

高盒形件拉深计算及坯料展开方法

施于庆

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院,杭州 310023)

摘要: 由于高盒形件不能一次拉深成形,其初始坯料尺寸、中间工序尺寸比较难确定,这给成形模具的结构设计带来困难。对此,提出一种高盒形件拉深计算及坯料展开方法,将高盒形件 4 个圆角拼接成设想的杯形件,用杯形件拉深系数算法来确定高盒形件拉深次数及模具结构,从而提高了模具的设计精度和效率,并通过算例说明了该方法的有效性。

关键词: 高盒形件;拉深计算;坯料展开;模具;应力分布

中图分类号: TG386.32 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-8798(2017)01-0007-04

Calculation of deep drawing in high box-shaped parts and blank unfolding method

SHI Yuqing

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: The fact that the deep drawing process of high box-shaped parts can not be done all at a time poses challenges to structure design of the forming die for it is hard to determine the initial blank size and the intermediate process dimension. Accordingly, the article presents a method of deep drawing calculation and blank unfolding method, which joints four rounded corners of the high box-shaped parts to create an imagined cup. The deep drawing times and die structure can be figured out with the calculation method of deep drawing coefficient of the cup, which has improved design accuracy and efficiency of dies, and proved validity of the method through calculation examples.

Keywords: high box-shaped parts; deep drawing calculation; blank unfolding; dies; stress distribution

盒形件或类似于盒形件的冲压件一般比较难确定其展开尺寸和形状^[1-2]。盒形件一般将高度 h 与宽度 b 的关系 $\frac{h}{b} \leq 0.3$ 时视作低盒形件,当盒形件为低盒形件时,原始坯料尺寸按文献[3-4]的图解法求

收稿日期: 2017-01-12

通信作者: 施于庆(1959—),男,浙江省杭州人,教授,硕士,主要从事板料成形研究。E-mail:syul63@163.com。

得,经 1 次拉深成形便可得到工件或半成品。而当 $\frac{h}{b} \geq 0.5$ 时,视作高盒形件,一般不能 1 次拉深成形,要进行多次拉深成形。多次拉深的初始坯料尺寸、中间的坯料尺寸和形状比较难确定,一般按经验的方法估算。此外,还有相当多的高度与宽度的比值为 0.3~0.5 之间的盒形件也无法确定能否 1 次拉深成形,更无法确定盒形件原始坯料展开尺寸和形状。这就给盒形件工艺分析计算带来了不确定性并增加了模具设计难度,使模具调试时间拖长,也延迟了模具投产使用。虽然盒形件拉深可采用充液拉深^[5-8]或变压边力拉深^[9-14],但其成本较高,难以在实际生产中推广。盒形件拉深模具中的凹模圆角半径对拉深影响比较大^[15],但还是不能减少高盒形件的拉深次数。由于目前还没有较好的工艺方法或计算方法可用于高盒形件的拉深工艺中,因此笔者经研究后提出:采用杯形件拉深系数计算和坯料计算方法,将高盒形件还原成低盒形件,通过反向推断计算来给出初始和中间拉深工序的尺寸和形状,从而给出一个比较明确的针对高盒形件拉深的计算方法,以提高模具的设计精度和效率,并通过算例说明了该方法的有效性,以便在生产中应用。

1 盒形件拉深时的应力分布

图 1 是盒形件拉深时的应力分布。拉深时,盒形件圆角处的坯料往长或短直边的地方移动,从而使圆角处拉应力 σ_1 与压应力 σ_3 产生了不均匀分布。圆角部位的中位线处 σ_3 和 σ_1 是最大的,在盒形件整个拉深时达到 $\sigma_{1\max}$ 和 $\sigma_{3\max}$;直边的中位线上的 σ_1 和 σ_3 最小,在盒形件整个拉深时为 $\sigma_{1\min}$ 和 $\sigma_{3\min}$ 。如此,盒形件拉深时总是在圆角处发生堆积破裂。但如果把盒形件 4 个圆角假想成一个杯形件,与该杯形件拉深相比,圆角处平均的 σ_1 和 σ_3 比相应的杯件要小一些,因为盒形件拉深时,直边部位和圆角部位是相互联系在一起的整体,根据最小阻力定律,板料拉深时,材料会向阻力最小的方向移动。所以,直边材料往凹模模腔中移动的阻力较小,圆角部分有一部分材料跟随着被拉到直边去,这样,圆角部分的压应力减小,使得圆角处克服压应力的拉应力减小。由于圆角处一部分材料往直边移动过去,在圆角处剩下的参与拉深的材料就减少了,即在圆角处拉深到凹模模腔中变成杯形件(此处为 1/4 杯形件)的直壁的材料就相应减少,故受到的拉应力减小,这样就提高了杯形件底部圆角上方处板料的承载能力。与把拉深假想成一个杯形件相比,拉深盒形件在圆角处就不容易发生破裂。无论是高或低盒形件,与设想其 4 个圆角拼接成杯形件相比,都是拉深成杯形件要复杂一些,出现破裂的可能性更大。因此,设想的杯形件能够 1 次拉深成形,则盒形件也一定能够 1 次拉深成形。盒形件能够 1 次拉深成形,则一定能满足低盒形件要求,就可按图解法得到坯料形状与尺寸。

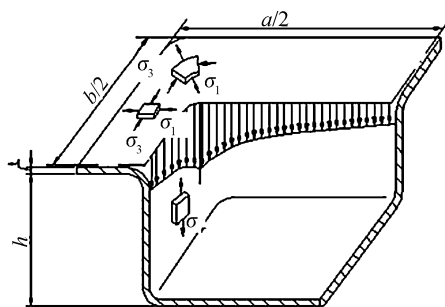


图 1 盒形件拉深时的应力分布

Fig. 1 Stress distribution of box-shaped parts in deep drawing

2 高盒形件拉深计算及坯料展开

设图 2 所示的盒形件为高盒形件,将其 4 个圆角设想为杯形件。杯形件的拉深系数计算式:

$$m = \frac{d}{D_0}, \quad (1)$$

式(1)中: m 为杯形件拉深系数; d 为拉深后工件或半成品的直径; D_0 为拉深前坯料或半成品的直径。若 $m > m_{1\min}$, 则杯形件能 1 次拉深成功, $m_{1\min}$ 是被拉深板料的首次允许的极限拉深系数。若 $m = m_{1\min}$, 则杯形件拉深情况处于临界状态,即出现废品或拉深成功的可能性都有。若 $m < m_{1\min}$, 则不能 1 次拉深成功,要分多次拉深。将盒形件的 4 个圆角

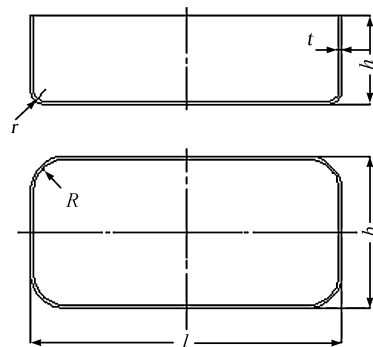


图 2 盒形件

Fig. 2 Box-shaped parts

设想拼接成1个杯形件,按计算杯形件拉深系数的算法同样分3种情况,分别可得:1)盒形件可1次拉深成形;2)盒形件拉深情况为临界状态;3)盒形件拉深不能1次拉深成形。由于1次可拉深成形的盒形件满足低盒形件要求,其坯料尺寸和形状可按图解法求得。那么,按杯形件计算拉深系数的方法,高盒形件也能象低盒形件那样能求出坯料尺寸和形状。将图2所示的盒形件的4个圆角拼接成1个杯形件(图3),有:

$$m = \frac{2R+t}{D_0} < m_{1\min}。$$

计算出圆板坯料直径,设为 D_0 (图3),将能首次拉成功的杯形件的直径设为 d_1 , $d_1 = D_0 \times m_{1\min}$,设盒形件4个角点的圆角半径为 R_1 (图4), $R_1 = d_1/2$ 。根据 R_1 ,相对应地就可求得首次可拉深成的盒形件长、宽、高分别为 l_1 、 b_1 、 h_1 。

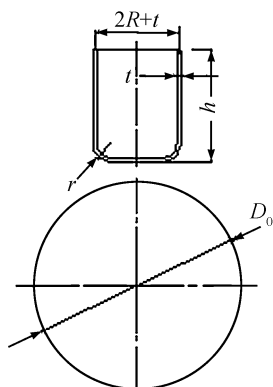


图3 假想的杯形件尺寸

Fig. 3 Dimension of the imagined cup-shaped parts

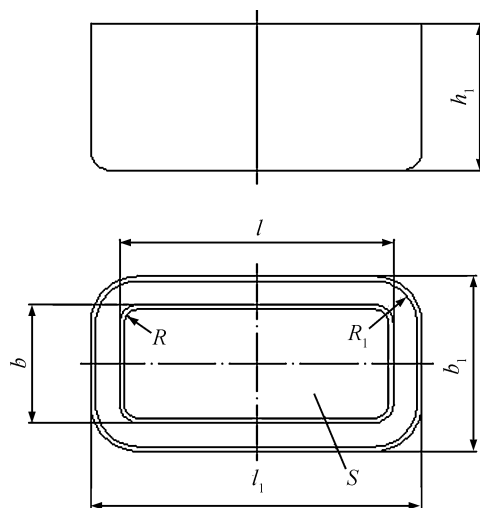


图4 盒形件形状对比

Fig. 4 Comparison of box-shaped parts in shape

由图4可得: $l_1 = l + 2(R_1 - R)$; $b_1 = b + 2(R_1 - R)$ 。 h_1 可由式(2)求得,根据拉深前后体积不变或表面积基本不变条件,有:

$$S = S_1 + S_2 = S_1 + (h_1 - t - r) \times L_1, \quad (2)$$

式(2)中: S 为高盒形件表面积; S_1 为首次能拉深的盒形件底部表面积,见图5; S_2 为首次能拉深的盒形件高度部分表面积; t 为料厚; r 为盒形件直壁圆角半径,设每次拉深的 r 都相同; L_1 为首次能拉深的盒形件轮廓周长, $L_1 = 2(l_1 + b_1) - 8(t + R_1) + \pi d_1$,则

$$h_1 = \frac{S - S_1}{L_1} + t + r. \quad (3)$$

用计算出的 l_1 、 b_1 、 h_1 、 R_1 、 r 来判断计算能否满足低盒形件要求。如果能1次拉深,则按图解法求出该盒形件坯料尺寸和形状。反之亦然,即用图解法得到的坯料形状和尺寸首次能拉深成尺寸为 l_1 、 b_1 、 h_1 、 R_1 、 r 的盒形件。以后各次拉深的盒形件4个角点的圆角半径仍可按杯形件直径计算得到,如此反复,直到 $R \geq R_n$, $h_n \geq h$, R_n 为盒形件的4个角点的最小圆角半径, h_n 为盒形件最大拉深高度。

3 算例

设图2盒形件的尺寸如下: $l = 200$ mm, $b = 100$ mm, $R = 30$ mm, $t = 1$ mm, $r = 8$ mm, $h = 60$ mm。因 $\frac{h}{b} = \frac{60}{100} = 0.6 > 0.5$,故为高盒形件,不能1次拉深成形,也不能按低盒形件图解的方法求得坯料尺寸。

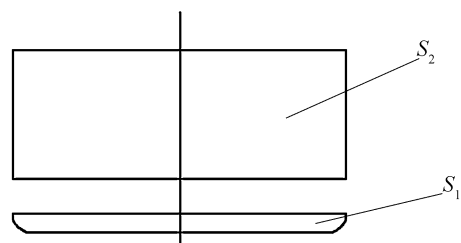


图5 首次能拉深盒形件各形状的面积

Fig. 5 Area of each shape for the box-shaped parts in first deep drawing

设想拼接成的杯形件直径为 $2R+t=2\times 30+1=61$ mm, 求出的 $D_0=131.6$ mm, 则 $m=\frac{2R+t}{D_0}=0.46<m_{\min}=0.54$, 故杯形件不能 1 次拉深成形。当 $m_{\min}=0.54$ 时, 则首次拉深直径 $d_1=0.54\times 131.6=71$ mm, $R_1=35.5$ mm, 根据 l_1 、 b_1 、 L_1 、 h_1 等的计算, 最后可得: $l_1=212$ mm, $b_1=112$ mm, $L_1=574.9$ mm, $h_1=23.4$ mm, 于是 $\frac{h}{b}=0.21<0.3$, 满足了低盒形件要求, 故也能按图解法求得展开尺寸。

如果要完成盒形件拉深, 则 $d_2=0.75\times 71=53.25$ mm, $R_1=26.6$ mm; 又由于 $R_1=26.6$ mm < 30 mm, 所以第 1 副模具拉深后的半成品件可在第 2 副模具中直接拉深成所要求的尺寸和形状的低盒形件。表 1 是高盒形件计算前后的情况对比, 可比较清楚地反映该方法的实用性。

表 1 高盒形件计算前后的情况对比

Table 1 Comparison of high box-shaped parts before and after calculation

盒形件尺寸/mm						高宽比 h/b	拼接成的杯形件	拉深系数 m	拉深情况
b	l	h	R	t	r		直径 D_0 /mm		
100	200	60	30	1	8	0.6	131.6	0.46	不能 1 次拉深
112	212	23.4	35.5	1	8	0.21			可拉深

4 结 语

根据经验估算法一般比较难确定高盒形件的原始坯料和中间工序形状及尺寸, 给模具的结构设计带来了一定的困难。将盒形件 4 个角点拼接设想成杯形件, 按照杯形件拉深系数的计算方法, 求出盒形件首次可拉深的形状和尺寸, 根据图解法反求得到原始坯料展开尺寸和形状, 使高盒形件还原成低盒形件, 计算方便, 模具结构设计简化, 从而提高了设计精度和效率。

参考文献:

- [1] 施于庆. 用相似原理计算盒形拉深件展开尺寸[J]. 杭州应用工程技术学院学报, 2000, 12(2): 17.
- [2] 施于庆. 汽车制动阀安装板坯料形状与尺寸的确定[J]. 浙江科技学院学报, 2015, 27(3): 186.
- [3] 施于庆. 冲压工艺及模具设计[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2012: 178-179.
- [4] 王秀凤, 张永春. 冷冲压模具设计与制造[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012: 127.
- [5] 余年生. 深盒形件液压拉深成形工艺研究[J]. 模具工业, 2008, 34(1): 20.
- [6] 郎利辉, 许诺, 王永铭, 等. 深腔类盒形件充液成形技术研究[J]. 锻压技术, 2013, 38(2): 21.
- [7] 李涛, 郎利辉, 安冬洋, 等. 复杂薄壁零件板多级充液成形及过程数值模拟[J]. 北京航空航天大学学报, 2007, 33(7): 830.
- [8] 刘合军, 郎利辉, 李涛, 等. 高强度铝合金板材的温热介质充液成形研究[J]. 塑性工程学报, 2009, 16(1): 31.
- [9] 胡志华, 慕东. 铝合金盒形件拉深的变压边力控制[J]. 热加工工艺, 2013, 42(3): 84.
- [10] 李琳, 陈忠家, 李奇, 等. 盒形件分区变压边力拉深研究[J]. 锻压技术, 2016, 41(2): 25.
- [11] 陈炜, 周宏超, 徐雪来, 等. 盒形件变压边力拉深成形研究[J]. 锻压技术, 2014, 39(11): 20.
- [12] 吴斌, 单云. 分块式压边圈盒形件成形数值模拟研究[J]. 锻压技术, 2015, 40(9): 139.
- [13] 李奇涵, 王红强, 刘海静, 等. 基于 BP 神经网络矩形盒件拉深成形变压边力的预测[J]. 锻压技术, 2015, 40(11): 27.
- [14] 罗昱, 胡建华, 陈昶, 等. 不同压边力加载模式对盒形件拉深成形的影响[J]. 锻压技术, 2016, 41(7): 7.
- [15] 张庆丰, 金文中, 周旭东. 盒形件增量拉深成形数值模拟及工艺试验[J]. 锻压技术, 2011, 36(1): 34.