

B

普通高等专科学校教育机电类规划教材

冲压工艺与 模具设计

华北航天工业学院 钟毓斌 主编

机械工业出版社
China Machine Press

TG38
269

820

普通高等专科学校教育机电类规划教材

冲压工艺与模具设计

主编 钟毓斌

参编 张崇德 王芳 王琪

文全兴 张正平

主审 李伟民



A0927494



机械工业出版社

本书是依据全国高等专科学校模具专业教材编审委员会拟定的冲压工艺及模具设计教学大纲编写的, 主要内容包括如下八章: 一、冲裁加工基本问题; 二、冲裁工艺及模具设计; 三、弯曲及弯曲模设计; 四、拉深; 五、胀形; 六、复杂零件的拉深; 七、翻边; 八、其它冲压加工方法。此外, 还以附录形式介绍了一些实用的冲压工艺设计资料。

本书是高等专科学校模具专业冲压工艺课程的教材, 也可作为冲压技术职业培训的教材, 对于冲压工艺及模具设计人员是一本实用的参考书。

图书在版编目(CIP) 数据

冲压工艺与模具设计/钟毓斌主编. —北京: 机械工业出版社, 2000.5

普通高等专科学校教育机电类规划教材

ISBN 7-111-07624-9

I. 冲… II. 钟… III. ①冷冲压-工艺-高等学校-教材②冷模具-设计-高等学校-教材 IV. TG38

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 05528 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 商红云 王霄飞 版式设计: 霍永明 责任校对: 孙志筠

封面设计: 李雨桥 责任印制: 路琳

成都新华印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm × 1092mm¹/₁₆ · 24 印张 · 587 千字

0 001—5 000 册

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

冲压加工在汽车、电子、电器、仪表、航空和航天产品及日用品生产中得到了广泛的应用。20多年来,我国工业发展迅速,产品更新换代很快。因此,许多工业部门对冲压技术人员的需求在逐年增加,全国高等专科学校模具专业的招生人数也在逐年增加。但各校普遍感到缺乏一本理论联系实际、便于教学的教材。

在上述形势下,本教材编写组在全国高等专科学校模具专业教材编审委员会指导下编写了本书。本书具有理论联系实际、实用性较强的特点,主要冲压件的工艺设计方法均以例题形式给出,特别是第二章第十三节典型冲裁模设计,对初学者是很有参考价值的。本书的模具图例不仅数量较多,而且具有一定的先进性和实用性。

参加本书编写工作的人员如下:主编为华北航天工业学院钟毓斌(第一、四、五、六章及第二章第十三节),参编为沈阳工学院张崇德和王芳(第二章)、江苏盐城工学院王琪和
华北航天工业学院文全兴(第三章)、苏州职业大学张正平(第七、八章)。

本书由燕山大学李伟民担任主审,在此表示感谢。

编 者

2000年3月

第一章 冲裁加工基本问题

冲裁一般是指利用一对工具，如冲裁模的凸模与凹模或剪床的上剪刀与下剪刀，并借助压力机的压力，对板料或已成形的工序件沿封闭的或非封闭的轮廓进行断裂分离加工的各种方法。

作为材料分割的手段，冲裁比火焰切割、锯切、切削及磨削等加工方法具有效率高、质量高、成本低等突出的优点。冲裁既可以制取各种各样的零件，也可以为其它冲压加工制备工序件。在一般企业的冷冲压加工中，冲裁所占的比例最大，一般都超过 60%。

为了能够正确设计冲裁工艺和冲裁模具，需首先了解本章介绍的冲裁基本问题和基本知识。

第一节 冲裁基本工序

一、落料

如图 1-1 所示，落料是在平板毛坯上沿封闭轮廓进行冲裁，被分离下来的一块称为落料件，余下的就是废料。落料常用于制备工序件。

二、冲孔

如图 1-2 所示，冲孔是以落料件或其它成形件为工序件，完成各种形状孔的冲裁加工。

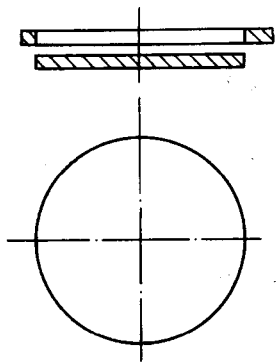


图 1-1 落料

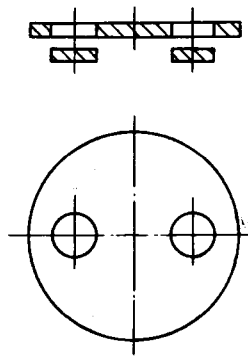


图 1-2 冲孔

三、修边

如图 1-3 所示，对成形件边缘进行冲裁，以获得工件要求的形状和尺寸，称为修边。

四、冲槽

如图 1-4 所示，在板料上或成形件上冲切出窄而长的槽，称为冲槽。与冲孔不同的是冲槽的冲切轮廓是非封闭的。

五、冲缺口

在板条、型材或弯曲成形的长条形工序件的侧边，冲掉一小块角形废料，称为冲缺口。

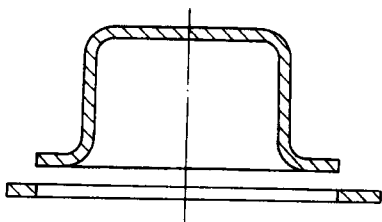


图 1-3 修边

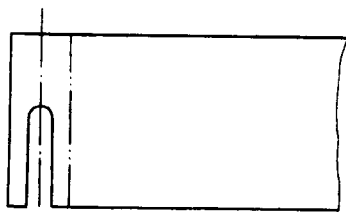


图 1-4 冲槽

图 1-5 所示为在板条两侧边同时冲出直角形缺口。在形式上，冲缺口与冲槽相近，但目的不同，冲缺口为后续加工作准备，冲槽则直接冲出工件要求的形状。

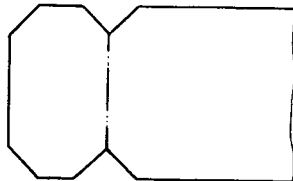


图 1-5 在板条两边冲缺口

六、切断

对板条、型材、棒料、管材等沿横向进行冲切分离加工，称为切断。对板条切断有三种基本形式：如图 1-6 a、b、c 所示，分别为单边切断、双边切断和成形切断。切断通常无废料，成形切断可以有少量的废料，有时形状简单的落料件可通过冲缺口后再切断制取，以节省原材料。有时单边切断可在剪床上或通用剪切模上进行，而不必设计切断模。

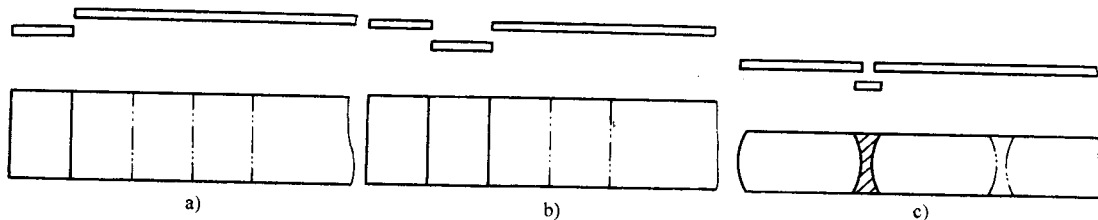


图 1-6 切断基本形式

a) 单边切断 b) 双边切断 c) 成形切断

七、切舌

如图 1-7 所示，在板料上沿非封闭轮廓将局部材料冲切开并弯成一定角度，但不与主体分离，称为切舌，也可称为冲切成形。

八、剖切

如图 1-8 所示，将已成形的立体形状的工序件分割为两件，称为剖切。

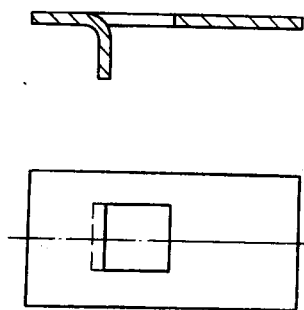


图 1-7 切舌

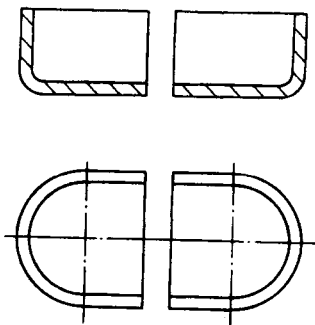


图 1-8 剖切

第二节 冲裁变形分析

一、冲裁变形过程

冲裁时板料的变形具有明显的阶段性，像单向拉伸那样，由弹性变形过渡到塑性变形，最后产生断裂分离。

(一) 弹性变形阶段

如图 1-9a 所示，当凸模下压接触板料时，材料将进入短暂的弹性变形阶段，只产生轻微的弹性弯曲变形。此时如果提升凸模，变形将完全消失。

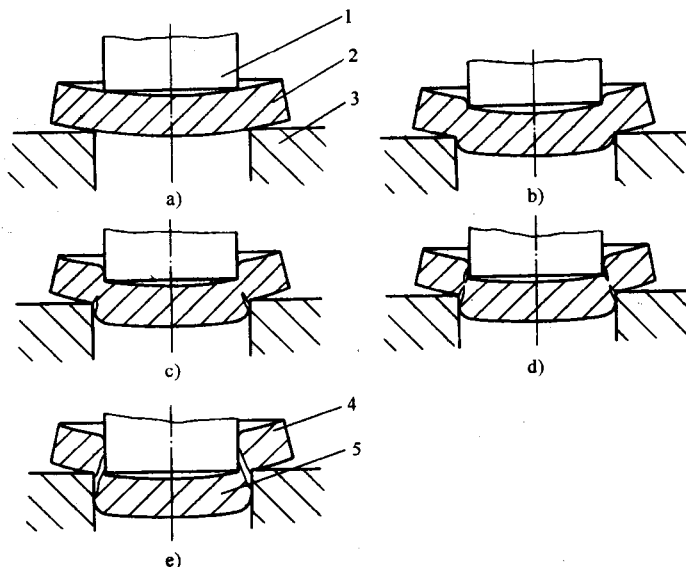


图 1-9 冲裁变形过程

a) 弹性变形 b) 塑性变形 c) 出现裂纹 d) 裂纹

贯通 e) 板料完全断裂分离

1—凸模 2—板料 3—凹模 4—冲孔

为工件，落料为废料 5—落料为工件，冲孔为废料

(二) 塑性变形阶段

如图 1-9b 所示，凸模继续下压，板料变形区的应力将逐渐增大。当应力状态满足屈服准则时，材料便进入塑性变形阶段。这一阶段突出的特点是材料只发生塑性流动，而不产生任何裂纹，凸模逐渐切入板料，同时将凸模下面的材料挤入凹模孔内。

(三) 断裂分离阶段

图 1-9c、d、e 表示了断裂分离的全过程。其中图 c 表示当凸模切入板料达到一定深度时，在凹模侧壁靠近刃口处的材料首先出现裂纹。这表明塑性剪切变形的终止和断裂分离的开始。图 d 表示裂纹发展与贯通的情形。在一般情况下，在凹模刃口附近产生的裂纹向凸模刃口方向发展的过程中，处在凸模侧面靠近刃口附近的材料也将产生裂纹，并且上下裂纹将贯通。图 e 表示冲裁结束时板料被完全断裂分离的情形。被冲入凹模孔内的一块料在落料时为工件，冲孔时为废料。留在凹模面上的材料在冲孔时为工件，落料时为废料。

二、冲裁时板料的受力分析

为了进一步分析板料在冲裁过程的变形,了解冲裁件的质量问题,以便找到提高冲裁件质量的途径,必须首先了解冲裁时板料的受力情况。

冲裁的变形过程看起来很简单,但由于影响变形的因素很多,使得冲裁时板料的变形与受力情况都十分复杂,出现许多不能简单说明的变形现象。从实用考虑,可只对其中最基本的问题进行讨论。

(一) 冲裁时板料所受的外力

在自由冲裁时,即没有压板压料,板料所受到的外力如图 1-10 所示。由于凸模与凹模之间有一定的间隙,使得板料在受到凸模与凹模正压力作用的同时还受到弯矩的作用,板料的变形不可能是纯剪切,还要产生有害的弯曲变形。因此冲裁时凸模和凹模实际接触板料的面积只限于刃口附近窄小的环形区域内,其宽度约占板料厚度的 20%~40%。凸模和凹模对板料施加的正压力只限于这一窄小的面积上,而且分布是不均匀的,越靠近刃口压力越大。正压力的合力分别以 F_p 和 F_d 表示,显然两者大小相等、方向相反。由于 F_p 与 F_d 的作用线不在同一条直线上,便形成了弯矩 M_p 。此弯矩使板料产生弯曲变形,造成凹模口外的板料上翘,凸模端面下的板料下凹。

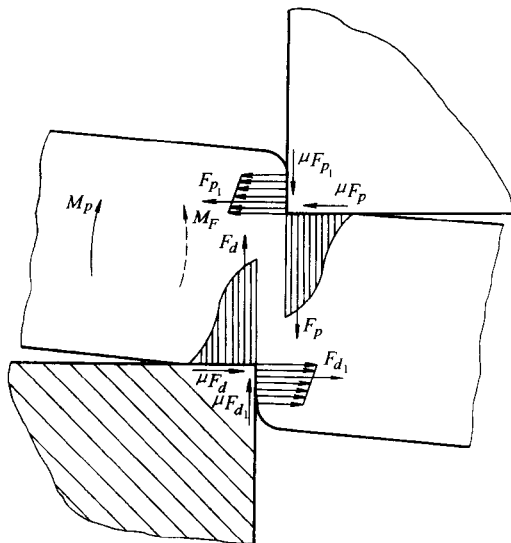


图 1-10 冲裁时板料所受的外力

板料的弯曲变形对模具刃口的侧面产生挤压作用,反过来,凸模和凹模刃口的侧面对板料将产生反挤作用,形成对板料剪切面的侧压力。侧压力的合力 F_{p1} 与 F_{d1} 也将形成一个力矩 M_F ,其方向与 M_p 相反,并在冲裁瞬时与之保持平衡,即 $M_F = M_p$,以阻止板料进一步弯曲变形。在冲裁过程中, M_p 随正压力增大而增大,使板料弯曲变形加大。这将使板料受到的侧压力随之增大,反向力矩 M_F 也将随之增大,并与 M_p 抗衡,阻止板料进一步弯曲。因此自由冲裁时工件的不平整程度也是有限的。

有正压力必有摩擦力,凸模和凹模刃口端面对板料的摩擦力分别为 μF_p 和 μF_d , μ 为板料与模具材料之间的摩擦因数,其方向与板料相对凸模和凹模端面滑动的方向相反。凸模和凹模刃口侧面对板料剪切面施加的摩擦力分别为 μF_{p1} 和 μF_{d1} ,其方向与板料相对凸模和凹模的运动方向相反。垂直方向的摩擦力对板料断裂分离过程的影响要比水平方向的摩擦力大得多。顺便指出,研究模具刃口的磨损问题,要画板料对模具的作用力,其方向与模具对板料的作用力方向正相反。

(二) 冲裁时变形区的应力状态

冲裁时板料的变形区不是简单的剪切面,因为冲裁时板料不仅产生剪切变形,而且还有弯曲变形。根据实验的结果,冲裁时板料最大的塑性变形集中在以凸模与凹模刃口连线为中线的纺锤形区域内,如图 1-11 所示。

图 a 表示初始冲裁时的变形区由刃口向板料中心逐渐扩大,截面呈纺锤形。材料的塑性

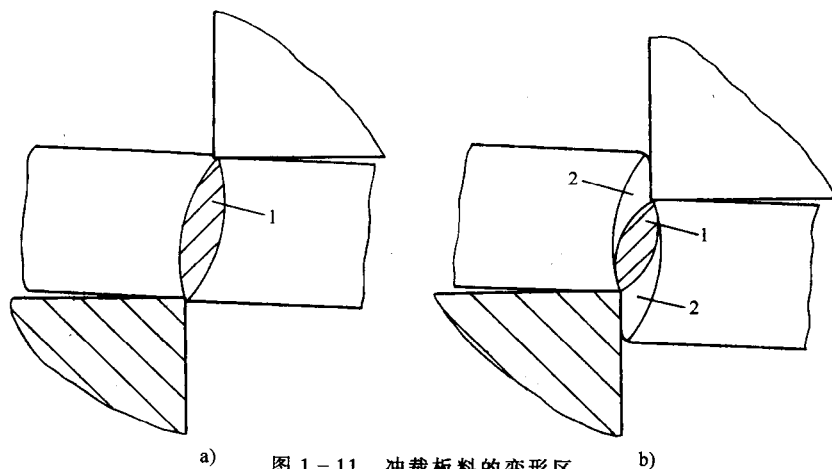


图 1-11 冲裁板料的变形区

a) 初始冲裁 b) 切入板料

1—变形区 2—已变形区

越好、硬化指数越大，则纺锤形变形区的宽度将越大。

图 b 表示变形区随着凸模切入板料深度的增加而逐渐缩小，但仍保持纺锤形。其周围已变形的材料比初始冲裁时已被严重加工硬化了，因此冲裁断面存在加工硬化现象。纺锤形内变形以剪切为主，特别是当凸模与凹模的间隙较小时，纺锤形的宽度将减小，变形将更接近剪切。但由于冲裁时板料的变形受到材料的性质、凸模与凹模的间隙、模具刃口变钝的程度等因素的影响，不可能只产生剪切变形，还有弯曲变形，而弯曲又将使板料产生受拉与受压两种不同的变形，因此冲裁变形区的应力状态是十分复杂的。图 1-12 给出与断裂分离有关的一些特征点的应力状态。

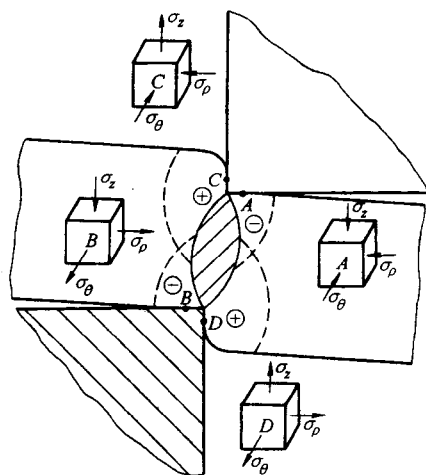


图 1-12 冲裁时板料的应力状态

对变形区周围的一些特征点的应力状态可作如下推断：

A 点：位于凸模端面靠近刃口处，受凸模正压力作用，并处于弯曲的内侧，因此受三向压应力作用，为强压应力区。

B 点：位于凹模端面靠近刃口处，受凹模正压力作用，并处于弯曲的外侧，因此轴向应力 σ_z 为压应力，径向应力 σ_ρ 和切向应力 σ_θ 均为拉应力，但主要是受压应力作用。

C 点：位于凸模侧面靠近刃口处，受凸模的拉拽和垂直方向摩擦力的作用，因此轴向应力 σ_z 为拉应力。径向受凸模侧压力作用并处于弯曲的内侧，因此径向应力 σ_ρ 为压应力。切向受凸模侧压力作用将引起拉应力，而板料的弯曲又引起压应力，因此切向应力 σ_θ 为合成应力，一般为压应力。

D 点：位于凹模刃口侧面靠近刃口处，轴向受凹模侧壁垂直方向摩擦力作用将产生拉应力 σ_z 。凹模侧压力将引起径向压应力和切向拉应力，而板料的弯曲变形又引起径向拉应力和切向压应力，因此径向应力 σ_ρ 和切向应力 σ_θ 均为合成应力，一般都是拉应力。所以 D

点为强拉应力区。

为了简化问题，可只考虑上述应力点绝对值最大的主应力，则可以认为 A 点和 B 点均受压应力，C 点和 D 点均受拉应力。进而可把变形区周围的材料划分为四个应力区：如图 2-12 中虚线所示，凸模和凹模端面靠近刃口的区域为压应力区；凸模和凹模侧面靠近刃口的区域为拉应力区。

三、冲裁时裂纹的生成与发展

由金属塑性加工理论得知，金属材料的塑性除了受其自身的成分与组织、变形温度与变形速度的影响外，还受变形力学条件的影响。当变形区受三向压应力作用时，由于静水压力较大，金属材料将呈现良好的塑性，可获得较大的塑性变形而不开裂。当变形区主要受拉应力作用时，静水压力较小，材料呈现的塑性较差，容易产生裂纹。这是因为在拉应力作用下，材料的微裂纹和组织缺陷容易暴露和扩展。

由上述变形区应力特征点的分析可见，位于凸模和凹模端面的材料受较大的压应力，越靠近刃口，压应力越大，因此裂纹不可能在刃尖处产生。而在凸模和凹模刃口的侧面受拉应力作用，特别是在凹模刃口的侧面因受三向拉应力，静水压力最小。因此当凸模切入板料一定深度时，由于加工硬化使材料的屈服流动应力增大、塑性降低，裂纹一般便首先在凹模侧面靠近刃口处出现，如图 1-13 所示。

当凸模与凹模的间隙正常时，裂纹的贯通可能有两种方式：一种如图 1-13①所示，当凹模刃口侧面生成的裂纹在向凸模刃口方向发展过程中，因进入压应力区而变得越来越困难，这时在

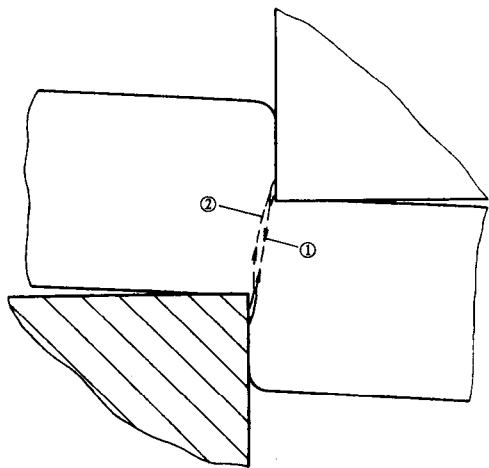


图 1-13 裂纹的生成与发展

凸模刃口侧面也将产生裂纹，因为那里的静水压力相对比较小，并且上、下裂纹在发展中途能够顺利贯通。另一种如图 1-13②所示，在凹模刃口侧面生成的裂纹选择压应力比较低的路径发展，并直接到达凸模刃口侧面而贯通。比较而言，前一种情况比较多见。

无论裂纹采取哪种方式贯通，裂纹生成的起点都不可能在刃尖处，而只能在稍离开刃尖的刃口侧面。由此可得出一个重要结论：冲裁件沿冲裁轮廓的周边总要残留下有害的毛刺，落料件的毛刺在凸模一侧，冲孔件的毛刺在凹模一侧。毛刺截面呈三角形，带有尖锋，并高出板平面，常成为冲裁件的主要质量问题。

四、冲裁件断面的形状

冲裁件断面可分成明显的四部分：塌角、光亮带、断裂带和毛刺。见图 1-14。

塌角 a：也称为圆角带。在冲裁初期，由于凸模与凹模有间隙，塑性变形不可能是纯剪切，材料在塑性流动时对变形区周围的材料产生拉扯作用，位于凸模和凹模刃口侧面的材料因受拉应力较大便形成了圆角。材料的塑性越好、凸模与凹模的间隙越大，塌角将越大。硬化指数大的材料因变形容易向周围扩展，塌角也较大。此外，轮廓复杂的冲裁件沿冲裁轮廓的周边受力情况差别较大，塌角的大小也可能差别很大。

光亮带 b：也称为剪切面。在冲裁裂纹生成之前，依靠材料的塑性变形而形成的很光滑的表面，可视为剪切面。其表面因受凸模和凹模的侧向挤压作用而十分光滑，故称光亮带。

光亮带是最理想的冲裁断面，冲裁件的尺寸精度就是以光亮带处的尺寸来衡量的。值得注意的是，如果忽略材料的弹性变形，则可认为落料件的尺寸与凹模形孔尺寸一致，冲孔的尺寸与凸模尺寸一致。在一般冲裁条件下，或者说普通冲裁时，光亮带的宽度一般约占板料厚度的 $1/3 \sim 1/2$ 。材料的塑性越好，裂纹将推迟产生，光亮带也就越宽。此外，凸模与凹模的间隙及刃口的磨损程度等因素对光亮带的大小及其分布都有较大的影响。

断裂带 c ：也可称为撕裂带。它是由主裂纹贯通而形成的表面十分粗糙的撕裂面。材料塑性好时，光亮带较宽，断裂带的宽度便相应地减小。断裂带不仅表面粗糙，而且还有一定的斜度。但无论是落料件还是冲孔件，由于断裂面向体内倾斜，所以对于一般应用的冲裁件并不影响其使用性能。

毛刺 d ：也称为披峰。如前所述，毛刺是由于裂纹的生成不在刃尖、而在刃口的侧面而自然形成的。毛刺影响冲裁件的外观、手感和使用性能，因此冲裁件总是希望毛刺越小越好。

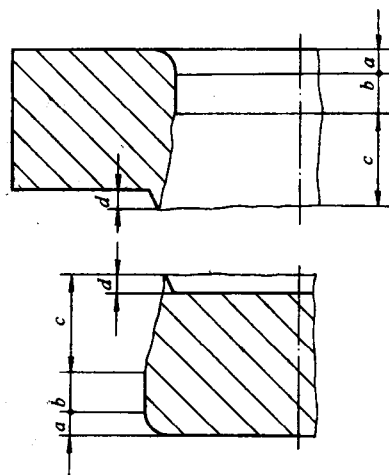


图 1-14 冲裁件断面的形状

第三节 冲裁间隙

冲裁模凸模与凹模之间的间隙称为冲裁间隙，通常是指双边间隙，用 Z 表示，单边间隙用 $Z/2$ 表示。冲裁间隙对冲裁件的尺寸精度和断面质量及模具寿命都有较大的影响，对完成冲裁加工所需的冲压力也有一定的影响。当选取的冲裁间隙值有较大差别时，将直接影响冲裁模的结构设计与制造工艺，乃至模具制造成本。因此冲裁间隙是冲裁模设计的最重要的工艺参数。

一、冲裁间隙对冲裁件质量的影响

关于冲裁件的质量，以前一般只注意其尺寸精度和毛刺高度。由于现代工业、尤其是电子产品对冲裁件质量的要求越来越高，对冲裁件断面的垂直度、板平面的平面度、塌角和光亮带占板料厚度的比例等也应提出一定的要求。但目前还没有这方面的统一的质量标准。

(一) 冲裁间隙对断面质量的影响

冲裁件的断面质量主要指塌角的大小、光亮带占板料厚度的比例、剪切面的表面粗糙度及断裂面的斜角大小等。

对于常见的塑性材料，在普通冲裁时，当冲裁间隙控制在一定的合理值范围内时，则冲裁断裂分离过程能够正常地完成。如图 1-15 所示，裂

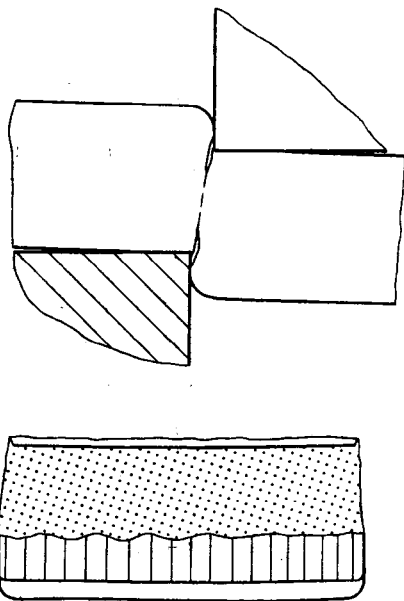


图 1-15 间隙合理时的冲裁断面

纹出现后能顺利贯通，断裂面比较平滑，虽有塌角和毛刺，但都不过大，光亮带占板厚的比例也比较正常。

当冲裁间隙过小时，最初在凹模刃口侧面生成的裂纹在向凸模刃口方向发展的过程中将进入强压应力区，使裂纹无法继续扩展而隐没在体内，成为潜裂纹，或滞留裂纹。当凸模继续下行时，将发生二次剪切现象，如图 1-16 所示。其中图 a 表示在间隙极小时，如 $Z/t < 2\%$ ， t 为板料厚度，因压应力作用增强，裂纹不易向深层发展，形成深度不大的滞留裂纹，便开始出现二次剪切现象。冲裁结束时将形成明显的第二光亮带，如图 b 所示。第二次剪切一般在凸模切入板厚的 $1/4 \sim 1/2$ 时开始出现，并形成第一光亮带。虽然在第一与第二光亮带之间有断裂面，但由于第二光亮带的宽度较大，总光亮带的宽度可达到板厚的 $50\% \sim 70\%$ 。这时塌角的高度很小，约占板厚的 $2\% \sim 5\%$ 。断面也比较垂直。因此冲裁件的外观质量还是比较好的，并且滞留裂纹的深度不大，也不影响工件的使用性能。

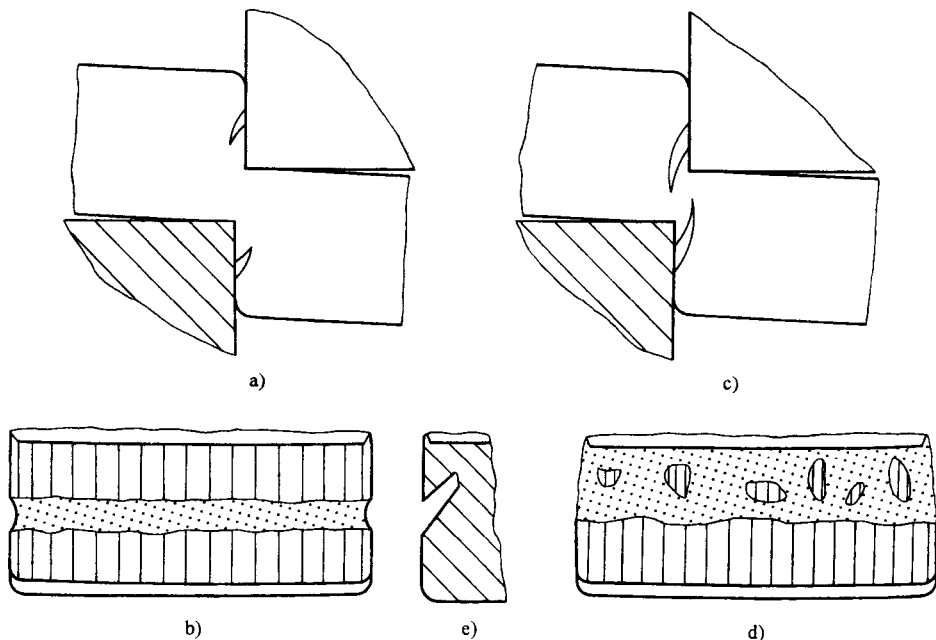


图 1-16 间隙过小时的冲裁断面

当冲裁间隙稍增大时，如 $Z/t = 2\% \sim 5\%$ ，因压应力作用减弱，裂纹可能向深处发展，造成较深的滞留裂纹才开始二次剪切，如图 2-16c 所示。这时的第二光亮带将呈块状分布，如图 d 所示。当材料较软，特别是呈粘性的软料，深度较大的滞留裂纹受凸模和凹模刃口侧壁较大摩擦力的作用，开口将被拉大，并与二次剪切面形成尖舌状的断面，如图 e 所示，称为舌翅。如果带舌翅的冲裁件用在电器产品上，舌翅脱落就可能造成意外事故。因此冲裁件的断面不允许产生较深的滞留裂纹。

当冲裁间隙过大时，如 $z/t > 30\%$ ，由于正压力 F_p 与 F_d 错开的距离增大了（参见图 1-10），使弯矩 M_p 增大，剪切变形将减小，而拉伸变形将增大。位于凹模刃口侧面的材料所受的拉应力将增大，在凸模切入板料深度不大时，就可能产生裂纹，如图 1-17 所示，而且裂纹沿折线贯通。结果，冲裁断面的质量变坏，塌角高度可增大到板厚的 $10\% \sim 20\%$ ，光亮带宽度变窄，约占板厚的 $1/10 \sim 1/5$ ，而断裂面很大，可达板厚的 $70\% \sim 80\%$ ，且斜角

β 明显增大, 可达 15° 左右。同时板平面的不平度将增大。在自由冲裁时, 由于弯矩的增大, 板料将严重翘曲, 在凹模刃口侧面的材料所受拉应力增大的同时, 凸模刃口侧面的材料所受的压应力也将增大。这样, 凸模刃口侧面就不易产生裂纹, 在凹模刃口侧面生成的裂纹就可能实现如图 1-13 中路径②所示的单方向贯通。

此外, 材料种类及其供应状态对冲裁断面的质量也有较大的影响, 一般地讲, 在相同冲裁间隙条件下, 硬料比软料或同一种材料硬状态比软状态, 塌角的高度和光亮带的宽度都约减半。例如: 低碳钢与中碳钢在退火状态下的相对光亮带宽度 b/t 分别为 30% ~ 50% 与 20% ~ 30%, 而在硬状态时分别为 20% ~ 40% 与 10% ~ 20%。黄铜在退火状态与硬状态时的 b/t 值分别为 50% 与 30%。 b 为光亮带宽度, t 为板料厚度。

(二) 冲裁间隙对毛刺的影响

冲裁件的毛刺问题属于断面质量问题, 但由于它十分重要, 故在此单独讨论。一般使用的冲裁件对尺寸精度都没有过高的要求, 毛刺高度便成为评定其质量的主要指标。

冲裁间隙是影响毛刺大小的主要因素, 但材料不同时其影响程度却有较大差别。例如对于锡青铜、铅黄铜等中等硬度的材料、毛刺高度几乎不随冲裁间隙值的变化而变化; 而对于常见的塑性材料却影响很大。图 1-18 给出低碳钢板落料件毛刺高度 h 随相对冲裁间隙 Z/t 变化的曲线, 可表明一般塑性材料毛刺高度随间隙值的变化规律。

从图中可见, 毛刺高度 h 随相对冲裁间隙 Z/t 的变化有一个相对比较稳定的阶段。大致可以认为, 当 Z/t 值在 8% ~ 24% 之间变化时, h 值变化很小。而当 Z/t 值过大或过小时, h 值都可能增大。当 Z/t 值过大时, 裂纹在离开刃口较大拉应力区产生, 毛刺不仅大, 而且根部较厚, 后续加工不易去除。当 Z/t 值过小时, 虽然裂纹生成的起点要比 Z/t 值过大时离刃尖更近些, 但在较大的挤压力和摩擦力作用下, 毛刺区的材料很容易被拉长, 使毛刺高度明显增大。可见, 软料容易产生这种拉长的毛刺, 而硬料则不容易。但这种毛刺根部较薄, 与基体的结合力较弱, 因此很容易去除。

既然冲裁加工产生毛刺是不可避免的, 所以无特殊要求的冲裁件应允许有正常的毛刺。不允许有毛刺时, 应在技术要求中注明。实际上影响毛刺高度的因素较多, 不只限于冲裁间隙一种因素。由裂纹生成的机理可知, 塑性好的材料, 特别是当刃口磨钝以后, 毛刺将增大。凸模刃口磨钝后, 落料件毛刺将增大。凹模刃口磨钝后, 冲孔件毛刺将增大。因为刃口

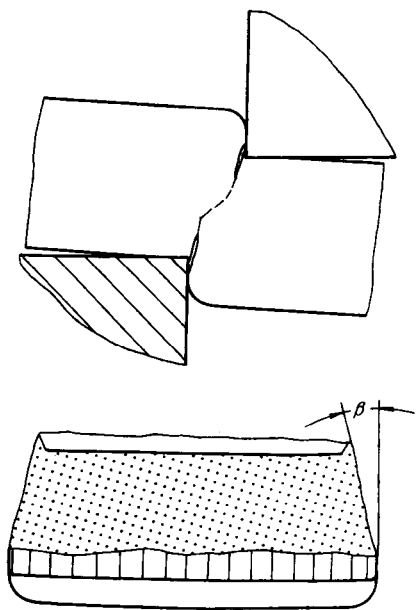


图 1-17 间隙过大时的冲裁断面

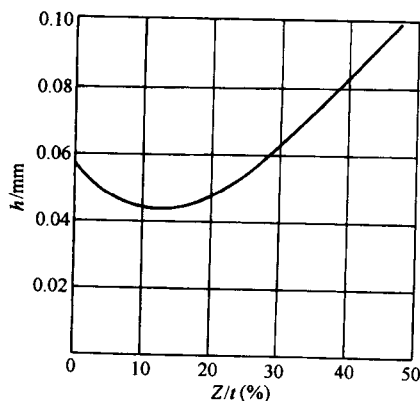


图 1-18 间隙对毛刺高度的影响

材料: 软钢 板厚: 3mm

磨钝后, 裂纹的起点离刃尖将更远。因此限定冲裁件的毛刺高度要有所区别, 软料应比硬料允许大些, 正常生产时应比试模时允许大些。对于允许冲裁后再用滚筒滚等后续加工方法去除毛刺的小型件, 毛刺高度可允许大些。对于不允许后续加工去除毛刺的冲裁件, 如硅钢片, 必须将毛刺高度限定得小些。由裂纹生成的机理可知, 毛刺的高度与板料的厚度没有直接的关系, 在相同冲裁间隙时, 厚料与薄料的毛刺高度相差很小。因此对于常见的塑性材料, 可不考虑板料厚度, 要求毛刺高度在试模时不超过 $0.04 \sim 0.06 \text{ mm}$, 正式生产时不超过 $0.08 \sim 0.12 \text{ mm}$, 工件质量要求低时, 上述要求还可适当放宽。

(三) 冲裁间隙对尺寸精度的影响

尺寸精度是指工件的实际尺寸与图样上标注的基本尺寸的差值所能达到的公差等级。冲裁件的尺寸精度应包括两类: 一是外形和内形的形状尺寸精度; 二是孔距、同心度、平面度等形位尺寸精度。前者主要受凸模和凹模刃口尺寸制造精度的影响, 也受冲裁间隙的影响。而后者影响因素较多, 与模具结构类型有关, 还受模具装配误差和定位误差的影响, 板平面的平面度也受冲裁间隙的影响。下面主要讨论冲裁间隙对冲裁件尺寸精度的影响。如果冲裁间隙取得过大或过小, 当冲裁件脱离模具后, 由于材料产生弹性变形, 可能使冲裁件的实际尺寸与模具刃口尺寸产生百分毫米级的偏差。

图 1-19 给出低碳钢板落料件直径 D 与凹模孔直径 D_d 之间的偏差 δ 随相对冲裁间隙 Z/t 变化的曲线。从图中可见, 当 Z/t 值过小时, 落料件的直径将大于凹模孔的直径, 产生正偏差, 即 $D > D_d$, $\delta > 0$ 。这是因为冲裁时落料部分材料在较大侧向压力作用下被挤入凹模孔内, 当落料件脱离凹模后将产生向基体外的弹性回复变形, 结果使落料件尺寸稍大于凹模孔尺寸。当 Z/t 值过大时, 材料在受较大拉应力作用下被拉入凹模孔内, 脱离凹模后, 落料件将产生向基体内的弹性收缩变形, 结果正相反, 使落料件的直径小于凹模孔的直径, 产生负偏差, 即 $D < D_d$, $\delta < 0$ 。只有当 Z/t 等于某一特定值时, 才可能出现: $D = D_d$, $\delta = 0$ 。

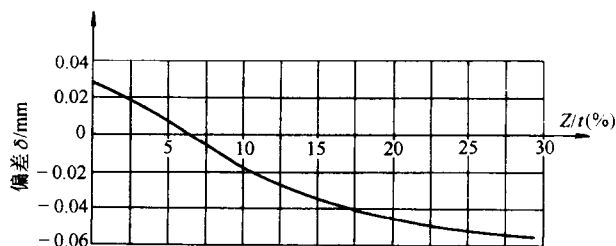


图 1-19 间隙对落料尺寸的影响

材料: 软钢 $t = 2.2 \text{ mm}$ $D = \phi 60 \text{ mm}$

图 1-20 给出冲孔直径 d 与凸模直径 d_p 的偏差 δ 随相对冲裁间隙 Z/t 变化的曲线。从图中可见, 在相对冲裁间隙 Z/t 过小或过大时, 当冲孔件脱离凸模后, 冲孔直径也与凸模直径有一偏差 δ 值。当 Z/t 过小时, 冲裁时孔周边材料受到挤压, 当冲孔件脱离凸模后, 孔周边材料的弹性回复变形使冲孔直径将小于凸模直径, 并产生负偏差, 即 $d < d_p$, $\delta < 0$ 。当 Z/t 过大时, 冲裁时孔周边材料受到拉伸, 当冲孔件脱离凸模后, 由于孔周边材料向体内收缩而使冲孔直径大于凸模直径, 产生正偏差, 即 $d > d_p$, $\delta > 0$ 。

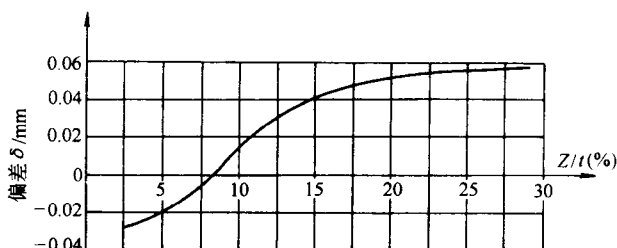


图 1-20 间隙对冲孔尺寸的影响

材料: 软钢 $t = 2.2 \text{ mm}$ $d = \phi 30 \text{ mm}$

还应指出,当相对冲裁间隙 Z/t 过大时,在凸模压力作用下,板料将产生较大的弯曲变形。形成光亮带的塑性剪切面将在板料处于弯曲状态下形成,当冲裁件脱离模具后,剪切面因弹性回复作用将不垂直,也会使冲裁件的实际尺寸与模具刃口尺寸不一致而产生偏差。

综上所述,为了保证冲裁件的尺寸精度,必须提高模具刃口尺寸的制造精度,一般要比冲裁件尺寸精度高 3~4 级。设计模具时,凸模或凹模刃口尺寸的制造公差常取冲裁件相应尺寸公差的 1/4,也就相当于提高了 3~4 级精度。

冲裁间隙过大时,对冲裁件的平面度也有较大的影响。冲裁时板料的弯曲变形是由弯矩引起的,冲裁间隙越大,弯矩越大,冲裁件就越不平。而且通常落料件的不平整问题比冲孔件严重,因为采用压料冲裁可有效地防止冲孔件不平,而对落料件却作用不大。关于如何防止冲裁件的不平整问题,属于冲裁模结构设计问题,以后再作详细讨论。由于相当多的冲裁件对平面度有较高的要求,因此对这一问题应引起重视。但目前还没有对冲裁件的平面度制定出统一的评定标准,从便于测量考虑,可把截面上弯曲弧的弦高,即弯曲的最大深度 h 定为冲裁件的平面度。

图 1-21 给出低碳钢板 08F 落料件相对平面度 h/t 随相对冲裁间隙 Z/t 变化的试验曲线,基本上可代表一般塑性材料冲裁件平面度的变化规律。当相对冲裁间隙 Z/t 小于 20% 时,平面度变化不大;当 Z/t 大于 20% 时,随 Z/t 值的增大,相对平面度 h/t 将迅速增大。 h/t 值越大,板平面将更加不平。对于软料,当 Z/t 值过小时, h/t 值反而略有增大。这种反常现象是由于落料周边材料沿凹模侧壁滑动时受到的摩擦力因 Z/t 值过小而增大所造成的。当相对冲裁间隙 Z/t 不超过 20% 时,软钢板和软黄铜板的 h/t 值不超过 15%,软铝板和软状态的硬铝板的 h/t 值约为 10%,可满足一般冲裁件对平面度的要求。如果冲裁件对平面度要求更高,就需在模具结构设计上采取措施。

二、冲裁间隙值的确定

(一) 冲裁间隙的理论计算

如图 1-22 所示,冲裁间隙的理论计算是以裂纹顺利贯通为依据的。假设当凸模切入板料深度为 h_0 时裂纹顺利贯通,并以刃尖连线代替实际裂纹,相当于忽略了毛刺,对断面作了简化。从图中可求得冲裁间隙 Z 的理论计算式:

$$Z = 2t (1 - h_0/t) \operatorname{tg} \beta \quad (1-1)$$

式中 h_0 ——凸模切入深度;

β ——裂纹的斜角,见表 1-1。

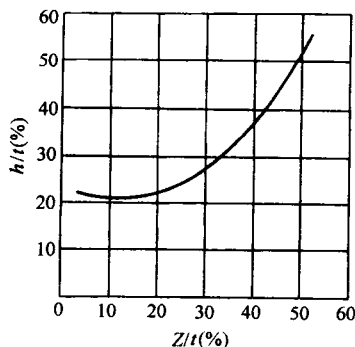


图 1-21 间隙对平面度的影响

材料: 08F

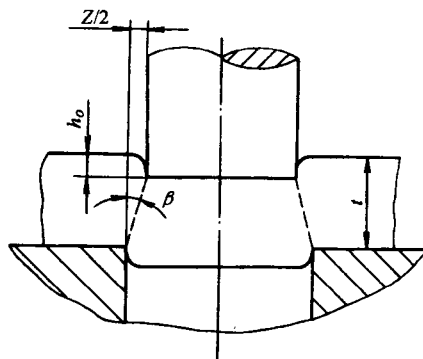


图 1-22 冲裁间隙的理论计算图

表 1-1 切入深度 h_0/t 与裂纹斜角 β

材 料	h_0/t		β	
	退火	硬化	退火	硬化
软钢、紫铜、软黄铜	0.5	0.35	6°	5°
中硬钢、硬黄铜	0.3	0.2	5°	4°
硬钢、硬青铜	0.2	0.1	4°	4°

虽然在实际生产中并不按理论公式计算冲裁间隙值,但从式(1-1)却可以看出,决定冲裁间隙 Z 的主要因素是板料厚度 t 、相对切入深度 h_0/t 及裂纹斜角 β 。表 1-1 中的 β 值是由试验得到的,从中可见各种材料的 β 值变化不大。 h_0/t 值为裂纹出现之前凸模切入板料的最大相对深度,即塌角高度与光亮带宽度之和。 h_0/t 值受材料硬度的影响较大,材料越硬,塌角高度和塑性剪切面的宽度越小, h_0/t 值也越小。所以,按式(1-1),材料硬时应取较大的冲裁间隙,材料软时应取较小的冲裁间隙。

(二) 冲裁间隙的选择

将式(1-1)改写成如下形式:

$$Z/t = 2(1 - h_0/t) \operatorname{tg} \beta = K \quad (1-2)$$

式中, K 称为材料的品质系数,其值决定于材料的性质及其供应状态,可通过试验来确定。

按上式确定了 K 值,也就确定了相对冲裁间隙 Z/t 。但问题并没有这样简单,因为 Z/t 值对冲裁过程的影响是多方面的,选择 Z/t 值要考虑的因素也就较多。

如果能实现纯剪切冲裁,也就没有冲裁间隙问题了,其值将恒等于零。但普通冲裁很难实现零间隙冲裁,凸模与凹模之间通常要有一定的间隙。这样,冲裁过程就不可能是纯剪切,同时还伴随着弯曲、拉伸及挤压变形。间隙值不同时,这些变形的比例关系也将不同,对冲裁过程的影响也就不同。通常,为获得高质量的冲裁件,需选取较小的冲裁间隙,而为了提高冲裁模的寿命,需选取较大的冲裁间隙。因此并不存在满足所有要求的最佳间隙值,只能说有条件地选择一个较为合理的间隙值。

对冲裁间隙的研究一直受到国内外普遍的重视。但直到目前,不同国家、不同企业所采用的冲裁间隙值却不尽相同,有的还相差较大。造成这种局面的主要原因是选取冲裁间隙的出发点与原则不相同。过去,国内企业从减小毛刺高度、保证冲裁件尺寸精度的角度考虑得较多,选取的冲裁间隙值普遍偏小,给模具加工与装配增加了难度,也使模具寿命不高。后来,许多企业从本单位产品质量要求出发,制定了冲裁间隙的企业标准,随后又制定了一些部门标准。这些标准对不同产品规定了不同的冲裁间隙值,与国外一些工业国家自 60 年代开始相继提出的分类选取冲裁间隙的作法基本是一致的。我国于 1991 年出版的《模具标准汇编》推荐采用机械工业部在指导性技术文件中所规定的冲裁间隙(JB/Z271-86)。该标准将冲裁间隙分为三类:Ⅰ类为小间隙,适用于尺寸精度和断面质量都要求较高的冲裁件,但模具寿命较低;Ⅱ类为中等间隙,适用于尺寸精度和断面质量要求一般的冲裁件,特别强调采用该间隙冲裁制备的工序件的残余应力较小,用于后续成形加工可减少破裂现象;Ⅲ类为大间隙,适用于尺寸精度和断面质量要求不高的冲裁件,但模具寿命较高,应优先选用。这三类间隙所对应的主要断面质量指标如下:相对塌角高度 a/t 分别为 4%~7%、6%~8%、8%~10%;相对光亮带宽度 b/t 分别为 35%~55%、25%~40%、15%~25%。为便于比较,将美国工具与加工工程师协会标准,(ASTME)同上述三类间隙一并列于表 1-2,可供设计时参考。日本、原苏联、原西德等国也有类似的分类选取冲裁间隙的标准,但取值

有差别。

表 1-2 相对冲裁间隙 Z/t 对照 (%)

材 料 种 类	材 料 牌 号	中国 (机械工业部)			美国 (ASTME)		
		I	II	III	V~IV	III	II
低碳钢	08、10、B2	6~14	14~20	20~25	4~13	18	24
中碳钢	45	10~18	16~22	22~30	—	—	—
不锈钢	1Cr18Ni9Ti	10~18	16~22	22~30	10~18	20	26
高碳钢	T8、T10、65Mn	16~24	24~30	30~36	—	30	36
纯铝	L2、L3、L4、L5				2~6	14	18
铝合金(软)	LF21	4~10	9~12	13~18	—	14	18
黄铜(软)	H62				2~5	12	18
紫铜(软)	T1、T2、T3				1.5~6	12	14
黄铜(硬)	H62Y				1.6~8	12	18
紫铜(硬)	T2Y	6~10	11~16	17~22	2.5~7	16	22
铅黄铜	HPb59-1				—	—	—
铝合金(硬)	LY12	7~12	14~20	22~26	2~12	20	30
青铜	QSn6.5-1.5				5~9	22	26
镁合金		3~5	—	—	—	—	—
硅钢		5~10	10~18	—	—	—	—

表 1-2 中给出的相对冲裁间隙 Z/t 值适用于厚度不超过 10mm 的金属板料。考虑到板料厚度对冲裁间隙的影响, 可将料厚分成四档: 0.1~1.0mm; 1.2~3.0mm; 3.5~6.0mm; 7.0~10.0mm。当冲裁件的料厚为 0.1~1.0mm 时, 各类的 Z/t 值均取下限值, 并以此为基数, 逐档将 Z/t 值增加 0.5%~1.0% (软料少增加, 硬料多增加)。

1994 年南海出版公司出版了赵振铎等四人的专著《板料冲裁原理与合理间隙》。作者用 10 种常用金属材料的 210 种不同厚度的板料, 进行了 10000 多次冲裁间隙试验, 获得了 63000 多个试验数据, 绘制了 1200 多条试验曲线。试验结果是具有说服力的, 试验数据显示了在不同冲裁间隙时, 可以获得的冲裁件尺寸精度、毛刺高度、相对光亮带、平面度及垂直度等。这些研究成果对板料冲裁工艺具有现实的指导意义。数十年来, 许多国家的学者对冲裁间隙曾作过论述与研究, 但未见出版过专题论著。

国内企业生产中实际采用的冲裁间隙基本上是按产品类别区分的。电子、电器、仪表等产品对冲裁件的断面质量和尺寸精度要求比较高, 因此采用小间隙。汽车等机电产品对冲裁件质量要求一般, 通常采用较大间隙。为便于应用, 将常用的板料厚度在 5mm 以下的上述两种间隙分别列于表 1-3 和表 1-4。

表 1-3 金属材料冲裁间隙 (小间隙) (mm)

板料厚度 t	软 铝				紫铜、黄铜、软钢 w_c (0.08%~0.2%)				硬铝、硅钢片、中硬钢 w_c (0.3%~0.4%)				硬 钢 w_c (0.5%~0.6%)			
	Z/t	Z_{min}	Z/t	Z_{max}	Z/t	Z_{min}	Z/t	Z_{max}	Z/t	Z_{min}	Z/t	Z_{max}	Z/t	Z_{min}	Z/t	Z_{max}
0.2	4%	0.008	6%	0.012	5%	0.010	7%	0.014	6%	0.012	8%	0.016	7%	0.014	9%	0.018