

从圆形落料件平整度来确定冲裁间隙^①

周 亮 周 明

(中南工业大学材料科学与工程系, 长沙 410083)

摘 要 对圆形落料件进行了受力分析, 给出了保证落料件质量的理论间隙公式, 为间隙的确定提供了理论依据。

关键词 冲裁间隙 落料 平整度 弹塑性力学

冲裁模的间隙影响冲裁件的质量, 包括剪切断面质量、尺寸精度、工件平整度等方面, 也影响冲裁模的寿命。一般而言, 大间隙有利于模具寿命的提高, 小间隙则有利于冲裁件质量的提高, 以往间隙的确定都是凭经验从手册、资料上查询的。而各种资料所推荐的冲裁间隙均不一样, 甚至相差很大。原因就在于看问题的角度不同。有的是从剪切断面质量考虑模具间隙, 有的则是从尺寸精度方面考虑间隙问题。事实上, 生产条件的多样性以及对于零件提出各种不同的要求, 不可能建立统一的适合于冲裁情况的间隙值^[1]。有关冲裁问题的理论分析大多集中在降低冲裁力方面。文献[2]中给出了不同间隙下的载荷关系, 但没有给出间隙的理论公式。由于冲裁变形区中的变形相当复杂, 迄今还没有实用的理论间隙公式。本文从保证落料件平整度着手, 分析了落料件的受力状况, 给出了确定间隙的理论公式。

1 确定间隙的理论模型

1.1 基本假设

(1) 位于凸模底部的区域为弹性区, 位于间隙内的区域为弹塑性区, 位于凹模上的区域为完全固支约束区(该区边界上应满足径向位移 $u_r = 0$, 挠度 $W = 0$, 转角 $d\omega/dr = 0$)。

(2) 不考虑凸模底部区和间隙内区交界处的受力细节, 忽略模刃口处的弯曲应力。

(3) 不计摩擦的影响。

(4) 材料为各向同性。

1.2 理论模型

图1给出了落料示意图。把整个圆形落料件分成3个区。1区为凸模底部区; 2区为间隙处; 3区为凹模上部区。

落料时, 由于间隙的存在, 使得落料件在受剪切的同时, 还受到弯矩、拉力的作用, 致使1区常成为锅底状, 3区上翘。除材质、模具形状等因素对此有影响以外, 间隙的影响最为显著。应寻找一个合理的间隙, 使得1区不产生永久性的锅底状变形, 确保落料件平整。

1.2.1 1区力学模型

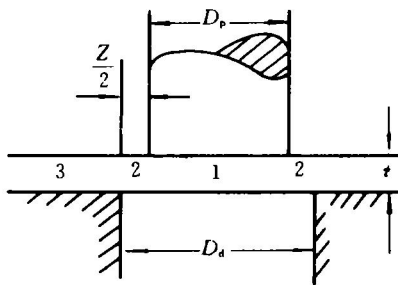


图1 落料示意图

① 收稿日期: 1993-12-15; 修回日期: 1994-01-02

对1区进行分析,可以用图2所示的力学模型表示实际受力情况。 M 均匀地作用在整个圆周上。 σ 则均匀地作用在圆柱表面上。

根据假设,参照文献[3]中关于简支圆板受均布弯矩的问题,有:

$$\sigma_{1r} = \sigma_{1\theta} = \frac{12M}{t^3}y$$

式中 σ_{1r} , $\sigma_{1\theta}$ 分别为由 M 引起的径向应力和切向应力; M 为单位长度上的弯矩; t 为板厚。

显然,此板的最大应力发生在整个表面上,则

$$(\sigma_{1r})_{\max} = (\sigma_{1\theta})_{\max} = \frac{6M}{t^2} \quad (1)$$

对于拉应力 σ 的作用,处处有:

$$\sigma_{2r} = \sigma_{2\theta} = \sigma \quad (2)$$

要使1区不发生塑性变形,至多有:

$$(\sigma_{1r})_{\max} + \sigma_{2r} = \sigma_s \quad (3)$$

式中 σ_s 为板料的屈服应力,因而有:

$$M = \frac{\sigma_s - \sigma}{6}t^2 \quad (4)$$

1.2.2 2区力学模型

根据假设,凹模以外为固支约束。在凸模作用下,板料受到剪力 τ 的作用。由于间隙 Z 的存在和材料的连续性,使得板面内存在拉应力 σ ,因而有力学模型图3。显然有:

$$M = \tau t Z / 2 \quad (5)$$

式中 Z 为冲裁模的双边间隙。

联立式(4)、(5),有:

$$\frac{Z}{2t} = \frac{\sigma_s - \sigma}{6\tau} \quad (6)$$

1.2.3 关于 σ 确定的模型

依假设,可知1、2区域的拉应力为 σ 。参照圆边固支的圆板在环状载荷 P 作用下的解^[2],有径向拉应力:

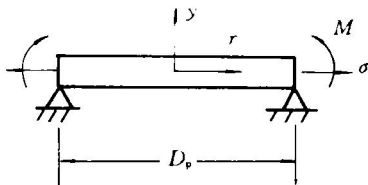


图2 1区力学模型

$$\sigma = \frac{3P}{2\pi t^2} \left[1 - \left(\frac{D_p}{D_d} \right)^2 \right]$$

式中 D_p 、 D_d 分别为凸模、凹模直径。若 P 为冲裁力,则有 $P = \pi D_d t \tau$, 其中 τ 为剪切应力。代入上式得^[4]:

$$\sigma = \frac{3Z\tau}{t} \left(1 - \frac{Z}{2D_d} \right) \quad (7)$$

由于实际总有 $Z \ll D_d$, 所以(7)式变为:

$$\sigma = \frac{3Z\tau}{t} \quad (8)$$

(7)式、(8)式适合于弹性范围。在实际冲裁中,往往有塑性变形发生。从连续性来看,塑性变形会使拉力缓和。再则,实际冲裁凹模上部材料并非完全处于固支约束下。因此(8)式给出了较大的值,而这使实际问题更加保险。

1.2.4 相对间隙 Z/t 的确定

(6)、(8)式联立,有:

$$\frac{Z}{t} = \frac{1}{6} \frac{\sigma_s}{\tau} \quad (9)$$

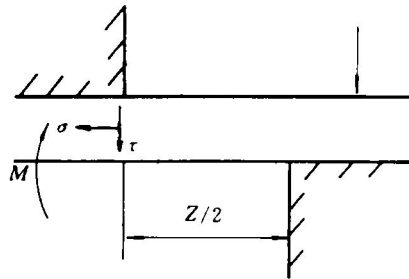


图3 2区力学模型

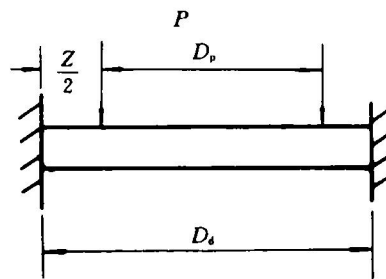


图4 1、2区力学模型

若取 τ 为纯剪时的剪切应力, 利用等效应力概念, 把 τ 折算成单拉状态的应力, 再用强度指标表示, 有:

$$\frac{Z}{t} = \frac{\sqrt{3} \sigma_s}{6\sigma_b(1+n)} \tag{10}$$

式中 σ_b 为单拉强度, n 为均匀延伸率即应变刚指数。

从(9)、(10)式可以看出, Z/t 仅与材料常数 σ_s 、 σ_b 、 n 有关。也即材料一定, 相对间隙随之而定。

2 计算实例与分析

根据(10)式, 计算了若干材料的相对间隙值, 列于表 1 中。

从表 1 中可以看出, 材料屈服比愈大, 则冲裁相对间隙愈小。强度大时, 冲裁力则大; 而屈服强度小时, 1 区更容易发生塑性弯曲, 导致永久性的锅底状, 因而应用小间隙冲裁。应变刚指数 n 愈大, 材料的塑性愈好, 均匀变形的能力愈强, 缓和应力集中的能力也愈强。因此, n 大的材料所需冲裁力大于 n 小的材料, n 大时 1 区发生塑性弯曲的可能性也大于 n 小时, 应该采用小间隙冲裁。

表 1 材料常数^[5]与理论间隙

材料	σ_s/σ_b	n	Z/t	$Z/(2t)$
纯铝(软)	0.33	0.27	0.08	0.04
纯铝(半硬)	0.89	0.09	0.24	0.12
紫铜(软)	0.24	0.42	0.05	0.03
黄铜(软)	0.46	0.44	0.09	0.05
铝镇静钢	0.54	0.28	0.12	0.06
不锈钢	0.55	0.34	0.12	0.06
硬铝	0.63	0.13	0.16	0.08

文献[6]总结了生产实际数据, 对间隙的影响进行了分类, 如表 2 所示。从表 2 中可以发现, 不论是采用固定卸料还是弹性卸料装置, 保证了工件平整的最佳间隙为适中值。文献[6]还依据剪切断面质量, 把间隙分成五类, 即大、稍大、适中、稍小、小, 分别对应于五种断面质量。表 3 列出了不同材料稍大、适中、

稍小的间隙值。

表 2 间隙对冲裁的综合影响^[6]

卸料方式	因素	间隙		
		小	适中	大
固定	模具寿命	差	中	差
	工件平直	差	中	差
	减小毛刺	中	中	差
	防止废料上升	好	中	差
弹压	模具寿命	差	很好	差
	工件平直	好	很好	中
	减小毛刺	中	好	差
	防止废料上升	好	中	差

表 3 单面间隙取值^[6]

材料	稍大 $Z/(2t)$	适中 $Z/(2t)$	稍小 $Z/(2t)$
低碳钢	0.12~0.13	0.08~0.10	0.05~0.07
不锈钢	0.13~0.14	0.09~0.11	0.03~0.05
铝	0.08~0.10	0.06~0.08	0.02~0.04
硬铝	0.13~0.14	0.09~0.10	0.05~0.06
黄铜(退火)	0.08~0.10	0.06~0.08	0.02~0.03
黄铜(半硬)	0.09~0.11	0.06~0.08	0.03~0.05
紫铜(软)	0.08~0.09	0.05~0.07	0.02~0.04

比较表 1 中的计算值与表 3 中的实际取值, 计算值处于适中间隙和稍小间隙之间, 即适中偏小。原因可能有两方面。其一, 实际值为统计结果, 间隙的分类较为模糊, 所列三类间隙值并没有首尾相连。其二, 理论值应趋于偏小, 这是推导过程所决定的, 如 σ 的确定, 纯剪 τ 的假设, 刃口处弯曲应力的忽略等。因而可认为(10)式给出了间隙适中范围的最小值。理论值与实际值的比较表明, (10)式是可用的。

参考文献

1 徐伟铭. 冲压技术手册. 新太出版社, 1979. 55.
2 梁炳文, 胡世光. 板料成形塑性理论. 北京: 机械工业出版社, 1987. 278—326.
3 刘人标. 板壳力学. 北京: 机械工业出版社, 1990. 57.
4 Cook N H, Gujral D M, Tinpnis V T. The Tool and Manufacturing Engineer, 1962, 48(5): 97—100.
5 《板材冲压工艺手册》编委会. 板材冲压工艺手册. 北京: 国防工业出版社, 1989. 19, 54—60.
6 《冲模设计手册》编写组. 冲模设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1988. 43, 44.