

冲压工艺

《冲压工艺》编写组

1977年8月

冲 压 工 艺

《冲压工艺》编写组

1977年8月

冲 压 工 艺

《冲 压 工 艺》编写组

湖南南县印刷厂印刷

1977年8月

毛主席语录

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

我们的教育方针，应该使受教育者在德育、智育、体育几方面都得到发展，成为有社会主义觉悟的有文化的劳动者。

教材要彻底改革，有的首先要删繁就简。

要把精力集中在培养分析问题和解决问题的能力上。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

前 言

遵照毛主席关于**教育要革命**和**教材要彻底改革**的教导，在近几年教育革命实践的基础上，全国设有锻压专业的有关院校经过集体讨论，分工编写了这本《冲压工艺》教材。同时还编写了《冲压设计资料》及《冲模结构图册》，与教材配合使用，以适应教学的需要。

在编写中，将近几年来大力推广使用的“冷挤压”和“精冲”等少、无切削工艺作为基本工序编入，并将成形工艺按变形规律分为四类编写。为了培养分析问题和解决问题的能力，增编了“冲压工艺方案的分析”一章。

在编写中力求抓住主要矛盾，分析工艺过程的本质和规律，以便正确地制订工艺和设计模具。文字叙述力求通俗易懂，并附有适当的例题，以便自学。在编写中力求贯彻**教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合**的方针，吸收了某些工厂的有关资料和宝贵经验。由于水平所限，还存在不少缺点和错误，请读者批评指正。

参加讨论和编写的有：广东工学院、山东工学院、大连铁道学院、上海交通大学、太原工学院、太原重型机械学院、长沙汽车电器厂、长沙标准件厂、天津大学、中南矿冶学院、内蒙古工学院、东北重型机械学院、包头机械工业学校、北京工业大学、华中工学院、重庆大学、江西工学院、西北工业大学、西安交通大学、吉林工业大学、合肥工业大学、哈尔滨工业大学、洛阳农机学院、南京机器制造学校、清华大学、湖北农机学院、湘潭大学等。

在印刷出版中，承江南机器厂、湖南南县印刷厂和其他兄弟单位大力支持与帮助，在此谨表谢意。

《冲压工艺》编写组

一九七六年六月于湘潭

目 录

第一章 冲 裁

§ 1—1 冲裁变形过程	1
§ 1—2 冲裁件质量分析	3
一、间隙对切断面质量的影响	3
二、间隙对尺寸精度的影响	4
三、刃口状态对断面质量的影响	6
§ 1—3 凸、凹模间隙的确定	6
一、理论确定法	8
二、经验确定法	8
§ 1—4 凸、凹模刃口尺寸计算	11
一、尺寸计算原则	11
二、尺寸计算方法	12
§ 1—5 冲裁力的计算及降低冲裁力的方法	18
一、冲裁力的计算	18
二、降低冲裁力的方法	19
三、卸料力及推件力的计算	21
§ 1—6 排样	22
一、材料的经济利用	22
二、排样方法	23
三、搭边	26
§ 1—7 冲裁模分类及冲裁模结构分析	28
一、冲裁模的分类	28
二、冲裁模的结构分析	28
§ 1—8 冲裁模设计的一般程序	38
§ 1—9 冲裁件的工艺性	39
§ 1—10 冲裁工艺方案的确定	41
一、确定冲裁工艺方案的实例	42
二、单工序模、连续模与复合模的比较	44

§ 1—11 冲裁模的总体设计	45
一、压床选择	45
二、压力中心的计算	46
三、冲裁模结构选择	49
§ 1—12 冲裁模主要零、部件设计	51
一、工作部分零件设计	51
二、定位零件设计	56
三、卸料与推件零件设计	63
四、导向零件设计	72
五、联接零件设计	74
§ 1—13 其他冲裁法	76
一、整修	76
二、精密冲裁	80
三、橡皮冲裁	99
四、聚氨酯冲裁	101
五、硬质合金冲裁模设计特点	102
六、非金属材料的冲裁	108

第二章 弯 曲

§ 2—1 弯曲变形过程	110
§ 2—2 弯曲件的回弹及减少回弹的方法	113
一、影响回弹的因素	113
二、回弹值的确定	115
三、减少回弹的措施	115
§ 2—3 最小弯曲半径	118
§ 2—4 弯曲件毛坯尺寸计算	120
一、变形中性层的位置	120
二、弯曲件毛坯尺寸的计算	121
§ 2—5 弯曲力的计算	124
一、自由弯曲时的弯曲力	124
二、校正弯曲时的弯曲力	124
三、顶件力和压料力	125
四、弯曲时压床吨位的决定	125
§ 2—6 弯曲件的工艺性	125
§ 2—7 弯曲件的工序安排及模具设计	129
一、V形件的弯曲	130
二、U形件的弯曲	131

三、帽罩形件的弯曲	133
四、Z形件的弯曲	134
五、圆筒形件的弯曲	134
六、其他形状的弯曲件	136
§ 2—8 弯曲模工作部分尺寸的决定	137
一、凸、凹模的圆角半径及弯曲凹模的深度	137
二、凸、凹模间隙	139
三、凸、凹模工作部分的尺寸与公差	140
§ 2—9 实例	140

第三章 拉 延

§ 3—1 拉延变形过程的分析	143
一、拉延变形过程	143
二、拉延过程中毛坯的应力与应变状态	145
§ 3—2 拉延过程的力学分析	147
一、凸缘变形区的应力分析	147
二、起皱	151
三、筒壁传力区的受力分析与拉破问题	152
§ 3—3 圆筒形件的拉延	153
一、毛坯尺寸的计算	153
二、拉延系数与拉延次数	155
三、压边力、拉延力和拉延功的计算	163
四、凸、凹模工作部分设计	169
§ 3—4 其它形状零件的拉延	175
一、带凸缘圆筒形件的拉延	175
二、阶梯形、半球形、抛物线形及锥形件的拉延	181
三、矩形件的拉延	188
§ 3—5 拉延件的工艺性、工艺过程制订和拉延模结构	198
一、拉延件的工艺性	198
二、拉延工艺过程的制订	198
三、拉延模结构	201
§ 3—6 其它拉延方法	204
一、橡皮拉延	204
二、液压拉延	206
三、凸缘加热拉延	207
四、带料连续拉延	208
五、变薄拉延	214

§ 3-7	大型复盖零件的拉延特点	219
§ 3-8	拉延工作中的润滑、退火与酸洗	220
	一、润滑	220
	二、退火	220
	三、酸洗	223

第四章 成 形

§ 4-1	局部成形和翻边	225
	一、局部成形	226
	二、翻边	228
§ 4-2	缩口和胀形	235
	一、缩口	235
	二、胀形	238
§ 4-3	校平和整形	241
	一、校平	242
	二、整形	243
§ 4-4	旋压和强力旋压	243
	一、旋压	243
	二、强力旋压	245

第五章 冷 挤 压

§ 5-1	冷挤压的基本概念	249
	一、冷挤压的分类	249
	二、冷挤压技术的效果	253
	三、冷挤压的发展	255
	四、冷挤压过程中的矛盾分析	256
§ 5-2	冷挤压的基本原理	257
	一、主应力状态对冷挤压工艺的影响	257
	二、冷挤压的金属流动	261
	三、冷挤压的附加应力与残余应力	269
	四、冷挤压的外摩擦	272
	五、冷挤压对金属机械性能的影响	274
§ 5-3	目前冷挤压所用的金属材料	277
§ 5-4	冷挤压的变形程度	278
	一、冷挤压变形程度的表示方法	278
	二、许用变形程度	280

§ 5—5	冷挤压的变形力	288
	一、冷挤压压力的概念	288
	二、影响冷挤压压力的主要因素	289
	三、挤压力的计算	293
	四、墩压力的计算	302
§ 5—6	冷挤压的毛坯制备	303
	一、毛坯的形状与尺寸	303
	二、毛坯的制备	303
§ 5—7	冷挤压毛坯的软化热处理	304
§ 5—8	冷挤压的润滑	306
	一、钢的冷挤压毛坯表面处理与润滑	306
	二、有色金属冷挤压的润滑	310
§ 5—9	冷挤压模具结构	312
	一、模具结构	312
	二、模具工作部分设计	316
	三、预应力组合凹模	323
§ 5—10	冷挤压模具材料	329
§ 5—11	冷挤压压力机的选择	331
§ 5—12	典型冷挤压工艺示例	331
	一、钢梭心套壳冷挤压	331
	二、带有隔层的铝件冷挤压	336
§ 5—31	温热挤压	339

第六章 冲压工艺方案的分析

§ 6—1	分析工艺方案的步骤与内容	341
	一、零件图的分析	341
	二、工序性质、数量和顺序的分析	343
	三、工序的组合与模具型式的选择	344
	四、工件定位方法的选择与工序尺寸计算	345
	五、工序草图	348
§ 6—2	典型冲压件的工艺分析与计算	348

第一章 冲 裁

冲裁是利用模具使板料产生分离的冲压工序，包括落料与冲孔。它可以制成零件，或为弯曲、拉延、成形等工序准备毛坯。从板料上冲下所需形状的零件（或毛坯）叫落料。在工件上冲出所需形状的孔（冲去的为废料）叫冲孔。如图1—1的垫圈，即由落料与冲孔两道工序完成。通过生产实践，我们对冲裁工序及其模具结构有了一定的了解，但**感性认识有待于发展到理性认识**，才能真正了解冲裁过程的本质，更好地制定工艺和设计模具。下面就冲裁变形过程、冲裁件质量、冲裁模刃口尺寸设计及冲裁模结构设计等问题进行分析讨论。

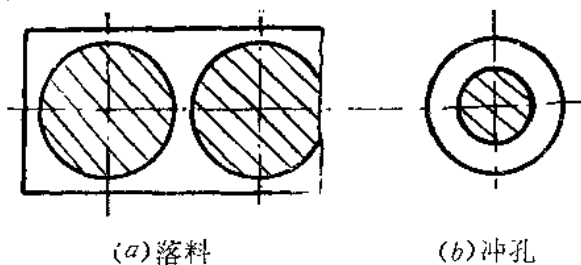


图1—1

§ 1—1 冲裁变形过程

由图1—2所示的冲裁变形过程可以看出，凸模与凹模组成上下刃口，材料放在凹模上，凸模逐步下降使材料产生变形，直至全部分离完成冲裁。随着凸模作用在材料上的外力在数量上的变化，材料内部的变形不断发展。整个冲裁过程的变形分为三个阶段（图1—2）。

1、弹性变形阶段

凸模接触材料，由于凸模加压，材料发生弹性压缩与弯曲，并略有挤入凹模洞口。这时材料内应力没有超过屈服极限，若凸模卸压，材料即恢复原状，故称弹性变形阶段。

2、塑性变形阶段

凸模继续加压，材料内应力达到屈服极限，部份金属被挤入凹模洞口，产生塑剪变形，得到光亮的剪切断面。因凸、凹模间存在间隙，故在塑剪变形的同时还伴有材料的弯曲与拉伸。外力继续增加，材料内应力不断增大，在凸、凹模刃口处由于应力集中，内应力首先超过抗剪强度，出现微裂。

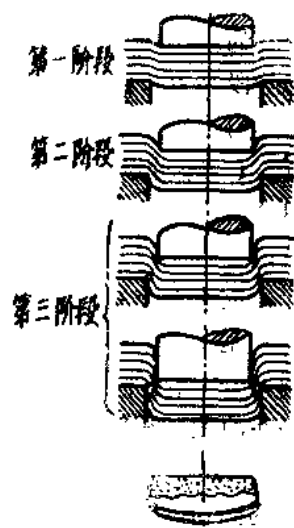


图1—2
冲裁变形过程

3. 断裂阶段

凸模继续下压，凸、凹模刃口处的微裂不断向材料内部扩展，材料随即被拉断分离。若凸、凹模间隙合理时，上下裂纹互相重合。

进一步分析冲裁时变形区的应力应变状态，有助于对冲裁变形过程的了解。在凸模和凹模刃口的联线上取一单元体 a ，其应力应变图如图1-3所示。从图中可看出，和金属断裂线 AB （即刃口联线）成 45° 的主轴方向1是拉应力与拉伸变形，拉应力使金属纤维伸长；与其垂直的主轴方向2是压应力与压缩变形，使纤维受压挤；在切线方向的应力与应变很小，可略去不计；与主应力方向成 45° 的 AB 线方向为最大剪应变方向。因凸、凹模之间存在间隙，使拉应力 σ_1 较大，而拉应力的存在使金属纤维伸长并拉断，导致冲裁断裂面粗糙，甚至有毛刺。

冲裁变形过程的三个阶段，还可在冲裁力的变化曲线图中得到验证。图1-4所示，是冲裁厚度为3毫米的A3材料时冲裁力与凸模行程的关系曲线。从图中可看出，在冲裁过程中冲裁力的大小是不断变化的。图中 AB 段相当于冲裁的弹性变形阶段， BC 段为塑性变形阶段。当材料内应力达到抗剪强度时材料开始产生裂纹， CD 段为裂纹扩展直至材料分离的断裂阶段。 DE 段表示凸模将冲裁件推出凹模口。

上述冲裁变形过程得到的冲裁件断面并不是光滑垂直的，断面存在三个区域，即圆角带、光亮带与断裂带（图1-5）。圆角带是在冲裁过程中塑性变形开始时，由于金属纤维的弯曲与拉伸而形成的，软料比硬料的圆角大。光亮带是在变形过程的第二阶段金属产生塑剪变形时形成的，有光滑垂直的表面，光亮带占全断面的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ ，软材料的光亮带宽，硬材料的光亮带窄。



图1-3 冲裁应力应变图

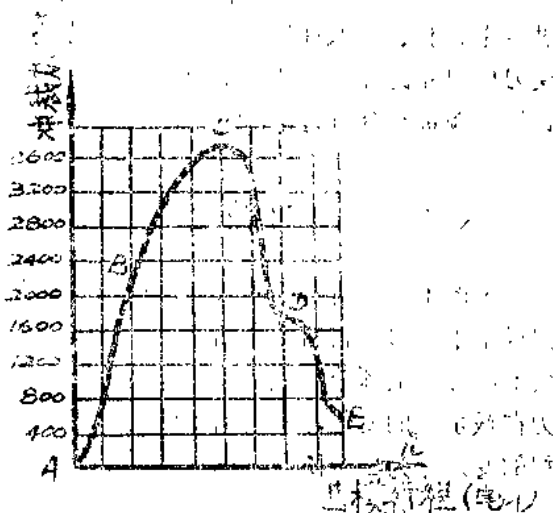


图1-4

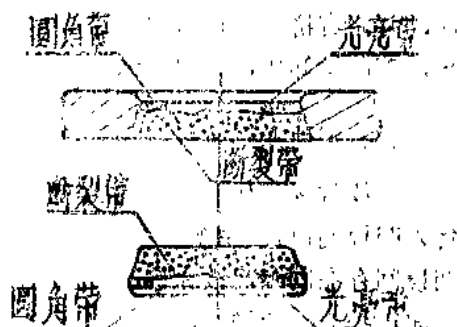


图1-5 冲裁零件的断面

断裂带相当于冲裁过程的第三阶段，主要是由于拉应力的作用，裂纹不断扩展，金属纤维拉断，故表面粗糙不光滑，且有斜度。在冲出孔的断面上同样具有上述特征，只是三个区域的分布位置与落料相反。

冲裁件除断面粗糙有锥度外，还有点弯曲、不平直，端面有毛刺，所以普通冲裁只适用于一般要求的冲裁件。如何提高冲裁件质量，这是冲压生产的主要问题。然而在另一种情形之下则矛盾的地位起了变化，某些次要矛盾会转化为主要矛盾。例如在只有小吨位冲压设备的条件下，要冲裁厚材料或轮廓尺寸大的零件时，为了实现材料的切离，冲裁力的大小就成为主要矛盾，而在某些情况下，模具的结构与制造方法，也可成为主要矛盾。所以要具体情况具体分析。

§ 1-2 冲裁件质量分析

冲裁时不仅要求冲出符合图纸形状的零件，还应有一定的质量要求。冲裁件的质量是指切断面质量、尺寸精度及形状误差。切断面应平直、光洁，即无裂纹、撕裂、夹层、毛刺等缺陷。零件表面应尽可能平坦，即弯曲小，尺寸精度应保证不超出图纸规定的公差范围。

影响冲裁件质量的因素很多，从生产实际中知道，凸、凹模间隙大小及分布的均匀性、模具刃口状态、模具结构与制造精度、材料性质等，对冲裁件质量都有影响。但我们必须从其中找出对冲裁质量起着决定性作用的因素。

一、间隙对切断面质量的影响

从冲裁变形过程分析中知道，凸、凹模刃口处的裂纹是否重合与间隙大小有关。若间隙合理，材料分离时，在凸、凹模刃口处的两组剪裂纹重合（图 1-6b），因而冲出的零件断面虽具有三个特征区（图 1-5），但是比较平直、光洁，且无毛刺。在这种情况下零件断面质量认为是良好的。

当间隙过小时则上下裂纹互不重合，相隔一定距离（图 1-6a），材料最后分离时，断裂层出现毛刺与夹层，由于凹模刃口的挤压作用，零件断面又出现第二光亮带，其上部出现毛刺或锯齿状边缘，并呈倒锥形。

间隙过大时裂纹也不重合（图 1-6c），零件切断面斜度

增大，对于厚料则圆角带处圆角增大，对于薄料则易使材料拉入间隙中，形成较长的毛刺，所以间隙过小与过大冲出的零件断面质量都是不好的。

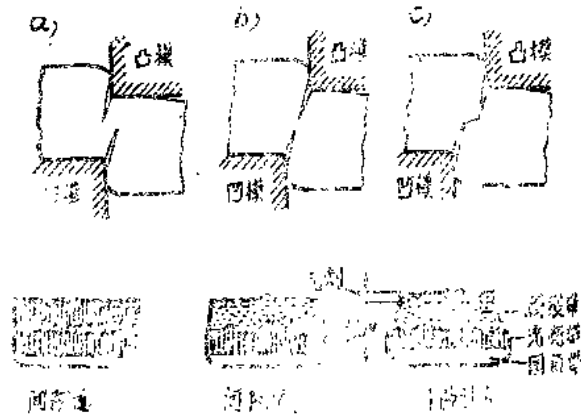


图 1-6 间隙大小对制件断面质量的影响

间隙分布的均匀性对冲裁件断面质量同样有很大的影响。若间隙分布不均,将使零件产生局部毛刺,在间隙大的一边产生拉长毛刺,而在间隙小的一边产生挤毛,并加快刃口磨损变钝。所以间隙不仅要选用合理,而且在制造、调整冲模时应保证间隙均匀。

二、间隙对尺寸精度的影响

冲裁件的尺寸精度是指冲裁件的实际尺寸与公称尺寸的差值,差值越小则精度越高。这个差值包括两方面的偏差,一是冲裁件与凸模或凹模尺寸的偏差,一是模具本身的制造偏差。

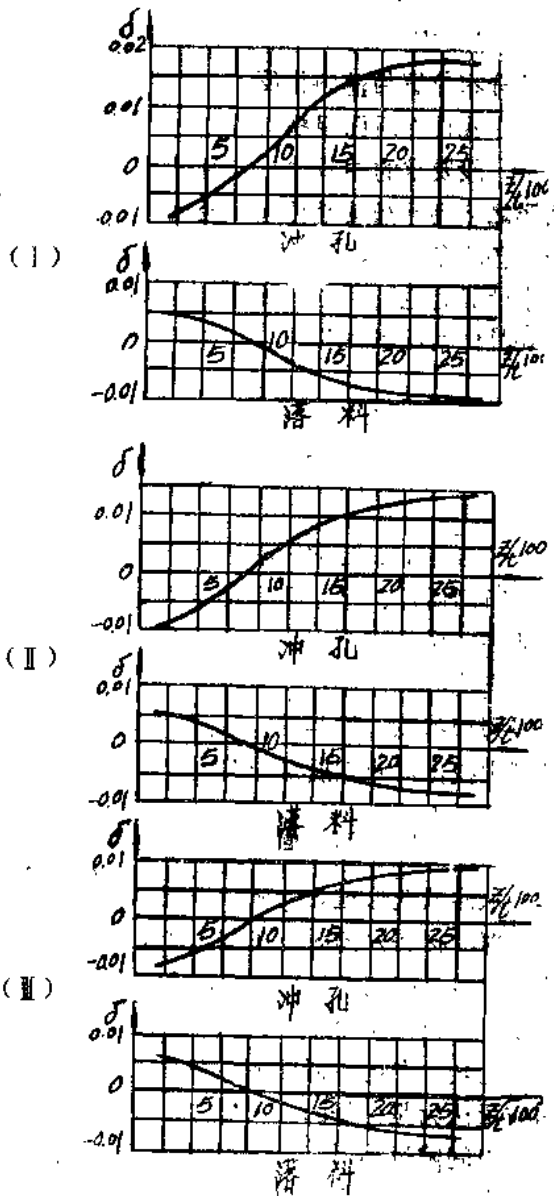
冲裁件与凸、凹模尺寸的偏差主要是工件从凹模内推出(落料)或从凸模上卸下(冲孔)时,由于材料的弹性恢复造成的。偏差值可能是正的,也可能是负的。影响这个偏差值的因素有:

- 1、凸、凹模间隙。
- 2、材料性质。
- 3、工件形状与尺寸。

其中主要是凸、凹模间隙,若间隙过大,冲裁时材料的拉伸变形大,故冲裁后的弹性恢复使落料件尺寸缩小,而使孔的尺寸增大(见图1-7),因此降低了冲裁件的尺寸精度。当间隙过小时,材料受压缩变形,冲裁后的弹性恢复使孔径缩小,而使制件尺寸增大(见图1-7)。同时一般冲裁件均不平整,有穹弯(如图1-8)。间隙越大,这种穹弯也大,即图1-8中的弯



图1-8



- (I)材料: 黄铜 料厚: 4毫米
 (II)材料: 15钢 料厚: 3.5毫米
 (III)材料: 45钢 料厚: 2毫米

图1-7 间隙对冲裁精度的影响

曲深度H越大，而穹弯大，使制件的弹性恢复也增大。所以间隙过大或过小都使冲裁件有较大的偏差，使尺寸精度降低。只有在合理间隙值时，才使工件尺寸最接近凹模(或凸模)的尺寸。

材料性质对尺寸精度也有影响，因为材料性质直接决定了材料在冲裁过程中的弹性变形量。软钢的弹性变形量较小，冲裁后的弹性恢复量也就小，故工件精度较高。硬钢弹性恢复较大，工件精度就较低。

此外，材料厚度与工件形状对尺寸精度也有影响，薄材料冲裁时弹性穹弯大，故冲裁后的弹性恢复大，工件精度低。工件形状越复杂，模具制造及调整时就越难保证间隙均匀，故尺寸偏差也越大。

上述因素的影响是在一定的模具制造精度这个前提下讨论的。若模具刃口制造精度低，则冲裁出的工件精度也就无法保证。所以凸、凹模刃口的制造公差一定要按工件的尺寸要求来决定。此外，模具的结构型式及定位方式对孔的定位尺寸精度也有较大的影响，这将在模具结构一节中阐述。冲模制造精度与冲裁件精度之间的关系见表1-1。

冲裁件精度 表1-1

冲模制 造精度	材 料 厚 度 t (毫米)											
	0.5	0.8	1.0	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12
2	3	3	4	5	5	—	—	—	—	—	—	—
3	—	4	5	5	7	7	7	—	—	—	—	—
4	—	—	—	7	7	7	7	7	8	8	8	8

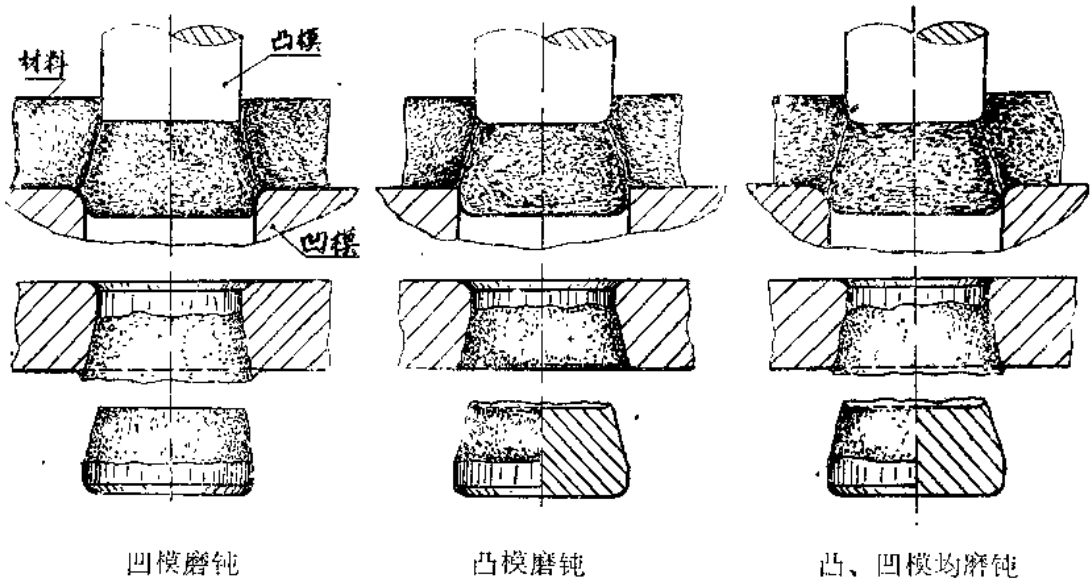


图1-9 凸、凹模磨钝的情况

三、刃口状态对断面质量的影响

图1—9为凸模和凹模刃口变钝时的情况。当模具刃口磨钝或有裂口时，在冲裁件的边缘会产生很大的毛刺。凸模刃口磨钝时，毛刺是在落料制件上；而凹模刃口磨钝时，是在冲孔孔边产生毛刺。若凸、凹模都磨钝，则制件与孔边均出现毛刺。当模具刃口锋利时，虽然间隙较大，仍可得到毛刺较小的制件。但若刃口变钝，尽管间隙值是合理的，也避免不了要产生毛刺。这时，刃口锋利程度就上升为冲裁时的主要矛盾。

一般冲裁金属零件允许的毛刺高度（毫米） 表1—2

材 料 厚 度	~0.3	>0.3~0.5	>0.5~1.0	>1.0~1.5	>1.5~2.0
生产时允许毛刺高度	≤0.05	≤0.08	≤0.10	≤0.13	≤0.15
试模时允许新模毛刺高度	≤0.015	≤0.02	≤0.03	≤0.04	≤0.05

毛刺是冲裁件的常见疵病。一般生产中允许的毛刺高度见表1—2。

若零件的技术条件规定不允许毛刺存在，则在冲裁后要设法清除。清除毛刺的方法很多，对于较厚的中小零件可用滚筒滚光或振动去毛刺，对于较薄或较大的零件可用双轴轧辊辗平，也可用砂带磨床（图1—10）磨去毛刺。

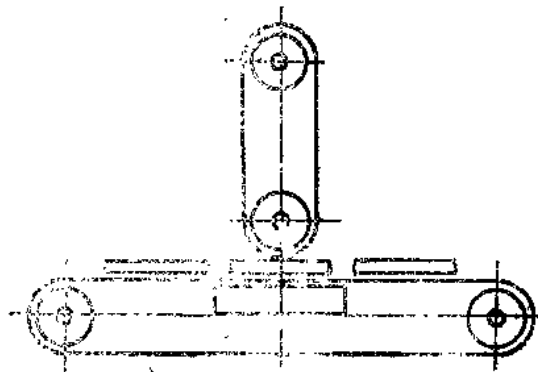


图1—10 砂带磨床

§ 1—3 凸、凹模间隙的确定

凸、凹模间隙的大小不仅是影响冲裁件质量的主要因素，而且还对冲裁力、推件力、卸料力以及模具寿命都有影响。

间隙合理时，冲裁变形过程近于纯剪切，所需冲裁力最小。若间隙过小，则由于挤压力增加，使冲裁力增大；同时由于制件的弹性恢复增大，使卸料力与推件力也增大。若间隙增大则可降低冲裁力。

此外，在冲裁过程中，凸模与凹模端部及侧边都承受着材料的反作用力（正压力 P_1 、 P_2 ）。

与侧压力 F_1 、 F_2)，如图 1-11 所示。当间隙愈小时，由侧压力所引起的材料与凸模侧壁及凹模洞壁间的摩擦力 (μF_1 与 μF_2) 也愈大，同时从凹模内推件及从凸模上卸料的摩擦力也愈大，所以使凸、凹模刃口侧壁的磨损增快，甚至因为凸、凹模侧壁摩擦发热严重，使材料粘结在上面，这反过来更促使摩擦力增加，以至刃口很快磨损，模具寿命大大降低。当间隙过大时，因材料的弯曲拉伸增大，使凸、凹模端部刃口处的正压力增大，凸、凹模端部刃口磨损增快，降低了模具寿命。

由此可见，凸、凹模间隙对冲裁件质量、冲裁力、模具寿命都有很大的影响，因此，设计模具时一定要选择一个合理的间隙，以保证冲裁件的断面质量好、所需冲裁力小、模具寿命高。但是分别从质量、精度、冲裁力等方面的要求各自确定的合理间隙并不是同一个数值，只是彼此接近，同时考虑到模具制造中的偏差及使用中的磨损，故生产中通常是选择一个适当的范围作为合理间隙，只要间隙在这个范围内就可以冲出良好的零件。这个范围的最小值称最小合理间隙 Z_{min} ，最大值称最大合理间隙 Z_{max} 。在最小合理间隙 Z_{min} 时，可以得到与板面几乎垂直的断面，而不产生显著的毛刺。在最大合理间隙 Z_{max} 时，仍能得到满意的断面质量，只是不与板面垂直。考虑到模具在使用过程中的磨损使间隙增大，故设计与制造新模具时要采用最小合理间隙值 Z_{min} 。确定合理间隙的方法有理论计算与经验确定法两种；

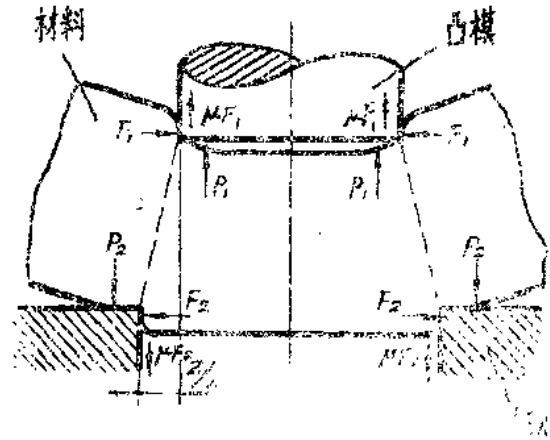


图 1-11

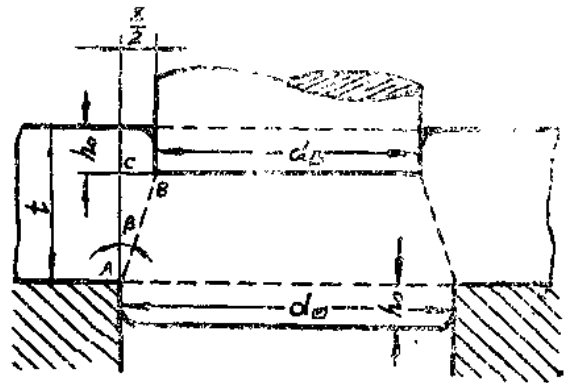


图 1-12 间隙理论确定法