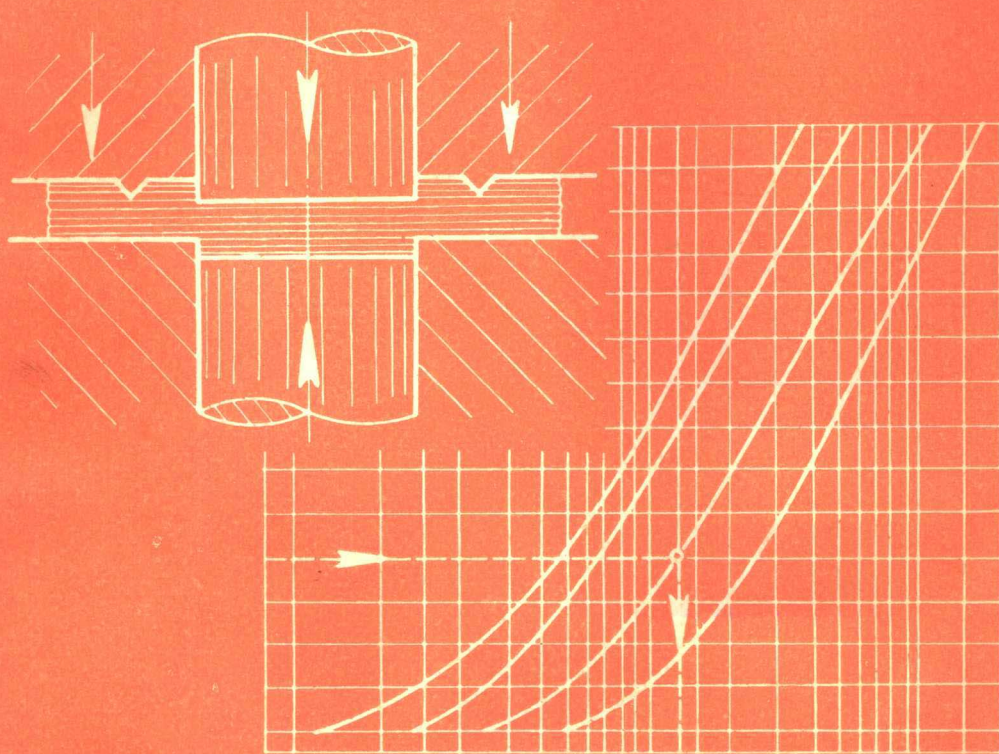


精密冲裁文集

(第三辑)



475

机械工业部第十一设计研究院

1984.4

精密冲裁文集（第三辑）

编辑、出版：机械工业部第十一设计研究院技术情报室

联系地址：西安市劳动路

印刷：西安市莲湖区友谊印刷厂

176

精密冲裁文集 (第三辑)

目 录

精冲工艺参数及基础工作的研究·····机械部机电所涂光祺 袁庆祥 牛金旺 (1)	
棒料轴向加压精密剪切的研究 (续) ······	
·····西安交通大学陈金德 张炯如 张子公 于德弘	
·····西安高压开关厂 唐兆珏 汤国华 (19)	
齿圈压板精冲模的结构类型及其设计·····机械部第十一设计研究院 张正修	
·····西安仪表模具厂 闻仰矫 (26)	
不锈钢的精密冲裁·····武汉仪表厂 郑隆炆 陈绵坤 (34)	
在普通冲床上进行精密冲裁的总结·····武汉仪表厂 (39)	
自行车变速器链轮的简易精密冲裁模·····南京4311工厂 刘性班 (55)	
齿轮精冲模的制造·····苏州电器科学研究所 孙延合 (61)	
0.2模数齿轮精冲模凹模的电火花加工·····国营三三八厂 六二研究所 (70)	
中厚钢板精冲润滑剂的研究·····机械部北京机电所刘筑容 向风甲 (76)	
同步剪挤式精冲法·····西安交通大学 陈金德 (81)	
介绍瑞士Feintool计算精冲压力的一种方法·····机械部第十一设计研究院 张正修 (83)	
用于精密冲裁的中、高碳素钢及合金钢中厚钢板的制造·····赵立功译 (85)	
精密冲裁工艺的最新标准参数—西德工程师协会 (VDI) 精冲技术规范VDI3345介绍	
·····机械部第十一设计院 张正修 (89)	
精冲同厚板成形组合加工·····张立容译 何永秀 马世雄 张正修校 (111)	
· 资料简介 ·	
1. 《工模具设计与制造资料汇编》 (第二辑) 内容简介····· (38)	
2. 《实用精冲手册》内容简介····· (88)	

精冲工艺参数及基础工作的研究

机械部机电研究所 涂光祺 袁庆祥 牛金旺

一、前言

本文研究了精冲的基本工艺参数,包括凸凹模间隙、压边圈的齿形参数、极限半冲孔深度、极限压扁量等,研究精冲件的尺寸散布规律、精冲过程中金属塑性变形。探索精冲过程的变形机理,和精冲工艺的基本规律。

二、精冲变形机理的探讨

1. 精冲过程分析和变形模式的探讨

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。精冲过程中材料自始至终是塑性变形过程。

图2—1所示为精冲过程中凸模进入材料一定深度时变形区剖面的放大照片,可以看出即使冲裁接近完成,工件和条料仍然保持一个整体,材料纤维沿厚度方向有很大的伸长,纤维沿径向有压缩。

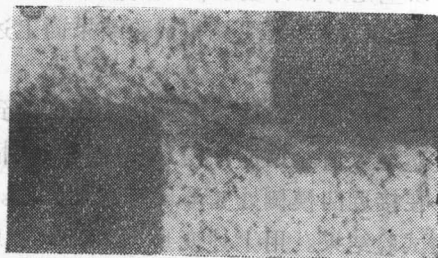


图2—1

根据对精冲塑性变形过程的测试,观察和分析提出了精密冲裁的变形模式为图2—2所示,通过它对精冲过程材料的变形和发展过程作如下的描绘。图2—2a表示精冲开始时的状况。图2—2b表示冲裁凸模进入材料一定深度 X 的情况。

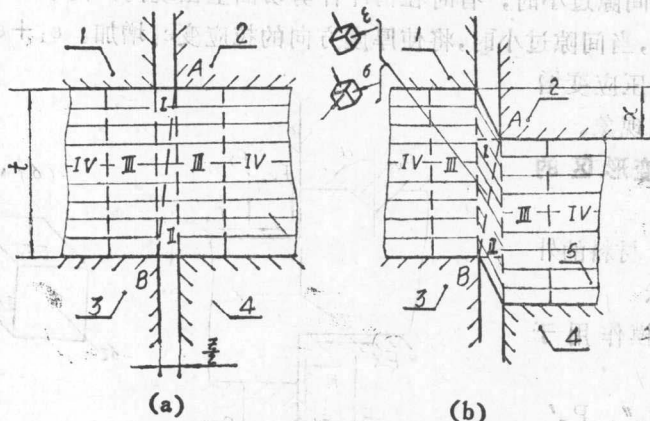


图2—2 精冲变形区域及变形过程

I—压边圈, 2—凸模, 3—凹模, 4—顶件板, 5—工件,
I. II—塑性变形区, III—塑性变形影响区, IV—弹性变形区

图 2—2 中, A、B 二点分别表示凸、凹模的刃口, AB 连线将间隙区分为 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, 它分为二部分, 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, 塑性变形将在缩短了 AB 为对角线的矩形中进行, 如图 2—2 b 所示。

凸凹模刃口连线 AB 还始终将变形区分成 I、II 两个区间, 在精冲过程中 I 区间的材料将被凸模逐渐挤压到条料上, II 区间的材料将被凹模逐渐挤压到工件上。

随着精冲过程的进行, AB 距离和矩形变形区逐渐缩短, 一部分材料将转移到 A、B 以外的已变形区, 当 AB 距离达最小值时, 材料全部转移, 精冲过程完毕。

变形区材料的变形程度, 随变形区逐渐缩短而增加, 因此最先转移到已变形区的材料变形程度最低, 然后逐渐增加, 这些变形程度不同的材料逐次转移到工件表面。

模式还给出了精冲的变形力学简图如图 2—2 所示, 其中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 (即 $\varepsilon_2 = -\varepsilon_3$, $\varepsilon_2 = 0$)

以上是对精冲变形模式的基本描述, 用它可以说明精冲过程产生的若干物理现象, 或者说精冲过程的若干现象和试验结果同上述分析基本吻合, 说明提出的精冲变形模式是符合实际的。这些现象是:

(1) 精冲工件外形表层从凹模侧到凸模侧变形程度逐渐增加, 在接近凸模侧处变形程度达最大值。精冲件内形和废料表层情况则完全相反。从凸模侧到凹模侧变形程度逐渐增加, 在接近凹模侧处变形程度达最大值。参看本文第五部分关于精冲过程对工件机械性能影响的试验结果。用上述变形模式来解释就是凸、凹模刃口 AB 点分别将变形区 I、II 的材料逐渐转移到表面, 材料的变形程度按转移的顺序递增而出现这种现象。

(2) 精冲件出现倒锥现象, 即凸模侧大凹模侧小, 这是 I 区的材料随凸模刃口 A 向下转移, II 区的材料随凹模刃口 B 向上转移的结果。

(3) 凸凹模间隙过小时, 有时在精冲件剪切面上出现内凹的波纹。这是由于精冲变形区系平面应变状态, 当间隙过小时, 将使厚度方向的拉应变 ε_3 增加, $\varepsilon_1 + \varepsilon_3 = 0$, 结果导致垂直工件表面方向的压应变增加, 而出现了内凹现象。

2. 精密冲裁变形区的应力分析

精冲时作用于材料的外力如图 2—3 所示

图中 P_1 —凸模作用于材料的冲压力

$P_1 = P_1' + P_1''$, P_1' —冲裁力, P_1'' —顶件反力,

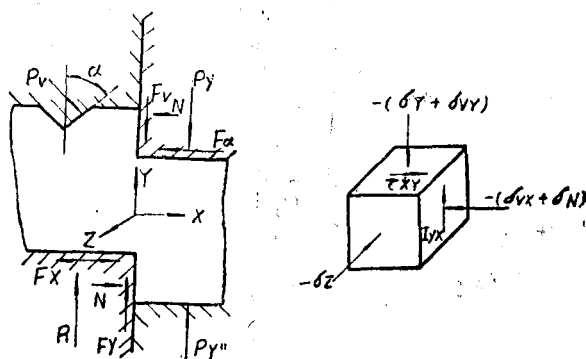


图 2—3

P, —V形齿内边作用于材料的力;

N—作用于材料的侧向力。

R—凹模作用于材料的力。

F_x, F_y, —模具作用于材料的摩擦力。

(1) 变形区内任一点的应力张量

在变形区内任一点O取坐标系X Y Z, 在该处取一基元六面体, 其上作用的应力 示于图2—3的右方, σ_x 系由P_x而引起, σ_{yx} , σ_{xy} 分别由P_x的X方向分量P_{yx}和y方向分量P_{xy}而引起的。 σ_N 为侧向力N引起的应力, σ_z 为模具和顶件板等对材料约束作用而引起的应力, 剪应力由外摩擦力而引起。

O点的应力张量以T_o表示。

$$T_o = T'_o + T''_o$$

T'_o——球形应力张量

T''_o——应力偏量。

$$T_o = \begin{pmatrix} -(\sigma_{yx} + \sigma_N) & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & (-\sigma_y + \sigma_{xy}) & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_z \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -\sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_m \end{pmatrix} +$$

$$\begin{pmatrix} -\frac{2}{3}(\sigma_{yx} + \sigma_N) + \frac{1}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy} + \sigma_z) & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \frac{1}{3}(\sigma_{yx} + \sigma_N + \sigma_z) - \frac{2}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy}) & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{2}{3}\sigma_z + \frac{1}{3}(\sigma_{yx} + \sigma_N + \sigma_y + \sigma_{xy}) \end{pmatrix}$$

$$T'_o = \begin{pmatrix} -\sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_m \end{pmatrix}$$

$$-\sigma_m = -\frac{1}{3}(\sigma_{yx} + \sigma_N + \sigma_y + \sigma_{xy} + \sigma_z)$$

球形应力张量表示O点所受的静水压, 它影响该点材料塑性。

$$T''_o = \begin{pmatrix} -\frac{2}{3}(\sigma_{yx} + \sigma_N) + \frac{1}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy} + \sigma_z) & \tau_{xy} & 0 \\ \tau_{yx} & \frac{1}{3}(\sigma_{yx} + \sigma_N + \sigma_z) - \frac{2}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy}) & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{2}{3}\sigma_z + \frac{1}{3}(\sigma_{yx} + \sigma_N + \sigma_y + \sigma_{xy}) \end{pmatrix}$$

应力偏量T''_o包括一对剪应力 τ_{xy} , τ_{yx} 和由

$$\pm \frac{2}{3}[(\sigma_{yx} + \sigma_N) - \frac{1}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy} + \sigma_z)],$$

$$\pm [\frac{2}{3}(\sigma_y + \sigma_{xy}) - \frac{1}{3}(\sigma_{yx} + \sigma_N + \sigma_z)]$$

构成的二对剪应力。应力偏量使材料在精冲过程中产生塑性变形。

(2) 关于提高变形区静水压力的分析

精冲时变形区的球形应力张量

$$T'_s = \begin{pmatrix} -\sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & -\sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & -\sigma_m \end{pmatrix}$$

表示该区所受的静水压力。而

$$-\sigma_m = -\frac{1}{3}(\sigma_{v,x} + \sigma_N + \sigma_y + \sigma_{v,y} + \sigma_z)$$

因此从上式可以了解提高变形区静水压力，即提高 $-\sigma_m$ 的途径：

①增大 σ_y

$\sigma_y = \sigma'_y + \sigma''_y$ ， σ'_y 系冲裁力 P'_y 所引起的正应力， σ'_y 在材料一定时为一定值。 σ''_y 系顶件反力 P''_y 所引起的正应力，因此增加 σ_y 只能通过增加 σ''_y ，即增大顶件反力来实现。

②增大 σ_N

σ_N 为侧向力引起的应力，它与凸凹模间隙及刃口的园角密切相关，间隙偏大 σ_N 将降低。因此小间隙是实现精冲的重要关键。当然采用小间隙的目的不仅是为了提高 σ_N 。另外凹模刃口倒以园角将使 σ_N 增大，这一点有很大的实用价值。在生产当中或在精冲试模时，如果发现工件某局部出现撕裂采取措施仍不能克服时，可将相应部位的凹模刃口倒园籍增加 σ_N 来提高静水压从而消除局部撕裂。

③增大 $(\sigma_{v,x} + \sigma_{v,y})$

因为 $\sigma_v = \sqrt{\sigma_{v,x}^2 + \sigma_{v,y}^2}$ ，显然增大 $(\sigma_{v,x} + \sigma_{v,y})$ 可通过增大压边力来实现。

④采用最佳压边圈齿形内角 α

当压边力一定时，还存在着压边圈齿形内角 α 取何值时 $(\sigma_{v,x} + \sigma_{v,y})$ 有最大值的问题。

由于 $\sigma_{v,x}$ 为 $P_{v,x}$ 引起的应力， $\sigma_{v,y}$ 为 $P_{v,y}$ 引起的应力，所以 $(\sigma_{v,x} + \sigma_{v,y})$ 的极值问题，可以归结为求 $(P_{v,x} + P_{v,y})$ 的极值问题。

由图2-3知：

$$P_{v,x} = P_v \cos \alpha$$

$$P_{v,y} = P_v \sin \alpha$$

$$P_{v,x} + P_{v,y} = P_v (\cos \alpha + \sin \alpha)$$

取极值：

$$\frac{d(P_{v,x} + P_{v,y})}{d\alpha} = 0$$

$$\text{得 } P_v (\cos \alpha - \sin \alpha) + dP_v (\cos \alpha + \sin \alpha) = 0$$

因压边力为一定 P_v 为定值， $dP_v = 0$

$$\text{故 } \cos \alpha - \sin \alpha = 0$$

$$\alpha = \frac{\pi}{4}$$

即齿形内角 $\alpha = 45^\circ$ 时 $(P_{v,x} + P_{v,y})$ 或 $(\sigma_{v,x} + \sigma_{v,y})$ 有极大值，此时精冲变形区内材料所受的静水压力最大。

⑤关于 σ_z 的分析

从静水压的关系式中知 σ ,增加也可提高静水压。但 σ ,为模具和顶件板等对材料的约束而引起的应力,它取决于工件的轮廓,在工件轮廓内凹的部分 σ ,值比较大,这些部分压边圈的齿形不必沿工件轮廓线分布,就能使变形区有足够大的静水压而使精冲过程获得完美的结束。

三、精冲模具几何参数的研究

1. 试验条件

试验设备用普通的油压机,通过液压模架实现三动来代替专用的三动精冲压力机。

液压模架的结构图示于图 3—1。

液压模架的液压系统图示于图 3—2。

试验用精冲模示于图 3—3。

测试仪器和装置:应变仪、函数记录仪、示波器、压力变送器、行程仪、压力转换器、工具显微镜等。

2. 压边圈齿形参数的研究

压边圈的齿形参数示于图 3—4。

靠模具刃口一侧的齿形角称为齿形内角 α ,是最重要的几何参数,它影响变形区内的静水压,在前一节内我们通过计算得到最佳的齿形内角为 45° ,现将目前各国推荐采用的齿形内角列于表 3—1。

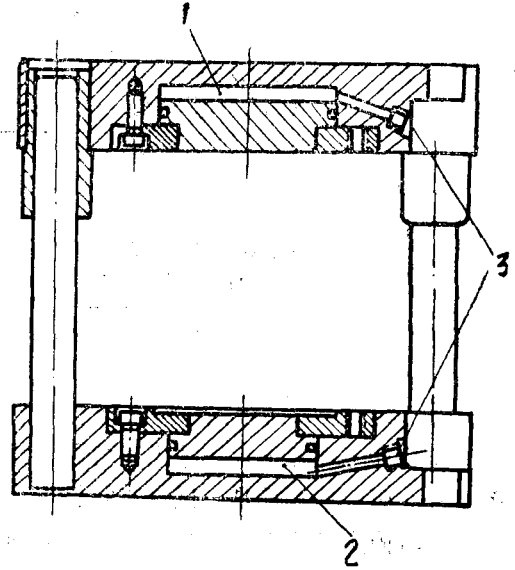


图 3—1 液压模架

1—压边系统 2—反压系统 3—进油孔

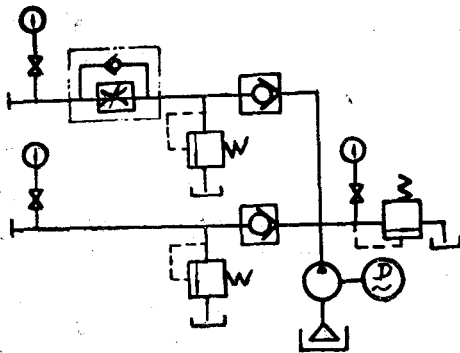
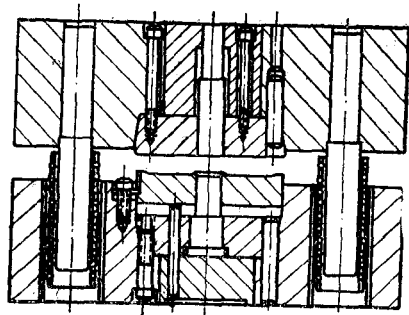


图 3—2 液压模架的液压系统图。



3—3 试验用精冲模具结构图

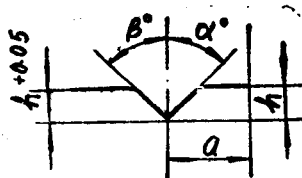


图 3—4

各国推荐的压边圈齿形内角

表 3—1

推 荐 者	压 边 圈 齿 形 内 角 α
(瑞士) Feintool (瑞士) ESSA	30°
(瑞士) Hydrea1 (瑞士) Schmid	40°
(中国) 机电所 (瑞士) Feintool	45°
(英) Fine—O—Matic	60°
(德)	90°

为了检验上述理论计算结果和各国推荐的数据进行了压边圈最佳齿形内角试验，试验采用图 3—3 所示精冲模具，试样直径 $\phi 20\text{mm}$ 。

试验时固定其他因素，只改变压边圈的齿形参数。

试验分二组进行。

第一组试验的具体条件如下：

凸凹模间隙 0.04mm ，压边圈采用单齿圈，共 7 种齿形参数详见表 3—2。试验材料为未经退火的 20 号钢，厚度 4mm ；润滑剂为 7507 极压油；压边力 3 吨，顶件力 1.2 吨。

第一组试验 7 种压边圈齿形参数

表 3—2

压 边 圈 No 参数	1	2	3	4	5	6	7
α	60°	50°	45°	40°	30°	30°	90°
β	60°	50°	45°	40°	30°	45°	90°
a	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
h	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

第二组试验的具体条件如下：

凸、凹模间隙 0.08mm ，压边圈采用双齿圈即凹模刃口部分也有齿圈，共 5 种齿形参数，详见表 3—3，上下齿形相同。试验材料为未经退火的 20 号钢，厚度 8mm ，润滑剂为 7507

极压油，压边力 6 吨，顶件力 2.5 吨。

第二组试验 5 种压边圈齿形参数

表 3—3

压边圈 NO 参数	8	9	10	11	12
α	45°	45°	40°	30°	15°
β	45°	45°	40°	60°	75°
a	4.5	5.6	4.5	4.5	4.5
b	1.3	0.8	1.3	1.3	1.3

二组试验用材料 20 号钢含炭量 0.18%， $\sigma_s 40 \text{ kg/mm}^2$ 。试验均采用液压模架在油压机上进行，冲裁速度 3~6 mm/秒。

进行第一组试验时，首先采用 № 3 号压边圈，进行第二组试验时，首先采用 № 8 号压边圈，试验时逐渐降低压边力和顶件反力，直到不能获得完好的精冲件为止。这样反复几次，最后选定这种条件下的压边力、顶件反力下限值。上述压边力和顶件力就是这样确定的。

二组试验分别进行了数轮，每轮分别取试样 6 件，每轮的试验结果基本稳定一致，归纳整理为表 3—4 和表 3—5。

第一组试验结果

表 3—4

压边圈编号 №	1	2	3	4	5	6	7
剪 切 面	□—4	○—3	○—5	○—4	□—3	□—3	×—6
质 量	△—2	□—3	□—1	□—2	△—3	△—3	

第二组试验结果

表 3—5

压边圈编号 №	8	9	10	11	12
剪 切 面	○—5	○—4	○—2	△—2	△—1
质 量	□—1	□—2	□—4	×—4	×—5

表中数字表件数，符号：

○—表示试件表面质量完好如图 3—5 a

□—表示试件表面质量较好，如图 3—5 b

△—表示试件表面有局部撕裂，如图 3—5 c

×—表示试件表面有严重撕裂，如图 3—5 d

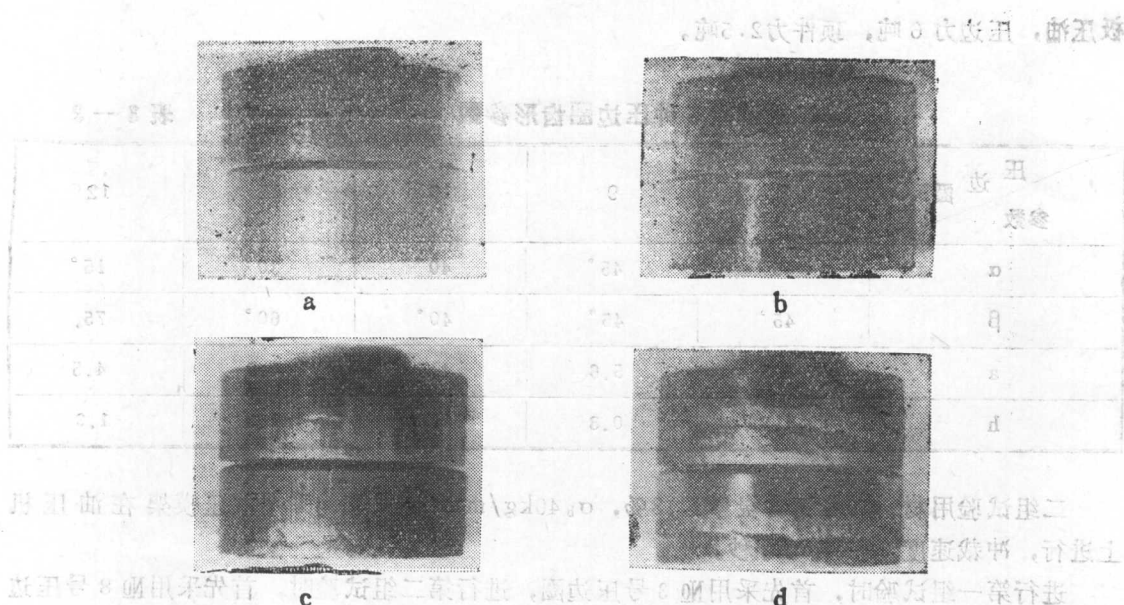


图3—5

试验结果表明:

(1) 压边圈齿形内角在 45° 左右精冲效果最好。

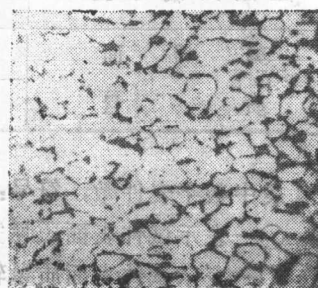
(2) 理论计算表明压边圈齿形内角存在最佳值 $\alpha=45^\circ$ ，和实验结果基本吻合，建议今后设计精冲模时 α 采用 45° 。

3. 精冲凸模和凹模间隙的研究

在凸模和凹模间隙的选取方面，目前国外有二种观点，一种以英国Fine—O—Matic公司为代表，认为间隙和材料厚度无关，一律都采用双边间隙 0.01mm 。另一种以瑞士Fein—tool公司为代表，认为精冲凸、凹模间隙为料原的 1% 。

结合我国目前的实际情况和我所的实验条件在制定精冲凸、凹模间隙试验方案时考虑了如下因素：我国目前正在进行 4mm 以上炭钢板的精冲件试验和试生产，这些材料都是未经球化退火的热轧钢板（ 4mm 以上冶金部门只供应热轧钢板）我们决定也采用这类材料的 20号 钢进行精冲间隙试验，这种材料含炭量 0.17% ， $\sigma_s 40\text{kg/mm}^2$ ，金相图片示于图3—6。系在铁素体的基体上均布以网状球光体，这不是理想的精冲材料组织，但国内均采用这种材料，用它进行试验对我国目前发展精冲技术还是有现实意义的。

试验分二组进行，第一组采用材厚 4mm 、3号压边圈，压边力 3.8吨 ，顶件力 1.5吨 。第二组采用材厚 8mm 、8号压边圈，压边力 8.2吨 ，顶件力 3吨 。二组采用同样的润滑剂7507极压油，在15种不同间隙下进行试验，结果列于表3—6。



表中数字表示件数，符号：

O—表示试件剪切表面质量完好

□—表示试件剪切表面质量较好

△—表示试件剪切表面有局部撕裂

×—表示试件剪切表面有严重撕裂

试验结果表明：精冲凸、凹模的间隙和一般冲裁一样存在一个合理的间隙范围，即小于材厚的1%。在剪切表面质量可适当降低的情况下，凸凹模间隙可增加到材厚的1.3%。

表3—6

凸模编号 No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
间隙 (×0.01mm)		14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
表面 质量	第一组	×-6	×-6	×-6	×-6	×-6	△-1	△-3	□-1	0-2	0-4	0-6	0-5	0-6	0-6	0-6
	第二组	×-6	×-6	□-1	□-2	0-2	0-4	0-5	0-6	0-5	0-6	0-6	0-6	0-6	0-6	0-2
				△-1												
				×-4	△-4	□-4	□-2	□-1			□-1					

四、精冲复合工艺分析和试验研究

精冲和其他工艺的复合简称精冲复合工艺，有二种形式，一种是作为精锻、冷挤、拉延等工艺的后续工序，另一种是充分利用精冲压力机具有三种独立可调压力的特点，在精冲过程中通过连续模或复合模和其他工艺（包括挤压、半冲孔、压扁、压印、压沉头、拉延、弯曲等）复合。

精冲复合工艺是精冲工艺的发展和延伸，就产品对象而言，已从等厚度的精冲件发展到不等厚度的精冲件，就工艺而言，已从板料单一的分切工艺发展为成形——分离复合工艺。

精冲复合工艺有十分明显的技术经济效益，近几年国外有了很大的发展，许多原由铸、锻毛坯切削加工零件，切削加工后铆、焊组装的零件等都可能用精冲复合工艺来加工，是取代切削加工的一种很有发展前途的工艺路线。然而，到目前为止，有关这方面的工艺资料却很少，在制定工艺方案和模具设计时需要进行若干试验。因此为了适应精冲复合工艺的发展，开展有关的工艺参数的研究是十分必要的。

1. 精冲——压凸台复合工艺的研究

精冲——压凸台复合工艺的典型零件如图4—1所示。

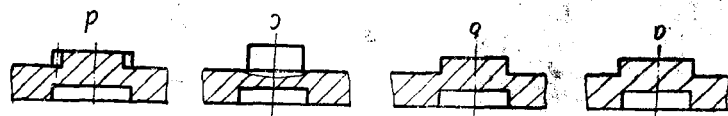


图4—1 零件中部压出凸台，周边轮廓采用精冲

(1) 分类

根据压凸台工艺金属变形的特点,我们可将它分为冲裁型和挤压型二大类。冲裁型压凸台一般称为半冲孔,如图4—1 a、b所示。它属于冲孔过程,相当于完成冲孔的一部分,所以称为半冲孔。半冲孔的凸模和凹模之间的间隙有二种取法,一种是按强力压边精冲方案确定间隙如图4—1 a;一种是按负间隙冲裁方案确定间隙如图4—1 b。图4—1 c、d所示为挤压型凸台,工艺过程中金属变形的特点属于正挤压过程,不仅凸凹模截面形状不同,而且凸模的截面积比凹模的大。

(2) 半冲孔工艺变形分析

一般冲裁凸模进入材料厚度 $1/3$ 左右时,工件就已经和条料分离。显然在这种情况下根本不可能采用半冲孔工艺。

半冲孔工艺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一种新工艺。其变形过程和零件轮廓附近有齿圈压边的精冲过程是基本类同的。虽然半冲孔的周边没有齿圈压边,但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件边缘较远,外部材料的刚端作用及精冲件外围齿圈压边的作用,可以防止半冲孔剪切区以外的材料在变形过程中随凸模滚动,如图4—2所示。

凸凹模和顶件板,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、凸凹模和顶件板的强压作用下,半冲孔变形区的材料处于三向变形的应力状态,提高了材料的塑性,避免了精冲件的凸台部分和本体分离或产生撕裂。

图4—3所示为半冲孔变形区金属的宏观流线照片。图4—4所示为半冲孔变形的硬度分布图。从此图可以看出半冲孔工艺变形区的影响范围及加工硬化最大的部位。

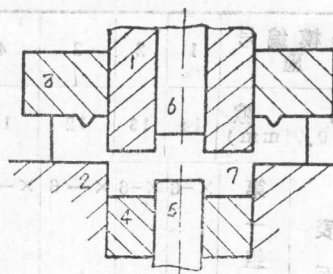


图4—2

1—凸凹模 2—凹模 3—齿形压边圈 4—顶件板 5—半冲孔凸模 6—顶杆 7—工件

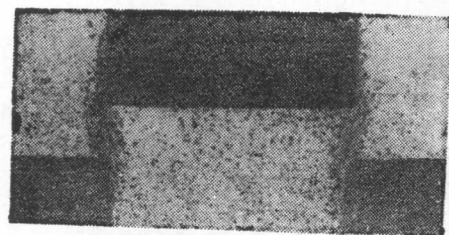


图4—3

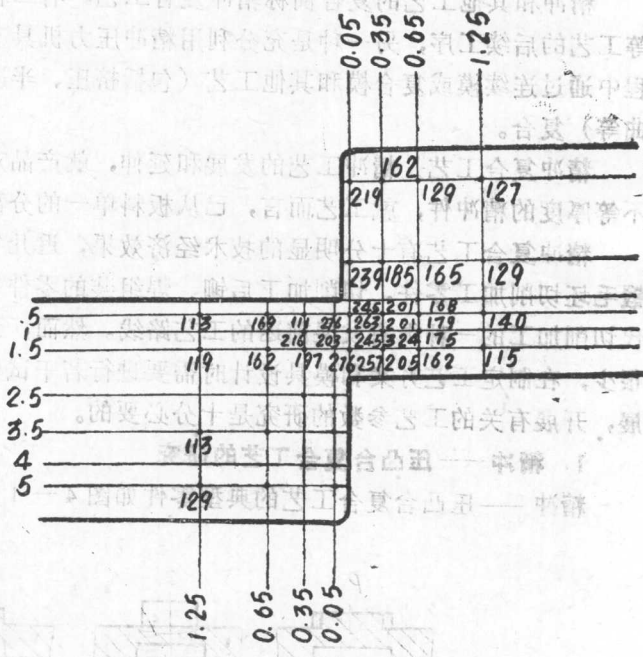


图4—4 半冲孔工艺变形区的硬度分布

(3) 半冲孔的变形程度

半冲孔是目前精冲—压凸台复合工艺中采用较多的一种，但到目前为止它还没有象其他成熟的工艺一样具有表示变形程度的工艺参数。通过试验和分析，我们建议用半冲孔的相对深度C表示此工艺的变形程度。

$$C = \frac{h}{t} \times 100\%$$

式中，t—材料厚度

h—半冲孔凸模压入材料的深度

凸台和本体部分连接的厚度为t—h，是加工硬化最剧烈的部位如图4—4所示。

(4) 半冲孔相对深度试验

试验模具如图3—3所示。为了模拟半冲孔过程，系用不带齿形的平面压边圈，试样采用60×60厚度8mm的20号钢。半冲孔在试样的中部进行，虽然周边并不进行精冲，由于孔距试样边缘较远，平板压边圈起顶件板的作用，试验和精冲复合工艺的半冲孔是基本相同的。试验时通过不同的限位高度获得不同的半冲孔相对深度。

半冲孔相对深度和剪切强度的关系示于图4—5。试验结果表明，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的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。因此推荐软钢的半冲孔极限相对深度C₀，一般取65~75%为宜。如图4—5所示。

2. 压扁——精冲复合工艺的研究

压扁——精冲复合工艺一般在连续模上进行，不可能对压扁后硬化的材料进行软化处理。因此压扁——精冲复合工艺的主要技术课题就是考虑在给定相对压扁量的条件下，材料硬化对精冲表面质量的影响。

通过试验得出了相对压扁量a与软钢材料硬化的关系示于图4—6。

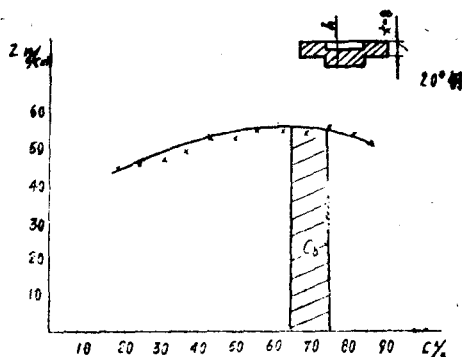


图4—5 半冲孔相对深度C与剪切强度τ的关系

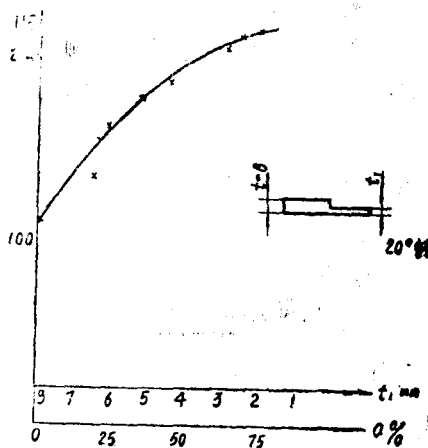


图4—6 相对压扁量a与软钢的硬化关系

$$\text{相对压扁量} a = \frac{\Delta t}{t} \times 100\%$$

式中: $\Delta t = t - t_1$

t_1 为材料压扁后的厚度。

原材料的厚度和硬度是制定精冲工艺方案, 设计精冲模具的主要原始根据, 因此利用图 4—6 中的压扁厚度 t_1 及相应的硬度 H , 结合精冲工艺资料, 即可设计满足压扁——精冲工艺要求的精冲件, 进而制定压扁——精冲工艺方案和连续精冲模设计。

五、精冲过程对工件机械性能的影响

由于精冲过程的塑性变形主要集中在以凸、凹模刃口为对角线的矩形间隙区内, 因此精冲过程对工件机械性能的影响主要表现为剪切面表层的加工硬化。

以材料 16Mn 厚度 8mm 的精冲件作为试样, 材料的原始平均维氏硬度为 $Hv150$ 。在试样的剪切表面, 距表面 0.5 毫米, 1 毫米, 2 毫米和 3 毫米的面上沿厚度方向进行了硬度测量, 结果示于图 5—1。

从图 5—1 可以看出:

1. 剪切表面由于剧烈的塑性变形材料加工硬化, 其硬度超过芯部原始硬度 1 倍多。

2. 剪切表面的硬化曲线呈半梨状, 在凹模侧硬度最低沿厚度方向逐渐增加, 硬度的极大值在靠近凸模侧处。试验结果和前面的分析基本吻合, 说明提出的精冲变形模式对精冲变形过程的描绘是符合实际的。

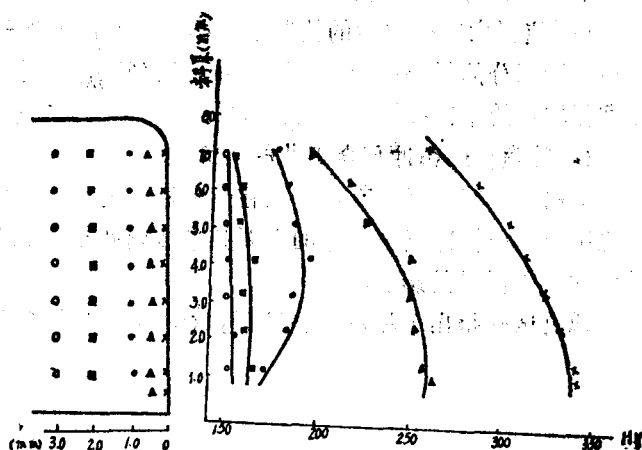


图 5—1 精冲件剪切表面及内层硬化曲线

(材料: 16Mn, 厚度 8 mm)

× — 剪切表面; △ — 距表面 0.5 mm;
· — 距表面 1 mm; □ — 距表面 2 mm;
○ — 距表面 3 mm;

3. 塑性变形区和弹性变形区之间存在一个过渡的塑性变形影响区。影响区内硬度的分布由表层向内层而逐渐降低。图 5—1 试样的硬化层达 3mm, 表明该件精冲时塑性变形影响近 3mm。

实验表明, 塑性变形影响区的深度因材料厚度及材料的性质而异, 表面硬化曲线极大值的位置也和料厚及材质有关。精冲件表面出现裂纹经常发生在这个部位, 因此研究精冲件表面硬化曲线, 分析影响表面硬化的因素找出降低硬化程度的措施, 对于提高精冲件质量和扩大精冲工艺范围是很有意义的。

对于需要利用表面硬化的零件, 研究表面硬化曲线则具有更大的实用价值。

六、精冲件尺寸散布规律的研究

虽然目前已有了精冲工艺的尺寸精度资料, 但是对于精冲零件尺寸散布规律及与模具几何尺寸的关系研究确甚少, 为了对“精冲件尺寸一致性好”建立数量的概念, 掌握精冲件尺寸散布规律和凸凹模尺寸的关系, 便于更精确的设计凸、凹模, 结合精冲模寿命制定精冲工艺的经济精度, 利用概率理论来研究精冲件尺寸的散布规律是十分有意义的。

根据概率理论试件尺寸的散布曲线特性可用平均数 $\bar{x}$ 和均方根误差 σ 来表示:

$$\bar{x} = \int_{-\infty}^{\infty} x \phi(x) dx \approx \frac{\sum n_i x_i}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} x^2 \phi(x) dx - \bar{x}^2} \approx \sqrt{\frac{\sum n_i (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$$= \sqrt{\frac{\sum n_i x_i}{N} - \bar{x}^2}$$

$$\text{式中概率密度 } \phi(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

$$\text{概率 } P_x = \int_0^x \phi(x) dx = \int_0^x \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x - \bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx$$

图 6—1 所示为尺寸偶然误差分布规律图, 由概率积分知, 在 $\pm 3\sigma$ 所限的曲线下的面积, 占整个曲线下面积的99.72%, 因此定 6σ 为此工艺的极限偏差, 作为此工艺所能达到的精度公差(不考虑系统误差), 此时的废品率仅占0.28%。在作尺寸散布曲线时, 为了既保证试验的准确性, 又避免不必要的过多重复次数, 而增加试验费用和时间, 确定取每组试样为50个。根据概率理论, 在一般情况下, 取50个试样和无限多个试样比较, 其误差不超过10%。在工程技术上是完全允许的。

我们进行了二种试样的尺寸散布规律曲线试验。第一种材料20号钢, 厚度8mm, 凹模直径20.1365mm, 凸模直径20.08mm, 8号压边圈, 压边力8.2吨, 顶件力3吨, 第二种材料20号钢, 厚度4mm, 凹模直径20.1365mm, 凸模直径20.11mm, 3号压边圈, 压边力3.8吨, 顶件力1.5吨。二种材料的组织和强度详见图3—6。

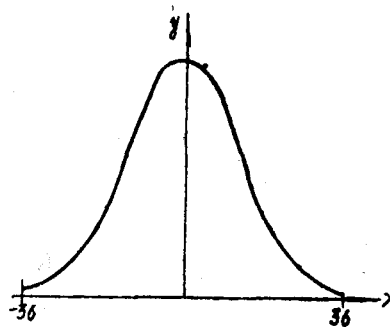


图 6—1 尺寸偶然误差分布规律图

经过尺寸测量统计, 试样尺寸散布情况基本稳定。二种数据列于表 6—1 和表 6—2 并作出尺寸散布图, 图 6—2, 图 6—3。

表 6—1 和表 6—2 中各栏的含意:

组边界——表示各组尺寸边界值;

n_i ——频数, 表示各组试样的数目;

x_i ——组中心, 表示各组边界内的平均值;

Px_i ——概率,

$$Px_i = \frac{n_i}{N},$$

ϕ_{x_i} ——概率密度,

$$\phi_{x_i} = \frac{Px_i}{\Delta x_i},$$

Δx_i ——各组边界尺寸之差

N ——总数量

从尺寸散布图表可以看出:

1. 精冲 4mm 的 20 号钢试样尺寸散布的均方根误差 $\sigma = 1.77\mu$, 极限误差 $6\sigma = 10.6\mu$, 系统误差 $\varepsilon = 5\mu$ 。

2. 精冲 8mm 的 20 号钢试样尺寸散布的均方根误差 $\sigma = 3.18\mu$ 极限误差 $6\sigma = 19.1\mu$ 。系统误差 $\varepsilon = 7\mu$ 。

3. 二组试样的尺寸全部都小于凹模尺寸 (定凹模尺寸为 0 点)

4. 精冲工艺生产的零件尺寸一致性好, 冲 4mm 软钢, 其极限误差 $6\sigma = 10.6\mu$, 相当于 1 级精度, 冲 8mm 软钢, 其极限误差 $6\sigma = 19.1\mu$, 相当于 2 级精度。目前资料规定精冲 4mm 的工艺尺寸精度为 3 级, 精冲 8mm 的工件尺寸精度为 4 级, 这是考虑了模具制造误差, 磨损及其他影响因素的结果。

实验表明精冲工艺的极限误差和规定的精度之间相差二个精度等级, 这说明确定的精冲精度有很大的精度储备, 因此实验结果可用在特定条件下, 根据一定的模具制造精度来确定精冲件实际能达到的精度等级。

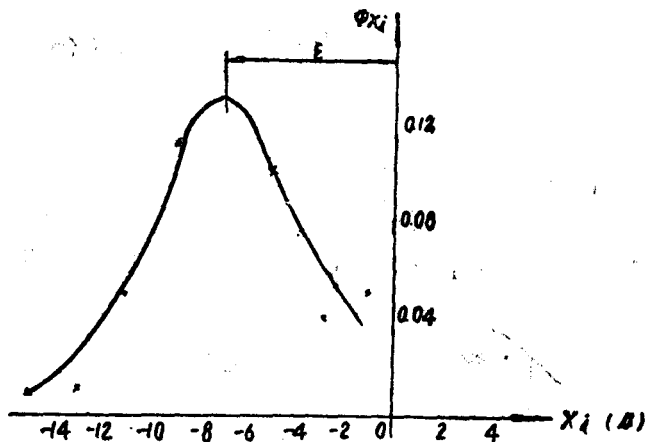


图 6—2 20号钢 8 mm 厚精冲试样尺寸散布图

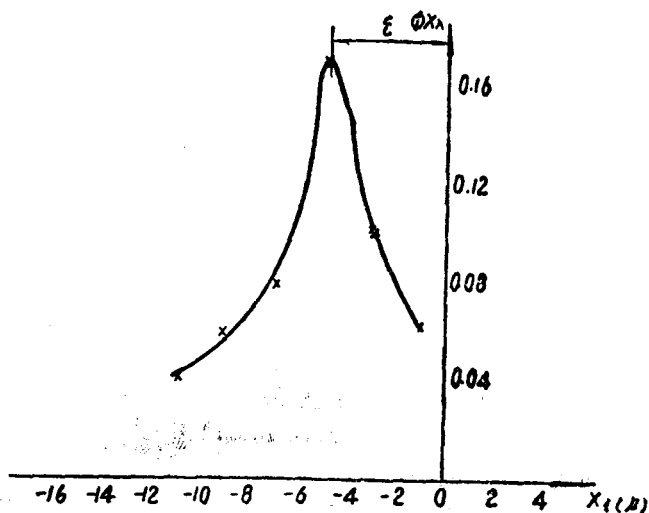


图 6—3 20号钢 4 mm 厚精冲试样尺寸散布图