度的套筒也能卷出近似锥体。卷制锥体较准确的方法有小口减速法、双速四辊卷制法、旋转送料法; 近似的方法有分区卷制法、矩形送料法。



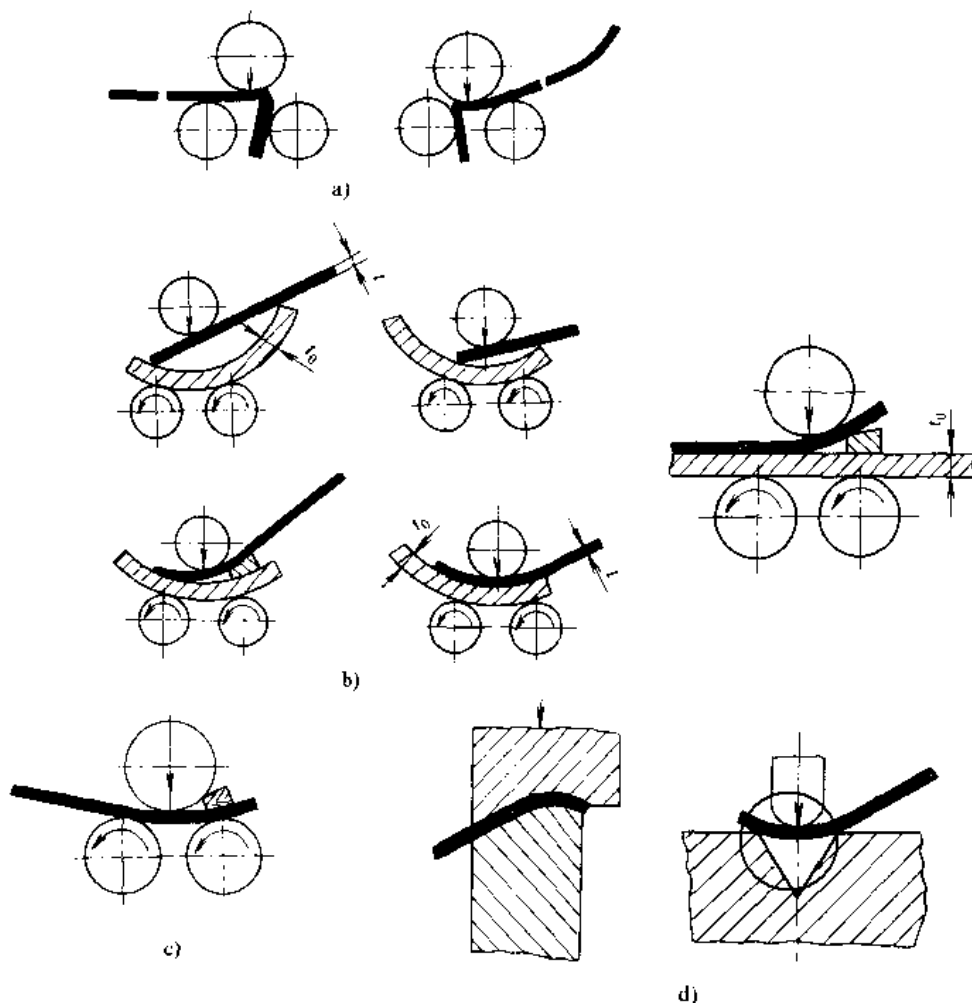


图 4-6-36 常用预弯方法

a) 带弯边垫板的对称三辊机弯边 b) 采取措施在卷板机上预弯, 适于 $t_0 \geq 2t$, $r \leq 2t$ 不超过设备能力的 60%
c) 适于较薄板 d) 水压机上预弯适于各种板厚

8.2 工艺参数计算

$$M_{n3} = \mu (G_1 + G_2 + G_3) \frac{d}{2} \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$$

式中 G_1 ——板料重力 (N);

G_2 ——万向接头重力 (N);

G_3 ——主动辊重力 (N);

d ——主动辊轴颈直径 (mm);

μ ——滑动摩擦系数。用青铜轴套取 $\mu = 0.05 \sim 0.08$ 。

8.2.1 卷板力

1. 板料的最大变形弯矩

$$M = \left(K_1 + \frac{K_0 t}{2R'} \right) W \sigma_s \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$$

式中 R' ——回弹前中心层弯曲半径 (mm);

K_0 ——材料相对强化系数, 参见表 4-6-11;

K_1 ——截面形状系数, 参见表 4-3-8。

2. 板料具有原始曲率半径 R_1 (中心层半径) 时的初始变形弯矩

$$M_1 = \left(K_1 + \frac{K_0 t}{2R_1} \right) W \sigma_s \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$$

板料由平板开始弯曲时 ($R_1 = \infty$) 的初始变形弯矩

$$M_1 = K_1 W \sigma_s \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$$

3. 卷板机空载扭矩

表 4-6-11 常见钢材的相对强化系数 K_0

材料牌号	K_0
1Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni12Ti	6
10, 15, 20	10
25, 20g, 22g, Q235-A, 12Cr1MoV, 15CrMo	11.6
30, 35	14
15Cr, 20Cr, 20CrNi	17.6
$\sigma_s \leq 800\text{MPa}$ 的高强合金钢板	20

注: 对其他钢材可按 $K_0 = 2.1/\delta$ 近似计算。 δ —伸长率

4. 卷板力和功率的计算 见表 4-6-12。



8.2.2 回弹

回弹前的筒体内径

$$D_1 = \frac{1}{1 + \frac{K_1 \sigma_s D_1}{E t}} D_0 \quad (\text{mm})$$

式中 D_1 ——回弹后的筒体内径 (mm);

K_1 ——材料相对强化系数, 见表 4.6-11;

K_1 ——截面形状系数, 见表 4.3-8。

8.2.3 进给次数

通过一次进给所能达到的弹前最小弯曲半径 R_m 称为卷板机的工艺通用性指标。 R_m 基本上与板材规格无关, 即按不打滑条件, 同一台机器可以将不同厚度的板材弯曲到同一 R_m , 板厚的影响主要通过回弹起作用。

一般设计卷板机时的工艺通用性指标为: 对称工作时 $R_m = (1.25 \sim 2.5) d_a$ (d_a 为上辊直径); 不对称工作且允许的剩余直边很小时 $R_m \geq d_a$ 。

卷板机设备说明书上的最小弯曲半径是核算卷板机强度的依据, 系指板材为卷板机名义规格时一次进给下所容许的最小弯曲半径; 若一次进给到曲率半径 R_m , 则相应的卷板规格应减小; 多次进给时最小弯曲半径可以接近上辊半径。

进给次数可根据每次进给都必须满足以下两个条件为原则, 用逐渐逼近法计算决定。

1. 工艺限制条件 冷卷时不得超过允许的最大变形率。

变形率 ϵ 通常按外部纤维伸长率计算:

对筒体

$$\epsilon = \frac{50t}{R} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right) \%$$

对卷制球形工件

$$\epsilon = \frac{65t}{R} \left(1 - \frac{R}{R_0} \right) \%$$

式中 t ——板厚 (mm);

R ——筒体或球体平均半径 (mm);

R_0 ——筒体或球体原始平均半径 (mm), 平板 $R_0 = \infty$ 。

冷卷极限变形量为 5%, 高强钢应更低: (2.5~3)%。

2. 设备限制条件 不打滑条件和功率条件 (即不超过额定功率)。

8.2.4 反压力

为了防止上辊挠曲而产生筒体束腰的缺陷, 除将上辊做成腰鼓形或增加辊筒刚性而外, 对有些卷板机还可以对上辊施加反压力使其预先产生一反向挠度以补偿上辊在工作负荷下产生的挠度。图 4.6-37 为施加反压力的腰鼓形上辊受力图。

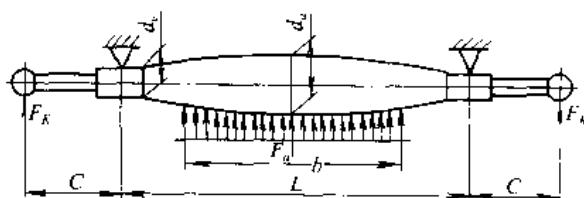


图 4.6-37 反压力上辊受力图

反压力

$$F_k = \frac{F_a L}{48C} \left(8 + 4 \left(\frac{b}{L} \right)^2 + \left(\frac{b}{L} \right)^3 \right) - \frac{4EJ}{CL^2} (d_a - d_1) \quad (\text{N})$$

式中 J ——上辊中部最大直径处的惯性矩 (mm⁴);

E ——上辊材料的弹性模量 (MPa);

L ——上辊两支点间距离 (mm);

C ——反压力作用点至支点间距离 (mm);

b ——被卷板材的宽度 (mm);

F_a ——上辊所受工作负荷 (N);

d_a ——上辊工作段中部最大直径 (mm);

d_1 ——上辊工作段端部最小直径 (mm)。

8.2.5 设备能力

1. 设备最大能力 设备最大能力受辊筒材料的弯曲许用应力 $[\sigma]$ 等条件限制。须满足以下条件:

$$\frac{1}{8} F_a (2L - b) - F_k C \leq [\sigma] W$$

式中 F_a ——上辊工作负荷 (N);

F_k ——反压力 (N);

L ——上辊两支点间距离 (mm);

b ——被卷板材宽度 (mm);

C ——反压力作用点至支点间距离 (mm);

W ——上辊中部最大直径处的截面系数 (mm³);

$[\sigma]$ ——辊筒许用应力 (MPa) 按安全系数 $n = 6 \sim 8$ 的原则确定。

2. 设备能力换算 因不对称工作能力小于对称工作能力, 故设备能力应按不对称的工作情况进行换算。根据辊筒受力不变的原则推导的换算公式见表

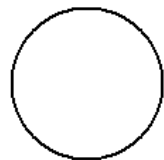
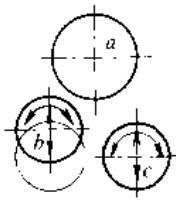
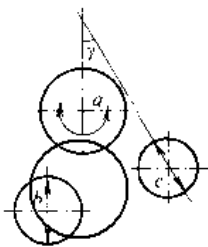
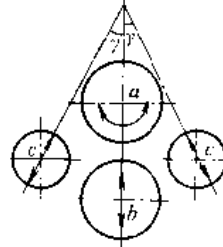
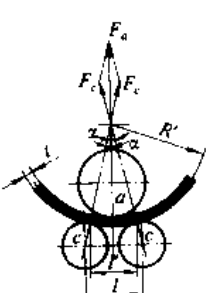
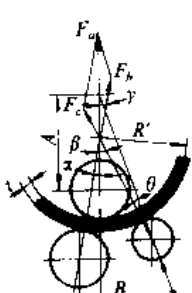
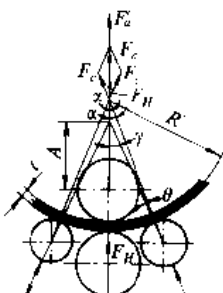


表 4-6-12 卷板机在不同工作

工作状态类别	1	2	3
运动方式			
受力图			
几何参数	$\sin\alpha = \frac{\frac{l}{2}}{R' + \frac{t}{2} + \frac{D_c}{2}}$	$\sin\alpha = \frac{B}{R' + \frac{t}{2} + \frac{D_b}{2}}$ <p>当 $R' > A + \frac{D_a}{2}$ 时</p> $\beta = \gamma - \theta$ $\sin\theta = \frac{R' - A - \frac{D_c}{2}}{R' + \frac{D_c}{2}} \sin\gamma$ <p>当 $R' < A + \frac{D_a}{2}$ 时</p> $\beta = \gamma + \theta$ $\sin\theta = \frac{A + \frac{D_a}{2} - R'}{R' + \frac{D_c}{2}} \sin\gamma$	<p>当 $R' > A + \frac{D_a}{2}$ 时</p> $\alpha = \gamma - \theta$ $\sin\theta = \frac{R' - A - \frac{D_c}{2}}{R' + \frac{D_c}{2}} \sin\gamma$ <p>当 $R' < A + \frac{D_a}{2}$ 时</p> $\alpha = \gamma + \theta$ $\sin\theta = \frac{A + \frac{D_a}{2} - R'}{R' + \frac{D_c}{2}} \sin\gamma$



状态下的几何参数和工艺力

4	5	6
$\sin \alpha = \frac{B}{R' + \frac{D_b}{2}}$ $B = \frac{M}{F_c} \left[1 + \frac{D_b}{2R'} \right]$ <p>当 $R' > A_1 + \frac{D_a}{2}$ 时</p> $\beta - \gamma - \theta - \varphi$ <p>当 $R' < A_1 + \frac{D_a}{2}$ 时</p> $\beta - \gamma + \theta - \varphi$ $\sin \theta = \frac{A \sin \gamma - \left(R' - \frac{D_a}{2} \right) \sin (\gamma - \varphi)}{R' + \frac{D_c}{2}}$ $\tan \varphi = \frac{B}{\left[\left(R' + \frac{D_b}{2} \right)^2 - B^2 \right]^{1/2} - \left(R' - \frac{D_a}{2} \right)}$	<p>取 $B = (1.5 \sim 2) t$</p> $\alpha = \arcsin \left(\frac{B}{R'} \right)$ $X_r = \frac{l}{2} \left[1 - \frac{\frac{D_b}{2} + l + \frac{D_b}{2}}{R' + \frac{l}{2} + \frac{D_b}{2}} \right]$ $X = X_r \cdot \left[1 - \frac{D_a}{2R' - l} \right] B$ $\beta - \alpha + 2 \arcsin \left[\frac{X}{R' - \frac{l}{2} - \frac{D_a}{2}} \right]$	<p>取 $B = (1.5 \sim 2) t$</p> $\alpha = \arcsin \left(\frac{B}{R'} \right)$ $\alpha = \left(R' - \frac{D_a}{2} \right) \sin \alpha$ $b = \left(R' + \frac{D_b}{2} \right) - \left(R' - \frac{D_a}{2} \right) \cos \alpha$ $\tan \theta_2 = \frac{a}{b}$ $\sin \theta_1 = \frac{l}{2a} \sin \theta_2$ $\theta = \theta_1 - \theta_2$ $\sin \gamma = \frac{\left R' - \frac{D_a}{2} - \frac{l}{2 \sin (\theta - \alpha)} \right }{R' + \frac{D_b}{2}}$ $\beta = \theta - \alpha \mp \gamma$ <p>$R' - \frac{D_a}{2} - \frac{l}{2 \sin (\theta - \alpha)} > 0$ 时取 $+$ 号 $R' - \frac{D_a}{2} - \frac{l}{2 \sin (\theta - \alpha)} < 0$ 时取 $-$ 号</p>

此星公司制作 请尊重作者版权



工作状态类别	1	2	3
辊筒受力 (N)	$F_c = \frac{M}{\left(R' + \frac{t}{2}\right) \sin \alpha}$ $F_a = \frac{2M}{\left(R' + \frac{t}{2}\right) \tan \alpha}$	$F_c = \frac{M}{\left(R' + \frac{t}{2}\right) \sin \beta}$ $F_l = \frac{M}{\left(R' + \frac{t}{2}\right) \sin \alpha}$ $F_a = \frac{M}{R' + \frac{t}{2}} \left(\frac{1}{\tan \alpha} + \frac{1}{\tan \beta} \right)$	$F_c = \frac{M}{\left(R' - \frac{t}{2}\right) \sin \alpha}$ $F_H = \text{所加液压力}$ $F_a = \frac{2M}{\left(R' + \frac{t}{2}\right) \tan \alpha}$ $F_a = F_a + F_H$
将板料从 R_1 弯曲到 R' 时消耗于板料变形的扭矩 M_{e1} (mN·m)	$(M_1 + M) \left(\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_1} \right) \frac{D_c}{4}$		$(M_1 + M) \left(\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_1} \right) \frac{D_a}{4}$
消耗于摩擦阻力的扭矩 M_{e2} (mN·m)	$f(F_a + 2F_c) + \mu \left(F_a \frac{d_a D_c}{2 D_a} + F_c d_c \right)$	$f(F_a + F_b + F_c) + \frac{\mu}{2} \times \left(F_a d_a + F_b d_b \frac{D_a}{D_b} + F_c d_c \frac{D_a}{D_c} \right)$	$f(F_a + 2F_c + 2F_H) + \mu \times \left(F_a \frac{d_a}{2} + F_c d_c \frac{D_a}{D_c} + F_H \frac{d_b D_a}{2 D_b} \right)$
板料送进的摩擦阻力 M_r (mN·m)	$f(F_a + 2F_c) + \mu F_a \frac{d_a D_c}{2 D_a}$	$f(F_a + F_b + F_c) + \frac{\mu}{2} \times \left(F_b d_b \frac{D_c}{D_b} + F_c d_c \frac{D_a}{D_c} \right)$	$f(F_a + 2F_c + 2F_H) + \mu \times \left(F_c d_c \frac{D_a}{D_c} + F_H \frac{d_b D_a}{2 D_b} \right)$
送进板料所需的拉力 F_T (N)	$(M_{e1} + M_r) \frac{D_c}{2}$		$(M_{e1} + M_r) \frac{D_a}{2}$
拉力在轴承中所引起的摩擦损失 M_{e3} (mN·m)	$(M_{e1} + M_r) \mu \frac{d_c}{D_c}$		$(M_{e1} + M_r) \mu \frac{d_a}{D_a}$
机器送进板料的总力矩 M_p (mN·m)	$\mu_1 F_c D_c$	$\mu \cdot F_a \frac{D_a}{2}$	$\mu_1 (F_c + F_H) \frac{D_a}{2}$
板料送进不打滑条件			$M_p \geq M_r + M_e - M_{e1}$
驱动扭矩 M_d (mN·m)			$M_{e1} + M_{e2} + M_{e3} + M_{e4}$
驱动功率 P (kW)	$\frac{1}{102} \times \frac{2M_d v}{D_c \eta} \times 9.8^{-1}$		$\frac{1}{102} \times \frac{2M_d v}{D_a \eta} \times 9.8^{-1}$

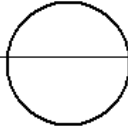
注：1. 所用计量单位：长度 (mm)，力 (N)，力矩 (mN·m)，功率 (kW)，线速度 (π/s)。

2. f ——滚动摩擦系数 (mm)，滚筒与板料间：冷卷 $f=0.8\text{mm}$ ，热卷 $f=2\text{mm}$ ，工作辊与支承辊间： $f=0.3\text{mm}$ ，轴颈与 η ——机械传动效率。

3. 对有支承辊的机器，还应考虑工作辊与支承辊间以及支承辊内的摩擦消耗。



(续)

4	5	6
	$F_c = \frac{M}{\left(R' + \frac{t}{2}\right) \sin \beta}$ $F_b = \frac{M}{\left(R' + \frac{t}{2}\right) \sin \alpha}$ $F_a = \frac{M}{R' + \frac{t}{2}} \left(\frac{1}{\tan \alpha} + \frac{1}{\tan \beta} \right)$	
		$(M_1 + M) \left[\frac{1}{R'} - \frac{1}{R_1} \right] \frac{D_b}{4}$
$f (F_a + F_b + F_c) + \frac{\mu}{2}$ $\times \left(F_a d_a + F_b d_b \frac{D_a}{D_b} + F_c d_c \frac{D_a}{D_c} \right)$		$f (F_a + F_b + F_c) + \frac{\mu}{2}$ $\times \left(F_a d_a \frac{D_b}{D_a} + F_b d_b + F_c d_c \right)$
$f (F_a + F_b + F_c) + \frac{\mu}{2}$ $\times \left(F_a d_a \frac{D_a}{D_b} + F_c d_c \frac{D_c}{D_b} \right)$		$f (F_a + F_b + F_c) + \mu F_a \frac{d_a D_b}{2 D_a}$
		$(M_{a1} + M_r) \frac{D_b}{2}$
		$(M_{a1} + M_r) \mu \frac{d_b}{D_b}$
$\mu_1 F_a \frac{D_a}{2}$		$\mu_1 (F_b + F_c) \frac{D_b}{2}$
		<div style="text-align: center;">  </div> $\frac{1}{102} \times \frac{2M_{a1} v}{D_b^2} \times 9.8^{-1}$

球轴承间: $f = 0.2 \text{ mm}$; μ_1 — 滑动摩擦系数, 辊筒与未加工的板料间的 $\mu_1 \leq 0.2$; v — 主动辊表面线速度 (m/s);



表 4-6-13 卷板机能力换算公式

序号	换算条件	换算公式
1	弯曲曲率不同	$t_2 = t_1 \left[\frac{D_2 (D_1 + d_r)}{D_1 (D_2 - d_r)} \right]^{\frac{1}{2}}$
2	板材宽度不同 $a_1 \neq c_1, a_2 \neq c_2$ $a_1 = c_1, a_2 = c_2$ $a_1 = c_1, a_2 = c_2, \text{且 } b_1 \approx L$	$t_2 = t_1 \left[\frac{b_1 (b_1 + 2c_1) (4a_2 L + 2b_1 c_1 + b_1^2)}{b_2 (b_2 + 2c_2) (4a_2 L + 2b_2 c_2 + b_2^2)} \right]^{\frac{1}{2}}$
		$t_2 = t_1 \left[\frac{b_2 (2L - b_1)}{b_2 (2L - b_2)} \right]^{\frac{1}{2}}$
		$t_2 = t_1 \left[\frac{L^2}{b_2 (2L - b_2)} \right]^{\frac{1}{2}}$
3	材质不同取 $R_s = 10 \sim 20$	$t_2 = t_1 \left[\frac{\sigma_{s1} (1.5 + K_{s1}/2R_{s1})}{\sigma_{s2} (1.5 + K_{s2}/2R_{s2})} \right]^{\frac{1}{2}}$
4	材质不同忽略硬化	$t_2 = t_1 \left[\frac{\sigma_{s1}}{\sigma_{s2}} \right]^{\frac{1}{2}}$
5	卷板温度不同取 $R_s = 10 \sim 20$ 热卷时 $\sigma_s = \sigma_s'$	$t_2 = t_1 \left[\frac{\sigma_{s1} (1.5 + K_{s1}/2R_{s1})}{1.5\sigma_s'} \right]^{\frac{1}{2}}$

注：1. 当材质、板宽、曲率等因素同时改变时可由表中相应公式联立求解。

2. 表中带角标“1”者为已知量，带角标“2”者为所求量。 d_r 为离上辊最近的工作辊直径，板宽不同时的换算符号见表

中图所示。 R_r 为相对卷板半径 $R_r = \frac{R_m}{L}$ (R_m 为平均卷板半径)。

第7章 管子与型材弯曲

1 管子弯曲时的变形和常用弯管方法

1.1 管子弯曲时的变形

纯弯曲时，管子在外力矩 M 作用下，其中性层外侧管壁受拉应力作用而减薄，内侧受压应力作用而增

厚，管子截面形状发生畸变，见图 4-7-1。截面变形大小与相对弯曲半径 R_r ($R_r = R/D_r$) 及相对壁厚 t_r ($t_r = t/D_r$) 值有关。 R_r 及 t_r 值愈小，变形愈剧烈。在极限情况下，外壁破裂或内壁失稳起皱。

改善截面变形的措施见表 4-7-1。

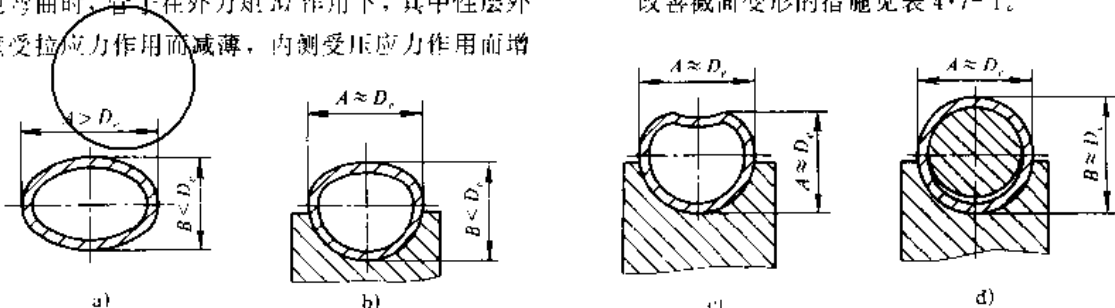


图 4-7-1 管子弯曲时的截面变形

a) 自由弯曲 b) 厚壁管用模具弯曲 c) 薄壁管用模具弯曲 d) 用模具并装芯轴弯曲

注：1. R 为管子中心处弯曲半径。



表 4-7-1 改善截面变形的措施

截面变形	改善措施	适用范围
外壁减薄	加顶锻力(图4-7-2)使管子截面产生附加压应力以抵消或部分抵消外壁的拉应力,对薄壁管易引起内壁失稳	拉拔式冷弯
内壁起皱	加芯轴,但加剧外壁减薄	拉拔式冷弯
	芯轴与防皱板同时使用效果好(图4-7-2)	
	管内装填料	热弯
	管内装填料	冷、热弯
截面失圆(椭圆)	加芯轴,效果好,但操作不便	拉拔式冷弯
	反变形法,效果好,操作简便,可实现机械化自动化	冷、热弯

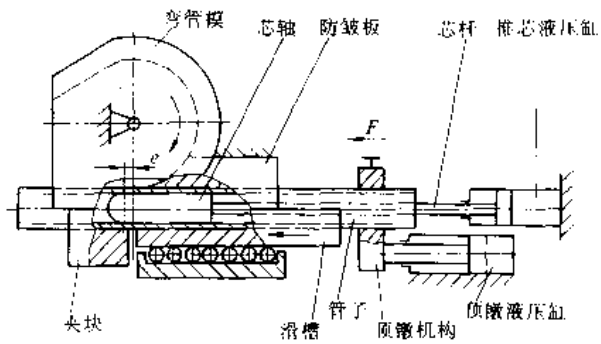


图 4-7-2 加顶锻力的弯管

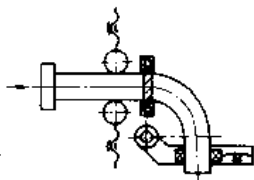
1.2 常用弯管方法 (表 4-7-2)

表 4-7-2 常用弯管方法

弯管方法	简图	设备	适用范围	备注
压(顶)弯	自由弯曲	压力机或顶弯机	一般 $R_r \geq 10$	1. 冷压或热压 2. 管内加支撑或不加支撑
	带矫正		管内加特殊支撑时可用于 $R_r \geq 1$	
滚弯		卷板机或滚弯装置	1. $R_r \geq 10$ 2. 螺旋管	需带槽滚轮,冷弯
回弯	辊压式	立式或卧式弯管机	冷弯: 无芯 $R_r \geq 1.5$ $L_r \approx 0.1$ 有芯 $R_r \geq 2$	使用最广泛。1. 冷、热弯, 2. 管内加支撑或不加支撑
	拉拔式		热弯: 允砂 $R_r \geq 4$	



(续)

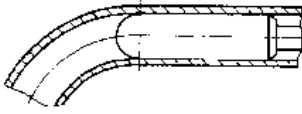

弯管方法	简图	设备	适用范围	备注
推弯		推弯机	1. 大直径厚壁管 2. 单件小批生产	1. 外壁减薄小, 2. 弯曲半径可调, 3. 热弯, 4. 不需模具
挤	芯棒式	专用推挤机	$R_r \geq 1$	热挤
	压力机	压力机	$R_r \geq 1$	冷挤
	型模式	专用挤压机	$R_r \geq 0.5$	需加热预弯至 $R_r \leq 1.5$ 挤压后精整

2 管子回弯法冷弯

2.1 有芯冷弯

2.1.1 常用芯轴的形式及特点 (表 4-7-3)

表 4-7-3 常用芯轴的形式及特点

形式	简图	特点	适用范围
圆头式		制造方便 防扁效果差	钢管 $R_r = 2$ $t_r \geq 0.05$ $R_s \geq 3$ $t_s = 0.035$
尖头式		芯轴可向前伸进 防扁效果较好 有一定防锈作用	铜管 $R_r = 1.5$ $t_r \geq 0.035$ $R_s \geq 3$ $t_s = 0.02$



(续)

形式	简图	特点	适用范围										
勺式		与外壁支撑面更大, 防扁效果好, 有一定防皱作用	<table border="0"> <tr> <td>钢管</td> <td>铜管</td> </tr> <tr> <td>$R_c \geq 2$</td> <td>$R_c \geq 1.5$</td> </tr> <tr> <td>$t_s \geq 0.05$</td> <td>$t_s \geq 0.035$</td> </tr> <tr> <td>$R_c \geq 3$</td> <td>$R_c \geq 3$</td> </tr> <tr> <td>$t_s = 0.035$</td> <td>$t_s = 0.02$</td> </tr> </table>	钢管	铜管	$R_c \geq 2$	$R_c \geq 1.5$	$t_s \geq 0.05$	$t_s \geq 0.035$	$R_c \geq 3$	$R_c \geq 3$	$t_s = 0.035$	$t_s = 0.02$
钢管	铜管												
$R_c \geq 2$	$R_c \geq 1.5$												
$t_s \geq 0.05$	$t_s \geq 0.035$												
$R_c \geq 3$	$R_c \geq 3$												
$t_s = 0.035$	$t_s = 0.02$												
单向轴节		可伸入管子内部与管子一起弯曲, 防扁效果更好。可对管子进行矫圆, 除单向轴节有方向性外其余两种无方向性	与防皱板顶微机构配合可用于 $R_c \geq 1.2$										
方向轴节													
软轴式													

2.1.2 芯轴工艺尺寸 (图 4.7-3)

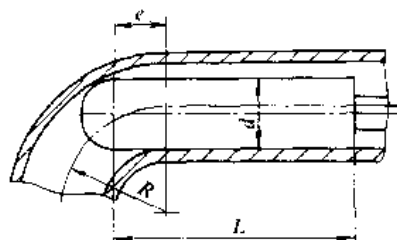


图 4.7-3 芯轴的位置及尺寸

1. 芯轴直径 d

$$d = D_0 - (\delta_n + 2\delta_s) \quad (\text{mm})$$

式中 δ_n — 管子直径下偏差绝对值, $\delta_n = 0.01D_0$ (mm);

δ_s — 管子壁厚的上偏差, 一般 $\delta_s = 0.1t$ (mm)。

2. 芯轴长度 L

$$L = (3 \sim 5) d \quad (\text{mm})$$

当 d 大时取较小系数, d 小时取较大系数。

3. 芯轴伸入弯管区的距离 e

$$e = \sqrt{2cR} \quad (\text{mm})$$

$$c = D_0 - d \quad (\text{mm})$$

式中 c — 管子内壁与芯轴间的间隙。

弯管时管内须涂油润滑或采用喷油芯轴。

有时也可以用填料代替芯轴。填料装入管内必须夯实封牢, 使其不易串动, 起到阻止变形的作用。填料的种类有石英砂、低熔点合金、树脂橡胶、压力液体等。

2.2 无芯冷弯

无芯冷弯分一般无芯冷弯和反变形法无芯冷弯。当 $R_c = 1.5 \sim 3.5$ 时, 采用反变形法来改善管子截面形状。

反变形法弯管时, 在管子进入弯曲变形区前, 预先给以一定量的反变形, 可抵消或减小弯后的椭圆变形 (图 4.7-4)。

管子的预先反变形是由滑槽或滚轮上的反变形型槽给出的。从理论上讲, 只要反变形槽型尺寸适当, 弯头部分的椭圆度可降至零。此时管子的椭圆度主要由终弯点决定, 如图 4.7-5 中阴影区 A, 反变形量无法恢复, 影响外观 (增大滚轮直径可使外观改善), 故采用滑槽较滚轮为好。

反变形型槽尺寸见表 4.7-4。



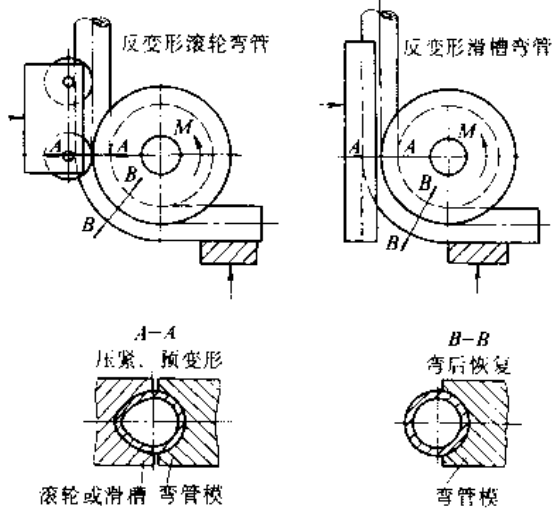


图 4-7-4 反变形法弯管

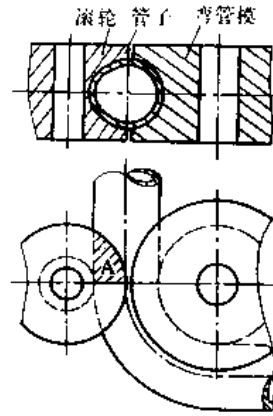


图 4-7-5 反变形法终弯点变形区

表 4-7-4 反变形型槽尺寸

弯管模 反变形型槽	R_1	R_2	R_3	H	B
		1.5~2 2~3.5 ≥3.5	$0.5D_e$ $1.0D_e$ —	$0.95D_e$ $0.4D_e$ $0.5D_e$	$0.56D_e$ $0.545D_e$ $0.5D_e$

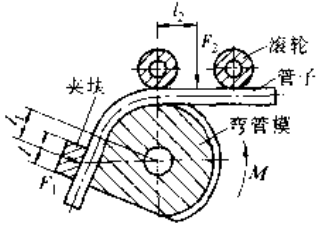
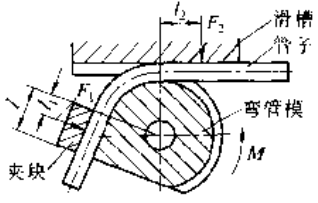
2.3 工艺参数计算 (表 4-7-5)

表 4-7-5 冷弯工艺参数计算

参数名称	计算公式	备注
外壁最小壁厚 t'	$t' = \frac{R_1}{R_1 + K_1} t \text{ (mm)}$ $K_1 = 0.5(1 - \epsilon) - 0.2\epsilon$ $\epsilon = 1 - 0.075(1 - \epsilon) R_1^{1.5}$	1. K_1 —系数 2. ϵ —管径缩小系数 3. 适用于无芯弯管 4. 有芯弯管比无芯弯管外壁减薄量大 20%~30%
外壁减薄率 b	$b = \frac{t - t'}{t} 100\%$ $= \frac{K_1}{R_1 + K_1} 100\%$	
最小相对弯曲半径 R_{rmin}	1. 按外壁减薄率允许值 b 计算 $R_{rmin} \geq \frac{K_1(1 - b_y)}{b_y}$ 2. 按内壁不起皱条件计算 $R_{rmin} \geq 6.5(1 - 9\epsilon) \approx 1$	1. 适用无芯弯管 2. 必须同时满足左栏两式 3. 下式适用于 $t_e \geq 0.02$, $R_2 \geq 1$, 当 $t_e \geq 0.095$ 时一般不考虑起皱因素



(续)

参数名称	计算公式	备注
弯头伸长量 Δl ①	$\Delta l = \frac{\pi \alpha}{180} e \quad (\text{mm})$ $e \approx \frac{r}{2} \sqrt{\frac{r}{R}} \quad (\text{mm})$ $r = \frac{1}{2} (D_0 - t) \quad (\text{mm})$	α —弯曲角度(°) r —管子平均半径
旋转力矩 M_T	$M_T = M_w + M_{ym} - M_{xm} \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$ $M_w = \frac{M + M_0}{2} \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$ $M_0 = K_1 W \sigma_s \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$ $M = \left(K_1 + \frac{K_0}{2R_s} \right) W \sigma_s \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$	M_w —弯管力矩 M_0 —始弯矩 M —终弯矩 M_{ym} —压料摩擦力矩用滚轮弯时 $M_{ym} = (0.05 \sim 0.08) M_w$ 用移动式滑槽弯时 $M_{ym} = (0.1 \sim 0.15) M_w$ 用固定式滑槽时 $M_{ym} = (0.4 \sim 0.55) M_w$ M_{xm} —芯轴摩擦力矩(mN·m) 当 $t_s = 0.03 \sim 0.06 R_s = 2 \sim 4$ 时 $M_{xm} = 1.5 M_w$ K_1 —系数, 参见表 4-3-8 K_0 —系数, 参见表 4-6-11
夹紧力 F_1	$F_1 = \frac{M_T}{l_1} \quad (\text{N})$ $l_1 = (1.5 \sim 2) D_r \quad (\text{mm})$	
压料力 F_2	$F_2 = \frac{M_w}{l_2} \quad (\text{N})$ $l_2 \approx 2 D_r \quad (\text{mm})$	
回弹前中心处弯曲半径(模具半径) R'	$R' = \frac{R}{1 - 2m \frac{\sigma_s}{E} R_r} \quad (\text{mm})$ $m = K + \frac{K_0}{2R_s}$	当 $R_s \leq 10$ 时, 按下列经验公式确定: 合金钢管 $R' \approx 0.94R$ 碳钢管 $R' = 0.96 \sim 0.98R$ R 太取小值, $R_s \leq 1.5$ 不考虑回弹
回弹前弯曲角 α' ②	$\alpha' = \frac{\alpha}{1 - 2m \frac{\sigma_s}{E} R_r} \quad (^\circ)$ $m = K + \frac{K_0}{2R_s}$	α —回弹后弯曲角(°)

注: 本表适用无顶墩回弯。

① Δl 亦可按下列经验数据近似计算。

D_w (mm)	16~18	25	32~42	51~89	108	133	159
Δl (mm)	$\alpha = 180^\circ$	5	8~9	9~10			
	$\alpha = 10^\circ$				0.8~1.3	1.3~1.5	1.5~1.7

② 当 $R_s = 2.5 \sim 6$ 时, 可按下列经验公式初步确定回弹角 $\Delta \alpha$, 然后进行试弯、修正。

$\alpha' = \alpha + \Delta \alpha$ $\Delta \alpha = \Delta \alpha_1 + 0.05 \alpha$ $D_r \leq 76$ 时, $\Delta \alpha_1 = 2.5 \sim 3$ $D_r = 83 \sim 108$ 时, $\Delta \alpha_1 = 4 \sim 5$ 材料塑性较好时 $\Delta \alpha_1$ 取较小值。



3 管子热弯

3.1 热弯条件

选择热弯的原则：

- (1) 冷弯设备条件不具备；
- (2) 管子材质要求热弯；
- (3) 管子形状复杂无法采用冷弯；
- (4) 一次性生产，弯头数量少，制做冷弯模具不经济。

碳钢钢管的加热温度为 950℃ 左右，合金钢管视材料而定，一般为 950~1050℃。

热弯时加热应缓慢均匀热透，不锈钢及合金钢管不宜热弯。必须热弯时，不锈钢管加热应避免渗碳，而对淬硬倾向较大的合金钢管则不得浇水冷却。

3.2 热弯力矩

热弯旋转力矩

$$M_T = M_w + M_{y_m} \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$$

$$M_w = K_1 W \sigma_s' \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$$

式中 M_w - 弯管力矩 (mN·m)；

M_{y_m} - 摩擦力矩 (mN·m) 取表 4-7-5 中 M_{y_m} 较大系数值。

充砂热弯时，弯管力矩

$$M_w = CK_1 W \sigma_s' \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$$

式中 C - 系数，数据如下：

D_s	<133	159~219	≥273
C	1.4	1.3	1.2

3.3 中频弯管及火焰弯管

采用带有反变形槽的弯管模在弯管机上进行中频感应加热弯管，可以弯制 $R_s=1.5$ 的管件，还可以作为小 R 挤压 ($R_s \approx 0.5$) 的预弯工序。图 4-7-6 为 $D_s=51\text{mm}$ 热弯模及滑槽尺寸。热弯模不考虑回弹。

中频弯管和火焰弯管是一种加热、弯曲及冷却连续进行的弯管过程。即先用中频感应装置或火焰(一般用氧乙炔焰)将管件局部环形加热至 900℃ 左右，随即对加热部分进行弯曲并立即喷水冷却。由于管子被加热区很窄，而两侧温度低、刚性大，限制了截面变形和皱褶的产生，故管件内外壁均不必支撑，一般可用于 $R_s \geq 1.5$ 。这两种方法都需要专用设备。根据弯管的受力形式可分为拉弯和推弯(表 4-7-6)。

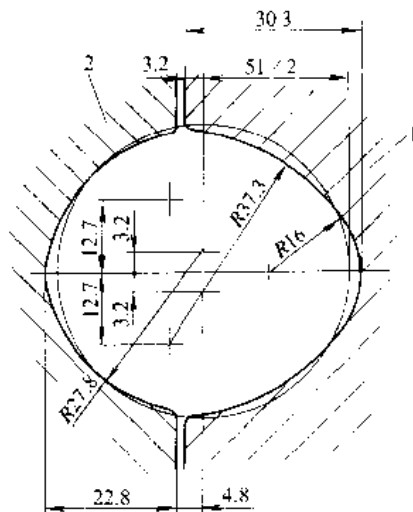


图 4-7-6 热弯模型槽

1—弯管模 2—滑槽

表 4-7-6 拉弯和推弯

弯管形式	简图	特点
拉弯		<ol style="list-style-type: none"> 1. 外壁减薄大 2. 弯曲半径均匀、调整方便 3. 可弯 180° 弯头 4. 弯曲半径受转臂调节范围的限制
推弯 (一)		<ol style="list-style-type: none"> 1. 外壁减薄小 2. 起弯段弯曲半径难保证，调节困难 3. 可弯 ≥180° 任意弯曲半径的弯头
推弯 (二)		<ol style="list-style-type: none"> 1. 外壁减薄小 2. 弯曲半径均匀，调整方便 3. 弯曲角一般 ≤ 90° 4. 弯曲半径受转臂调节范围的限制

1. 中频弯管的特点 近代工业要求大直径厚壁的管道。如冷弯则需要庞大的弯管机，占地大，造价高，还需昂贵的模具。而中频弯管除中频感应机组耗电量大，初投资较大外，因不需模具、弯曲半径调整方便、弯管机结构简单、功率消耗小、加热迅速、热效率高、弯头表面不会产生氧化皮、弯头外形好、椭圆度可达



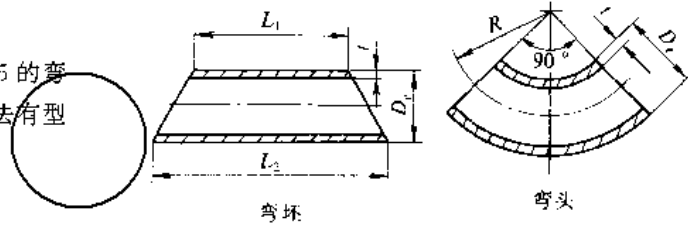
5%；适应性强。适合单件小批生产。

2. 火焰弯管的特点 加热采用火焰，省去中频机组，结构更简单，造价低，维修方便。但其加热效率不高，适用于薄壁管的弯制。

管坯做毛坯料(图4-7-7)。一般用两道工序热压完成，即在垂直平面内弯曲和随后在水平面内矫平。型模压制法的种类见表4-7-7。

4 急弯头制造

对于 t_s 、 R_s 较小的急弯头，特别是 $R_s < 1.5$ 的弯头，截面变形严重，外壁减薄严重。常用制造方法有型模压制法、型模挤弯法和芯棒挤弯法。



4.1 型模压制法

在压力机上用模具压制弯头可用斜端头或平端头

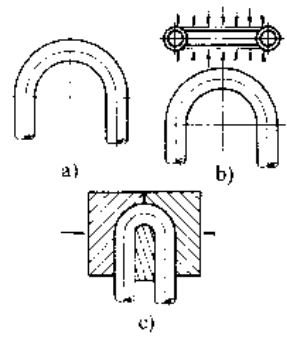
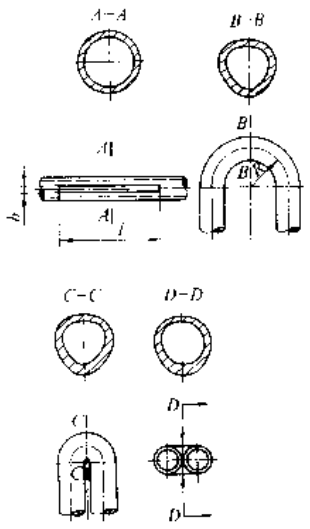
图4-7-7 管坯和弯头

表4-7-7 型模压制法的种类

简图	压制特点	备注
	管内不必加支撑	$t_s \geq 0.17$ $R_s > 1.3$
	管内不加支撑： 对于大直径弯头，管内加支撑不方便，采用加大管坯直径和壁厚的方法使管坯在内腔尺寸逐次减小的2~3套模具内弯曲变形，并在每次压制前进行翻转90°压扁预变形	$t_s \geq 0.04$ $R_s \geq 1$ $D_1 - D_2 \approx 50\text{mm}$ $D_2 - D_3 \approx 50\text{mm}$ $h_1 < D_2$ $h_3 < D_3$ D_1 —一次成型后管直径 (mm) D_2 —二次成型后管直径 (mm) D_3 —终压成型后管直径 (mm) h_1 —一次压扁后高度 (mm) h_2 —二次压扁后高度 (mm)
	为防止两端畸变，管端垫以简单的垫盖	$t_s = 0.09 \sim 0.17$ $R_s = 1.3 \sim 1.5$
	不但两端且管内变形剧烈处也进行支撑	$t_s = 0.08 \sim 0.09$ $R_s = 1.2 \sim 1.5$ 或 $t_s = 0.065 \sim 0.08$ $R_s = 1.7 \sim 1.8$
	极易失稳，对支撑件要求更高	$D_0 < 100\text{mm}$, $t_s > 0.05$ $D_0 = 100 \sim 200\text{mm}$, $t_s \geq 0.04$ 且 $t \geq 5$ $D_0 > 200\text{mm}$, $t_s \geq 0.03$ 且 $t \geq 8$ $R_s \geq 1$



(续)

简图	压制特点	备注
	<p>当两端带有直线段时：a)先弯成大半径的弯头；b)在弯头处打扁；c)压成小弯头。有时要数次打扁、压弯才能最后成形</p>	<p>$t_r \approx 0.1$ $R_r \approx 1$</p>
	<p>当两端带有直线段时，先用带反变形槽的预弯模热弯成 $R_r \approx 1.5$ 的弯头（此时弯头顶部截面形状如图 4-7-8），再将预弯好的弯头放入专用挤压模中在专用液压机上压制，最后精整</p>	<p>$t_r \approx 0.1$ $R_r \approx 0.6$</p>

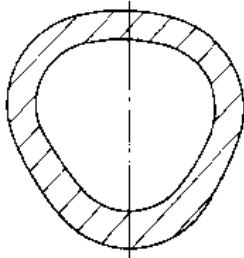


图 4-7-8 预弯截面

压制力 $F = KAp$ (N)

$A = 0.707D_c(2R + D_c)$ (mm²)

式中 A —— 承压零件投影面积 (mm²)；

K —— 系数；

p —— 单位矫正力 (MPa)；

K 、 p 值参见表 4-11-10。

4.2 型模挤弯法 (图 4-7-9)

管坯在挤压力作用下沿弯曲空道变形而成弯头。

管子受挤压弯曲，中性层向外偏移，故大大改善了弯头外侧壁厚的减薄量和椭圆度。一般要求 $t_r \geq 0.06$ ，否则易失稳起皱。

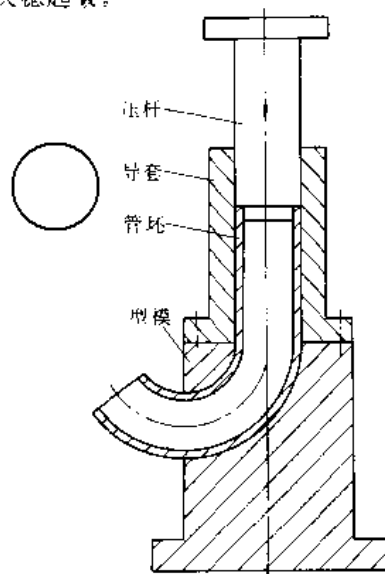


图 4-7-9 型模挤弯



$$F = K \frac{M}{R} \quad (\text{N})$$

$$M = \left(K_1 + \frac{K_0}{2R_s} \right) W \sigma_s \quad (\text{mN} \cdot \text{m})$$

式中 M — 终弯矩 (mN·m)

K — 系数, $K=2 \sim 2.5$, 管内有填充物时取大值。

4.3 芯棒挤弯法

管坯边加热边向前移动, 从牛角芯棒处挤出。由于受推力 F 及芯棒阻力的作用, 使管坯产生周向扩张及轴向弯曲变形, 将小直径的管坯推挤成较大直径的弯头, 见图 4-7-10。

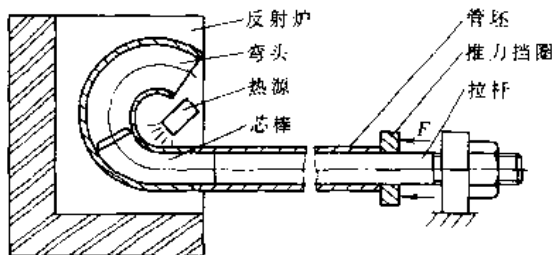


图 4-7-10 芯棒挤弯

管坯内侧比外侧加热温度高, 内侧金属向两侧流动, 部分金属重新分布, 故只要选择合适的管坯, 就能得到管壁厚度均匀一致的弯头。

加热温度: 碳钢 750~850℃, 不锈钢 ≈ 900℃。进口端温度应较高, 始扩段较低, 中间逐步过渡 (图 4-7-11)。

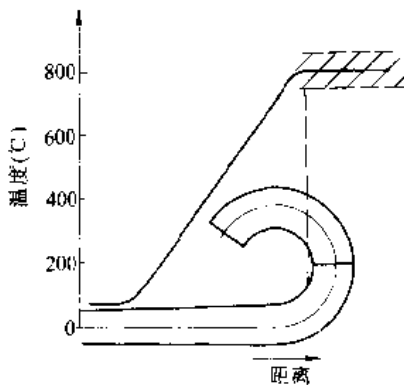


图 4-7-11 碳钢理想加热曲线

工艺参数的确定:

(1) 管坯外径

$$D_0 = \frac{D_s - t}{1 + \frac{K_0}{2R}} + t \quad (\text{mm})$$

若无合适规格时可选稍大一档的管坯。

(2) 管坯长度

$$L_0 = \pi \left(R - \frac{D_s}{2} \right) - \Delta \quad (\text{mm})$$

式中 Δ — 工艺余量 $\Delta=20 \sim 30$ (mm)。

(3) 管坯厚度

$$t_0 = t \quad (\text{mm})$$

(4) 推挤力

$$F = K A \sigma_s' \quad (\text{N})$$

$$A = \pi (D_0 - t_0) t_0 \quad (\text{mm}^2)$$

$$K = 1 + \frac{D_s}{2R} + 1.57\mu + \frac{D_s - D_0}{D_s}$$

式中 A — 承压面积 (mm²);

K — 系数;

μ — 摩擦系数 $\mu=0.30 \sim 0.35$;

σ_s' — 材料高温抗拉强度 (MPa)。

(5) 推挤速度

$V=120 \sim 300$ mm/min 视加热温度和速度而定。

牛角芯棒材料见表 4-7-8, 结构形式见表 4-7-9。

表 4-7-8 牛角芯棒材料

管坯材料	管坯内径 (mm)	芯棒材料
碳钢	≥65	2Cr13
碳钢	<65	Cr25Ni20Si2
耐热钢和不锈钢	不限	Cr25Ni20Si2

表 4-7-9 牛角芯棒结构形式 (mm)

名称	简图	尺寸
单半径芯棒		$d = D_0 - 2t$ $d_0 = D_0 - 2t_0$ $\alpha = 60 \sim 90^\circ$ $l_1 \approx 2D_0$ $R_0 \approx 1.1R$
双半径芯棒		$d = D_0 - 2t$ $d_0 = D_0 - 2t_0$ $l_1 \approx 2D_0$ $R_1 \approx 1.1R$ $R_2 \approx 1.4R$ $C = \frac{d - d_0}{2}$ $R_1' = R_0 - \frac{d_0}{2}$ $R_2' = R_0 + \frac{d_0}{2}$



5 特种管件弯制举例

弯管机增加适当的附件或改装，可弯制一些特殊形状的管件（图 4·7-12）。

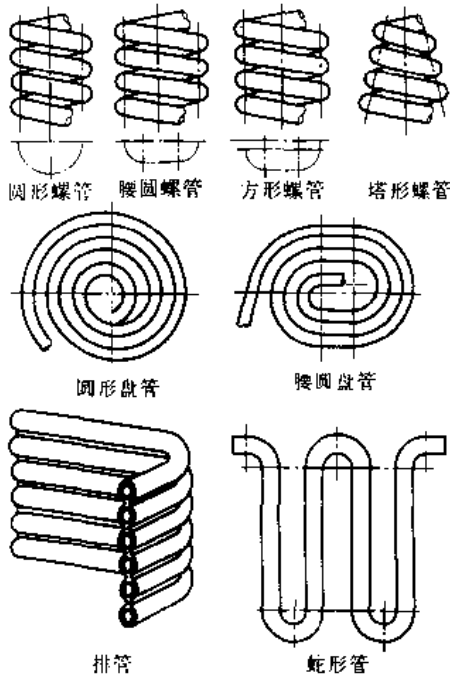


图 4·7-12 特种管件举例

5.1 圆形螺管

圆形螺管可以滚弯和卷弯。

1. 滚弯 在弯管机上增加滚轮滚弯。一套滚轮可弯同一管径不同螺距和直径的螺管；调整螺距和直径较困难；均冷弯，见图 4·7-13。

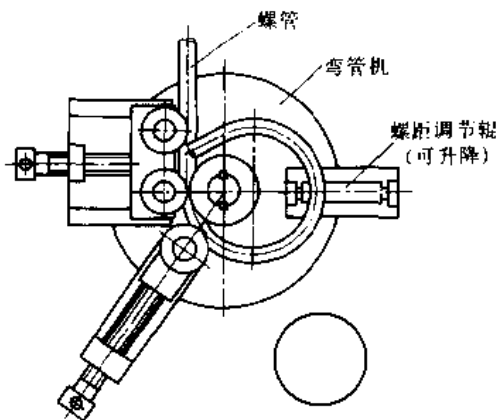


图 4·7-13 螺管滚弯

2. 卷弯 一套胎具只能弯一种规格的螺管，操作简便、成形较准，可冷弯或热弯。冷弯要考虑回弹量，见图 4·7-14。其中，图 a 螺旋压轮较图 b 螺旋卷筒制造方便。

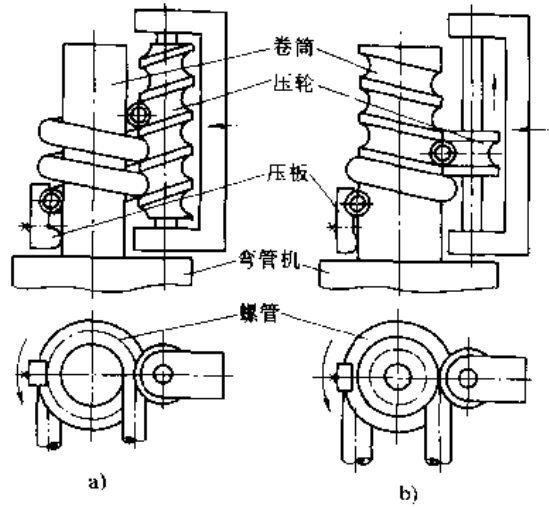


图 4·7-14 螺管卷弯

5.2 腰圆盘管

腰圆盘管可以利用管子本身电阻进行加热后在弯管机上弯制（图 4·7-15）。管圈之间的节距用垫铁（板）控制。夹紧轮安放在摆动板上，可减少弯管时管子尾部的摆动幅度。

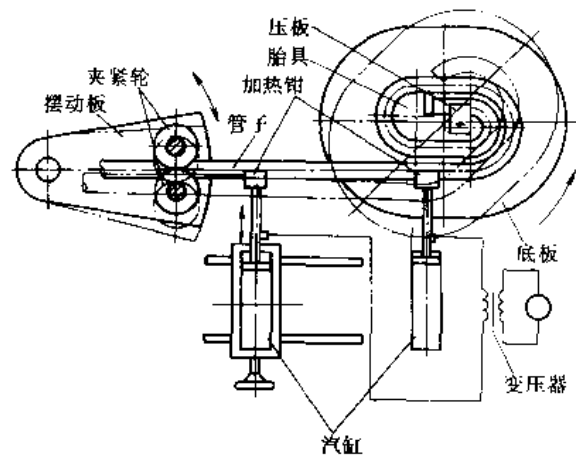


图 4·7-15 腰圆盘管的弯制

5.3 排管

图 4·7-16 为液压成排弯管机工作图。由图可看出，这种弯管方法与单根弯管相同，仅将弯管机的主轴、夹紧机构和压料机构相应加高，同时为了防止弯管时机床主轴倾斜，在主轴顶部设有可翻转支架。弯制的方式有回弯、顶弯等。



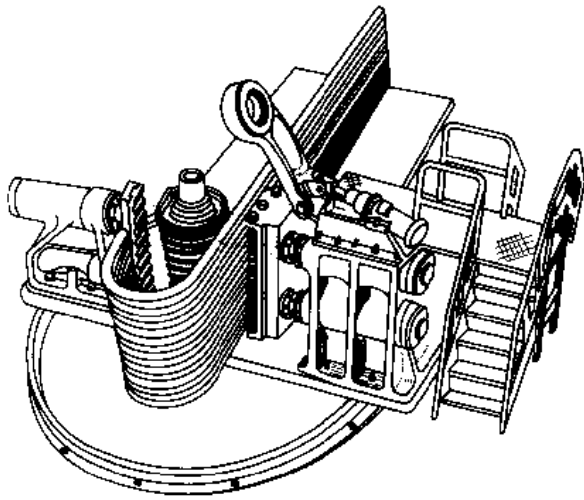


图 4-7-16 液压成排弯管机工作图

性层通过型材截面重心来计算坯料长度。弯曲时由于外层受拉应力，内层受压应力，使型材截面发生畸变（图4-7-17）。一般轧制型材的最小弯曲半径可按表4-7-10。弯曲力参照卷板及弯管力矩公式计算。

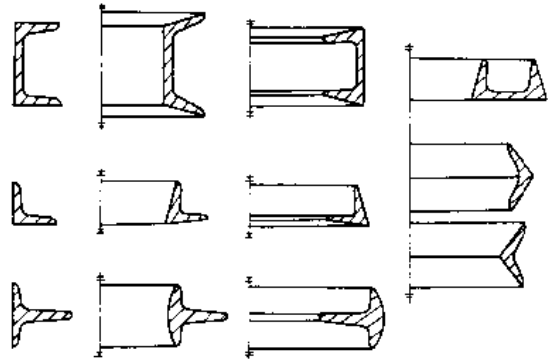


图 4-7-17 型材弯曲时的截面变形

6 型材弯曲

6.1 型材弯曲及最小弯曲半径

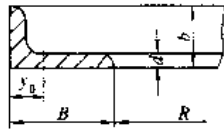
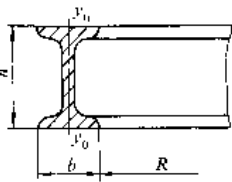
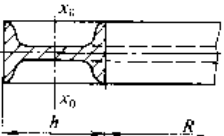
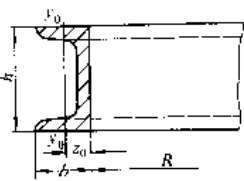
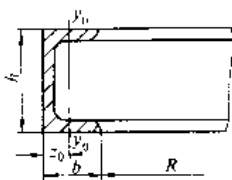
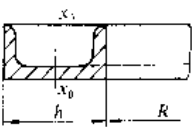
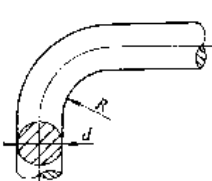
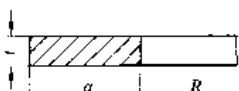
通常型材弯曲半径都比较大 ($R_c > 10$)，故可按中

表 4-7-10 型材最小弯曲半径 R_{min}

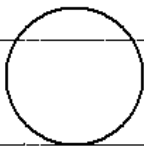
名称	简图	状态	R_{min} 计算公式
等边角钢外弯		热	$R_{min} = \frac{b-x_0}{0.14} - x_0 \approx 7b - 8x_0$
		冷	$R_{min} = \frac{b-x_0}{0.04} - x_0 = 25b - 26x_0$
等边角钢内弯		热	$R_{min} = \frac{b-x_0}{0.14} - b + x_0 \approx 5(b-x_0)$
		冷	$R_{min} = \frac{b-x_0}{0.04} - b + x_0 = 24(b-x_0)$
不等边角钢小边外弯		热	$R_{min} = \frac{b-x_0}{0.14} - x_0 \approx 7b - 8x_0$
		冷	$R_{min} = \frac{b-x_0}{0.04} - x_0 = 25b - 26x_0$
不等边角钢大边外弯		热	$R_{min} = \frac{B-y_0}{0.14} - y_0 \approx 7b - 8y_0$
		冷	$R_{min} = \frac{B-y_0}{0.04} - y_0 = 25b - 26y_0$
不等边角钢小边内弯		热	$R_{min} = \frac{b-x_0}{0.14} - b + x_0 \approx 6(b-x_0)$
		冷	$R_{min} = \frac{b-x_0}{0.04} - b + x_0 = 24(b-x_0)$



(续)

名称	简图	状态	R_{min} 计算公式
不等边角钢大边内弯		热	$R_{min} = \frac{B-y_0}{0.14} - B + y_0 \approx 6(B-y_0)$
		冷	$R_{min} = \frac{B-y_0}{0.04} - B + y_0 = 24(B-y_0)$
工字钢以 y_0-y_0 轴弯曲		热	$R_{min} = \frac{b}{2 \times 0.14} - \frac{b}{2} \approx 3b$
		冷	$R_{min} = \frac{b}{2 \times 0.04} - \frac{b}{2} = 12b$
工字钢以 x_0-x_0 轴弯曲		热	$R_{min} = \frac{h}{2 \times 0.14} - \frac{h}{2} \approx 3h$
		冷	$R_{min} = \frac{h}{2 \times 0.04} - \frac{h}{2} = 12h$
槽钢以 y_0-y_0 轴外弯		热	$R_{min} = \frac{b-z_0}{0.14} - z_0 \approx 7b - 8z_0$
		冷	$R_{min} = \frac{b-z_0}{0.04} - z_0 = 25b - 26z_0$
槽钢以 y_0-y_0 轴内弯		热	$R_{min} = \frac{b-z_0}{0.14} - b + z_0 \approx 6(b-z_0)$
		冷	$R_{min} = \frac{b-z_0}{0.04} - b + z_0 = 24(b-z_0)$
槽钢以 x_0-x_0 轴弯曲		热	$R_{min} = \frac{h}{2 \times 0.14} - \frac{h}{2} \approx 3h$
		冷	$R_{min} = \frac{h}{2 \times 0.04} - \frac{h}{2} = 12h$
圆钢弯曲		热	$R_{min} = d$
		冷	$R_{min} = 2.5d$
扁钢弯曲		热	$R_{min} = 3a$
		冷	$R_{min} = 12a$ 当 $\frac{a}{t} < 10$ 时

此星公司制作 请尊重原作者版权



6.2 型材弯曲方法

1. 卷弯 在三辊或四辊型材卷弯机上弯曲。
2. 回弯 用带有夹块和滑槽的分解弯曲模在主轴附有夹紧液压缸的弯管机上弯曲 (图 4-7-18)。

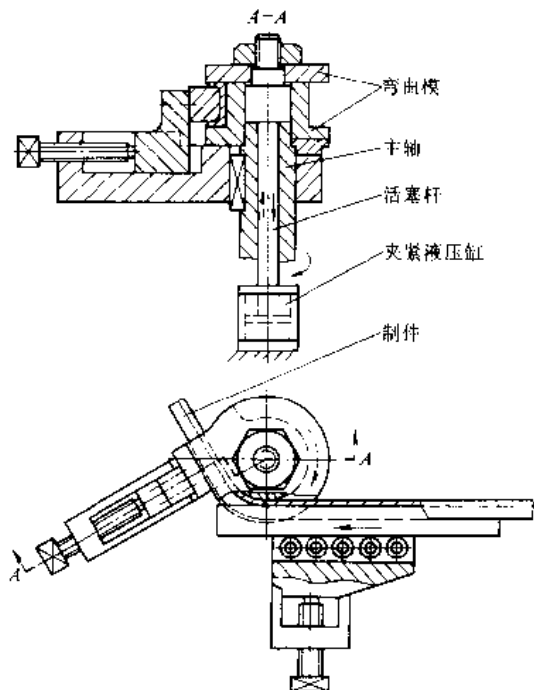


图 4-7-18 弯管机上回弯型材

3. 压弯 用模具在液压机或卧式弯曲矫正机上一次或多次进行压弯。为防止型材截面变形,模具应有与型材截面相适应的槽型和垫块。

4. 拉弯 在液压机上用拉弯模进行拉弯 (图 4-7-19),适用于弯曲半径大的薄壁和非铁金属型材的弯曲。上模下降时,上、下夹头将型材夹紧并沿斜面外移,将型材预拉长一定值,然后进行压弯。因为加有拉应力,使型材整个截面都得到塑性变形 (一般坯料产生 2%~5% 的延伸)。因此回弹量小,可获得较精确的弯曲件。

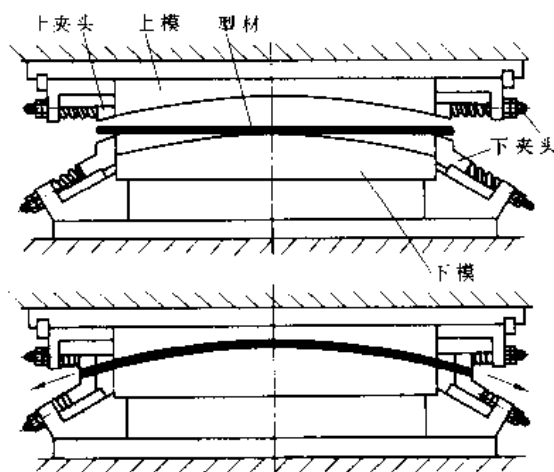


图 4-7-19 液压机上拉弯

第8章 拉 深

拉深,也称拉延、压延或引伸,是利用模具使平板坯料成形为开口的空心零件的冲压工艺方法。

圆筒形件拉深过程如图 4-8-1 所示,从直径 D_0 的平板坯料拉深成高度 h 、直径 d 的工件时,坯料凸缘

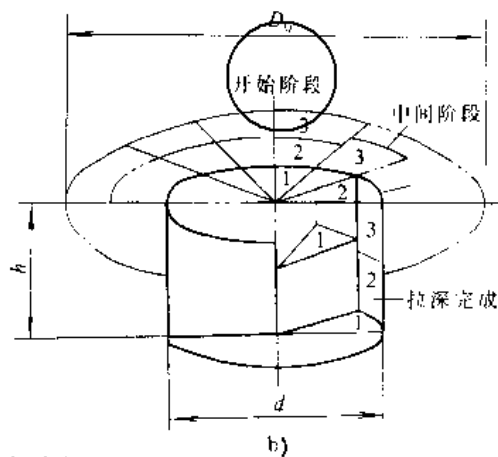
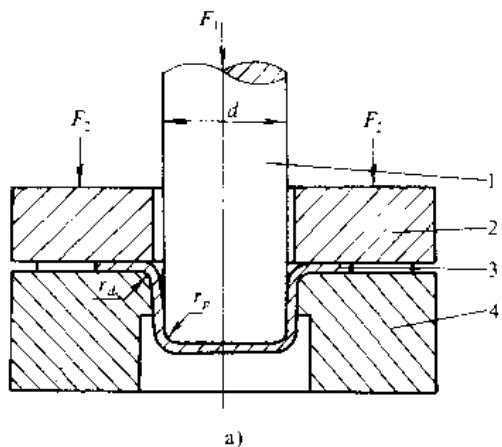


图 4-8-1 筒形件的拉深过程

a) 拉深 b) 变形特点

1—凸模 2—压边圈 3—坯料 4—凹模



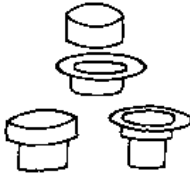
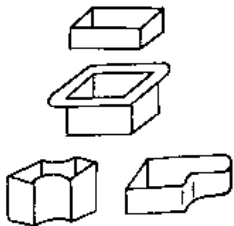

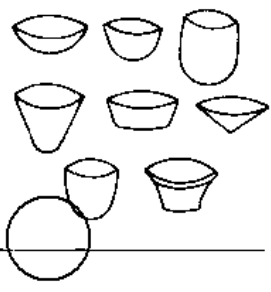
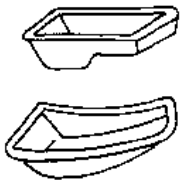
部分是变形区，其扇形单元经切向收缩与径向伸长的变形，逐渐转变成为工件筒壁上的长方形单元。筒壁是传力区，它将外力传递给变形区。当拉深所需的变形力大于工件筒壁的承载能力时，将产生工件拉裂现象。

凸缘起皱和筒壁拉裂是拉深过程顺利进行的两个主要障碍。防止起皱的措施，是采用有压边装置的拉深

模。为避免出现拉裂，应使坯料的变形程度不超出拉深材料允许的最大变形程度。

拉深是主要的冲压工艺方法之一，应用非常广泛，用拉深工艺，可以制成各种直壁类或曲面类零件(表4-8-1)，若与其他冲压成形工艺配合，可制造形状更复杂的零件。

表 4-8-1 拉深零件的分类 (按变形特点)

拉深件名称		拉深件简图	变形特点
直壁类拉深件	旋转体零件 圆筒形件 带凸缘边圆筒形件 阶梯形件		<ol style="list-style-type: none"> 1. 拉深过程中变形区是坯料的法兰边部分，其他部分是传力区，不参与主要变形 2. 坯料变形区在切向压应力和径向拉应力的作用下，产生切向压缩与径向伸长的一向受拉一向受压的变形 3. 极限变形参数主要受到坯料传力区的承载能力的限制
	非旋转体零件 盒形件 带凸缘边的盒形件 其他形状的零件		<ol style="list-style-type: none"> 1. 变形性质与前项相同，差别仅在于一向受拉一向受压的变形在坯料的周边上分布不均匀，圆角部分变形大，直边部分变形小 2. 在坯料的周边上，变形程度大与变形程度小的部分之间存在着相互影响与作用
	曲面凸缘边的零件		<p>除具有与前项相同的变形性质外，还有下边几个特点：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 因为零件各部分的高度不同，在拉深开始时有严重的不均匀变形 2. 拉深过程中坯料变形区内还要发生剪切变形
曲面类拉深件	旋转体零件 球面类零件 锥形件 其他曲面零件		<p>拉深时坯料的变形区由两部分组成：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 坯料的外周是一向受拉一向受压的拉深变形区 2. 坯料的中间部分是受两向拉应力作用的胀形变形区
	非旋转体零件 平面凸缘边零件 曲面凸缘边零件		<ol style="list-style-type: none"> 1. 拉深坯料的变形区也是由外部的拉深变形区与内部的胀形变形区所组成，但这两种变形在坯料周边上的分布是不均匀的 2. 曲面法兰边零件拉深时，在坯料外周变形区内还有剪切变形



1 旋转体零件拉深

1.1 坯料尺寸计算

直壁类旋转体零件主要有：圆筒形件、带凸缘圆筒形件和阶梯形件等；曲面类旋转体零件主要有：球面类零件、锥形件和抛物面零件等。

坯料尺寸应按加上修边余量(表4·8-2和表4·8-3)后的拉深件尺寸进行展开计算。

表 4·8-2 无凸缘拉深件的修边余量 δ (mm)

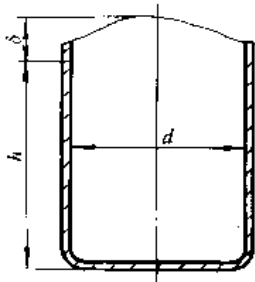
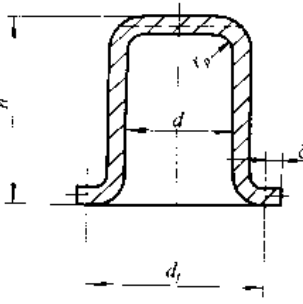
简 图	拉深件高度 h	拉深相对高度 $\frac{h}{d}$			
		$>0.5\sim 0.8$	$>0.8\sim 1.6$	$>1.6\sim 2.5$	$>2.5\sim 4$
	≈ 25	1.2	1.6	2	2.5
	25~50	2	2.5	3.3	4
	50~100	3	3.8	5	6
	100~150	4	5	6.5	8
	150~200	5	6.3	8	10
	200~250	6	7.5	9	11
	>250	7	8.5	10	12

表 4·8-3 有凸缘拉深件的修边余量 δ (mm)

简 图	凸缘直径 d_f	凸缘的相对直径 $\frac{d_f}{d}$			
		<1.5	1.5~2	2~2.5	2.5
 <p>d_f—零件法兰外径</p>	≈ 25	1.8	1.6	1.4	1.2
	25~50	2.5	2	1.8	1.6
	50~100	3.5	3	2.5	2.2
	100~150	4.3	3.6	3	2.5
	150~200	5	4.2	3.5	2.7
	200~250	5.5	4.6	3.8	2.8
	>250	6	5	4	3

1. 简单形状 根据拉深件与坯料的表面积相等的原则，坯料直径

$$D_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} A} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum A_i} \quad (\text{mm})$$

例如图 4·8-2 所示的圆筒形拉深件，可先分解成

三个简单的几何形状，分别计算它们的面积 A_1 、 A_2 、 A_3 ，然后再按上式计算坯料直径 D_0 。

2. 复杂形状 复杂形状的拉深件，可用形心法计算坯料的尺寸。具体方法是：

(1) 先将拉深件按适当比例放大，然后将母线分



段, 求出每一段母线的展开长度 l_i 和形心至轴线的距离 x_i (图 4·8-3), 按下式计算每段母线绕轴线旋转的面积

$$A_i = 2\pi x_i l_i \quad (\text{mm}^2)$$

(2) 整个拉深件的表面积

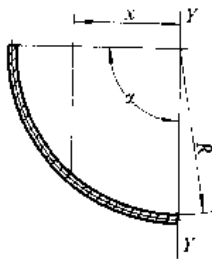
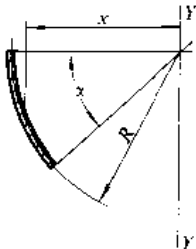
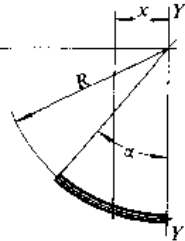
$$A = \sum A_i = 2\pi \sum x_i l_i \quad (\text{mm}^2)$$

(3) 坯料直径

$$D_0 = \sqrt{8 \sum x_i l_i} \quad (\text{mm})$$

母线为圆弧段时, 形心至轴线的距离 x 按表 4·8-4 计算。

表 4·8-4 形心至轴线的距离 x

类别	图示	计算公式
中心角 $\alpha = 90^\circ$		$x = \frac{2}{\pi} R$
中心角 $\alpha < 90^\circ$		$x = R \frac{180^\circ \sin \alpha}{\pi \alpha}$
中心角 $\alpha < 90^\circ$		$x = R \frac{180^\circ (1 - \cos \alpha)}{\pi \alpha}$

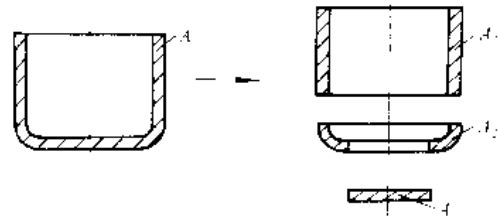


图 4·8-2 圆筒形拉深件

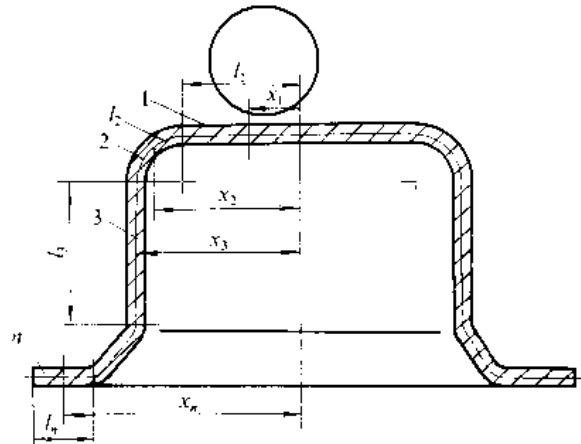


图 4·8-3 旋转体拉深件

1·2 拉深系数与次数的确定

直壁类拉深件的拉深系数

$$m = d/D_0$$

式中 D_0 ——平板坯料直径 (mm);

d ——拉深后的圆筒直径 (mm)。

m 越小, 筒壁承受的载荷就越大。当 m 过小时, 为防止拉裂, 应分两道或多道拉深。拉深系数是一个很重要的工艺参数, 通常用它来决定拉深次数。再次拉深时, 拉深系数为本工序与前工序筒部的直径之比, 即

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

1·2·1 无凸缘筒形件

无凸缘筒形件采用压边圈拉深时的拉深系数见表 4·8-5。当拉深件的 m 小于表中第 1 道次拉深允许的极限拉深系数 m_1 时, 必须多次拉深成形。拉深次数可根据拉深件的相对高度对照表 4·8-6 查得。后续各次拉深的拉深系数必须大于表 4·8-5 中各道次的极限拉深系数。



表 4-8-5 无凸缘筒形件用压边圈拉深时的极限拉深系数

拉深道次	拉深系数	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$					
		2~1.5	<1.5~1.0	<1.0~0.6	<0.6~0.3	<0.3~0.15	<0.15~0.08
1	m_1	0.48~0.50	0.50~0.53	0.53~0.55	0.55~0.58	0.58~0.60	0.60~0.63
2	m_2	0.73~0.75	0.75~0.76	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.82
3	m_3	0.76~0.78	0.78~0.79	0.79~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.84
4	m_4	0.78~0.80	0.80~0.81	0.81~0.82	0.82~0.83	0.83~0.85	0.85~0.86
5	m_5	0.80~0.82	0.82~0.84	0.84~0.85	0.85~0.86	0.86~0.87	0.87~0.88

注：1. 凹模圆角半径大时 ($r_d=8\sim 15t$)，拉深系数取小值，凹模圆角半径小时 ($r_d=4\sim 8t$)，拉深系数取大值。
 2. 表中拉深系数适用于 08、10S、15S 钢与软黄铜 H62、H68。当拉深塑性更大的金属时 (05、08Z 及 10Z 钢、铝等)，应比表中数值减小 1.5%~2%。而当拉深塑性较小的金属时 (20、25、Q215A、Q235A、A2、A3、酸洗钢、硬铝、硬黄铜等)，应比表中数值增大 1.5%~2% (符号 S 为深拉深钢；Z 为最深拉深钢)。

表 4-8-6 无凸缘圆筒形拉深件的最大相对高度 $\frac{h}{d}$

拉深次数 (n)	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$					
	2~1.5	<1.5~1	<1~0.6	<0.6~0.3	<0.3~0.15	<0.15~0.08
1	0.94~0.77	3.84~0.65	0.70~0.57	0.62~0.5	0.52~0.45	0.46~0.38
2	1.88~1.54	1.60~1.32	1.36~1.1	1.13~0.94	0.96~0.83	0.9~0.7
3	3.5~2.7	2.8~2.2	2.3~1.8	1.9~1.5	1.6~1.3	1.3~1.1
4	5.6~4.3	4.3~3.5	3.6~2.9	2.9~2.4	2.4~2.0	2.0~1.5
5	8.9~6.6	6.6~5.1	5.2~4.1	4.1~3.3	3.3~2.7	2.7~2.0

注：1. 大的 $\frac{h}{d}$ 比值适用于在第一道工序内大的凹模圆角半径 (由 $\frac{t}{D_0} \times 100=2\sim 1.5$ 时的 $r_d=8t$ 到 $\frac{t}{D_0} \times 100=0.15\sim 0.08$ 时的 $r_d=15t$)；小的比值适用于小的凹模圆角半径 ($r_d=4\sim 8t$)。
 2. 表中拉深次数适用于 08 及 10 号钢的拉深件。

1.2.2 有凸缘筒形件

有凸缘筒形拉深件 (图 4-8-4) 的拉深系数

$$m_f = \frac{d}{D_0} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{d_f}{d}\right)^2 + 4\frac{h}{d} - 3.44\frac{r_f}{d}}}$$

对于有凸缘筒形件拉深，相对凸缘直径 $\frac{d_f}{d}$ 的影响最大，相对高度 $\frac{h}{d}$ 次之。 $\frac{d_f}{d}$ 和 $\frac{h}{d}$ 越大，拉深难度越大。第一次拉深可能达到的 $\frac{d_f}{d}$ 和 $\frac{h_1}{d}$ 的数值见表 4-8-7，允许的极限拉深系数见表 4-8-8。

如果有凸缘筒形拉深件的 $\frac{h}{d} > \frac{h_1}{d}$ ，必须分两道或多道次拉深。这时，应区分窄凸缘拉深件 ($d_f/d=1.1\sim 1.4$) 和宽凸缘拉深件 ($d_f/d > 1.4$) 两种情况。

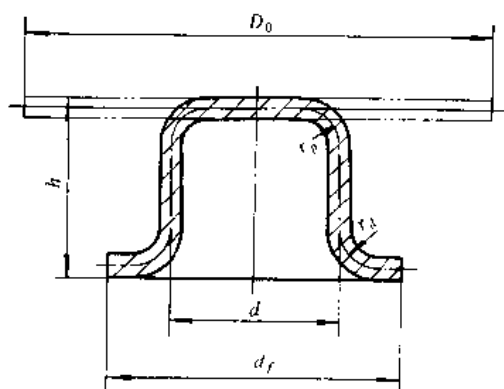


图 4-8-4 有凸缘筒形件的尺寸

1. 窄凸缘拉深件 可当作无凸缘件拉深，只是在倒数第二道工序才拉深出凸缘或锥形凸缘边，再经整形、修边得到 d_f (图 4-8-5a)。



表 4-8-7 有凸缘筒形件第一次拉深的许可相对高度 $\frac{h_1}{d}$

凸缘相对直径 $\frac{d_f}{d}$	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$				
	>0.06~0.2	>0.2~0.5	>0.5~1	>1~1.5	>1.5
≤1.1	0.45~0.52	0.50~0.62	0.57~0.70	0.60~0.82	0.75~0.90
>1.1~1.3	0.40~0.47	0.45~0.53	0.50~0.60	0.56~0.72	0.65~0.80
>1.3~1.5	0.35~0.42	0.40~0.48	0.45~0.53	0.50~0.63	0.58~0.70
>1.5~1.8	0.29~0.35	0.34~0.39	0.37~0.44	0.42~0.53	0.48~0.58
>1.8~2	0.25~0.30	0.29~0.34	0.32~0.38	0.36~0.46	0.42~0.51
>2~2.2	0.22~0.26	0.25~0.29	0.27~0.33	0.31~0.40	0.35~0.45
>2.2~2.5	0.17~0.21	0.20~0.23	0.22~0.27	0.25~0.32	0.28~0.35
>2.5~2.8	0.13~0.16	0.15~0.18	0.17~0.21	0.19~0.24	0.22~0.27

注：材料为 08、10 钢。

表 4-8-8 有凸缘筒形件第一次拉深的许可拉深系数 m_1

凸缘相对直径 $\frac{d_f}{d}$	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$				
	>0.06~0.2	>0.2~0.5	>0.5~1.0	>1.0~1.5	>1.5
≤1.1	0.59	0.57	0.55	0.53	0.50
>1.1~1.3	0.55	0.54	0.53	0.51	0.49
>1.3~1.5	0.52	0.51	0.50	0.49	0.47
>1.5~1.8	0.48	0.48	0.47	0.46	0.45
>1.8~2.0	0.45	0.45	0.44	0.43	0.42
>2.0~2.2	0.42	0.42	0.42	0.41	0.40
>2.2~2.5	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37
>2.5~2.8	0.35	0.35	0.34	0.34	0.33

注：材料为 08、10 钢。

2. 宽凸缘拉深件 第一道拉深工序时, 就应得到拉深件所要求的凸缘直径 d_f , 以后的各道次拉深都必须保证凸缘直径不变, 仅使拉深件的筒部直径减小、高度增加 (图 4-8-5b), 直至得到零件的尺寸。

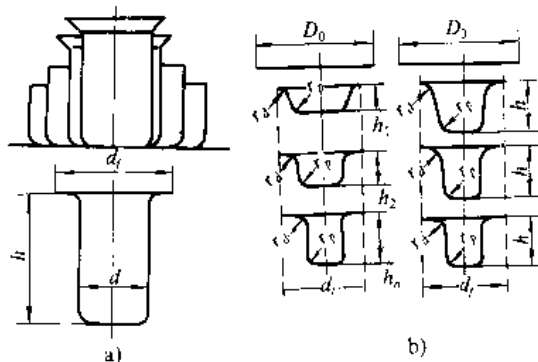


图 4-8-5 有凸缘筒形件多道拉深

a) 窄凸缘筒形件 b) 宽凸缘筒形件

为避免产生拉裂, 应保证以后拉深时凸缘不参加

变形。宽凸缘拉深件首次拉入凹模的材料应比零件最后拉深部分实际需要的材料多 3%~5% (按面积计算, 拉深道次多时取上限值), 这些多余的材料在以后各次拉深中逐渐地挤回到凸缘部分和消耗在筒体的增厚上。这对于厚度 0.5mm 以下的拉深件效果尤其显著。

确定拉深系数与次数的步骤是:

(1) 按表 4-8-7 核对, 当 $\frac{h}{d} \leq \frac{h_1}{d}$ 时, 可一次拉深成形, 否则, 要多次拉深。

(2) 预选 d_f/d , 按表 4-8-8 查出 m_1 , 计算 d_1' 和 h_1' 。

(3) 按表 4-8-6 校核, 应使 $\frac{h_1'}{d'} \leq \frac{h_1}{d}$ 。否则, 重复步骤 (2)。

(4) 按表 4-8-5 查出以后各拉深工序的 m_2, m_3, \dots , 并计算 d_2, d_3, \dots 和 h_2, h_3, \dots 。通过计算, 即可



知道所需的拉深次数。

(5) 根据实际要求的拉深次数, 调整各工序的拉深系数, 使各次拉深的变形程度分配更合理。若实际采用的拉深系数为 m_1' 、 m_2' 、 m_3' 、 \dots , 则各工序的拉深直径: $d_1' = m_1' D_0$, $d_2' = m_2' d_1'$, \dots ; 拉深高度为

$$h_n = \frac{0.25}{d_n'} (D_0^2 - d_n'^2) + 0.43 (r_{pn} + r_{dn}) - \frac{0.14}{d_n'} (r_{pn}^2 \cdot r_{dn}^2) \quad (n=1, 2, \dots)$$

1.2.3 阶梯形筒形件

由于这类拉深件的多样性及复杂性, 应区分以下情况来考虑。

(1) 阶梯形拉深件(图4-8-6)的假想拉深系数为

$$m_y = \frac{\frac{h_1 d_1}{h_2 D_0} + \frac{h_2 d_2}{h_3 D_0} + \dots + \frac{h_{n-1} d_{n-1}}{h_n D_0} + \frac{d_n}{D_0}}{\frac{h_1}{h_2} + \frac{h_2}{h_3} + \dots + \frac{h_{n-1}}{h_n} + 1}$$

当 $m_y \geq m_1$ (按表4-8-5查得) 时, 可一次成形。否则, 应多次拉深。

(2) 当相邻阶梯的直径比 $\frac{d_2}{d_1}$ 、 $\frac{d_3}{d_2}$ 、 \dots 均大于按表4-8-5查得的相应极限拉深系数(考虑最大阶梯形成前所需的工序), 可每次拉出一个阶梯, 由大阶梯到小阶梯依次进行(图4-8-7)。

(3) 如果其相邻的两阶梯直径比值小于相应的无凸缘筒形件的极限拉深系数, 则对该阶梯也可采用有凸缘筒形件的拉深方法。当 d_n/d_{n-1} 过小, 而最小阶梯的高度 h_n 又不大时, 最小阶梯可以采用胀形得到。

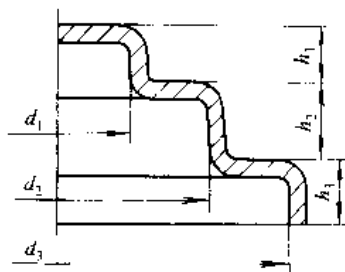


图 4-8-6 阶梯形拉深件

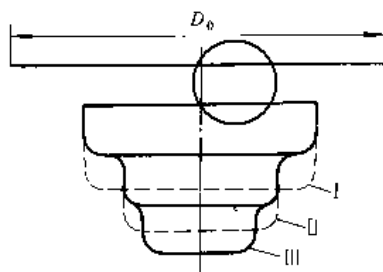


图 4-8-7 由大阶梯到小阶梯的拉深程序

图 4-8-8 是某零件拉深过程实例。

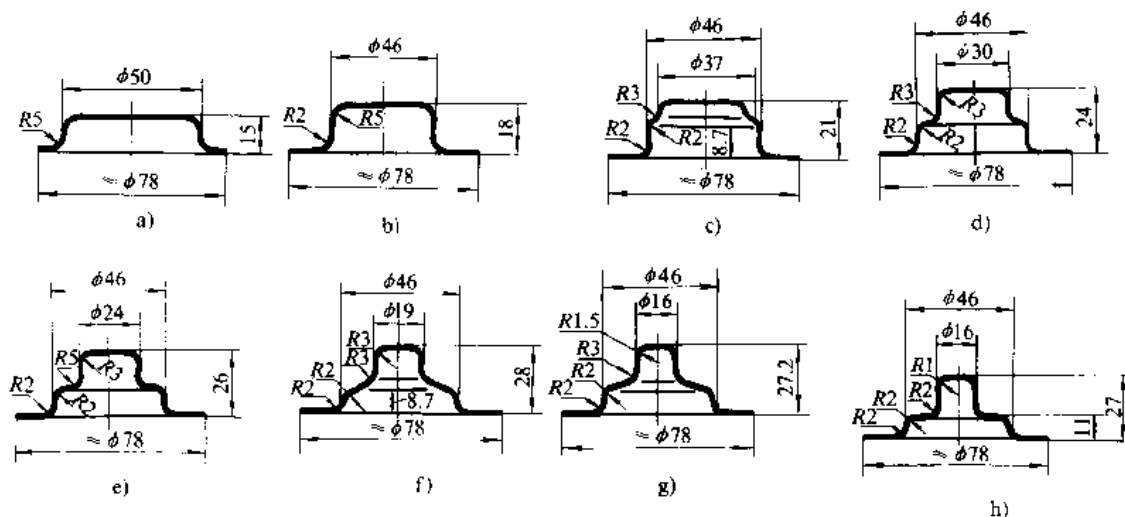


图 4-8-8 某阶梯形件的拉深过程实例

1.2.4 锥形件

锥形件拉深的变形特点见表 4-8-1。除坯料的凸缘部分以外, 位于凸、凹模间隙的自由表面区也是变形区。拉深件的锥角 α 大, 则自由表面区也大, 容易起皱;

另一方面, 凸模端部与坯料的接触面积相对较小, 承载能力差, 易于拉裂。因此, 锥形件的拉深方法, 取决于它的几何参数, 即相对高度 $\frac{h}{d}$ 、锥角 α 及坯料的相对厚度 $\frac{t}{D_0}$, 见表 4-8-9。



表 4-8-9 锥形件拉深的工艺方法

分类	形状特点	简图	工艺特点
I	$\frac{h}{d} = 0.1 \sim 0.25$ $\alpha = 50^\circ \sim 80^\circ$		1. 可一次拉成 2. 为克服拉深变形不足, 无凸缘的可补加凸缘, 以保证强力压料
II	$\frac{h}{d} = 0.3 \sim 0.7$ $\alpha = 15^\circ \sim 45^\circ$		1. 当 $\frac{l}{D_0} \times 100 \geq 1.5$ 时, 可一次拉成 2. 当 $\frac{l}{D} \times 100 < 1$, $\frac{d'}{d} \leq 0.5$ 时, 或带有凸缘时, 先拉深成近似形状, 然后按图纸尺寸成形
III	$\frac{h}{d} > 0.8$ $\alpha \leq 10^\circ$		1. 拉深次数在三次以上 2. 常用图 4-8-9 中 b 法
IV	$\frac{h}{d} > 0.5$ $\alpha \leq 45^\circ$		1. 需采用多次拉深 2. 常用图 4-8-9 中 a、c 两个方法

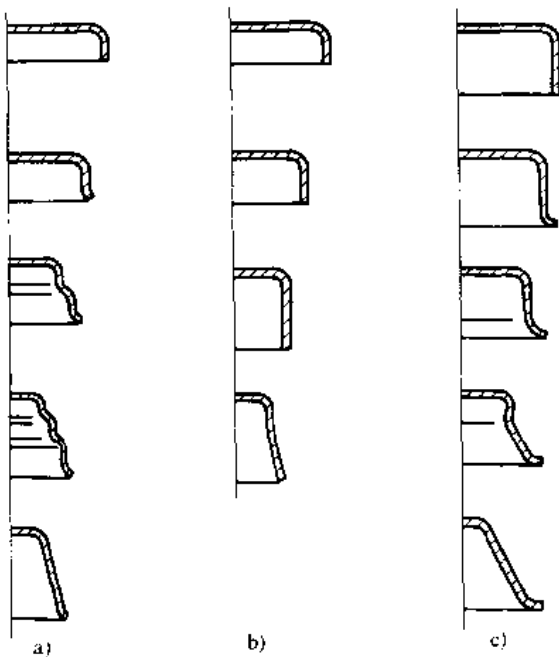


图 4-8-9 锥形件拉深
a) 锥形阶梯成形法 b) 锥面一次成形法
c) 锥面逐步成形法

1.2.5 抛物面形件

抛物面形件拉深时, 要特别注意底部拉裂和自由表面区起皱两个问题。因为在开始拉深时, 凸模与坯料是点接触, 易使底部材料发生严重变薄, 甚至拉裂。另外, 同锥形件拉深一样, 有未被压边圈压住的自由表面区, 极易起皱。根据相对高度 $\frac{h}{d}$ (图 4-8-10) 的大小, 抛物面形件分为浅抛物面形件和深抛物面形件, 相应采取合适的拉深方法。

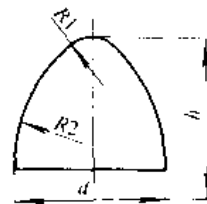


图 4-8-10 抛物面形件

1. 浅抛物面形件 ($\frac{h}{d} < 0.5 \sim 0.6$) 生产中可根据相对厚度的大小, 采用不同的拉深方法:

- (1) 相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100 > 3$ 时, 坯料不易起皱, 可不用压边一次拉成, 在行程终了须进行整形。
- (2) 相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100 = 0.5 \sim 3$ 时, 一般需要采用有压边装置的拉深模。
- (3) 相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100 < 0.5$ 时, 坯料极容易起皱, 要采取有效的防皱措施 (图 4-8-11)。

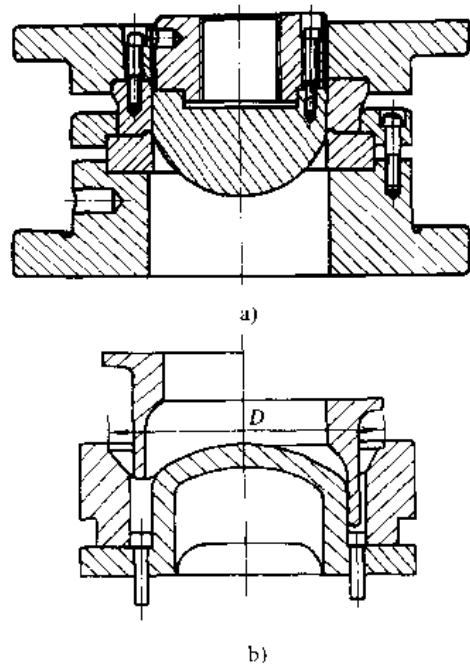


图 4-8-11 浅抛物面形件拉深的防皱措施
a) 带拉深筋的拉深模 b) 正反拉深法



2. 深抛物面形件 ($\frac{h}{d} > 0.6$) 特别是 $\frac{t}{D_0} \times 100$ 较小时, 需要多次拉深, 逐步成形。有正拉深和反拉深两种方法:

(1) 正拉深 (图 4·8-12a) 适用于 $\frac{t}{D_0} \times 100 > 0.3$ 和 $\frac{h}{d} = 0.5 \sim 0.7$ 的拉深件, 各道拉深后的相对高度可参照下值选用

第一道拉深 $\frac{h_1}{d} = 0.46 \sim 0.54$

第二道拉深 $\frac{h_2}{d} = 0.56 \sim 0.64$

第三道拉深 $\frac{h_3}{d} = 0.65 \sim 0.70$

(2) 反拉深 (图 4·8-12b) 适用于 $\frac{t}{D_0} \times 100 < 0.3$ 和 $\frac{h}{d} = 0.7 \sim 1$ 的拉深件, 可能实现的变形程度较大, 表面质量也好。各道反拉深后的相对高度值如下:

第一道反拉深 $\frac{h_1}{d} = 0.46 \sim 0.54$

第二道反拉深 $\frac{h_2}{d} = 0.58 \sim 0.68$

第三道反拉深 $\frac{h_3}{d} = 0.93 \sim 1$

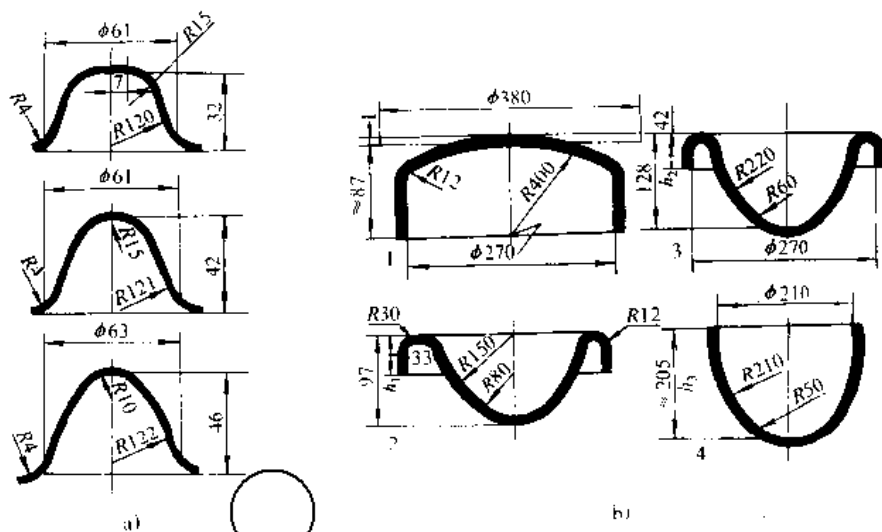


图 4·8-12 抛物面形件多次拉深
a) 正拉深 (坯料: $t=0.8\text{mm}$, $D_0=98\text{mm}$)
b) 反拉深 (坯料: $t=1\text{mm}$, $D_0=380\text{mm}$)

2 盒形件拉深

盒形件包括方形盒拉深件和矩形盒拉深件等, 拉深时的变形特点见表 4·8-1。沿坯料周边应力与变形均不均匀分布, 不均匀程度随相对高度 $\frac{h}{B}$ 及相对圆角半径 $\frac{r}{B}$ (图 4·8-13) 的大小而变化, 也与坯料的形状有关。

2·1 展开坯料尺寸与形状^{〔6〕〔7〕}

一次拉深成形的无凸缘方形盒拉深件 (修边余量按表 4·8-10 选取) 展开坯料的尺寸 (图 4·8-13):

圆角部分

$$R = \begin{cases} \sqrt{r^2 + 2rh} - 0.86r_p & (r \leq 2.19r) \\ 1.32r - 0.46h & (r > 2.19r) \end{cases}$$

直边部分

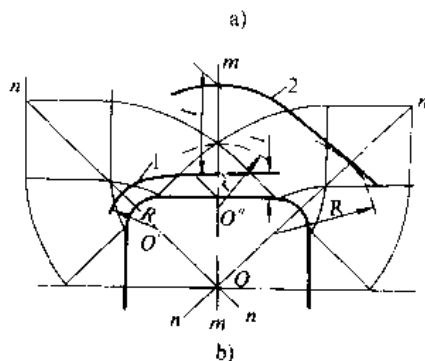
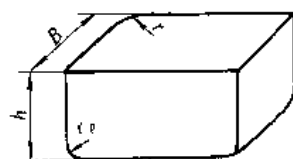


图 4·8-13 方形盒及展开坯料
a) 方形盒 b) 展开坯料

$$1 - R < 2.19r, l < \frac{B}{2} - r \quad 2 - R > 2.19r, l > \frac{B}{2} - r$$



$$l = \begin{cases} h + 0.57r_p & (l \leq \frac{B}{2} - r) \\ \sqrt{r'^2 + 2r' [h - (\frac{B}{2} - r)] + 0.21B - \sqrt{2}r} & (l > \frac{B}{2} - r) \end{cases}$$

$$r' = r + \sqrt{2}e \frac{\pi}{4} (\frac{B}{2} - r)$$

展开坯料的合理形状,可根据滑移线场方法确定。
简化的作图步骤如下(图4·8-14):

(1) 以方形盒直边(长度为: $B - 2r$)为斜边作等

表 4·8-10 无凸缘盒形件的修边余量 δ (mm)

图中: h—计入修边余量的工件高度 h ₀ —图纸要求的盒形件高度 δ —修边余量 r—盒形件侧壁间的圆角半径 $h = h_0 + \delta$	工件的相对高度 $\frac{h_0}{r}$			
	2.5~6	7~17	18~44	45~100
	修边余量 δ			
	(0.03~0.05) h_0	(0.04~0.06) h_0	(0.05~0.08) h_0	(0.06~0.1) h_0

注:摘自参考文献[12], 227页。

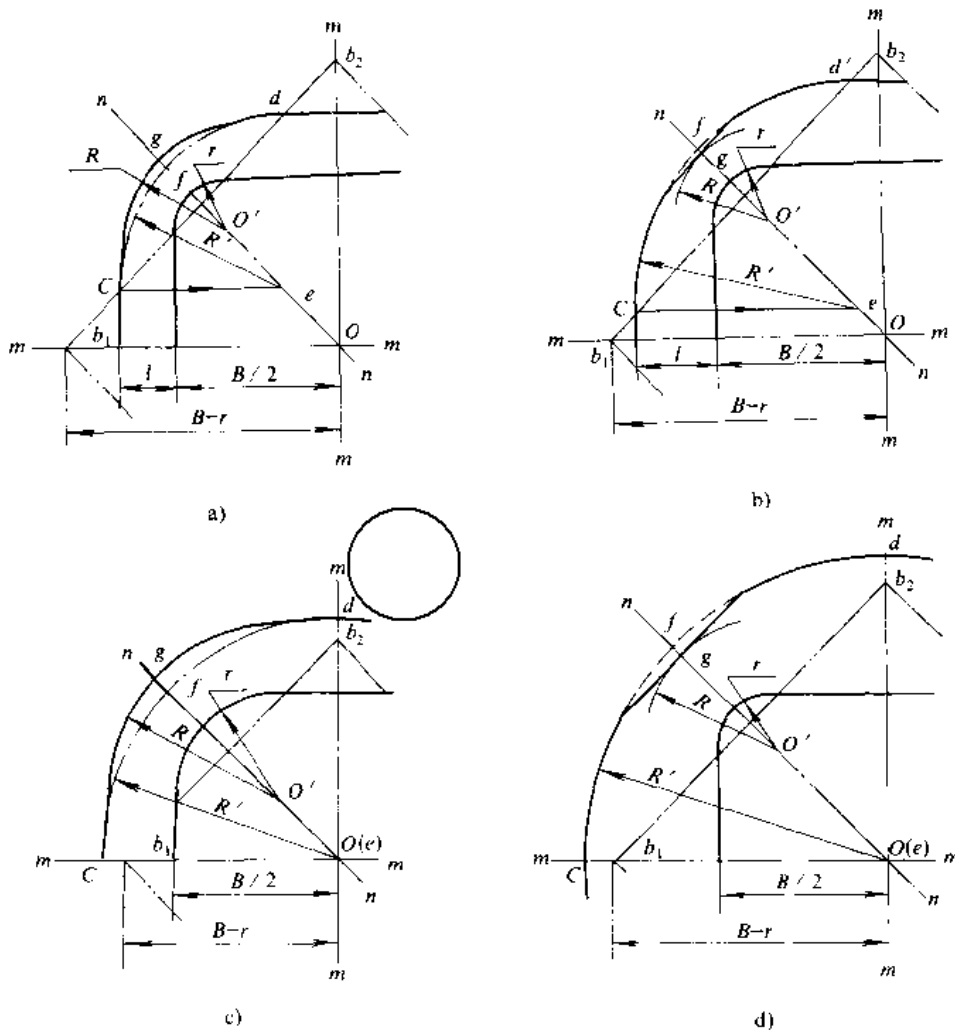


图 4·8-14 方形盒展开坯料作图

a) α 型坯料 b) β 型坯料 c) β' 型坯料 d) γ 型坯料



腰直角三角形。

(2) 计算 l 。若 $l < \frac{B}{2} - r$ ，作与方形盒直边平行的直线段，于三角形直角边交于 c (d) 点，并用半径 R' 的圆弧连接 c 、 d 两点 (如图 4-8-14a、b 所示)；若 $l \geq \frac{B}{2} - r$ ，以 O 点为曲率中心作半径 $R' = l + \frac{B}{2}$ 的圆 (如图 4-8-14c、d 所示)。上述圆弧与角平分线 nm 交于 f 点。

(3) 计算 R 。以 O' 点为曲率中心作 R 圆弧，于 nm 线交于 g 点。若 $o'f < o'g$ ，用公切线光滑相交的 R 与 R' 圆弧 (如图 4-8-14a、c 所示)；若 $o'f > o'g$ ，过 g 点作 nm 线的垂线，切除 R' 圆弧部分 (如图 4-8-11b、d 所示)。

基于上述作图：若 $l < \frac{B}{2} - r$ ，当 $o'f < o'g$ 是得到 α 型坯料；当 $o'f > o'g$ 是得到 β 型坯料。若 $l \geq \frac{B}{2} - r$ ，当 $o'f < o'g$ 是得到 β' 型坯料；当 $o'f > o'g$ 是得到 γ 型坯料。

需要多次拉深的方形盒拉深件是用直径 D_0 的圆形坯料。

$$D_0 = 1.13 \left[B^2 + 4B(h - 0.43r_p) \right]^{\frac{1}{2}} \\ 1.13 \left[0.172r(h + 0.5r) \right]^{\frac{1}{2}} \\ 1.13 \left[4r_p(0.11r_p + 0.18r) \right]^{\frac{1}{2}}$$

2.2 拉深系数与次数的确定

由滑移线场理论分析，可定义方形盒 (图 4-8-

13) 拉深件的拉深系数

$$m_1 = \frac{r'}{\sqrt{r'^2 + 2r' \left[h - \left(\frac{B}{2} - r \right) \right]}}$$

(1) 方形盒一次拉深的极限拉深系数 $m_1 = 1 \sim 1.1m_1$ (m_1 由表 4-8-5 查得)。一般来说，若展开形状不是 γ 型坯料，是可以一次拉深成形的低方形盒拉深件。否则，需计算 m_1 ， $m_1 \geq m_1 \left(\frac{r}{B} \right)$ (较小时取大值，反之取小值) 时，可一次拉成；反之，应多次拉深。

(2) 方形盒多次拉深，是将直径 D_0 的坯料中间各次拉深成圆筒形的半成品，在最后一道工序得到方形盒拉深件的形状与尺寸 (图 4-8-15a)。第 $n-1$ 道工序所得圆筒形半成品直径为

$$D_{n-1} = 1.41B - 0.82r + 2\delta$$

式中 δ ——角部壁间距离，取值范围 $0.2 \sim 0.25\text{mm}$ 。

(3) 矩形盒多次拉深时的中间半成品形状为椭圆 (或圆) 筒 (图 4-8-15b)。第 $n-1$ 道工序所得椭圆筒尺寸应为

$$R_{a(n-1)} = 0.705A - 0.41r + \delta \quad (\text{mm})$$

$$R_{b(n-1)} = 0.705B - 0.41r + \delta \quad (\text{mm})$$

第 $n-2$ 道拉深系数由椭圆变椭圆，这时应保证

$$\frac{R_{a(n-1)}}{R_{a(n-1)} + a} = \frac{R_{b(n-1)}}{R_{b(n-1)} + b} \\ = 0.75 \sim 0.85$$

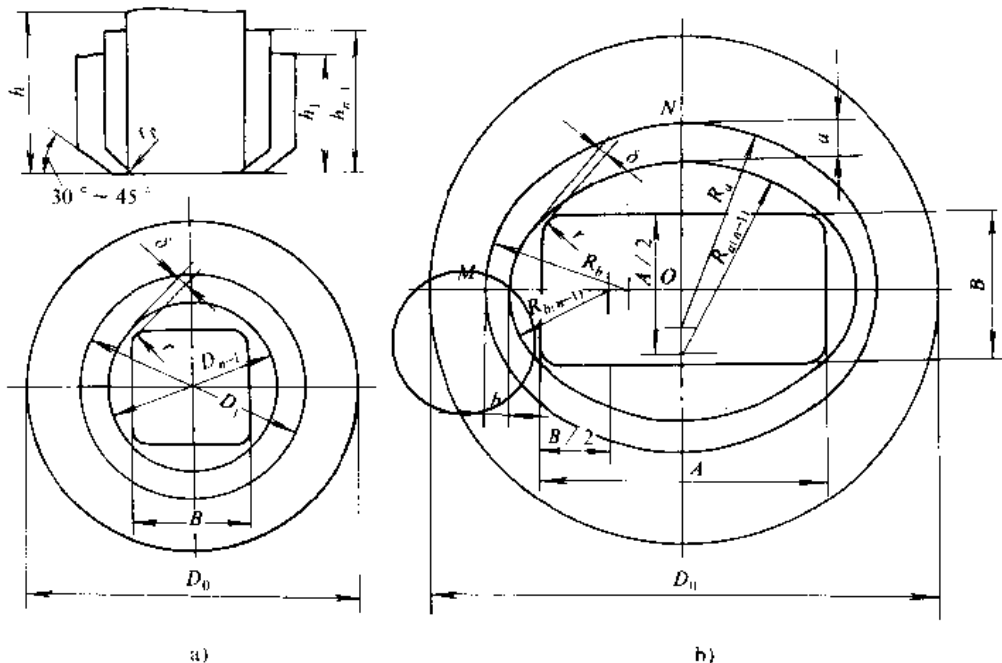


图 4-8-15 盒形件多工序拉深时半成品的形状与尺寸
a) 方形盒拉深件 b) 矩形盒拉深件



3 带料连续拉深

带料连续拉深系利用多工位连续模在带料上进行多道拉深,最后将工件与带料分离的冲压工艺,还可以在一些工位上安排冲孔、弯曲、翻边、胀形和整形等,加工形状极为复杂的零件。它适合大批量生产的小件,

但模具结构比较复杂。

带料连续拉深时,要求材料必须有较好的塑性。

3.1 分类及应用范围

带料连续拉深的分类及应用范围列于表4-8-11。

表 4-8-11 带料连续拉深的分类及应用范围

分类	图示	应用范围	特点	分类	图示	应用范围	特点
无工艺切口	图 4-8-16a	$\frac{t}{D_0} \times 100 > 1$ $\frac{d_f}{d} = 1.1 \sim 1.5$ $\frac{h}{d} < 1$	1. 拉深时,相邻两个拉深件之间互相影响,使得材料在纵向流动困难,主要靠材料的伸长 2. 拉深系数比单工序大,拉深工序数需增加 3. 节省材料	有工艺切口	图 4-8-16b	$\frac{t}{D_0} \times 100 < 1$ $\frac{d_f}{d} = 1.3 \sim 1.8$ $\frac{h}{d} > 1$	1. 有了工艺切口,类似于有凸缘零件的拉深,但由于相邻两个拉深件间仍有部分材料相连,因此变形比单工序凸缘零件稍困难 2. 拉深系数略大于单工序拉深 3. 费料

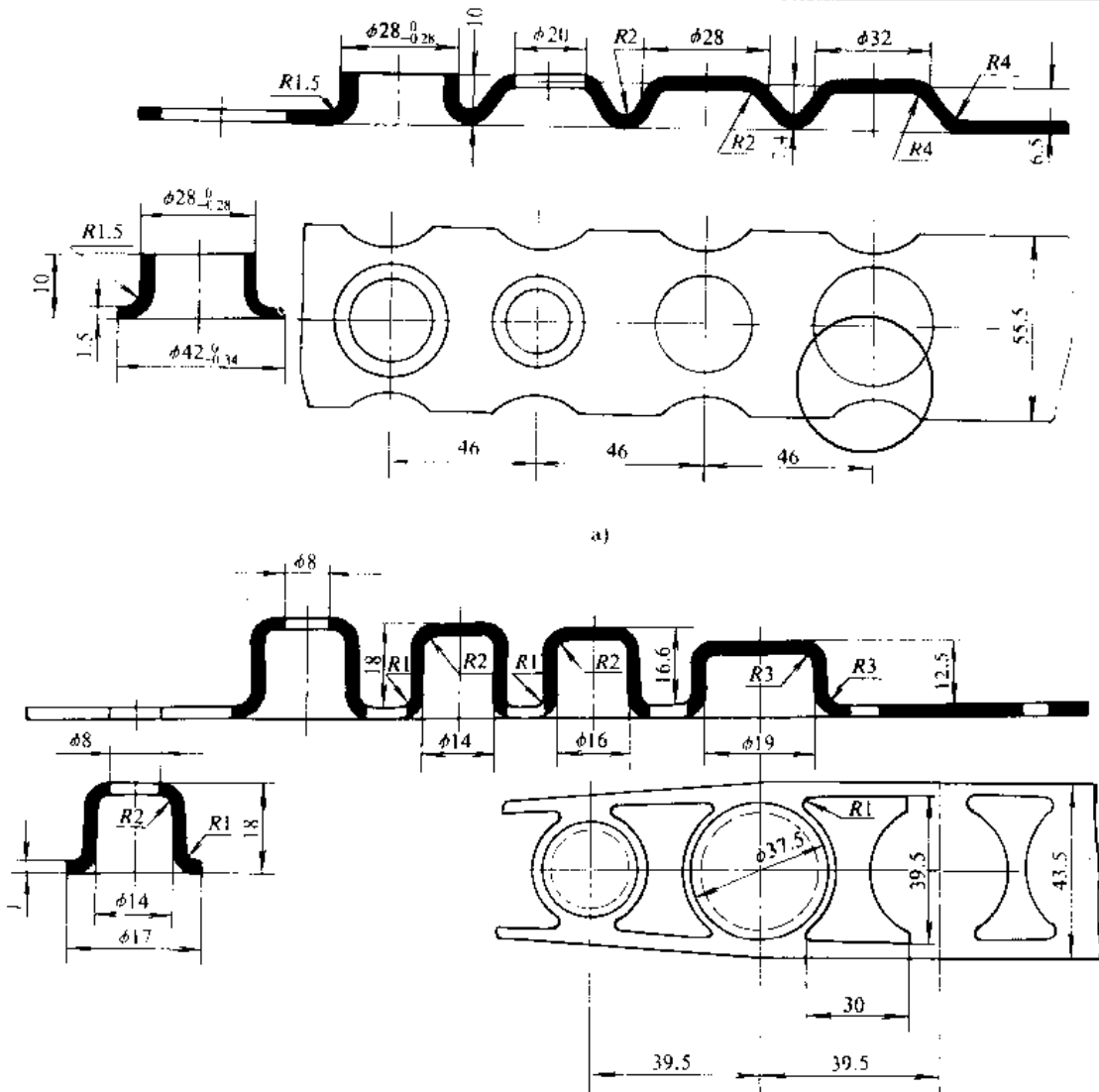


图 4-8-16 带料连续拉深
a) 无工艺切口 b) 有工艺切口



3.2 料宽和进距

1. 无工艺切口 (图 4-8-17) 料宽 b 和进距 s 分别为

$$b = D_0 + 2b_1 \quad (\text{mm})$$

$$s = (0.85 \sim 0.9) D_0 \quad (\text{mm})$$

式中 b_1 为 横向搭边值 (表 4-8-12)。

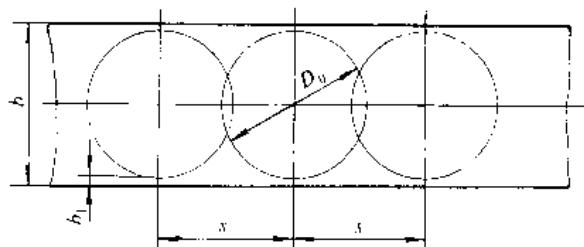


图 4-8-17 无工艺切口的料宽和进距示意

表 4-8-12 横向搭边值 b_1 (mm)

料厚 t	≤ 0.5	$0.5 \sim 1.5$	> 1.5
b_1	1.5	1.75	2

2. 有工艺切口 工艺切口形式如图 4-8-18 所示。当采用图 4-8-18a 的切口形式时

$$b = c + 2b_2 \quad (\text{mm})$$

$$s = D_0 + e \quad (\text{mm})$$

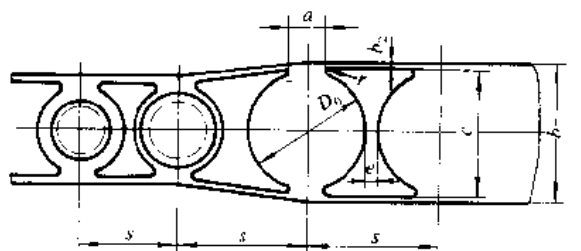
$$c = (1.02 \sim 1.05) D_0 \quad (\text{mm})$$

b_2 、 e 、 r 和 a 之值见表 4-8-13。

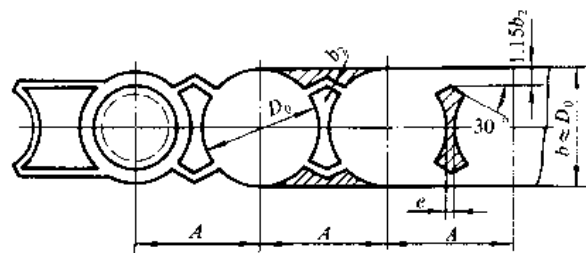
当采用图 4-8-18b 的切口形式时

$$b \approx D_0 \quad (\text{mm})$$

$$s = D_0 + e \quad (\text{mm})$$



a)



b)

图 4-8-18 有工艺切口的形式及参数

表 4-8-13 横向、纵向搭边及 a 、 r 值

(mm)

料厚 t	≤ 0.5	$0.5 \sim 1.5$	> 1.5
b_2	1.5	2.0	2.5
e	1.5	1.8	3.0
r	0.8	1.0	1.2
a	$(0.2 \sim 0.3) D_0$		

3.3 拉深系数与拉深相对高度

(1) 无工艺切口时见表 4-8-14~表 4-8-16。

表 4-8-14 无工艺切口的第一次拉深的极限拉深系数 m_1

凸缘相对直径 $\frac{d_f}{d_1}$	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$			
	$> 0.2 \sim 0.5$	$> 0.5 \sim 1$	$> 1 \sim 1.5$	> 1.5
≤ 1.1	0.71	0.69	0.66	0.63
$> 1.1 \sim 1.3$	0.68	0.66	0.64	0.61
$> 1.3 \sim 1.5$	0.64	0.63	0.61	0.59
$> 1.5 \sim 1.8$	0.54	0.53	0.52	0.51
$> 1.8 \sim 2$	0.48	0.47	0.46	0.45

注：材料为 08、10 钢。

表 4-8-15 无工艺切口的第一次拉深

最大相对高度 $\frac{h}{d_1}$

凸缘相对直径 $\frac{d_f}{d_1}$	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$			
	$> 0.2 \sim 0.5$	$> 0.5 \sim 1$	$> 1 \sim 1.5$	> 1.5
≤ 1.1	0.36	0.39	0.42	0.45
$> 1.1 \sim 1.3$	0.34	0.36	0.38	0.40
$> 1.3 \sim 1.5$	0.32	0.34	0.35	0.38
$> 1.5 \sim 1.8$	0.30	0.32	0.34	0.35
$> 1.8 \sim 2$	0.28	0.30	0.32	0.35

注：1. 材料为 08、10 钢。

2. 根据塑性大小，上表数值可适当加减 1.5%。

表 4-8-16 无工艺切口的以后各次极限拉深系数 m

拉深系数 m	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$			
	$> 0.2 \sim 0.5$	$> 0.5 \sim 1$	$> 1 \sim 1.5$	> 1.5
m_2	0.85	0.84	0.82	0.80
m_3	0.83	0.86	0.84	0.82
m_4	0.89	0.87	0.86	0.85
m_5	0.90	0.89	0.88	0.87

注：材料为 08、10 钢。

(2) 有工艺切口时见表 4-8-17 及表 4-8-18。



表 4-8-17 有工艺切口的第一次拉深的极限拉深系数 m_1

凸缘相对厚度 $\frac{d_f}{d_1}$	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$				
	>0.06 ~0.2	>0.2 ~0.5	>0.5 ~1	1~1.5	>1.5
≤1.1	0.64	0.62	0.6	0.58	0.55
>1.1~1.3	0.6	0.59	0.58	0.56	0.53
>1.3~1.5	0.57	0.56	0.55	0.53	0.51
>1.5~1.8	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49
>1.8~2.0	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43
>2.0~2.2	0.43	0.43	0.42	0.42	0.41
>2.2~2.5	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37
>2.5~2.8	0.35	0.35	0.35	0.35	0.34
>2.8~3.0	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33

注：材料为 08、10 钢。

表 4-8-18 有工艺切口的以后各次极限拉深系数 m

拉深系数 m	坯料相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$				
	>0.06 ~0.2	>0.2 ~0.5	>0.5 ~1	>1~1.5	>1.5
m_2	0.8	0.79	0.78	0.76	0.75
m_3	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78
m_4	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80
m_5	0.87	0.85	0.85	0.84	0.82

注：材料为 08、10 钢。

4 变薄拉深

变薄拉深用来制造壁部与底部厚度不等而高度很大的零件，如氧气瓶等。

4.1 变薄拉深特点

(1) 凸、凹模之间的间隙小于料厚，坯料通过间隙时受挤压而变薄（图 4-8-19）。

(2) 可得到质量高的工件，壁厚偏差在 ±0.01mm 以内，表面粗糙度 R_a 值 < 0.2μm。

(3) 没有起皱问题，使用模具结构简单。

表 4-8-19 变薄系数的极限值

材 料	首次变薄系数 φ_1	中间工序变薄系数 φ	末次变薄系数 φ_n
铜、黄铜 (H68、H80)	0.45~0.55	0.58~0.65	0.65~0.73
铝	0.50~0.60	0.62~0.68	0.72~0.77
低碳钢、拉深钢板	0.53~0.63	0.63~0.72	0.75~0.77
中碳钢 ($w_c = 0.25\% \sim 0.35\%$)	0.70~0.75	0.78~0.82	0.85~0.90
不锈钢	0.65~0.70	0.70~0.75	0.75~0.80

注：1. 中碳钢为试用数据， w_c 为 C 的质量分数。

2. 厚料取较小值，薄料取较大值。

3. 摘自参考文献 [1] 110 页。

(4) 工件壁部残余应力较大，有时甚至在储存期间产生开裂。应采用低温回火解决。

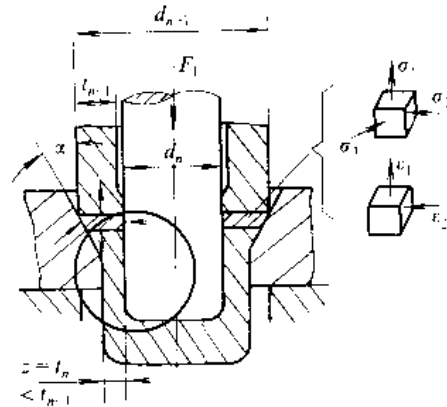


图 4-8-19 变薄拉深

4.2 变薄拉深工艺参数确定

1. 坯料尺寸 变薄拉深大多是采用由普通拉深（不变薄）方法获得的筒形坯料。按体积不变原则计算平板坯料的直径 D_0 ，但同时应考虑修边余量和退火损耗。

$$D_0 = 1.13 \sqrt{KV_0/t} \quad (\text{mm})$$

式中 K 系数，取值范围 1.15~1.20。

2. 变薄系数 对于内径基本不变的变薄拉深，变薄系数（拉深系数）

$$\varphi_n = t_n/t_{n-1}$$

式中 t_{n-1} 、 t_n ——第 n 道变薄拉深前后的工件壁厚。

常用材料的变薄系数列入表 4-8-19。

3. 变薄拉深次数 从壁厚 t 的筒形坯料到获得壁厚 t_n 的工件（内径基本不变），变薄拉深次数

$$N = \frac{\lg t_n - \lg t}{\lg \varphi}$$

式中 φ ——平均变薄系数（查表 4-8-19 中间工序变薄系数）。



5 复杂曲面零件拉深

复杂曲面零件主要指非旋转体曲面类零件,如汽车覆盖件等。这类零件拉深时,坯料各处应力状态都不一样,变形甚为复杂。因此,不能像一般拉深那样用拉深系数来判断和计算拉深次数和成形可能性,目前,还只能用类比的方法,靠生产调试确定。

5.1 复杂曲面零件拉深特点

(1) 要求压力机不仅提供一定的拉深力,而且要求在其拉深过程中具有足够的、稳定的压边力,以保证零件的成形。复杂曲面零件大都对表面质量要求较高,同时又具有一定的刚度。这就要求坯料中间部分在从平板形状成形为零件的曲面形状的过程中产生一定的胀形,所以需要的变形力和压边力都较大。在大批量生产中,一般是用双动压力机。双动压力机具有拉深和压边两个滑块,压边力可达到拉深力的60%以上。

(2) 要求在模具上合理布排拉深筋(槛)。大型覆盖件形状复杂,深度不均,又不对称,拉深过程中各处要求有不同的进料阻力,防止起皱或拉裂。这仅靠调节压边力大小是难以凑效的,必须利用拉深筋(槛)的合理布排,改善坯料在压边圈下被拉入凹模的阻力。

(3) 要求材料塑性好,表面质量和厚度尺寸精度高。大型覆盖件在多数情况下要求一次拉深成形,材料要承受很大的应力,产生最大限度的塑性变形。为此,要求材料有低的含碳量(一般应介于0.06%~0.09%),均匀而细小的饼形晶粒组织,即材料应具有伸长率高($\delta_{10} \geq 40\%$)、屈服比小($\frac{\sigma_1}{\sigma_s} \leq 0.65$)、 n 值和 r 值大等特点。

5.2 复杂曲面零件拉深工艺要素

5.2.1 变形程度

复杂曲面拉深件的变形程度有时也可以采用成形度 α 的概念,并作为成形难易判断值。如图4-8-20,成形度 α 为

$$\alpha = \left(\frac{L'}{L} - 1 \right) \times 100\%$$

式中 L —— 成形前工件纵断面的坯料长度;

L' —— 成形后工件上的相应长度。

当以拉裂作为成形极限而 α 的平均数值不大于2%时,则零件因胀形成份不够而产生回弹;当 α 的平均数值 $>5\%$,或最大 α 数值 $>10\%$ 时,不能仅靠胀形成形,

须使坯料以拉深方法从凸缘拉入凹模予以补充;当 α 的平均数值 $>30\%$ 或最大 α 数值 $>40\%$ 时,难以成形。对于汽车顶盖、门板等浅拉深件,由于底平且拉深深度浅($<50\text{mm}$), α 数值只取上述数值的 $\frac{2}{3} \sim \frac{1}{2}$ 。

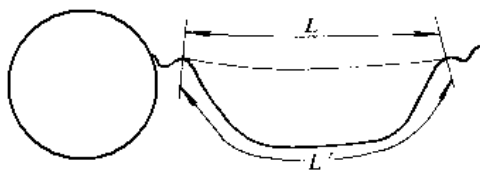


图4-8-20 成形度 α 的概念
(摘自参考文献[3] 561~562页)

5.2.2 冲压方向

选定冲压方向,就是确定工件在模具中的三向坐标(x, y, z)位置。应符合下列原则:

(1) 保证凸模能将工件需拉深的部位在一次拉深中完成,不应有凸模接触不到的死角或死区。

(2) 拉深开始时,凸模两侧的包容角尽可能做到基本一致(如图4-8-21a, $\alpha \approx \beta$),使由两侧拉入凹模的材料保持均匀;凸模表面同时接触坯料的点多而

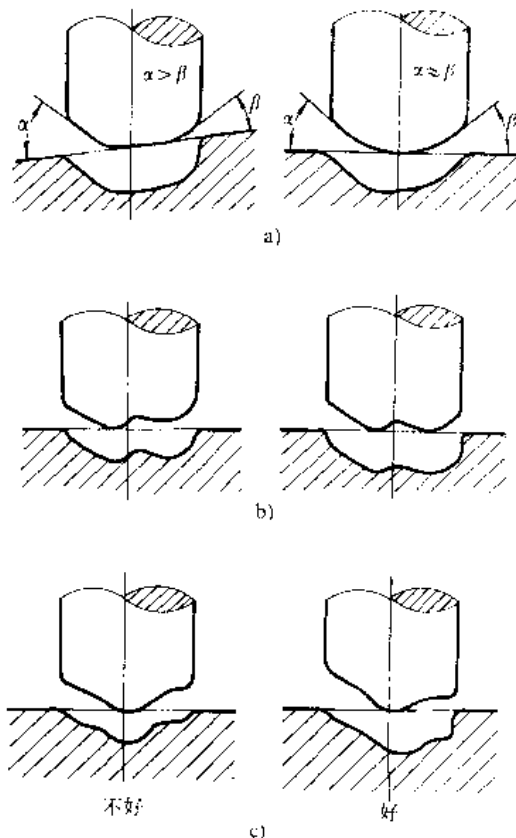


图4-8-21 凸模与坯料接触状态



分散,并尽可能分布均匀,防止坯料窜动(图4-8-21b);当凸模与坯料为点接触时,应适当增大接触面积(图4-8-21c),防止材料应力集中,造成局部拉裂。但是,也要避免凸模表面与坯料以大平面接触的状态,否则由于板平面上的拉应力不足,材料得不到充分的塑性变形,影响工件的刚度,并容易起皱。

(3) 尽可能减小拉深深度,而且使深度均匀。

5.2.3 压边面(压料面)

压边面可以由工件本体部分构成;也可以是由工艺补充部分构成,在拉深后切除。

确定压边面的基本原则:

(1) 压边面应为平面、单曲面或曲率很小的双曲面(图4-8-22),不允许有局部的起伏或折棱,当坯料被压紧时,不产生褶皱现象,而且要求拉入凹模时顺利、流畅。

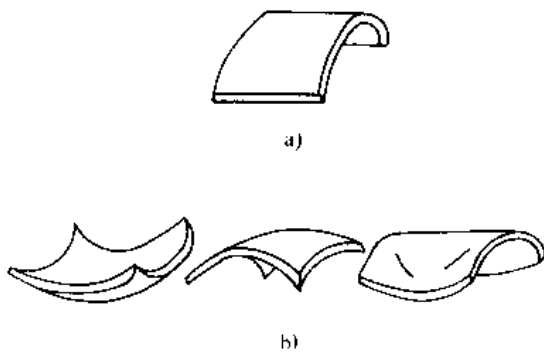


图4-8-22 合理的压边面形状

a) 单曲面 b) 双曲面

(2) 压边面形状应保证凹模内的材料能产生一定程度的伸长变形,使坯料能平稳、渐次地紧贴凸模,以防产生皱纹。当局部区域有多余材料时,可以在适当部位(在工件形状允许或工艺补充可能的情况下)设计反

拉深的工艺鼓包,消除材料的褶皱现象。

(3) 压边面做成一定的内倾角(图4-8-23),有利于减小坯料拉入凹模时的阻力和改善坯料滑过凹模圆角时急剧的弯曲现象。但倾角 α 不宜大于 40° 。

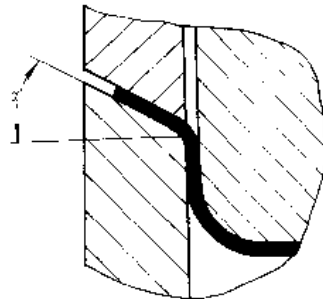


图4-8-23 压边面倾角

(4) 压边面形状还要考虑到坯料定位的稳定、可靠和送料取件方便。

5.2.4 拉深筋和拉深槛

在压边面设置拉深筋、拉深槛,可用来调节拉深时进料阻力,使拉深件表面承受足够的拉应力,提高拉深件的刚度和减少起皱、回弹等表面缺陷。

1. 拉深筋的种类及应用

(1) 拉深筋。拉深筋的剖面呈半圆弧形,应用比较广泛。结构如图4-8-24所示,尺寸参数见表4-8-20。

(2) 拉深槛。拉深槛的剖面呈梯形,类似门槛(图4-8-25)。它的阻力作用比拉深筋大,所以在浅而平滑的覆盖件拉深中常采用。

2. 拉深筋的布置

(1) 按拉深筋的作用,其布置原则见表4-8-21。

(2) 根据凹模口几何形状的不同,拉深筋的布置见表4-8-22和图4-8-26。筋条位置一定要保证与坯料拉入凹模方向垂直。

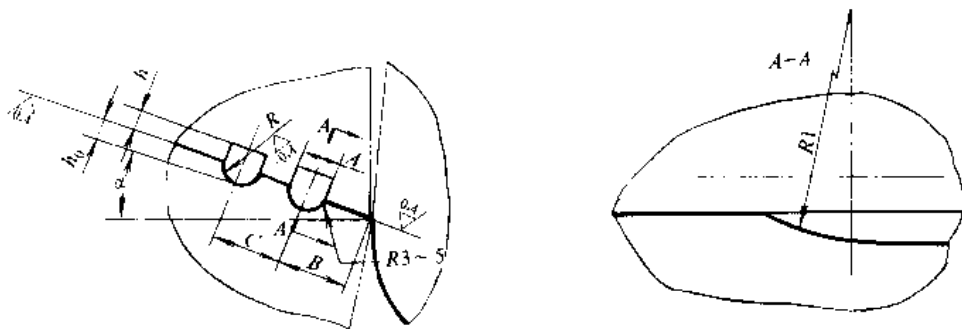


图4-8-24 拉深筋



表 4-8-20 拉深筋结构尺寸 (mm)

序号	应用范围	A	h _n	B	C	h	R	R ₁
1	中小型拉深件	14	6	25~32	25~30	5	7	125
2	大中型拉深件	16	7	28~35	28~32	6	8	150
3	大型拉深件	20	8	32~38	32~38	7	10	150

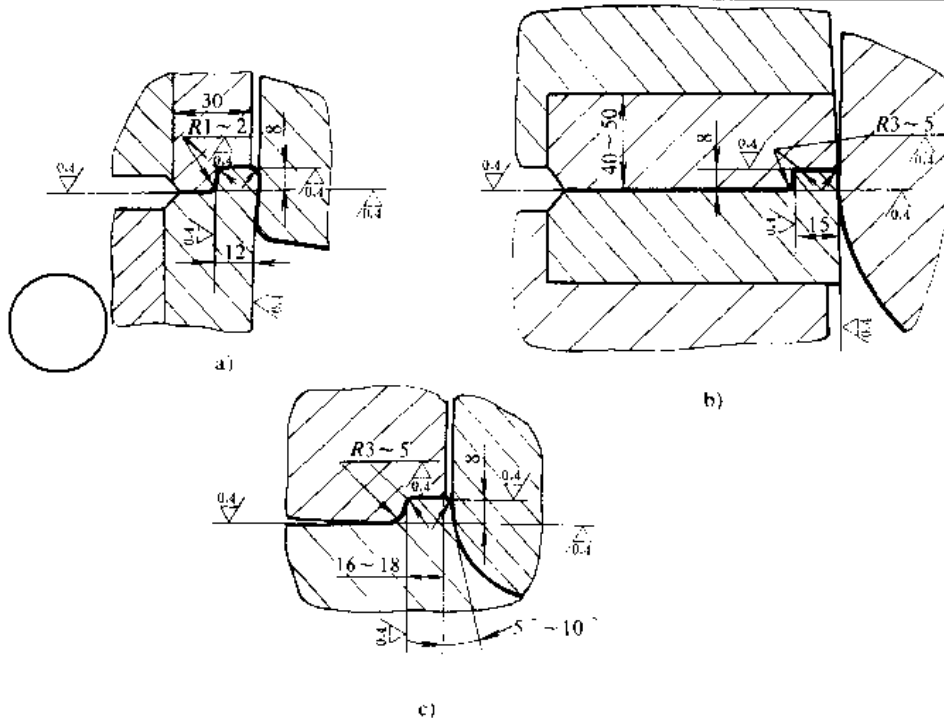


图 4-8-23 拉深筋

a) 用于拉深深度 25mm b) 用于拉深深度 25mm c) 用于小批量生产

表 4-8-21 拉深筋的布置原则

序号	要求	布置原则
1	增加进料阻力, 提高材料变形程度	放整圈的或间断的 1 条拉深筋或 1~3 条拉深筋
2	增加径向拉应力, 降低切向压应力, 防止坯料起皱	在容易起皱的部位设置局部的短筋
3	调整进料阻力和进料量	1. 拉深深度大的直线部位, 放 1~3 条拉深筋 2. 拉深深度大的圆弧部位, 不放拉深筋 3. 拉深深度相差较大时, 在深的部位不设拉深筋, 浅的部位设筋

表 4-8-22 按凹模口形状布置拉深筋的方法

图 4-8-26 中序号	形状	要求	布置方法
1	大外凸圆弧	补偿变形阻力不足	设置 1 条长筋
2	大内凹圆弧	1. 补偿变形阻力不足 2. 避免拉深时, 材料从相邻两侧凸圆弧部分挤过来而形成皱纹	设置 1 条长筋和 2 条短筋
3	小外凸圆弧	塑流阻力大, 应让材料有可能向直线区段挤流	1. 不设拉深筋 2. 相邻筋的位置应与凸圆弧保持 0°~12° 夹角关系
4	小内凹圆弧	将两相邻侧面挤过来的多余材料延展开, 保证压边面下的毛坯处于良好状态	1. 沿凹模口不设筋 2. 在离凹模口较远处设置 2 条短筋
5	直线	补偿变形阻力不足	根据直线长短设置 1~3 条拉深筋 (长者多设, 并呈塔形分布; 短者少设)



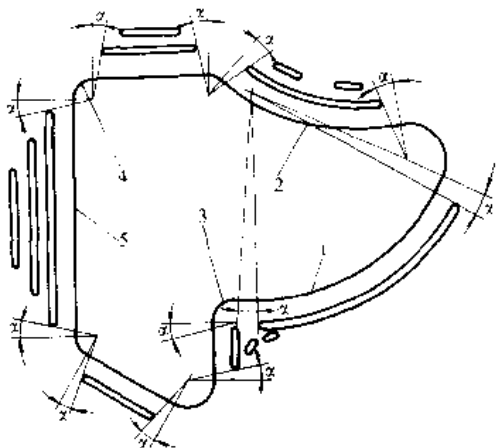


图 4-8-26 凹模口形状及拉深筋布置 $\alpha=8^{\circ}\sim 12^{\circ}$

5.2.5 工艺切口与工艺孔

1. 作用 当需要在工件的中间部位上冲压某些深度较大的局部突起或鼓包时,在一次拉深中,往往由于不能从坯料的外部得到材料的补充而造成局部开裂。这时,可考虑在局部突起变形区的适当部位冲出工艺切口或工艺孔,使容易破裂的区域从变形区内部得到材料的补充。

2. 制法 工艺孔可在拉深过程中或在落料工序中冲出,工艺切口一般均在拉深时冲出。工艺切口或工艺孔的数量、大小和形状要视其所处的区域和变形的要求由试验决定。

3. 要求 工艺切口或工艺孔在拉深中冲出时,要掌握好冲出时间,难变形区解除太早会影响其他部位产生起皱,太晚又可能不起作用。同时,要注意切口毛刺对工件表面的影响。

工艺切口或工艺孔必须处在工艺补充部分,并在以后的工序中切除而不影响零件质量(图 4-8-27)。

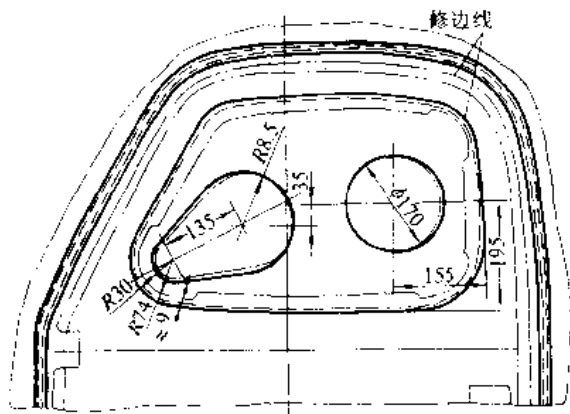


图 4-8-27 汽车外门板拉深时的工艺孔

5.3 复杂曲面零件拉深件形状设计

根据产品的形状、尺寸及工艺要求,常需于零件的局部及四周增设工艺补充部分,将零件形状变换成适于拉深的形状,以达到凹模口内四周的变形阻力和拉深件塑性变形均匀之目的,并为后续工序创造有利的条件。设计内容如下:

(1) 填补零件上所有的孔,并考虑是否开工艺切口或工艺孔。

(2) 将零件的边缘按形状特点和需要进行展开,同时决定修边形式(图 4-8-28)和后续工序的定位。常见的定位形式有:

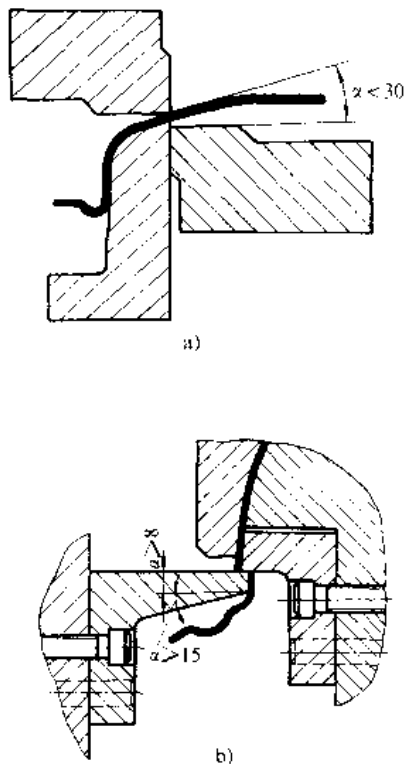


图 4-8-28 修边形式

a) 垂直修边 b) 侧向修边

1) 依靠拉深件的内表面或外表面定位。一般来说,用外表面定位比内表面定位有利于送料操作。

2) 用工艺孔定位,孔的位置应在压边面上变形较小的地方,通常是在拉深的时候冲出,孔径一般为 $\phi 10\sim 15\text{mm}$,孔距越远,定位越可靠。

(3) 建立零件的展开边缘与压边面之间的工艺补充面。工艺补充面部分的组成见图 4-8-29,各部分的作用和尺寸见表 4-8-23。



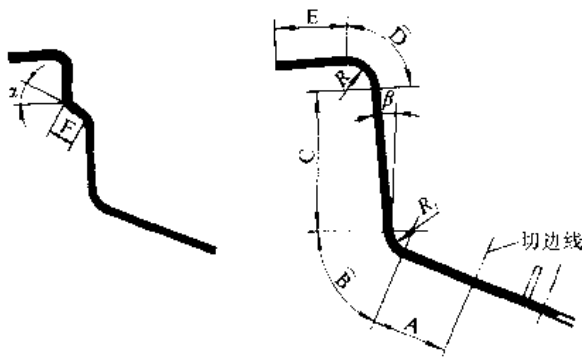


图 4-8-29 工艺补充部分示意

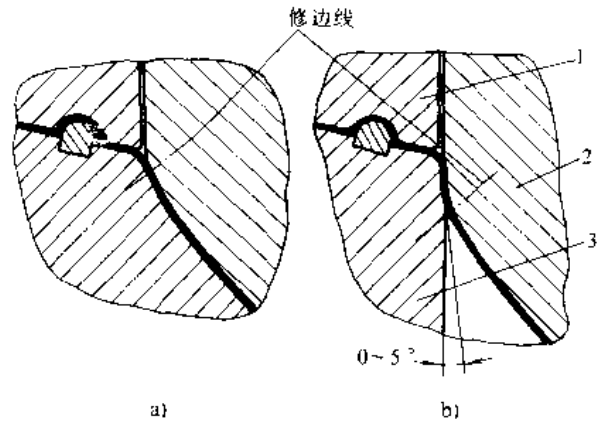


图 4-8-30 侧壁形状的影响

a) 较差 b) 较好

1—压边圈 2—凸模 3—凹模

表 4-8-23 工艺补充面各部分作用及尺寸

代号	名称	性质	作用	尺寸 (mm)
A	底面	从工件的修边线到凸模圆角	1. 调整时, 不致因 r_p 修磨变大而影响工件尺寸 2. 保证修边刃口的强度要求 (见图 4-8-28b) 3. 满足定位的结构要求	用拉深箍定位时: $A \geq 8$ 用侧壁定位时: $A \geq 5$
B	凸模圆角面	凸模圆角 r_p 处的弧面	降低变形阻力	一般拉深件: $r_p = (4 \sim 8)t$ 复杂拉深件: $r_p \geq 10t$
C	侧壁面	使拉深件沿凹模周边形成一定的深度	1. 控制工件表面有足够的拉应力, 保证毛坯全部延展, 减小皱纹的形成 (如图 4-8-30 所示) 2. 调节深度, 配置较理想的压边面 3. 满足定位和取件要求 4. 满足修边刃口强度要求	$C = 10 \sim 20$ $\beta = 6^\circ \sim 10^\circ$
D	凹模圆角面	拉深材料流动面	r_d 的大小直接影响毛坯流动的变形阻力, r_d 愈大, 则阻力愈小, 容易拉深, r_d 小则反之	$r_d = (4 \sim 10)t$ 料厚或深度大时取大值 允许在调整中变化
E	凸缘面	压边面	1. 控制拉深时进料阻力大小 2. 布置拉深筋 (槛) 和定位	$E = 40 \sim 50$
F	棱台面		使水平修边改为垂直修边, 简化冲模结构	$F = 3 \sim 5$ $\alpha \leq 40^\circ$

6 拉深力和压边力计算

6.1 拉深力

计算拉深力和压边力, 是为选择设备提供依据。

一般可采用表 4-8-24 推荐的实用公式。



表 4-8-24 计算拉深力的实用公式

拉深件型式	拉深工序	公 式	查系数 k 的表格编号
无凸缘的筒形零件	第 1 次	$F = \pi d_1 t \sigma_b k_1$	表 4-8-25
	第 2 次及以后各次	$F = \pi d_2 t \sigma_b k_2$	表 4-8-26
带凸缘的筒形零件	第 1 次	$F = \pi d_1 t \sigma_b k_3$	表 4-8-27
带凸缘的锥形及球形件	第 1 次	$F = \pi d t \sigma_b k_3$	表 4-8-27
铁的矩形盒 (一次工序拉深)	—	$F = (2b_1 + 2b - 1.72r) t \sigma_b k_3$	表 4-8-28
任意形状的拉深件		$F = L t \sigma_b k_1$	表 4-8-29
变薄拉深 (圆筒形零件)		$F = \pi d_n (t_{n-1} - t_n) \sigma_b k_4$	钢 $k_4 = 1.8 \sim 2.25$

注: 摘自参考文献 [12] 313 页。

1. L —凸模周边长度 (mm)。

表 4-8-25 筒形件第一次拉深时的系数 k_1 值 (08~15 钢)

相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$	第 一 次 拉 深 系 数 m_1									
	0.45	0.48	0.50	0.52	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
5.0	0.95	0.85	0.75	0.65	0.60	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20
2.0	1.10	1.00	0.90	0.83	0.75	0.60	0.50	0.42	0.35	0.25
1.2		1.10	1.00	0.90	0.80	0.68	0.56	0.47	0.37	0.30
0.8			1.10	1.00	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40	0.32
0.5				1.10	1.00	0.82	0.67	0.55	0.45	0.36
0.2					1.10	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40
0.1						1.10	0.90	0.75	0.60	0.50

注: 1. 当凸模圆角半径 $r_p = (4 \sim 5)t$ 时, 系数 k_1 应按表中数值增加 5%。

2. 对于其他材料, 根据材料塑性的变化, 对查得值作修正 (随塑性减低而增大)。

表 4-8-26 筒形件第二次拉深时的系数 k_2 值 (08~15 钢)

相对厚度 $\frac{t}{D_0} \times 100$	第 二 次 拉 深 系 数 m_2									
	0.7	0.72	0.75	0.78	0.80	0.82	0.85	0.88	0.90	0.92
5.0	0.85	0.70	0.60	0.50	0.42	0.32	0.28	0.20	0.15	0.12
2.0	1.10	0.90	0.75	0.60	0.52	0.42	0.32	0.25	0.20	0.14
1.2		1.10	0.80	0.75	0.62	0.52	0.42	0.30	0.25	0.16
0.8			1.00	0.82	0.70	0.57	0.46	0.35	0.27	0.18
0.5			1.10	0.90	0.76	0.63	0.50	0.40	0.30	0.20
0.2				1.00	0.85	0.70	0.56	0.44	0.33	0.23
0.1				1.10	1.00	0.82	0.68	0.55	0.40	0.30

注: 1. 当凸模圆角半径 $r_p = (4 \sim 5)t$, 表中 k_2 值应加大 5%。

2. 对于第 3、4、5 次拉深的系数 k_2 , 由同一表格查出其相应的 m_n 及 $\frac{t}{D_0} \times 100$ 的数值, 但需根据是否有中间退火工序而取表中较大或较小的数值:

无中间退火时—— k_2 取较大值 (靠近下面的一个数值)

有中间退火时—— k_2 取较小值 (靠近上面的一个数值)

3. 对于其他材料, 根据材料塑性的变化, 对查得值作修正 (随塑性减低而增大)。



表 4-8-27 宽凸缘筒形件第一次拉深时的系数 k_3 值 (08~15 钢)

{ 用于 $\frac{t}{D_0} \times 100 = 0.6 \sim 2$ }

凸缘相对直径 $\frac{d}{d_1}$	第 一 次 拉 深 系 数 m_1										
	0.35	0.38	0.40	0.42	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
3.0	1.0	0.9	0.83	0.75	0.68	0.56	0.45	0.37	0.30	0.23	0.18
2.8	1.1	1.0	0.9	0.83	0.75	0.62	0.50	0.42	0.34	0.26	0.20
2.5		1.1	1.0	0.9	0.82	0.70	0.56	0.46	0.37	0.30	0.22
2.2			1.1	1.0	0.90	0.77	0.64	0.52	0.42	0.33	0.25
2.0				1.1	1.0	0.85	0.70	0.58	0.47	0.37	0.28
1.8					1.1	0.95	0.80	0.65	0.53	0.43	0.33
1.5						1.10	0.90	0.75	0.62	0.50	0.40
1.3							1.0	0.85	0.70	0.56	0.45

注: 1. 这些系数也可用于带凸缘的锥形及半球形零件在无拉深筋模具上的拉深。当采用拉深筋时, k_3 值应增大 10%~20%。
2. 对于其他材料, 根据材料塑性的变化, 对查得值作修正 (随塑性减低而增大)。

表 4-8-28 由一次拉深成的低矩形件的系数 k_4 值 (08~15 钢)

毛坯相对厚度 $\frac{t}{D_0} > 100$				角部相对圆角半径 $\frac{r}{B}$				
2~1.5	1.5~1.0	1.0~0.6	0.6~0.2	0.3	0.2	0.15	0.10	0.05
盒形件相对高度 $\frac{h}{B}$				系数 k_4 值				
1.0	0.95	0.9	0.85	0.7	—	—	—	—
0.90	0.85	0.75	0.70	0.6	0.7	—	—	—
0.75	0.70	0.65	0.60	0.5	0.6	0.7	—	—
0.60	0.55	0.50	0.45	0.4	0.5	0.6	0.7	—
0.40	0.35	0.30	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7

注: 对于其他材料, 根据材料塑性的变化, 对查得值作修正 (随塑性减低而增大)。

表 4-8-29 任意形状零件拉深时的系数 k_5 值

制件复杂程度	难加工件	普通加工件	易加工件
k_5 值	0.9	0.8	0.7

6.2 压边力

拉深时, 若坯料的相对厚度较小而变形程度又较大, 就会在变形区出现起皱现象。防止起皱的措施是采用有压边装置的拉深模。拉深中是否采用压边圈的条件列入表 4-8-30。压边力 F_2 的计算式为

$$F_2 = K_2 A p \quad (N)$$

式中 A — 压边面积 (mm^2);

表 4-8-30 采用或不采用压边圈的条件

拉深方法	第一次拉深		以后各次拉深	
	$t/D_0 \times 100$	m_1	$t/d_{n-1} \times 100$	m_n
用压边圈	<1.5	<0.6	<1	<0.8
可用可不用	1.5~2.0	0.6	1~1.5	0.8
不用压边圈	>2.0	>0.6	>1.5	>0.8

p — 单位压边力 (MPa) (表 4-8-31);

K_2 — 系数, 取 1.1~1.4 (m 小时取大值);

为避免拉裂, 在保证坯料不起皱的前提下, 压边力应选取尽量小的数值。

表 4-8-31 单位压边力 p (MPa)

材 料	单位压边力 p
铝	0.8~1.2
紫铜、硬铝 (退火的或刚淬好火的)	1.2~1.8
黄铜	1.5~2
压轧青铜	2~2.5
20 钢、08 钢、镀锡钢板	2.5~3
软化状态的耐热钢	2.8~3.5
高合金钢、高碳钢、不锈钢	3~4.5



7 拉深中的润滑

在拉深过程中,坯料与模具的表面直接接触。保持它们之间的良好润滑状态,可以减少摩擦对拉深过程的不利影响,防止工件拉裂和模具的过早磨损。

常用的润滑剂见表 4-8-32~表 4-8-34。

拉深时润滑剂要涂抹在凹模圆角部位和压边面的部位,以及与此部位和接触的坯料表面上。涂抹要均匀,间隔时间要固定,并经常保持润滑部位的清洁。切忌在凸模表面或与凸模接触的坯料面上涂润滑剂,以防材料沿凸模滑动,并使材料变薄。

表 4-8-32 拉深低碳钢用的润滑剂

简称号	润滑剂		附注	简称号	润滑剂		附注
	成分	质量分数 (%)			成分	质量分数 (%)	
5号	锭子油	43	用这种润滑剂可得到最好的效果,硫磺应以粉末状态加进去	10号	锭子油	33	润滑剂很容易去除,用于重的压制工作
	鱼肝油	8			硫化蓖麻油	1.5	
	石墨	15			鱼肝油	1.2	
	油酸	8			白垩粉	45	
	硫磺	5			油酸	5.6	
	绿肥皂水	6			苛性钠	0.7	
6号	锭子油	40	硫磺应以粉末状态加进去	2号	锭子油	12	这种润滑剂比以上的略差
	黄油	40			黄油	25	
	滑石粉	11			鱼肝油	12	
	硫磺	8			白垩粉	20.5	
	酒精	1			淮酸	5.5	
9号	锭子油	20	将硫磺溶于温度约为160°C的锭子油内。其缺点是保存时间太久时会分层	8号	绿肥皂水	20	将肥皂溶在温度为60~70°C的水里,是很容易溶解的润滑剂,用于半球形及抛物线形工件的拉深中
	黄油	40			乳化液	37	
	石墨	20			白垩粉	45	
	硫磺	7			焙烧苏打	1.3	
	酒精	1			水	16.7	
	水	12					

表 4-8-33 低碳钢变薄拉深用的润滑剂

润滑方法	成分含量	附注
接触镀铜化合物: 硫酸铜 食盐 硫酸 木工用胶 水	1.5~5kg 5kg 7~8L 200g 80~100L	将胶先溶解在热水中,然后再将其余成分溶进去。将镀过铜的坯料保存在热的肥皂溶液内,进行拉深时才由该溶液内将坯料取出
先在磷酸盐内予以磷化,然后在肥皂乳液内予以皂化	磷化配方 马日夫盐—— 30~33g/L 氧化铜—— 0.3~0.5g/L	磷化液温度:96~98°C,保持15~20min

表 4-8-34 拉深非铁金属及不锈钢用的润滑剂

金属材料	润滑方式
铝 硬铝 紫铜、黄铜及青铜 镍及其合金 2Cr13 不锈钢 1Cr18Ni9Ti 不锈钢 耐热钢	植物油(豆油)、工业凡士林 植物油乳液 菜油或肥皂与油的乳液(将油与浓肥皂水溶液混合) 肥皂与油的乳液 用氯化乙烯漆(GO1-4)喷涂板料表面,拉深时另涂机油



第9章 成形

这里所说的成形，是指用各种不同性质的局部变形来改变坯料形状的各种工序，主要有缩口、外凸曲线翻边、内凹曲线翻边、翻孔、起伏、胀形等。

缩口和外凸曲线翻边属于压缩类成形工艺(图4·9-1)，变形区材料受切向压应力作用，产生压缩变形，厚度增加。此类工艺的极限变形程度不受材料塑性的影响，而受压缩失稳的限制，即有变形区的起皱和非变形区(例如缩口时的刚性支承区)的失稳两种。

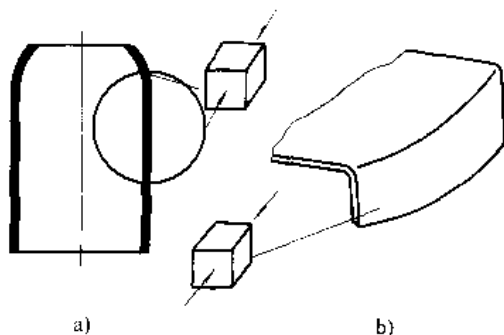


图4·9-1 压缩类成形

a) 缩口 b) 外凸曲线翻边

翻孔、内凹曲线翻边、起伏、胀形、液压(橡皮)成形等属于伸长类成形工艺(图4·9-2)，变形区材料受切向拉应力作用，产生伸长变形，厚度减薄，容易发生开裂。此类工艺的极限变形程度主要受材料塑性的限制。当材料硬化指数 n 和厚向异性系数 r 较大时，极限变形程度也较大。

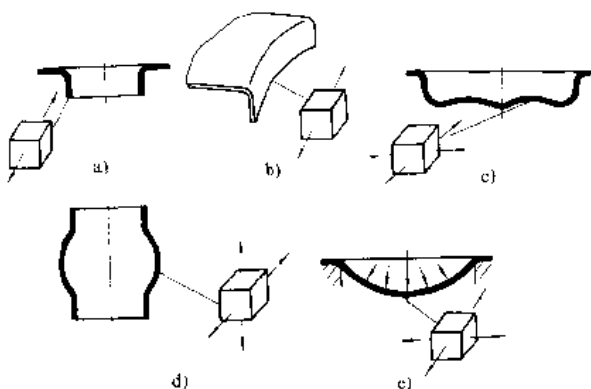


图4·9-2 伸长类成形

a) 翻孔 b) 内凹曲线翻边 c) 起伏
d) 胀形 e) 液压(橡皮)成形

1 缩口及外凸曲线翻边

1·1 缩口

缩口，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工艺方法(图4·9-3)。缩口的变形程度用缩口系数 K_j 表示：

$$K_j = d/D_0$$

缩口系数与模具的结构形式关系极大，表4·9-1给出了不同材料和不同模具情况的平均缩口系数。为防止材料因受压缩变形剧烈而起皱，由较大直径缩成很小直径时，需多次缩口。采用锥形模缩口，模具锥角 α 取 $15^\circ \sim 30^\circ$ 为宜，此时缩口力较小。

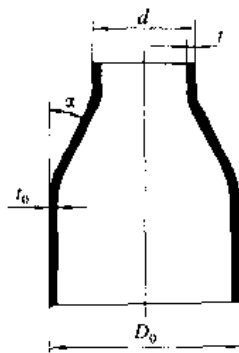


图4·9-3 缩口

表4·9-1 缩口系数 K_j

材 料	模 具 情 况		
	无支承空心缩口	有外部支承缩口	有内外支承缩口
低碳钢	0.7~0.75	0.55~0.6	0.3~0.35
黄铜	0.65~0.7	0.5~0.55	0.27~0.32
铝	0.68~0.72	0.53~0.57	0.27~0.32

缩口力可按式计算：

$$F_1 = k \left[1.1 \pi D_0 t \sigma_s \left(1 - \frac{d}{D_0} \right) (1 - \mu \cot \alpha) / \cos \alpha \right]$$

式中 k ——速度系数，在曲柄压力机上缩口时 $k=1.15$ 。

注 摘自王孝培主编。冲压手册(修订本)，北京：机械工业出版社，1990，343页。



采用缩口与扩口联合工艺，可用管子制成空心阶梯形或锥形的工件（图4-9-4）。此工艺简单，消耗材料少，模具成本低。最后加一道整形工序，可提高工件质量。

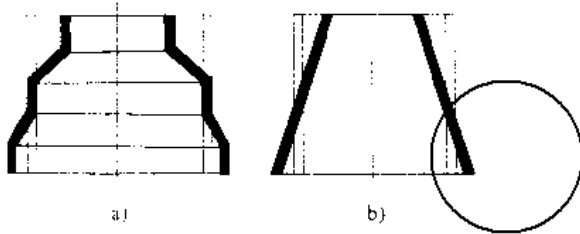


图4-9-4 缩口与扩口联合工艺

1.2 外凸曲线翻边

外凸曲线翻边的变形性质和应力状态类似于浅拉

深。变形程度用 $K_{fk} = r/R$ 表示（见图4-9-5），其数值可参考拉深系数（参见本篇第8章）。

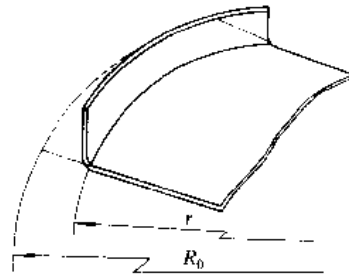


图4-9-5 外凸曲线翻边

2 翻孔及内凹曲线翻边

翻孔与内凹曲线翻边（图4-9-6）的变形性质相同。

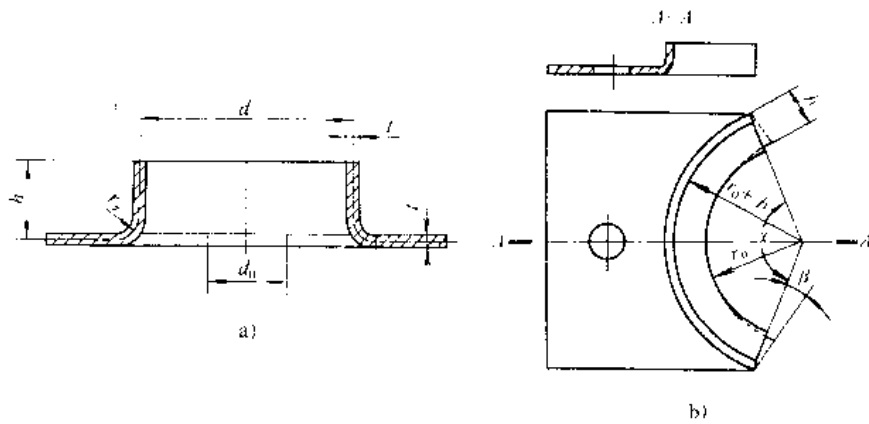


图4-9-6 翻孔及内凹曲线翻边

a) 翻孔 b) 内凹曲线翻边

2.1 翻孔

2.1.1 圆孔翻孔

1. 变形程度 用翻孔系数 K 表示

$$K_{fk} = d_0/d$$

翻孔时孔缘不开裂所能达到的最小翻孔系数称为极限翻孔系数 K_{min} 。表4-9-2是部分材料的翻孔系数 K_{fk} 和 K_{min} 。

2. 预制孔直径与翻孔高度 预制孔直径为

$$d_0 = d - 2(h - 0.43r_d + 0.72t)$$

翻孔高度为

$$h = \frac{1}{2}d(1 - K) - 0.43r_d + 0.72t$$

当取极限翻孔系数 K_{min} 时有最大翻孔高度 h_{max}

$$h_{max} = \frac{1}{2}d(1 - K_{min}) - 0.43r_d + 0.72t$$

表4-9-2 翻孔系数 K_{fk}

材 料	K_{fk}	K_{min}
白铁皮	0.70	0.65
碳 钢	0.74~0.87	0.65~0.71
合金结构钢	0.80~0.87	0.70~0.77
镍铬合金钢	0.65~0.89	0.57~0.61
软 铝	0.71~0.83	0.63~0.74
紫 铜	0.72	0.63~0.69
黄 铜	0.68	0.62

注：1. 竖边允许有不大的裂纹时可用 K_{min} 。

2. 钻孔、冲孔毛刺朝凸模一侧时 K_{fk} 取较小值。

3. 采用球形凸模及 $\frac{t}{d_0}$ 较大时 K_{fk} 取较小值。

若工件翻边高度 $h > h_{max}$ 时，可先拉深到一定深度，后冲孔再翻孔，见图4-9-7。



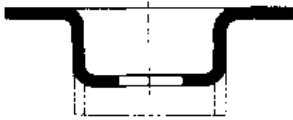


图 4-9-7 预先拉深的翻孔

3. 翻孔力 采用圆柱形凸模时可用下式计算:

$$F_1 = 1.1n(d - d_0)t\sigma_s \quad (\text{N})$$

用球形凸模或顶角较小的锥形凸模, 翻孔力可减小。

2.1.2 非圆孔的翻孔

非圆孔的翻孔如图 4-9-8 所示, 应根据翻边线的形状来分段考虑: 翻边线为直线 (1 和 5 两段) 者可视为简单弯曲线; 外凸弧 (3 段) 按外凸曲线翻边处理;

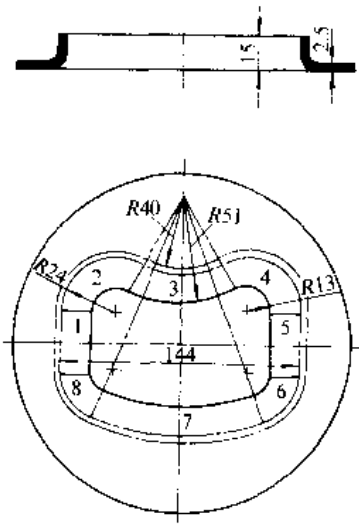


图 4-9-8 非圆孔的翻孔

内凹弧 (2、4、6、7 和 8 各段) 按圆孔翻孔处理, 此时要对最小圆角部分进行允许变形程度的校核, 极限翻孔系数可比相应的圆孔翻孔要小些。

2.2 内凹曲线翻边

与圆孔翻孔的差别, 仅仅在于变形区内沿翻边线应力与变形的分布是不均匀的。变形程度用翻边系数 $K'_{fs} = \frac{r_0}{r_0 + b}$ 来表示 (见图 4-9-6b)。当曲线的中心角 $\alpha \leq 180^\circ$ 时, $K'_{fs} = \frac{K_{fs}\alpha}{180^\circ}$ (K_{fs} 按表 4-9-2 选取); 当 $\alpha > 180^\circ$ 时, $K'_{fs} = K_{fs}$ 。

3 起伏

起伏成形是在工件的局部压出凸起或凹下的形状, 如筋、花纹、文字等 (图 4-9-9), 其变形特点是靠材料局部变薄成形, 所以开裂决定它的成形极限。一般来说, 材料的伸长率 δ 越大, 可能达到的极限变形程度越大。

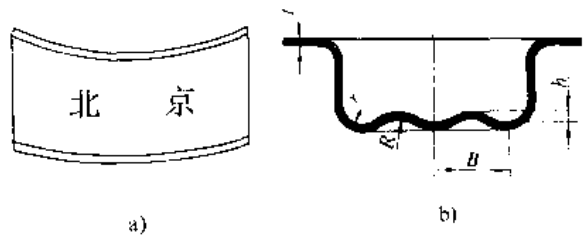


图 4-9-9 起伏成形

a) 压文字 b) 压加强筋

一次成形允许的加强筋几何参数列入表 4-9-3。平板局部冲压凸包时的极限成形高度 h_{max} 列入表 4-9-4。

表 4-9-3 加强筋的型式和尺寸

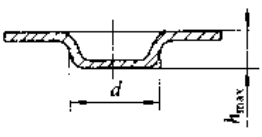
(mm)

名称	简图	R	h	b	r_p	α
半圆形筋		(3~4) t	(2~3) t	(7~10) t	(1~2) t	
梯形筋		—	(1.5~2) t	$\geq 3h$	(0.5~1.5) t	$15^\circ \sim 30^\circ$

注: 表中数值下限为极限尺寸, 上限为正常尺寸。



表 4-9-4 平板局部冲压凸包时的极限

成形高度 h_{max} (mm)	
	材料 h_{max}
	软钢: $(0.15 \sim 0.2) d$
	铝: $(0.1 \sim 0.15) d$
	黄铜: $(0.15 \sim 0.22) d$

冲压加强筋的起伏力

$$F_1 = K L t \sigma_s \quad (N)$$

式中 K ——系数, 取值为 $0.7 \sim 1$, 筋深且窄时取大值;

L ——加强筋周长 (mm)。

10)。胀形时, 变形区材料厚度变薄。

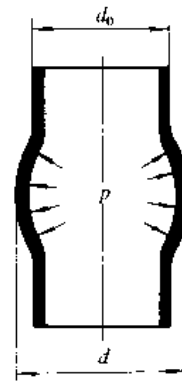


图 4-9-10 胀形

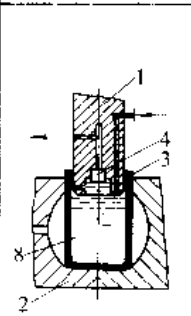
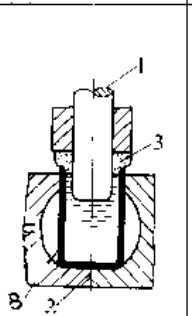
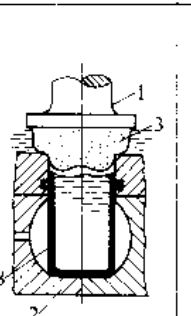
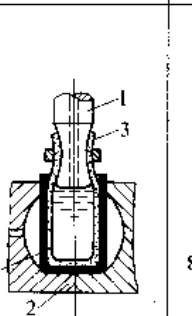
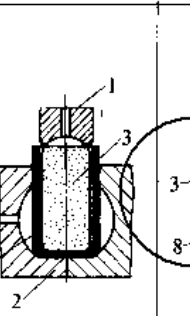
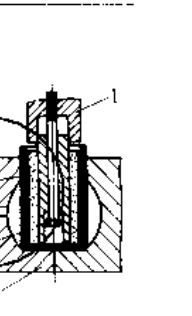
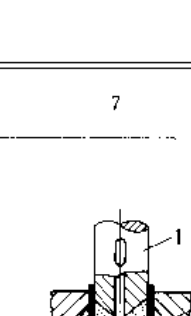
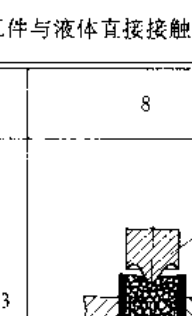
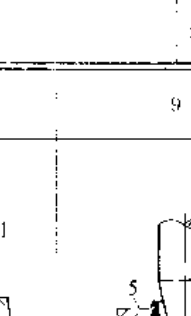
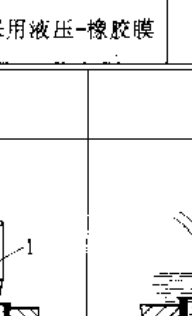
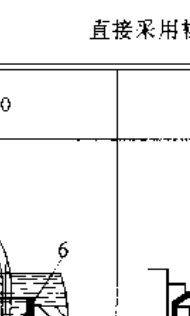
4 胀形

圆筒形空心坯料的胀形, 是利用压力将其向外膨胀成直径大的曲母线零件的冲压工艺方法 (图 4-9-

4.1 胀形方法

胀形一般要用可分式凹模, 成形方法见表 4-9-5。

表 4-9-5 胀形方法

序号	1	2	3	4	5	6
简图						
特点	工件与液体直接接触			采用液压-橡胶膜		直接采用橡胶
序号	7	8	9	10	11	
简图						
特点	直接采用橡胶	采用钢球	采用刚性分瓣模	采用炸药	采用旋压	

表中: 1—凸模 2—凹模 (或型胎) 3—橡胶 4—阀 5—胀形模 6—炸药 7—滚轮 8—工件



4.2 变形程度

胀形时的变形程度可用胀形系数 K_p 表示(见图4.9-10)

$$K_p = d/d_0$$

极限胀形系数 K_p 与坯料的许用伸长率 δ_{max} 有关,即

$$K_p = 1 + \delta_{max}$$

表4.9-6列出了一些金属材料的极限胀形系数和切向许用伸长率。表4.9-7是石蜡胀形时的极限胀形系数。

表 4.9-6 极限胀形系数和切向许用伸长率

材 料	厚度 (mm)	极限胀形系数 K_p	切向许用伸长率 $\delta_{max} \times 100$
铝合金 LF21-M	0.5	1.25	25
L1, L2	1.0	1.28	28
纯铝 L3, L4	1.5	1.32	32
L5, L6	2.0	1.32	32
黄铜 H62	0.5~1.0	1.35	35
H68	1.5~2.0	1.40	40
低碳钢 08F	0.5	1.20	20
10, 20	1.0	1.24	24
不锈钢 1Cr18Ni9Ti	0.5	1.26	26
	1.0	1.28	28

注:摘自参考文献[13] 134页。

表 4.9-7 石蜡胀形法的极限胀形系数 K_p

材 料	毛坯原始厚度 t (mm)	极限胀形系数 K_p
紫铜 T3	0.5	1.59
黄铜 H62	0.5	1.53
钢 20	0.5	1.54
不锈钢 1Cr18Ni9Ti	0.5	1.48

注:摘自参考文献[13] 134页。

4.3 胀形力

胀形时的胀形力 F_1 :

$$F_1 = pA$$

$$p = 1.15\sigma_r \frac{\partial \epsilon}{\partial d} \quad (\text{MPa})$$

式中 A ——胀形面积 (mm^2);

p ——胀形单位压力 (MPa);

σ_r ——胀形变形区真实应力,近似计算时采用 $\sigma_r \approx \sigma_b$ (材料抗拉强度) (MPa)。

5 校平

校平是一种辅助工序,用来将冲裁或成形后有不平整缺陷的工件加以压平,使其达到设计要求。实际生产中,应根据材料厚度不同采取不同的校平工艺。

(1) 材料薄,表面不允许有压痕的工件,采用光面校平模。为避免受压力机精度影响,可采用浮动式凸模(或凹模)。

(2) 材料较厚,表面允许有压痕的工件,可用细齿校平模,齿形用正方形或菱形(图4.9-11a)。

(3) 厚度较小或铝、青铜、黄铜工件,可采用粗齿校平模(图4.9-11b)。此时,有一定的齿宽平面,故校后仍有压痕。

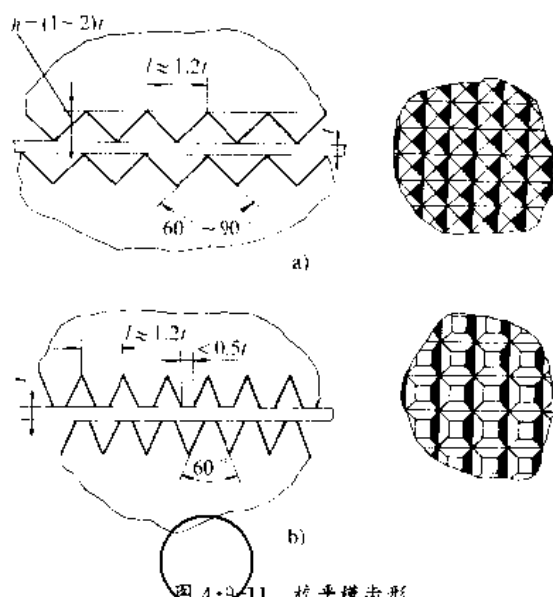


图 4.9-11 校平模齿形

a) 细齿 b) 粗齿

校平力

$$F_1 = pA \quad (\text{N})$$

式中 A ——校平面积 (mm^2);

p ——校平单位压力(表4.9-8) (MPa)。

表 4.9-8 校平单位压力 p (MPa)

情况	p
光面校平	50~100
细齿校平	100~200
粗齿校平	200~300



6 压印

压印是使坯料厚度改变并充满模腔，在表面形成起伏的花纹或文字的冲压工艺方法(图4-9-12)，属体积成形。大多数情况下，压印是在封闭模中进行，以防金属被挤出。

压印时要注意凸起宽度不要窄而高，要避免尖角、锐角等。结构的工艺性见图4-9-13。压印深度 $h \leq 0.3 \sim 0.4t$ 时，用光面凹模进行； $h > 0.4t$ ，则应按凸模做出相应的凹模(图4-9-14)。

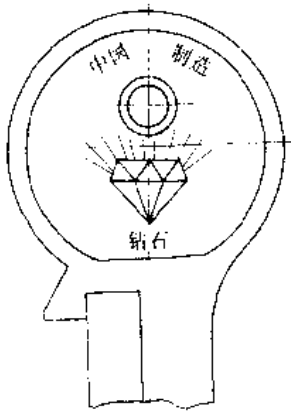


图 4-9-12 压印

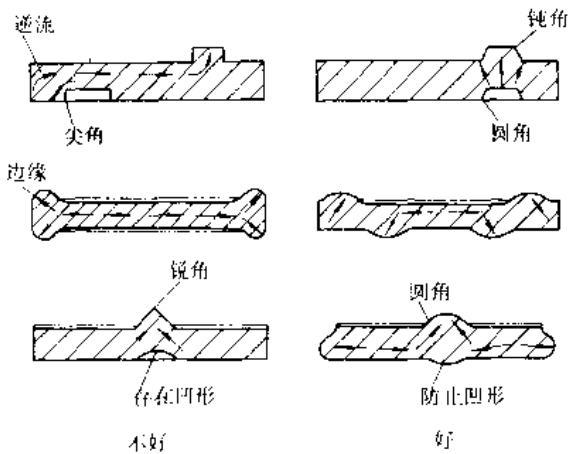


图 4-9-13 压印件的工艺性

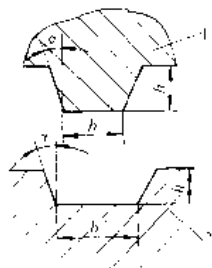


图 4-9-14 压印模尺寸

1—凸模 2—凹模

为使工件有良好的表面，事先应对坯料作退火、酸洗、喷砂等处理。

$$F_1 = pA \text{ (N)}$$

式中 A ——压印面积 (mm^2)；

p ——单位压力 (MPa)，(查表 4-9-9)。

表 4-9-9 压印时单位压力 p

(MPa)

工 作 性 质	p
在黄铜板上敲开压凸纹	200~500
在 $t < 1.8\text{mm}$ 的钢板上压凸凹图案	800~900
用淬得很硬的凸模在凹模上压印轮廓	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。

7 拉形

拉形是在坯料贴靠凸模曲面成形的同时，对坯料附加张力 F_1 ，张力一方面增大材料变形程度，另一方面减小贴模时坯料断面上的应变分布梯度。拉形过程见图4-9-15。这种加工方法适于制造材料具有一定塑性、表面积大、曲率小且变化平缓、质量要求高(外形准确、流线光滑、刚性好)的双曲面类零件，是制造飞机蒙皮、汽车覆盖件等零件的有效方法。

拉形的变形程度用拉形系数 K_1 表示

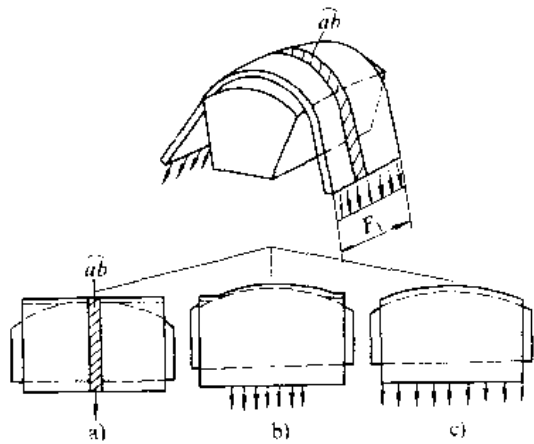


图 4-9-15 拉形

a) 弯曲阶段 b) 贴模阶段 c) 补拉阶段



$$K_l = l_{max} / l_0$$

式中 l_{max} ——拉形后零件伸长最大处纤维长度；

l_0 ——拉形前坯料该处原始长度。

极限拉裂系数 K_{lmax} 的数值取决于材料的硬化指数 n 和伸长率 δ 、拉裂包角 α (见图 4-9-16)、摩擦系数 μ 及夹口状况等。 n 值和 δ 大, K_{lmax} 也大; μ 小和 α 小, 则 K_{lmax} 大。

如图 4-9-16 所示, 一般取张力 F_1 , 凸模力 Q 如下:

$$F_1 = 0.9\sigma_b A \quad (\text{N})$$

$$Q = 2F_1 \cos \frac{\alpha}{2} \quad (\text{N})$$

式中 A ——夹头夹紧材料的断面积 (mm^2)。

拉形的工艺装备和设备结构简单, 生产准备周期短、成本低。但是, 生产率低、原材料消耗大, 对于外形复杂的零件, 仍需辅助手工修整。

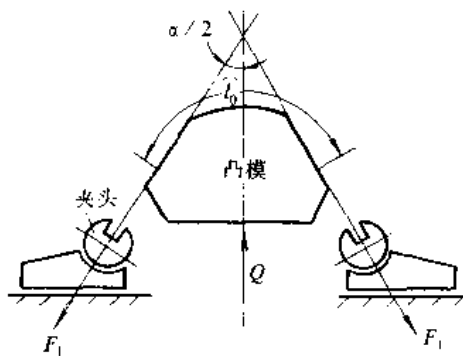


图 4-9-16 拉形工艺示意图

第 10 章 特种成形

在现代冲压加工中, 既有大批量的生产, 也有多种小批量的生产, 既有一般精度和形状的零件, 也有精密和复杂形状的零件; 既有比较容易成形加工的材料, 也有难成形加工的材料。根据各种零件的材料、形状尺寸、生产批量及性能等要求, 传统的冲压加工工艺已难达到经济规模生产。特种冲压成形技术的开发与应用, 扩大了冲压加工的适应范围。

特种冲压成形方法主要有: 软模成形、超塑成形、旋压成形、高速成形 (爆炸成形、电水成形和电磁成形) 等。其特点是使用的模具结构简单、生产准备周期短, 常用来制造传统冲压加工方法难以制造的零件, 尤其适合小批量的生产。

1 软模成形

软模成形是用橡胶、液体或气体的压力代替刚性凸模或凹模完成弯曲、拉深、翻边、胀形等工序的冲压加工方法, 也可以用来完成剪切加工。

软模成形方法见表 4-10-1。采用橡胶模具, 制造简单, 成本低, 工件表面不易擦伤, 但压力损失大, 工件圆角部分成形困难, 不适于形状复杂和深度大的工件。液压成形可消除上述不足, 但液体直接作用于工件时, 解决密封问题至关重要。液压—橡胶软模成形, 可以克服上述两种软模成形的缺陷, 成形各种复杂形状的工件。

用刚性冲模拉深曲面形状零件时, 坯料上存在不

与凸模接触的自由表面区 (图 4-10-1), 应力状态为一拉一压, 容易起皱; 而软模成形时应力状态为双向拉力, 从根本上消除了诱发起皱的因素。

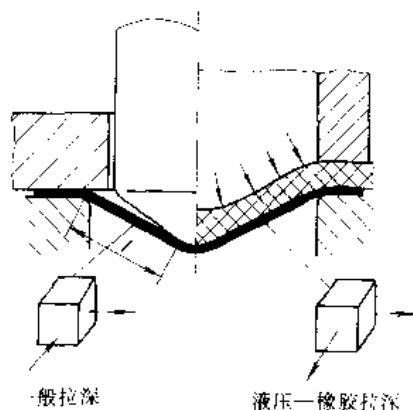


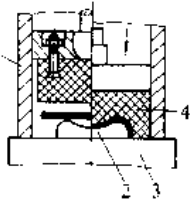
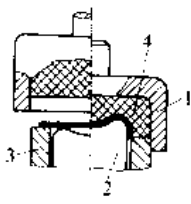
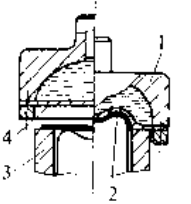
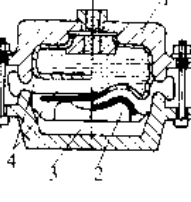
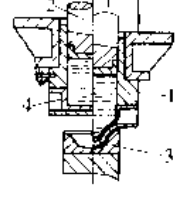
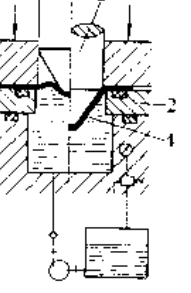
图 4-10-1 一般拉深与软模拉深比较

软模成形分软凸模和软凹模两种。软凸模用于成形大平面且深度小的工件, 主要缺点是坯料中间部分容易变薄。当用液体凸模时, 由于液体与坯料之间无摩擦力, 坯料的稳定性不好, 容易偏斜。软凹模可用于成形形状复杂深度较大的工件, 由于受高压力的作用, 坯料被紧紧地包覆于凸模, 不仅使坯料定位准确, 而且有辅助成形的作用, 扩大了零件一次成形的可能性; 此外, 模具通用性大, 结构简单。

液体凹模成形时所需压力 p 可参考表 4-10-2 选取。图 4-10-2 是双槽皮带轮的液压成形示意图, 成形时 $p = 11 \sim 13 \text{MPa}$ 。



表 4-10-1 软模成形

名称	简图	成形时运动情况			特 点
		护套	模 具	工作台 或压板	
橡皮成形		固定	固定	固定	橡皮平均压力 8~15MPa, 也可用于冲裁, 用橡皮冲孔。例如铝合金板的可冲直径为 60t (料厚) 以上的孔, 若用辅助工具, 可冲直径为 40t (料厚) 以上的孔。橡皮高度可取 100~200mm
		可动	固定	可动	压力可达 35~100MPa, 护套高度可取工件高度的 1.5~2 倍。工件直径一般在 $\phi 40\text{mm}$ 以上。拉深系数可以小于刚性模拉深
液 压 橡 皮 模 成 形		固定	可动	固定	高压液体通过橡皮模使工件成形, 橡皮膜厚度 0.5mm, 最高压力可达 100MPa, 橡皮膜寿命可达 2 万件以上。拉深系数可达 0.3~0.4, 拉深深度可达直径的 1.5 倍左右
		固定	固定	固定	压力可达 30、50、70MPa, 可进行复杂工件的精密成形
		可动	固定或可动	固定	橡皮膜与高压液体组成一个流体凸模。要注意在凹模中开排气孔
液 压 机 械 成 形		固定	固定	固定	拉深系数可达 0.33 或更小, 工件壁厚比较均匀。需很大的压板压力, 要注意高压液体的漏损

表中: 1—护套 2—模具 3—工作台或压板 4—橡皮



表 4-10-2 液体凹模拉深所需压力 p (加工板厚 $t=1\text{mm}$) (MPa)

材 料	拉 深 系 数 $m = \frac{d}{D_0}$					
	0.7	0.6	0.5	0.45	0.43	0.42
硬 铝	0~22.5	0~31.5	0~34	0~34.5	0~33	0~35
低碳钢	0~50	0~55	0~60	0~60	0~65	—
不锈钢	0~60	0~60	0~70	0~75	0~75	0~90

注：摘自参考文献 [1]，121 页。

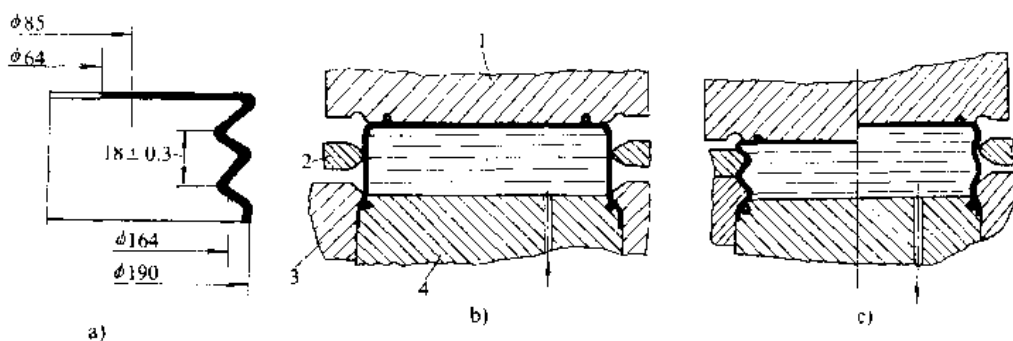


图 4-10-2 双槽皮带轮液压成形示意图
a) 零件 b) 成形前 c) 成形过程与終了

2 超塑成形

采用超塑成形，能以吨位较小的设备和成本相对低廉的模具，加工形状复杂的零件或用普通方法难以成形的材料，而且成形后的工件基本上没有残余应力。但超塑成形的生产率不高，使用装置及操作也比较复杂。

有关超塑性的基本知识参见工程材料卷第 2 篇第 5 章。

2.1 成形方法

2.1.1 真空成形法

这是一种利用抽真空使处于超塑性状态下的坯料吸附到模具上的工艺方法。它又分为两种：

(1) 凸模真空成形法。该方法如图 4-10-3a 所示，是用来成形内侧尺寸准确、形状简单的零件。

(2) 凹模真空成形法。该方法如图 4-10-3b 所示，是用来成形外形尺寸准确、形状简单的零件。

由于成形压力 $< 0.1\text{MPa}$ ，真空成形法不适合成形板厚尺寸较大或高强度材料。

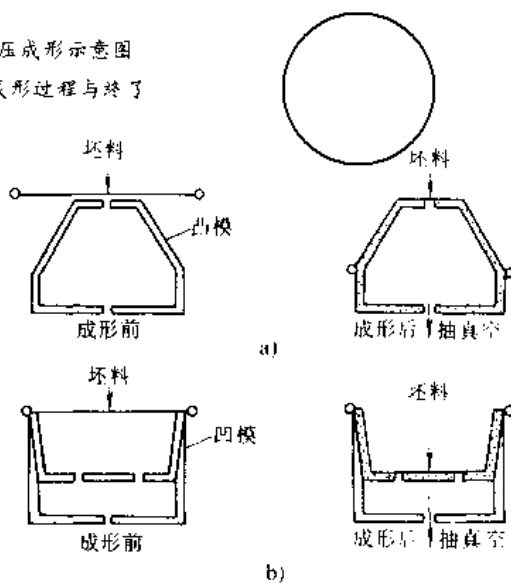


图 4-10-3 真空成形法
a) 凸模真空成形法 b) 凹模真空成形法

2.1.2 气压成形法 (吹塑成形法)

这是一种以压缩气体为工作介质，使处于超塑性状态下的坯料依靠胀形来贴模的工艺方法，如图 4-10-4 所示。

气压成形零件壁厚不均匀是工艺设计时最关键的问题之一，主要通过下列方法解决：

(1) 采用不均加热方法，使易变薄的部位先处于较



低的温度，后产生变形。

(2) 利用摩擦条件，使易变薄的部位先与模具上的活动部分接触，以增加摩擦，减小变形。

(3) 反复成形，即先反向自由胀形，再反向加压使坯料与模具贴靠。也可以非超塑性状态下制作预成形件、再超塑成形。

(1) 采用变厚度坯料。

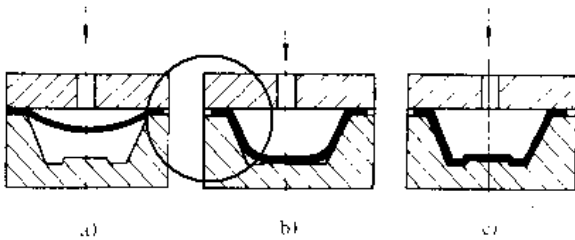


图 4-10-4 气压成形法

a) 自由胀形阶段 b) 预成形阶段 c) 细部成形阶段

2.1.3 模压成形法 (冲压成形法)

这种方法是使用成对的模具加工处于超塑性状态下的坯料。常用于精度要求较高的零件成形。

模压成形法对模具结构有特殊要求，加工困难。

2.2 模具材料及润滑剂

选择模具材料最重要的因素是材料的热强度和热稳定性。表 4-10-3 给出常用模具材料。

表 4-10-3 常用模具材料

工作温度	成形材料	模具材料
<300℃	锌合金	Cr12、Cr12MoV、GCr15、T8、T10
300~500℃	铝合金、铜合金	5CrMnMo、3Cr2W8、9CrSi、W18Cr4V、5CrNiMo、W6Mo5Cr4V2、M2
500~800℃	铝合金、铜合金、钢、钛	GH130、GH133、GH37
800~1000℃	钛合金、钢、不锈钢、镍合金	K3、K5、K17、K19、GH99、IN100、ЖС-6NX88、MAR-M200、TRW-NASA、WA
>1000℃	镍合金	铜基合金

超塑成形对润滑剂有如下要求：

- (1) 能防止工件氧化。
- (2) 不粘模，便于工件脱模。

(3) 摩擦系数小。

(4) 不腐蚀工件和模具，容易清除。

常用的润滑剂见表 4-10-4。

表 4-10-4 超塑成形用润滑剂

润滑剂	使用温度	应用范围
硅油	<250℃	锌合金
苯甲基硅油+石墨	<400℃	部分铝合金
混合油	500℃	铝合金、铜合金
水基石墨	500~800℃	铜合金、钢
碳化硅高油漆	800~950℃	钛合金

3 旋压成形

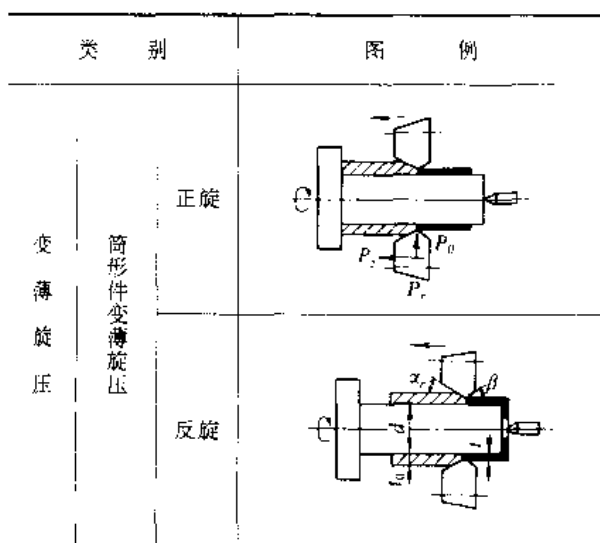
旋压属于回转加工，是利用坯料随芯模旋转(或旋压工具绕坯料与芯模旋转)和旋压工具与芯模相对进给，使坯料受压力作用并产生连续、逐点的变形，从而完成工件加工。根据坯料厚度变化情况，旋压分为不变薄旋压(普通旋压)和变薄旋压(强力旋压)两大类，如表 4-10-5 所示。

表 4-10-5 旋压成形分类

类别	图例	
不变薄旋压	拉深旋压	
	缩口旋压	
	扩口旋压	
变薄旋压	锥形件变薄旋压(剪切旋压)	



(续)



3.1 旋压的特点及应用

旋压成形的特点:

- (1) 旋压属于局部连续塑性加工, 瞬间的变形区小, 所需总的变形力较小。
 - (2) 有一些形状复杂的零件或高强度难变形的材料, 传统工艺很难甚至无法加工, 用旋压成形却可以方便地加工出来。
 - (3) 旋压件的尺寸公差等级可达 IT8 左右, 表面粗糙度 $R_a < 3.2 \mu\text{m}$, 强度和硬度均有显著提高。
 - (4) 旋压加工材料利用率高, 模具费用低。
- 旋压成形的经济性与生产批量、工件结构、设备及劳动费用等有关。在许多情况下, 旋压要与冲压的其他

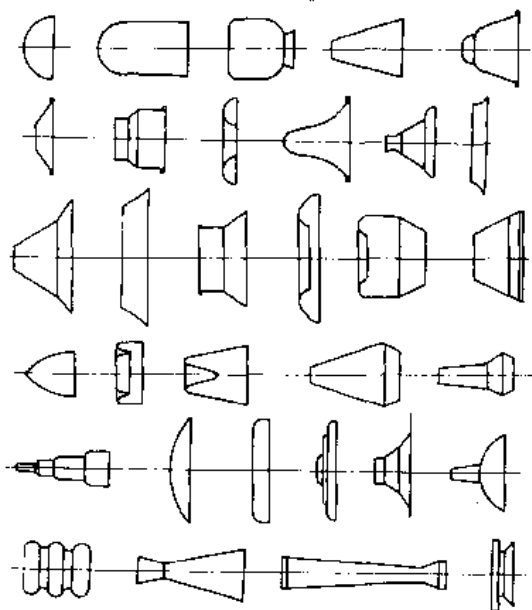


图 4.10-5 旋压件的形状示例

工艺方法配合应用, 以获得最佳的产品质量和经济效益。

可旋压的工件形状只能是旋转体(图 4.10-5), 主要有筒形、锥形、曲母线形和组合形(前三种相互组合而成)四类。可旋压的材料见表 4.10-6。

表 4.10-6 旋压加工常用材料

材料	牌 号
优质碳素钢	20 号钢, 30 号钢, 35 号钢, 45 号钢, 60 号钢, 15Mn, 16Mn
合金钢	40Cr, 40Mn2, 30CrMnSi, 15MnPV, 15MnCrMoV, 14MnNi, 40SiMnCrMoV, 28CrSiNiMoWV, 45CrNiMoV, PCrNiMo
不锈钢	1Cr13, 1Cr18Ni9Ti, 1Cr21Ni5Ti
耐热合金	CH-30, CH128, Ni-Cr-Mo
非铁金属及其合金	T ₂ , HN165-5, HSn62-1, LO ₇ , LO ₃ , LF ₁ , LF ₅ , LF ₄ , LF ₁₂ , LF ₂₁ , LY ₁₁ , LD ₂ , LD ₃ , LC ₄ , 347, 54, 183, 918, LT ₂₄
难熔金属稀有金属	烧结纯钨、纯钨、纯钼、钨合金 C-103, Cb-275、纯钛、TC ₄ , TB ₂ , 6Al-4V Ti、纯锆、Zr-2

注: 摘自王成和, 刘克章编著。旋压技术。北京: 机械工业出版社, 1986, 16 页。

3.2 不变薄旋压(普通旋压)

不变薄旋压时, 料厚基本保持不变, 主要是靠改变坯料直径而成形空心旋转体工件。有拉深旋压、缩口旋压和扩口旋压三种(见表 4.10-5)。除用于成形空心旋转体工件外, 还可完成翻边、卷边、铆接、修剪、抛光等加工。手工旋压适于中小批量及薄软坯料加工, 半自动或自动旋压则能用于大中批量及厚硬坯料加工。

在不变薄旋压中, 要注意以下问题:

(1) 变形程度。拉深旋压的变形程度是用拉深系数 m 表示, 即

$$m = d/D_0$$

锥形件 $m \geq 0.2 \sim 0.3$ (计算 m 时 d 取小端直径) 和筒形件 $m \geq 0.6 \sim 0.8$, 可一道次旋压成形, 否则要多道次旋压(图 4.10-6)。多道次旋压时, 应确定恰当的半成品形状, 使每道旋压都能充分利用材料的塑性(包括加热)。

(2) 主轴转速。旋压铝合金时的转速见表 4.10-7。其他材料按表 4.10-8 选取坯料周边切向线速度(厚料、大直径件取小值), 再由公式



$$n = \frac{v_0}{\pi D_0} \times 1000 \quad (r/min)$$

求得主轴转速 n 。

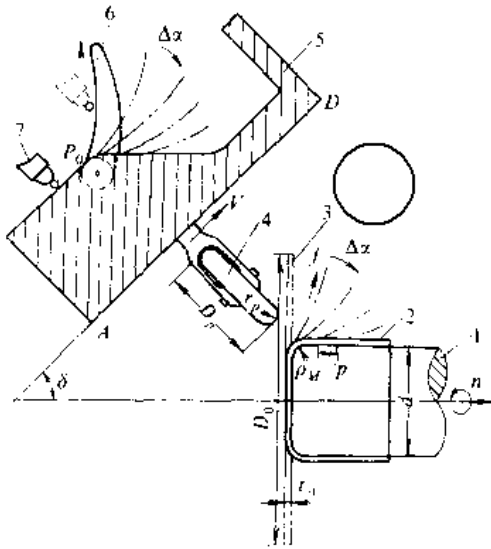


图 4-10-6 多次拉深旋压

- 1—芯模 2—工件 3—坯料 4—旋轮
5—固定模板 6—仿形板 7—仿形器

表 4-10-7 旋压机主轴转速 (铝合金)

料 厚 (mm)	坯料外径 (mm)	加工温度 (°C)	转 数 (r/min)
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
5.0~9.0	900~1800	200	50~250

表 4-10-8 旋压时坯料周边切向线速度 v_0
(m/min)

材 料	铝、青铜	紫铜	软钢	不锈钢
v_0	200~1300	150~600	200~800	600~1000

(3) 旋轮进给比。由下式计算:

$$f = \frac{v'}{n} \quad (mm/r)$$

式中 v' ——旋轮相对芯模的进给速度 (mm/min);
 n ——主轴转速 (r/min)。

进给比 f 过大时坯料易起皱, 过小时则易拉薄, 常用 $f = 0.3 \sim 3mm/r$ 。一般在不起皱的前提下尽量选用较大的旋轮进给比 f , 精旋时宜取小值。

用平板坯料旋压筒形件、锥形件和半球形件时, 旋压力的三个分力(轴向分力 F_z 、径向分力 F_r 和切向分力 F_θ) 可按下列经验式计算:

$$F_z = c\sigma_{pl}h_0^\beta k_\rho k_f \quad (N)$$

$$F_r = (0.85 \sim 0.9) F_z \quad (N)$$

$$F_\theta = \begin{cases} (0.25 \sim 0.3) F_z \quad (N) & \text{非铁金属} \\ (0.16 \sim 0.2) F_z \quad (N) & \text{低碳钢} \end{cases}$$

式中 c ——比例系数;

h_0 ——预制坯凸缘高度 (mm);

β ——指数, 表征 h_0 对旋压力的影响;

k_ρ ——与旋轮圆角半径有关的系数;

k_f ——考虑进给比 f 影响的系数, 由式 $k_f = f k_1 + b$ 确定, 其中 k_1 为角系数, b 为常数。

c 、 β 、 k_1 、 b 和 k_ρ 之数值分别见表 4-10-9 和表 4-10-10 (试验条件: 材料为低碳钢和铝合金, 料厚 $t_0 = 1.5 \sim 4mm$, 进给比 $f = 0.2 \sim 2.5mm/r$, 旋轮圆角半径 $r_\rho = 3 \sim 18mm$, 拉深系数 $m = 0.65 \sim 0.9$)。

表 4-10-9 系数 c 、 β 、 k_1 、 b

材 料	c	β	k_1	b
深拉深钢板	0.00154	0.740	0.41	240
铝合金板	0.0065	0.791	0.14	55

表 4-10-10 系数 k_ρ

材 料	旋轮圆角半径 r_ρ (mm)					
	3	6	9	12	15	18
深拉深钢板	1.75	1.28	1	1.12	1.20	1.22
铝合金板	1.85	1.25	1	1.10	1.27	1.27

3.3 变薄旋压 (强力旋压)

变薄旋压时, 在较高的接触压力下坯料壁厚逐点地有规律地减薄而外径无显著变化。有锥形件变薄旋压 (剪切旋压) 和筒形件变薄旋压 (挤出旋压) 两种, 又分正旋和反旋两种方式 (见表 4-10-5)。前者用于加工锥形、抛物面形等异形件, 后者用于加工筒形件和管件。

3.3.1 锥形件变薄旋压

坯料厚度变化满足正弦律, 即

$$z = t_0 \sin \alpha$$

式中 t_0 、 t ——变形前后的料厚 (mm);

α ——锥形件的半锥角 (见表 4-10-5)。

1. 变形程度 用变薄率 ψ 表示

摘自王成和, 刘克璋编著, 旋压技术, 北京: 机械工业出版社, 1986. 695~697。



$$\psi_r = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100\%$$

或 $\psi_r = 1 - \sin \alpha$

一次旋压获得工件的最小半锥角 $\alpha_{\min} = 15^\circ \sim 20^\circ$ ，否则必须进行两道以上的旋压。极限变薄率 ψ_r 与材料拉伸试验的断面收缩 ψ 的近似关系为

$$\psi_r = \frac{\psi}{0.17 + \psi}$$

表 4·10-11 为无中间退火的各种金属的极限变薄率。

表 4·10-11 旋压极限变薄率 $\psi_{r\max}$ (%)

材 料	锥形件	半球形件
不锈钢	60~75	45~50
高合金钢	65~75	50
铝合金	50~75	35~50
钛合金①	30~55	—

① 加热旋压。

2. 转速和进给比 转速一般取 200~600r/min。

适当增加转速,有利于降低变形力和提高成形质量。对较硬的材料取较小的值。

进给比一般介于 0.2~0.75mm/r 的范围内。用低速进给,可提高零件表面质量,但贴模性不及高速进给的好。

3. 变形力 用近似式计算

$$F_g = f f_0 c \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \cot \alpha \right)^{n-1} \sin \alpha \quad (\text{N})$$

$$F_e = (6 \sim 11) F_g \quad (\text{N})$$

$$F_r = (10 \sim 16) F_g \quad (\text{N})$$

式中 c, n — 材料常数,参见本篇第 2 章 1·2 节。将上述计算结果乘以 1.2 的修正系数,在实用上已相当可靠。

3·3·2 筒形件变薄旋压

按照旋压时金属流动方向,分为正旋和反旋。正旋常用于筒形件,优点是:旋压力小,工件贴模性好,产生扩径和金属堆积较小。反旋常用于管形件,优点是:工件长度不受芯模长度和旋轮纵向行程的限制,固定坯料的夹具较简单。正旋的优点正好可弥补反旋的不足,而反旋的优点又正好可弥补正旋的不足。不过,在相同条件下,正旋的极限变薄率较反旋的高,因而正旋时旋轮接触角和进给比的选择范围比较大。

1. 变形程度 筒形件变薄旋压的道次变薄率 $\psi_r \approx 15\% \sim 35\%$ 。反旋、软料时取小值。表 4·10-12 为无

中间退火的各种金属的极限变薄率。

表 4·10-12 筒形件极限变薄率 $\psi_{r\max}$ (%)

材 料	不锈钢	高合金钢	铝合金	钛合金①
$\psi_{r\max}$	65~75	75~82	70~75	30~35

① 加热旋压。

2. 转速和进给比 转速参见本章 3·3·1 节选取。

进给比:正旋时 $f = 0.25 \sim 1.0 \text{mm/r}$,反旋时 $f = 0.1 \sim 0.5 \text{mm/r}$,厚料取较大值。

3. 旋压力 近似计算为

$$F_g = K_{gt} f \bar{\sigma} \quad (\text{N})$$

$$F_e = K_{gt} \bar{\sigma} \sqrt{D_p f \cot \alpha} \quad (\text{N})$$

$$F_r = K_{rt} \bar{\sigma} \sqrt{D_p f \tan \alpha} \quad (\text{N})$$

$$K_B = \begin{cases} (1 - \psi_r) \ln \frac{1}{1 - \psi_r} \\ \ln \frac{1}{1 - \psi_r} \end{cases}$$

式中 K_B 系数;
 $\bar{\sigma}$ 平均应力 (MPa);
 D_p — 旋轮直径 (mm);
 α — 旋轮的工作角 (见表 4·10-5)。

3·4 旋压加工实例

航空和宇航工业是旋压产品的主要用户。例如,发动机整流罩、燃烧室、机匣壳体、涡轮轴、导弹和卫星的鼻锥和封头、助推器壳体、喷管等,都是旋压成形的。图 4·10-7 是卫星鼻锥,用不锈钢经两道次变薄旋压和一道次不变薄旋压而成。

旋压成形技术在机电工业中的应用正在日益扩大,主要应用于制造汽车和拖拉机的车轮、制动器缸体、减震管,各种机械设备的皮带轮、耐热合金管、复印机卷筒、雷达屏和聚光镜罩等。图 4·10-8 是汽车轮辐,其厚度向外周渐薄,原用普通冲压成形,工序较多,改用旋压工艺后,用圆板坯直接旋压成形。

大型封头零件的传统工艺为拉深,也有采用爆炸成形的。但作为主要加工手段,现已转为旋压工艺。图 4·10-9 是容器和锅炉常用的平底封头和碟形封头的旋

① 摘自胡世光,陈鹤峰编著。板料冷压成形原理。北京:国防工业出版社,1989。127 页。

② 摘自胡世光,陈鹤峰编著。板料冷压成形原理。北京:国防工业出版社,1989。125~126 页。

这是公司制作请尊重版权



压成形，借助旋压机上可作纵向和横向调节的辅助旋轮，可旋压不同直径的封头。图4·10-10是平边拱形封头的两种旋压方法，料薄容易颤动和皱折时，最好采用内旋压法。半球形封头可一次装卡或两次装卡旋压而成（图4·10-11），前者用于硬化不大的材料（如铝板和钢板）。

封头旋压工艺水平正在不断提高，一步法和两步法封头旋压设备已在我国研制成功。

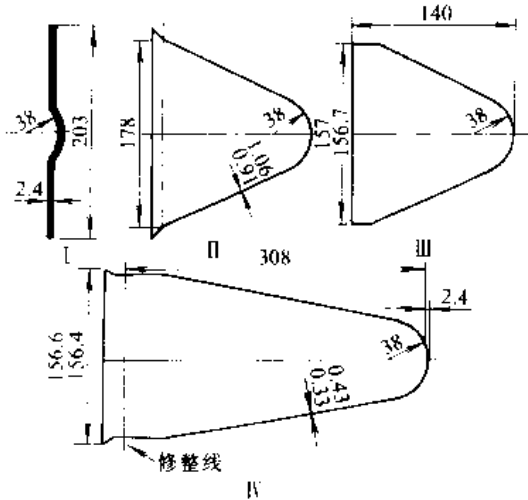


图4·10-7 卫星“探险者”1号鼻锥

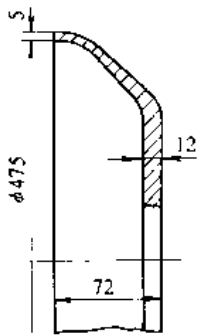


图4·10-8 汽车轮辐

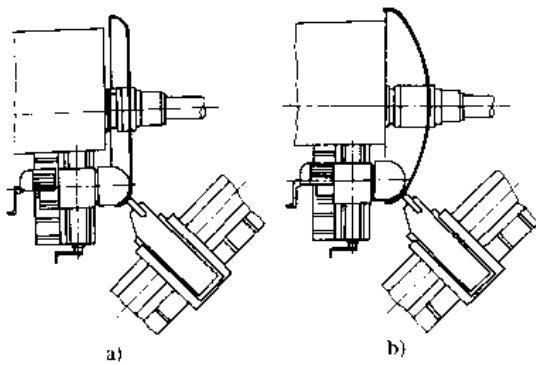


图4·10-9 平底封头和碟形封头旋压
a) 平底封头 b) 碟形封头

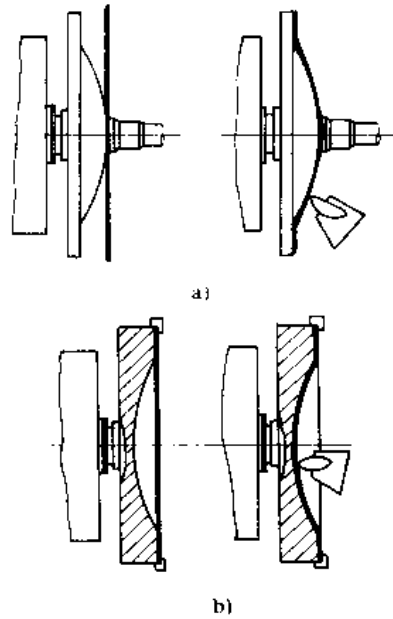


图4·10-10 平边拱形封头旋压
a) 外旋压法 b) 内旋压法

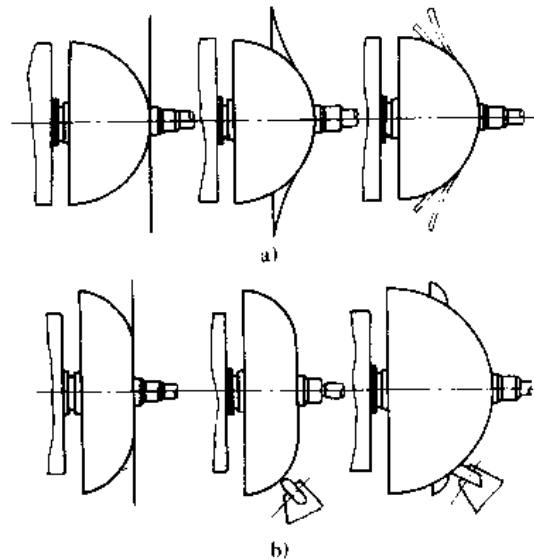


图4·10-11 半球形封头旋压
a) 一次装卡旋压法 b) 两次装卡旋压法

为减少加工工序和设备，节省模具费用，提高产品质量和生产率，在一台设备或生产线上将旋压与其他工艺联合应用，可取得较好效果。例如，用旋压—冲压联合工艺制造大型封头，用旋压—挤压联合工艺将棒料制成薄壁圆锥形件，用旋压—拉拔联合工艺将厚壁大直径管坯制成薄壁小直径管材，用旋压—气胀联合工艺制造球形气瓶，等等。

4 高速成形

高速成形(又叫高能成形)是利用炸药或电装置在



极短的时间（低于数十微秒）内释放出的化学能或电能，通过介质（空气或水等）以高压冲击波作用于坯料，使其在很高的速度下变形和贴模的一种加工方法。它包括爆炸成形、电水成形和电磁成形（表 4-10-15）。

高速成形是用传压介质——空气或水代替刚体凸

模（或凹模），适于加工某些形状复杂、难以用成对刚模制造的工件。用高速成形可进行拉深、胀形、翻边、起伏、弯曲、扩口、缩口、冲孔等冲压加工。在高速变形条件下，冲压件的精度很高，而且使某些难加工的金属也能变得容易成形。

表 4-10-13 高速成形方法比较

加工方法	能源形式	所用设备	成形方法的多样性与灵活性	成形工件的形状复杂程度	成形工件尺寸	生产效率	组织生产线的难易	适用生产规模	
爆炸成形	井下	炸药	简单	较大	较复杂	尺寸较大，但受井限制	低	困难	小批量
	地面	炸药	非常简单	大	复杂	不受限制	很低	困难	小批量、单件
电水成形	高压电源	复杂	小	一般	尺寸不大，受设备功率限制	较高	容易	较大批量	
电磁成形	高压电源	复杂	小	一般	尺寸不大，受设备功率限制	高	最容易	较大批量	

4.1 爆炸成形

爆炸成形装置简单，操作容易，可能加工工件的尺寸一般不受设备能力限制，在试制或小批量生产大型工件时经济效益尤其显著。

爆炸拉深与爆炸胀形分别示于图 4-10-12 和图 4-10-13。在地面上成形时，可以采用一次性的简易水筒（见图 4-10-12）或可反复使用的金属水筒（见图 4-10-13）。为保证工件的质量，除用无底模成形外，都必须考虑排气问题。

爆炸成形的工艺参数：

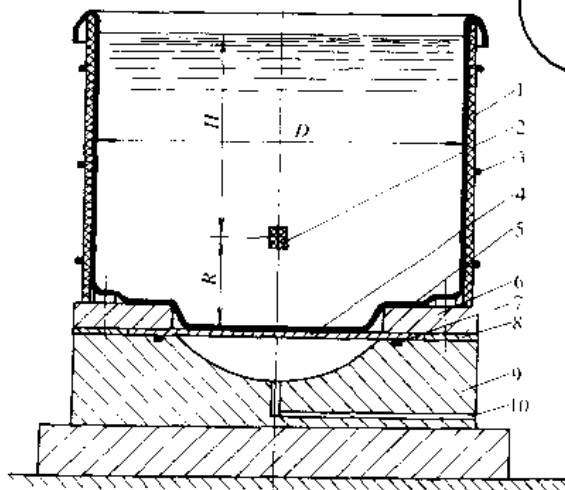


图 4-10-12 爆炸拉深

- 1—纤维板 2—炸药 3—绳索 4—坯料
- 5—密封胶 6—压边圈 7—密封胶
- 8—定位圈 9—凹模 10—抽真空孔

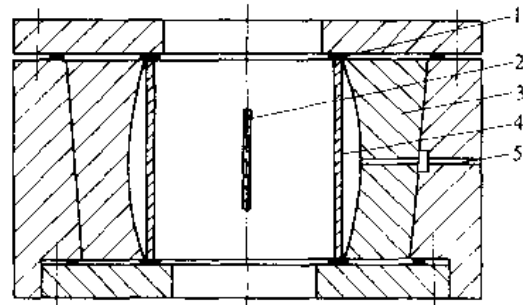


图 4-10-13 爆炸胀形

- 1—密封圈 2—炸药 3—凹模
- 4—坯料 5—抽真空孔

1. 炸药与药包形状 常用的炸药有梯恩梯 (TNT)、黑索金 (RDX)、泰安 (PETN)、特屈儿等。药包可以是压装、铸装和粉装的。药包形状选择见表 4-10-14。

表 4-10-14 药包形状选择

零件特点	药包形状
1. 球形、抛物面形零件拉深	球形、短圆柱形、锥形
2. 大型封头零件拉深	环形
3. 筒形或管子类零件胀形与整形	长圆柱形（长度与零件长度相适应）
4. 大中型平面零件的成形与整形	平板形、网格形、环形

2. 药位与水头 药位是指药包中心至坯料表面的距离（图 4-10-12 中的 R ）。它对工件成形质量影响极大，药位过低导致坯料中心部位变形大、变薄严重；过高的药位，必须靠增加药量弥补成形力能的不足。生产中常用相对药位 R/D (D —凹模口直径) 的概念。

短圆柱形、球形、锥形药包： $R/D=0.2\sim 0.5$



环形药包： $R/D=0.2\sim 0.3$

药包中心至水面的距离称为水头（图4·10-12中的H），一般取 $H = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}\right) D$ 。

常用爆炸成形模具材料见表4·10-15。

表 4·10-15 爆炸成形模具材料的选用

模具材料	特点	适用范围
锻造合金钢	抗冲击性能好，尺寸稳定，成形工件精度高，表面质量好，寿命长，但加工困难，制造周期长，成本高	适用于形状非常复杂、尺寸精度要求高、厚度大、强度高而尺寸不大的工件的成形与胀形。批量较大
铸钢	基本同前项，但冲击能力稍差，成本稍低于锻钢	适用于形状复杂、尺寸精度要求较高、厚度较大的黑色金属或高强度的非金属材料工件的成形与胀形。批量较大
球墨铸铁	成本低、易于制造、能保证一定的成形尺寸公差，但抗冲击能力差	适用于一定批量的黑色金属与非金属的成形模
铝合金	可反复熔铸、加工方便，制造周期短、成本低，但强度低，受冲击后尺寸容易变化，成形精度不高，而且寿命较低	中小型工件、小装药量、精度要求不严格的成形模。单件试制与小批量生产
水泥本体用玻璃钢或环氧树脂衬里	成本低，容易制造，不要求模具加工设备，但抗冲击能力差，寿命很低	适用于大型、厚度小的工件成形。单件试制与小批量生产

4.2 电水成形和电爆成形

电水成形原理如图4·10-14所示。由升压变压器和整流器得到的高压直流电向电容器充电，当充电电压达到一定数值时，辅助间隙击穿，高压加在由两个电极板形成的主间隙上，将其击穿并放电，形成的强大冲击电流（达 $3 \times 10^4 A$ 以上）在介质（水）中引起冲击波及液流冲击，使金属坯料成形。与爆炸成形一样，可进行拉深（图4·10-14）、胀形（图4·10-15）、校形、冲孔等。电水成形的加工能力

$$W = \frac{1}{2} C u^2 \quad (J)$$

式中 C——电容器的容量 (F)；

u——充电电压 (V)。

假如把两个电极用细金属丝联结起来，放电时产生的强大电流将使金属丝迅速熔化和蒸发成高压气体，并在介质中形成冲击波使金属成形，这就是电爆成

形的原理。

常用放电电极形式有对向式（见图4·10-14和图4·10-15）和同轴式（见图4·10-16）。

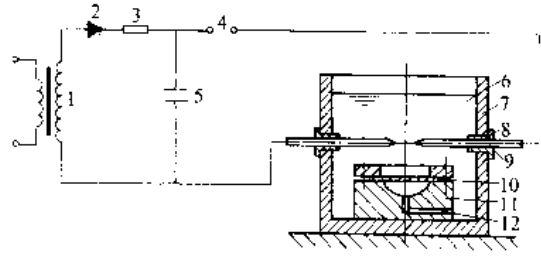


图 4·10-14 电水成形原理

- 1—升压变压器 2—整流元件 3—充电电阻
4—辅助间隙 5—电容器 6—水 7—水箱
8—绝缘 9—电极 10—坯料 11—凹模
12—抽气孔

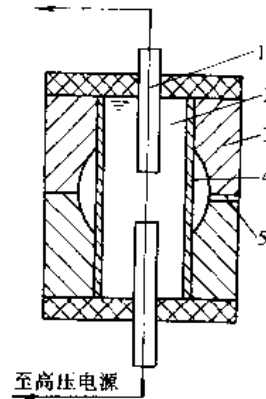


图 4·10-15 电水胀形

- 1—电极 2—水 3—凹模 4—坯料 5—抽气孔

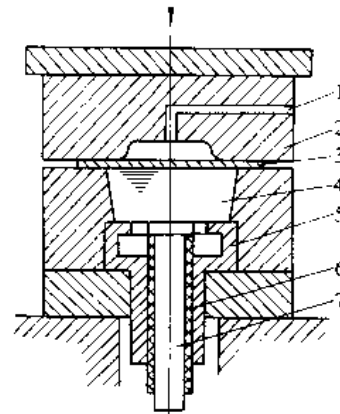


图 4·10-16 用同轴电极的闭式电水成形装置

- 1—抽气孔 2—凹模 3—坯料 4—水
5—外电极 6—绝缘 7—内电极

4.3 电磁成形

工作原理如图4·10-17所示。与电水成形一样，电



磁成形也是利用储存在电容器中的电能进行高速成形的一种加工方法。当开关闭合时,将在线圈中形成高速增长和衰减的脉冲电流,并在周围形成一个强大的变化磁场,处于磁场中的坯料内部会产生感应电流,与磁场相互作用的结果是使坯料高速贴模成形。

电磁成形工艺对管子和管接头的连接装配特别适用,目前在生产中得到推广应用。

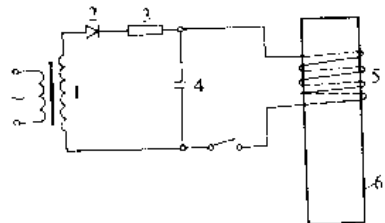


图 4-10-17 电磁成形原理

- 1—升压变压器 2—整流元件 3—限流电阻
- 4—电容器 5—线圈 6—坯料

应用电磁成形工艺需注意的问题:

(1) 线圈。线圈是电磁成形中最关键的元件,它直接与坯料作用,其参数及结构直接影响成形效果。线圈的结构应根据工件的形状和变形特点设计。常见的结构形式有:平板式线圈、多叠式线圈、带式线圈和螺管线圈。前两种适用于板坯,后两种适用于管坯。在进行工艺试验或单件生产时,可采用一次性简易线圈,即成

形时即烧毁。永久性线圈则应用玻璃纤维或环氧树脂绝缘及固定。

(2) 集磁器。若要求强而集中的磁场,应采用集磁器。它可以改善磁场分布以满足成形工件的要求,并且分担部分线圈所受的机械负荷。集磁器一般采用高导电率、高强度材料(如铍青铜等)制成,放在线圈内部。根据不同工件的要求,集磁器可以设计成各种形状。图 4-10-18 是一局部缩颈用集磁器的实例。

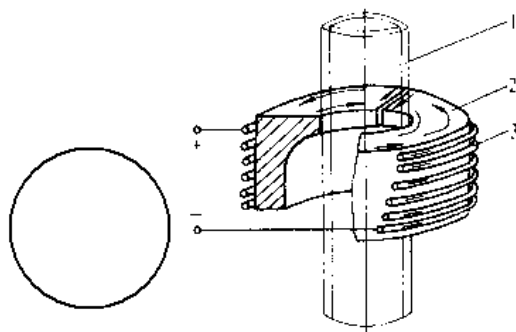


图 4-10-18 集磁器

- 1—管坯 2—集磁器 3—螺形线圈

(3) 工件材料电导率。电磁成形加工的材料应具有良好的电导率。若坯料的电导率小,应于坯料与线圈之间放置高电导率的材料作驱动片。

第 11 章 厚板成形与管板胀接

1 厚板成形


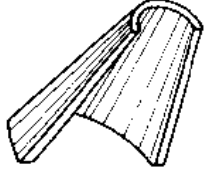
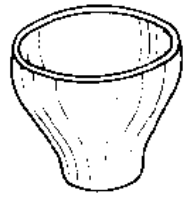
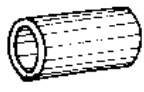
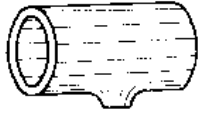
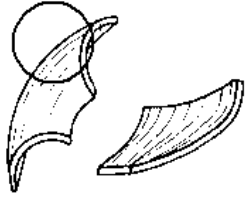

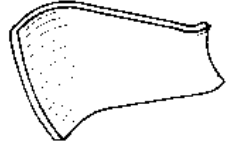
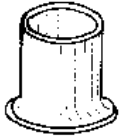



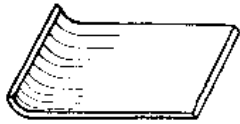

厚板成形典型工件见表 4-11-1。

表 4-11-1 厚板成形典型工件

名称	简图	名称	简图
平底封头		椭圆封头	
碟形封头		球形封头	



(续)

名称	简图	名称	简图
翻孔封头		圆锥体	
翻边锥体		大口径单缝管	
翻孔筒体		封头瓣	
缩口筒体		翻边锥体瓣	
翻边筒体		双曲面板	
瓦片		弯管瓣	
筒体预弯		球带	



1.1 整体封头成形^①

1.1.1 成形工艺

整体封头一般采用拉深方法成形。按封头壁厚特点可分为：

- (1) 薄壁封头 ($D_0 - D_1 > 45t$)
- (2) 中厚壁封头 ($6t \leq D_0 - D_1 \leq 45t$)
- (3) 厚壁封头 ($D_0 - D_1 < 6t$)
- (4) 多层封头

1. 薄壁封头成形方法 常用方法见表 4·11-2。

2. 中壁厚封头成形方法 一般一次拉深成形。

表 4·11-2 薄壁封头成形方法

成形方法	简 图	特 点	适 用 范 围
多次拉深法	<p>I 第一次预成形 II 最后成形</p>	<p>第一次：用比上模直径小 200mm 左右的下模压成碟子形状，可 2~3 块坯料叠压</p> <p>第二次：用配套的下模压成所需要的封头</p> <p>必要时可分 3~4 次拉延</p>	<p>$D_1 \geq 2000\text{mm}$</p> <p>$45t < D_0 - D_1 < 160t$</p>
用锥面压边圈拉深法		<p>将压边圈及下模工作面做成圆锥面，可改善拉延变形情况</p> <p>一般 $\alpha = 20^\circ \sim 30^\circ$</p>	<p>$45t < D_0 - D_1 < 60t$</p>
用槛形拉深筋拉深法		<p>用槛形拉深筋来增大毛坯法兰边的变形阻力和摩擦力，以增加径向拉应力，提高压边效果</p>	<p>$45t < D_0 - D_1 < 160t$</p> <p>(可冷压)</p>
反拉深法		<p>坯料在变形过程中，应力与正拉延基本相同</p> <p>优点：可减少工序数目，提高工件质量</p>	<p>$60t < D_0 - D_1 < 120t$</p>
夹板拉深法		<p>将坯料夹在两块厚钢板中间，或将坯料贴附在一块厚钢板之上，周边焊成一体，然后加热压制</p>	<p>$t < 4$ 的贵金属或不宜直接与火焰接触的材料</p>
加大坯料拉深法		<p>常与多次拉延法一起使用，最后将凸缘及直边折皱部分割去，最后一次拉延通常采用冷压，坯料应比计算值大 10%~15% 左右，但 $\leq 300\text{mm}$</p>	<p>$60t < D_0 - D_1 < 160t$</p>



3. 厚壁封头成形方法 厚壁封头尤其是直边高度大于100mm的球形封头拉深过程中边缘增厚急剧, 增厚率可达10%以上; 封头顶部附近壁厚减薄严重, 可达20%~35%。

坯料的厚度选择应按封头最小允许壁厚 t_{min} 增厚20%~30%的原则计算并圆整为标准值。同时加大模具间隙或将毛坯边缘按图4-11-1削薄后压制, 此时模具间隙按封头名义厚度选取。

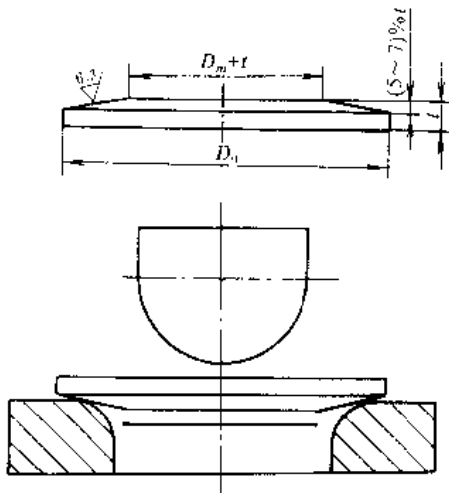


图 4-11-1 厚壁封头坯料削薄尺寸

削边的坯料压制时放置方向不同, 对成形有不同的影响, 见图4-11-2。图a剖面在内壁成形较好, 图b剖面在外壁有利于封头顶部成形。

4. 多层封头成形方法 由于设计上的需要或缺少厚板的情况下, 可采用多层封头成形法。压制前应清

理坯料的氧化皮, 并在加热前涂以高温保护剂(图4-11-3)。

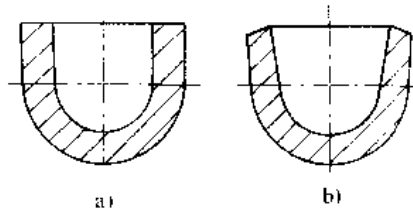


图 4-11-2 削边坯料压制封头
a) 剖面在内壁 b) 剖面在外壁

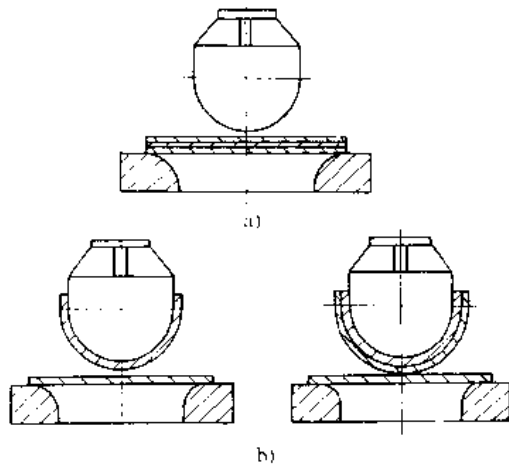


图 4-11-3 多层封头成形
a) 重叠压制 b) 多层压制

1.1.2 封头拉深工艺设计要点

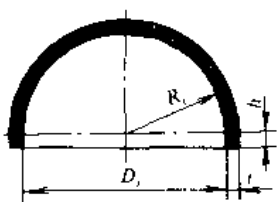
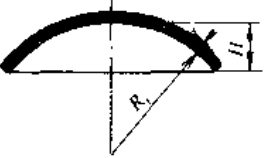
1. 坯料尺寸计算 (表 4-11-3)

表 4-11-3 坯料计算 (mm)

封头形状	图 形	坯料计算公式	备 注
平底形		$D_0 = D_1 + r + 1.5t + 2h$	r —封头内圆角半径 h —封头直边高度 R —封头内半径 H —球缺高度 C —常数, $C \geq 4r$ 且 $C \geq 100$
碟形椭圆形		$D_0 = K \textcircled{1} (D_1 + t) + 2h$	



(续)

封头形状	图 形	坯料计算公式	备 注
球 形		$D_0 = 1.42 (D_i + t) + 2h$	r—封头内圆角半径 h—封头直边高度 R—封头内半径 H—球缺高度 C—常数, $C \geq 4t$ 且 $C \geq 100$
球缺形		$D_0 = \sqrt{8 (R_i \cdot 0.5t) (H + 0.5t) + C}$	

注: D_0 已含工艺余量, h 值不必另加。

① K 值如下:

a/b	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0
K	1.42	1.38	1.34	1.31	1.29	1.27	1.25	1.23	1.22	1.21	1.19	1.18	1.17	1.16	1.16	1.15	1.14	1.13	1.13	1.12	1.12

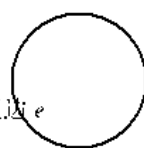
2. 拉深力、压边界限及压边力

K —封头形状影响系数, 碟形、椭圆形 $K=1.1$

a. 拉深力 封头拉深力计算如下:

$$F_1 \approx eK\pi (D_0 - D_m) t \sigma_b \quad (\text{N})$$

式中 e —压边力影响系数, 无压边 $e=1$, 有压边 $e=1.2$;



~ 1.2 , 球形 $K=1.4 \sim 1.5$;
 σ_b —材料高温抗拉强度 (MPa), 见表 4·11-4 及表 4·11-5。表 4·11-5 中数据在变形速率 $\dot{\epsilon}=0.03/\text{s}$ 时测得。

表 4·11-4 钢材的 σ_b 参考值 (MPa)

t (C)	20	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100
Q235-A	372.6	166.7	127.5	98.1	73.5	63.7	73.5	63.7	53.9	44.1	39.2	31.4
10、15	372.6	205.9		107.9	73.5	73.5		68.6		49.0		34.3
20、25	411.8			147.1	98.1			83.3		58.8		
30		235.3		137.3	117.7	93.2		74.5		55.9		34.3
20g	402.0~421.7	215.6		119.6		81.4		71.6	58.8	49.0		37.3
22g	402.0~421.7		106.1	147.0	117.7	98.1	96.1	84.3		58.8		43.1
18MnMoNb	588.4~657.0					94.1		75.5	56.9	46.1		
14MnMoV 20MnMoV								78.4	63.7			
1Cr18Ni9Ti	539.3			313.8		147.0		83.4		49.0		19.6



表 4-11-5 变形速率 $\dot{\epsilon}=0.03/s$ 时钢材的 σ_s 值 (MPa)

钢 材	ϵ (%)	t (C)								
		650	700	750	800	850	900	950	1000	1050
BHW35	5		149.9	135.2	122.5	106.5	95.6	81.6	73.8	62.4
	10		178.4	152.9	137.2	133.3	119.5	98.9	85.3	74.5
	20		203.8	171.5	153.9	152.9	141.1	113.7	100.0	88.3
SA299	5	265.8	147.0	149.9	135.2	115.2	101.9	81.5	72.5	57.3
	10	223.4	174.4	170.0	157.8	125.8	107.8	87.2	76.4	62.7
	20	250.0	193.0	181.3	171.5	131.3	114.7	92.5	80.9	65.7
16MnK	5		139.2	108.8	88.2	85.2	79.4	72.5	58.8	45.1
	10		162.7	132.8	109.8	106.8	97.6	78.4	68.6	54.9
	20		178.4	152.2	131.3	123.5	105.6	92.1	75.2	59.8
20g	5	154.8	103.9	79.4	69.6	102.9	79.4	69.6	58.8	39.2
	10	164.6	117.6	91.1	78.4	113.7	95.1	76.5	68.6	39.3
	20	176.4	131.3	101.9	90.2	126.4	98.5	80.7	74.1	37.3
19Mn6	5		170.1	150.4	115.4	102.6	82.8	73.5	56.8	50.0
	10		185.1	162.7	132.3	110.7	92.1	84.3	67.6	56.6
	20		188.1	163.1	150.9	123.8	100.3	89.3	68.6	64.5

注: 摘自陈家伦等。锅炉及压力容器常用钢热成形变形抗力的研究。动力工程, 1992.10.15 (5): 46~56。

b. 压边界限 (表 4-11-6)

表 4-11-6 压边界限

封头类别	需 压 边
平底封头	$D_0 - D_i \geq (21 \sim 22) t$
碟形及椭圆形封头	$D_0 - D_i \geq (18 \sim 20) t$ 或 $t/D_0 \times 100 \leq 1.0 \sim 1.2$
球形封头	$D_0 - D_i \geq (14 \sim 15) t$ 或 $t/D_0 \times 100 \leq 2.2 \sim 2.4$

c. 压边力

$$F_s = Ap \approx \frac{\pi}{4} (D_0^2 - (D_d + 2r_d)^2) p \quad (N)$$

式中 A —压边面积 (mm^2);

D_d —凹模内径 (mm);

r_d —凹模圆角半径 (mm);

D_0 —坯料直径 (mm);

p —单位压边力 (MPa), 对于钢 $p = (0.011 \sim 0.0165) \sigma_s$; 热压取小值, 冷压取大值。

3. 模具设计要点

a. 工件的热压收缩与冷压回弹 热压模具的尺寸应考虑工件的收缩量, 冷压模具应考虑工件的回弹量。

$$\text{收缩量} = \text{工件尺寸} \times \delta \quad (mm)$$

$$\delta = \alpha \Delta t \times 100\%$$

式中 α —材料的线膨胀系数, 与材料及脱模温度有关;

Δt —脱模温度与室温之差值 (C);

δ —收缩率。生产中, 碳钢可取 (0.75~1.1)%, 不锈钢按碳钢增加 (30~40)%, 需调质处理的封头应另减 (0.05~0.10)%。封头余量采用气割方法去除时应增加气割收缩量 (0.04~0.06)%。

冷压回弹率见表 4-11-7。

表 4-11-7 冷压回弹率 δ

材料	碳钢	不锈钢	铝	铜
δ (%)	0.24~0.40	0.40~0.70	0.10~0.15	0.5~0.20

b. 模具直径间隙

$$c = D_d - D_p$$

式中 D_d —凹模直径 (mm);

D_p —凸模直径 (mm)。

热压: $z = (0.1 \sim 0.2) t + 2t$ (mm)

冷压: $z = (0.2 \sim 0.3) t + 2t$ (mm)

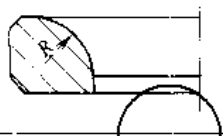
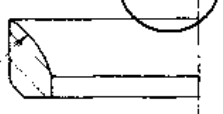
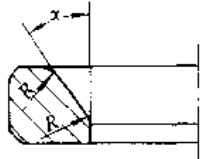
间隙选择原则:



- (1) 薄壁封头取小值，厚壁封头取大值；
- (2) 球形封头或直边较高的椭圆封头取大值；
- (3) 设备能力偏小时取大值并可适当增大间隙范围。

c. 凹模圆角半径及工作部分形状 采用压边装置时，凹模圆角半径 $r_d = (3 \sim 4)t$ (mm)，不采用压边装置时， $r_d = (3 \sim 6)t$ (mm)。凹模工作部分形状见表 4-11-8。

表 4-11-8 凹模工作部分形状

简图	特点
	完整 R 的圆角，一般常用。尤其是大直径厚壁封头
	不完整 R 的圆角，适合于小直径厚壁球形封头
	锥口下模。圆角半径一般较小，对压制薄壁封头有利。 $\alpha = 30^\circ \sim 40^\circ$

封头在离开底部约 $20^\circ \sim 35^\circ$ 附近，减薄量可达 20% ~ 35%。

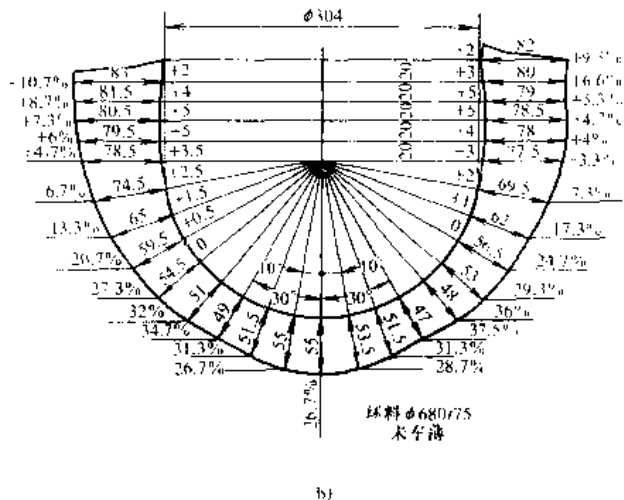
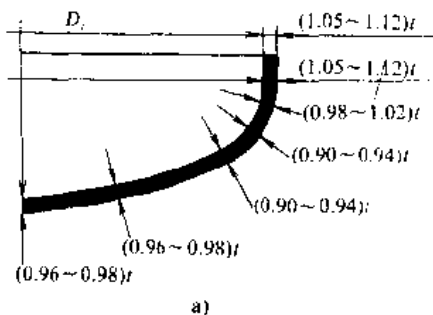


图 4-11-4 碳钢封头壁厚变化规律

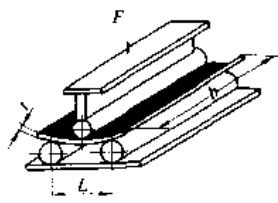
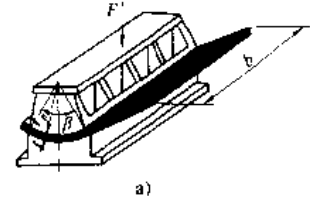
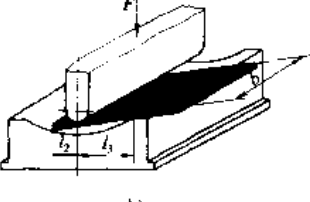
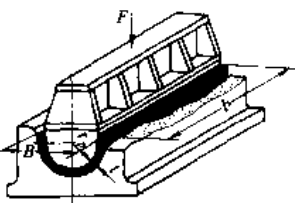
4. 封头壁厚变化规律 由于材料在变形过程中各部分的应力应变状态不同，成形后封头各部位的壁厚也不同。碳钢封头壁厚变化规律见图 4-11-4。

一般椭圆形封头在接近大曲率部位变薄最大，碳钢封头可达 8% ~ 10%，铝封头可达 12% ~ 15%。球形

1.2 瓦片成形

瓦片成形方法见表 4-11-9。

表 4-11-9 瓦片成形方法

压制方法	自由弯曲法	扇形模压法	整体成形法
简图		 	



1. 自由弯曲法 模具通用性强,应用广泛;下模调整角度后可压锥体,但操作复杂,回弹不易掌握,适用于要求不高的筒体、锥体冷压。

$$F = \frac{bt^2}{L} \sigma_s \quad (\text{N})$$

式中 b ——板宽 (mm);

L ——下模间距 (mm)。

2. 扇形模压法 扇形模压法又分两种压制方法:

(1) 下模圆弧半径 $R_d = r_p + t$ (r_p 为上模圆弧半径), 成形较精确, 操作较简单, 但需压制数次方可成形, 适用于筒体预弯, 大多用冷压。

$$F = 2.31br_p \ln \left[1 + \frac{t}{r_p} \right] \sigma_s \sin \frac{\beta}{2} \quad (\text{N})$$

式中 β ——上模角度 ($^\circ$)。

(2) 下模圆弧半径 $R_d > r_p + t$, 控制上模压下量可压制规格相近的几种尺寸, 需多次成形。适用于厚板热

压、筒体预弯边。

$$F = K \cdot \frac{bt^2(l_2 + l_3)}{4l_2l_3} \sigma_s \quad (\text{N})$$

式中 K ——系数, $K=1.15 \sim 1.2$, 环境温度低、钢板加热不均匀时取大值;

l_2, l_3 ——力臂 (mm)。

3. 整体成形法 一次热压成形。只能压制一种尺寸, 适用于成批大量生产相对厚度较大的工件。

$$F = 2.31br_p \ln \left(1 + \frac{t}{r_p} \right) \sigma_s \quad (\text{N})$$

1.3 大口径厚壁管成形技术

采用厚钢板压制筒形工件, 将接缝焊接可制成大口径厚壁管。在压力机上热压筒形件的工艺过程见图 4-11-5。

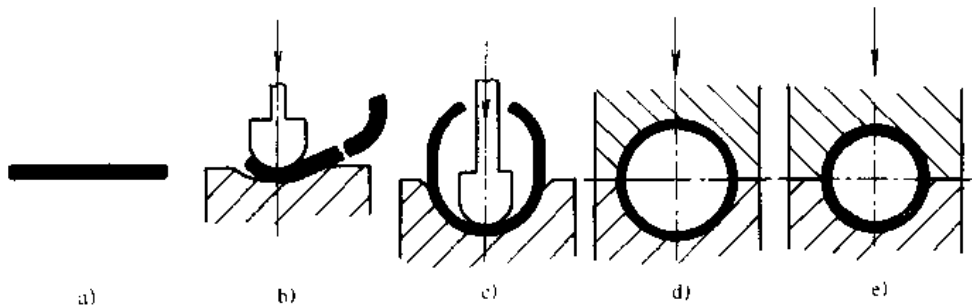


图 4-11-5 大口径厚壁管压制过程

a) 坯料 b) 预弯边 c) 压U型 d) 压O型并割余量 e) 压圆形

1.4 瓜瓣、翻孔、球带成形特点 (表 4-11-10)

表 4-11-10 瓜瓣、翻孔件、球带成形特点

工件名称	简图	成形要点	成形力的估算	备注
瓜瓣		1. 热压后需要冷矫形 2. 单曲率瓜瓣可采用逐段冷压	$F = KA_p \quad (\text{N})$	K —修正系数 热压 $K=0.05 \sim 0.10$ 冷压 $K=0.25 \sim 0.35$ A —工件承压面积 (mm^2) p ①—单位冷矫正力 (MPa)



(续)

工件名称	简图	成形要点	成形力的估算	备注
翻孔件		1. 热翻孔系数 $K_f = \frac{d_0}{D}$ $\frac{d_0}{t} > 50, K_f \geq 0.6 \sim 0.9$ $\frac{d_0}{t} = 20 \sim 50, K_f \geq 0.5 \sim 0.6$ $\frac{d_0}{t} = 10 \sim 20, K_f \geq 0.4 \sim 0.5$ $\frac{d_0}{t} < 10, K_f \geq 0.25 \sim 0.4$ 2. 翻孔前开孔 d_0 周边应打磨光滑	圆形孔 $F = 1.1\pi (D - d_c) t \phi (N)$ 椭圆孔 $F = 1.5 (c_2 - c_1) t \phi (N)$	c_2 —工件椭圆孔 周边长度 (mm) c_1 —坯料椭圆孔 周边长度 (mm)
球带		坯料为圆锥体 $L = \sqrt{A^2 + 2h_1^2}$ $h_1 = (2 \sim 3) t$ $D = D_1 + (70 \sim 90) \text{ (mm)}$ $d = d_1 + (49 \sim 50) \text{ (mm)}$		适用于成批生产

① ϕ 值如下:

	软 铝	软黄铜	低碳钢
$t = 3 \sim 6$	30~40	40~60	60~100
$t = 6 \sim 10$	40~60	60~80	80~120
$t > 12$	60~80	80~100	120~140

1.5 热成形温度

常用材料的热成形温度可参照表 4·11-11。

表 4·11-11 常用材料热成形温度范围

(C)

材 料 牌 号	加热温度	始压温度	终压温度
Q235A		950~1050	800
20, 20g, 20R		950~1000	800
15MnVg, 15MnVR	950~1000		800
15MnVNR	930~1000		800
14MnMoVg	960~1000		850
16Mn, 16Mng, 16MnR	1000~1100		750~850
18MnMoNbg 13MnMoNbR	1050~1100		850



(续)

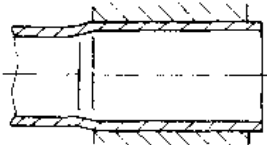
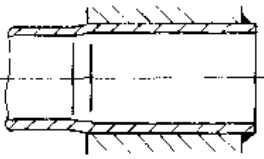
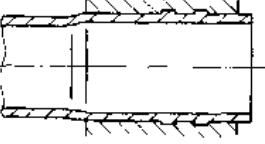
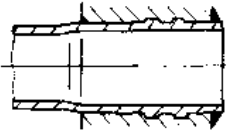
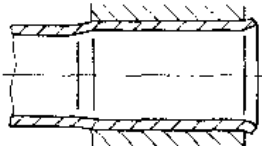
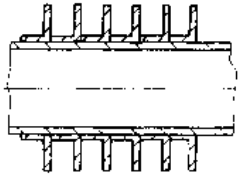
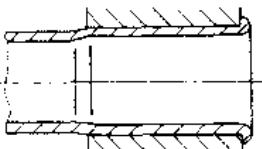
材 料 牌 号	加热温度	始压温度	终压温度
14MnMoNbB	1000~1100		750
12CrMo, 15CrMo		900~1000	800
0Cr13, 1Cr13	1000~1100		850
1Cr18Ni9Ti, 12Cr1MoV	950~1100		850
SA299		900~1000	800
19Mn6	940~980		800
BHW35		950~1000	850
H62, H68	500~700		300
L2, LF2, LF21		350~400	300
Ti	420~560		350
Ti合金	650~840		500

2 管板胀接

胀接技术广泛用于锅炉、石油化工容器产品及空调、制冷设备的热交换装置中的管、板连接。其原理是采用不同的方法（机械、液压、橡胶和爆炸

等）扩张管子直径，使管壁产生塑性变形、管板孔产生弹性变形，利用管壁和管板孔壁在胀接过程中的不均匀变形而产生的残余径向应力，使管子与管板达到牢固而紧密的接触。胀接结构形式见表4-11-12。

表 4-11-12 胀接结构形式

结构形式	简 图	结构形式	简 图
光孔胀接		胀接加端面焊	
开槽胀接			
翻边胀接		管孔翻边加胀接	
			



2.1 影响胀接质量的因素和胀紧程度的控制

1. 胀管率 胀接质量指标主要有胀接强度(拉脱力)和密封性两项。该两项指标通过胀紧程度来保证。胀紧程度同胀管率 H 表示:

$$H = \frac{d_1 - d_2 - \delta}{d_3} \times 100\%$$

式中 d_1 --- 胀后管子实测内径 (mm);
 d_2 --- 未胀时管子实测内径 (mm);
 d_3 --- 未胀时管板孔实测直径 (mm);
 δ --- 未胀时管孔实测直径与管子实测外径之差 (mm)。

一般控制在 $H=1\% \sim 2.1\%$ 范围内。对厚壁管和非铁金属管采用较大值。

对于管子材料为 10、20 钢, 管板材料为 20R, 管板厚度为 12~16mm, 管子直径为 51mm, 管壁厚 3mm, 管端采用铅浴退火且为水管锅炉, 胀管率亦可按下式计算:

$$H = \frac{D - d_3}{d_3} \times 100\%$$

式中 D --- 胀后紧贴管板外侧管子外径 (mm);
 d_3 --- 未胀时管孔实测直径 (mm)。

由此式可见胀管率是由控制管子胀后外径的方法实现的。故具有控制方便、精度高的优点。若不符合上述适用条件而采用该公式, 应进行试验验证工作来扩大该公式的使用范围。

2. 影响胀接质量的因素

(1) 胀紧程度不足(欠胀)或过量(过胀)都不能保证胀接质量。过胀还会因管壁减薄过大而导致管子断裂和管板变形。

(2) 对光孔, 增加胀接长度可增加拉脱力和密封性。对开槽胀接, 拉脱力主要由沟槽承受, 增加胀接长度, 拉脱力并无显著增加。

(3) 光洁的胀接表面, 胀接强度稍低而密封性较高。一般孔的表面粗糙度以 $R_a 12.5 \sim 3.2\mu m$ 为宜。

(4) 管孔表面有纵向及螺旋形贯穿性刻痕会严重降低密封性。环向刻痕深度小于 0.3mm 可允许存在。

(5) 换热器管板孔间距 $t \geq 1.25D_0$ (D_0 为管板孔直径); 锅炉上孔间距应保证孔桥减弱系数不小于 0.3 (GB9222-88)。

(6) 管子硬度及屈服极限高于管板材料会引起过胀; 过低于管板也会使胀接强度下降。一般管端退火使硬度略低于管板硬度。

(7) 管子与管孔间隙过小穿管困难, 过大易引起管子冷作硬化, 管板孔径与允许偏差可参考表 4-11-13 所列数值。

3. 胀紧程度的控制 控制胀紧程度的方法见表 4-11-14。

表 4-11-13 管板孔直径与公差 (mm)

管子外径	管板孔直径	直径公差
14	14.3	+0.24
16	16.3	0
19	19.3	+0.28
22	22.3	0
25	25.3	0
32	32.3	+0.34
38	38.3	0
42	42.3	0
51	51.3	0
57	57.3	0
60	60.4	+0.4
63.5	64	0
70	70.5	0
76	76.5	0
83	83.6	0
89	89.6	+0.46
102	102.7	0
108	108.8	0

表 4-11-14 控制胀紧程度的方法

控制方法	控制项目	备注
经验控制	听胀管机器运转声音观察管子变形情况	需要有经验的操作人员
测量控制	控制胀后管子内径 d_1	d_1 按给定的 H 值计算
自动控制	用液压或电动控制仪控制胀管扭矩、自动停胀和退出	用液压驱动或电动胀接

2.2 机械胀接

2.2.1 分类及胀接装置组成

根据使用动力不同, 机械胀接可分为手动胀接, 风动胀接, 液压风动胀接和电动胀接。机械胀接装置的组成见图 4-11-6。

(1) 摘自中华人民共和国劳动人事部、蒸汽锅炉安全技术监察规程, 北京: 劳动人事部锅炉压力容器安全杂志社, 1987, 37 页。

(2) 摘自刘福仁、蒸汽锅炉安全技术监察规程解析, 北京: 劳动人事出版社, 1987, 242 页。



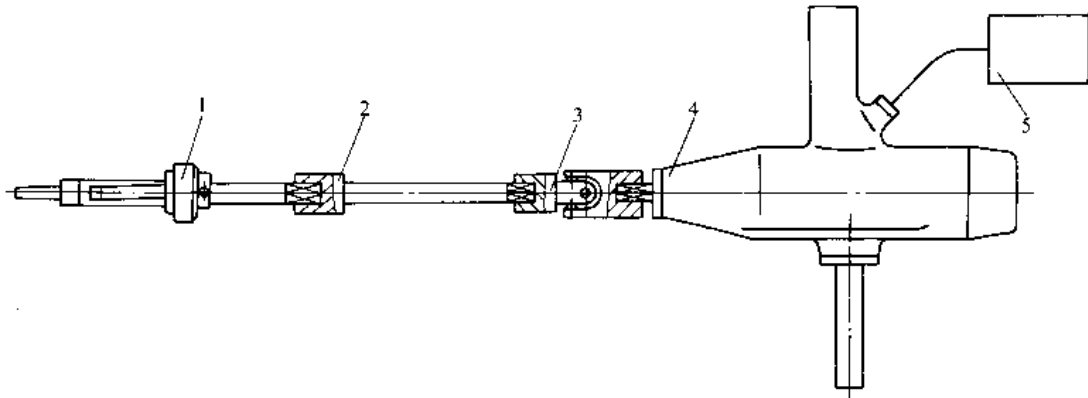


图 4-11-6 机械胀接装置的组成

1—胀管器 2—接头 3—活接头 4—胀管机 5—控制仪

2·2·2 机械胀管器

1. 机械胀管器的分类与特点 (表 4-11-15)

表 4-11-15 机械胀管器的分类与特点

类 型	结构特点	适用范围	
前进式胀管器	I 型 不翻边	结构简单, 使用方便	管径较小 管板较薄
	II 型 翻边	可翻边	
后退式胀管器	III 型双 向转动	管子对管板的轴向力较低, 管板变形较小	管径较小 管板较厚
	IV 型单 向转动	α 角为右旋偏角, 胀杆锥度较大, 始终顺转, 结构简单, 轻便, 参数易控制, 操作方便, 胀接均匀	管径较小 管板较厚

各类胀管器见图 4-11-7~图 4-11-10。IV 型胀管器的工作过程为: (1) 伸入管内超出管板 1~1.5 倍胀子长, 锁紧定位环; (2) 用扳手固定住螺母, 启动正转, 胀杆前进胀接; (3) 停车脱开扳手; (4) 再启动正转, 胀管器后退胀接。

2. 胀杆进给运动 图 4-11-11 表示胀杆相对胀子运动情况。当胀杆绕 $O-O$ 轴旋转时, 与其配合的胀子绕与 $O-O$ 轴成 α 角的 $O'-O'$ 轴反转。如果将胀杆表面展开则胀子旋转一周后的位置为 $O''-O''$, 即胀子相对胀杆后移一段距离 $\Delta l = \pi \cdot D_1 \alpha$ 。实际上胀子被限制在胀壳内不能向后移动, 因此它推动胀杆向前移动 Δl 从而实现胀杆自动进给。

3. 主要零件设计

a. 胀子 (图 4-11-12)

(1) I 型胀子

$$d_1 = 0.32D_1 \text{ (mm)}$$

$$L_1 = l + \Delta \text{ (mm)}$$

式中 l —— 胀接长度 (mm);

Δ —— 由胀接要求确定;

D_1 —— 管子内径 (mm);

$$L_2 = 5 \sim 15 \text{ (mm);}$$

K —— 胀子锥度, 一般取 1:50, 对于 $D_1 < 12$ 时取 1:60。

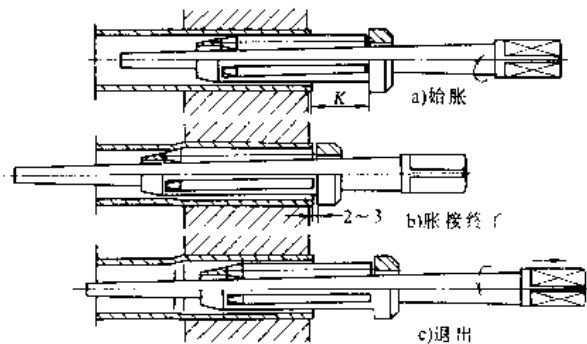


图 4-11-7 前进式无轴承胀管器 (I 型)

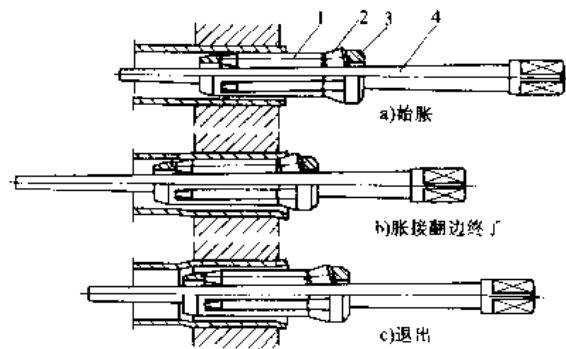


图 4-11-8 前进式翻边胀管器 (II 型)

1—胀子 2—翻边滚子 3—胀壳 4—胀杆



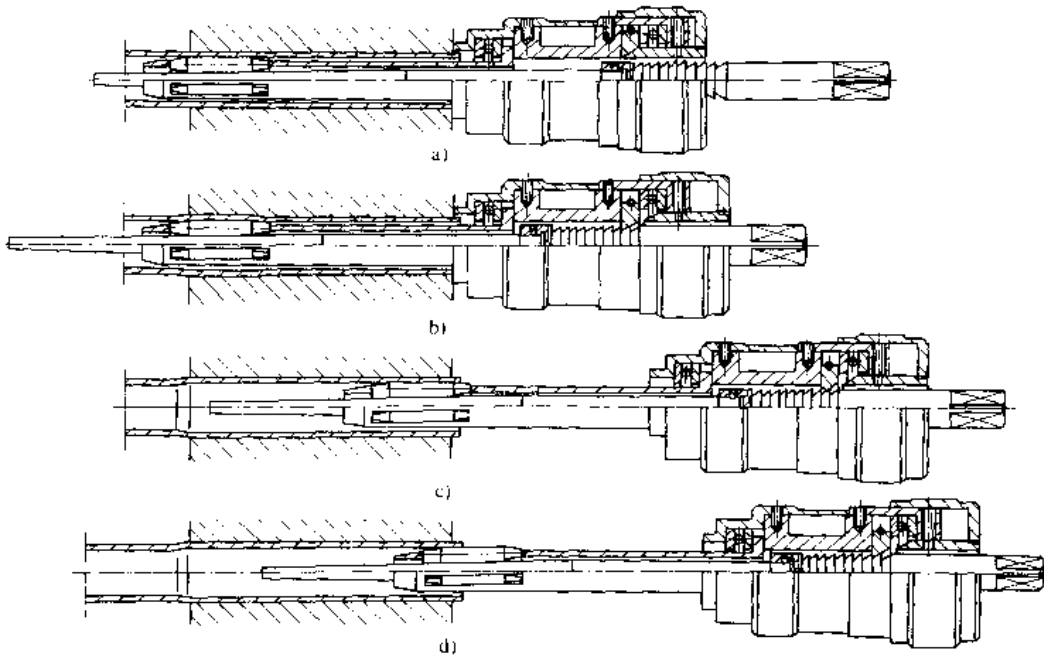


图 4-11-9 后退式胀管器 (双向旋转) (Ⅲ型)

a) 顺转前进胀管 b) 最深处先胀, 将胀杆与胀子相对位置固定 c) 反转后退胀接 d) 退出胀管器

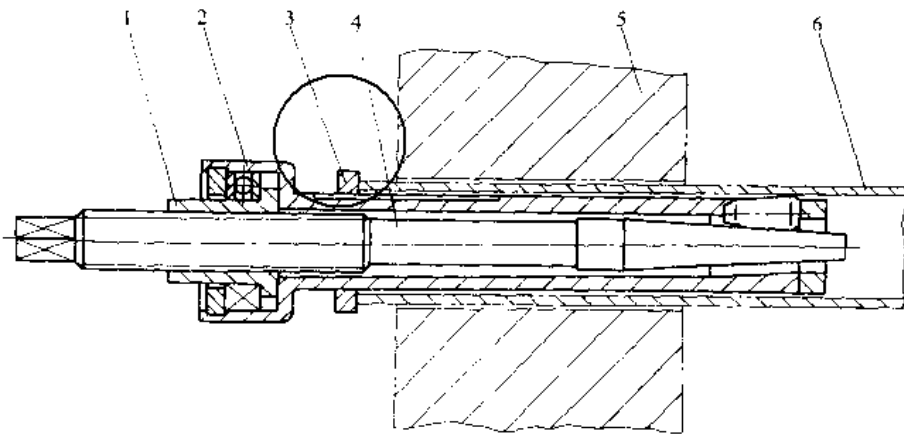


图 4-11-10 后退式胀管器 (单向旋转) (Ⅳ型)

1—螺母 2—胀壳 3—定位环 4—胀杆 5—管板 6—管子

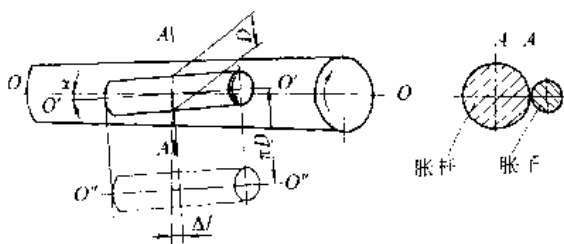


图 4-11-11 胀杆与胀子的相对运动

材料: GCr9、GCr15、T8A 等

硬度: 55~58HRC

(2) Ⅲ型胀子。Ⅲ型后退胀管器的胀子, 两端都做成过渡段。由于后退胀接时, 胀接直径不变, 胀杆和胀子受力很大, 故 L_1 不宜太大, 一般取 $L_1 \approx 20 \sim 25 \text{mm}$ 。

(3) Ⅳ型胀子。Ⅳ型后退式胀管器的胀子锥度 $K: 1:10$, L_1 取 $\approx 30 \text{mm}$ 。

b. 胀杆 (图 4-11-13) 实现胀管所必须的最小长度

$$L_{\min} = [0.06D_1 - (D_1 + 2t)H + c] \frac{1}{K} + L_1 \quad (\text{mm})$$

$$K = 2K_1$$

式中 K ——胀杆锥度;



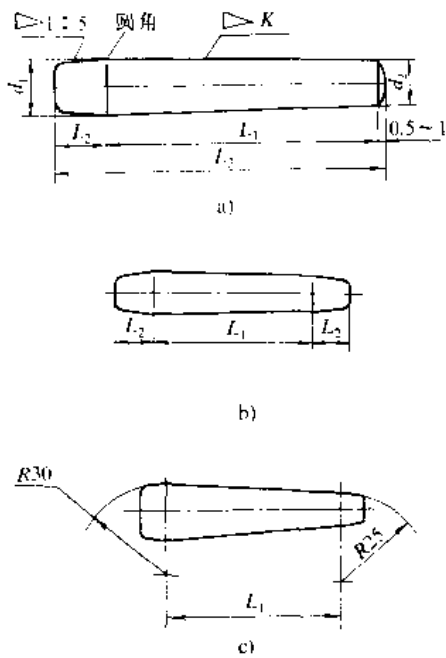


图 4-11-12 胀子

a) I型胀子 b) II型胀子 c) III型胀子

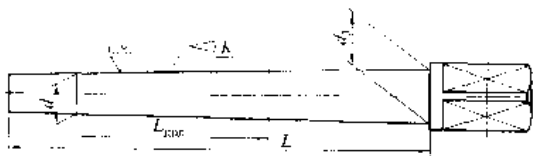


图 4-11-13 胀杆

- K_1 — 胀子锥度;
- D — 管子内径 (mm);
- t — 管子壁厚 (mm);
- H — 胀管率 (0.01~0.021);
- c — 管子与管孔径向间隙 (mm);
- L_1 — 胀子长度, 见图 4-11-12 (mm)。

L_{min} 段小端直径

$$d = 0.3D,$$

胀杆总长度应在 L_{min} 的两端各加一段长度, 其长度尺寸视胀管器的具体结构而定。

方头尺寸应与自动胀管机相适应, 推荐值为 8×8 , 12×12 , 16×16 , 20×20 (mm) 等。

材料: 同胀子

硬度: 58~60HRC

c. 胀壳 (图 4-11-14) 胀壳的结构根据胀管器的类型确定, 一般倾斜角 α 为左旋, $D_i \leq 12$ 时 $\alpha = 1^\circ$, $12 < D_i \leq 40$ 时 $\alpha = 1^\circ 30'$, $D_i > 40$ 时 $\alpha = 2^\circ$ 。N 型后退式胀

管器 $\alpha = 2^\circ 51'$, 右旋后退速度 100~120mm/min。槽的数目一般为 3 条, 当结构允许时也可以多于 3 条, 例如胀钛管时推荐 5 条槽, 扩张平稳均匀。

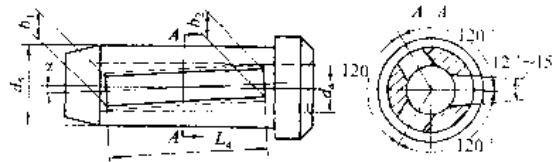


图 4-11-14 胀壳

$$L_4 = L_3 + (0.1 \sim 0.15)$$

$$b_1 = d_1 - (0.2 \sim 0.3)$$

$$b_2 = d_2 - (0.2 \sim 0.3)$$

$$d_4 = d_2$$

$$d_5 = d - 2d_1$$

式中 L_4 、 L_3 、 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d 见图 4-11-12~图 4-11-14。

d. 翻边滚 f (图 4-11-15)

$$\beta = \beta_2 - \frac{\beta_1}{2}$$

$$\beta_2 = 180^\circ \left(\beta + \frac{\beta_1}{2} \right)$$

$$d_6 = \frac{d_2 \cos \frac{\beta_1}{4}}{\cos \frac{\beta}{2}}$$

式中 β_1 — 胀杆锥角;

β_2 — 翻边角。

材料: 40Cr、60Si2Mn、45、60, 调质发黑。

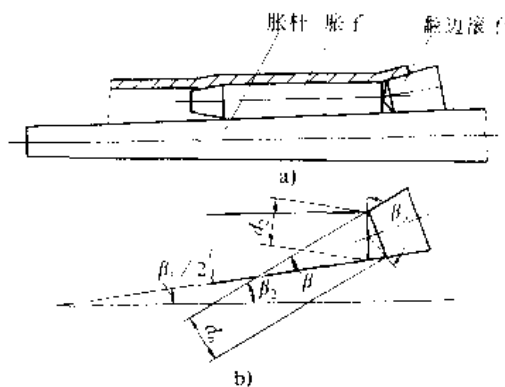


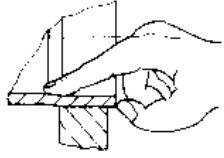
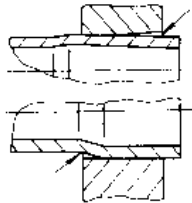
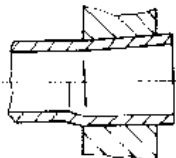
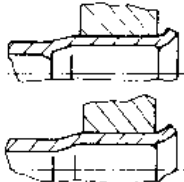
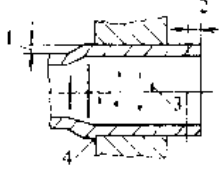
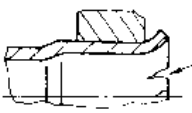
图 4-11-15 翻边滚子

2-2-3 胀管缺陷 (表 4-11-16)

由于胀管器不良或操作不当造成的缺陷大多数可凭经验作出判断而采取措施予以补救。



表 4-11-16 胀管缺陷

缺陷名称	简 图	现 象	产生原因	消除办法
未胀牢		手摸管子内壁无凹凸感觉	欠胀	补胀
胀口有间隙		胀口上端或下端有间隙	1. 胀管器取出太早, 或装入距离太小 2. 胀子太短 3. 胀杆和胀子锥度不合适	1. 换用合格胀管器 2. 补胀
胀偏		管子一边大一边小	胀管器未装正	装正胀管器重胀, 严重时换管重胀
切口		管子内壁过渡部分有棱角式深痕	1. 胀子下端锥度大小 2. 胀子与翻边滚子结合处过渡不圆滑	1. 采用合格胀管器 2. 换管重胀
过胀		1. 管子下端鼓出太大 2. 管端伸长量太大 3. 管子内壁起皮 4. 孔壁下端管子外表面被切	胀接率过大	换管重胀
圈边裂开		翻边有裂纹或裂开	1. 管端未退火 2. 管端伸出太长	1. 管端退火 2. 换管重胀

2.3 其他胀接方法

2.3.1 液压胀管

1. 液压胀管系统工作原理(图 4-11-16) 胀管前液体经通路 1 送入胀头, 并将增压器活塞推向右方原

始位置。转换控制阀使通路 2 接通, 高压泵产生的一次压力由增压器转换成需要的二次压力进行胀管; 二次压力由一次压力表间接显示, 并由调节溢流阀来控制。转换控制阀使系统与通路 3 接通卸载, 即可将胀头从管中取出。

2. 典型胀头结构型式举例 图 4-11-17 为胀头



的一种结构。高压油通过接头和拉杆孔进入压力油腔，弹性膜在高压油的作用下使挤压环胀开。挤压环分为4片，其胀前状态见A-A剖面，胀后状态见B-B剖面。

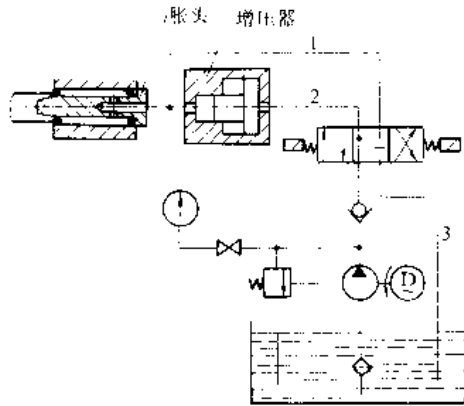


图 4-11-16 液压胀管原理

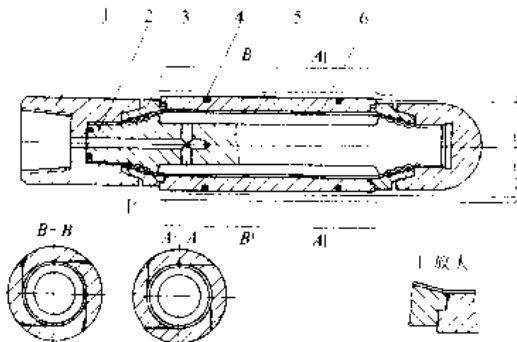


图 4-11-17 胀头之一

- 1—接头 2—拉杆 3—压盖 4—弹性圈
- 5—弹性膜 6—挤压环

图 4-11-18 为另一种胀头结构。橡胶套的C段套在芯轴上，然后由里向外翻折，使a段也套在芯轴上，形成压力油腔。最后套上橡胶管，用金属圈锁紧敛缝，另一端用螺母压盖楔紧。

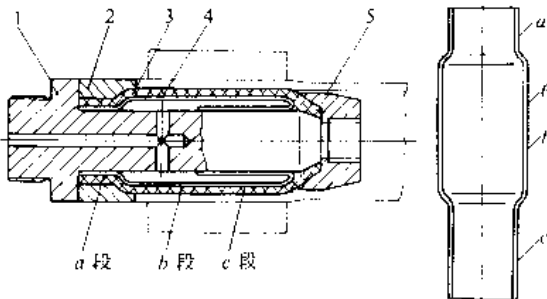


图 4-11-18 胀头之二

- 1—芯轴 2—金属圈 3—橡胶管
- 4、6—橡胶套 5—压盖

图 4-11-19 所示的结构依靠芯轴两端的“O”形密封圈密封，把高压液体直接注入到管子内壁上，使管子产生塑性变形。

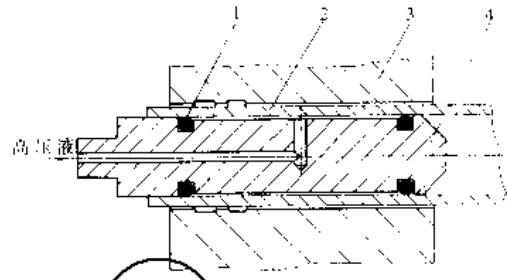


图 4-11-19 胀头之三

- 1—O形圈 2—管子 3—管板 4—芯轴

2-3-2 爆炸胀管

爆炸胀管是以高能炸药制成导爆束插入待胀管子内，由雷管引爆。在爆炸瞬间，高压气体以冲击波的形式作用在管子内壁相应部位上，使管子与管板胀紧。见图 4-11-20。

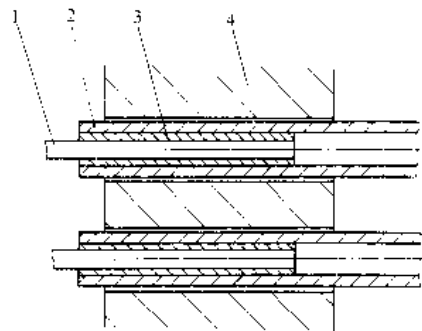


图 4-11-20 爆炸胀管

- 1—导爆束 2—管子 3—定位套 4—管板

爆炸胀管一般用于实现贴胀加端面焊。用于强胀时需由试验确定药量。

定位套的作用，其一是使导爆束位于管子中心从而使胀接力均匀；其二是本身就是一种传递能量的介质，也可以不用而直接以空气充当传递能量的介质。

定位套为塑料、蜡或纸制品。

胀接长度一般为 $0.6 \times$ 管孔深。

2-3-3 橡胶胀管

图 4-11-21 为橡胶胀管的示意图。胀管器装有软质橡胶制成的胀管媒介体。借助于液压缸的牵引力，通过加压杆使软质橡胶受到轴向力。软质橡胶两端装有密封圈，阻止软质橡胶轴向移动，则在其径向产生鼓胀力并施加于管子内壁上，进行胀接。



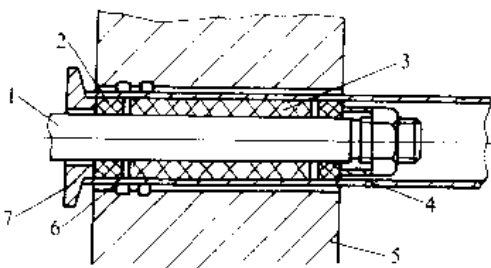


图 4-11-21 橡胶胀管

1—加压杆 2—密封圈 3—软质橡胶 4—管子
5—管板 6—辅助密封圈 7—支承套

2.4 各种胀接方法的优缺点 (表 4-11-17)

表 4-11-17 各种胀接方法的优缺点

方法	优点	缺点
机械胀管	1. 胀管器制造、维护、使用简便 2. 各种动力均适用 3. 控制胀紧程度方便	胀接为线接触金属 碾压变形, 残余应力大, 劳动强度大, 效率较低, 胀接质量不理想

(续)

方法	优点	缺点
液压胀管	1. 胀管区结合均匀 2. 胀接长度、深度不受限制 3. 不损伤管子 4. 一次可胀多根管子 5. 管板变形小 6. 液压胀后再机械胀可在一定程度上消除轴向力 7. 参数可以精确控制, 胀口质量好, 生产效率高	辅助工作多, 适用于 $\phi 50\text{mm}$ 以下管径, 对管孔加工要求高
爆炸胀管	1. 操作简单, 不需设备、成本低 2. 胀接长度不受限制, 可胀小直径厚壁管, 厚管板, 效率高 3. 可同时胀多根管子 4. 管板轴向力小、变形小 5. 适合先焊后胀工艺	质量不易控制, 安全性差, 噪声大, 密封性不易达到, 一般仅用于贴胀
橡胶胀管	1. 可胀各种直径管子的任何部位 2. 不损伤管子 3. 胀接较安全 4. 邻近管子影响小, 宜采用先焊后胀工艺	胀接程度不易掌握, 辅助设备较多

第12章 冲压设备

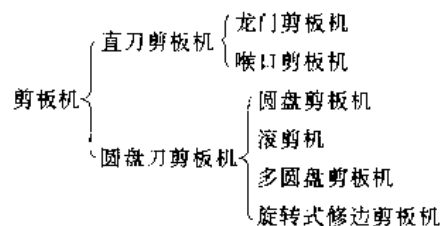
冲压设备作为冲压加工的手段, 在加工中具有十分重要的作用。

为适合各种冲压工艺, 需要有各种类型的冲压设备。使用最多的是压力机。压力机分机械传动和液压传动两类。冲压机械压力机包括: 开式压力机、通用闭式压力机、闭式拉深压力机、通用自动压力机、精密冲裁压力机、高速压力机等。冲压液压机包括: 单臂式液压机、单动液压机和双动液压机。此外还有剪板机、开卷机、矫平机以及用于成形的折弯机、滚弯机、卷板机等。

随着冲压加工技术的发展, 冲压设备向大型、精密、机械化自动化方向发展, 近代生产中广泛使用的高速压力机、精密冲裁压力机、冲模回转头压力机、双动拉深压力机、多工位自动压力机、激光切割-冲裁组合压力机、其他各种数控压力机以及活动工作台、快速换模装置等, 反映了冲压设备的发展水平。

1 剪板机

剪板机的分类如下:



1.1 直刀剪板机

龙门剪板机是冲压车间应用最多的剪板机。由于机架没有喉口, 所以只能剪切长度(或宽度)比刀片长度短的板材。龙门剪板机刀片的倾斜角小, 刚性大, 压板力大, 每分钟行程次数多, 能进行精密剪切。

喉口剪板机由于机架有喉口, 所以当剪切宽度小于喉口深度时, 采用纵向剪切可以剪切任何长度的板材。

剪切厚度小于 10mm 板料的直刀剪板机多为机械传动, 剪切厚度大于 10mm 的, 多为液压传动。

机械传动剪板机有上传动和下传动两种。下传动



剪板机工作原理见图 4·12-1。

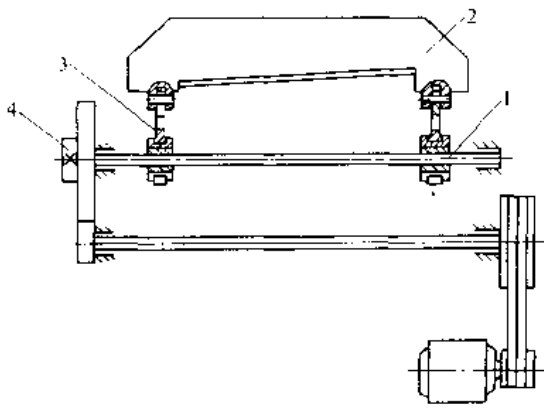


图 4·12-1 下传动剪板机的工作原理

1—偏心轴 2—上刀架 3—连杆 4—离合器

液压传动剪板机（图 4·12-2）按上刀架的运动形式可分为往复式和摆动式两种。往复式有固定导轨和摆动导轨两种。摆动导轨可改变上刀片的前倾角，调整剪切间隙。摆动式剪板机不需导轨，但是上刀片在全长上要做成变曲率的曲面，以保证刀片间的间隙一致。

在剪切中厚板时，为便于送料，在工作台上设有多个托料钢球（剪切时缩入工作台面下）；在大批量生产用的剪板机上，设有机械化上下料装置，也可采用程序控制系统实现自动化。在液压传动剪板机上，压料脚设有轻压油路，便于剪切前对线。在压料架前面设置有各种指示和显示装置，如指示后挡料位置的计数器、剪切刀片间隙的显示器、对线灯等。

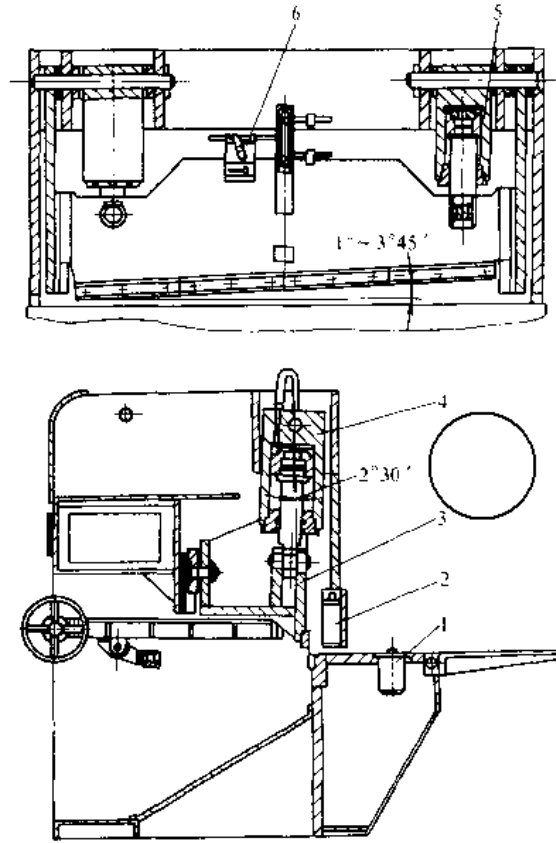


图 4·12-2 往复式液压传动剪板机的结构

1—托料球 2—压料脚 3—上刀架 4—主液压缸
5—小油缸 6—剪角指示器

剪板机的技术规格见表 4·12-1。

表 4·12-1 剪板机的技术规格

可剪板厚① (mm)	可剪板宽① (mm)	喉口深度 (mm)		剪切角度②	行程次数 (≥) (次/min)	
		标准型	加大型		机械传动空载	液压传动满载
1	1000			1°	100	
2.5	1200			1°	70	
	2000				60	
4	2000			1°30'	60	
	2500				60	
	3200				50	
6	2000			1°30'	50	
	2500				50	
	3200				45	
	4000	300				15
10	6300	300		2°		14
	2500				45	
	4000	300				13



(续)

可剪板厚① (mm)	可剪板宽① (mm)	喉口深度 (mm)		剪切角度②	行程次数 (\geq) (次/min)	
		标准型	加大型		机械传动空载	液压传动满载
12	2000	300	600	2°	40	9
	2500					
	3200					
	4000					
16	2500	300		2°30'		8
	4000					
20	2500	300	600	2°30'		6
	3200					
	4000					
25	2500	300		3°		5
	4000					
	6300					
32	2500	300		3°30'		4
	4000					
40	2500	300		4°		3
	4000					

① 表中规格系指剪切 $\sigma_b=500\text{MPa}$ 的板料; σ_b 值不同时, 应予换算。

② 对于剪切角度可调的剪板机, 表中所列为额定剪切角度。

1.2 圆盘刀剪板机和滚剪机

圆盘刀剪板机是用两个圆盘状旋转刀专门进行板材圆形剪切的剪板机。这种剪板机装备有使板材在加工中容易转动的附件, 主要用于制备小批量生产用的圆形坯料。可剪板厚一般为 1~6mm。

滚剪机是使用两个圆盘状的旋转刀, 按划线进行一般曲线剪切的剪切机, 用于制备小量的异形坯料和一般曲线剪切, 如果安装上回转附件, 也可进行圆形坯料剪切。可剪厚度一般为 1~6mm。

1.3 多圆盘剪板机和条料生产线

多圆盘剪板机是在两个平行布置的刀轴上, 按条料的宽度安装若干个圆盘形旋转刀, 由于圆盘刀的旋转, 把宽幅板材切成若干所需宽度的条料的剪切机。

条料生产线是在多圆盘剪板机前后备置开卷机和卷绕机及其附属装置, 将卷料连续剪切成条料的生产线。切下的条料卷绕在卷绕机的心轴上。随着卷材的普及, 这种生产线的使用也在不断增加。

1.4 剪切冲型机

该机也称振动剪(图 4-12-3), 它是用上下配置的

两个短刀, 一个刀固定, 另一个刀作高速短行程运动, 连续地对薄板进行直线和曲线剪切。如增加行程和闭合高度调整机构, 换上相应的模具, 还可进行折边、冲槽、压筋、切口、成形、翻边和仿形冲裁等加工。

剪切冲型机的技术规格见表 4-12-2。

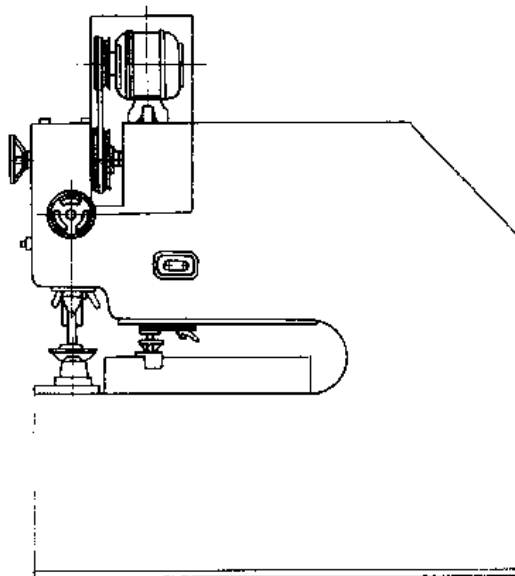


图 4-12-3 剪切冲型机



表 4-12-2 剪切冲型机的技术规格

规格	2.5	4	5	6.3	8	10	12
参数							
板料厚度	剪切 (mm)	2.5	4	5	6.3	8	10
	冲型 (mm)		1.5	2	4	4	6
	折边 (mm)		3	3.5	3.5	4	5
	冲槽 (mm)			3	3	4	4.5
	切口 (mm)			3	3	3	3
	压型 (mm)			3	3	4	6
	压肋 (mm)			2.5	2.5	3.5	3.5
	翻边 (mm)			3.5	3.5	4	5
喉口深度 (mm)	870	1050	1050	1260	1210	1040	
剪切速度 (m/min)			5	5	5	6	
行程次数 (次/min)	1420	850/1300	1400/2800	2000/1000	2000/1000/500	1800/900/700	
行程长度 (mm)	5.6	7	1.7	1.7	1.5	10	
			3.5	6	6.2		
功率 (kW)	1	2.8	1.5	1.9	2.7	4.2	
				1.8	2.3	3.4	

注：表中规格系指剪切 $\sigma_s=400\text{MPa}$ 的板料； σ_s 值不同，应予换算。

2 冲压压力机

2.1 冲压压力机的种类、结构特点及其选用

1. 冲压压力机的种类、结构特点 冲压压力机按其滑块驱动方式可分为液压驱动和机械驱动两类。两者特性比较如下：

(1) 液压机在全行程都能产生公称压力。机械压力机产生的压力随滑块位置而变化。在行程中点最小，在下止点时为无穷大。能产生公称压力的最高行程位置距下止点的距离称为公称压力行程。用于冲裁、弯曲、及浅拉深的普通机械压力机，一般设计成在下止点前行程长度的 6%（或曲柄转角为 0° 至 26° ）为公称压力行程；深拉深用的机械压力机所需的滑块行程长，设计成曲柄转角为 0° 至 60° 为公称压力行程。

(2) 液压机行程大小容易调整和控制。机械压力机滑块行程大小是固定的。

(3) 液压机的速度可以在一个大的范围内调节，而机械压力机的速度受传动类型的限制。

(4) 液压机不可能超载，它只能发出预先设定的压力。当达到此压力时滑块运动停止。机械压力机可能超

载。如果没有过载保护装置，会导致压力机损坏。

(5) 机械压力机行程次数比液压机的高，适合于高生产率生产。

(6) 机械压力机由于有飞轮储存能量，所用电动机比同等压力的液压机小。

(7) 机械压力机滑块速度高，适合于落料、冲孔等。落料和冲孔也可在液压机上进行，但冲头穿透板材时产生的振动，可能引起液压系统损坏。

机械压力机有单动（一个滑块）和双动（两个滑块）两种。现在使用的压力机大部分是单动压力机。由于拉深垫的进展，扩大了带拉深垫的单动压力机的加工范围。因此，中小型双动压力机的生产台数大大减少。图 4-12-4 所示为双动压力机的驱动形式。双动压力机的内滑块（拉深滑块）都是曲柄机构或偏心齿轮机构驱动。

机械压力机按滑块驱动机构分类有曲柄、偏心齿轮、肘杆、联杆以及凸轮驱动 5 种（图 4-12-5）。中小型压力机主要采用曲柄机构，大型压力机主要采用偏心齿轮机构。曲柄机构和偏心齿轮机构的滑块运动曲线及运动特性完全相同。肘杆机构的运动特征是在下止点附近滑块速度极为缓慢。这种压力机适用于压印



加工。连杆机构主要用于大型拉深压力机,目的在于使滑块运动为快速接近、低速加工(把拉深速度控制在极限值以内)、快速返回,以缩短循环时间,提高生产率。凸轮机构主要用于中小型多工位自动压力机和多滑块压力机。

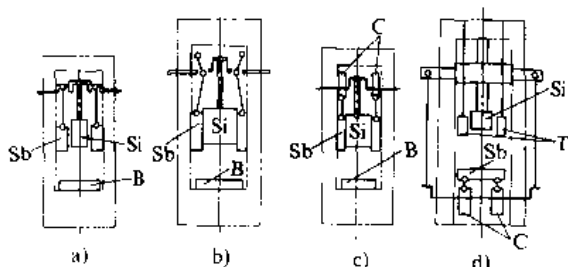


图 4-12-4 双动压力机的驱动形式
a) 曲柄式 b) 肘杆式 c) 凸轮式 d) 下滑块式
S_b—冲裁或压边滑块 S_i—内滑块 B—垫板
T—工作台 C—凸轮

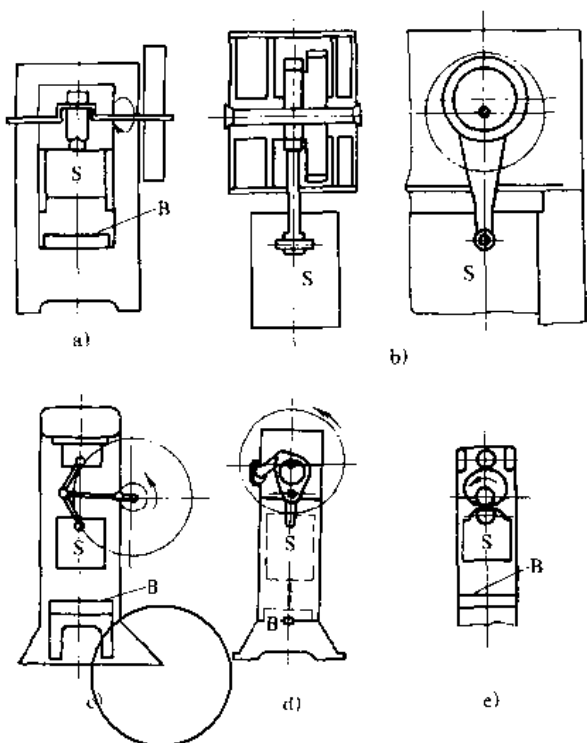


图 4-12-5 滑块驱动机构的形式
a) 曲柄式 b) 偏心齿轮式 c) 肘杆式
d) 连杆式 e) 凸轮式
S—滑块 B—垫板

机械压力机按床身结构分有C形、闭式、四柱式、可倾式、卧式等。

2. 冲压压力机的选用 主要从满足冲压加工要求出发,复杂形状的拉深加工以及单纯需要产生所需

压力,而对加工精度和生产效率要求不高的场合,由于液压机容易进行速度调节和价格较低,一般选用液压机。

对于冲裁加工,在选择通用压力机时,从模具寿命、加工精度和维修方面来看,按常用加工力为公称压力的75%~80%来选定压力机压力(图4-12-6上的曲线a)。在选择专用冲裁压力机时,可以把常用的加工力取为公称压力的100%,但最大加工力不允许超过公称压力。薄板冲裁加工由于加工行程极短,所以一般不会出现公称压力行程和许用能量(对于无拉深垫的闭式压力机用公称压力和公称压力行程的乘积表示)不足的问题。因此,可以不考虑公称压力行程和许用能量,但在薄板冲裁高速连续加工的场合,有时也会出现许用能量不足的问题。在厚板冲裁时,要考虑公称压力行程。

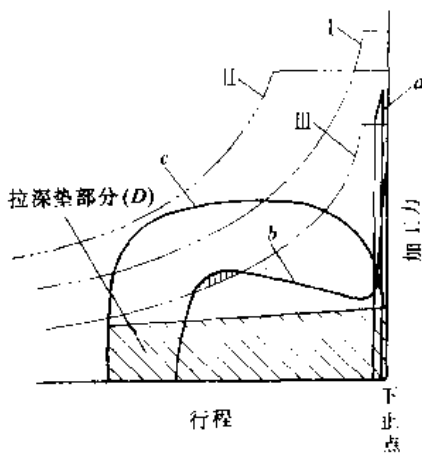


图 4-12-6 压力机能力的选择方法
I、II、III—3种压力机的压力—行程曲线
a—冲裁 b—V形弯曲 c—拉深
(曲线I的压力机适用于a和b加工,
曲线II的压力机适用于c加工)

弯曲和拉深是从下止点以上相当高的位置开始进行的,应根据计算和推测绘出的加工力—行程曲线(图4-12-6的b和c)来选用压力机,在行程的任何位置,加工力曲线都应在所选用的压力机压力—行程曲线的下侧。

在拉深加工中大多使用拉深垫,而拉深垫的力要加在加工力上。因此,在选定压力机能力时要充分考虑拉深垫的容量(图4-12-6上的D部分)。在U形弯曲使用气垫的场合,同样要考虑气垫的容量。

2.2 开式压力机

开式压力机是通用性冲压设备,可用来落料、冲



孔、切边、浅拉深和成形等。一般为曲柄传动,可进行单次或连续行程。床身是 C 形,工作台三面敞开,便于操作。离合器可为刚性或摩擦式。刚性离合器结构简单,但不能实现寸动行程,一般在小吨位压力机上使用。工作台设有气垫,供浅拉深时切边或工件顶出之用。

压力机按连杆数目可分为单点和双点式;按曲轴位置有纵放式和横放式;按工作台结构有固定台、可倾式和升降台等形式(图 4-12-7、图 4-12-8)。

开式压力机的技术规格见表 4-12-3。

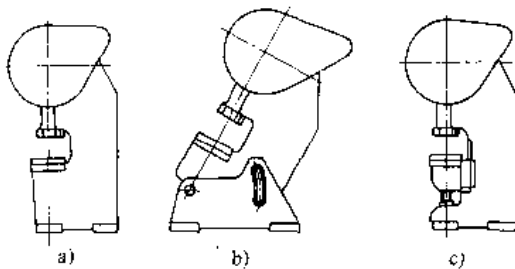


图 4-12-7 开式压力机工作台的形式

a) 固定台 b) 可倾式 c) 升降台(活动台)

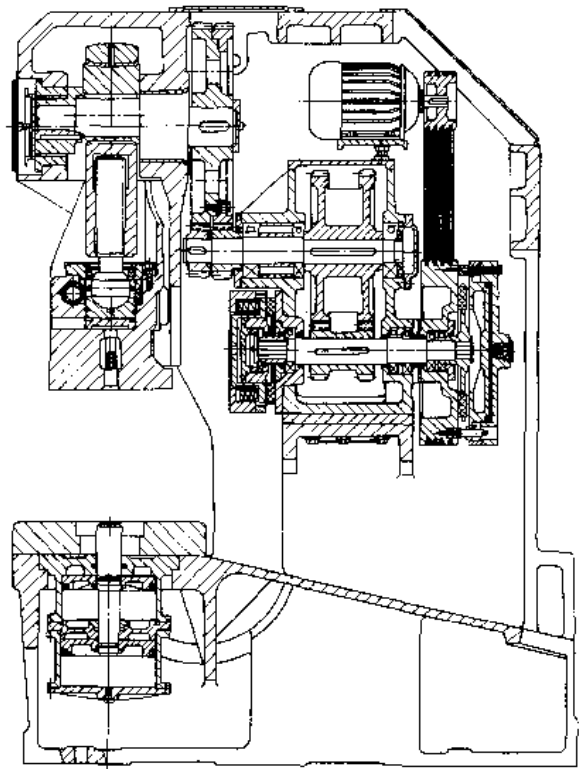


图 4-12-8 开式固定台压力机结构

表 4-12-3 开式压力机的技术规格

公称压力 (10kN)	4	6.3	10	16	25	40	63	80	100	125	160	200	250	315	400	
公称压力行程 (mm)	3	3.5	4	5	6	7	8	9	10	10	12	12	13	13	15	
滑块行程 (mm)	40	50	60	70	80	100	120	130	140	140	160	160	200	200	250	
行程次数 (次/min)	200	160	135	115	100	80	70	60	60	50	40	40	30	30	25	
最大封闭高度	固定台和可倾式 (mm)		160	170	180	220	250	300	360	380	400	430	450	450	500	550
	活动台位置	最低 (mm)				300	360	400	460	480	500					
		最高 (mm)				160	180	200	220	240	260					
封闭高度调节量 (mm)	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	150	150	170	
滑块中心到床身距离 (mm)	100	110	130	160	190	220	260	290	320	350	380	380	425	425	480	
工作台尺寸	左右 (mm)	280	315	360	450	560	630	710	800	900	970	1120	1120	1250	1250	1400
	前后 (mm)	180	200	240	300	360	420	480	540	600	650	710	710	800	800	900
工作台孔尺寸	左右 (mm)	130	150	180	220	260	300	340	380	420	460	530	530	650	650	700
	前后 (mm)	60	70	90	110	130	150	180	210	230	250	300	300	350	350	400
	直径 (mm)	100	110	130	160	180	200	230	260	300	340	400	400	460	460	530
立柱间距离 (mm)	130	150	180	220	260	300	340	380	420	460	530	530	650	650	700	
活动台压力机滑块中心到床身紧固工作台平面距离 (mm)				150	180	210	250	270	300							
模柄孔尺寸 (直径×深度) (mm)	φ30×50			φ50×70			φ60×75			φ70×80			I 型槽			
工作台板厚度 (mm)	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	130	150	150	170	
倾斜角(可倾式工作台压力机)(°)	30								25							



开式固定台压力机的刚性和抗振稳定性好,适合于较大吨位。可倾式压力机的工作台可倾斜 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$,工件或废料可靠自重落下。升降台压力机适用于模具高度变化较大的冲孔、切边及弯曲。

2.3 通用闭式压力机

闭式单动压力机(图4-12-9)可完成落料、冲孔、弯曲、拉深、成形、切边、校正等工序。可分为单点、双点和四点;上传动和下传动等形式。

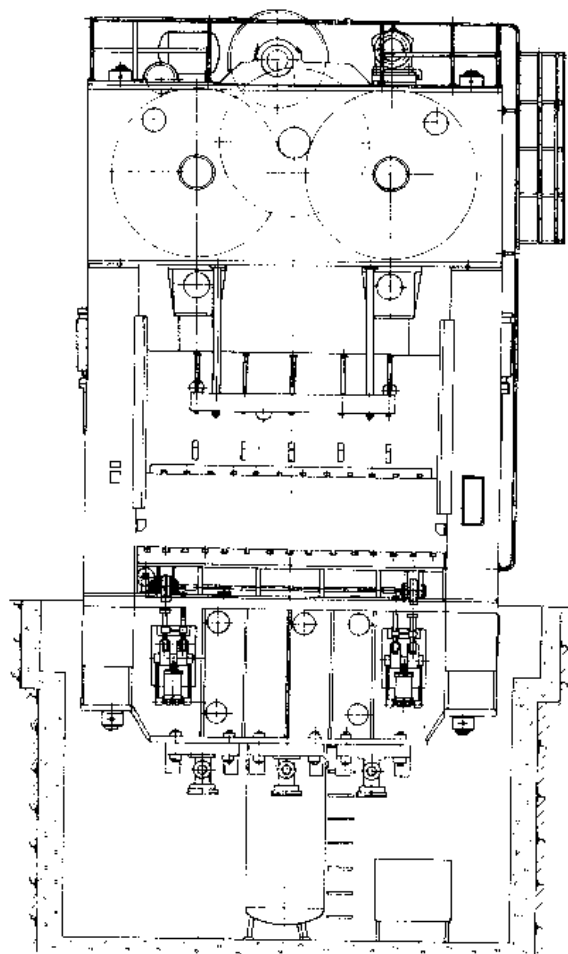


图 4-12-9 闭式双点压力机

床身为封闭框架结构,由横梁、左右立柱和底座组成,通过拉紧螺栓预紧而连成一体,刚性好。滑块一般为偏心齿轮传动,结构紧凑,噪声小,效率高。工作台有固定式和移动式(图4-12-10),大型压力机的工作台重量大,用内部驱动电机驱动、小型压力机多利用气垫或滚子等用人力即可移动的方式。大型压力机工作台的移动方式有两种形式(图4-12-11),一种是使工作台在左右(或前后)两个方向移动的直线移动方式,另一种是只沿一个方向移动,而后再利用压力机外面

的横向导轨作前后移动的交叉移动方式。

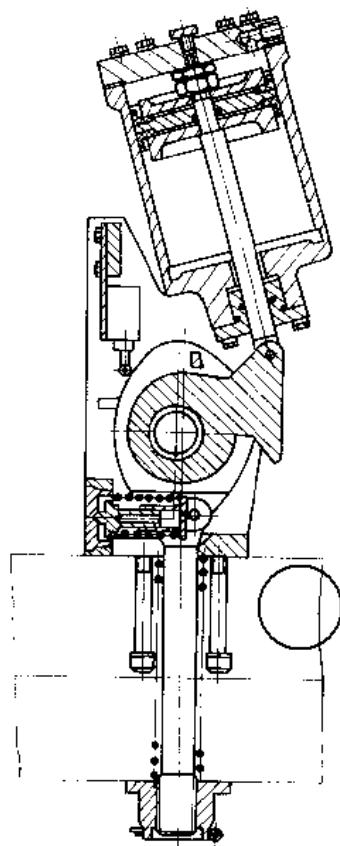


图 4-12-10 移动工作台

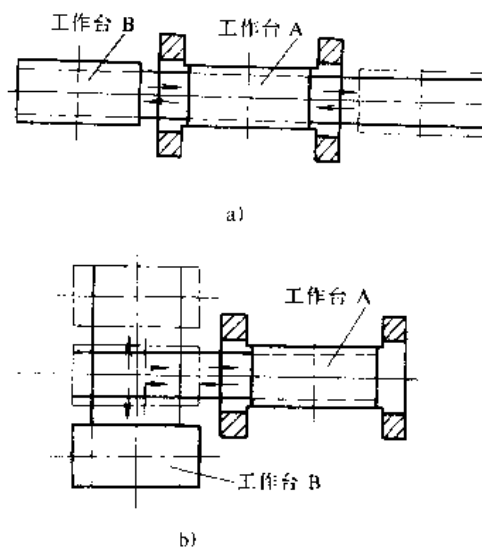


图 4-12-11 工作台移动的方式

a) 直线移动方式 b) 交叉移动方式

采用移动式工作台和模具快速夹紧机构(图4-12-12)可提高生产效率和减轻工人的劳动强度。在一台压力机上装备两个工作台,在使用一个工作台进行加



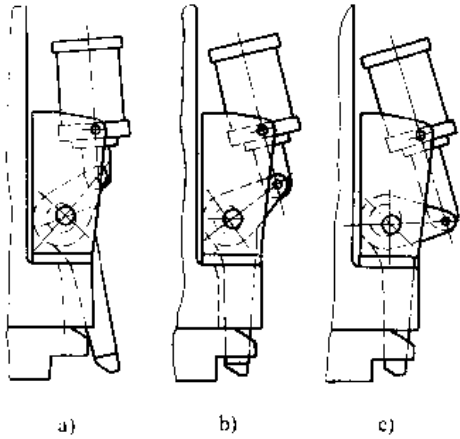


图 4-12-12 模具快速夹紧机构
a) 放松 b) 进入长槽内 c) 夹紧

工时,在另一个工作台上换上下一次要使用的模具。作业终了时,自动夹紧装置松开,上模脱离滑块落在下模上,自动移动到机架外面,然后,已经装好模具的另一工作台自动移入,利用模具自动夹紧装置将模具夹紧。

闭式单动压力机一般都设有气垫,主要用于拉深时压边。结构有纯气式和液压式两种。其导向有自身导向和工作台导向两种。有些气垫还带有锁紧装置和行程调节装置。气垫能力一般为压力机公称压力的1/6。

表 4-12-4 为闭式单点单动压力机的基本参数,表 4-12-5 为闭式双点单动压力机的基本参数,表 4-12-6 为闭式四点单动压力机的基本参数。

表 4-12-4 闭式单点单动压力机基本参数

基本参数	JC31-160	J31-250B	J31-315B	J31-400B	JB31-500	JA31-630B	J31-800B	J31-1000	J31-1250	J31-1600	J31-2000
公称压力(10kN)	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
公称压力行程(mm)	8	10.4	10.5	13.2	17	13	13	13	13	13	13
滑块行程(mm)	160	315	315	400	700	400	500	500	500	500	500
滑块行程次数(次/min)	32	20	20	20	12	12	10	10	10	8	8
最大装模高度(mm)	370	490	490	550	1000	700	700	850	830	950	950
装模高度调节量(mm)	120	200	200	250	200	250	315	400	250	400	400
导轨间距离(mm)	720	810	910	1060	1480	1480	1680	1680	1520	1520	1520
滑块底面前后尺寸(mm)	590	850	960	1000	1400	1400	1500	1500	1560	1700	1700
工作台垫板尺寸(前后×左右)(mm)	800×800	950×1000	1100×1100	1200×1240	1500×1700	1500×1700	1600×1900	1600×1900	1900×1900	1800×1800	1800×1800
主电机功率(kW)	17	30	30	40	55	55	75	100	100	100	100
气垫个数(个)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
气垫单个退出力/压紧力(10kN)	16	6.3/40	7.6/50	7/50	7/50	15/100	18/125	160	25/200	250	315
气垫行程(mm)	80	150	160	200	200	250	250	250	250	250	250
外形尺寸(前后×左右)(mm)	2380×1950	2262×2070	2530×2300	2400×2400	3040×4015	3040×4015	3247×4295	3247×4295	3445×4365	3445×4365	3445×4365
地面以上高度(mm)	4350	5660	5820	6130	8224	7294	7983	7983	8570	8570	8570
压力机整机质量(t)	16	30.5	35	47	87	84.8	108.5	108.5	142	142	142



表 4-12-5 闭式双点单动压力机基本参数

基本参数	J36-160B	J36-250B	J2-010D	JA36-400	J36-500	JB36-630	J36-800B	J36-1000	J36-1250	JB36-1600	J36-2000	J36-2500	J36-3150
公称压力 (10kN)	160	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
公称压力行程 (mm)	10.8	11	11.68	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
滑块行程 (mm)	315	400	550	500	500	500	500	630	500	630	500	500	300
滑块行程次数 (次/min)	20	17	10	14	12	10	10	10	10	10	8	8	8
最大装模高度 (mm)	670	590	1150	800	800	800	990	1250	950	1200	950	950	1100
装模高度调节量 (mm)	250	250	500	400	400	340	500	600	400	600	400	400	300
导轨间距离 (mm)	1820	2620	3490	2880	2930	3360	3780	4280	4280	5130	7280	7580	
滑块底面前后尺寸 (mm)	1050	1000	1250	1400	1500	1500	1550	1700	1700	2000	1700	1700	1700
工作台垫板尺寸 (前后×左右) (mm)	1250×2000	1250×2770	1400×3700	1500×2800	1600×3150	1600×3450	1800×4000	1800×4500	1800×4500	2000×5000	1800×7500	1800×7650	1800×5000
主电机功率 (kW)	30	30	40	55	55	55	90	110	110	132	155	155	165
气垫个数 (个)	2	3	3	1	3	3	3	5	5	3	7	6	无
气垫单个退出力/压紧力 (10kN)	2.5/16	2.2/17	20	80	33	6.67/40	13.3/50	40	50	80	55	55	
气垫行程 (mm)	150	200	250	250	250	240	250	315	250	200	250	290	
外形尺寸 (前后×左右) (mm)	2105×2970	2365×4140	2750×5760	3600×5245		2890×5720	2825×6073			5550×8440		4685×11030	5230×8200
地面上高度 (mm)	5010	5450	7570	6945		7300	7725			10160		9600	10630
压力机整机质量 (t)	43	49	99	93		142	185.4			477		648	

此为公司制作 请尊重作者版权



表 4-12-6 闭式四点单动压力机基本参数

基本参数	J39-630	J39-800	J39-1000	J39-1250
公称压力 (10kN)	630	800	1000	1250
公称压力行程 (mm)	13	13	13	13
滑块行程 (mm)	500	630	750	800
滑块行程次数 (次/min)	12	10~15	10	10
最大装模高度 (mm)	1100	1400	1400	1400
装模高度调节量 (mm)	400	500	600	600
立柱间距离 (mm)	4250	4250	4150	
滑块底面前后尺寸 (mm)	2000	2000	2300	2300
工作台垫板尺寸 (前后×左右) (mm)	2000×4000	2000×4000	2300×4100	2300×4600
主电机功率 (kW)	75	100	112	
气垫个数 (个)	3	3	3	
气垫单个退出力/压紧力 (10kN)	40	50/50	66.6	
气垫行程 (mm)	250	250	350	
外形尺寸 (前后×左右) (mm)	4600×6838	6150×4745	4070×6835	
地面以上高度 (mm)	8310	8790	9250	
压力机整机质量 (t)	220	272.7	296.7	

2.4 闭式拉深压力机

有双动、三动和单动；单点、双点和四点；以及上传动和下传动等形式。

这类压力机有两个上滑块：拉深用的内滑块和压边用的外滑块。滑块驱动型式见图 4-12-4。外滑块通常有四个加力点，调整作用于坯料周边的压边力。

闭式上传动双动双点压力机适用于大中型制件的深拉深（图 4-12-13）。闭式下传动的适用于中小制件的深拉深。表 4-12-7 为闭式双动压力机基本参数。

三动拉深压力机的结构和工作原理类同于双动压力机，仅在底座中增设一个与上滑块运动方向相反的下滑块，增加了使用灵活性，但结构较复杂。

双动、三动拉深压力机上滑块的内、外滑块运动曲线见图 4-12-14。

浅拉深可在单动压力机上进行。单动快速拉深压力机采用多连杆机构实现滑块的快速下降—慢速拉深—快速回程。拉深时由气垫压边。这种压力机结构简单，生产率高，但不适合于深拉深。

由于大型零件冲压自动化的发展，双动压力机为了和单动压力机配套成线，必须提高每分钟行程次数。由于板材拉深性能和模具制造水平的提高，极限拉深速度已有大幅度的提高。加之各种变速传动机构的改进，双动压力机的行程次数已有很大的增加，提高行程次数的基本方法有二：其一是提高滑块行程次数而无需变速传动机构；其二是采用各种变速传动机构以提高行程次数，即缩短空程和回程时间，在拉深阶段速度变慢的前提下，提高行程次数。

双动拉深压力机的变速机构有下列形式：

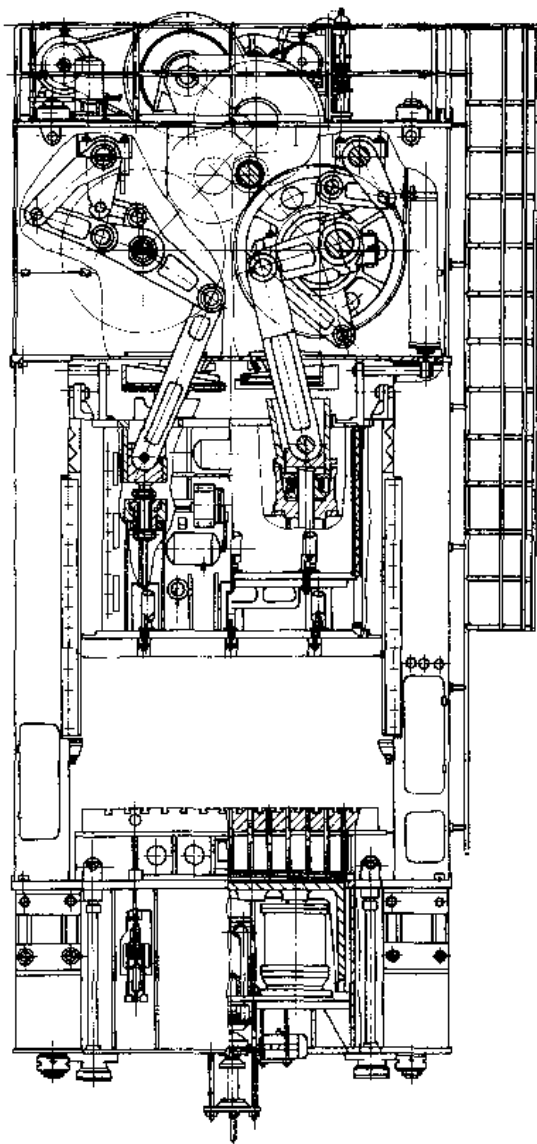


图 4-12-13 闭式上传动双动双点压力机



表 4-12-7 闭式双动压力机基本参数

基本参数		双 点				四 点		
		D2-400-2500 2750×1800	D2-700-400 3600×2180	D2-700-500 3050×2200	D2-1000-600 2500×1500	D4-600-400 3750×2200	D4-800-500 3750×2200	D4-900-600 4500×2500
公称压力 (10kN)	内滑块	400	630	700	1000	600	800	900
	外滑块	250	370	500	600	400	500	600
公称压力行程 (mm)	内滑块	12	12	12	12	12.7	12.7	12
	外滑块	6.5	6	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
滑块行程 (mm)	内滑块	700	760	860	660	950	1000	1200
	外滑块	500	510	600	500	600	900	900
滑块行程次数 (次/min)		10~20	10~20	10~20	15	10	7~14	7.5~15
最大装模高度 (mm)	内滑块	2000	2100	2125	1500	1425	1800	2550
	外滑块	1850	2000	1950	1250	1225	1650	2450
装模高度调节 量 (mm)	内滑块	400	410			250	500	600
	外滑块	400	410	460	250	250	500	600
导轨间距离 (mm)		2830	3740	3124	2580	3830	4040	4580
滑块底面尺寸 (左右×前后) (mm)	内滑块	2310×1350	3200×1730	2600×1750	1200×1200	3150×1700	3150×1700	3910×2060
	外滑块	2750×1800	3600×2180	3050×2200	2500×1500	3750×2200	3750×2200	4500×2500
工作台垫板尺寸 (左右× 前后) (mm)		2750×1800	3600×2180	3048×2134	2500×1500	3750×2200	3750×2200	4500×2500
工作台垫板厚度 (mm)		200	250	250	250	235	430	250
移动工作台高度 (mm)		550				550	500	550
最大拉深深度 (mm)		200	225	300	216	300	400	400
主机功率 (kW)		160 调速	185 调速	185	185	95	115	395 调速
外形尺寸 (左右×前后) (mm)		5460×3124	7100×3800	5461×3530	4826×3800	7295×6550	7905×5500	9042×5360
地面以上高度 (mm)		8738	8250	8890	7315	9300	10235	10540
压力机整机质量 (t)		160	217.7	188	192	265	320	442

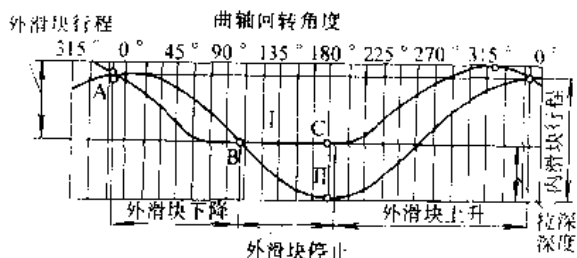


图 4-12-14 内、外滑块运动曲线

I—外滑块 II—内滑块

A—滑块停止点 B—拉深开始点 C—拉深结束点

(1) 双离合式。在一个行程内高低速离合器交替动作，产生两个速度。有采用一个电机和两个飞轮，每一飞轮内部各装一个离合器和采用两个电机、两个飞轮两种结构形式。双离合的优点是结构简单，易于维修，便于制造。缺点是不够紧凑，启动或换速时能量损失大。双离合结构能提高行程次数 50%~60%。

(2) 双速离合器式。即一个离合器产生两种速度。有行星齿轮式、套轴式等多种结构。双速离合器的缺点为：每次行程中离合器需换接三次，能量损失和摩擦片耗损较多；每次换接都要一定时间，影响行程次数的提高。



(3) 无级变速机构。有直流电机变速(能调节每分钟的转数,又能调节一个工作循环中不同角度范围的转速,不需要离合器)、交流电机变速、机械变速等结构形式。

(4) 多连杆变速机构。使用较多,结构形式也较多。其主要优点为:机构本身保证滑块在一次循环中先后以三种不同速度运行,不必多次换接离合器或用其他方法改变主轴转速;拉深开始时的速度是一般曲柄压力机的1/3,是双离合器压力机的1/2,工件不易破裂,模具和拉深垫的应力较小,噪声也较低;传动机械不承受冲击和振动载荷。其缺点为:结构较复杂,制造精度不易保证;环节较多,占用空间大,摩擦损耗大;变速点固定。

为满足高强度合金钢板拉深的需要,外滑块压边力和内滑块压力之比需提高到1:1。

在外滑块的四个加力点上各装上缓冲装置(图4-12-15),可保证在拉深过程中压边力稳定,保持滑块底面与工作台面在运动过程中平行,并可通过调整减压阀分别调节四角的压力。当因双料或其他故障发生超载,增压缸排油量超过定值时,缓冲装置还能使压力机停车。

闭式拉深压力机一般还装置有吨位指示器、轴承温度监控仪、行程显示、光电人身保护等装置。

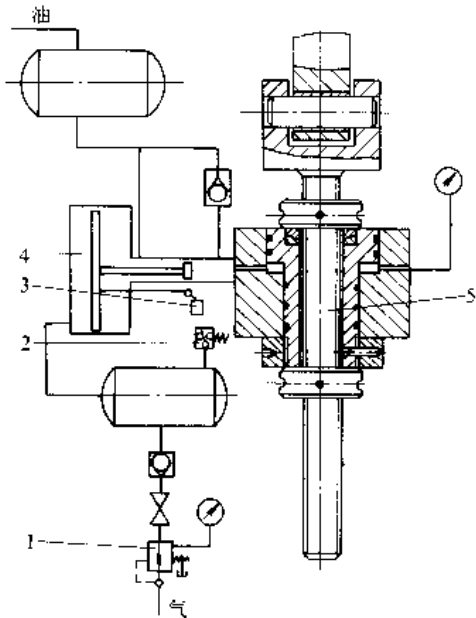


图 4-12-15 外滑块缓冲装置

- 1—减压阀 2—压力继电器 3—限位开关
- 4—增压缸 5—调节螺杆

2.5 通用自动压力机

2.5.1 上(下)传动自动压力机

主要用于冲孔、落料等工序。

上(下)传动压力机可分为低速和高速两类。低速压力机的行程次数和具有相同公称压力和滑块行程长度的普通压力机的基本相同。高速自动压力机的行程次数则有明显的提高,如200kN高速上传动自动压力机达800次/min。

低速自动压力机多数是上传动的,高速的上传动和下传动都被广泛采用。下传动压力机的重心低,振动小,稳定性好。上传动压力机的运动部分重量较小,有利于提高行程次数,而且由于力的传递距离短,受力情况较好。对压力机的运动部分应采取平衡措施,以减少振动。行程次数在500次/min以下时,一般采用平衡缸,曲柄上加平衡块;在500次/min以上时设副滑块。

低速自动压力机以卷料或短料为坯料,采用夹持送料机构,有时还带贮件、接件等辅助装置。高速上传动自动压力机采用辊式或夹持送料,大多以卷料为坯料,带卷料架等辅助装置。

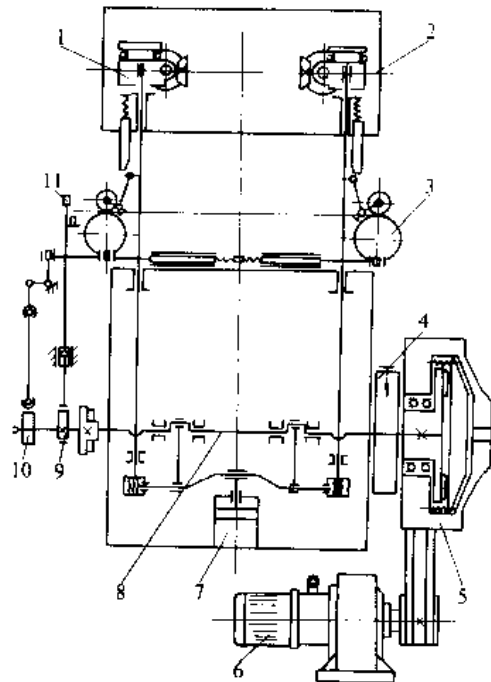


图 4-12-16 下传动自动压力机传动系统示意图

- 1—滑块升降调节机构 2—滑块 3—送料辊
- 4—制动器 5—飞轮离合器 6—主电动机
- 7—平衡气缸 8—双拐曲轴 9—废料剪切凸轮
- 10—摆杆机构 11—废料剪切机构



高速上传动自动压力机的公称压力一般在4000kN以内,滑块行程次数从200kN(滑块行程长度8mm)的1800次/min到4000kN(滑块行程长度35mm)的250次/min左右。

高速下传动自动压力机一般带辊式送料装置,以卷料为坯料,配以卷料架等辅助装置。压力机的公称压力大多数在100kN到1000kN范围内,滑块行程次数从100kN(滑块行程长度25mm)的450次/min左右到1000kN(滑块行程长度40mm)的180次/min左右。

图4-12-16为下传动自动压力机传动系统示意图。滑块2的上下动作由主电机6通过皮带轮、飞轮、曲轴和连杆驱动。送料辊3由曲轴通过摆杆机构10带动。废料剪切机构11由曲轴通过凸轮9带动。曲轴上还装有凸轮,操纵无触点行程开关。调节凸轮的位置,可以控制滑块停在上极点。在底座中部,装有平衡缸7,平衡滑块和上模。

2.5.2 多工位自动压力机

多工位自动压力机(图4-12-17)能按一定顺序自

动完成落料、冲孔、拉深、弯曲、切边、整形等多道工序。每一行程可生产一个制品。其结构与闭式双点压力机相似,但装有自动送料机构和工位间传送装置。按工件输送方式有直线输送和纵横输送(图4-12-18)两类。固定在夹板1上的下爪2将工件夹紧,移动一个步距;卡爪2放松,工件留在新的工位上,夹板1连同卡爪2退至原来位置,完成一个循环。传送机构与主轴和主滑块机械连接,在任何速度下都能保持同步操作。主滑块和传送装置的运动曲线见图4-12-19。

以TS系列多工位自动压力机为例,介绍其结构特点:

(1)主传动采用三级传动。第一级为M型皮带传动,将运动传到离合器上,再经一级人字齿轮副和一级直齿轮副(偏心齿轮)将运动传到连杆,使滑块作往复运动。传动轴多为前后方向布置。离合器-制动器采用低速小惯量结构。

(2)送料机构采用夹板送料装置。长夹板只作纵向运动,而夹紧与松开运动则由长夹板上的夹钳来完成。这种装置更换制品、调整夹钳方便,夹紧工件安全可

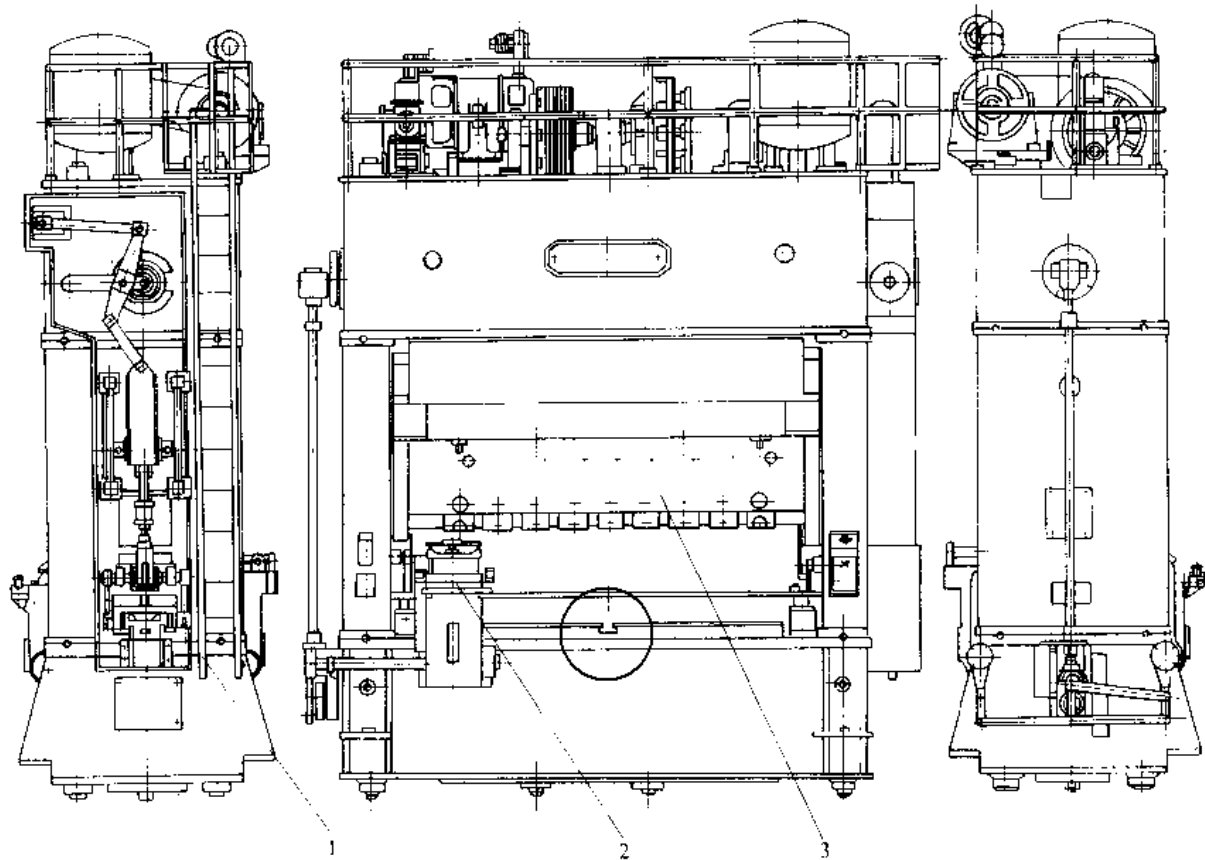


图4-12-17 多工位自动压力机

1—工件自动输送装置 2—原材料自动进给装置 3—滑块



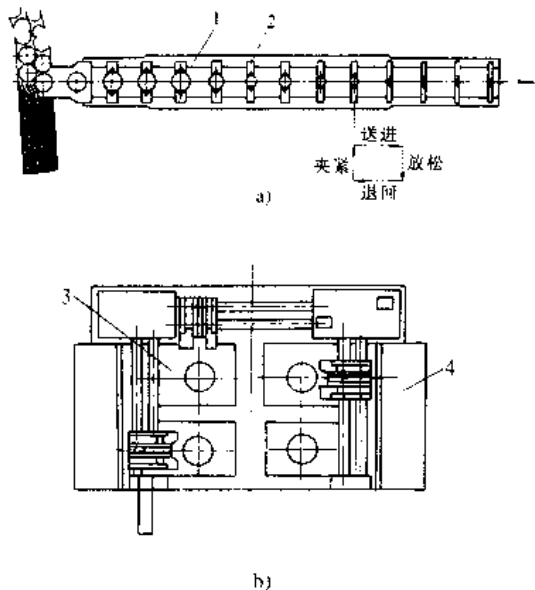


图 4-12-18 工件输送方式示意图

a) 直线方向输送 b) 纵横输送

1—夹板 2—卡爪 3—模具 4—立柱

靠。为适应复杂拉深件的需要,还可采用带提升运动的三坐标送料装置,提升高度可达125mm;也可采用电子三坐标送料装置,使复杂拉深件的生产效率提高一倍。

(3) 滑块由滑块体、连接器、超载保护装置、液压夹紧装置、装模高度指示器、气动打料装置、小滑块等组成。每个工位均有一个小滑块。小滑块为楔式结构,便于调整和维修。小滑块为液压锁紧,动作可靠。大滑块调整有数字盘显示;小滑块可作微调,以满足模具和各工位装模高度的需要。

多工位自动压力机还设置有监测中心,对所有功

能进行电子跟踪监视。万一发生故障可令压力机自动停车,并可通过图解显示板上的信号灯找出故障的准确部位和原因。

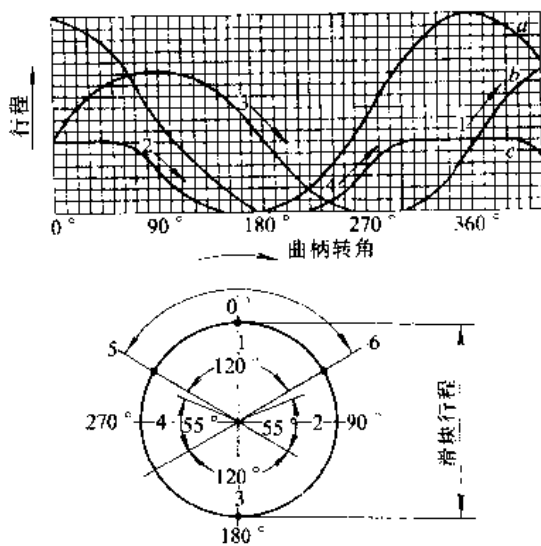


图 4-12-19 主滑块和传动装置运动曲线

a—滑块运动曲线 b—传动装置传动运动曲线

c—传动装置夹紧运动曲线

1—前进 2—张开 3—退回 4—夹紧

5—送料开始 6—送料结束

一台多工位自动压力机能代替多台单工位压力机,并且消除了工序间半成品堆储和中间处理。与多台普通压力机组成的生产线相比,具有自动化程度高、占地面积小、能源消耗低、生产效率高、材料利用率高等优点,对大批量生产非常适用,有取代由数台压力机组成的自动线的趋势。

表 4-12-8 为多工位自动压力机基本参数。

表 4-12-8 多工位自动压力机基本参数

基本参数	TS2-250 2880×800	TS2-100 4200×1050	TS2-600 1800×1000	TS2-800 4000×1500	TS2-1200 6100×1400	TS2-1800 7900×1400	TS2-3500 7000×1500
公称压力 (10kN)	250	400	600	800	1200	1800	3500
公称压力行程 (mm)	6.5	12	12	12	12	12	12
滑块行程 (mm)	250	300	250	350	600	400	460
滑块行程次数 (次/min)	30	15~30	30	10~30	10~20	15~25	15~25
工位数 (个)	8	12	4	8	10	13	11
工位间距离 (mm)	360	350	300	500	600	600	600
最大装模高度 (mm)	455	750	900	1170	最大封闭 高度 1950	1000	1180
装模高度调节量 (mm)	5~50	150	200	250	200	300	200



(续)

基本参数	TS2-250 2880×300	TS2-100 4200×1050	TS2-600 1800×1000	TS2-800 4000×1500	TS2-1200 6100×1400	TS2-1800 7900×1400	TS2-3500 7000×1500
导轨间距离 (mm)	2950	4280	1860	4280	6180	8140	7080
滑块底面尺寸 (左右×前后) (mm)	2880×800	4200×1050	1800×1000	4000×1500	6100×1400	7900×1400	7000×1500
工作台垫板尺寸 (左右×前后) (mm)	2800×800	4200×1050	1800×1000	4000×1500	6100×1400	7900×1400	7000×1500
工作台垫板厚度 (mm)	150	200	200	430	移动台板 700	530	移动台板 670
主电机功率 (kW)	40	37 调速	45	132 调速	280 调速	336 调速	746 调速
外形尺寸 (mm)	6463×3960	8026×3378	4830×3300	10060×5080	11800×4700	12800×3300	16100×6900
地面以上高度 (mm)	5510	5868	7620	9145	9200	9450	8900
压力机整机质量 (t)	78	92	127	207	397	453.6	725.7

2.6 精密冲裁压力机

精密冲裁压力机能冲裁出具有光洁平直剪切面 (表面粗糙度 $R_a 3.6 \sim 0.2 \mu m$) 的精密冲裁件, 也可以进行冲裁-弯曲、冲裁-挤压、冲裁-拉深等复合工序。有机械传动和液压传动, 上传动和下传动, 立式和卧式等形式。

精冲压力机与普通压力机不同之处为:

(1) 为适应精冲工艺的需要, 除主滑块外, 还有压边和反压装置, 其压力可分别调整。

(2) 为使精冲凸凹模在整个轮廓都保持均匀的很小的间隙, 几乎不允许滑块有横向移动。在偏心负载作用下, 也要保持模具压紧面的平行, 机身一般采用四柱框架结构, 刚性好, 精度高。滑块导向采用有预应力的滚动导轨。总压力 2500kN 以下的精冲压力机一般采用整体铸造机身, 大型精冲压力机则采用焊接结构。为保证刚性, 机身的开口一般都比较小。

(3) 精冲冲裁速度为 3~15mm/s, 比普通压力机的低 1/3~1/2, 但空程和回程速度快 (图 4-12-20)。

(4) 为避免精冲完毕后凸模进入凹模, 以保证制件质量和正常的模具寿命。精冲压力机除了有较高的封

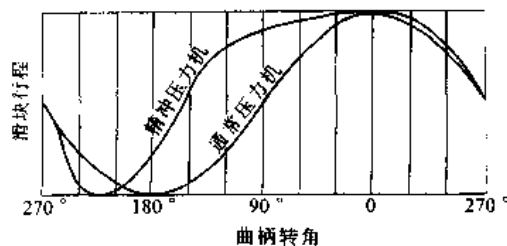


图 4-12-20 精冲压力机滑块运动曲线

闭高度重复精度之外, 还在监控上保证做到无料不冲。有封闭高度调节机构, 调节精度 $\pm 0.01mm$ 。

机械传动精冲压力机 (图 4-12-21) 由无级调速电机、皮带轮、离合器、蜗杆与齿轮副带动偏心轴转动, 然后通过一副对称布置的双肘杆机构 2 驱动滑块 3。为使上止点位置准确, 消除各连接环节的间隙, 都采用下传动结构。压边和反压装置分别由压边柱塞 6 和反压柱塞 10 液压驱动。

精冲液压机结构如图 4-12-22 所示。冲裁力、压边力和反压力由三个单独可调的液压系统供给。采用电液伺服阀, 通过轴向柱塞泵和变量机构完成快速闭合、低速冲裁和快速回程的工作循环。液压式精冲压力机基本参数见表 4-12-9。

表 4-12-9 液压式精冲压力机基本参数

基本参数	Y26-100	Y26-630
总力 (10kN)	100	630
压边力 (10kN)	0~35	45~300
反压力 (10kN)	0~15	20~140
行程次数 (次/min)	最大 30	5~24
工作行程 (mm)	最大 50	70~150
冲裁速度 (mm/s)	6~14	3~8
闭合高度 (mm)	170~235	380~450
上工作台尺寸 (mm)	420×420	$\phi 1020$
下工作台尺寸 (mm)	400×400	800×800
立柱前后距离 (mm)	220	500
立柱左右距离 (mm)	450	920
材料最大厚度 (mm)	8	16
材料最大宽度 (mm)	150	380
送料最大长度 (mm)	180	2×200
主电机功率 (kW)	22	79
压力机质量 (t)	10	30



机械传动精冲压力机的可靠性高,维护简单,但结构复杂、滑块运动中有侧向力,随着运动副的磨损,滑块上止点位置不稳定,导向精度变坏,故仅用于中小型压力机。液压传动精冲压力机结构简单,滑块没有侧向力,导向精度稳定,但维护较复杂。一般总压力2500kN以上的精冲压力机采用液压传动。

精冲模具具有活动凸模固定压板式和固定凸模活动压板式两种。为适应这两种模具,精冲压力机可采用复合式结构的工作台板。许多精冲压力机还设有校平、自动送料、带料润滑、废料切断等辅助装置。

新一代的液压精冲压力机采用计算机数字控制(CNC)。其控制内容为:滑块、压边和反压装置的运动曲线(行程、速度和力);用于工件传输和废料排除的喷嘴,传输器和清理运动,进给功能,包括步距、速度、切断和带料终端。除此以外,CNC系统采用故障诊断和滑块跟踪测量来监视压力机。可通过显示屏调出数据。由于提高了操作安全性,保证了模具的最佳工作状态,并减少了停机、起动时间,CNC系统导致生产率提高。

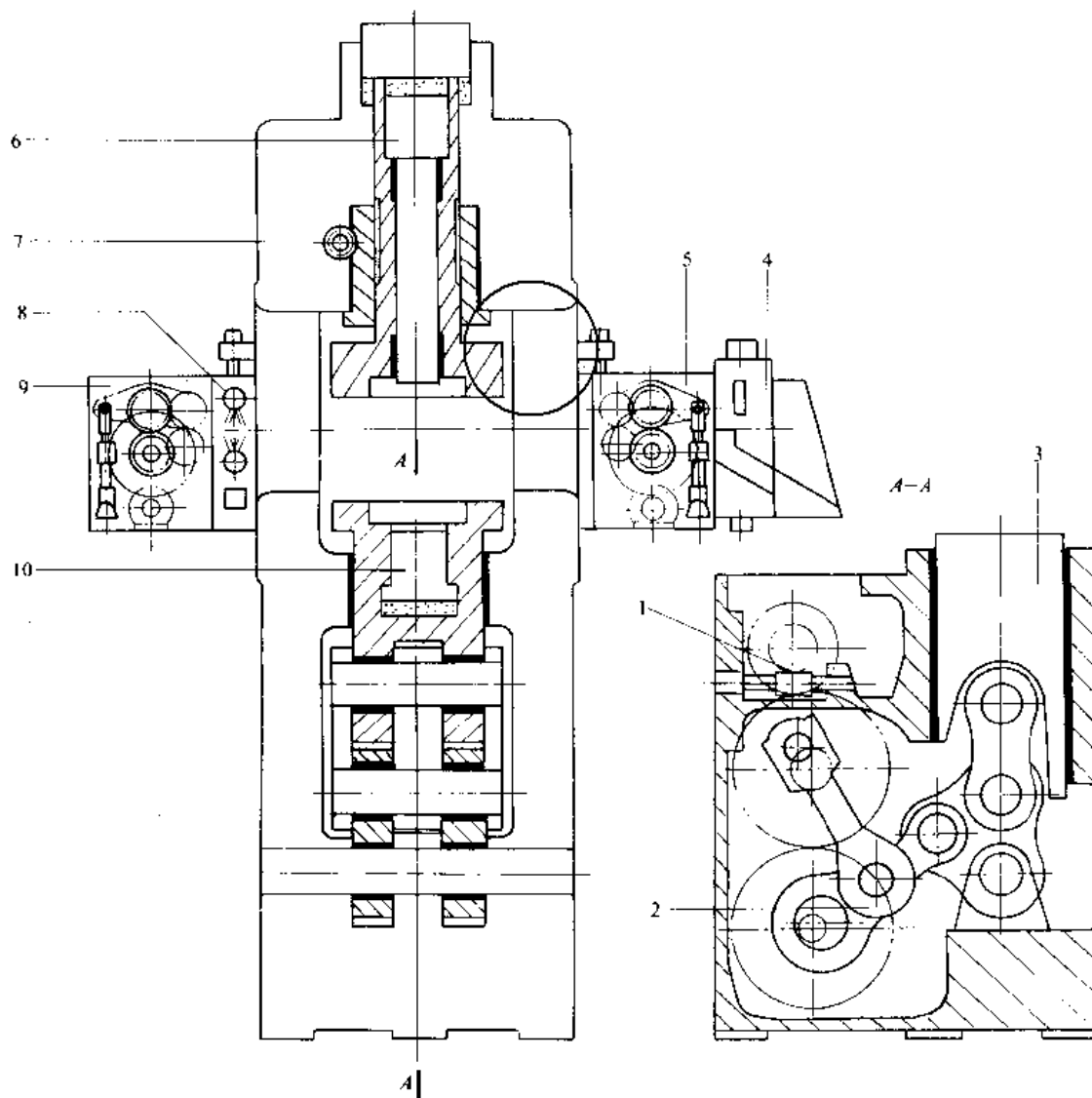


图4-12-21 机械传动精冲压力机

- 1—传动装置 2—双肘杆 3—滑块 4—废料切刀 5—带余料排出器的出料装置
6—压切柱塞 7—模具高度调节器 8—喷油器 9—进料装置 10—反压柱塞



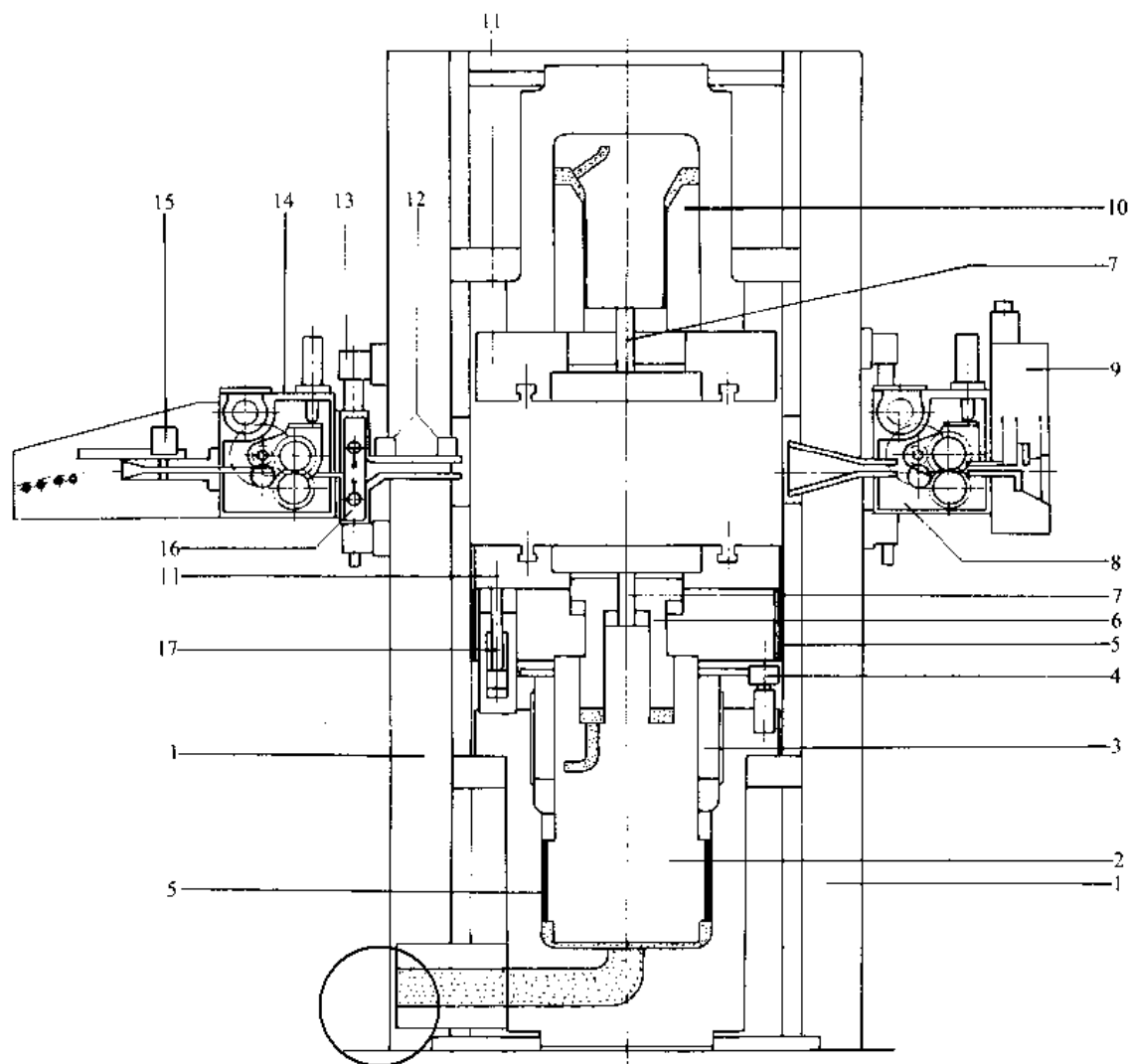


图 4-12-22 精冲液压机

- 1—四柱机身 2—冲裁缸 3—滑块固定档块 4—伺服电机 5—滑块导向 6—反压缸 7—中心支柱
 8—出料装置 9—废料切刀 10—压料缸 11—工作台 12—初档块 13—进料高度调整器
 14—进料装置 15—带料端控制器 16—带料喷油器 17—快速闭合缸

2.7 冲压液压机

分薄板冲压液压机与厚板冲压液压机。有单动式和双动式。其机架结构有四种：

(1) C 型单臂式。为用铸钢或钢板焊接的整体箱形结构。也有用拉杆预紧的组合结构。由于操作者可三面接近工作台，操作和维修都比较方便，但刚性较差。

(2) 四柱式。四根立柱既承受负载又是导轨。结构简单，刚性稍差，导向间隙调整不便，精度较低。主要用于厚板冲压液压机。

(3) 双柱整体焊接框架式。用钢板焊接成一个双柱封闭框架。结构简单，刚性好，重量轻；导轨间隙可调整，精度高。但单重及尺寸较大，加工不方便。多用于

中小型冲压液压机。

(4) 双柱或四柱拉杆组合式。机架由上横梁、底座及两个或四个立柱组成，并用四根拉杆预紧连接，单件重量和尺寸较小，制造方便。

2.7.1 C 型单臂式液压机

单臂液压机（图 4-12-23）一般有 1~2 个垂直工作缸和 1 个水平工作缸，可以从两个方向进行冲压。两个垂直缸可以同时或分别工作。主要用于中小制件的冷热压弯、校正、折边及成形。如压机仅用于校正和简单成形，可以取消水平工作缸，使结构简单、紧凑。有的 C 型单臂液压机还装有顶出器，供顶出制件或翻边之用。单臂板料冲压液压机技术规格见表 4-12-10。



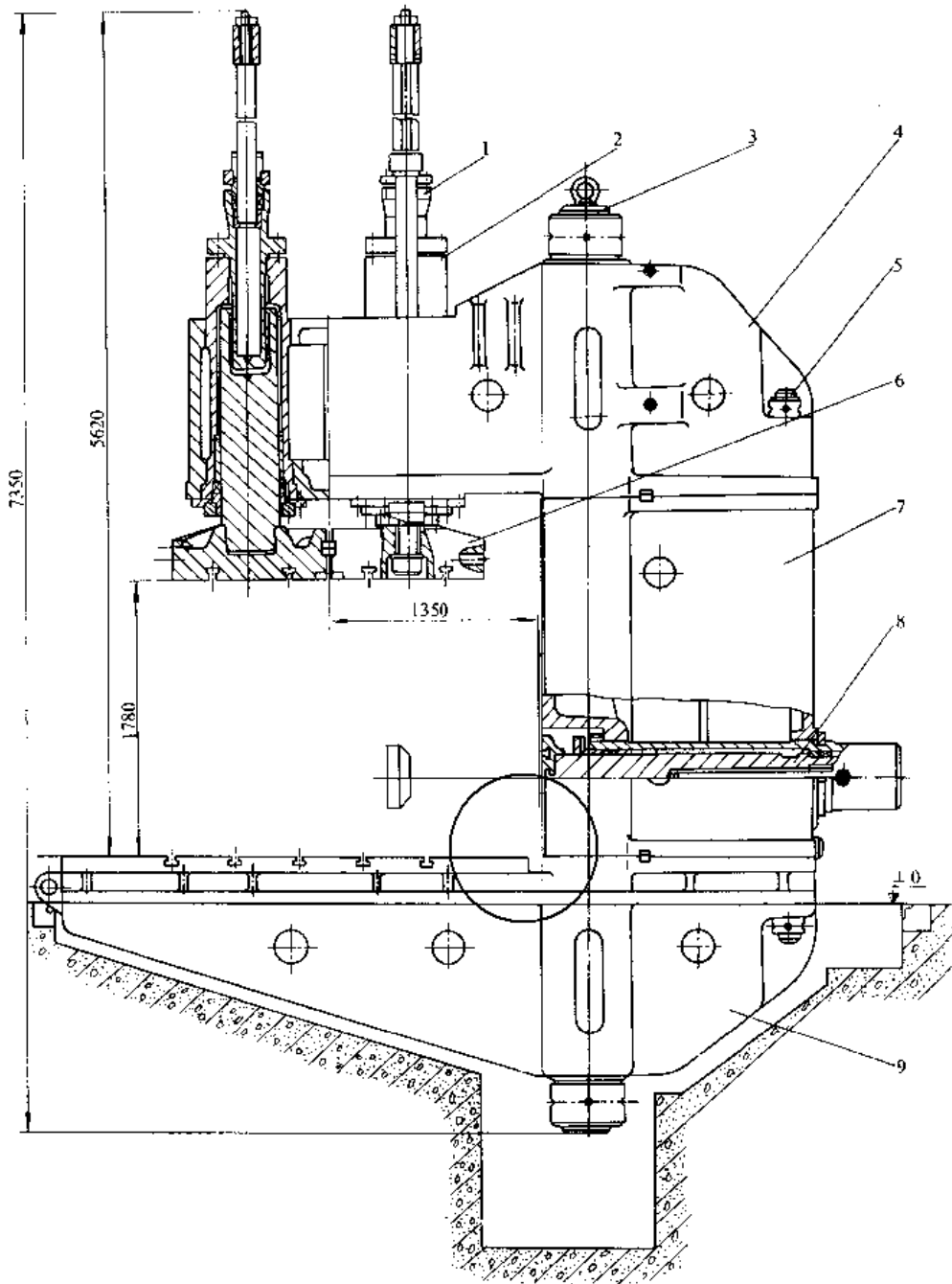


图 4-12-23 5000kN 单臂冲压液压机

1—回程缸 2—垂直工作缸 3—大拉杆 4—上横梁 5—小拉杆 6—活动横梁 7—机架 8—工作台 9—下横梁

表 4-12-10 单臂板料冲压液压机技术规格

主要参数	吨位				
	160	315	500	800	1250
公称压力 (10kN)	160	315	500	800	1250
工作行程 (mm)	600	800	1000	1200	1400
压头中心至喉口距离 (喉深) (mm)	1000	1300	1600	2000	2200
压头下平面至工作台面距离 (开启高度) (mm)	1100	1400	1800	2400	2600
压头尺寸 (左右×前后) (mm)	900×700	1200×1100	1500×1300	1800×1600	2200×2000
工作台尺寸 (左右×前后) (mm)	1200×1200	1600×1800	2000×2200	2600×3600	3000×3800



(续)

主要参数	吨位				
	160	315	500	800	1250
系统工作压力 (MPa)	20				25
最大工作速度 (mm/s)	9~12				
回程速度 (mm/s)	≈80				
空程速度 (mm/s)	≈100				
水平缸公称压力 (10kN)		75	100	160	250
水平缸工作行程 (mm)		800	800	1000	1200

2.7.2 单动冲压液压机

单动冲压液压机只有 1 个滑块·活动横梁。单动
 厚板冲压液压机 (图 4·12-24) 主要用于厚板弯曲、校

正及拉深。液压机一般为四立柱上传动式,台面尺寸较大时也采用三柱结构。其 3 个横梁除采用铸钢外,有时也用焊接框架结构。一般有 1 个或 3 个工作缸。三缸液压机可以进行压力分级。有的液压机还设有移动工作台和顶出器。单动冲压液压机主要用于薄板拉深、成形及弯曲等。装有液压缓冲器的液压机还可用于冲裁。通用结构形式的单动薄板冲压液压机 (图 4·12-25) 有 1 个滑块,工作台下装有液压垫。拉深时凸模固定在工作

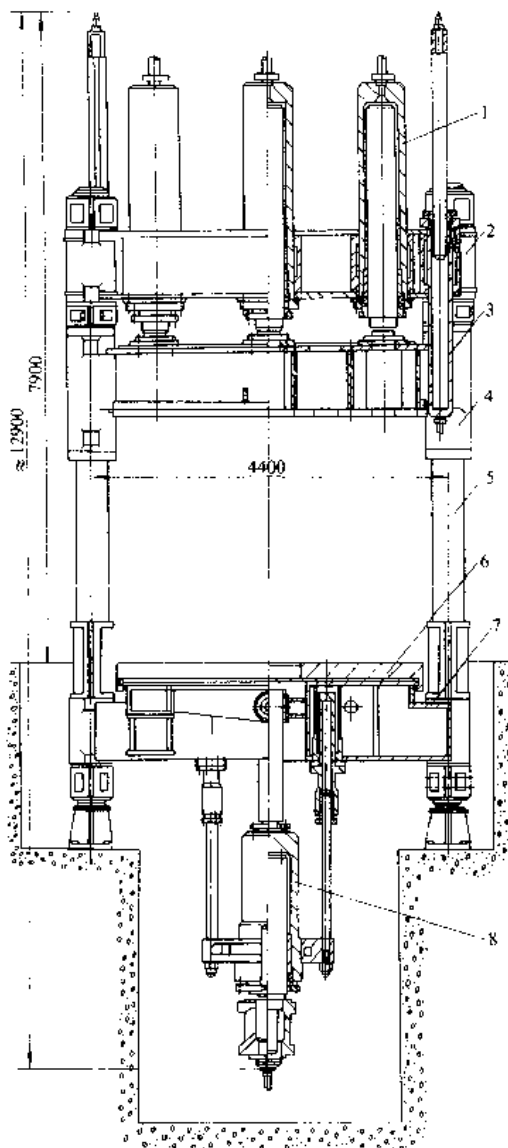


图 4·12-24 8000kN 单动厚板冲压液压机

- 1—工作缸 2—上横梁 3—回程缸 4—活动横梁
- 5—立柱 6—移动工作台 7—下横梁 8—顶出器

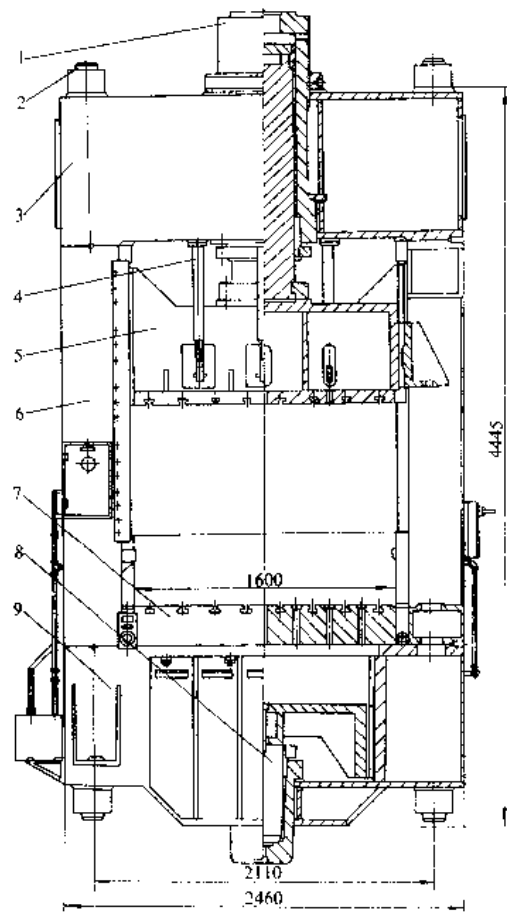


图 4·12-25 3150kN 单动薄板冲压液压机

- 1—工作缸 2—拉杆 3—上横梁 4—顶料装置
- 5—滑块 (活动横梁) 6—框架 7—工作台
- 8—液压垫 9—下横梁

冲压设备设计手册



台上,凹模固定在滑块上。液压垫通过顶杆压紧压边圈,并随滑块向下移动。拉深后液压垫也起顶出工件的作用。拉深时液压垫的压力抵消了滑块的一部分压力。

2-7-3 双动冲压液压机

双动冲压液压机有1个主滑块和1个压边滑块。压边力调整容易,生产效率高。主滑块与压边滑块也可以联动(压力叠加),当作单动液压机使用。双动厚板冲压液压机通常还有移动式工作台和顶出器(图4-12-26)。双动薄板冲压液压机在工作台下设有液压垫(图

4-12-27)。

双动冲压液压机两个滑块的布置有两种结构形式:

(1) 内外滑块式(图4-12-28)。主滑块在压边滑块的导轨内移动,压边滑块沿机架的导轨移动。两滑块可分别动作,也可通过锁紧缸锁紧成一个滑块。由于两滑块高度重合,机器高度可以降低。但缸数较多,结构较复杂,主滑块的导向精度较差。

(2) 平行滑块式(或称上下滑块式)。主滑块位于压边滑块的上面(图4-12-29);有两滑块都沿机架的导轨移动和主滑块在压边滑块的导轨内移动两种类型。压边滑块通过4个螺杆吊挂在主滑块下面,回程时靠主滑块带上去,不设置单独的回程缸。若把吊挂螺杆

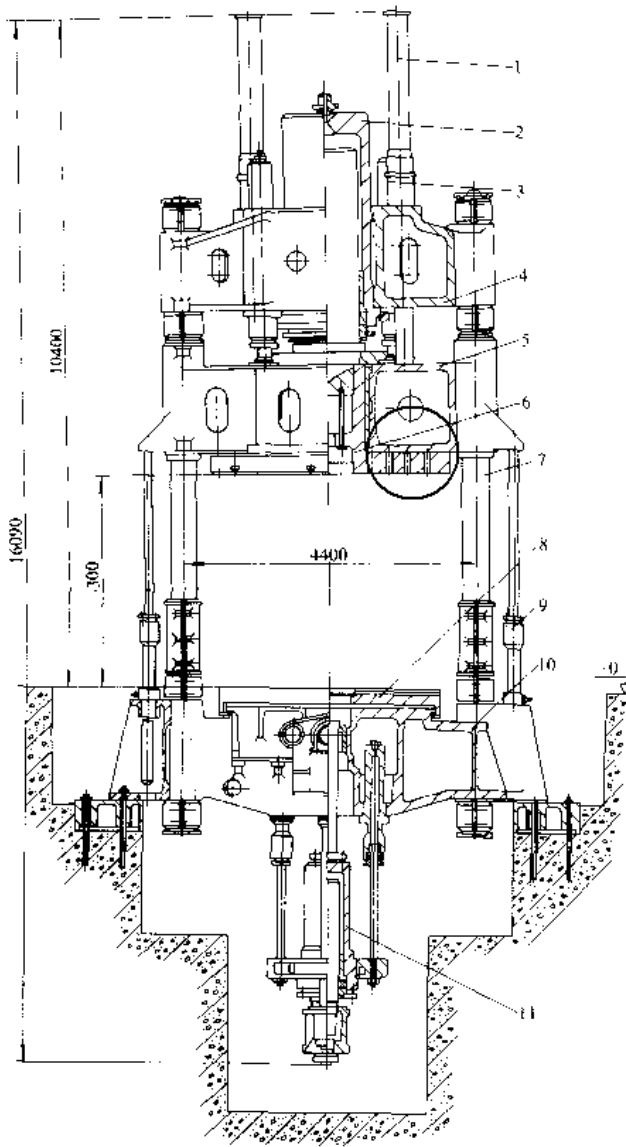


图4-12-26 15000/20000kN 双动厚板冲压液压机
1—主滑块回程缸 2—主工作缸 3—压边工作缸
4—上横梁 5—压边滑块 6—主滑块 7—立柱
8—移动式工作台 9—压边滑块回程缸
10—下横梁 11—顶出器

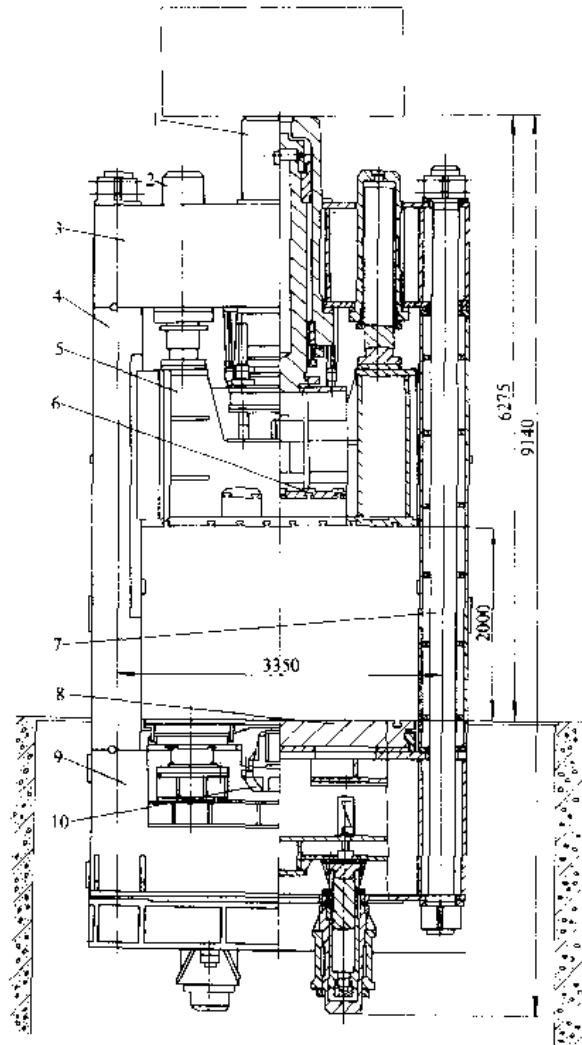


图4-12-27 6300/12500kN 双动薄板冲压液压机
1—主工作缸 2—压边工作缸 3—上横梁 4—框
架 5—压边滑块 6—主滑块 7—拉杆 8—移
动工作台 9—下横梁 10—液压垫

1

二



的螺帽拧紧,两滑块就成为 1 个单动的滑块。当两滑块的工作缸同时进入高压液体时,压力可叠加。压边滑块中间开有大孔,供主滑块上的凸模穿过。这种结构缸数少、较简单。如两滑块都沿机架的导轨移动,则导向精

度较高。但液压机的高度较大,拉深行程较短。

还有主滑块位于压边滑块下面的形式(图 4-12-30):两滑块都沿机架导轨移动和压边滑块不沿机架导轨移动两种类型。压边滑块中间开有大孔,主滑块工作缸柱塞从中穿过。压边滑块没有单独的回程缸,靠主滑块回程时带上去。单动时两滑块不需要锁紧装置,只要两滑块的工作缸同时进入高压液体即可叠加压力。由于主滑块沿机架的导轨移动,导向精度高,结构简单,维护、调整比较方便。但液压机的高度较大。

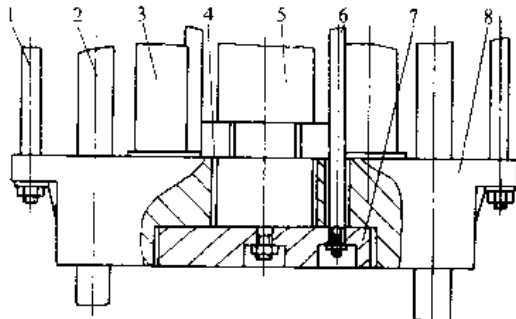


图 4-12-28 内外滑块式结构示意图

- 1 压边滑块回程拉杆 2—立柱 3—压边缸柱塞
4—锁紧块 5—主缸柱塞 6—主滑块回程拉杆
7 主滑块 8—压边滑块

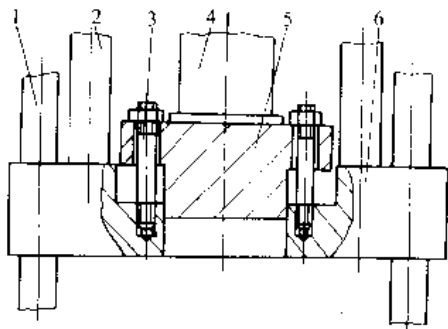


图 4-12-29 主滑块位于压边滑块上面的结构示意图

- 1—立柱 2—压边缸柱塞 3—压边滑块回程拉杆
4—主缸柱塞 5—主滑块 6—压边滑块

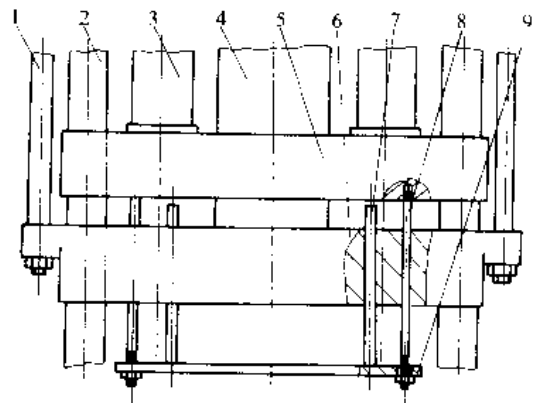


图 4-12-30 主滑块位于压边滑块下面的结构示意图

- 1—主滑块回程拉杆 2—立柱 3—压边缸柱塞
4—主缸柱塞 5—压边滑块 6—主滑块
7—压边杆 8—压边圈拉杆 9—压边圈

双动薄板冲压液压机的压边滑块通常为 4 角 4 个压边缸。台面尺寸较大时也采用 6 个压边缸。每个压边缸的压力可分别调整,以满足非对称制件拉深工艺的要求。

双动厚板冲压液压机技术规格见表 4-12-11。

表 4-12-11 双动厚板冲压液压机技术规格

参 数	500/750 油压机	800/1200 水压机	1600/2200 水压机	3150/4150 水压机
工作液体压力 (MPa)	20	20	20	32
开启高度 (mm)	2400	3300	4000	4500
立柱间距 (mm)	2500/1600	4400/2200	4800/2400	6000/3200
工作行程 (mm)	1400	2000	2500	3000
主工作缸压力 (10kN)	500	800	1600	3150
主滑块尺寸 (mm)	φ1100	φ2200	φ2600	φ2900
主滑块提升力 (10kN)	2×45	2×75	2×90	2×240
主滑块工作速度 (mm/s)	30	50~75	50~75	50~75
压边工作缸最大压力 (10kN)	4×63	4×100	4×150	4×250
压边滑块尺寸 (mm)	φ2000	φ3800	φ4000	φ4800
压边滑块提升力 (10kN)	2×63	2×75	2×90	2×250
顶出器顶出力 (10kN)	200	270	340	500
顶出器行程和伸出台面尺寸 (mm)	800/500	1000/600	1300/750	1500/1000
顶出器升降速度 (mm/s)	40/250	150~200	15~200	15~200
工作台面尺寸 (mm)	2000×2000	3800×3800	4100×4100	5000×5000
工作台行程 (mm)	2000	3000	3500	4500
允许偏心 (mm)	100	150	150	200



3 卷板机

3.1 型式与特点

3.1.1 卷板机分类 (表 4-12-12)

表 4-12-12 卷板机分类

分类方法	卷板机型式	
按辊筒方位	立式	
	卧式	
按上辊受力类型	闭式 (上辊有中部托辊)	
	开式 (上辊无中部托辊)	有反压装置 无反压装置
按辊筒数目及布置形式	四 辊	
	三 辊	对称式 不对称式
按辊位调节方式	上调式	垂直上调式 (机械或液压调节)
		横竖上调式 (机械或液压调节)
	下调式	不对称下调式 (机械或液压调节)
		对称下调式 (含垂直下调式) (液压调节)
		水平下调式 (液压调节)

3.1.2 卷板机主要型式与特点

1. 对称三辊式 (图 4-12-31) 结构简单紧凑, 重量轻, 易于制造、维修, 投资少, 两侧辊可以作得很近, 成形较准确, 但剩余直边大, 一般对称三辊机减小剩余直边比较麻烦, 仅适用于不要求弯边的卷板工作; 要求弯边的工作可用带弯边垫板的对称式或配预弯设备。

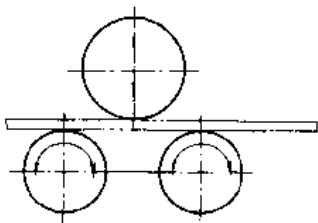


图 4-12-31 对称三辊式

2. 不对称三辊式 (图 4-12-32) 剩余直边小, 结构较简单, 但坯料需调头弯边, 操作不方便, 辊筒受力较大, 弯卷能力较小。适于卷制薄而短的轻型筒节 (一般在 32×3000 (mm) 以下)。

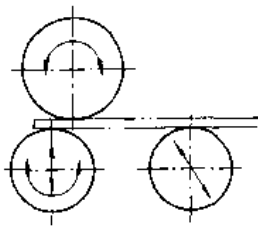


图 4-12-32 不对称三辊式

3. 四辊式 (图 4-12-33) 板料对中方便, 工艺通用性广, 可以矫正扭斜、错边等缺陷, 可以即位装配点焊; 但辊筒多, 重量和体积大, 结构复杂; 上下辊夹持力使工件受氧化皮压伤严重; 两侧辊相距较远, 对称卷圆曲率不太准确, 操作技术不易掌握, 容易造成超负荷等误操作。适合重型工件卷制及自动化水平和技术水平较高的场合, 如自控或仿形卷板等。

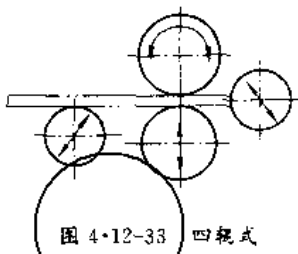


图 4-12-33 四辊式

4. 垂直下调式 (图 4-12-34) 结构较简单, 紧凑, 剩余直边小。有时设计成上辊可轴向抽出, 上下料很方便, 但弯板时, 板料有倾斜动作, 对热卷及重型工件不安全, 长坯料必须先经初弯, 否则会碰地坪。适于冷卷中型或轻型工件。

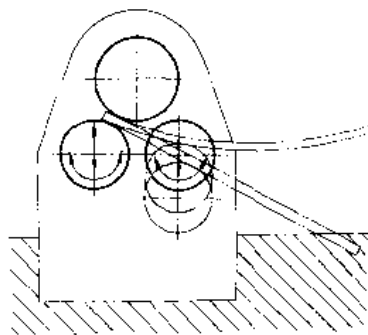


图 4-12-34 垂直下调式

5. 水平下调式 (图 4-12-35) 较四辊机的结构紧凑, 操作简便, 剩余直边小, 坯料始终维持在同一水平上, 进料安全、方便, 上辊轴承间距较大, 重量较大, 坯料对中不如四辊方便。适于特重型卷板工作。

6. 横竖上调式 (图 4-12-36) 调节辊筒的数目最少, 具有各种三辊机的优点, 而且剩余直边小, 但设计时结构不易处理。适于中型与重型卷板工作。



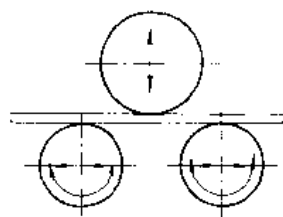


图 4-12-35 水平下调式

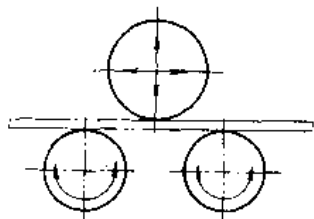


图 4-12-36 横竖上调式

7. 立式(图 4-12-37) 消除了氧化皮压伤, 矩形板料可保证垂直进入辊间, 防止了扭斜; 卷薄板大直径、长条料等刚性较差的工件时, 没有因自重而下塌的现象; 样板测量较准, 占地面积小, 但短工件只能在辊筒下部卷制, 辊筒受力不均, 易呈锥形; 工件下端面与支承面摩擦影响上下曲率的均匀性, 卸料及工件放平较不方便, 非矩形坯料支持不稳定。适于表面精度要求高的工件或大直径薄筒、窄而长的板料等有自重下塌的工件卷制。

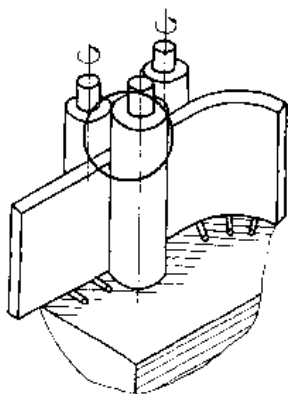


图 4-12-37 立式

8. 闭式(图 4-12-38) 没有活动轴承机构, 结构较简单, 上辊、中间支承辊可作得很细, 可弯到较大的曲率; 上辊刚度好、工件母线直线度好; 下辊间距小, 可卷薄板且曲率较准确; 上辊行程大, 有足够位置装模具, 可作长折边机用、但只能卷制圆心角小于 180° 的弧形板。适于卷制板宽 8m 以上非封闭弧形工件。

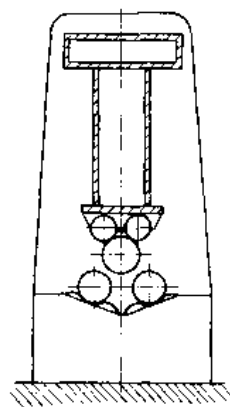


图 4-12-38 闭式

3.2 典型结构

1. 机械调节对称三辊卷板机 图 4-12-39 为 20×3000 (mm) 以下板料的中小型卷板机。

19×2000 (mm) 卷板机的技术规范

卷板规格 (最厚/最薄×宽度)

19/3×2000mm

卷制 19mm×2000mm 板时最小弯曲半径

930mm

上辊直径/侧辊直径 $\phi 280/\phi 250$ mm

侧辊中心距 359mm

侧辊中心离地面高度 1023mm

电动机功率 20kW

总质量 7.265t

2. 大型四辊卷板机 图 4-12-40 为 $(40 \sim 70) \times 8000$ (mm) 四辊卷板机传动示意图。

$(40 \sim 70)$ mm×8000mm 四辊卷板机技术规范

冷卷/热卷最大板料规格 (厚度×宽度)

40/70×8000mm

材料的屈服极限 28×9.8MPa

圆筒最小直径 (冷卷/热卷) $\phi 1000/\phi 920$ mm

辊筒直径 (上辊/下辊/侧辊)

$\phi 780/\phi 690/\phi 590$ mm

卷板速度 5、6、9、10.5、17.5mm/min

侧辊倾角 $\leq 3^\circ$

侧辊移动速度 0.24m/min

下辊升降速度 0.6m/min

侧辊升降功率 80kW

反压力用电动机功率 11kW

主传动功率 180kW

工作缸液压 5、10MPa

总质量 (除电器外) 437t



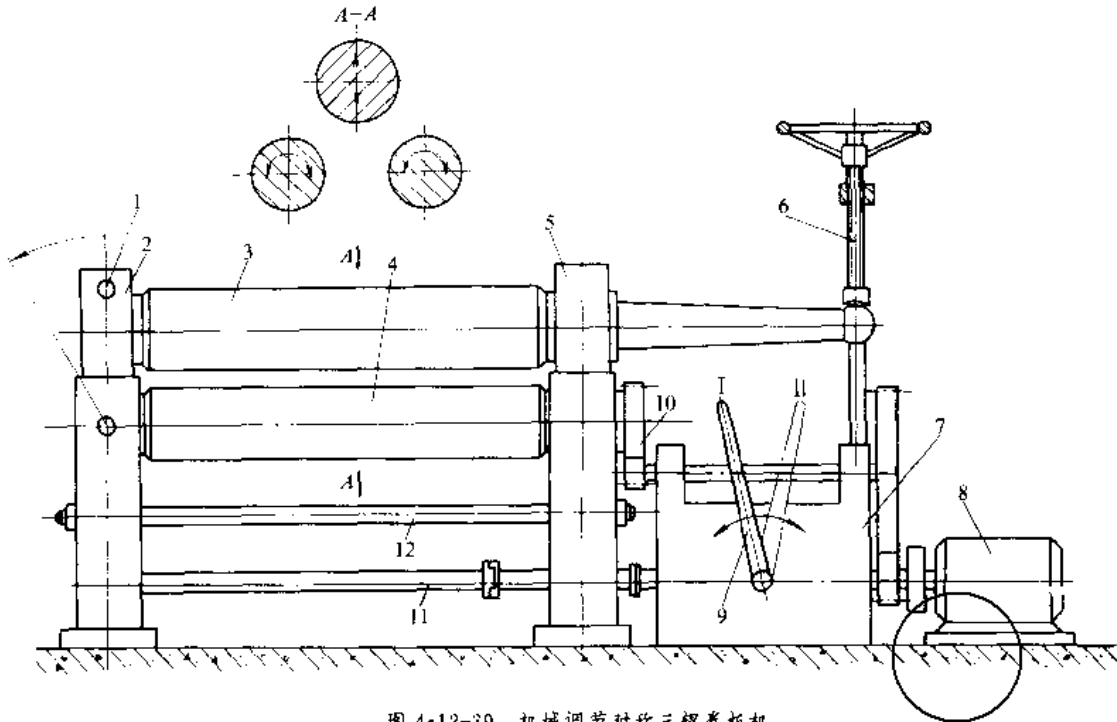


图 4-12-39 机械调节对称三辊卷板机

- 1—插销 2—活动轴承 3—上辊 4—侧辊 5—固定轴承 6—卸板装置 7—减速箱
8—电动机 9—操纵手柄 10—齿轮 11—上辊压紧传动螺杆 12—拉杆

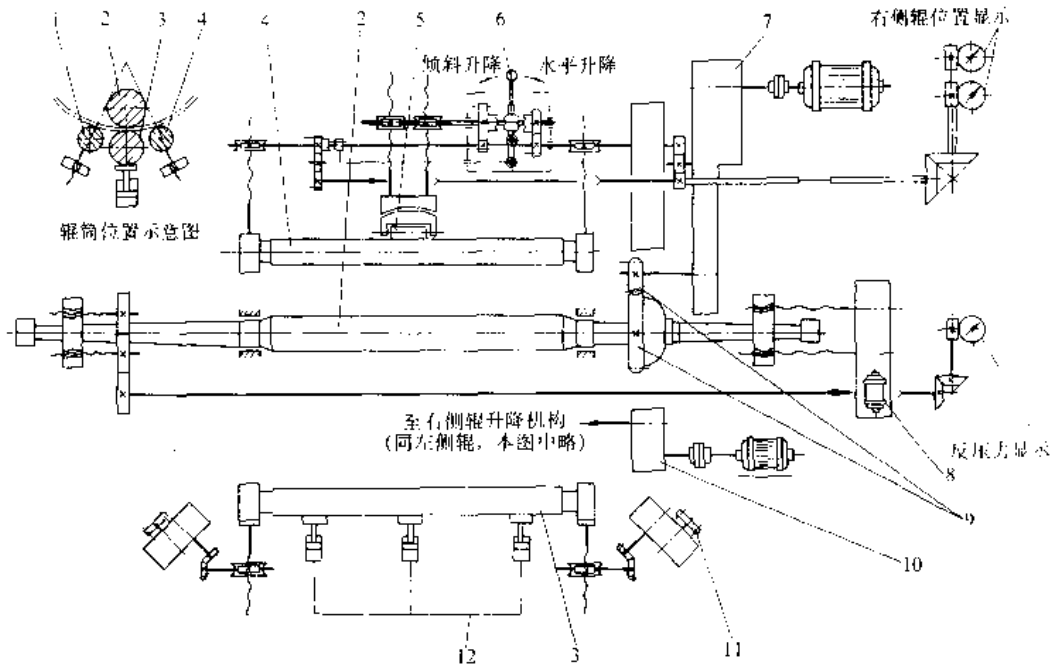


图 4-12-40 (40~70) × 8000 (mm) 四辊卷板机传动示意图

- 1—左侧辊 2—上辊 3—下辊 4—右侧辊 5—侧辊中部托辊 6—右侧辊倾斜调节手柄 7—全传动变速箱
8—反压力显示仪 9—反压力调节机构 10—主传动齿轮 11—左右侧辊调变速箱 12—下辊位置初调手轮
13—上顶力液压系统

3. 重型水平下调式三辊卷板机 图 4-12-41 为 10000kN 水平下调式三辊卷板机, 采用全液压调节、液

压系统自动控制。两下辊分别由单独的电动机驱动, 其余动作都采用液压传动。辊筒位置可以自动显示。



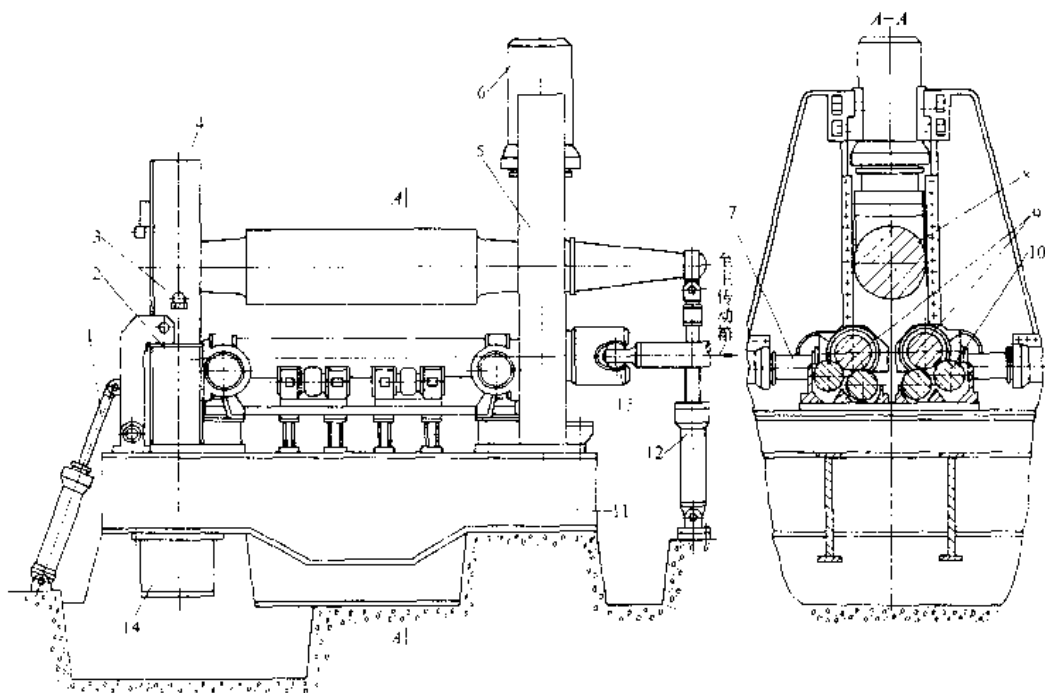


图 4-12-41 10000kN 水平下调式三辊卷板机

- 1—活动轴承翻倒、复位液压缸 2—前机架 3—轴子 4—活动轴承 5—后机架 6—上辊升降液压缸
7—下辊水平移动液压缸 8—上辊 9—下辊 10—支承辊 11—底座 12—上辊翘起液压缸
13—万向联轴器 14—上辊升降液压缸

10000kN 水平下调式三辊卷板机技术规范

加压能力	10000 (5000×2) kN
卷板速度	~3.5m/min
上辊速度调节	下降 ~500mm/min
	加压 50、170、220mm/min
	上升 600mm/min
工作辊直径 工作部分长度	上辊 $\phi 810 \times 4100$ (mm)
	下辊 $\phi 740 \times 4100$ (mm)
卷板最大宽度	4000mm
主传动电机功率	110×1kW
液压系统电机功率	2.2×2kW
	7.5×2kW
	3.7×1kW

—42c)。

4. 附加成型套筒 卷制非直线形母线的工作 (图 4-12-42d)。

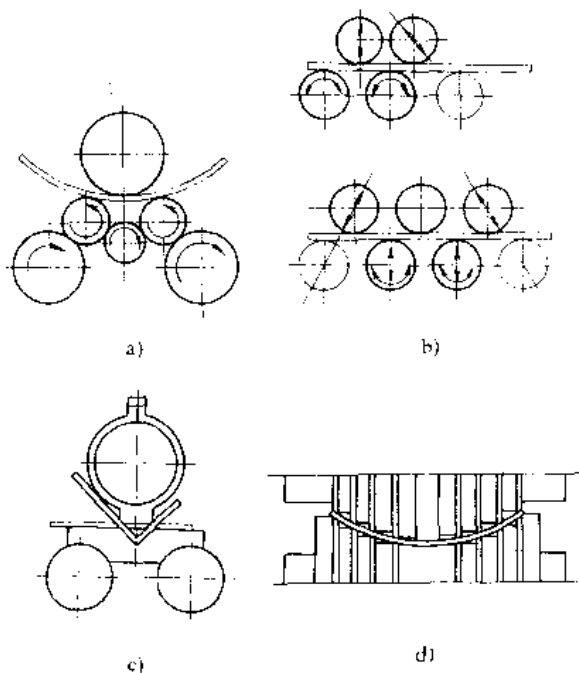


图 4-12-42 扩大卷板机使用范围的途径

3.3 扩大使用范围的途径 (图 4-12-42)

- 1. 可换辊和附加辊** 扩展重型卷板机的卷板厚度下限和弯曲曲率上限 (图 4-12-42a)。
- 2. 加矫正辊** 当卷板和矫平的生产规模都不大, 而且矫正质量要求不高时, 可采用加一至二个矫正辊的卷板机 (又称卷板-矫正联合机) (图 4-12-42b)。
- 3. 辊筒上装模具** 作折边机和压力机用 (图 4-12



4 弯管机

4.1 弯管机分类 (表 4-12-13)

表 4-12-13 弯管机分类

类别	特点	适用范围
按传动方式	手动	$D_c \leq 25$ (mm)
	气动	$D_c \leq 32$ (mm)
	机械传动	结构简单、制造方便、通用性强 $D_c \leq 159$ (mm)
	液压传动	传动平稳、可靠、噪声小、结构紧凑 不限管径
按控制方式	手控	安装及修配
	半自动	一般只对弯曲角度实行自动控制 中小批生产
	自动	一般采用液压传动,通过尺寸预选机构和程序控制系统对弯管全过程(送进、弯管、空间转角)实行自动控制 大批生产及管件尺寸参数多变的场合
	数控	按零件图规定的程序和尺寸制成穿孔带由其输入数据实现自动控制 大批生产尤其是管件参数多变场合

4.2 典型弯管机

4.2.1 机械传动式弯管机

图 4-12-43 是一种普遍使用的机械传动式弯管机简图。

常用的有 BW27-108 和 BA27-60 两种型号,其技术规范见表 4-12-14。

表 4-12-14 机械传动式弯管机主要技术规范

技术规范	型 号	
	BW27-108	BA27-60
最大弯管直径 (mm)	108	60
最小弯管直径 (mm)	38	25
弯曲半径范围 (mm)	150~410	70~300
最大弯曲角度 (°)		180
弯曲半径 >400mm 时	180	
弯曲半径 <400mm 时	90	
最大管壁厚度 (mm)	4.5	3
弯管机转速 (r/min)	0.42	1.125
电动机功率 (kW)	7.5	4
电动机转速 (r/min)	1450	≈1440
机床外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	3790×1810×1098	1244×1030×976
机床质量 (kg)	1960	1010

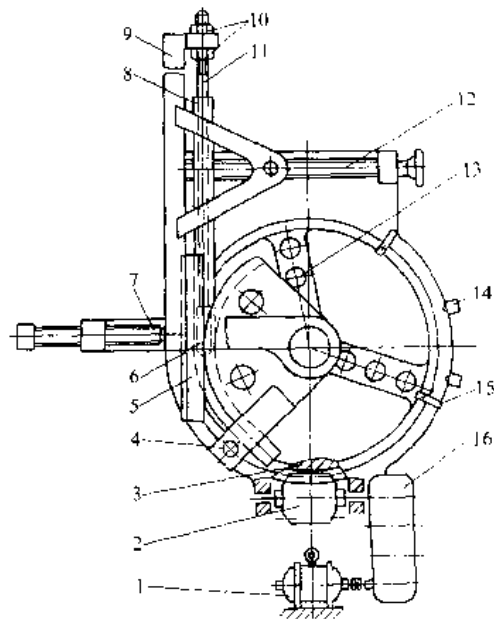


图 4-12-43 机械传动式弯管机简图

- 1—电动机 2—蜗杆 3—蜗轮 4—偏心夹紧
5—滑槽 6—芯轴 7—压料螺杆 8—管子
9—横梁 10—调节螺母 11—芯杆 12—调整螺杆
13—传动销 14—行程开关
15—挡铁 16—减速箱

4.2.2 自动液压弯管机

图 4-12-44 是 WY28-20 型自动液压弯管机的外形图。采用无芯拉拔式回弯法弯管。管子的送进、夹紧、压料、弯曲和空间转角全由液压进行。系统由弯角鼓、转角鼓和送进鼓反馈信号控制。调整一次,可在一根管子上自动弯出 12 个半径相同而弯曲角和空间转角不同的弯头。设备的液压系统见图 4-12-45。

WY28-20 型自动液压弯管机主要技术规范

最大工艺扭矩	38.8N·m
最大弯管直径	20mm
最大弯管壁厚	1.5mm
管子的屈服极限	284MPa
最大弯曲半径	60mm
弯曲角度	0°~185°
弯管速度	15r/min
弯曲角最多预选个数	12 个
滑块送进一次最大行程	600mm
管子周向最大转角	0°~340°顺时针方向
弯管中心高度	1000mm
单级叶片泵型号	YB-A26B-JL



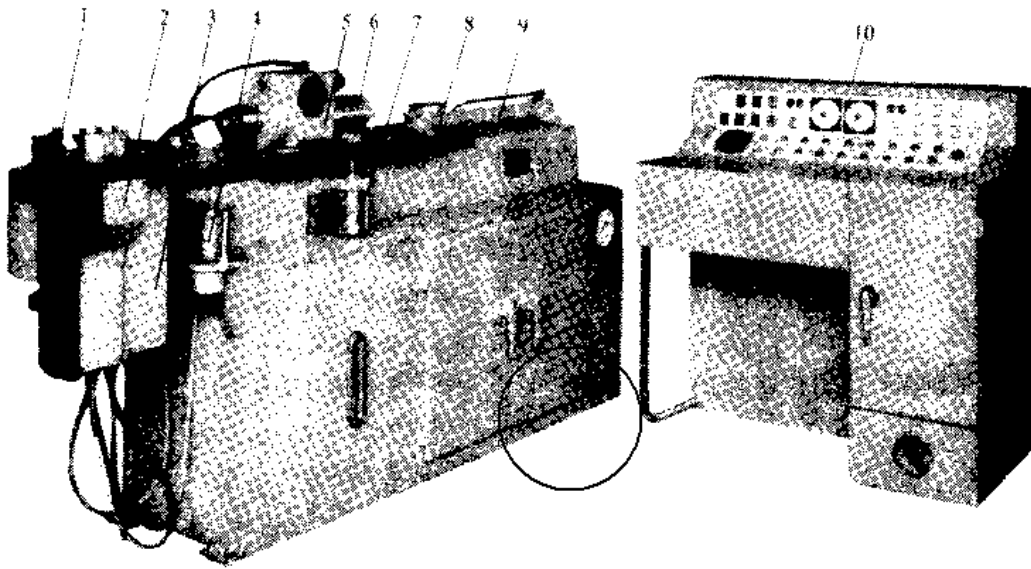


图 4-12-44 WY28-20 型自动液压弯管机

- 1—夹紧机构 2—压料机构 3—送进油缸 4—弯管模 5—转角机械 6—齿条 7—弯角鼓
8—送进鼓 9—空间转角鼓 10—控制台

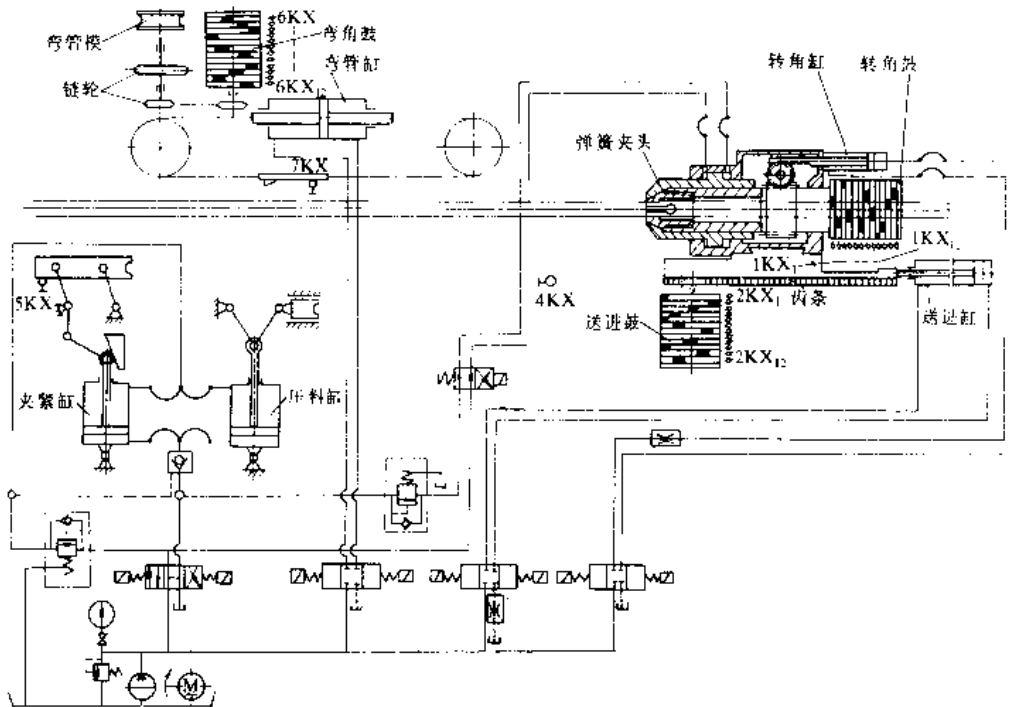


图 4-12-45 WY28-20 型自动液压弯管机液压系统

49B



压力	294MPa
流量	$4.16 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{s}$
电动机 型号	JO ₂ -100L-6
功率	2.2kW
同步转速	1000r/min
机床外形尺寸 (长×宽×高)	2215×600×1155 (mm)
机床质量	870kg

4-2-3 数控弯管机

图4-12-46是SKWG-2型数控弯管机简图。采

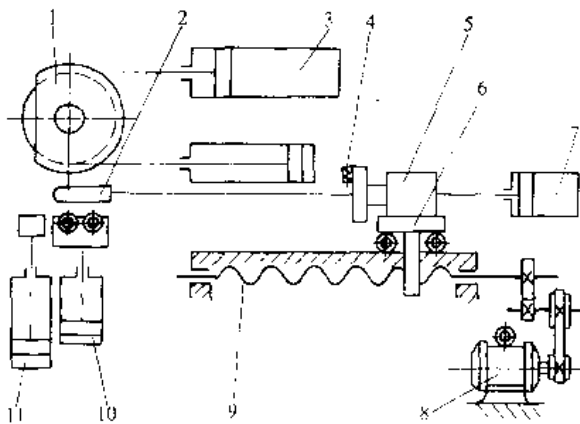


图4-12-46 SKWG-2型数控弯管机简图
 1—弯管模 2—芯轴 3—工作缸 4—后夹头缸
 5—转角装置 6—小车 7—芯轴移动缸
 8—电动机 9—送进丝杠 10—压料缸
 11—夹紧缸

用拉拔式回弯法冷弯，管内用芯轴支撑，后部加顶微力。采用自动测量并补偿回弹量的补偿方法。自动控制系统的控制方框图见图4-12-47。

SKWG-2型弯管机主要技术规范

弯管方式	冷弯、带顶微力的拉拔式回弯法
弯管直径 (mm)	$\phi 32 \sim \phi 114$
弯管壁厚 (mm)	钢管 ≤ 5 ；紫铜管 ≤ 8
管子装入机床部分最大长度 (mm)	4000
弯头间最大直线长度 (mm)	3200
弯管最大旋转角 (°)	195
管子弯曲角 (°)	0~185
弯曲半径 (mm)	90~300
弯曲速度 (°/s)	3
弯管盘返回速度 (°/s)	18
送进速度 (mm/min)	快速 3600、慢速 150 (可调)
转角速度 (°/s)	快速、慢速 1 (可调)
弯管精度 (角度回弹自动补偿后) (°)	0.5
送进精度 (mm)	0.5
转角精度 (°)	0.5
传动方式	弯管 液压缸拉动 送进装置 直流电机传动 转角装置 直流电机传动
输入指令	五单位穿孔纸带
操作方式	自控 光电输入机自动输入纸带上的指令 手控 需要人工点动

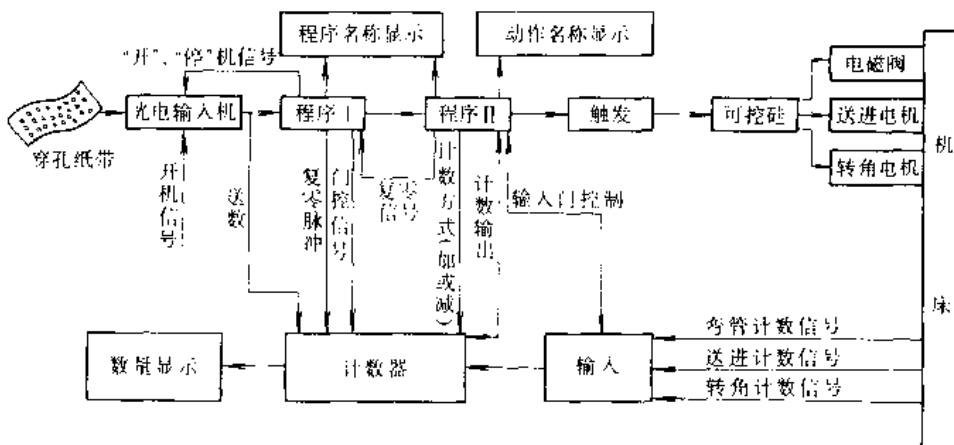


图4-12-47 SKWG-2型弯管机控制方框图



第13章 冲压机械化与自动化

冲压机械化和自动化直接影响冲压工艺的稳定实施,对保证产品质量、提高生产效率和确保操作者人身安全,具有十分重要的作用。

由于冲压技术的发展以及冲压件结构日趋复杂,尤其是高速、精密冲压设备和多工位冲压设备的较多应用,对冲压机械化与自动化提出了更高的要求。随着电子技术、计算机技术以及控制技术的发展,近代出现的计算机数字控制的冲压机械手、机器人、各种自动冲压设备、冲压自动线以及柔性生产线,反映了冲压机械化与自动化的发展水平。

1 机械化与自动化方式

实现冲压机械化与自动化可以采取不同方式,例如:

- (1) 在通用压力机上使用自动冲模;
- (2) 通用自动冲压压力机;
- (3) 专用自动冲压压力机;
- (4) 冲压自动线。

选择时应结合企业条件,考虑下列因素:

(1) 安全生产。必须确保操作人员的人身安全。
(2) 冲压件批量。批量较小时,应重点考虑通用性,适应多品种生产。随着批量的增大,考虑选择自动化程度高的方式。

(3) 冲压件的结构。冲压件的结构形式一般情况下就决定了机械化、自动化方式。例如较小而不太复杂的成形或冲裁件,用连续模自动冲压的可能性较大;较大的多道拉深件,要考虑多工位自动冲压。为利于自动化,有时需要在不影响冲压件使用性能的前提下,对工件设计作适当修改。

(4) 冲压工艺方案。对于中小型冲压件,即使批量很大,一般也不采取生产线方式,而尽可能在一台自动压力机上用一套冲模或连续模,完成全部工序。如果还有后道工序(表面处理、装配等),也应考虑与之结合成线。为此,有时连续模并不把工件从卷料上切下来,而是在后道非冲压工序完成后,再与卷料分离,以实现自动化。

(5) 材料规格。卷料、条料和板料以及厚料和薄料的机械化自动化装置,大多互不相同。

(6) 压力机型式。在普通压力机上,可安装通用自动送料装置实现自动化,也可用自动冲模。如果压力机滑块和台面尺寸较大,也可改装成多工位自动压力机。多工位自动压力机一般用卷料作为坯料,也可用冲出的平坯或成形工序件自动送进进行生产。另外,大型压力机由于采用活动工作台,中型压力机上设置快换模具台板,以及采用模具快速夹紧装置,换模时间明显缩短,有利于批量较小的冲压件实现自动化生产。

冲压件品种单一时,用自动冲模实现冲压自动化较为适宜;品种较多时,在通用自动压力机上用普通冲模自动化生产比较合理;批量很大时,要考虑以专用自动压力机代替通用自动压力机的可能性;大型冲压件的自动化生产,往往以自动线的形式出现。

2 机械化自动化装置

冲压机械化自动化包括供料(件)、送料、出料(件)和废料(工件)处理等环节。各环节所用装置见表4-13-1。

表4-13-1 冲压机械化自动化装置

装置名称	原 材 料			工序件或工件	
	卷料	板料	条料	平件	成形件
供料(件)	卷料架	贮料、顶料、吸料、释料和移料装置、分离装置		贮件槽	贮件斗
	校平装置、润滑装置				
送料	辊式、夹持式、钩式、其他			传件装置、定向和翻转装置、分配装置	
出料(件)	收料架	取料装置		接件装置	
废料(工件)处理	切料装置			理件装置	
其 他	自动保护装置				

表中所列装置,可以配备在冲模、压力机或生产线上,构成自动或半自动冲模、自动或半自动压力机、自动或半自动生产线。

2.1 供料装置

供料装置主要为送料装置做准备工作,不同的原



材料(板料、条料、卷料)采用的供料装置不尽相同。

2.1.1 板料(条料)供料装置

板料(条料)供料装置通常具有贮料、顶料、吸料、提料、移料和释料等功能。

1. 贮料 最简便的贮料是将板料或条料直接堆放在顶料机构上。图4·13-1为两个贮料架交替使用的一种形式。

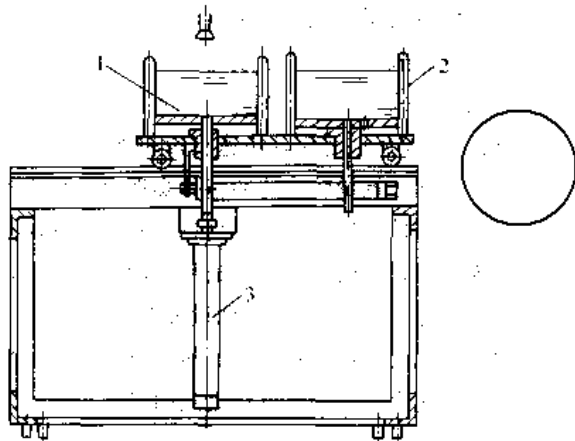


图 4·13-1 交替使用的贮料架

1—贮料架 2—顶杆 3—液压缸

2. 顶料 根据吸料机构的要求,有一次顶料和分次顶料。被提吸的材料需经常保持在一定高度时,须采用分次顶料。图4·13-2为一次顶料示意图。将材料放在料架1上,扳动手柄4通过齿轮齿条2、3使料架提升,达到活动销5以上位置后,放下料架。整叠材料由几个活动销托住,完成顶料动作。图4·13-3为机械式分次顶料装置。由电机1经蜗轮蜗杆2、3,将料架提升,料架上下极限位置由限位开关4、5控制。

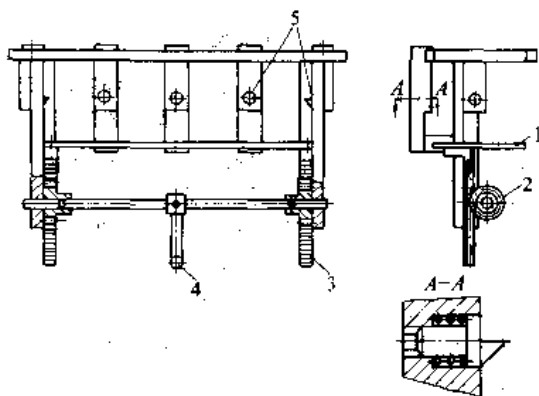


图 4·13-2 一次顶料装置结构示意图

1—料架 2—齿轮 3—齿条 4—手柄 5—活动销

3. 吸料与释料 一般都采用真空吸盘。无适当平面可吸的钢、铁等磁性材料,如冲裁后的废料用磁铁吸

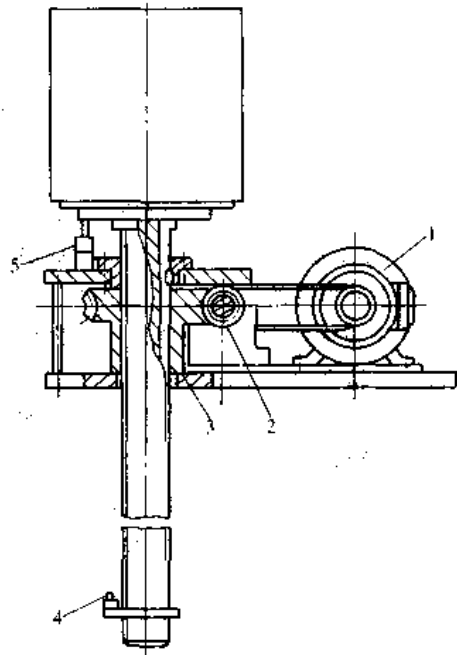


图 4·13-3 机械式顶料装置

1—电机 2—蜗杆 3—蜗轮 4、5—限位开关

盘。

图4·13-4为挤气式空气负压吸盘。当吸盘4与工件5接触后,吸盘受挤压变形排出吸盘内的空气而形成负压吸附工件。当电磁铁工作,推动顶杆2顶开锥

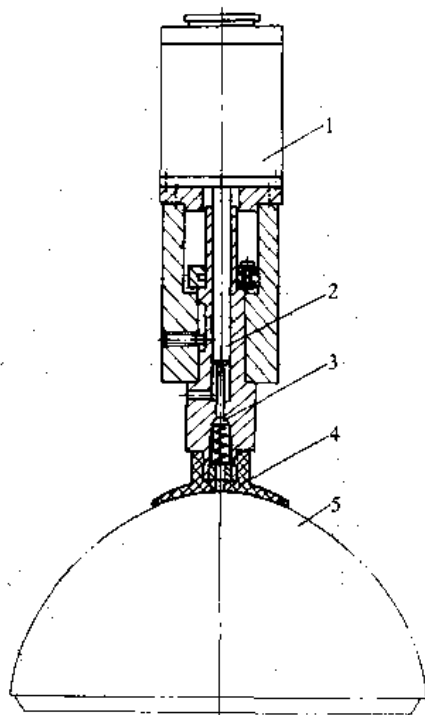


图 4·13-4 挤气式空气负压吸盘

1—电磁铁 2—顶杆 3—锥阀 4—吸盘 5—工件



阀 3、吸盘 4 的小孔与大气相通，工件落下。

图 4-13-5 为气流负压喷嘴式吸盘。压缩空气通入喷嘴 1，由于喷嘴通道截面的变化，使与吸盘 2 相连的小孔口处形成很高的气流速度，将吸盘 2 中的空气带出，形成负压吸附工件。

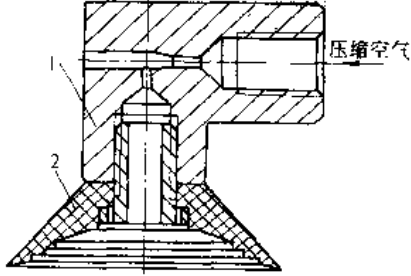


图 4-13-5 气流负压喷嘴式吸盘

1—喷嘴 2—吸盘

也有采用真空泵抽真空的方法吸附工件。此法吸力大、工作可靠。但需有专用设备。

真空吸盘的尺寸与吸力见表 4-13-2。图 4-13-6 为电磁吸盘。

表 4-13-2 真空吸盘的吸力

吸盘直径 (mm)	吸 力 (N)	
	真空泵式	气流负压喷嘴 (0.5MPa)
25	10	10
50	50	40
70	100	85
100	200	165
120	300	
170	600	
205	800	

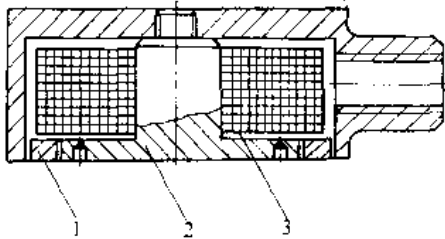


图 4-13-6 电磁吸盘

1—隔磁环 2—铁心 3—线圈

4. 提料 图 4-13-7 为机械式提料装置。当大齿轮 2 被小齿轮 1 驱动转动半周时，多杆平面机构由图示双点划线位置上升到实线位置，吸盘 8 即被提升，再转动半周时，吸盘下降。

图 4-13-8 为气动式提料装置。缸 1 固定，活塞杆带动吸盘上下运动。材料面积大时，可以用几个缸同时动作。

对于质量大的板料，可以局部提升或吸而不提。图

4-13-9 中，最上面的板料 1 被吸盘 2 局部提起，支承 3 插入；吸盘 2 和支承 3 装在同一移料装置上，将料 1 拖走。图 4-13-10 为抓料器。吸盘 2 只将料 1 吸住，并不提升。被吸住的材料随抓料爪 5 移动，移料完成后，活塞杆 3 推动支撑板 4 绕轴销 6 转动，将料释放。

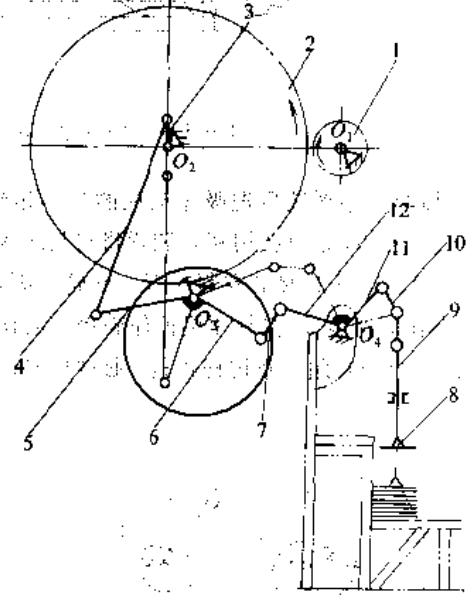


图 4-13-7 机械式提料装置机构动作原理

1、2—齿轮 3~7—连杆 8—吸盘 9~12—连杆

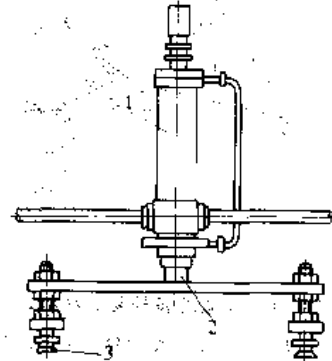


图 4-13-8 气动式提料装置

1—气缸 2—活塞杆 3—吸盘

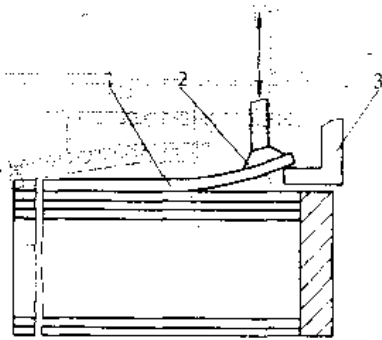


图 4-13-9 局部提料

1—板料 2—吸盘 3—支承



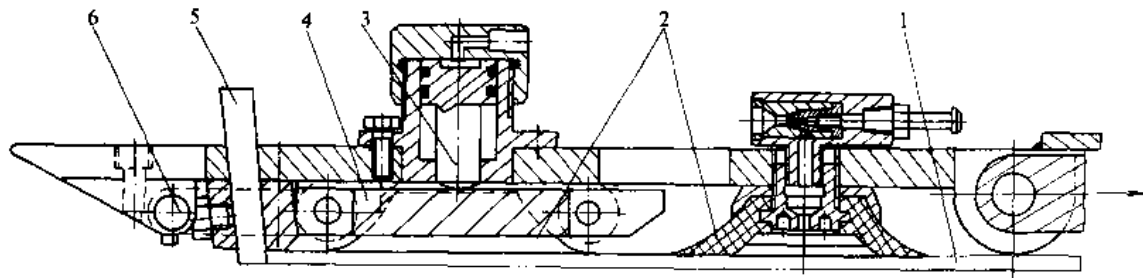


图 4-13-10 抓料器

1—材料 2—吸盘 3—活塞杆 4—支撑板 5—抓料爪 6—轴销

5. 移料 移料装置把吸盘吸住的料移送到送料装置。对于板料，常直接用移料装置将材料送入模具。

图 4-13-11 为机械式移料装置。凸轮 3' 固定在大齿轮 2 上作等速运动。摆杆 4' 沿凸轮轮廓左右摆动，杆 5'、6'、7' 与 O_3O_6 组成双摇杆机构，通过杆 8'、9' 使导

块 10' 移动。这个装置和图 4-13-7 的提料装置装在同一台压力机上使用，两个装置位于大齿轮 2 的两侧。

图 4-13-12 为气动移料装置。吸盘升降气缸 1 固定在移料气缸 2 上，当材料由吸盘吸住，并由升降气缸 1 提升到所需高度时，气缸 2 即带动缸 1 向右移动，在材料进入送料装置时将他释放。

对要求较大速度的移料装置，采用图 4-13-13 的辊道式移料装置。由于吸盘升降气缸水平方向不作移动，可减少惯性。其移料方法是板料被吸住和提升后，由于上辊是磁辊或在辊子侧面装有永久磁钢而吸住材料，使板料暂时留在辊道上，再由推料爪 1 沿上辊移动板料，板料脱离上辊磁钢的吸力后，靠自重落在下辊道上。

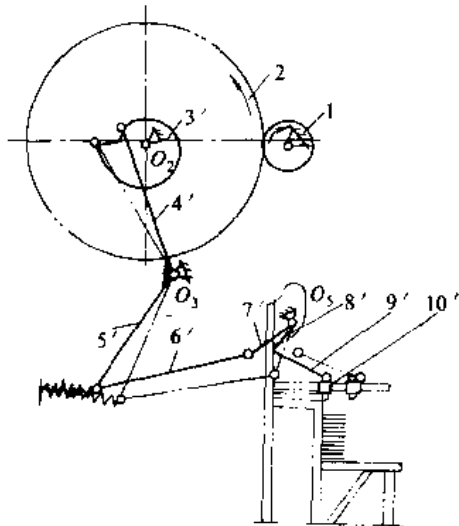


图 4-13-11 机械式移料装置机构动作原理

1—小齿轮 2—大齿轮 3'—凸轮
4'~9'—杠杆 10'—异块

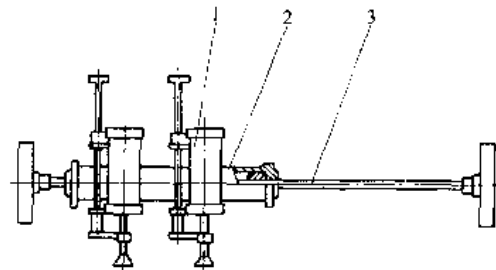


图 4-13-12 气动移料装置

1—吸盘升降气缸 2—移料气缸 3—活塞杆

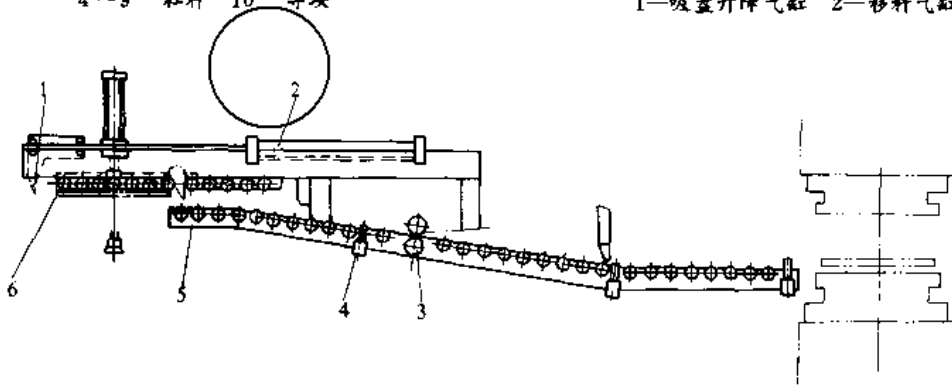


图 4-13-13 辊道式移料装置

1—推料爪 2—气缸 3—上油装置 4—活动挡块 5—下辊道 6—上辊道



2.1.2 卷料架

卷料架有本身不带动力和带动力的两种，前者是依靠送料装置（或校平装置）对卷料的拉力使卷料开卷。带动力的卷料架又称开卷装置。

图 4-13-14 为不带动力的卷料架，用于支承卷料内圈，卷料表面不易擦伤，卷料装在两侧的料架上，当一侧的卷料向压力机送料时，另一侧作上料准备。待卷料送完时，料架旋转 180°，另一卷即可开卷。

图 4-13-15 为用电机开卷的卷料架，杠杆 2 一端压在材料 1 上，如开卷速度过快，材料下垂到一定位置时，杠杆另一端接触限位开关 4，使电机停止转动。当下垂的材料逐渐提升，到一定位置时电机重新启动。

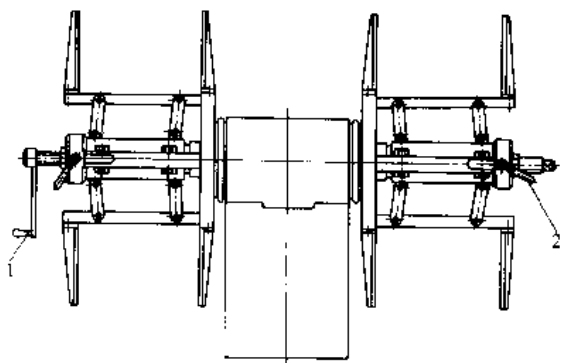


图 4-13-14 回转式卷料架
1—内径调节手柄 2—锁紧手柄

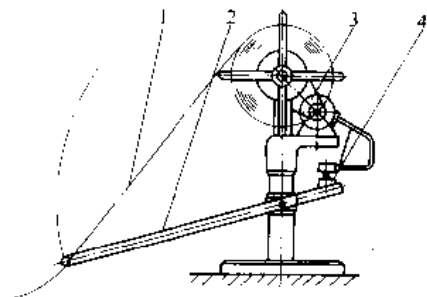


图 4-13-15 用电机开卷的卷料架
1—材料 2—杠杆 3—电机 4—限位开关

卷料架与送料装置间要有一段距离，以避免因开卷速度的变化急剧和电机启停过于频繁而易发生故障或影响进给精度。图 4-13-16 的装置可以控制开卷速度。在卷料架与进给装置间设有地坑，在坑的前后壁上装置几组光电管，根据卷料的下垂状态自动调节。在位置 1 时展卷速度提高，位置 2 时展卷速度降低。

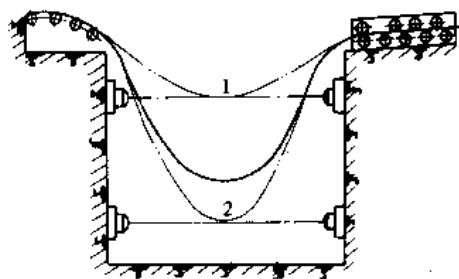


图 4-13-16 用光电控制的开卷速度调节示意图

2.1.3 辅助装置

1. 校平装置 设在卷料架与送料装置之间，用以校平从卷料架上开卷的弯曲的卷料。

图 4-13-17 为校平装置结构原理图。一般在上部设 2~3 个轧辊，下部设 3~4 个轧辊，上轧辊可在一定范围内上下调节。大型校平装置轧辊数量更多。

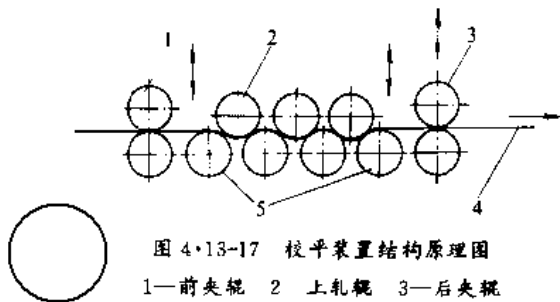


图 4-13-17 校平装置结构原理图
1—前夹辊 2—上轧辊 3—后夹辊
4—材料 5—下轧辊

校平装置有带动力和不带动力的两种形式。前者限于窄料、步距短的情况，材料由送料装置带动。常用带动力的校平装置有下列 3 种：

(1) 由电机驱动前夹辊送进卷料，由送料装置将卷料从校平装置中引出而不用后夹辊。适用于薄料。

(2) 由电机同时驱动前夹辊和后夹辊，分别推动和拉引卷料。适用于较宽较厚卷料。附有校平装置的卷料架多数为这种形式。

(3) 由电机同时驱动前、后夹辊及校平轧辊。用于大型冲压生产线的宽厚料校平。

轧辊直径由板厚确定。表 4-13-3 为材料厚度与轧辊直径的关系。

表 4-13-3 材料厚度与轧辊直径的关系

(mm)

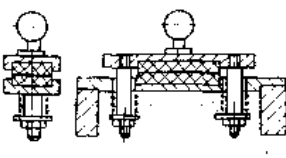
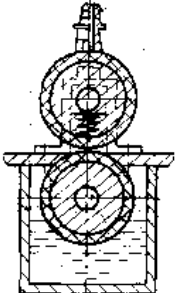
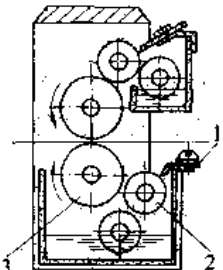
板厚范围	轧辊直径	轧辊工作面最大长度
0.2~0.8	40	1500
0.4~1.6	50	2000
0.6~2.3	60	2000
0.9~3.2	70	2000
1.2~4.5	80	2000

注：附有支承辊。



2. 上油装置 材料表面不清洁或无润滑会影响模具寿命。当用辊式送料时,还会引起辊子与材料表面摩擦力的变化而降低进给精度。因而值得注意。上油装置的形式见表 4-13-4。

表 4-13-4 上油装置的形式

型式	简图	说明
夹板式		在上下两块板之间夹两块油毛毡,材料通过其间接触表面,油毛毡含油,对材料同时上油
滚轴式		上下滚轴表面卷装油毛毡,下滚轴浸于油箱,上滚轴由油管供油,材料通过两滚轴间接触表面与上油
		浸于油箱中的橡胶滚轴将油带到中间橡胶滚轴 2 上,刮板 1 使油膜均匀。中间滚轴 2 与上油滚轴 3 接触,使材料涂油均匀。刮板可调,控制油膜厚度

3. 叠片分离与检测装置 图 4-13-18 为最简单的叠片分离方法。板料紧靠在上部有齿的分料板 1 上,吸盘将板料向上提升时,如有两张以上材料被提取,齿形分料板则将叠料分离。

图 4-13-19 为磁性分离叠料的一种形式。每组磁铁产生磁力线 ϕ_1 和 ϕ_2 (其中 ϕ_1 是主要的, ϕ_2 由于空气磁路长,强度大大削弱可忽略不计),磁力线的方向是由 N 极到 S 极,相邻几片都通过同方向的磁力线 ϕ_1 ,根据“同向磁力线相排斥,异向磁力线相吸引”的原理,相邻的板料相斥,使顶面几片分离。

分离器分离材料仍有吸两片的可能。为保证消除叠片现象,防止冲压事故,可装设叠料检测装置(图 4-13-20)。当材料提升到最上面位置的瞬间,叠料检

测装置从侧向(与送料方向成 90°)移向材料,使材料卡在两辊子 1 之间。如有两张材料进入,杠杆 2 上的调节螺钉 3 压下微动开关 4 发出信号,使材料进给装置停止运转。

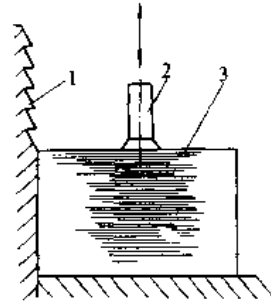


图 4-13-18 用齿形分料板分离板料
1—分料板 2—吸盘 3—薄板材料

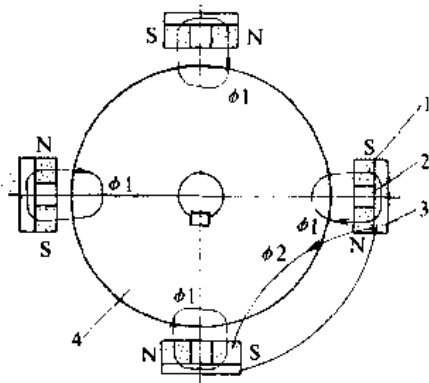


图 4-13-19 磁性分离
1—恒磁铁载体 2—隔磁体 3—导电体 4—材料

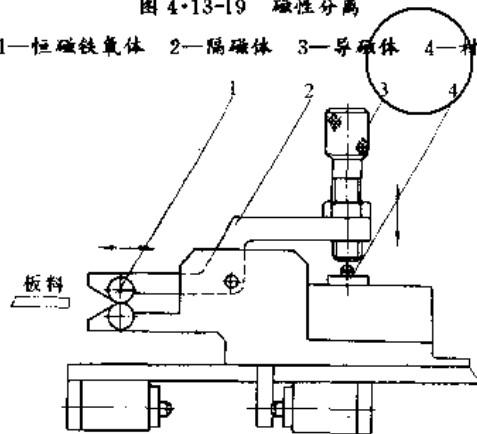


图 4-13-20 叠料检测装置

1—辊子 2—杠杆 3—调节螺钉 4—微动开关

2.2 送料装置

冲压原材料自动送进须满足下列基本要求:

(1)送料机构须和压力机同步,保证压力机每一行程送料一次。

(2)送料动作须和压力机行程节拍协调,送料须在



实际冲压开始前完成。

(3) 送料距离应保持恒定,并可调节。

常用送料装置有辊式和夹持式两种,其性能比较见表 4-13-5。夹持式送料易实现进给的微调;材料厚度变化及材料表面状态对送料的影响较小;材料送进时的张力较大。

表 4-13-5 辊式送料与夹持式送料的比较

送料型式	料厚	步距	送料速度	送料精度	释放装置
辊式	较薄	较大	较高	一般较低,但蜗杆凸轮式可达很高精度	连续模中常采用
夹持式	较厚	较小	较低	较高	一般不用

2.2.1 辊式送料装置

应用较广泛。一般适用于 240 次/min 以下的冲压,但使用蜗杆凸轮式间隙传动机构时可用于 700 次/min 的高速冲压,有的可达 2000 次/min。

有单边辊式(一组辊子)和双边辊式(两组辊子)送料两种型式。

单边辊式送料主要用于卷料。图 4-13-21 为其示意图。在压力机曲轴 2 一端装有偏心盘 4,曲轴带动连杆 1 作往复运动,并通过超越离合器 7 带动下辊 6 作间歇回转运动,使上下辊之间的材料进给。

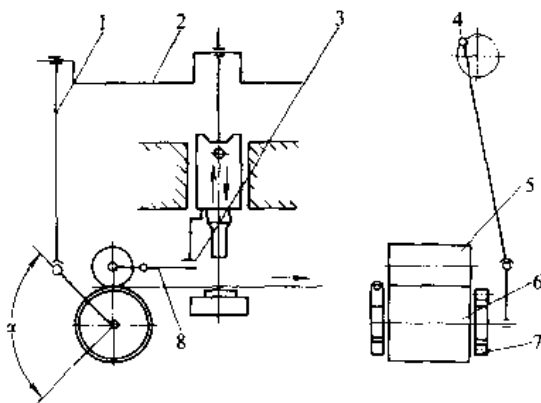


图 4-13-21 单边辊式送料装置示意图

- 1—连杆 2—曲轴 3—杠杆 4—偏心盘 5—上辊
- 6—下辊 7—超越离合器 8—提升杆

为提高材料(主要是条料)的利用率,可采用双边辊式送料(图 4-13-22)。在冲模两边各设一组辊子,分别进行推料和拉料。两组辊子交替使用以确保进料精度。新的条料由推料辊进给,拉料辊的上、下辊脱开。在料尾即将通过推料辊时,拉料辊合拢,执行进给动

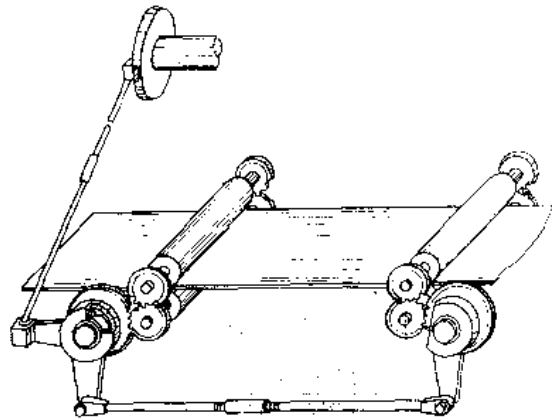


图 4-13-22 双边辊式送料装置示意图

作,而这时推料辊的上、下辊脱开。

图 4-13-23 为压力机滑块行程位置与材料进给的近似关系。曲轴从 0° 回转到 180° 时,滑块从上极点下降到下极点;从 180° 转到 360° 时,滑块上升到上极点, S_1 为滑块行程。材料进给应在 F_1 这段时间内完成。在下半行程 S_2 内进行冲压,因此在 F_2 这段时间内辊子应停止转动。在 F_3 这段时间内应将工件与废料从模具中取走。

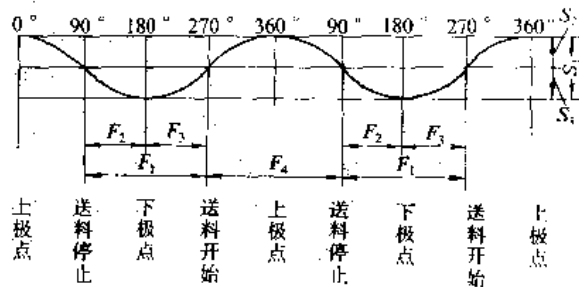


图 4-13-23 滑块行程位置与材料进给的近似关系

辊式送料装置的传动方式有压力机传动和单独传动两种。前一方式与压力机行程容易协调,广泛用于中小型压力机上。单独传动的动力来源为油马达或电机,通过蜗轮减速机传动。

2.2.2 夹持式送料装置

该装置也是一种广泛采用的适用于条料和卷料的自动送料装置。一般用于 200 次/min 以下的冲压。

图 4-13-24 为滚柱夹持式送料装置示例。利用压力机滑块和冲模上的斜楔 1 使送料装置动作。滑块下降时,斜楔 1 压向滚轮 2 使活动的送料夹持器 9 向左移动,此时送料夹持器的滚柱 5 对材料失去夹持作用,固定的定料夹持器 6 由于弹簧 7 的作用将保持架 11 向左推紧,由于斜面作用使滚柱夹紧材料,防止材料后



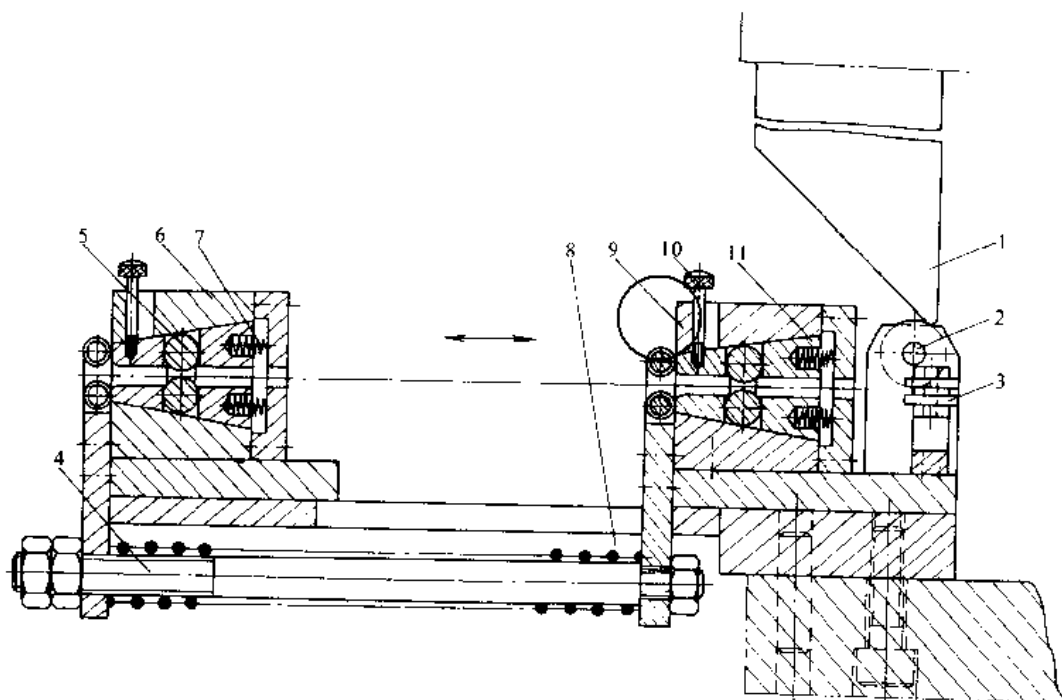


图 4-13-24 滚柱夹持式自动送料装置

- 1—斜楔 2—滚轮 3—导料轮 4—螺杆 5—滚柱 6—定料夹持器 7、8—弹簧
9—送料夹持器 10—手柄 11—滚柱保持架

退。滑块回程时，由弹簧 8 将送料夹持器 9 向右推进，由于弹簧和夹持器斜面的作用使滚柱夹紧材料送进一个进距，而定料夹持器 6 此时则失去夹持作用。

装料或冲压发生故障需将材料退出时，可拨动手柄 10，使保持架 11 右移增大滚柱间距离，材料即可自由移动。

用滚柱直接夹在材料上的形式，材料的局部弯曲不影响夹持性能，但对薄料和软材料有夹伤现象。为消除对薄料的夹伤，可采用图 4-13-25 三种形式的压板夹料的滚柱夹持机构。图 a 用一个滚柱与一个压板夹料，结构比较简单，材料局部弯曲对夹持性能影响小，可改善薄料夹伤现象。图 b、c 用一对压板夹料，使材料表面不被夹伤，但材料的局部弯曲对夹持性能有不良影响。

图 4-13-26 为斜刃夹持式送料装置。斜楔 1 通过滚轮 2 推动斜刃座 5 向右移动。此时斜刃 7 在材料表面摩擦力作用下，绕轴沿顺时针方向摆动，斜刃对材料不产生夹持作用。斜楔回升时，活动斜刃座 5 在弹簧 9 作用下向左移动。此时斜刃 7 在扭簧 8 作用下，绕轴逆时针方向摆动，斜刃尖端楔住材料向左推进。当需回抽材料时，可转动手柄 6 使斜刃脱离材料。

由于斜刃夹持材料表面，材料表面容易受伤，因此有采用图 4-13-27 所示侧面夹持的形式。此装置由压力机曲轴驱动，通过偏心轮、连杆、拉杆和摇臂 5 推动送料夹持器沿导轨 1 滑动，弹簧 6 使送料夹持器退回原位。送料夹持器有 3 对侧面夹刃，定料夹持器有 2 对侧面夹刃。侧面夹刃 2 的安装角度均为 60° 。

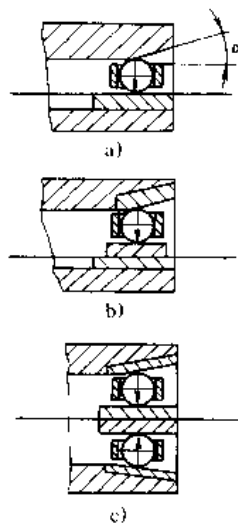


图 4-13-25 压板夹料的滚柱夹持机构



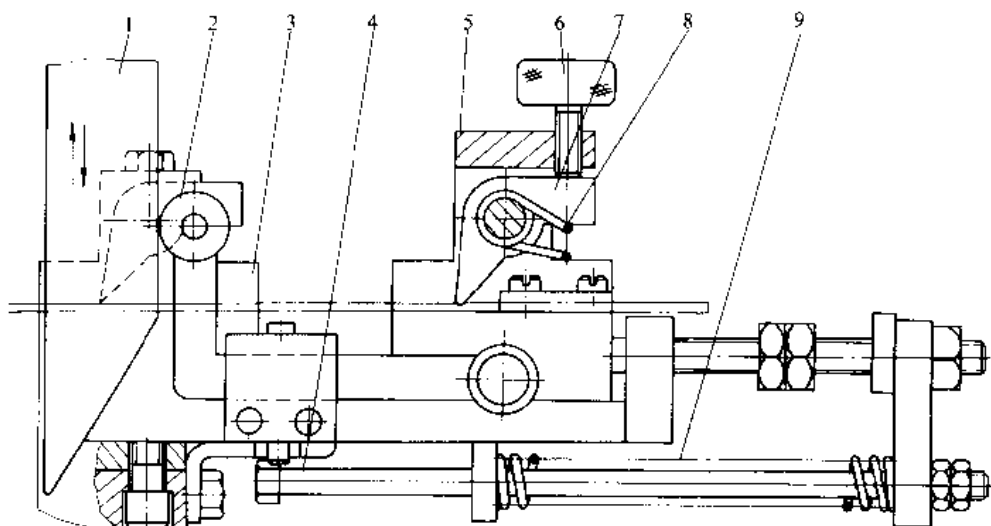


图 4-13-26 斜刃夹持式送料装置

1—斜楔 2—滚轮 3—固定斜刃座 4—螺杆 5—活动斜刃座 6—手柄 7—斜刃 8—扭转弹簧 9—弹簧

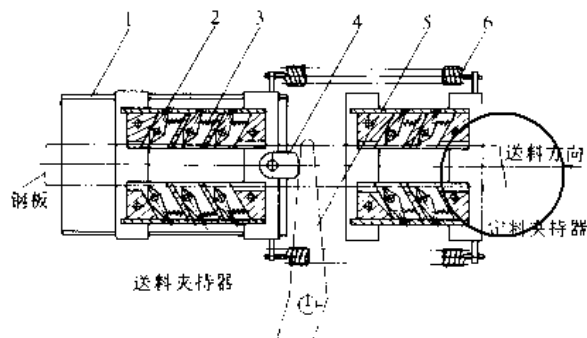


图 4-13-27 侧面夹持的斜刃夹持式送料装置

1—导轨 2—夹刃 3—弹簧 4—摆块
5—摇臂 6—弹簧

棘轮上螺钉 3 在其他位置时，杠杆 4 由弹簧 5 弹出，所以滑块下降时切刀 5 不动作。

废料重新卷绕一般采用收料轮，其外观与卷料架相似，由电机单独驱动或由压力机或送料机构传动。

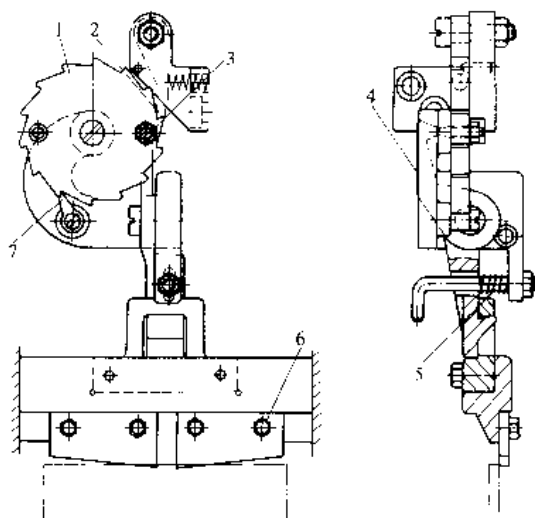


图 4-13-28 废料定长切断装置

1—棘轮 2—爪 3—螺钉 4—杠杆
5—弹簧 6—切刀 7—爪

2.3 废料处理装置

卷料经冲压后的废料处理主要有两种方法，即将废料切断或是将卷料重新卷绕。

废料切断多数利用设在模具上的切刀进行，压力机每一行程将废料切断一次，即废料长度等于一个进给步距。

也有在压力机几次行程以后将卷料废料切断一次的装置。切断的废料具有一定长度，便于处理。如图 4-13-28 所示，件 1 是安装在压力机滑块上的 14 牙棘轮，爪 2 固定在床身上。滑块每一次行程棘轮 $1\frac{1}{4}$ 转。棘轮 1 上设有两个螺钉 3。棘轮 1 每转动 7 牙，螺钉 3 推动杠杆 4 将切刀 6 压下切断废料。即每 7 个行程切断废料一次。调换牙数不同的棘轮即可改变废料切断长度。

2.4 接件装置

由冲压模具中打出、顶出或推出的工件或工序件，可借自重倾斜的压力机台面或装置上自行落下，或用压缩空气吹走，或由接件装置接走。接件可保证操作安全和使工件或工序件处于一定位置，以便整理或输送。表 4-13-6 为常见的接件装置。



表 4·13-6 接件装置的类型

型式	连杆式接件装置	摇板式接件装置	缩放仪式接件装置
简图	<p>1—上模 2—接件器 3—下模</p>	<p>1—接件器 2—拉杆 3—可调节拉杆</p>	<p>1、2—杠杆 3—接件器</p>
说明	<p>用于小型冲压件</p> <p>图 a 为滑块在上极点时,接件器 2 伸入上下模间接住从上模打下的工件</p> <p>图 b 为滑块在下极点时,接件器退出,工件落在盛器中</p>	<p>滑块上行程时,接件器摆动到上下模间,接住工件,工件沿斜面落入盛器中;滑块下行程时,退出模具工作区</p>	<p>适用于中小型冲压件。可由单个或几个缩放仪组合。节数多动作圆滑,接出距离较远,图 a 为接件状态,图 b 为模具闭合状态</p>
型式	滑道式接件装置	回转式接件装置	气动大型接件装置
简图	<p>a) b)</p>	<p>1—凸轮 2—滚轮 3—支架 4—轴 5—接件器 6—扭转弹簧</p>	<p>行程</p>
说明	<p>在上模上使用杠杆,在下模上使用滑道与滚柱。接件器轨迹取决于滑道形式。图 a 为接件状态,图 b 为模具闭合状态</p>	<p>凸轮 1 安装在压力机滑块上,支架 3 固定在床身上。滑块下降时,接件器 5 退出模具工作区;滑块上行程时,由扭转弹簧 6 将接件器转入模具工作区接件</p>	<p>用于汽车覆盖件等大型冲压件,应保证压力机行程与接件器动作协调。宜用木材或塑料做接件器,以保证安全</p>

2·5 翻转装置

该装置用于将工序件逐个翻转,以满足下道工序的需要。

对于具有一定重量的小型工件,可使工件在曲面上滑下时翻转,如图 4·13-29。

图 4·13-30 为带真空吸盘的气动翻转装置。真空吸盘 1 装在翻转板 2 上,利用气缸 3 通过齿轮 4 使翻



转板翻转，将工件释放在输送带 5 上。

图 4-13-31 为夹板式翻转装置。翻转板 A 和 B 分别与两个齿轮固定。工件滑落到翻转板 A 上后，气缸即使两块翻转板同时作相反方向转动而合拢，使工件落到翻转板 B 上。气缸回复时两块翻转板分开，工件滑到输送带上。

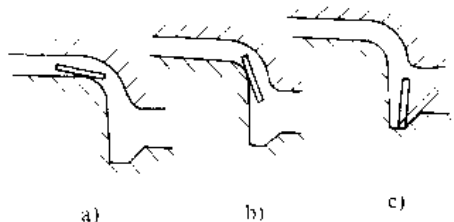


图 4-13-29 重力翻转示意图

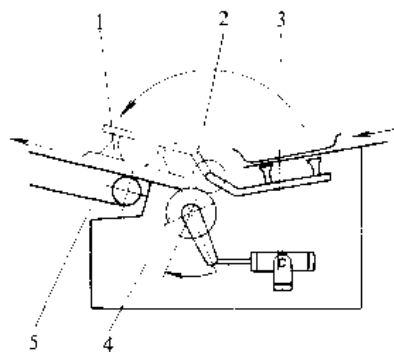


图 4-13-30 真空吸盘气动翻转装置

1—吸盘 2—翻转板 3—气缸 4—齿轮 5—输送带

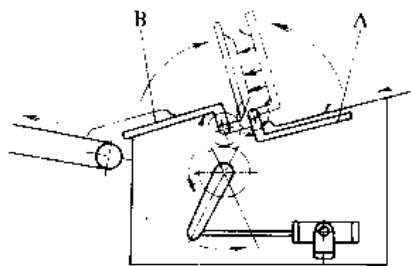


图 4-13-31 夹板式翻转装置

2.6 自动保护装置

包括原材料监视、进给监视、出件监视等装置。

对原材料监视的要求是：当材料厚度或宽度超差、弯曲或起拱、以及卷料用完时，自动保护装置都能发出信号。

对进给监视的要求是：当材料误送以致导正销或

定料销无法进入、工序件定位不正、叠片以及工序件未送进或用完时，自动保护装置都能发出信号。

出件自动保护装置用以监视工件的正常逸出或工件，当出现非正常情况时发出信号。

自动保护装置的传感方式，有接触式和无触点式两种。前者主要通过机械方式使电触头动作，后者通过电磁感应、光电或β射线等取得信号。

自动排除冲压加工中产生的故障，还存在程度不同的困难。目前对自动保护装置的要求，是在发生故障时使压力机迅速停止。对于滑块行程次数不超过 200 次/min 的压力机，电子控制的自动保护装置发现故障后可使滑块在同一行程中停止。行程次数更高时，只能在完成这一行程后停止。如果此刻离合器已脱开，则滑块下行时无飞轮驱动，可使模具损伤减至最小。

3 自动冲模

3.1 自动冲模分类

冲模加上前节所述的有关装置，具有自动进给、自动出件等功能，就成为自动冲模。自动冲模在普通压力机上使用。

按照进给对象，自动冲模可分为原材料自动进给和工序件（包括落料平片）自动进给两类。原材料自动进给冲模按进给机构形式，又可分为辊式、夹持式和其他形式。工序件的自动进给大都采用推板或回转盘形式。

从结构布局来看，自动进给冲模可分成两类。一类是模具的自动进给部分与冲压部分基本上是分开的，如图 4-13-32。这类冲模如把自动进给部分拆除，把冲压部分稍作修改，安装在自动压力机上仍能自动冲压。另一类是自动进给部分与冲压部分难以分开的。原材料自动进给冲模大多属于前一类。工序件自动进给冲模，每次放入一定批量的属前一类的居多，而被进给的工序件是在同一副模具内冲出的属后一类。

3.2 辊式自动送料冲模

图 4-13-32 的垫板冲孔落料连续自动冲模是在普通冲模上加上通用辊式自动送料装置而成。

卷料先手工送进，由侧刃定位，到进入辊子 1 和 2 之间并夹持后，开始自动冲裁。当回程时，带有调节螺母的螺杆 4 随之上行，使支架 3 转动，将卷料在一对辊子间向右送出。当工作行程时，拉簧 5 使支架 3 复位，由于超越离合器 6 的作用，此时辊子 1 和 2 不转，卷料



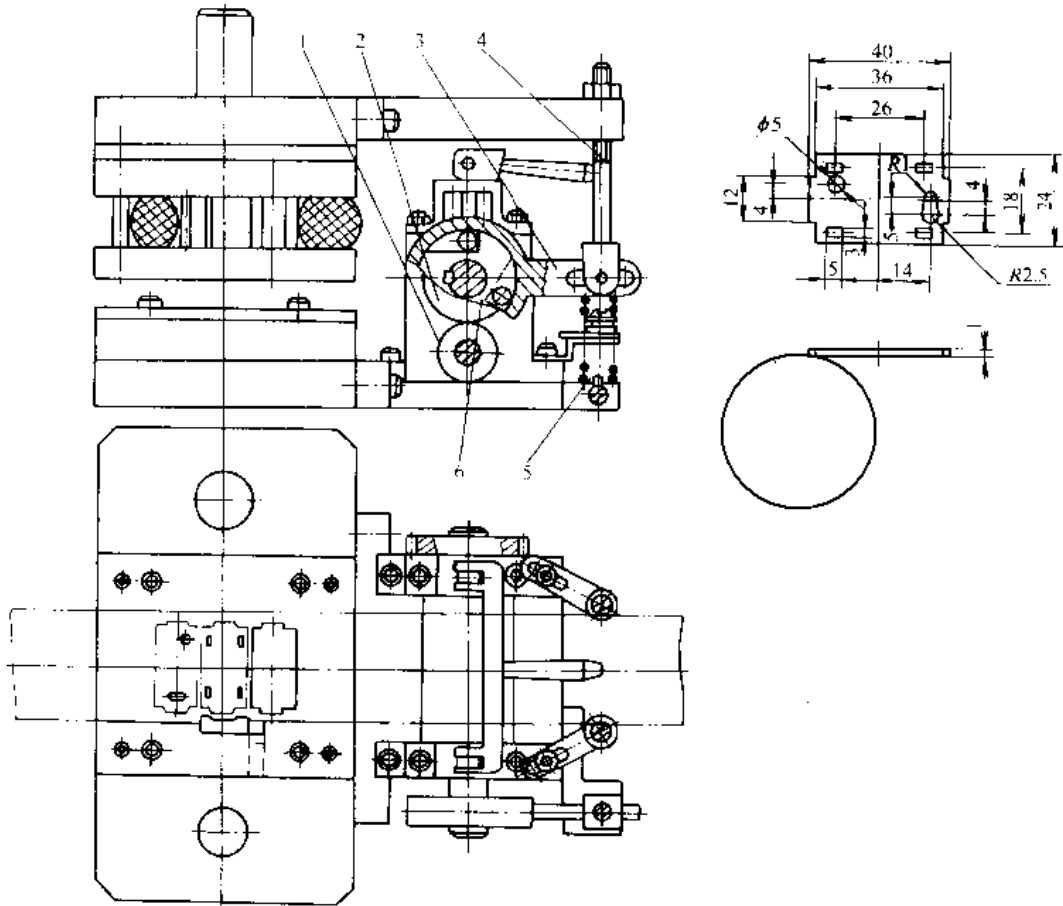


图 4-13-32 垫板冲孔落料连续自动冲模

1、2—辊子 3—支架 4—螺杆 5—拉簧 6—超越离合器

不动。

由于所冲压的材料较薄，为避免送进时材料弯曲，故采用拉式自动送料机构。

3.3 夹持式自动送料冲模

图 4-13-33 为下板无废料冲孔、切断、弯曲硬质合金自动冲模。其夹持式自动送料装置在一定范围内可以通用。

工作行程时，固定在支架 1 上的斜楔 2 随之下降。斜面使带有滚轮 3 的送料夹持器 6 在由导板 7 和下座板 10 组成的槽内向右滑动。在此过程中，坯料被定料夹持器 9 卡住停止，直至行程结束。回程时，送料夹持器 6 在弹簧 5 作用下夹持坯料向左移动。此时，固定在下座板 10 上的定料夹持器 9 内的滚柱 8，逆弹簧 11 的力松开，让坯料通过。

可通过调节螺杆 4 和变换斜楔 2 改变送料步距。

3.4 钩式自动送料冲模

钩式自动送料装置利用搭边或冲出的断面推动材料前进。因搭边刚性不足和废料在冲压后的变形，送料精度较差。采用钩式送料，料厚至少 1mm，要有较大搭边，并配合提高定位精度的措施。

图 4-13-34 为簧片连续自动冲模，材料厚 1.5mm，带料排样搭边宽度前后为 2mm，左右为 2.5mm。

材料先手工送进，待带料上的落料孔至钩 2 下面时，开始自动进给。工作行程时，斜楔 1 推动滑块 3，送料钩 2 钩住带料向左移动，挡料销 5 被压下，斜楔 1 完全进入滑块 3 后，送进完毕。此时，挡料销 5 进入带料空档处弹起，带料由侧刃挡板 6 定位面定位。凸模继续下降时，同时进行冲孔和落料。

回程时，滑块 3 及送料钩 2 由弹簧 4 复位。送料钩 2 通过材料搭边时，因头部侧面作用而抬起。



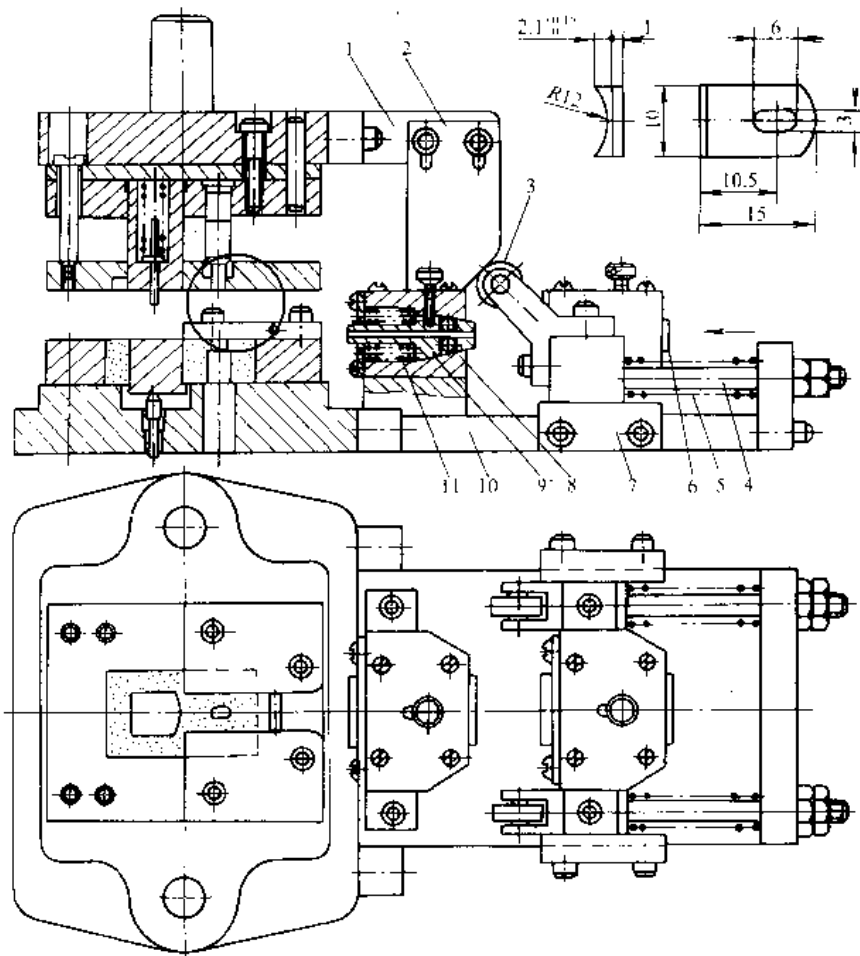


图 4-13-33 卡板冲孔切断
弯曲硬质合金自动冲模
1—支架 2—斜楔 3—滚轮
4—螺杆 5、11—弹簧
6—送料夹持器 7—导板
8—滚柱 9—定料夹持器
10—下座板

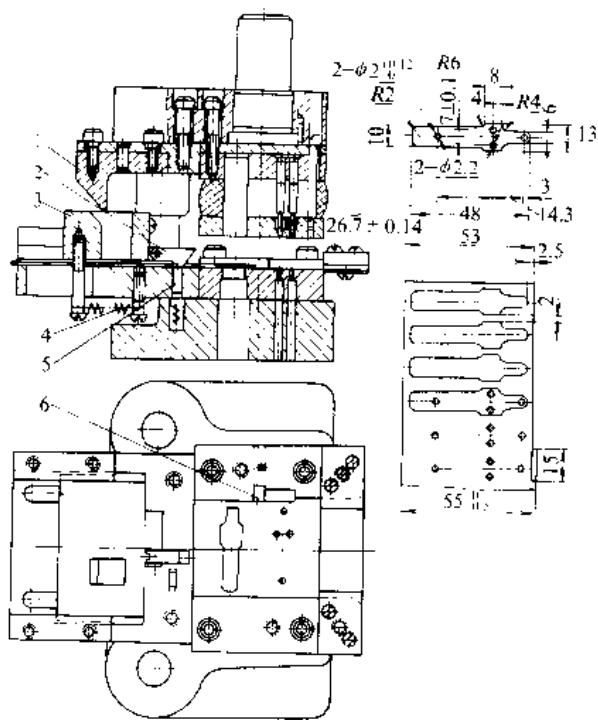


图 4-13-34 簧片连续自动冲模
1—斜楔 2—送料钩 3—滑块 4—弹簧
5—档料销 6—侧刃挡板



3.5 推式工序件自动进给冲模

图 4-13-35 为落料拉深半自动冲模。条料用手工送进。工作行程时落出的平片停留在模块 11 平面上。同时，斜楔 5 通过滚柱 1、板 13 和杆 14，逆弹簧 12 之力将板 10 向右推，而拉深凸模 6 与凹模 3 将送来的平片拉深成形。

回程时，卸件装置 2 (3 件) 在弹簧 4 作用下从凸模 6 上卸件。同时弹簧 12 将板 10 向左拉，把停在模块 11 面上的平片推过一个进距。这样，平片被逐步送进，最后到达拉深凹模 3 被拉深成形。

3.6 回转式工序件自动进给冲模

图 4-13-36 的自动校平模，利用气缸带动回转盘作工序件的自动进给。气缸由装在压力机曲轴 1 上的凸轮 2 通过换向阀 3 控制。

这副冲模有一定的通用性，更换挡杆 4 并调节其位置，可存储不同形状和尺寸的工序件。转盘上容纳工序件的定位板 5 由弹簧销 7 固定，按下扣 6 使销 7 退回，从而可换定位板 5。

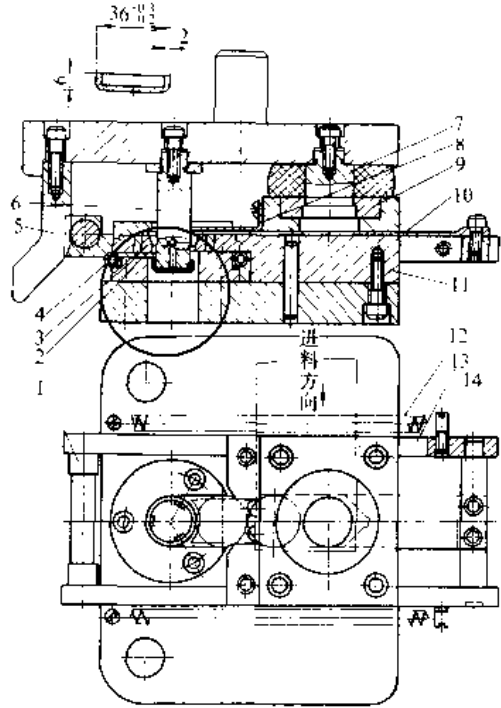


图 4-13-35 圆盖落料拉深半自动冲模

- 1—滚柱 2—卸件装置 3、9—凹模 4、12—弹簧 5—斜楔 6、7—凸模 8—盖板 10、13—板 11—模块 14—杆

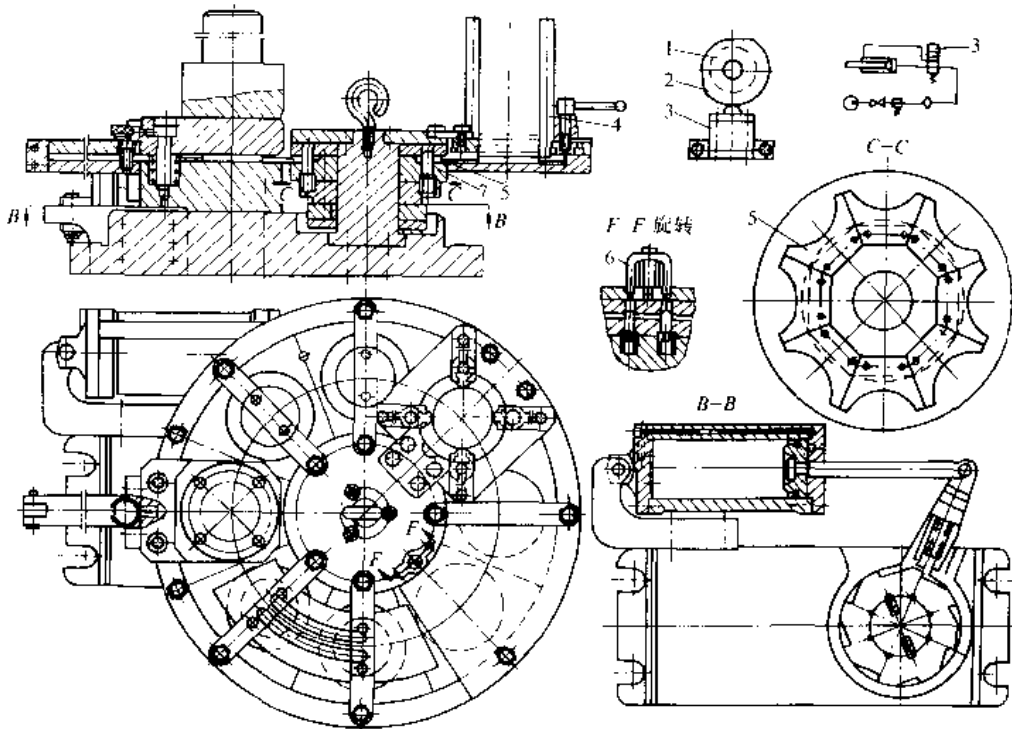


图 4-13-36 自动校平模

- 1—压力机曲轴 2—凸轮 3—换向阀 4—挡杆
5—定位板 6—扣 7—弹簧销



3.7 自动出件冲模

图 4·13-37 为带有自动弹出装置的通用校平模。工序件沿滑板 7 滑到校平模上,在工作行程时校平。回

程时,钩 6 使拨杆 5 绕轴转动,推动小滑块 4 向右移动,将校平过的工件推入斜槽 10 内滑入容器。小滑块由弹簧 3 复位。

为减小小滑块 4 对支架 1 的冲击,其尾部装有弹

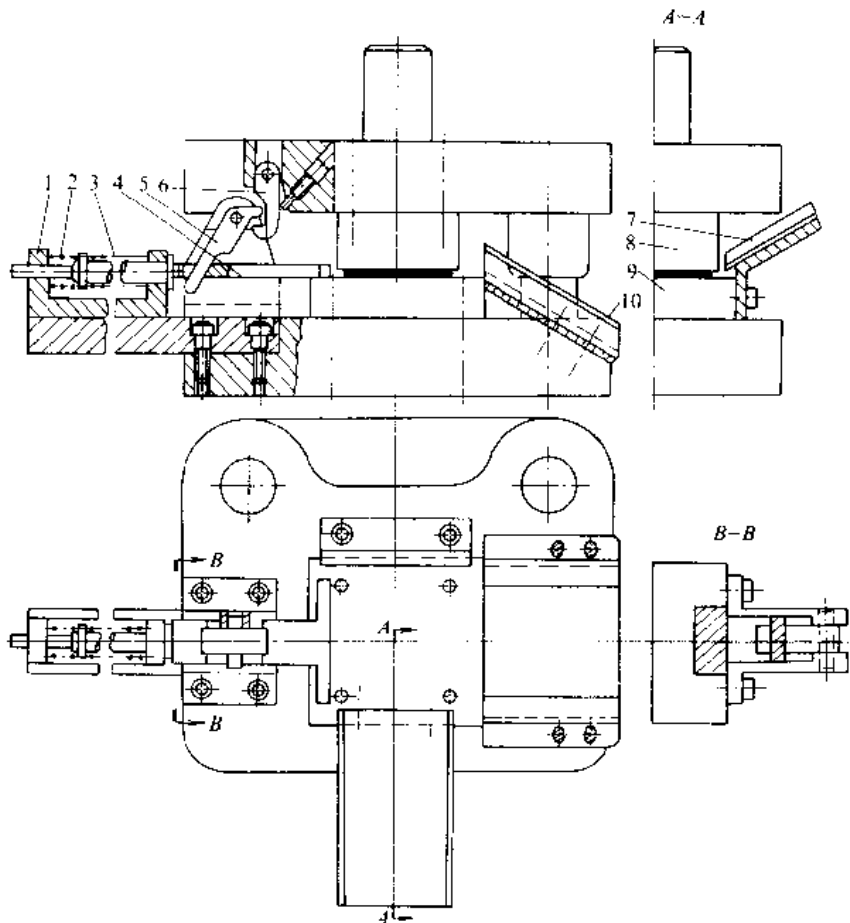


图 4·13-37 通用自动出件校平模

- 1—支架 2、3—弹簧 4—小滑块 5—拨杆 6—钩 7—滑板 8—校平上模
9 校平下模 10—斜槽

簧 2 起缓冲作用。

4 冲压自动线

冲压自动线主要用于两种情况:一是当大型冲压件有多道工序需要连续自动冲压时。因为对于小型冲压件,可用连续模合并多道工序在一台压力机上加工,或不用连续模使用多工位压力机,但对大型冲压件,类似做法会给模具或压力机制造带来困难。二是对于小型冲压件,有时在一台压力机上实现自动冲压虽有可能,但利用原有压力机和模具,建立冲压自动线更为合理时。

4.1 上(出)件机械手连接的冲压自动线

1. 总体布局 这类自动线压力机都是贯通排列(图 4·13-38)。为便于从自动线侧面装卸模具,要求压力机侧面有足够大的窗孔容许模具通过。全部由单动压力机组成的自动线,各台压力机之间的距离一般相等。有的自动线第一台压力机是双动的,用以完成拉深工序。这台压力机与相邻单动压力机的间距要比以后各台单动压力机间的大,用以容纳翻转装置以及检查和排除废品的工位。

这类自动线常由 4~5 台压力机组成,配置板料传



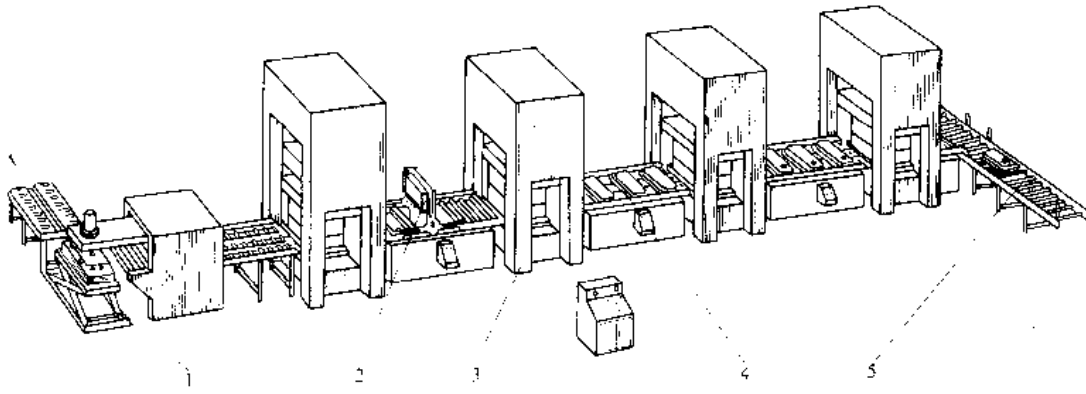


图 4-13-38 贯通式冲压自动线

1—板料传递装置 2—翻转装置 3—压力机 4—工序件传递装置 5—辊道

送装置、上料装置、上件机械手、出件机械手、翻转装置和间歇输送装置等。

2. 自动线流程 自动线流程大致如下：

板料传递和上料装置把料送入第 1 台压力机→第 1 台压力机冲压→出件机械手把工序件取出放在间歇输送装置上→间歇输送装置把工序件逐步送至上件机械手工作位置→上件机械手把工序件取走放入第 2 台压力机→第 2 台压力机冲压→…→最后一台压力机冲压→出件机械手把工件取出放在传送带上运走。

图 4-13-39 为上件机械手、出件机械手、间歇输送装置和压力机的相互位置关系。

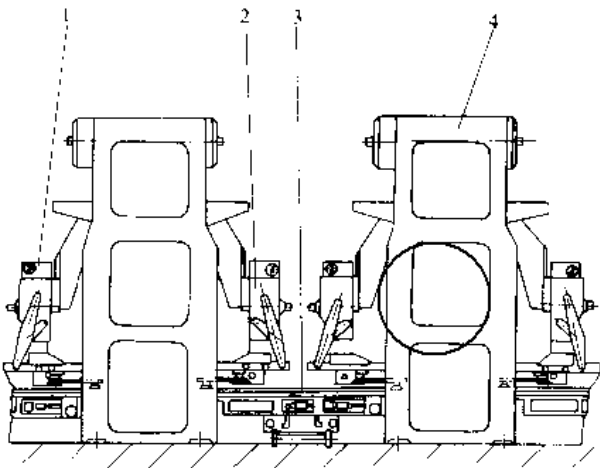


图 4-13-39 上(出)件机械手连接的冲压自动线

1—上件机械手 2—出件机械手
3—间歇输送装置 4—单动压力机

3. 冲压自动线的同步和协调

a. 协调 每一台压力机必需和相应的进给装置(包括上料装置、上件机械手、出件机械手、间歇输送

装置、翻转装置)动作协调。协调可以通过进给装置由压力机机械机构传动,或进给装置和压力机电器联锁来保证。

b. 同步 自动线的同步可分为间歇同步和连续同步两类。间歇同步是各台压力机单次运转,但第 1 台压力机如果是双动的,由于滑块行程次数较低,往往是连续运转。间歇同步的压力机离合器和制动器易发热磨损。

连续同步是各台压力机都连续运转。如各台压力机的工艺负载相近,滑块行程次数基本相同,可采用交流绕线式电机通过控制回路自动调整电阻,来保证压力机同步运转。当各台压力机的工艺负载相差悬殊,滑块行程次数不一致时,需要用直流电机驱动,以便于调速。这种方法控制系统复杂、造价昂贵,适宜于自动化程度高,生产批量大的冲压自动线。

4.2 通用机械手连接的冲压自动线

由于通用机械手有不同档次,其运动自由度、运动速度、定位精度、控制方式等不尽相同,因此这类自动线的构成和布局存在多种方案。影响方案的因素有:机械手功能、工序件输送方式、第 1 台压力机上料(件)方式、压力机床身形式等。机械手的档次越高、功能越强完成的动作越多对其他装置的要求越低,甚至可取代部分装置。但选择机械手类型,要从技术和经济角度综合考虑。

图 4-13-40 的冲压自动线由短料传递装置、夹持送料机构、两台压力机、1 台通用机械手和传送带组成。机械手有两个手臂,作旋转运动。第 1 个手臂把第 1 台压力机加工完的工序件取出,放入第 2 台压力机。第 2 个手臂把第 2 台压力机冲出的工件取出,放到传送带上。



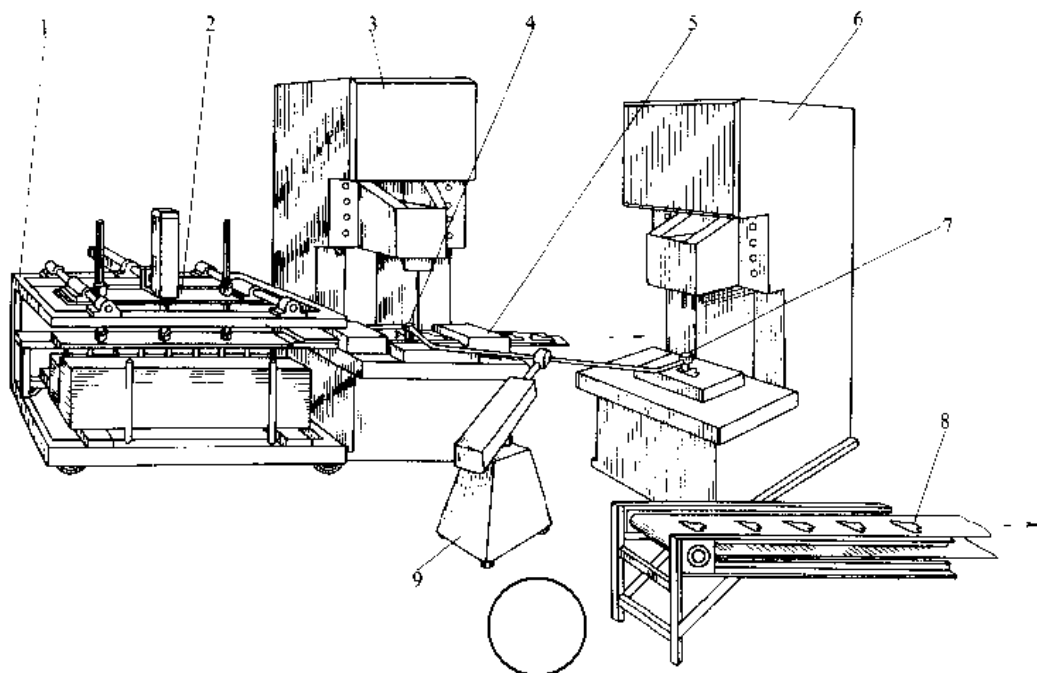


图 4-13-40 通用机械手组成的冲压自动线

1—短料传递装置 2—移料机构 3、6—压力机 4、7—手指 5—夹持送料机构
8—传送带 9—通用机械手

4.3 夹板式往复进给装置连接的冲压自动线

这种冲压自动线由几台(一般不超过 8 台)压力机组成,也可由少数多工位压力机串接成线。最前面的 1 台压力机往往是双动拉深压力机,第 1 台压力机前端,是平片自动上件装置。夹板进给装置贯通全线,装在夹板上的卡爪接住平片依次送进,在各台压力机上加工,并将成品送离自动线。

图 4-13-41 为 5 台单动压力机组成的冲压自动线。前端为平片上件装置,后端为夹板驱动装置。

连接自动线的夹板式进给装置,其动作有双向和

3 向的。双向动作绝大多数是卡爪在水平面内进行“夹紧—送进—放松—退回”循环(图 4-12-18a)。3 向动作的进给装置增加了卡爪上下运动,结构更复杂,惯性大,但能简化冲模设计,并允许下模表面有凸起部分。

与机械手连接的冲压自动线一样,夹板式进给的冲压自动线的同步也有间歇同步和连续同步两种。只有当夹板式往复进给装置的循环时间赶得上压力机的工作循环时间时,考虑在压力机驱动系统上采取措施,实现同步才有意义。具备这个先决条件的往往是大型压力机。对于较小型的压力机,其工作循环快于夹板进给循环,压力机作单次运转,间歇同步。

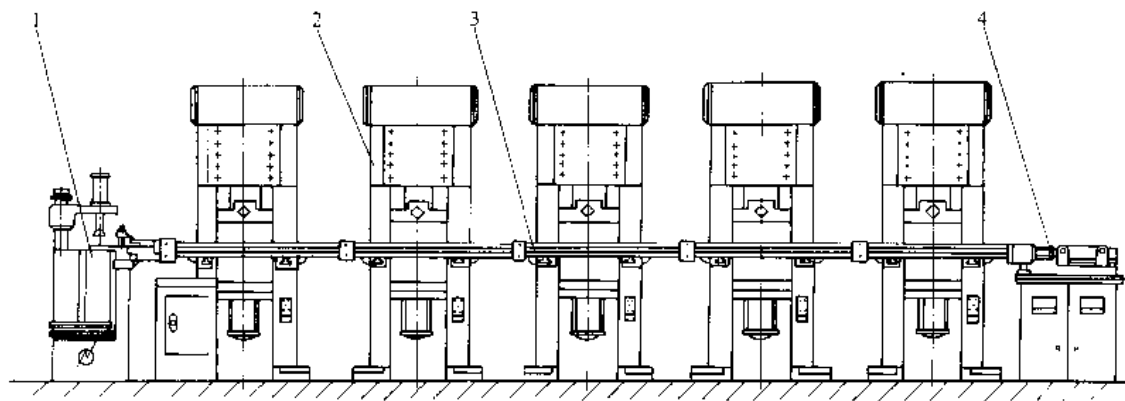


图 4-13-41 5 台单动压力机组成的冲压自动线

1—平片上件装置 2—压力机 3—夹板 4—夹板驱动装置



动线配备1台8000kN闭式单点压力机和3台12500kN闭式单点压力机。自动化部件分述如下:

(1)短料传递装置。叉式送料车16将成叠的短料送到顶料位置,顶料机构15把材料顶起,送料车16退回。提料机构12的电磁吸盘下降,吸料后回升,并将材料移至夹板送料机构14上面,吸盘释料。夹板送料机构按“夹紧—送进—放松—退回”程序,逐次将坯料送入8000kN压力机冲孔落料。每一坯料冲3个工序件。

提料机构12每提取5片料后,顶料机构15顶升1次($5 \times 10 = 50\text{mm}$)。当最后1片坯料被提取时,顶料机构复位。送料车16送来另1叠坯料,继续上述传递动作。

(2)环形贮件装置。介于8000kN和12500kN压力机之间,起柔性贮件作用。从8000kN压力机冲出的工序件沿斜面滑入接件装置11的贮件架13内。空的贮件架先被油缸顶起接件,每接5件后油缸下降1次($5 \times 10 = 50\text{mm}$)。贮件架装满工序件后,绳索缸推进器18推空架把满架送到升降器17上。升降器升起,满架沿无驱动及有驱动斜辊道20和19下滑。

在空、满架交替时,为使压力机不停止工作,接件装置11上装有接件板,接件板翻上时可容纳5个工序件。在空贮件架到达预定位置时,接件板翻下把5个工序件放入空架。满架滑至有驱动斜辊道的一端后,位于12500kN压力机一侧的另一绳索缸推进器18将满架送到提升装置10。在装置10上,满架被逐步顶起(每次顶起10mm),电磁吸盘下降把最上面的工序件吸住提起,送给夹板式往复进给装置。吸盘运动由凸轮控制器指令,与压力机保持协调。当贮件架13被最后1次顶起时,架上的工序件(5件)由单向活动销钉(见图4-13-2)托住。卸空的贮件架随顶升缸退回,贮件架前面的挡块抬起,绳索缸推进器又送来一个满架,同时推出空架,顺辊道循环运行,重又进入接件装置11。

(3)夹板式往复进给装置。每台12500kN压力机各有1套夹板式往复进给装置,传送工序件。该装置由压力机中间轴驱动,经齿轮减速器9、扭矩传动轴8把扭矩传给行星齿轮箱7,使长夹板作往复进给运动。夹板的夹紧和放松是由固定在滑块上的平面凸轮驱动,完全和压力机同步。

第14章 冲压柔性加工系统^{[15]~[41]}

1 概述

1.1 冲压柔性加工系统定义

冲压柔性加工系统(FMS)是由一组数控冲床及其自动化设备、工艺装备组成的制造系统,物料自动储运系统和信息控制系统三者结合并由中央计算机管理使之自动运转的加工系统。这种系统可按任意顺序加工一组不同工序与加工节拍的工件。工艺流程可随工件不同而调整,可在设备的技术范围内自动地适应加工工件和生产规模的变化。

1.2 冲压柔性加工系统组成

冲压柔性加工系统由以下三部分组成:

(1)数控机床组成的加工系统。如数控冲模回转头压力机,数控板料加工中心,激光切割—冲裁组合压力机,等离子切割—冲裁组合压力机和数控折弯机等组成的冲压加工系统。

(2)自动化的物料储运系统。该系统包括板料、工件和模具的储运。自动化储存设备有自动化立体仓库、自动化模具库等。自动化运输系统有自动导引运输车、各种形式的传送带和工业机器人等。

(3)信息控制系统。由计算机对柔性加工系统中的活动(例如板材的储存和运输、模具储存和更换、冲压加工、激光切割等)进行协调和控制。

1.3 冲压柔性加工系统特点

柔性加工系统具有以下特点:

(1)加工系统中各数控加工设备可设有统一的生产节拍。设备之间采用中间缓存库等平衡协调生产节拍。

(2)能用于同类产品多品种、中小批量的冲压件生产,故可以获得更好的经济效果。

(3)加工系统由计算机进行自动化控制和管理,大大地减少操作人员,甚至可作到无人化管理。

(4)可提高机床利用率和缩短生产周期。



1.4 冲压柔性加工系统类型

按规模的大小和自动化程度的不同冲压柔性加工分以下四种类型：

1. 单机柔性加工中心 如图4-14-1所示，冲压工作在单台数控压力机上完成，由计算机控制和协调送料装置及换模机械手的工作，使其上能加工类型相同但尺寸规格不同的多种冲压件。

2. 柔性加工单元 柔性加工单元是一种在有少量人参与情况下，能加工不同类型冲压件的自动化加工单元。其柔性程度通常只限于设计时所规定的工件族。一般由数控压力机，模具自动更换机构和物料自动储运机构组成。也可由带自动换模机构的数控压力机和物料自动储运机构组成。图4-14-2为板料柔性加工单元的示例。

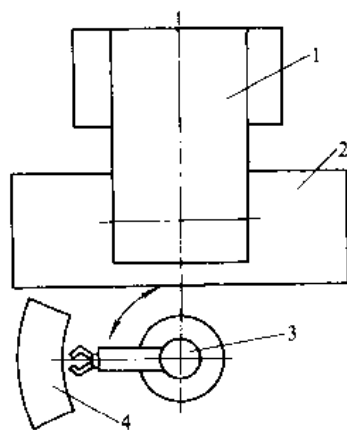


图 4-14-1 单机柔性加工中心
1—数控压力机 2—XY方向送料台
3—换模机械手 4—模具库

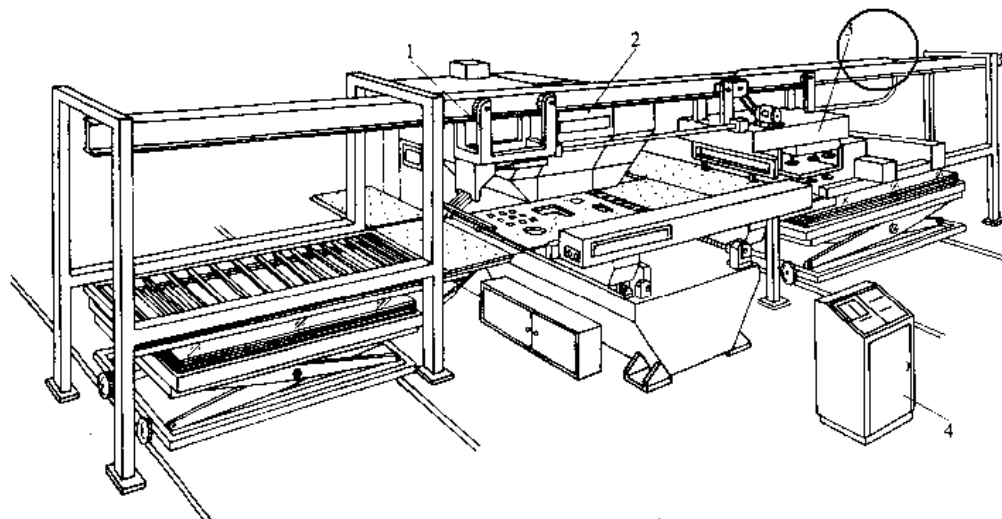


图 4-14-2 板料柔性加工单元
1—夹钳式下料装置 2—数控冲模回转头压力机
3—吸盘式上料装置 4—控制器

3. 柔性加工系统 它是由多台数控冲压设备组成的冲压加工系统、物料储运系统和计算机信息系统三部分组成的。或由多个柔性加工单元、自动化立体仓库和计算机分级控制系统组成。图4-14-3及图4-14-4为冲压柔性加工系统示例。

4. 综合柔性制造工厂 这是一种规模大，自动化程度最高的柔性加工系统。它是由多个不同类型的柔性加工系统、集中统一的自动化仓库、物料运输系统和分布式多级计算机控制系统组成。在这种柔性制造工厂中，最高一级主计算机负责生产计划和日生产进度计划的制定及生产管理，并与CAD/CAM系统相连，以取得自动编制数控零件程序的数据，实现对整个系统的控制；自动化立体仓库能满足大量存取众多的材

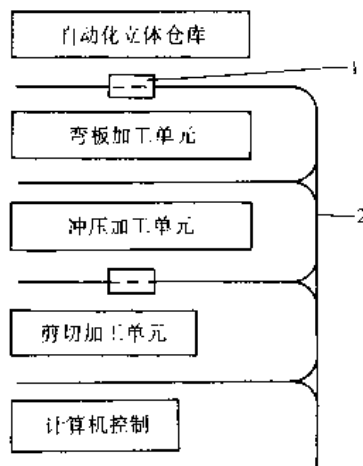


图 4-14-3 冲压柔性加工系统组成框图
1—自动导引运输车 2—自动导引运输车运输路线



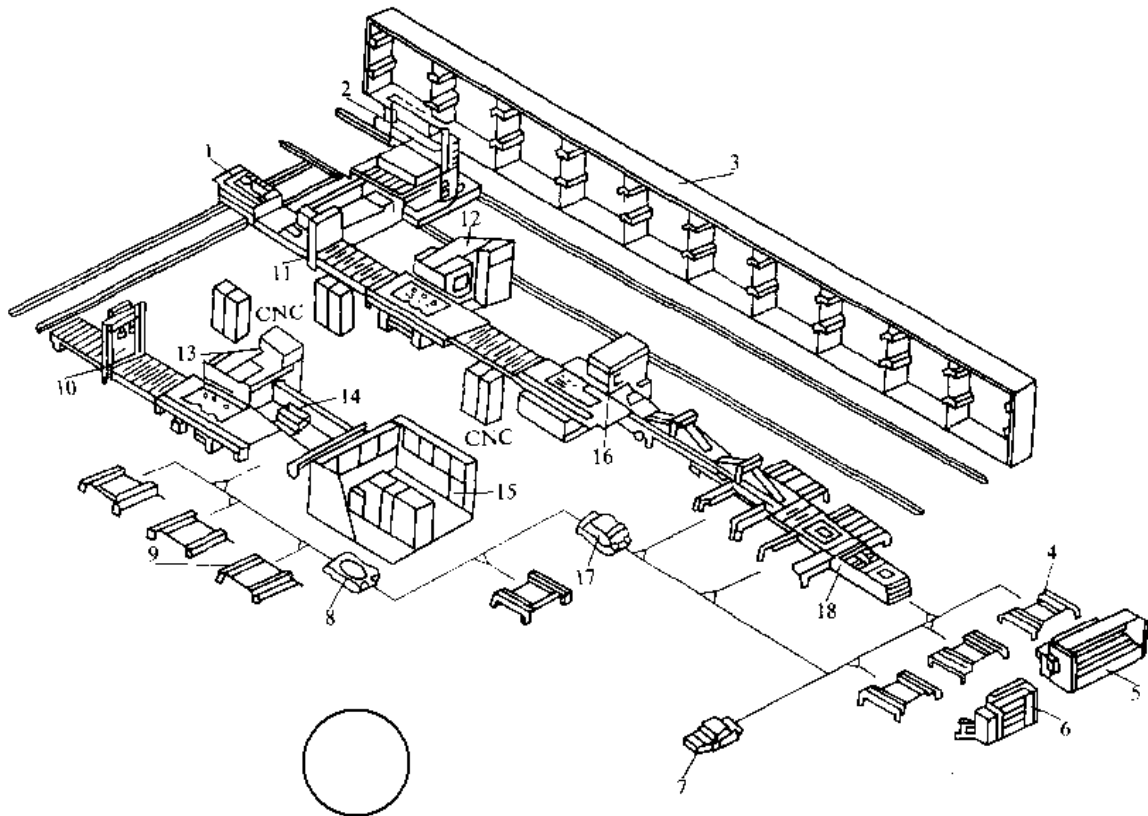


图 4-14-4 冲压柔性加工系统

- 1—装料台车 2—堆垛起重机 3—自动化仓库 4—板料平台 5、6—折弯机 7、8、17—自动导引运输车
 9—焊接场 10—装料器 11—装料器 12、13—转塔式压力机 14—挪料机 15—中央控制室
 16—角钢剪切机 18—分类装置

料、工件和工具；数控机床可以是各种加工中心、数控板料加工压力机和其他数控机床。工具可自动装卸，废工具可自动更换、自动检测和自动补偿。故也有人把这种高度自动化的综合柔性加工厂称为无人化工厂。

1.5 冲压柔性加工系统适用范围

图 4-14-5 表示了各类系统的适用范围情况。图中

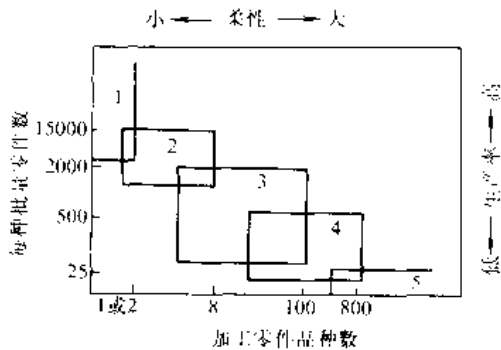


图 4-14-5 自动化生产系统与产量的关系

- 1—自动线 2—柔性自动线 3—柔性加工系统
 4—柔性加工单元 5—单台数控机床

的纵坐标表示各种加工系统适用的批量加工零件数，横坐标表示适用的加工零件种类数。从图中可见，柔性加工系统适用于中小批量生产，批量的零件数范围为 50~2000 件，加工零件的种类数为 4~100 种。

2 柔性加工系统的主要加工设备

2.1 数控冲模回转头压力机

2.1.1 用途及特点

数控冲模回转头压力机（图 4-14-6 及图 4-14-7）是板料柔性加工系统中常用的主要设备，用来对板料进行冲裁加工，例如冲裁电气与电子工业中的控制板、底板等。这种机器的结构特点是在压力机滑块与工作台之间、有一副可存放若干套模具的回转头（即专用回转型模具库）。工作过程如图 4-14-7 所示：待加工板材被夹持在活动工作台上，压力机滑块压模具，从而冲出所需形状和尺寸的孔。其优点是自动、快速换模、通用性强、生产效率高。表 4-14-1 列出了冲模回转头压力机的技术参数。



表 4-14-1 冲模回转头压力机技术参数

公称压力 (kN)		160	300	600	1000	1500
滑块行程 (mm)			25	30	40	50
滑块行程次数 (次/min)		120	100	100	50	60
模具数量 (个)		18	20	32	30	32
滑块中心到床身距离 (mm)		750	620	950	1300	1520
冲压板料尺寸	冲孔最大直径 (mm)	80	84	105	115	130
	最大厚度 (mm)	4	3	4	5.4	8
被加工板料尺寸(前后×左右)(mm)			600×1200	900×1500	1300×2000	1500×2500
孔距间定位精度(mm)		±0.1	±0.1	±0.1	±0.1	±0.1
主电机功率(kW)			4	4	10	10
机器总质量(kg)			8000	20000	30000	40000

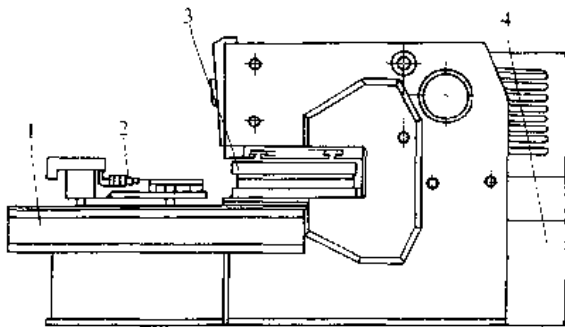


图 4-14-6 数控冲模回转头压力机
1—工作台 2—夹钳 3—回转头 4—液压缸

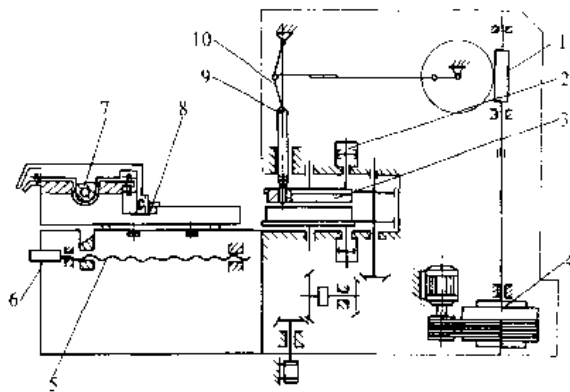


图 4-14-7 数控冲模回转头压力机工作原理图
1—蜗杆副 2—定位销 3—回转头 4—离合器
5、7—滚珠丝杠 6—液压马达 8—夹钳
9—滑块 10—肘杆机构

2.1.2 冲模回转头

冲模回转头(图 4-14-8)由上、下转盘组成。在

上转盘 9 中装存若干个凸模 7、凸模模座 6 通过轴颈 1 固定在板 3 上。下转盘上安装凹模。在更换模具时,回转头上下盘同步旋转一个角度后停止,板 3 保持静止,模柄 2 嵌入压力机滑块 T 形槽内。滑块下行时,凸模 7 也随同下行,便完成一个冲压工序。

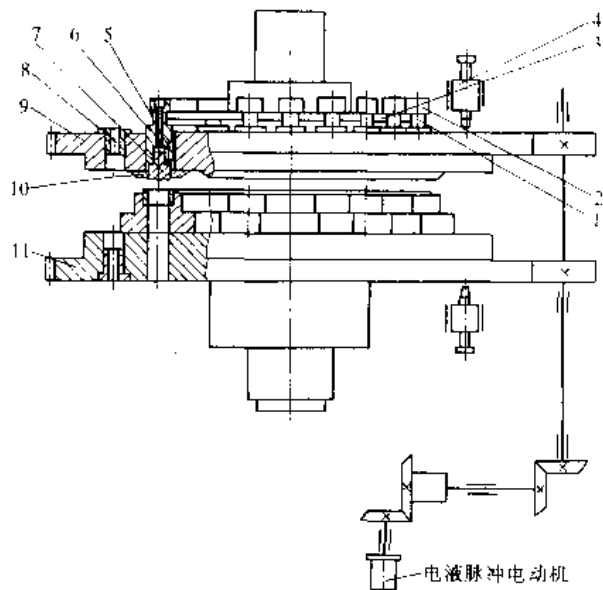


图 4-14-8 冲模回转头

- 1—轴颈 2—模柄 3—板 4—定位销 5—键
6—模座 7—凸模 8—定位销孔锥套
9—上转盘 10—板 11 下转盘

2.1.3 控制系统

图 4-14-9 所示为 JK92—30 数控冲模回转头压力机控制系统原理框图示例。



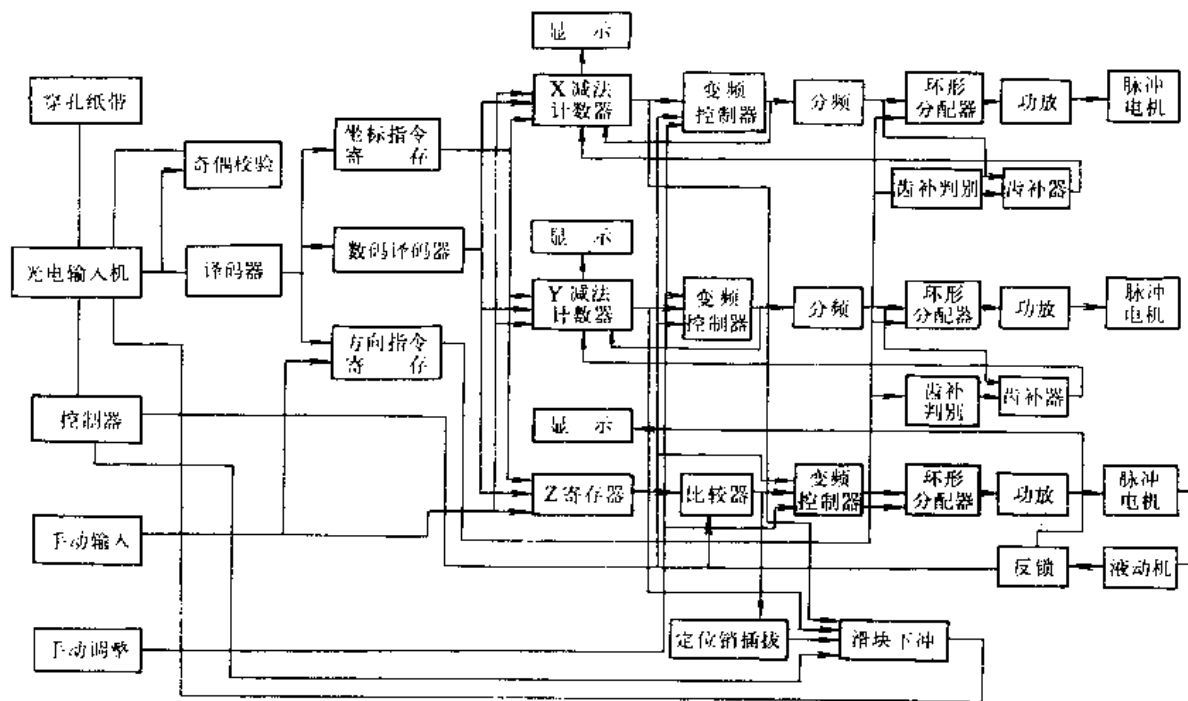


图 4-14-9 数控冲模回转头压力机控制系统原理框图

2.1.4 工作台

工作台(图 4-14-10)由两块活动板和传动系统组成。上、下滑块分别由电液脉冲电机用滚珠丝杠—滚珠螺母传动系统来驱动,使上活动板横向运动,下活动板纵向运动,以实现板料在 X、Y 方向送进。板料在送进之前由夹钳夹紧定位。

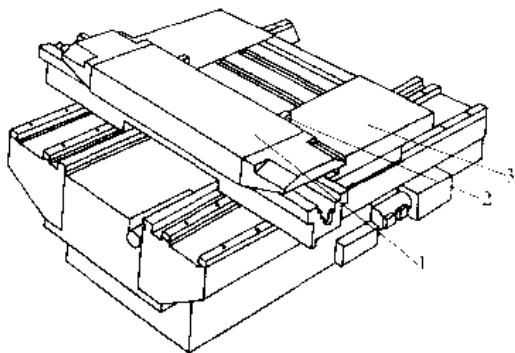


图 4-14-10 工作台

1—上滑板 2—夹钳 3—下滑板

2.2 激光切割—冲裁组合压力机

2.2.1 用途

主要用于加工普通冲裁难以完成的小孔、狭缝、尖角等复杂孔型或外缘轮廓。由于激光头可以调节激光焦点和被加工板料之间的相对距离,因而它还可以加

工空间异型曲面上的孔。除能对金属材料切割外,还可以对硬而脆的非金属材料以及软材料进行切割加工。

2.2.2 激光切割原理(图 4-14-11)

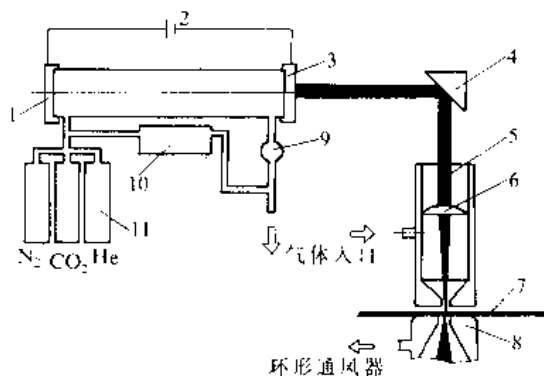


图 4-14-11 激光切割原理

- 1—反射镜 2—高压电源 3—输出耦合镜
- 4—反射镜 5—切割头 6—聚焦透镜
- 7—板料 8—下支承头 9—真空泵
- 10—再循环 11—气源(N₂、CO₂、He)

激光切割系统由激光发生器和激光切割头组成。在谐振器中通过激光气源 CO₂、充填气体 N₂ 和内冷却气体 He 的混合气体,利用高压电源的放电作用发射出激光束,经反射镜垂直传至切割头中。激光束经切割头的聚焦透镜在被加工的板料上聚焦。在激光聚焦点,激光以 1MW/cm² 的能量密度作用在被加工板料上。材料吸收光能后转变为热能,使材料在微小体积范围

DZD



内温度急剧升高, 并达到熔化、汽化温度。被熔化、汽化的金属在切割头下端的间隙处用空气吹走。板料夹持在活动工作台上。工作台在计算机控制下作平面运动, 板料在送进过程中完成切割动作。激光切割具有表面光洁、热影响区小、变形量极小等优点。

2.2.3 组成 (图 4-14-12)

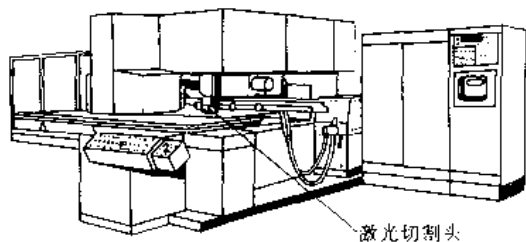


图 4-14-12 激光切割—冲裁组合压力机

激光切割—冲裁组合压力机由激光切割系统和机械冲裁机构两部分组成。机械冲裁部分的结构和一般压力机相同。该机带有一个模具库, 它一般能存放冲裁直径为 76mm 以下的各种模具 16 套。激光切割系统的工作机构是激光切割头, 被放置在弓形机身上部的前端, 并与机械冲裁部分的模具夹持器并列。表 4-14-2 为激光切割—冲裁组合压力机的技术参数。

表 4-14-2 激光切割—冲裁组合压力机技术参数

公称压力 (kN)	180
板料最大厚度 (mm)	6.4
激光切割输入功率 (W)	500
波长 (nm)	10.6
最大切割速度 (m/min)	8
每分钟行程次数 (次/min)	280
外形尺寸 长×宽 (mm)	6500×2800
总质量 (kg)	13500

① 为 CNC—TRUMATIC 180WL 型。

2.3 等离子切割—冲裁组合压力机

2.3.1 用途

等离子切割—冲裁组合压力机可以用来加工黑色

金属板材、非铁金属板材和不锈钢板材的大型工件上各种形状的孔, 被加工板材的厚度可达 12mm。这种加工方式的优点是生产效率高, 劳动强度低和成本低。

2.3.2 等离子切割原理

如图 4-14-13 所示, 被加工的板材 4 放置在等离子切割头和支承头之间。切割头内的氮气在电极 6 发出的电弧作用下电离成温度高达 50000K 的等离子流, 离子流通过喷嘴形成离子束 2, 高能量的离子束喷射到板料上, 使板料熔化、汽化进行切割。喷射水流 5 除控制离子束的大小外, 还有冷却被加工板料的作用。氮气电离所产生的有害气体 NO₂, 熔化、汽化的金属等有害物质分别从吸出口 1 和下支承头排出。

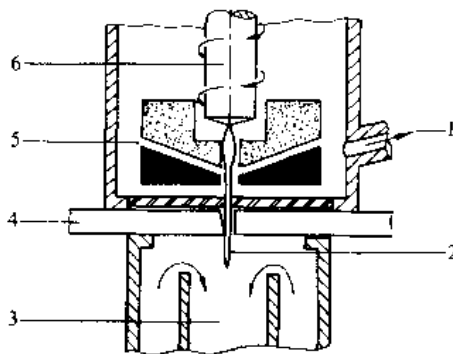


图 4-14-13 等离子切割原理

1—吸出口 2—等离子束 3—液压排除熔渣
4—板料 5—喷射水流 6—电极

2.3.3 组成 (图 4-14-14)

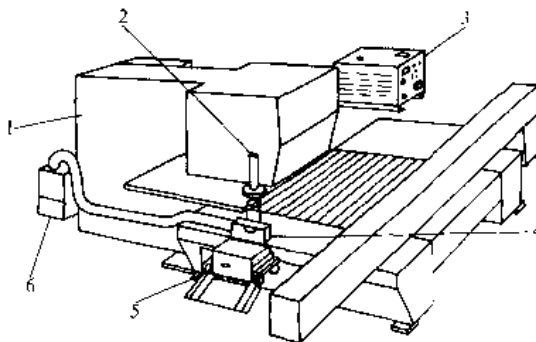


图 4-14-14 等离子切割—冲裁组合压力机

1—机身 2—切割头 3—等离子装置 4—卸料槽
5—废料库 6—过滤装置

等离子切割—冲裁组合压力机由等离子切割系统和机械冲裁机构两部分组成。机械冲裁部分与一般压力机相同, 等离子切割系统由等离子发生器和切割头组成。表 4-14-3 列出了部分这类压力机的技术参数。



表 4-14-3 等离子切割—冲裁组合压力机技术参数

型 号	647B①	W-3050MACH11	Trumatic300PW
公称压力 (kN)	360	300	300
被加工板料最大厚度 (mm)	12.7	6.35	12.7
最大切割速度 (mm/min)	7.3	4.5	5.7
滑块每分钟行程次数 (次/min)	—	235	265; 400
板料最大送进速度 (m/min)	15.24	38.1	60
最大冲孔直径 (mm)	127	120	105
被加工板料最大轮廓尺寸 (mm)	1219×2438	1270×1830	1600×2350
压力机外形尺寸 长×宽×高 (mm)	5283×3500×1828	—	7100×6800×2260
总质量 (kg)	13137	—	19500

注：摘自 [KJ1111] 1983.9 38页。

① 647B为美国 Whitney 公司的产品；W-3050和 MACH11为美国 Wiedemann 公司的产品；Trumatic和 300PW为德国 Trumpf 公司的产品。

2.4 数控直角剪板机

图 4-14-15 所示为 S-7000 型数控直角剪板机。该机有两个相互成直角的刀刃，可对坯料作直角剪切，因此可减少工序数，缩短加工时间。表 4-14-4 为该机的技术参数。

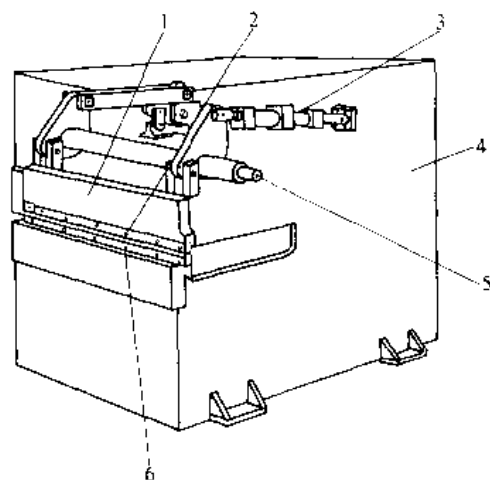


图 4-14-15 S-7000 型数控直角剪板机

1—压块 2—上刀片 3—液压油缸
4—机身 5—曲轴 6—下刀片

表 4-14-4 数控直角剪板机技术参数 (S-7000 型)

公称压力 (kN)	400
最大剪切板料厚度 (mm)	4.8
最大剪切板料尺寸 (mm)	1400×2500
X 向的刀片长度 (mm)	900
Y 向的刀片长度 (mm)	—
下刀片的长度 (mm)	950
槽深 (mm)	815
X 向移动距离 (mm)	2500
Y 向移动距离 (mm)	1400
最大送料速度 (m/min)	40
总质量 (kg)	1600

3 物料储运系统

3.1 物料储运系统的组成

物料储运系统由自动化立体仓库(材料仓库、成品



仓库和模具库等), 自动导引运输车、机器人、计算机处理装置和操纵台等组成。该系统实现原材料、半成品、成品、废料和模具等物的流动和贮存。

3.2 自动化立体仓库

1. 组成 自动化立体仓库主要由多层货架、堆垛机、货箱、自动导引运输车和控制装置等组成。这种仓库能充分利用空间, 节约地面, 增加贮存容量, 提高出入库效率, 便于管理。图 4-14-16 为某自动化立体仓库的平面图, 表 4-14-5 为几种立体仓库的主要技术参数。

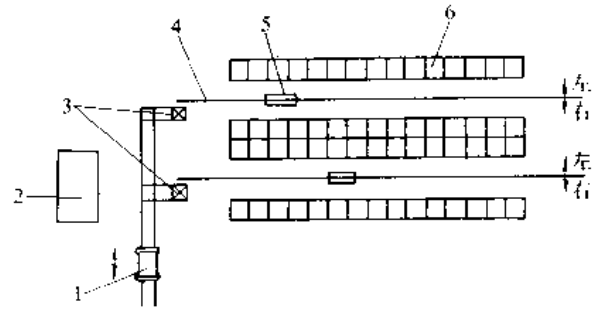


图 4-14-16 自动化立体仓库平面图

1—自动导引运输车 2—控制室 3—检货台
4—上、下梁轨道 5—堆垛机 6—货架

表 4-14-5 几种自动化立体仓库的技术参数

存放货品		汽车零件	小型货品	大型货品
货架结构 个×行×层		2×29×13	14×44×24	4×34×8 2×31×5
有效货箱数 (个)		1508	14614	1388
堆垛机	数量 (台)	2	7	3
	载质量 (kg)		110	1000
	速度 (m/min)	4; 20; 80	120	50
货箱尺寸	外形尺寸 (mm)	1300×920×1000	462×692×291	960×860×800 1075×1280×1370
	载质量 (kg)	500	—	—

2. 工作流程

(1) 在控制台上选定入库货格地址及堆垛机的运行速度和方向等。

(2) 起堆垛机, 自动寻址, 到达指定货格后停止。

(3) 货叉按程序控制所规定的顺序, 自动伸向货格中货箱的底部空隙, 抬叉, 将货箱微微抬起, 然后收叉将货箱取运到货台上。

(4) 堆垛机退回到入口, 由人工检出或放入货品。

(5) 重复入库寻址动作, 到达指定货格后, 停车, 货叉又将货送出, 将箱下降到货架上, 货叉退出, 堆垛机待命。

3. 高层货架 板料冲压柔性加工系统中采用的高层货架 (图 4-14-17) 格宽度较大, 货架上下分层, 层次的多少取决于存贮物料的容量。每两个货架之间设有巷道、巷道内设有堆垛机, 它可以在轨道上行走。各个货格赋予一个地址, 存放一个货箱。

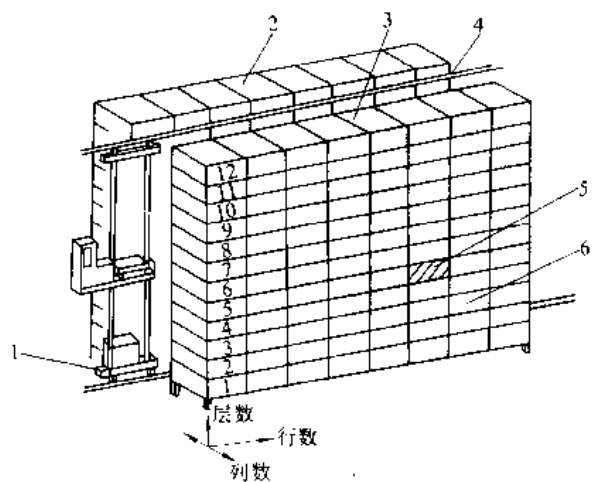


图 4-14-17 高层货架

1—堆垛机 2—左货架 3—右货架
4—巷道 5—货格 6—货箱



4. 堆垛机 堆垛机(图 4-14-18)采用下部驱动的方式。一般堆垛机上都装有升降货台、货叉、驱动装置等。货台在立柱上可以升降,货叉可以伸缩,用以取出或放回货格内的货箱。取出货箱后,堆垛机驶到巷道口。

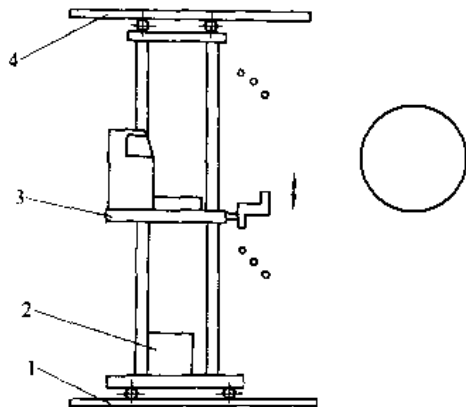
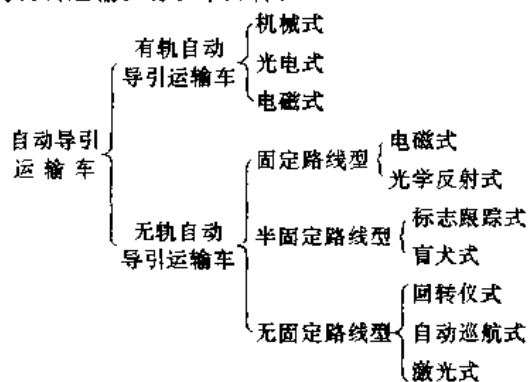


图 4-14-18 堆垛机

1—下梁轨道 2—驱动装置
3—升降货台 4—上梁轨道

3.3 自动导引运输车

自动导引运输车是一种无人驾驶的由计算机控制自动引导系统驱动运输车。这种车在柔性加工系统中,实现自动化立体仓库和加工设备之间、加工单元之间的物料运输。有以下几种:



3.3.1 有轨自动导引运输车

车的轨道埋设在地面上或墙壁上,生产中常应用的是电磁式和光电式两种。光电式自动导引运输车是利用光电元件检测和控制它的工作状态。如图 4-14-19 所示,车前和车后装有导引光源和光电元件 P_1 及 P_2 ,用以控制车的运行。 P_3 是光电收信器,用以接收轨道一侧的灯光信息,控制车的状态。 P_4 是一组灯泡组成的地址发信器,用以选层和认址。表 4-14-6 为几种光电式自动导引运输车的技术参数。

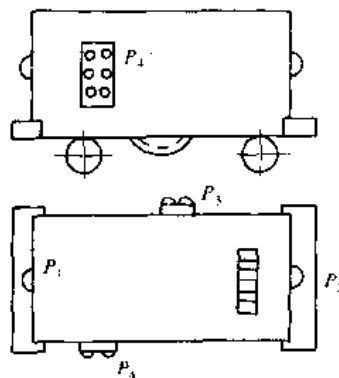


图 4-14-19 光电式自动导引运输车

P_1 、 P_2 —光电元件 P_3 —光电收信器 P_4 —灯泡组

表 4-14-6 光电式自动导引运输车的技术参数

型 号	FFC	PW-P05	GW-50
载质量 (kg)	350	30~50	5
运行速度 (m/min)	15	25	30
行车方向	前进	—	—
最小回转半径 (m)	1.5	0.5	0.4
停车精度 (mm)			±10
蓄电池容量	24V 35AH	—	—
质量 (kg)	200	50	

图 4-14-20 所示的电磁式自动导引运输车在轨道上运行。由沿着运行路线埋设地下电缆导引,车的运行方向靠安装在车上的测向线圈来检测。表 4-14-7 为几种电磁式自动导引运输车的技术参数。

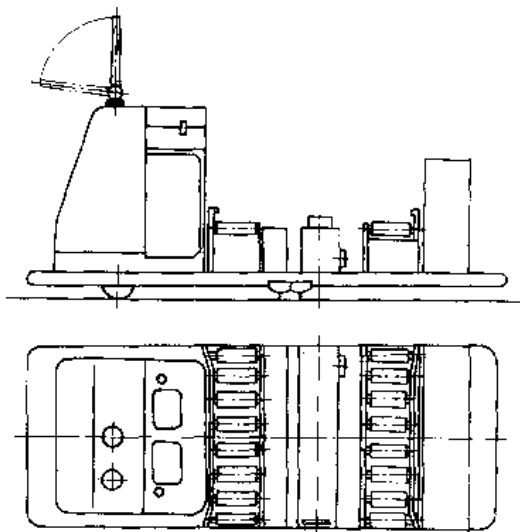


图 4-14-20 电磁式自动导引运输车



表 4·14-7 几种电磁式自动导引运输车的技术参数

型 号		RT 1000 2000	RC 3000 5000	MT	RA
载质量 (kg)		1000 (2000)	3000 (5000)	350	300
运行速度 (m/min)	高	60	42、横行 21	80	30
	中	30		30	—
	低	12	6、横行 3	20	—
行车方向		进	进、横行		
最小回转半径 (m)		0.6	1.5、横行 0.3	0.6	1.0
停车精度 (mm)		±30	±20	±30	±50
蓄电池容量		24V×2 145AH	48V 240AH	24V 145AH	24V 80AH
记忆容量 (kB)		256	256	256	—
控制方式		计算机+遥控+手动	计算机+遥控+手动	计算机+遥控+手动	计算机+遥控+手动
工作台起升高度 (mm)		100 (200)	100 (200)	95	100
质量 (kg)		1000	2000	450	300

3·3·2 无轨自动导引运输车

无轨自动导引运输车的优点是运输车的运行噪声小、柔性大、更适应于多品种、中小批量生产，可充分利用车间面积。其型式有固定路线型，半固定路线型和无固定路线型。

固定路线型自动导引运输车有电磁式和光学反射式两种。电磁式自动导引运输车的运行方向由埋设在地下的专用环形感应电缆来导引。图 4·14-21 为其工作原理图。该车型的缺点是不能任意延长或改变运行路线。光学反射式自动导引运输车(图 4·14-22)是利用地下电缆沟装设灯光信号标志，在地面上设有白色

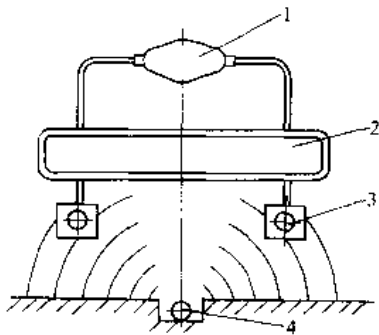


图 4·14-21 电磁导引原理
1—转向电动机 2—偏移检测装置
3—测面线圈 4—导引电缆

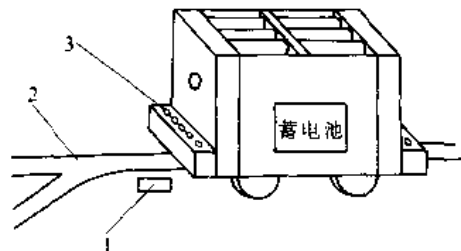


图 4·14-22 光学反射式自动导引运输车
1—信号带 2—导向带 3—光学检测装置

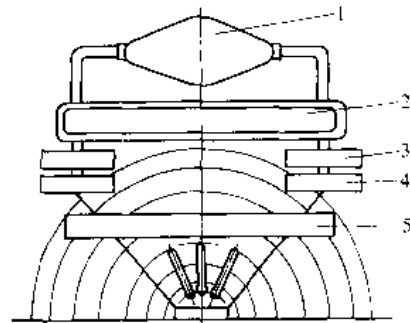


图 4·14-23 光反射导引的原理
1—转向电动机 2—偏差检测装置 3—放大器
4—检测器 5—聚光灯

或能反射光线的线条来导引运输车的运行方向。所以易于变更路线，安装方便。光反射导引原理如图 4·14-23 及图 4·14-24 所示：运输车的车前和车后装有光学检测装置(图 4·14-25)，它将导引带或信号带反射来的光检测出来后，转换信号，信号被送入微型机或控



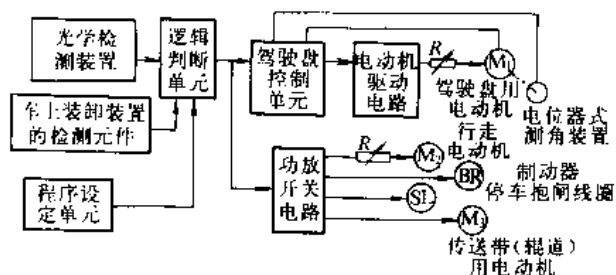


图 4-14-24 光学反射式自动导引运输车控制系统原理框图

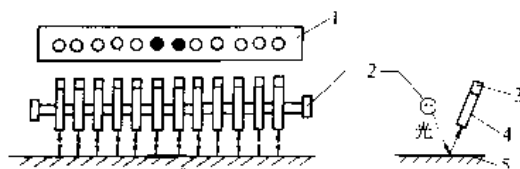


图 4-14-25 光学检测装置
1—编码信号 2—荧光灯（光源） 3—光电开关
4—透光罩 5—导向带

制器中，从而控制车的运行状态。表 4-14-8 为几种光学反射式自动导引运输车的技术参数。

表 4-14-8 几种光学反射式自动导引运输车的技术参数

型 号		CL-02	FF30	PT-50	VC-2
载质量 (kg)		200	350	600	100
行车速度 (m/min)	高	100	15	25	45
	中	40			—
	低	20			6
行车方向		进、退	进、退	进	进
最小回转半径 (m)		1	1.5	1.1	0.6
停车精度 (mm)					±10
蓄电池容量		24V 100AH	12V×2 35AH/5HR	24V/100AH /5HR	24V 35AH/5HR
质量 (kg)			200	450	

半固定路线型自动导引运输车的特点是部分固定路线和标志导引相结合。其中标志跟踪运输车的导引是靠安装在车上的电视摄像机自动认识和判断张贴在路线上或天花板上的导引标志或反射板来实现的。

无固定路线型自动导引运输车是在微型计算机、传感器、激光技术、智能科学等尖端学科基础上发展起来的。其中激光式自动导引运输车具有稳定性高、灵活性好和导向精度高等优点，将会在新型的柔性加工系统中得到广泛应用。导引原理如图 4-14-26 和图 4-14-27 所示，激光器发出的光束由扫描反射镜摆动反射，光束摆动轨迹为垂直地平面的平面，此平面为导引路线。由运输车上的光电探测器测量偏离路线的偏移量，以控制运输车的运行方向。表 4-14-9 为几种激光式自动导引运输车的技术参数。自动巡航式自动导引运输车（图 4-14-28）具有多种功能，如行走记忆功能，姿势校正功能，方向检测功能和偏移量检测功能等。导引原理如图 4-14-29 所示，是利用气流作用在检测器的电路线圈上，当运输车上的检测器偏离气流方向时，两相同的线圈受到气流不同的作用，破坏检测回路的平衡，在回路中出现运输车偏移信号电压，然后信号传送

给计算机处理后控制运输车的行走方向。

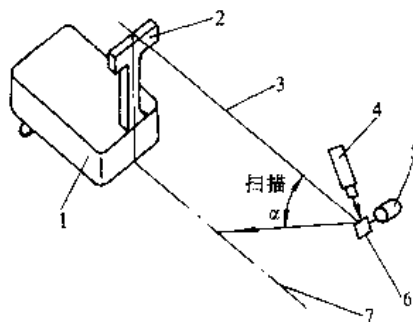


图 4-14-26 激光导引系统
1—自动导引运输车 2—感光装置 3—激光光束
4—激光器 5—小型电动机
6—扫描反射镜 7—导引路线

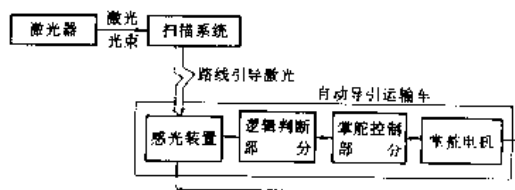


图 4-14-27 激光导引原理图



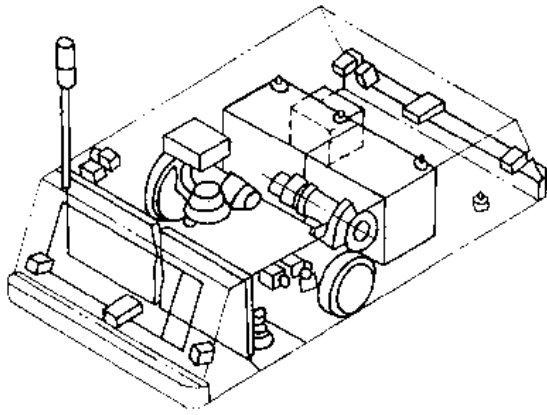


图 4-14-28 自动巡航式自动导引运输车

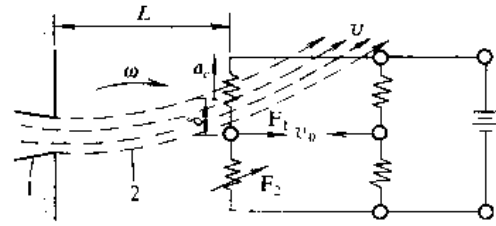


图 4-14-29 自动巡航导引原理
 1—喷嘴 2—气流 F_1 、 F_2 —检测线圈 v —气流速度
 δ —气流偏移量 a_c —哥氏加速度 ω —输入角速度
 L —检测线圈与喷嘴间之距离 v_0 —偏移信号（电压）

表 4-14-9 几种激光式自动导引运输车的技术参数

系 列		D 系列①					S 系列②		
运输形式		装 载					牵 引		
载质量 (kg)		100	1000	200	1000	2500	600	3000	7500
运行速度 (m/min)	高	60	60	60	60	60	60	60	60
	中	40	40	40	40	40	40	40	40
	低	20	20	20	20	20	20	20	20
最小回转半径 (mm)		600 (有自动功能)		1000	1500	2000	1000	1500	2000
蓄电池		24V 50A	24V 320A	24V 100A	24V 160A	48V 160A	24V 100A	24V 160A	48V 160A
行进方向		进	退	进、退	进、退	进、退	进		
外形尺寸 (mm)	长	1250	2100	1450	2000	2700	1450	2000	2700
	宽	640	1200	900	1200	1200	900	1200	1200
	高	800	900	900	1200	1350	900	1200	1350
总质量 (kg)		140	600	260	470	1320	260	470	1320

① D 系列为 2 轮驱动型。
 ② S 系列为 1 轮驱动型。

4 模具库及快速换模装置

在中小批量的多品种冲压件生产中,模具用量大,更换频繁。实现模具的贮存、运输、更换的自动化对缩短冲压生产周期,有重要意义。在冲压柔性加工系统中,采用模具库和快速换模装置来实现。

4.1 模具库

4.1.1 回转型模具库

图 4-14-30 为转塔式模具库与冲压柔性加工单元,适用于小型模具。模具存放在多层转塔上,每层具



有若干个模具安装地址，模具按照加工顺序存放在塔架上。在转塔的外廓有一个取模口，当模具转到取模位置时，由机器人取出，并送到压力机上。已完成工作的模具由机器人换下，并送回模具库。回转头式模具库用于数控冲模回转头压力机上。模具库由存贮凸、凹模的两个回转盘组成，上回转盘存放凸模，下回转盘存放凹模。上下两回转盘由同一传动系统驱动。

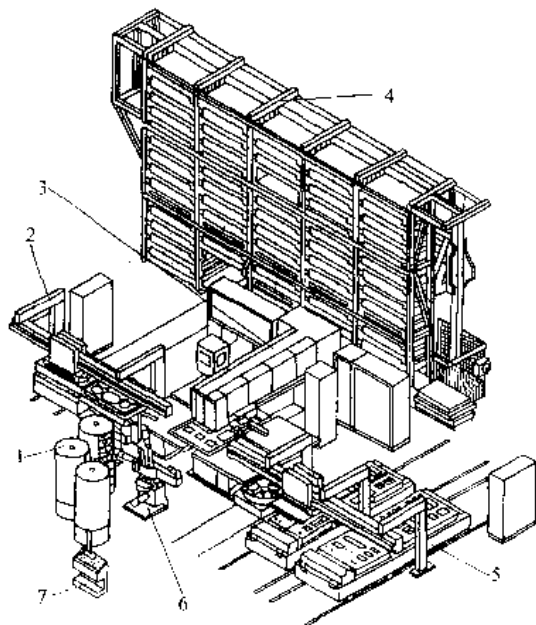


图 4-14-30 转塔式模具库与冲压柔性加工单元
1—转塔式模具库 2—上料站 3—激光切割—冲裁组合压力机 4—自动化立体仓库 5—卸料站
6—机器人 7—控制台

4.1.2 固定型模具库

图 4-14-31 所示为这种模具库的应用实例。在扇形模具库中每层设有若干个存放模具的地址，模具可

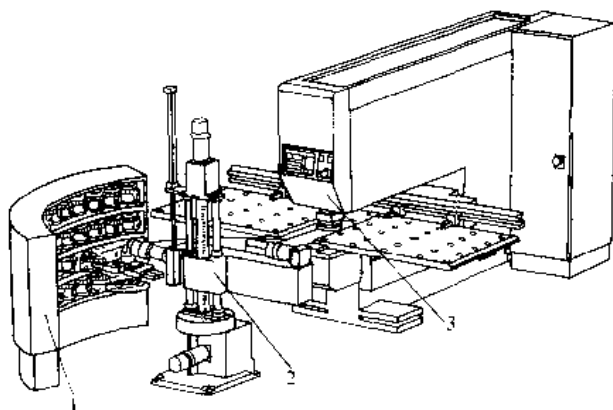


图 4-14-31 扇形模具库与冲压柔性加工单元
1—扇形模具库 2—机器人 3—冲压设备

按要求位置存放其中。模具存放工作由计算机控制的机器人来完成。

4.2 快速换模装置

快速换模装置有半自动的和全自动的两种。半自动换模装置借助于一个携带式换模器（图 4-14-32）来完成换模过程。换模器把待工作的凸模、凹模和卸料板分别安置在其上的不同部位，然后用调模器调节好凸、凹模之间的间隙。模具调整好后，由换模器推到压力机工作部位，模具被夹紧装置自动夹紧。完成冲压工作后的模具也由换模器整套取出。整个换模过程很短，一般为 6~12s。

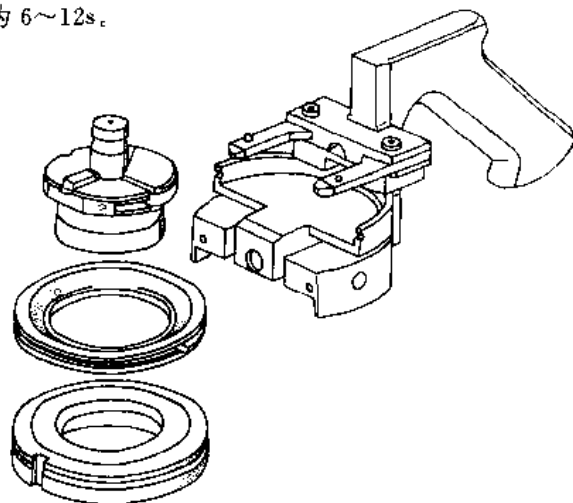


图 4-14-32 换模器与模具

全自动换模装置在柔性加工系统中用的较多。图 4-14-33 为转盘式自动换模装置，换模过程是按计算机指令将模具库中所需的模具送至升降机械手 16，升降机械手把模具送到换模机械手 9 的抓取部位，并使模具被夹紧。同时，由位于上部位置的换模机械手 10 将已工作完毕的模具分别从压力机上成套取出。此时，定位油缸 5 上的定位销 7 从换模机械手的左端支撑转盘 14 上的定位孔 8 中退出。在伺服电机 3 的作用下，换模机械手的支撑转盘转动 180° 使得上下换模机械手相互换位，接着定位油缸 5 推动定位销 7 重新插入定位孔 8 中。在液压缸 6 的作用下，模具被送至压力机上，并由夹紧装置夹紧。与此同时，被换下来的模具已转至最下端位置，在伺服电机 4 的作用下，模具库的回转机架 2 按计算机发出的指令旋转至要求位置，通过换模升降机械手的作用取下刚被换下的模具，并放置到模具库回转架的预定位置上。

图 4-14-34 为可回转模具，它是一种用于数控压力机上的新型模具。模具的凸、凹模由直流电机驱动，

机



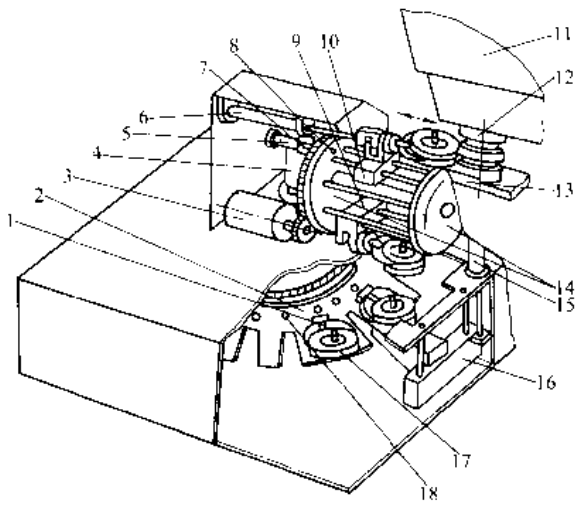


图 4-14-33 转盘式自动换模装置

- 1—模具支承卡头 2—回转模架 3、4—伺服电机
- 5—定位油缸 6—油缸 7—定位销 8—定位孔
- 9、10—换模机械手 11—压力机 12—凹模
- 夹紧装置 13—工作台 14—回转盘
- 15—升降油缸 16—升降机械手
- 17—模具 18—模具库转盘定位机构

通过齿轮齿条传动产生同步旋转，转速和转角都可以控制。在 36° 范围内模具可以在任意角度上定位，定位精度为 0.01° 。模具旋转 90° 只需 $0.5s$ 。图 4-14-35 为一组合模具，它是将不同形状的小凸模组装在同一模座上，凸模个数一般不超过 6 个。这些凸模可以在程序

控制下回转，按加工要求进行工作，从而简化了换模工作。一般用于薄板加工。

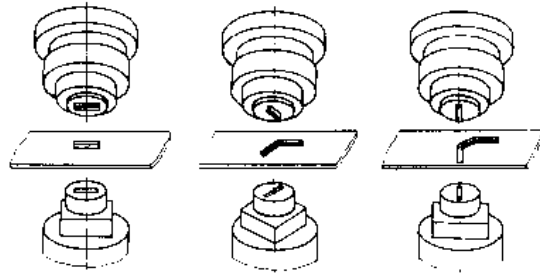


图 4-14-34 可回转模具

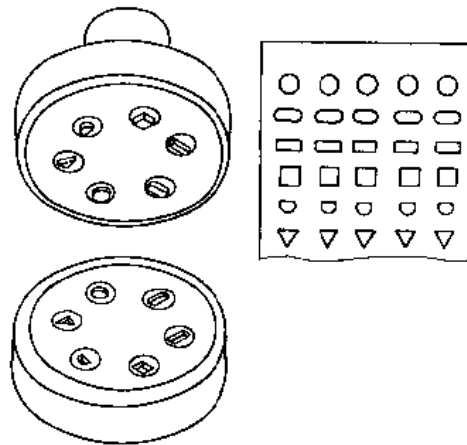


图 4-14-35 组合模具

为了实现快速换模，模具的装配结构和尺寸应规范化，示例见表 4-14-10。在冲压设备上应具有能半

表 4-14-10 冲压柔性加工系统中使用的模具示例

型式 名称	○型	┌型	┐型	▣型
1—内模 2—调整环 3—衬套				
卸料板座				
卸料板				
凹模				
凸模座				



自动或全自动夹紧模具的装置。半自动模具夹紧装置的工作原理及结构如图 4·14-36 所示。它的夹持过程是：带有标准模柄的凸模 8 装入夹模小滑块 2 上的模柄孔中，凸模模柄的锥槽被活动卡环 5 卡住，并自动锁紧。此时，凸模通过小滑块和压力机滑块联成一个整体，便完成夹紧过程。凸模的拆卸是通过罩盖使活动卡环向左侧退出，模柄被松开，然后由凸模顶杆 4 推出。卸料器 7 在永久磁铁作用下进行卸料。卸料器的高度通过调节螺母来调节。凹模 9 由卡紧手柄 10 锁紧在模座 11 上。全自动模具夹紧装置的工作原理如图 4·14-37 所示，先把凸模 5 的模柄推入凸模固定套 4 的模柄孔中，然后夹紧油缸 1 通入压力油推动活塞下行，活塞推动斜楔 3，斜楔推模柄向滑块中心移动，并使凸模固定套孔中的锥形凸环钳入模柄的锥形槽内，从而完成了凸模的夹紧和定位。凹模的夹紧过程：当凹模 11 放入凹模座 10 时，夹紧油缸 9 通入压力油，活塞推动斜楔 8，斜楔推动凹模夹紧块 7 向中心运动，从而完成凹模的夹紧和定位。卸料板 6 的固定是通过夹紧油缸 14 的作用实现的。夹紧油缸 14 通入压力油时，活塞推动斜楔 13，将卸料板紧紧地卡在带止口的套环口上。夹紧油缸卸压时，斜楔在弹簧作用下回程，于是卸料板松开。

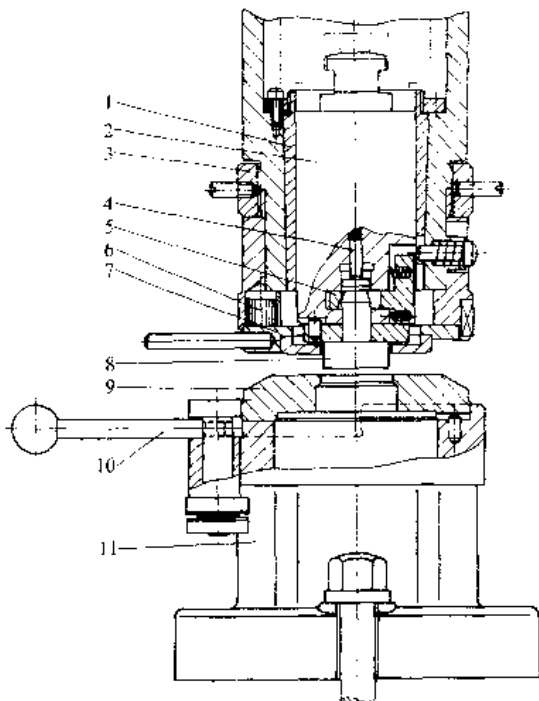


图 4·14-36 模具夹持机构

- 1—青铜衬套 2—夹模小滑块 3—调节螺母 4—凸模顶杆 5—活动卡环 6—永久磁铁 7—卸料器 8—凸模 9—凹模 10—手柄 11—模座

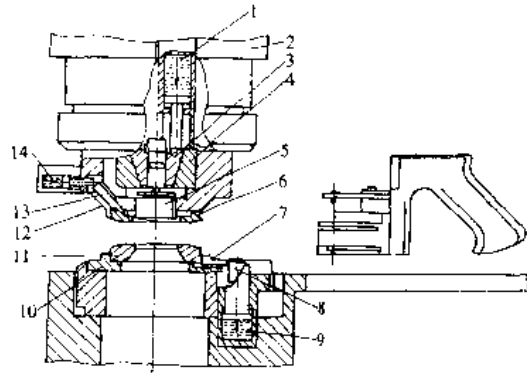


图 4·14-37 全自动模具夹紧装置

- 1、9、14—夹紧油缸 2—导套 3、8、13—斜楔 4—凸模固定套 5—凸模 6—卸料板 7—凹模夹紧块 10—凹模座 11—凹模 12—套环

5 控制系统

控制系统在柔性加工系统中亦称信息流系统。它借助于计算机的硬件和软件实现各子系统之间的信息联系，以保证规划、评价、控制、监视和管理系统的运行，实现各子系统的总体配合。控制系统的任务是：(1) FMS 运行计划的制定；(2) FMS 运行计划的评价；(3) FMS 运行的控制、监视和管理。

5.1 控制系统类型

柔性加工系统中的控制系统主要有直接控制 (DNC) 和多级电子计算机分布式控制 (CNC)。DNC (图 4·14-38) 是计算机直接对多台数控机床进行集中控制。有以下三种形式：

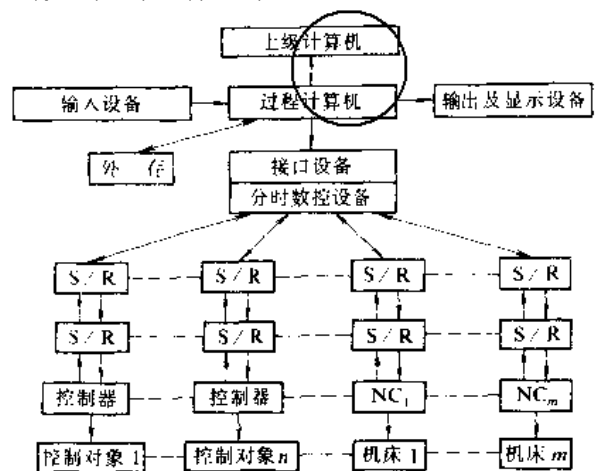


图 4·14-38 DNC 控制系统

(1) MCU 式。即用一台计算机通过分时多路控制装置控制各机床的控制器 (图 4·14-39)。这种形式的



控制是把机床的全部控制指令和编程工作都集中于中央计算机。因此,要求中央计算机具有较高的可靠性。

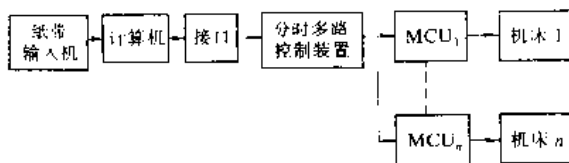


图 4-14-39 MCU 式控制

(2) BTR 式。如图 4-14-40 所示。这种控制方式的特点是保留数控机床上纸带读出机等装置,既可由纸带控制各数控机床,也可由分时接口控制各数控机床单独工作。所以既能实现整体控制,又能分别控制。

(3) 混合式。即 MCU 和 BTR 式的混合应用。

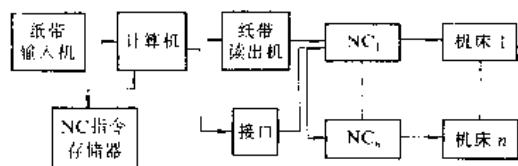


图 4-14-40 BTR 式控制

5.2 电子计算机分布式控制系统

柔性加工系统一般采用三级控制(图 4-14-41);

第一级 执行工作级 图 4-14-41 中 DNC 以下的各部分是完成加工过程的执行机构,包括 NC 机床

和 NC 外围设备。如 NC 冲床、NC 剪板机和 NC 自动化立体仓库等。

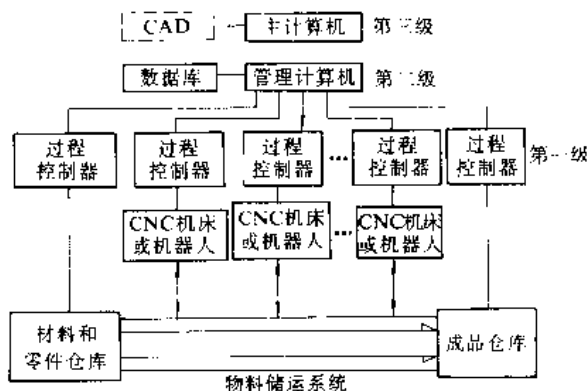


图 4-14-41 FMS 的计算机三级控制系统

第二级 控制级 即 DNC (直接控制) 系统,该系统在得到所提供的设计加工信息后,开始进行系统设计。设计内容包括编排业务文件和控制业务文件,按优先顺序依次生效和对系统执行控制。

第三级 设备管理级 由板料规划与管理及 CAD/CAM 组成。板料规划与管理掌握库存情况和模具信息,向 DNC 系统提供进料顺序、库存板料情况和模具清单。CAD/CAM 系统的任务是自动完成单件或套件设计。设计过程中需制订工艺、提供工艺数据,设计的工件图通过屏幕显示出来,以便进行检查和修改,并将有关的设计信息送入 DNC 系统,作为生产依据。

第 15 章 冲压生产安全技术 及环境保护^{[42]~[44]}

1 冲压安全生产的一般准则

1.1 作业环境

冲压作业环境涉及厂房、环境温度、通风、采光、噪声、振动、人机工程、设备、平面布置、机械化运输、安全设施等诸多问题。其中最主要的是:冬季工作温度一般不低于 15℃;一般工作地的照度不低于 50lx,危险、精细工作地不低于 75lx;自然光、照明光及焊接电弧光不允许直射操作者面部;作业环境噪声不得大于 90dB;操作者坐下或站立工作时,工作台面的高度分别为 700~750mm 和 930~980mm;有害气体源布

置在机械通风或自然通风的下风向;酸洗间、清理滚筒等高污染、高噪声设备一般都要与主厂房分离;主要生产设备的布置应视产品特点、年产纲领分别选取相宜的形式如:计算机集成制造系统(CIMS)、柔性制造系统(FMS)、自动线、流水线、柔性单元、机组式、机群式等等。每台设备在生产线上、机组或机群中的排布方向应按不同的工艺要求选取如:贯通式、直列式、倾斜式等。视冲压设备的大小、机械化程度的高低,车间主干道的宽度一般在 3000~5000mm 之间。

1.2 设备、模具及机械化装置

双点、四点压力机,剪切长度大于 2500mm 的剪



板机,工作台面宽度大于 2500mm 的板料折弯压力机应分设双手、四手及紧急开关。地面以上,2500mm 以下的设备各外露传动部件如:皮带、飞轮、齿轮、杠杆等必须设置防护罩。床身顶面高度超过 3000mm 时,一般应设检修平台及护栏。上到床身顶面的爬梯至少有一节脚踏杆与操纵控制系统联锁,当合上脚踏杆时,应断开主传动控制。机器运转中不得中断电力或压缩空气供应等。

冲模应尽可能配备相宜的机械化进出料机构,当用手上下料时,模具应开设空手槽或空手孔。模具中的运动部件如压料板、弹簧等应尽可能设置防护装置及限程装置。

与压力机配套使用的机械手、机器人应在其工作范围外缘设置机械或光电保护装置。各机械化设施、安全保护装置的外露运动部件既不允许其自身出现夹紧点,也不得与压力机、模具出现夹紧点,其间的间隙不得小于 25mm。

2 冲压生产安全技术

2.1 冲压设备安全技术

1. 安全生产对冲压设备的基本要求

(1) 压力机的滑块从上止点至下止点前 25mm 的行程范围内,当需紧急制动时,滑销、转键离合器应立即脱离同时制动滑块。

(2) 气动摩擦离合器与制动器的联锁控制动作必须灵敏可靠、互不干涉。其控制气路中使用的空气压力不得超过许用值,当气压超过上下许用极限值时,应能自控停止滑块运行。

(3) 在连杆断裂时,弹簧平衡装置必须在行程的任何位置都可以平衡滑块及其上的模具质量而不致继续下移。气动平衡装置必须能够不靠制动器的作用,在连杆断裂、供气中断或失压时,在行程的任何位置都可以平衡滑块及其上的模具质量。

(4) 设备过载保护装置如:刚性过载保护装置,液压过载保护装置,液—气过载保护装置等应处于良好的技术状态。视设备的用途不同,也可设置专用的过载保险装置如:用以控制压力机机身拉紧螺杆弹性变形量的拉杆式过载保护装置。其原理是,当压力机过载,机身拉紧螺杆的伸长量超过许容值时即通过拉杆系统使电路闭合,离合器脱离,滑块停止运行。对于容易出现偏心过载的板料折弯压力机等设备,则通过机械—电气系统控制偏心载荷使滑块发生的偏转量转换成

声、光等报警信号或切换液压控制线路停止滑块运行。

2. 压力机安全起动装置及紧急停车装置 安全起动装置的形式很多,其作用都是:当操作者的肢体进入危险区时,压力机的离合器便不能结合或滑块不再继续下行。只有当操作者的肢体完全退出危险区后,压力机才能启动。

(1) 门栅—杠杆安全起动装置(图 4-15-1)。带门栅的杠杆通过螺栓铰接在机身上,踩动踏板使拉杆向下带动门栅下降到安全位置时,才能通过挡块及调节螺母带动离合器拉杆使离合器结合并完成冲压工作。

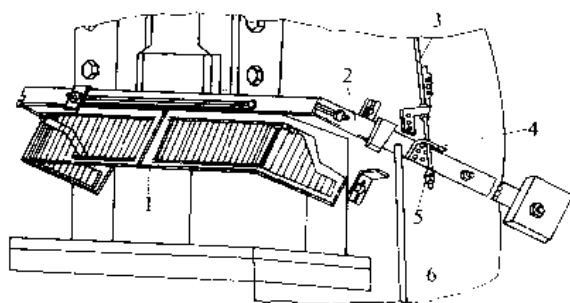


图 4-15-1 门栅—杠杆安全起动装置

1—门栅 2—杠杆 3—离合器拉杆 4—挡块
5—调节螺母 6—踏板拉杆

(2) 防打连车装置(图 4-15-2)。由脚踏板拉杆通过小滑块、钩锁使离合器结合。当压力机滑块到达下死点时,凸轮推动杠杆使钩脱离,离合器拉杆在弹簧的作用下复位,并在滑块回到上死点时使主轴与飞轮脱离。这样即使操作者的脚一直踩住踏板,压力机滑块也不能再次下行。只有当操作者松开踏板使钩锁与离合器

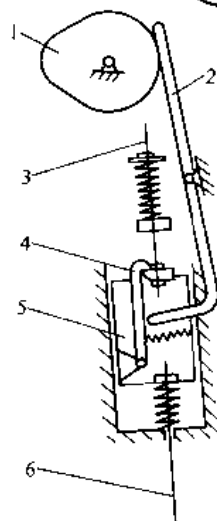


图 4-15-2 防打连车装置

1—凸轮 2—杠杆 3—离合器
4—钩 5—小滑块 6—踏板



拉杆重新结合后才可能开始下一次行程，这种机构仅适用于装有刚性离合器的压力机。

(3) 光电安全装置。这是一种形式多样、应用最广、较为先进的保护装置，其原理是在操作者与危险区之间用光幕隔开。当操作者的肢体或其他非透明体进入危险区挡住光幕时，光信号转换为电信号，经放大后与起动控制线路相闭锁，使压力机的滑块停止运动或不能起动。它的特点是：动作时间快，不妨碍视线，不妨碍进出料，不用全行程保护，一般在曲轴工作角 90° 范围内进行保护。在小型压力机上对刚性离合器稍加改造，也可使用光电保护装置。

(4) 手推式安全保护装置 (图 4-15-3)。它的原理是，送料时，当操作者的手臂将透明护板推下即使控制电路断开，压力机不能起动。只有当手臂退出，护板在弹簧作用下恢复直立状态，控制电路才能接通，压力机才能起动。本装置适用于小型压力机，简单可靠，方便易行。

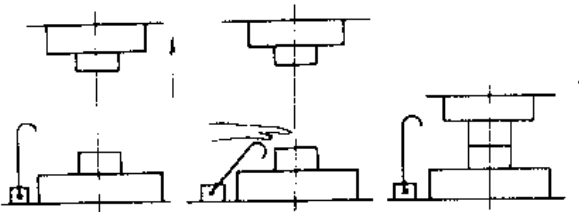


图 4-15-3 手推式安全装置

(5) 电容式保护装置 (图 4-15-4)。敏感元件是具有某一电容的电容器。当操作者的手靠近或通过敏感元件时，电容器的电容量即发生变化，使其相连的振荡器的振幅减弱或停止振荡，此信号经放大器和继电器使压力机停止运动。

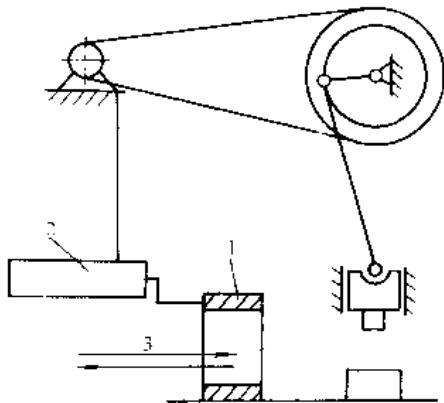


图 4-15-4 电容式保护装置

1—敏感元件 2—控制器 3—操作空间

(6) 气幕保护装置 (图 4-15-5)。它是在危险区与操作者之间用气幕隔离，压缩空气由气射器上的数个

小孔射向装在滑块上的接受器形成气幕，并使串联在压力机起动控制电路中的常开触点接通。当操作者的肢体或其他物品挡住气幕时，接受碗靠自重断开触点，压力机滑块停止运动。该装置的保护区可调，一般接受器随滑块一起运动到与气射器相距 200mm 以下时，气射器才开始射气，由此到下止点为保护区。用凸轮控制压缩空气的放气和闭锁启动控制线路。

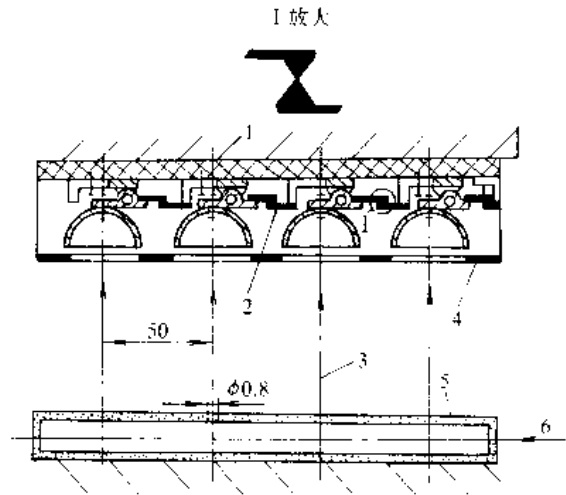


图 4-15-5 气幕保护装置

1—滑块 2—常开触点 3—气流
4—接受器 5—气射器 6—压缩空气

(7) 双手起动开关。在单人操作的小型压力机上，双手起动开关运用最广，效果最佳。倘双手起动线路与脚踏开关线路串联用于双人操作时效果更好。

(8) 摄象监控装置。该装置由摄象系统、监视系统和控制系统构成，摄象机摄入的图象信号经转化输入监视器，一旦人体或异物进入被监控的危险区，异常图象所产生的信号即转化为控制器的指令信号使压力机不能启动或紧急停车。

3. 排除危险装置 倘压力机未采用以上所述的安全措施，就必须依靠下列措施，排除当其离合器已经结合、滑块正在下行，而操作者的肢体（特别是手）仍处于危险区时，出现的险情：

(1) 摆杆护手装置 (图 4-15-6)。护手摆杆与压力机滑块联动，当滑块下行时，带动护手摆杆运动将操作者的手推出危险区。

(2) 转板护手装置 (图 4-15-7)。护手转板与压力机滑块联动，当滑块下行时，装在上模板的齿条驱动齿轮作反时针方向旋转，带动护手转板至竖直位置，将手推出。转板用开有竖缝的金属板或有机透明材料制作。

(3) 拽出式护手装置。操作者的双手佩戴一付以



柔性约束与压力机滑块相连的腕套。滑块回程后，操作者的双手可在模具空间自由操作；滑块下行至危险区前，操作者的双手即被与滑块联动的皮带（或钢丝绳）拽出。

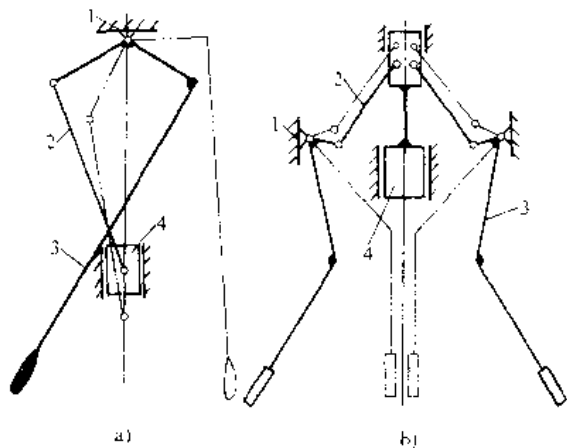


图 4-15-6 摆杆护手装置

a) 单摆杆 b) 双摆杆

1—床身 2—拉杆 3—摆杆 4—滑块

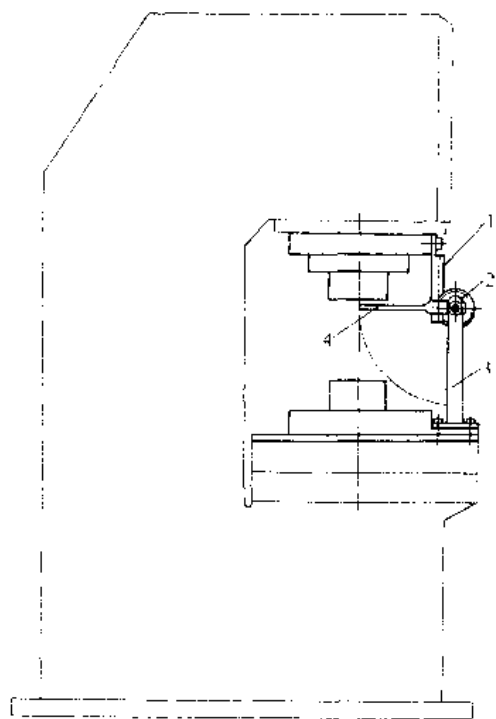


图 4-15-7 转板护手装置

1—齿条 2—齿轮 3—立柱 4—转板

都用在中小压力机上以条料或带料作连续冲裁，制件或废料从凹模洞口漏出的模具上。常见的防护罩有锥环套叠式，锥形弹簧式，栅栏式等（图 4-15-8）。滑块在上止点时，由多层相互套叠的锥形金属环将凸模封闭，其下仅留一个可供坯料进出的间隙。滑块下行，护罩轻压在坯料上，锥环次第叠合。滑块回程，叠环靠重力自动复位。锥形弹簧相邻两圈间的间隙应不大于 8mm，以免夹伤手指。防护栅栏可用金属或透明材料制作，缝隙必须竖开，栅栏的开启或闭合必须与压力机的起动装置互锁。

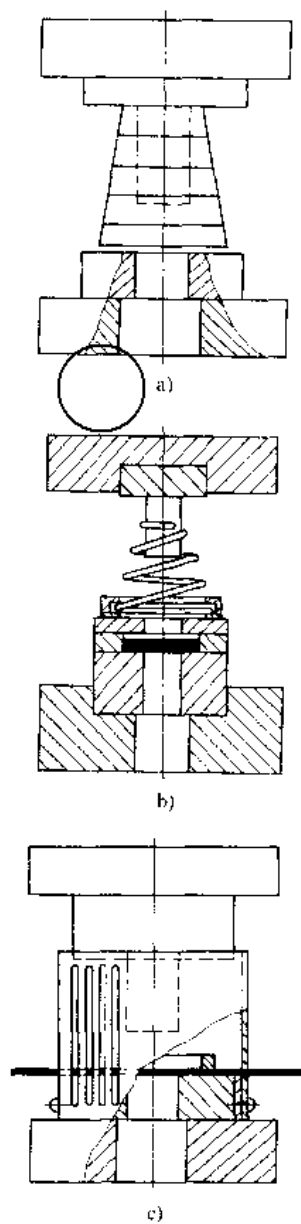


图 4-15-8 在模具上设置防护罩

a) 锥环套叠式 b) 锥形弹簧式 c) 栅栏式

2.2 冲压模具安全技术

1. 设置安全防护罩 安全防护罩的形式很多，大



在拉深模与弯曲模上,对压料板与下模座之间的空间,尽可能用导板或其他方式封闭起来。在模具结构上的某些可动部分或弹簧也应视情况予以封闭或半封闭,以免造成夹伤事故。

2. 扩大模具的安全操作空间 扩大模具安全操作空间的措施很多,如:将上模板的正面做成斜面(图4·15-9a);在弹性卸料板与刚性压料板结合面的外缘部位作出空手槽(图4·15-9b);导板或刚性卸料板与

凸模固定板之间的间隙一般不小于15~20mm(图4·15-9c);尽可能将挡料销布置在远离操作者的一侧(图4·15-9d);单面冲裁时,尽量将凸模的凸起部分和平衡挡块安排在模具的后面或侧面(图4·15-9e);在装有活动挡料销和固定卸料板的大型模具上,用凸轮或斜面机构控制挡料销的位置(图4·15-9f);在需要用手工工具取放工件时,应在上下模结合面的有关部位留出凹槽等。

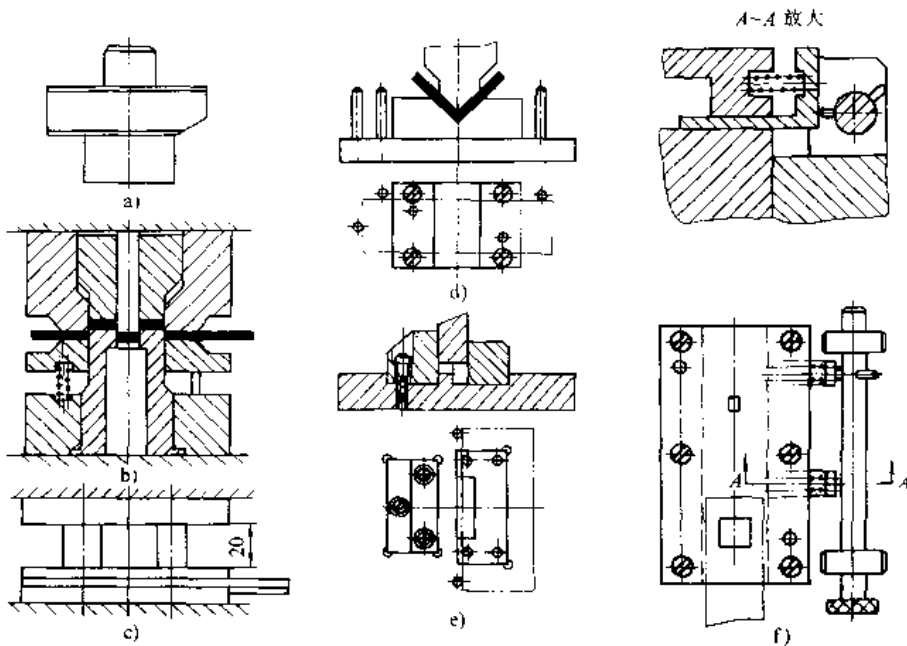


图 4-15-9 在模具结构上扩大安全操作空间

2.3 用进出料机构代替手工操作

在未使用各种大型机械化进出料装置时,在模具设计中就要尽可能考虑设置或利用各种简便易行的机械化进出料装置,以把操作者的肢体进入危险区的几率降到最低。

为了单件送进坯料,可采用滑板、溜槽等多种形式的送进机构(图4·15-10)。坯料可以单个送进,也可以将其堆放在储料槽中由滑块带动自动送进。当不能或不便自动送进时,则可设计成活动凹模,送件时将凹模旋转(或推、拉)至安全位置,放好坯件,再复位进行冲压。将制件从模具中自动退出的措施也有很多,如:小而轻的制件用压缩空气吹出;由上模落下的制件用活动滑板(图4·15-11a),翻板(图4·15-11b)等机构退出。由上模打料同时从凹模漏料的模具则可用图

4·15-11c所示的机构分别退出制件和废料。从凹模孔退出的制件也可采用弹簧退件器退出(图4·15-11d)。大型拉深件用弹簧或气动推杆退出(图4·15-11e)。形状复杂的大型复盖件用气动或液压夹钳或机械手取出等。

自动进出料的形式很多,设计中应根据制件形状、模具结构、压力机类型等选取相宜的形式。

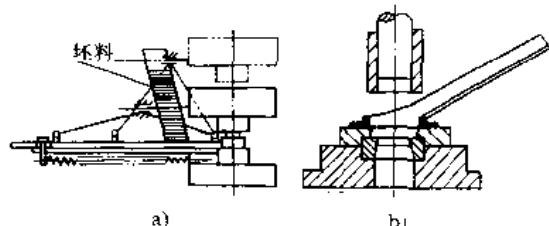


图 4-15-10 坯料送进装置
a) 滑块送料装置 b) 溜槽送料装置



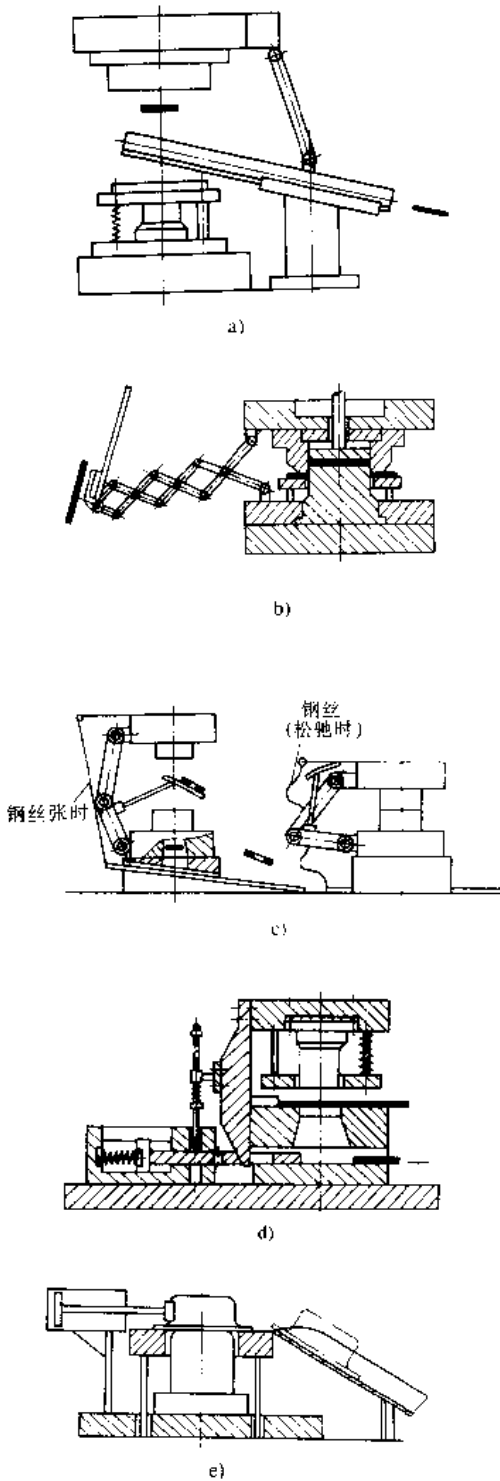


图 4-15-11 几种常见的自动出料装置简图

2.4 使用手工具

倘在中小压力机上不便采用机械化进出料装置时,则应使用手工具送料取件。为防止意外,手工具应尽可能用软金属或非金属材料制作,以免损坏模具及设备(图 4-15-12)。

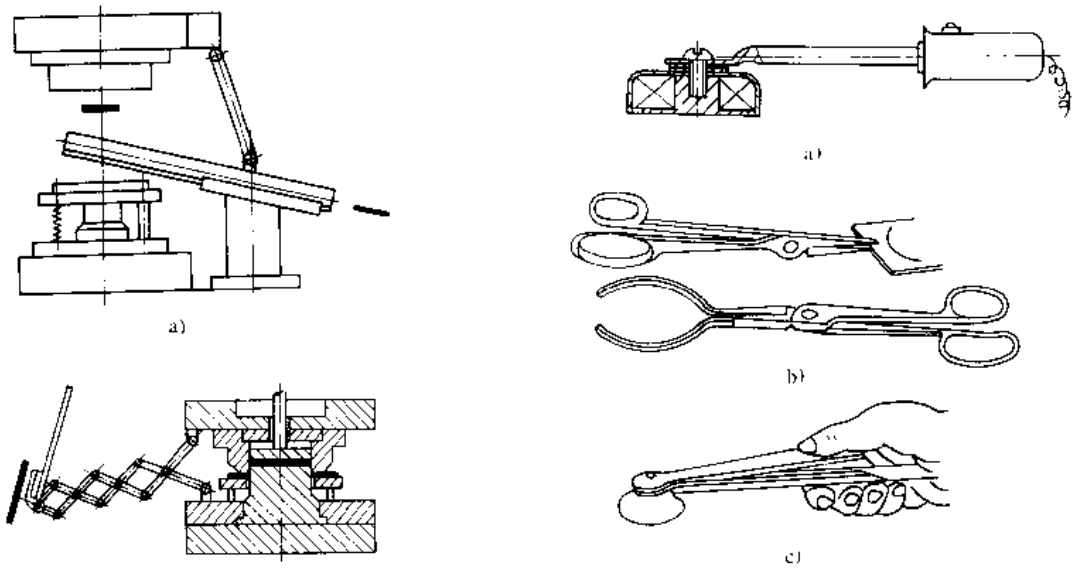


图 4-15-12 手工具

a) 电磁式 b) 机械式 c) 空气吸盘

3 冲压环境保护技术

3.1 减振

1. 冲压设备振动的原因 造成压力机振动的因素很多,最主要的是:飞轮、电动机等高速回转部件质量分布不均引起的不平衡离心力;离合器、制动器结合时产生的惯性力矩;曲柄、连杆、滑块等传动机构加速、减速时产生的惯性力;模具对制件的冲击力;冲裁失荷时曲轴、机身的弹性恢复力;偏心载荷使机身产生不均衡变形的作用力以及设备安装不良所引起的二次振动等等。只有针对上述致振原因采取相应的减振措施,才能减缓或消除振动造成的危害。

2. 减振措施

(1) 改进压力机结构。在保证使用性能的前提下,应尽可能通过改进压力机结构达到减振的目的,其措施很多,如:尽量减轻滑块、连杆的质量;在曲柄机构上设置平衡配重;配置与滑块同步反向运动的平衡的质量;提高压力机机身的刚度、设置液压缓冲装置;采用双速离合器;采用摩擦离合器、湿式离合器分别代替刚性离合器和干式离合器;采用多连杆机构、肘杆机构代替常规曲柄连杆机构;尽可能降低压力机重心;用滚动导轨代替滑动导轨;采用铸铁机身或铸铁-钢板焊接结构机身代替纯钢板焊接结构机身等等^[42]。

(2) 改进工艺及模具。其主要措施是:尽可能将平刃冲裁改为斜刃冲裁;将整体冲裁改为阶梯冲裁;尽可能使模具和设备的压力中心重合或接近;在压力机上



作台放置与冲裁失荷相协调的阻尼缓冲器(图4-15-13)以及采用具有阻尼减振装置的无冲击模座等等。

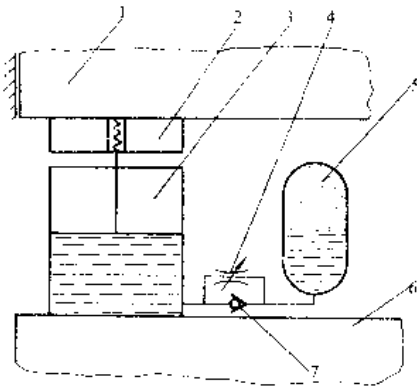


图 4-15-13 缓冲器原理图

1—滑块 2—缓冲器托板 3—缓冲缸 4—节流阀
5—储压器 6—压力机工作台 7—单向阀

(3)设置减振基础。减振基础是消减压力机已经产生的振动,防止振动向外传播的最有效措施。按弹性元件的放置方式,减振基础有支承式和悬挂式之分。常用的弹性元件有螺旋弹簧、碟形弹簧、板簧、橡胶、气垫以及金属丝编织的缓冲垫等等。

支承式减振基础是将弹性元件置于压力机与混凝土基础之间,形成一个减振系统。除拉簧外,其余弹性元件都可用于支承式基础。用于小型压力机的带调平装置的减振基础及用于较大压力机的支承式减振基础分别如图4-15-14及图4-15-15所示。

悬挂式减振基础分为地面以上悬挂式和地下悬挂式两种。前者,是将整个压力机通过弹性元件悬吊在固定于地面的钢结构构架之上;后者,是通过弹性元件将压力机悬挂在地面之下的基础坑内。地上悬挂式具有

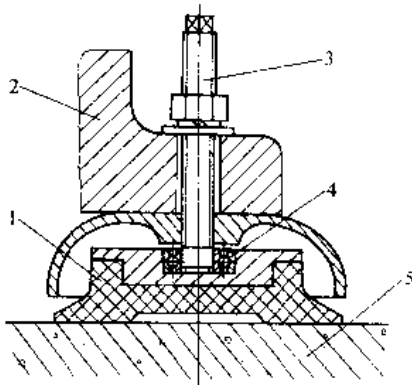


图 4-15-14 带调平装置的减振基础

1—减振器 2—机身 3—调平螺栓
4—径向轴承 5—车间地坪

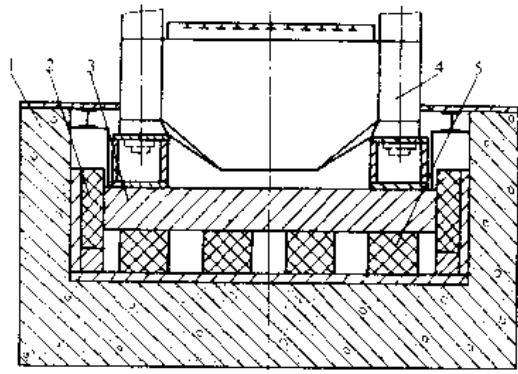


图 4-15-15 支承式减振基础

1—基础 2—阻尼元件 3—支承系统
4—压力机 5—弹性元件

投资省、效果好的优点且多用于高速压力机。地下悬挂式多用于具有气垫装置的较大设备,其最大优点是不影响工序运输及操作,但投资较大。

3.2 噪声控制

冲压生产中的噪声源主要有:电磁噪声,流体动力噪声及机械噪声,其中尤以机械噪声中的冲裁噪声最为严重。控制噪声的主要途径有三:控制噪声声源(一次声防);控制噪声的传播和扩散(二次声防)及噪声的综合治理。

1. 控制噪声声源(一次声防)

(1)改进压力机结构及传动系统。其措施有:视压力机的功能要求相应地将全钢板焊接机身改为铸铁—钢板焊接结构机身乃至铸铁机身;在钢板焊接机身的最大噪声辐射部位加焊筋板;在机身内部空隙处充填砂子;做好飞轮等高速传动部件的动平衡;提高齿轮的传动精度;用斜齿轮、人字齿轮代替直齿轮;对齿轮作阻尼处理;在情况允许时改变齿轮的材料;以三角皮带传动代替齿轮传动;以闭式传动代替开式传动;尽可能用摩擦离合器代替刚性离合器;采用减振措施等等。采取上述措施,降低噪声的幅度可达到4~20dB。

(2)合理选择设备。在满足工艺要求的前提下,尽可能选用各型液压机代替机械压力机,其降低噪声的幅度为8~10dB。

(3)改进工艺及模具设计。以斜刃模、阶梯模代替平刃模冲裁;以单元组合冲裁代替整体冲裁;选用各型CNC板料加工中心冲裁代替大型压力机整体冲裁;在模具内设置或在压力机工作台上放置缓冲装置;对模具作合理润滑以及用滚压法代替风砂轮或清理滚筒除毛刺等。通过这些措施即可分别降低噪声4~32dB。



(4)改进压缩空气吹件装置。在满足工艺要求的前提下尽可能降低气流流速,把单孔喷嘴改为多孔小直径喷嘴或改变喷嘴的形状,诱导更多的二次气流。尽量消除或减少气流通道上的尖锐棱缘,力争做成流线型。尽量减小喷嘴与工件间的距离等。通过上述措施降低噪声的效果可分别达到6~15dB。

(5)改进物料传送方式。用金属丝网料箱、塑料贴层料箱、木质贴层料箱、只留进料口的半密闭塑料贴层料箱代替敞开式金属板料箱;用木质或塑料溜槽、半密闭式吸声溜槽代替金属板溜槽输送工件;在运送工件的溜槽、滚道、辊道、胶带的适当位置设置摆动挡板以及防止直接向金属料箱中投掷制件等措施,其降低噪声的幅度可达到8~45dB。

2. 控制噪声的传播和扩散(二次声防)

(1)隔声。隔声措施很多,如:对生产自动线作全封闭隔声,卷料在隔声室外经开卷、矫平送入生产自动线,冲压废料经地下传送带送至废料打包间,隔声室顶部设置通风换热装置,这样其隔声效果可达20~25dB。对压力机特别是高速压力机作全封闭隔声,其降低噪声的幅度一般为15~25dB,最佳效果为30dB。采用区域局部隔声即在压力机组或钣金工作地周围设置隔声屏,则其外界环境可降低噪声约10dB。对压力机的某一部分如模具安装空间设置带开启门的全封闭或半封闭隔声可降低噪声4~10dB。

(2)吸声。吸声的作用是消减车间内的混响声强,吸声材料可用于吊顶,悬挂在屋面板下,敷设于墙体、柱子等上,其降低噪声效果为5~15dB。

(3)隔振。一切防振措施都不同程度有助于降低噪声。例如,将压力机紧固在质量块上或将若干台同类型压力机紧固在同一质量块上;采用单层或双层弹性基础以及质量块与弹性基础相组合等防振措施都能获得良好的降噪效果;其降低噪声的幅度为5~10dB。

3. 综合治理 当车间经一次声防、二次声防处理而在噪声场(如隔声室内等)实施操作的人员仍然得不到保护时,操作者就必须佩戴个人防护用具。个人防护用具具有:防声耳塞、防声耳罩等。使用这些器具简便易行,经济实惠,具有良好的防声效果。常用的个人防护用具可降低噪声的幅度是:

防声耳塞 15~25dB;

防声耳罩 15~25dB;

防声耳塞、耳罩并用 35~40dB;

航天头盔 30~60dB。

参 考 文 献

- [1] 李硕本主编. 冲压工艺学. 高等学校试用教材. 第1版. 北京: 机械工业出版社, 1982
- [2] 日本塑性加工学会编. 压力加工手册. 江国屏等译. 北京: 机械工业出版社, 1985
- [3] 五弓勇雄编著. 金属塑性加工技术. 陈天忠, 张荣国译. 北京: 冶金工业出版社, 1987
- [4] Swift H W. Plastic Instability under Plane Stress, *J. Mech. and Phys. of Solids*, 1952, 1 (1): 1~18
- [5] Hill R. On Discontinuous Plastic States with Special Reference to Localized Necking in the Sheet, *J. Mech. and Phys. of Solids*, 1952, 1 (1): 19~30
- [6] 梁炳文, 胡世光编著. 板料成形塑性理论. 北京: 机械工业出版社, 1987
- [7] Marciniak Z, Kuczynski K. Limit Strains in the Processes of Stretch-Forming sheet Metal, *Int. J. Mech. Sci.*, 1967, 9: 609~620
- [8] 陈鹤峰. 坐标网应变分析法和成形极限的应用. 锻压技术, 1985 (6): 2~10
- [9] 涂光祺编著. 精冲技术. 北京: 机械工业出版社, 1990
- [10] 常志华, 吕亚清, 姜奎华. 确定方盒形件毛坯合理形状的原理与方法. 武汉工学院学报, 1990. 12 (2): 38~44
- [11] 常志华, 吕亚清, 姜奎华. 方盒形件毛坯展开尺寸的计算方法. 武汉工学院学报, 1990. 12 (4): 57~62
- [12] 王效培主编. 冲压手册(修订本). 北京: 机械工业出版社, 1990
- [13] 肖景容, 姜奎华主编. 冲压工艺学: 高等学校试用教材. 第1版. 北京: 机械工业出版社, 1990
- [14] 张祉祐, 石秉三主编. 制冷及低温技术. 北京: 机械工业出版社, 1985
- [15] 吴季良. 柔性制造系统实例. 北京: 机械工业出版社, 1989
- [16] 段扬泽. 机械工业自动化. 北京: 机械工业出版社, 1983
- [17] 上海市技术革新展览会编. 实用冲压技术. 上



- 海:上海科学技术出版社,1981
- [18] 吴觉伪. 板料加工中心. 工程设计与应用研究, 1986 (2)
- [19] 张晓平. 板材柔性加工系统发展概述. 锻压技术, 1987 (6)
- [20] Руднев ЮМ. Штамповка толстолистовых деталей в сочетании с плазменной разрезкой. КШП. 1983 (9)
- [21] 中村明德, 电磁诱导方式无人搬运车, 自动化技术, 1981 (10)
- [22] 焦贵福编译. 自动导引输送车 (AGV) 的开发现状和动向. 组合机床与自动化加工技术, 1989 (2)
- [23] 高谷弘治等. 激光引导的无人搬运车. 谷军译. 组合机床与自动化加工技术, 1989 (8)
- [24] 高丸陽司. 柔軟なタクト搬送が可能な自立航法式無人搬送車. 自动化技术, 1988 (1)
- [25] Benzinger M. Flexibel automatisierte Fertigung ebener Blechteile in Kleinen Stückzahlen. Werkstatt und Betrieb, 1984, 117 (10)
- [26] 陈永光, 任永益, FMS 中激光引导式无人搬运车的研究. 机械工业自动化, 1989 (1)
- [27] 高橋輝男. Flexible Warehousing System 实现の途にある自動倉庫システム. 自动化技术, 1984, 16 (4)
- [28] (苏)柯特尼科夫. 柔性制造系统中传送装置类型的选择. 吕建华译. 组合机床与自动化加工技术, 1989 (1)
- [29] 自动导引输送车系统基础知识, 王茹敏译, 组合机床与自动化加工技术, 1987 (9~11)
- [30] 王诗斌, FMS 信息流. 组合机床与自动化加工技术. 1987 (11, 12) 1988 (1, 3)
- [31] 深谷敏夫. FMS 対応形ユニット式立体自動倉庫, 自动化技术. 1987, 19 (10)
- [32] 吉野定男. 光学誘導方式無人搬送車. 自动化技术, 1985, 17 (12)
- [33] 刘友苏, 徐嘉模. 自动导向车系统方案分析. 组合机床与自动化加工技术, 1990 (12)
- [34] 石丸哲郎, CO₂ レザを駆使レに無人シートメタルカロセル. 自动化技术, 1985, 17 (10)
- [35] 王要敏. 柔性制造单元 (FMC) 的发展现状. 组合机床, 1984 (1)
- [36] 解冀生. 国外柔性制造系统 (FMS) 的发展情况. 组合机床, 1984 (2)
- [37] 黒米一雄. FMS の計画と導入. プレス技術, 1983, 6 (7)
- [38] 石丸哲郎. シートメタル FMC “レーサ” ロボ”. 金属プレス, 1986 (7)
- [39] 松野建一. 鍛圧機械工場の FA 化と最新技術. 金属プレス, 1986 (11)
- [40] 王要敏. 国外柔性加工的发展现状、趋势及技术开发研究概述. 机床, 1985 (8)
- [41] 吉岡治夫. 最新シートメタル加工機の特長と加工事例. 金属プレス, 1985 (6)
- [42] 何成宏, 杨淳朴. 压力机的振动和防振问题. 锻压机械, 1986 (6)
- [43] 朱乃燾. 锻压生产中的噪声及其控制. 锻压机械, 1981 (1)
- [44] 李竟德. 压力机噪声防治. 锻压机械, 1984 (1)

