

特种冲压模具与成形技术

SPECIAL STAMPING DIE &
FORMING TECHNOLOGY

陈毓勋 赵振铎 王同海 编著

现代出版社
MODERN PRESS CHINA

特种冲压模具与成形技术

陈毓勋 赵振铎 王同海编著

现 代 出 版 社

1989年12月

特种冲压模具与成形技术

陈毓勋 赵振铎 王同海编著

现代出版社出版

(北京安华里504号 邮码100011)

济南日历印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行

•

开本: 787×1092 1/16 字数: 602千字 印张: 26.625

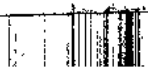
1989年12月第1版 1989年12月第1次印刷

印数: 1—6000册

•

书号: ISBN 7-80028-078-0/TG·002

定价: 12.40元



内 容 提 要

《特种冲压模具与成形技术》一书共分上、下两篇。上篇为特种冲压模具,包括:论按件造模、合理大间隙冲裁模、精密冲裁模、聚氨酯橡胶冲裁模、钢带冲模、板模、硬质合金模、通用冲模与组合冲模、多工位自动级进模、聚氨酯橡胶成形模、铋锡低熔点合金成形模、锌基合金模12章内容。下篇为特种成形技术,包括:管材成形技术、变薄拉延技术、旋压成形技术、高能成形技术(简介)4章内容。

本书详细介绍了作者二十多年来对特种冲压模具与成形技术中某些问题的科研成果,汇集了国内、外的先进经验,可供冲压行业的科技人员、制模工人及大学本科、专科、中等专业学校作选修课教学参考书。

前 言

特种冲压模具与成形技术是冲压生产中广泛采用且行之有效的先进加工工艺。近年来在国内外的工厂中已获得很大的技术—经济效益。

冲压工艺学是一门有关冲压生产的常规的工艺技术课程,它的内容必须兼顾各行各业与各种生产条件。例如冲压件的质量、模具成本与制模周期、材料利用率等等。在实际生产中的某些具体问题有时仅需保证一、二个方面的要求,而放宽对其他诸方面的要求。例如在产品的试制阶段和批量不大的情况下,生产准备周期和制模成本是要解决的主要问题,而生产效率、模具使用寿命、材料利用率就降到了次要地位。又如仪器仪表行业中的优质冲压件对质量要求高,而汽车、拖拉机等行业中的一般冲压件对质量要求就不高,这时提高模具寿命、降低制模成本和提高生产效率就成为主要问题。对于更新换代频繁的产品,缩短制模周期,降低制模成本,尽量回收利用模具材料是其主要问题。冲压工艺学做为—门常规工艺课程,不可能面面俱到,——详细介绍。

本书将作者二十多年来对特种冲压模具与成形技术中某些问题的科研成果,并汇集了国内、外的先进经验,向从事冲压加工的科研人员、工程技术人员、制模工人、大中专院校师生做—详细介绍。本书可供生产技术人员直接应用于生产实践,又可供本科、

专科及中专学校作选修课教学参考书。

本书由南京航空学院博士生导师陈毓勋教授、山东工业大学赵振铎讲师、王同海讲师共同编著而成。

编著者在进行工艺研究时曾得到南京冷冻机总厂栾新华、南京航空学院的徐祥根、贺隆玺、叶声翔、南京橡胶厂吴元江、南京起重设备厂王盛余、上海电焊机厂王序云等同志的大力支持。在撰写该书时，编著者参考了国内外学者的有关文献、资料，并得到肖白白、杨献春、张红卫、李德霞等同志的合作。在成书过程中，得到山东省出版对外贸易公司的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于编著者水平所限，书中不足之处，敬请读者批评指正。

编 著 者 1989.10

目 录

上篇 特种冲压模具

第一章 论按件选模

第一节 技术——经济效益·····	1
第二节 冲裁间隙及冲裁模·····	4
第三节 各种简易冲模·····	15
第四节 大批量生产用冲模·····	22

第二章 合理大间隙冲裁模

第一节 概述·····	29
第二节 合理大间隙冲裁模·····	32

第三章 精密冲裁模

第一节 概述·····	41
第二节 齿圈压板精冲过程及特点·····	56
第三节 精冲模具结构·····	58
第四节 精冲模具设计·····	70

第四章 聚氨酯橡胶冲裁模

第一节 概述·····	89
第二节 冲裁模设计·····	93
第三节 典型聚氨酯橡胶冲裁模·····	102

第五章 钢带冲模

第一节 概述·····	115
第二节 钢带冲模的设计与制造·····	117
第三节 钢带冲模冲压力的计算·····	132
第四节 压力中心的测定·····	135
第五节 通用模架·····	137
第六节 模具元件的设计与制造·····	137

第六章 板模

第一节 概述·····	150
第二节 夹板模·····	152
第三节 薄片模的设计与制造·····	154
第四节 薄板模与厚板模·····	161

第七章 硬质合金模

第一节 概述·····	165
第二节 硬质合金的分类及性能·····	168
第三节 模具用硬质合金的选择·····	171
第四节 硬质合金模具设计特点·····	176
第五节 硬质合金模具结构·····	178
第六节 硬质合金模具加工技术·····	188

第八章 通用冲模与组合冲模

第一节 概述·····	198
第二节 逐次冲压法与通用冲模·····	199
第三节 逐次冲压工艺规程的编制·····	201
第四节 通用模具的设计及典型结构·····	205
第五节 组合冲模·····	210

第九章 多工位自动级进模

第一节 概述·····	216
第二节 多工位自动级进模典型结构·····	218
第三节 多工位自动级进模总体	

	设计.....	223	第一节	概述.....	265
第四节	多工位自动级进模模具元 件的设计与制造.....	232	第二节	低熔点合金元素与配方 选择.....	268
第十章 聚氨酯橡胶成形模			第三节	低熔点合金成形模.....	278
第一节	概述.....	245	第四节	低熔点合金模设计.....	285
第二节	聚氨酯橡胶弯曲模.....	245	第十二章 锌基合金模		
第三节	聚氨酯橡胶拉伸模.....	256	第一节	概述.....	300
第四节	其他聚氨酯橡胶成形模...	261	第二节	锌基合金冲裁模.....	305
第十一章 铋锡低熔点合金成形模			第三节	叠层锌基合金冲裁模.....	316
			第四节	锌基合金成形模.....	319

下篇 特种成形技术

第十三章 管材成形技术		第十五章 旋压成形技术			
第一节	管材剪切.....	329	第一节	概述.....	366
第二节	管材弯曲.....	335	第二节	普通旋压工艺.....	371
第三节	管材胀形.....	345	第三节	强力旋压工艺.....	379
			第四节	旋压工艺装备的设计.....	395
第十四章 变薄拉伸技术		第十六章 高能成形技术简介			
第一节	概述.....	355	第一节	爆炸成形.....	404
第二节	变薄拉伸工艺计算.....	357	第二节	液电成形与电磁成形.....	412
第三节	变薄拉伸模具结构及设计 要点.....	362			

第一章 论按件选模

在冲压加工工艺中，不同的产品与技术条件，对冲压件的质量要求则不同。例如仪器仪表上的传动零件的断面质量和尺寸精度要求比较高，而汽车、拖拉机上的一般冲压件的质量要求就比较低。再加上对各种冲压件的需求批量不同，所以，我们在进行冲压件的工艺分析、制定工艺规程、选择模具的结构类型时，就不能采用统一的标准模式。为了降低工件成本，提高产品质量，以便获得最好的技术—经济效益，就必须根据各种冲压件的具体技术要求与所需批量的大小，选择各种不同的模具结构、模具材料以及制模方法，即必须按件选模。

第一节 技术——经济效益

对每一种有技术要求的冲压件，可有各种不同的加工方案，如不同的模具结构形式和不同的模具材料与制模方法。方案不同，工件的成本则不一样。作为生产厂家，总希望工件的生产成本最低，以获得最高的经济效益。所以，我们在评价一个技术方案是否先进、是否合理时，除要考查该方案的可行性外，还应该考虑该方案的经济效益情况，即应该进行技术—经济效益分析。

一、冲压件成本分析

冲压件的制造成本 C_{Σ} 应包括：

$$C_{\Sigma} = C_{\text{材}} + C_{\text{工时}} + C_{\text{模具}}$$

式中 $C_{\text{材}}$ —工件材料费用；

$C_{\text{工时}}$ —工件加工费用（包括工人工资、设备折旧、企业管理费用）；

$C_{\text{模具}}$ —模具制造费用（包括模具材料费、模具加工费）。

冲压件的制造成本，受该件产量的影响很大。产量的增减变化，将会引起冲压件成本中某些费用较大的变化，从而使冲压件的制造成本发生波动。

通常冲压件的材料费、工时费、设备折旧费和企业管理经营费用等，都随冲压件产量的变化而变化。产量愈大，则这几项费用几乎是成正比的增加，故此类费用称为可变费用 C_b 。模具制造费用则不同，一旦模具加工完毕，其费用基本上就保持不变了（维修费、保管费等占比例很小，可列入可变费用 C_b ，亦可忽略不计）。模具加工费称为不变费用 C_a 。故冲压件的总成本又可分为：

$$C_{\Sigma} = C_a + Q C_b$$

式中 Q —冲压件产量。

要降低冲压件的制造成本，必须从降低 C_a 和 C_b 两方面考虑。冲压件的不变成本、可

变成本和总成本的关系,以及与产量、工厂利润之间的关系,可参考图1—1进行分析。

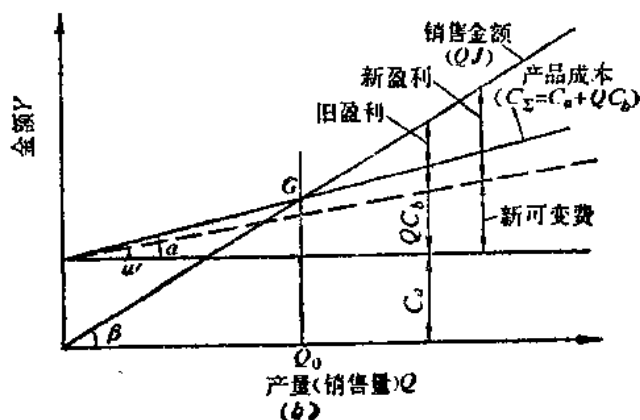
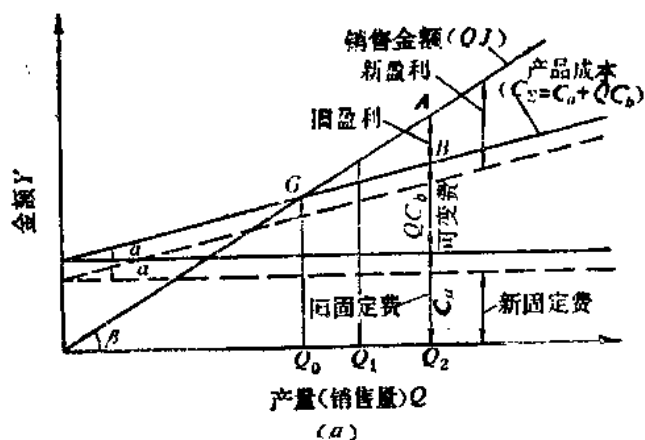


图1—1 产品产量与企业盈亏关系

(a)降低不变成本 (b)降低可变成本

C_s—产品总成本; C_a—产品不变成本; C_b—产品可变成本; C_b = tgα; J—产品销售单价; J = tgβ; G—盈亏平衡点; Q₀—G点的产量; Y—金额

由图可见:

(1) 由于产品的固定不变成本 C_a, 不随产量的增减而变化, 每个零件所分担的固定不变费用随产量的增加而减少, 故此种单件成本随产量增加而减少。

(2) 销售量为 Q₀ 时, 销售金额与产品成本相交于 G 点, 该点称为盈亏平衡点。在 G 点右边表示企业盈利, 在左边则表示亏损。

(3) 降低固定不变成本或可变成本, 皆可使 Q₀ 点左移, 增加企业盈利。在产量大时, 降低可变成本 (图 1—1(b) 所示, α 角变小), 效果显著。而在小批量生产时, 降低固定不变成本 (图 1—1(a) 所示, 水平线下移), 效果明显。所以, 在大批量生产时, 要着眼于降低可变成本, 即可采用高生产效率的多工位级进模、复合模、高寿命的硬质合金模; 而在小批量生产时, 尤其是试制新产品时, 则应着眼于降低固定不变成本, 即可采用各种造价低廉、制模周期短、模具材料可回收利用的各种简易模、低熔点合金模等。

应当指出, 为降低固定不变成本而采用简易模具时, 由于生产效率下降, 势必使工时费、设备折旧费, 甚至原材料费用上升。故在许多场合, 固定不变成本与可变成本是矛盾的。要取得最大的技术—经济效益, 必须综合考虑产品的质量要求、批量、工厂制模能力, 以及设备等情况。其中产品的质量要求和批量大小是关键因素。

二、降低冲压件成本的措施

从冲压件成本分析可见, 降低冲压件成本应从两方面采取措施, 即降低固定不变成本和可变成本。目前生产中广泛采用的措施有下述几条:

1. 制定合理的工艺方案

冲压件制造工艺方案与工厂的设备情况、制模能力, 以及原材料供应状况有关。如果上述生产因素发生变化, 则应对原有工艺方案进行重新分析和制定。

如图1—2所示的抛物线形灯壳，如果采用普通拉伸成形工艺，需用7~8道工序，由于变形程度大，工序中间尚要加中间退火工序。若设备条件允许，采用图1—3所示的

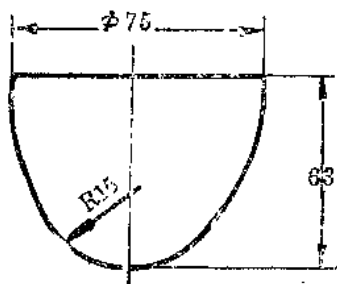


图1—2 抛物线形灯壳

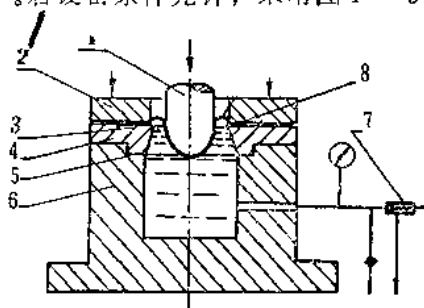


图1—3 液压拉伸示意图

1—凸模；2—压边油；3—毛料；4—凹模；
5—密封胶圈；6—凹模体；7—控制阀；8—密封胶圈

液体拉伸法，一次即可拉伸成功。这是因为此种拉伸法采用了新工艺，使模具数量和成形工序数量大大减少，工作的质量亦能提高，从而降低了冲压件的成本。该产品在试制阶段，若采用旋压成形方法，模具结构更为简单，成本更低。但旋压工艺生产效率很低，产量大时可变成本（工时费用等）提高，又将使冲压件成本上升。

综上所述，合理的工艺方案可以提高产品的质量，减少模具数量、成形工序数量以及材料消耗率，降低成本，获得较大的技术—经济效益。

2. 小批量生产时所用模具

小批量冲压件，其模具费用是决定冲压件成本的关键因素。降低制模成本、缩短制模周期、利用可回收利用的模具材料，可以获得良好的技术—经济效益。例如可以采用各种简易模、低熔点合金模、组合冲模等等。

3. 大批量生产时所用模具

大批量生产时，生产效率即工时费用、材料利用率等可变成本，以及模具使用寿命是决定冲压件成本的关键因素，因此，可以采用高生产效率的复合模及多工位级进模，以及高寿命的硬质合金模具等。此时，为降低可变成本，不得不提高了不变成本（即模具制造费用），但由于批量大，冲压件单件成本还是降低了，可以获得很好的技术—经济效益。

4. 提高冲压材料利用率，降低材料费用

在冲压生产中，通常原材料费用约占总成本的60%左右。所以，节约原材料，利用废料，具有十分重要的意义。

通常采用的措施是在保证工件使用要求的前提下，改变工件的形状和尺寸，改变排版图，合理选用搭边值，利用废料等。

5. 节约模具制造费用

降低模具费用，首先是在保证模具性能的前提下，模具结构要简单，模具元件要少；其次是模具材料采用可回收、再利用的低熔点合金、聚氨酯橡胶等；其次是对模具元件的加工精度、光洁度等不要提出过高的要求；并采用先进的机械加工、电化学加工、电加工、化学腐蚀等方法，代替或减少钳工加工工作量，以减少制模工时和对制模工

人的高技术要求。

总之,评价一种工艺方案的技术—经济效益是十分复杂的,它涉及到工件的质量要求、批量大小、生产能力、生产设备以及制模能力等多方面的因素。只有在熟悉各种常规的冲压技术、冲压模具的基础上,再研究各种特殊的冲压模具与技术,并结合本单位的实际生产能力,才能制定出合理的工艺方案,获得最佳的技术—经济效益。

第二节 冲裁间隙及冲裁模

冲裁间隙是冲裁模设计中的一个重要工艺参数。冲裁间隙的大小,直接影响冲裁件的尺寸精度、毛刺高度、光亮带、塌角、斜角及平整度、冲裁力以及模具的使用寿命。一般来说,模具的冲裁间隙小,则工件精度高,光亮带大,不易去毛刺低;但是冲裁力大,模具使用寿命低。当间隙取大值时,工件精度差,但冲裁力小,模具使用寿命长。如相对间隙 $Z_{\text{双}}/t$ 取15~25%时,模具使用寿命可提高3~5倍。

对于冲裁间隙,在20世纪50年代,我国沿用苏联的标准,相对间隙取得比较小,为4~10%。到70年代末,掀起了“大间隙热”,相对间隙有的取到25~52%。国际上也经历了这样一个放大间隙的过程。美国在1958年论文汇编上提出25%的相对间隙,可提高模具寿命4~5倍,称此为最佳间隙值。日本学者在对冲裁间隙与冲裁件尺寸精度、断面形状、冲裁力和模具寿命、模具磨损形式的关系进行综合研究之后,于1977年由日本塑性加工学会推荐使用20~25%的相对间隙。近年来,各国学者根据生产实践和各行各业对冲裁件质量的不同要求,又提出“按件定隙”的结论。即对尺寸精度与断面质量等要求较高的电机、电器、仪表行业,选用小间隙,以保证冲裁件的质量要求。对汽车、拖拉机等以及无配合关系的冲裁件,则可放大冲裁间隙,以提高模具的使用寿命,获得更好的技术—经济效益。

为了讨论问题方便,现对板料冲裁变形过程进行简要的机理分析,并研究冲裁间隙对冲裁件质量的影响。

一、冲裁机理简要分析

板料冲裁可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个变形阶段。

凸模下行向板料施加压力,板料绕凸模向上弯起成一浅盘状,板料受到凸、凹模压力 $p_{\text{凸}}$ 、 $p_{\text{凹}}$ 及由于存在冲裁间隙 Z 而产生的弯矩 M 作用, $M \approx p_{\text{凹}} \times Z/2$ 。即间隙越大,弯矩 M 值越大。板料上表面受压而收缩,下表面受拉而伸长,模具刃口阻止上、下表面的变形,从而产生如图1—4所示的摩擦力 $\mu p_{\text{凸}}$ 和 $\mu p_{\text{凹}}$ (μ —摩擦系数)。此时,板料变形区集中在刃

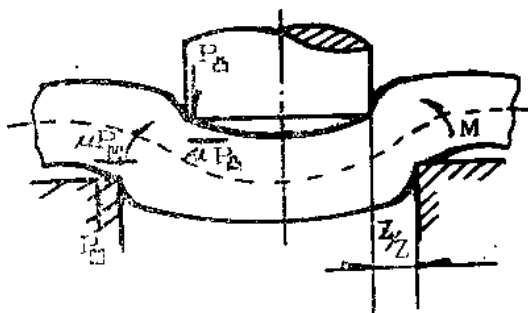
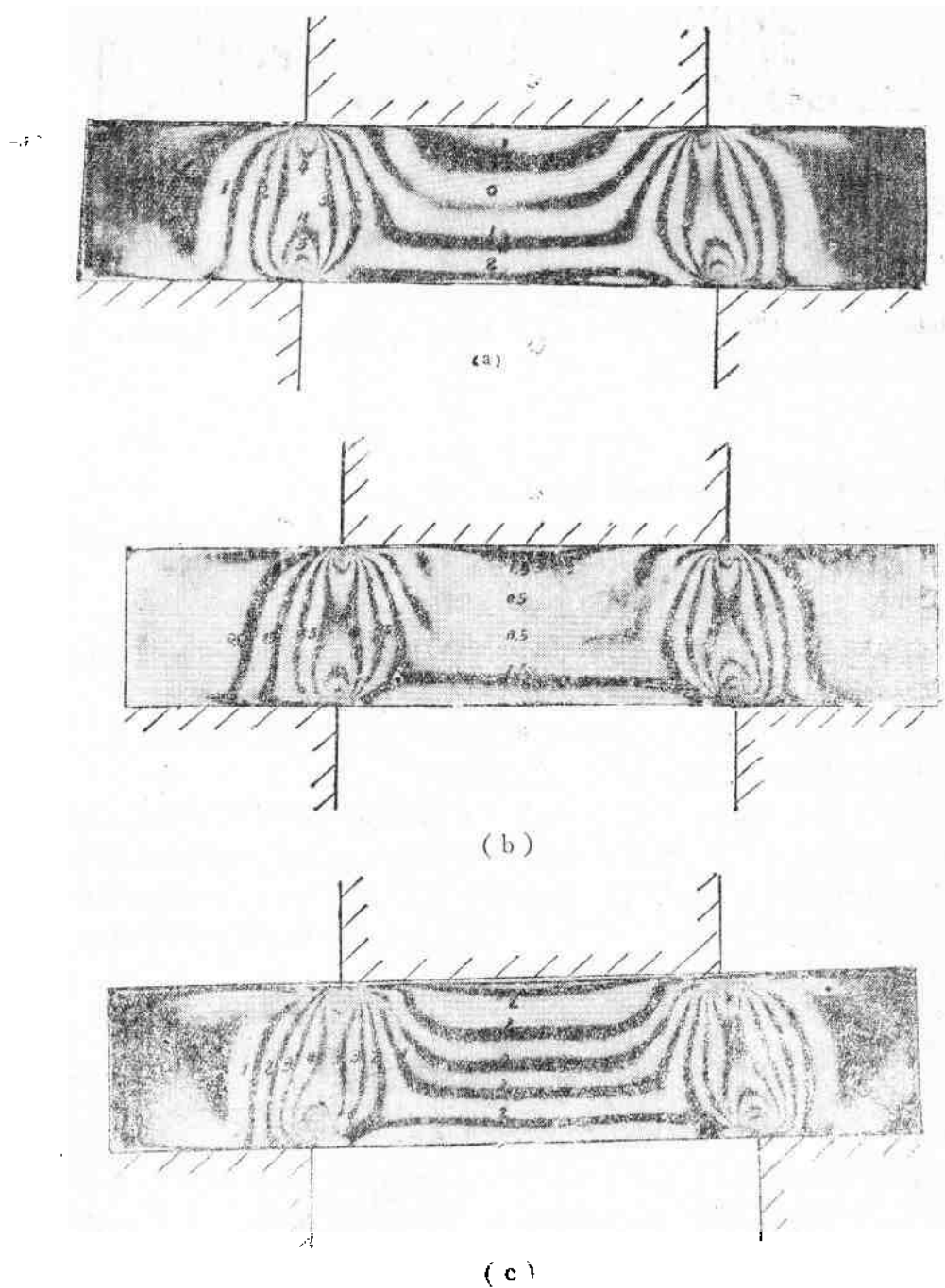


图1—4 板料冲裁初期受力示意图

口连线附近。板料下表面在垂直方向的压力 $p_{凹}$ 和弯矩 M 产生的径向拉力联合作用下，主剪应力最大；板料上表面在垂直方向压力 $p_{凸}$ 和弯矩 M 产生的径向压应力作用下，主剪应力次之。从板料上、下表面刃口处出发，沿刃口连线，主剪应力依次减少。这种应力状态由作者所作的板料冲裁光弹试验照片（图1—5）所证实。



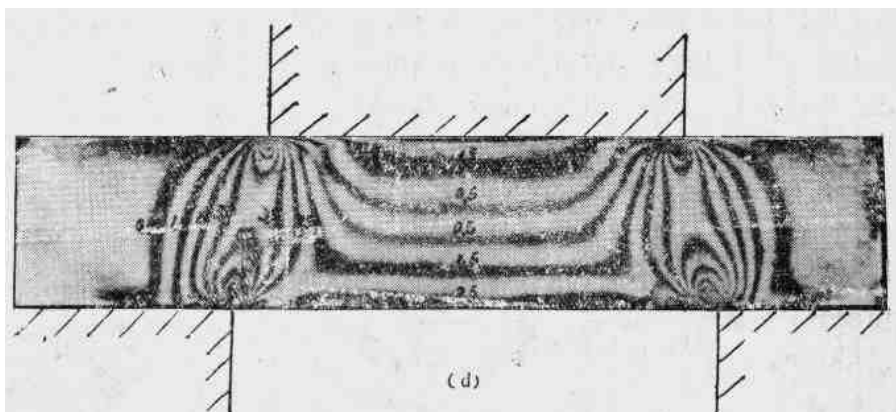


图1—5 板料冲裁光弹试验

(a)、(b)—Z双/t= 5 %; (c)、(d)—Z双/t= 25 %

图中数字为光弹试验的条纹级数 m 值。(a)、(c)图为暗场光弹照片,(b)、(d)图为亮场情况下的光弹照片。

$$m = \frac{h}{f} (\sigma_1 - \sigma_2)$$

式中 h —试件厚度(本试验 $h = 6$ 毫米);

f —光弹材料的条纹值,与模型材料及试验光波波长有关(本试验 $f = 120\text{N/cm}$);

σ_1, σ_2 —该点的主应力值。

对于同等厚度的同样材料试件,在同一光场中得出的光弹照片,其 h 、 f 均为常数,故 m 值的大小分布,即代表了各点的主应力差值,或主剪应力的分布情况。

从图中 m 值的分布情况,可以清楚地观察到下刃口处最大,上刃口处次之,沿刃口连线向板料内部依次减少,完全证实了上述分析。

图1—5(a)、(b)、(c)、(d)表明不同间隙值时 m 的分布情况。这是在同样的载荷、同样的试件和同一光场下得到的。间隙大时, m 值大,说明此时板内主剪应力大。换言之,使板料达到屈服应力,大间隙时所需凸模压力 $P_{\text{凸}}$,亦即冲裁力小。

不断加大凸模压力,光弹试验照片上的条纹级数不断提高,即板料内的应力不断增大。不难想象,板料下表面凹模刃口处,由于此处的主应力差值在整个板料截面内始终是最最大值,在加大凸模压力的过程中,必率先达到板料的屈服应力而由弹性变形进入塑性变形状态。同理,板料上表面凸模刃口处,随之亦由弹性变形状态进入塑性变形状态,然后塑性变形区由上、下表面的刃口处沿刃口连线向板料内扩展,最终形成一个下大上小的“8”字型塑性变形区,板料冲裁进入塑性变形阶段。有人称此种冲裁机理为“8”字型理论。

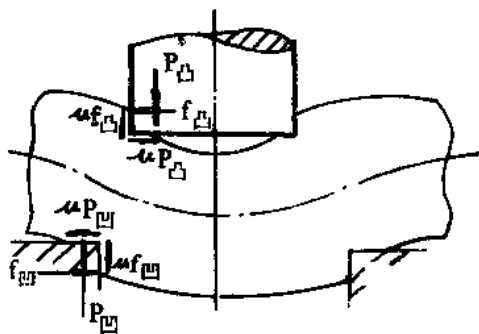


图1—6 板料冲裁塑性变形时受力图

按现代金属物理学的观点, 塑性变形实质是位错运动, 屈服应力即是开动位错, 使之运动的临界应力值。位错运动过程中, 产生位错增殖、位错堆积现象, 从而使驱动位错进一步运动的应力值必须增大, 此即冷作硬化现象。当位错密度达到某一程度时, 在位错堆积处必然产生微裂纹, 乃至裂缝, 此时金属材料不再具有塑性变形的能力, 而进入了断裂阶段。

从弹性阶段的光弹照片推断, 板料下表面凹模刃口处应力最大, 最先进入塑性变形阶段, 因而也必最先产生裂纹。板料冲裁的塑性变形阶段, 板料受力状态如图 1—6 所示。由于板料已进入了塑性变形, 板料上、下表面分别与凸、凹模侧面接触, 从而产生侧压力 $f_{凸}$ 和 $f_{凹}$, 以及相应的摩擦力 $\mu f_{凸}$ 与 $\mu f_{凹}$ 。刃口处的应力集中, 使裂纹在刃口处产生, 而摩擦力则使裂纹离开刃口。两者作用的结果是, 在刃口锋利时, 裂纹离刃口很近, 由于摩擦力的存在, 裂纹起点总不会在刃口处。裂纹的起点位置决定了毛刺的大小。上述分析说明: 冲裁件的毛刺是不可避免的。

图 1—7 所示为作者采用可放大 10 万倍的电子扫描显微镜拍摄的, 0.5 毫米厚的 L4M 板料在相对间隙 $Z_{双}/t=28\%$ 时的冲裁瞬间照片。(a) 图表明板料下表面凹模刃口附近先产生裂纹, (b) 图表明板料上表面凸模刃口附近随后产生裂纹。

图中清楚可见: 上、下裂纹均不在模具刃口处, 故实验证明了毛刺的不可避免性。这组照片清楚地显示了裂纹产生的位置及其先后顺序, 证明了上述分析的正确性。

上、下裂纹向板料内扩展, 若间隙合理, 则上、下裂纹重合, 间隙过大或过小时, 均在两裂纹之间产生第三条裂纹。裂纹贯穿板料上、下表面, 从而完成了板料的分离过程。

图 1—8 为冲裁间隙值过小、合理、过大时裂纹产生的位置示意图。

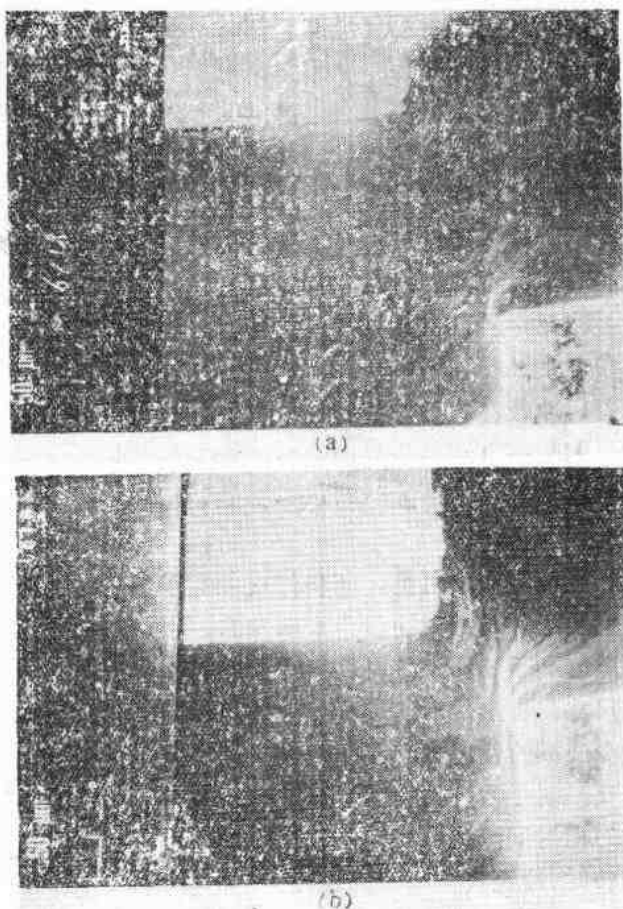


图 1—7 冲裁瞬间断面照片

材料: L4M 相对间隙 $Z_{双}/t=28\%$

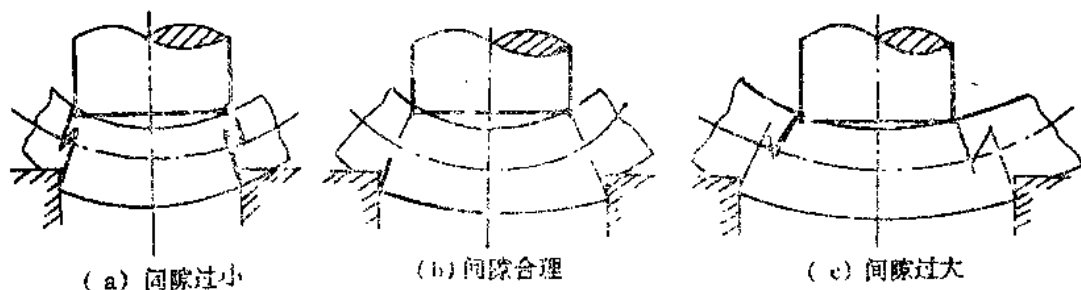


图1—8 冲裁间隙与裂纹示意图

二、冲裁间隙对冲裁件的质量影响

从上述机理分析可见，不同的相对间隙值，板料所受弯矩 M 、应力场、裂纹产生及扩展的情况不同。因而冲裁间隙值必然直接影响冲裁件的质量。

冲裁件质量主要包括尺寸精度、冲裁件断面质量（如毛刺高度、光厚比、塌角、斜角、平整度等等）。

1. 冲裁件的尺寸精度

图1—9所示为低碳钢08F落料件、冲孔件的尺寸精度 $\delta_{\text{凹件}}$ 、 $\delta_{\text{凸孔}}$ 与相对间隙的关系曲线。其中 $\delta_{\text{凹件}} = D_{\text{凹}} - D_{\text{件}}$ ， $\delta_{\text{凸孔}} = d_{\text{凸}} - d_{\text{孔}}$ ， $D_{\text{件}}$ 为落料件的尺寸， $d_{\text{孔}}$ 为冲孔件的尺寸。

从图中曲线可见，落料件尺寸等于凹模型腔尺寸的相对间隙为5%左右。相对间隙值小于5%，落料件尺寸大于凹模型腔尺寸，在出件时必然加大凹模的磨损，减少凹模的使用寿命。间隙大于5%时则相反。对于冲孔件，冲孔尺寸等于凸模尺寸的相对间隙为22%左右，当间隙值小于22%时，冲孔尺寸小于凸模尺寸，卸料时必然加大凸模的磨损，减少凸模的使用寿命。使 $\delta_{\text{凹件}}$ 为零和 $\delta_{\text{凸孔}}$ 为零的相对间隙值不同，主要是因为冲裁时板料上下表面受弯矩 M 作用，产生了不同的变形，而引起不同的回弹所致。曲线说明，设计落料模时，间隙值取小一些，可提高工件精度。对于冲孔模间隙应相对取大些，才能保证孔的精度。两条曲线不同，说明凸模刃口比凹模刃口磨损快，这也和生产实践中所出现的情况是一致的。

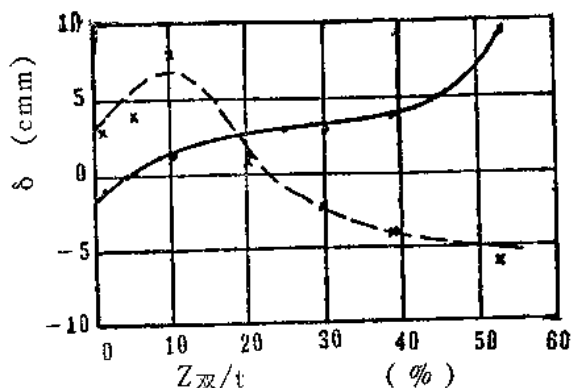


图1—9 尺寸精度与相对间隙关系曲线

材料 低碳钢08F

厚度 2 mm

——落料件 $\delta_{\text{凹件}}$ ----冲孔件 $\delta_{\text{凸孔}}$

总之，由曲线可得出结论，间隙值小时，精度高，但模具寿命低，间隙大时则相反。

2. 冲裁件剪切断面质量类型

图1—10显示了落料件、冲孔件在不同的相对间隙值冲裁时所得的剪切断面类型。

图中 f 为塌角尺寸； Δ_1 为第一光亮带； Δ_2 为第二光亮带； S 为断裂带； h 为毛刺高度。

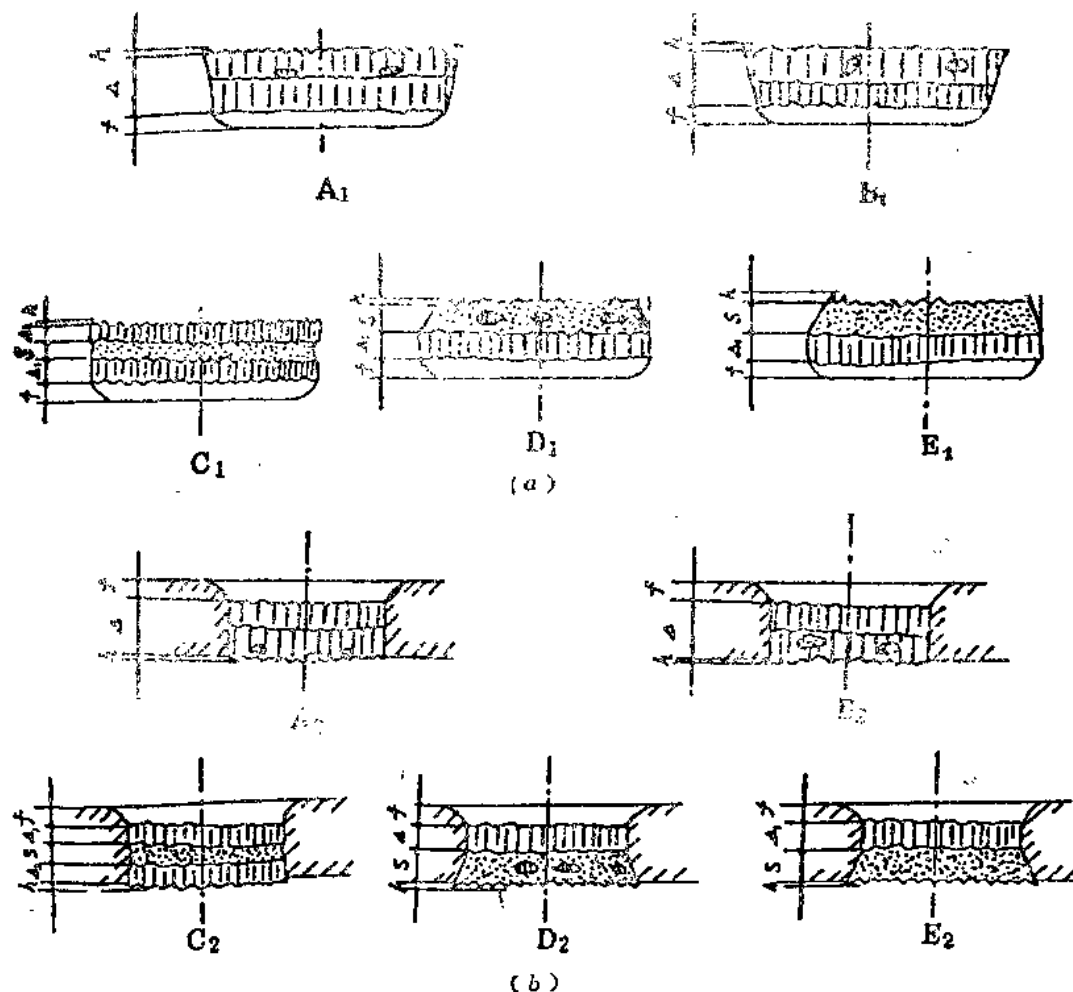


图1—10 冲裁件的剪切断面类型

(a)落料件剪切断面 (b)冲孔件剪切断面

第一光亮带是板料在模具的压力下，进行塑性变形时产生的，第二光亮带则是位于上、下两裂纹之间的板料，在凸模将落料件从废料和凹模型腔中推出时，产生第二次剪切和挤压时形成的。严格说第二光亮带是一种夹层组织，在某些使用场合是不利的。

图中A、B型断面是在相对间隙小于5%时产生的。此种断面出现负垂直度现象。这主要是上、下两裂纹之间的材料，在第二次剪切和挤压时，加大了落料件径向尺寸的压缩变形，故卸载回弹变大所致。这种现象的存在，加剧了模具的磨损，减少模具的使用寿命。

图中C型多在相对间隙5~10%的范围内发生。在相对间隙大于10%后依次出现D种和E种的剪切断面形状。

3. 毛刺高度