

# 基于 ANSYS/LS-DYNA 的杯形件椭圆角凸模拉深模拟

施于庆

(浙江科技学院 机械与汽车工程学院,杭州 310023)

**摘要:** 杯形件底部形状一般都设计成圆角过渡,这从加工性方面或许是比较方便的。然而,在拉深过程中,抵抗产生拉深缺陷的能力却并非是最理想的。研究带凸缘的杯形件,建立凸模直边与底部相连为椭圆角的有限元模型,用 ANSYS/LS-DYNA 进行杯形件拉深模拟,模拟结果与凸模直边与底部相连为圆角的杯形件比较,椭圆角凸模比圆角凸模的板料拉深成形能力有一定的提高。

**关键词:** 凸模;椭圆角;拉深 成形能力

**中图分类号:** TG386.32      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1671-8798(2016)03-0195-05

## Deep-drawing simulation of elliptic punch shoulder for cup based on ANSYS/LS-DYNA

SHI Yuqing

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

**Abstract:** Bottom of cup form is designed as circular bead so that process ability is convenience. But the resistance ability to defect in deep-drawing is not ideal. An elliptic/radius punch shoulder for deep drawing were set up on study cup with flange, and then two processes to form cup were simulated respectively by ANSYS/LS-DYNA. It is shown that this forming ability by elliptic punch shoulder is better than that by radius punch shoulder.

**Keywords:** punch; elliptic punch shoulder; deep-drawing; forming ability

冲压件设计大多考虑其使用性,如强度、刚度及安装条件等,但往往并不一定满足冲压条件,尤其是难以兼顾到成形过程中产生的缺陷,如拉裂和起皱等问题。虽然冲压工艺的改进能在一定程度上起到抑制拉裂和起皱的作用,但由于成本、效率及效果等方面因素,目前在冲压生产中能提高板料极限成形能力的相对简单又实用的方法并不是很多。

用改进模具设计结构的方法,能在一定程度上抑制板料成形中的起皱和破裂。如在模具结构上采用

---

**收稿日期:** 2015-06-11

**作者简介:** 施于庆(1959— ),男,浙江省杭州人,教授,硕士,主要从事板料成形及计算机仿真研究。

凹模椭圆角,相比较于凹模圆角,板料的成形能力有了一定的提高<sup>[1]</sup>;把压边圈做成斜面或把凹模圆角设计成斜角,能将弹性的压边力分解成有助于拉深方向的力,同样可提高板料的极限拉深性能<sup>[2]</sup>。冲压件的设计,其底部形状大多设计成圆角形式,文献[3]对双联盒形件拉深,拉深模的凸模采用椭圆角凸模,椭圆角大小接近圆角半径,板料在危险断面上壁厚度比圆角凸模要略厚一些。椭圆角半短轴取圆角半径的一半左右,椭圆角的半长轴略大于椭圆角的半短轴;与圆角半径拉深时比较,板料在危险断面上的厚度值比较接近,效果更理想,说明拉深能力有了提高。由于该零件模拟后测量点并不全部都是在圆角上方,所以还不能说明圆角处的拉深情况;又由于盒形件拉深与杯形件有所不同,盒形件拉深圆角处拉深阻力远大于直边,拉深时圆角处材料会向直边分流,盒形件圆角处成形阻力要比拉深同样大小的杯形件要小,拉深更容易一些,即拉深比与盒形件圆角大小相同的杯形件要困难得多。本研究采用椭圆面积与圆角面积相等来确定椭圆的长短轴和半径,运用 ANSYS/LS-DYNA 进行杯形件成形模拟,并与圆角凸模比较,来说明椭圆角凸模与圆角凸模相比,能在一定程度上改善拉深效果。

## 1 凸模椭圆角成形力学分析

将冲压件的直边与底部相连都设计为圆角的原因之一,是圆角加工比较方便,事实上,冲压件从使用功能来讲,并非一定要设计成圆角。为了不影响原设计和冲压件的使用要求,使椭圆角接近圆角,设椭圆半长轴和半短轴分别为  $a$  和  $b$ ,圆角半径为  $R$ ,设  $\pi ab = \pi R^2$ ,则  $R = \sqrt{ab}$ ,设  $a = 7 \text{ mm}$ , $b = 5 \text{ mm}$ , $R \approx 6 \text{ mm}$ 。图示 1(a) 是圆角凸模,圆角半径  $R = 6 \text{ mm}$ ;图 1(b) 是椭圆角凸模,椭圆半长轴  $a = 7 \text{ mm}$ ,椭圆半短轴  $b = 5 \text{ mm}$ 。

图 2 是杯形件拉深时的应力应变状态<sup>[4]</sup>。图 2 中,用  $\sigma_1$ 、 $\epsilon_1$  分别表示杯形件上取出的单元体上的径向应力与应变; $\sigma_2$ 、 $\epsilon_2$  分别表示杯形件上取出的单元体上厚度方向的应力与应变; $\sigma_3$ 、 $\epsilon_3$  分别表示杯形件上取出的单元体上的切向(周向)的应力与应变。在凸模圆角部分受力情况是:这部分板材料承受径向  $\sigma_1$  和切向  $\sigma_3$  拉应力的作用,而在板材的厚度方向受到凸模压力和弯曲作用而产生压应力  $\sigma_2$ 。板料变形为平面应变状态, $\epsilon_1$  为拉伸, $\epsilon_2$  为压缩, $\epsilon_3 = 0$ ,由于拉深时材料包在凸模圆角上,这一部分材料没有进一步参与变形或变形程度很小,所以,凸模圆角处的材料在拉深过程中

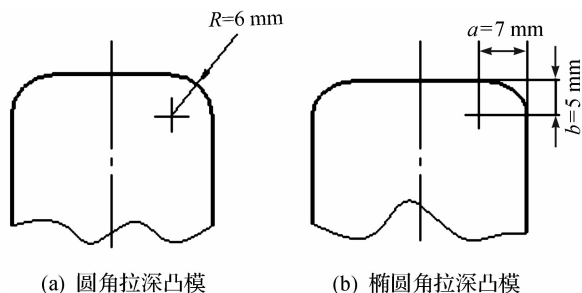


图 1 椭圆角与圆角拉深凸模

Fig. 1 Punch elliptic shoulder and punch radius shoulder

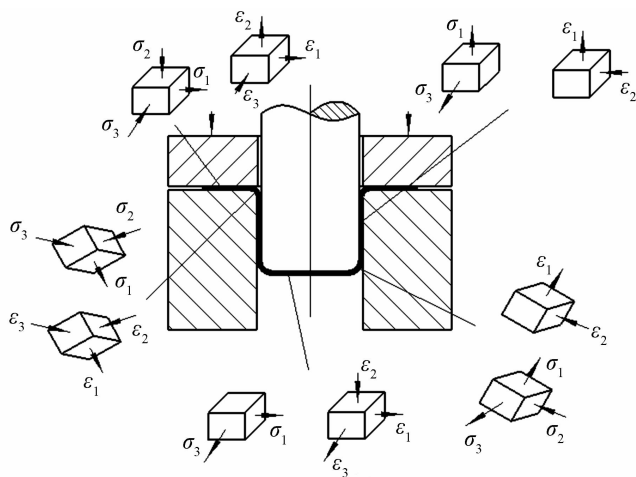


图 2 杯形件拉深时的应力应变状态

Fig. 2 State of strain and stress for cup in deep-drawing

基本不变薄或变化很小。但是,由图 3 可见,设椭圆角凸模和圆角凸模拉深至同一拉深高度或拉深深度  $h$ ,都是采用圆角凹模的情况下,椭圆角凸模和圆角凸模的受力情况是略有不同的。设圆角凸模拉深,垂直方向的凸模力用  $P_c$  表示;而椭圆凸模拉深时,垂直方向的凸模力用  $P_e$  表示; $P_c$  和  $P_e$  都与板料承载能力有关。圆角凸模拉深时,凹模上板料始终要与圆角凸模相切;同样,椭圆角凸模拉深时,凹模上板料始终要与椭圆角凸模相切。但是,无论是圆角凸模拉深还是椭圆角凸模拉深,由于拉深为同一高度,板料与凹模上相切点为同一切点位置,切点坐标为  $(x_c, y_c)$ ,但从切点引出的板料(切线)与椭圆角凸模和圆角凸模相切点是不同的,

设凸模中线到凹模切点的距离为  $r$ , 用  $\gamma_c$  和  $\gamma_e$  分别表示采用圆角凸模和椭圆角凸模时板料切线与垂直拉深方向的夹角, 用  $p_c$  和  $p_e$  分别表示圆角凸模和椭圆角凸模切向拉深力。根据图 3 可得:

$$P_e = 2\pi r p_e \cos \gamma_e, \quad (1)$$

$$P_c = 2\pi r p_c \cos \gamma_c. \quad (2)$$

由式(1)和式(2), 因为  $\gamma_e > \gamma_c$ , 因此有:  $P_c > P_e$ 。

综合上述分析计算: 当圆角凸模和椭圆角凸模拉深成同一拉深高度或拉深深度时, 椭圆角凸模拉深时产生的凸模上的垂直力  $P_e$  小于圆角凸模拉深时凸模上的垂直力  $P_c$ , 使得板料的承载能力有所提高。

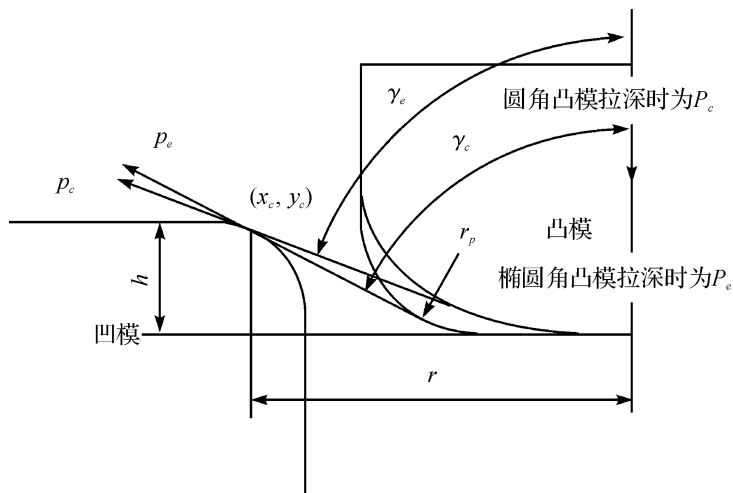


图3 垂直拉深力  $P_c$  和  $P_e$  与切向拉深力  $p_c$  和  $p_e$  的关系

Fig. 3 Relationship of resultant vertical force  $P_c$  and  $P_e$  with tangential drawing press  $p_c$  and  $p_e$

## 2 有限元模拟及结果

### 2.1 有限元模型

有限元分析选取材料 08Al, 毛坯直径取  $D_0 = 115$  mm。

材料性能参数为: 应变强化系数  $K = 537$  MPa, 屈服极限  $\sigma_s = 110.3$  MPa, 弹性模量  $E = 206.8$  GPa, 泊松比  $\nu = 0.3$ 。

圆角凸模拉深模拟的模具结构参数为: 凸模圆角半径  $r_p = 6$  mm, 凸模直径  $d_p = 40.5$  mm, 凹模直径  $d_d = 45$  mm, 压边圈外径  $d_{外} = 115$  mm, 压边圈内径  $d_{内} = 58$  mm, 凹模圆角半径  $R_d = 6.5$  mm。

椭圆角凸模拉深模拟的模具结构参数为: 凸模角椭圆半长轴  $a = 7$  mm, 凸模角椭圆半短轴  $b = 5$  mm, 凸模直径  $d_p = 40.5$  mm, 凹模直径  $d_d = 45$  mm, 压边圈外径  $d_{外} = 115$  mm, 压边圈内径  $d_{内} = 58$  mm, 凹模圆角半径  $R_d = 6.5$  mm。

设板料与凸模和凹模及压边圈之间的摩擦因数  $\mu = 0.1$ 。模拟时, 椭圆角凸模拉深时和圆角凸模拉深时, 加载在压边圈上的压边力都取 1 800 N。圆角凸模拉深的有限元模型和椭圆角凸模拉深的有限元模型, 见图 4 和图 5。

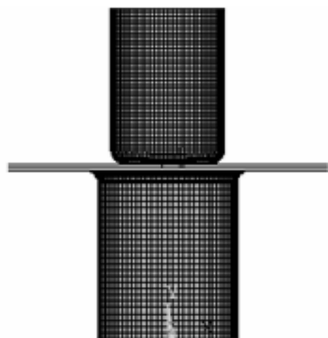


图4 凸模圆角半径  $r_p = 6$  mm

Fig. 4 Punch radius shoulder  $r_p = 6$  mm

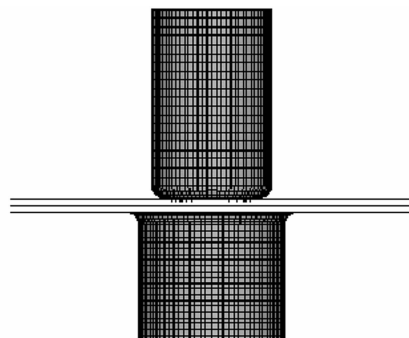


图5 椭圆角凸模  $a = 7$  mm,  $b = 5$  mm,

Fig. 5 Punch elliptic shoulder  $a = 7$  mm,  $b = 5$  mm

### 2.2 成形极限图评价破裂或起皱

破裂或起皱判断见图 6 的成形极限图<sup>[5]</sup>, 如果应变点落入破裂安全曲线与起皱安全曲线之间

则产品就是合格的,如果进入破裂安全曲线与破裂极限曲线就是破裂临界状态区;在起皱安全曲线与起皱极限曲线之间为起皱临界状态;在破裂极限曲线以上发生破裂,在起皱极限曲线下方就是发生起皱。

### 2.3 结果分析

模拟速度越快,则工件越容易拉裂;模拟速度越慢,则工件越容易起皱。理想的模拟速度范围大致为  $v = 2.5 \sim 50 \text{ m/s}^{[6]}$ , 此处取略慢一点的速度  $v = 2 \text{ m/s}$ , 椭圆角凸模拉深时和圆角凸模拉深时,在拉深深度分别为  $h = 20 \text{ mm}$  和  $h = 21 \text{ mm}$  时的模拟结果如图 7 和图 8 所示。

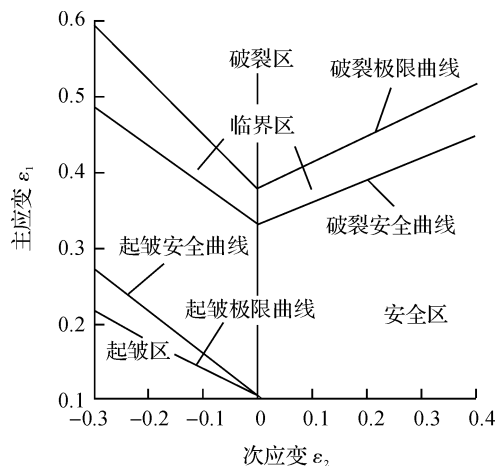


图 6 成形极限图

Fig. 6 Forming limited schematic diagram

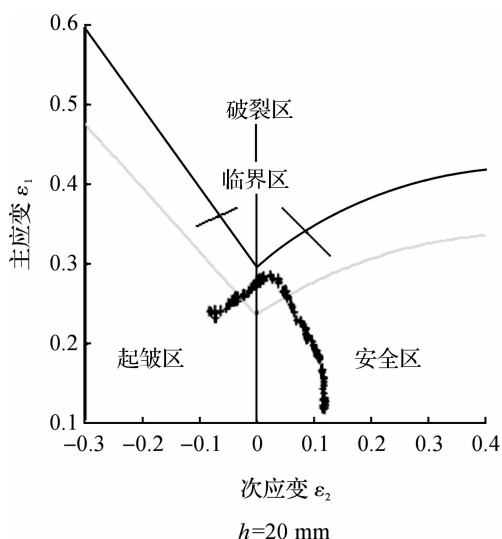


图 7 圆角凸模 ( $r = 6 \text{ mm}$ ) 拉深结果

Fig. 7 Drawing-result by punch radius shoulder ( $r = 6 \text{ mm}$ )

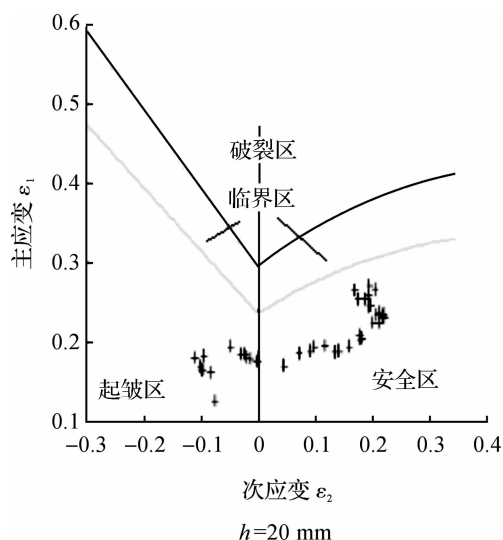
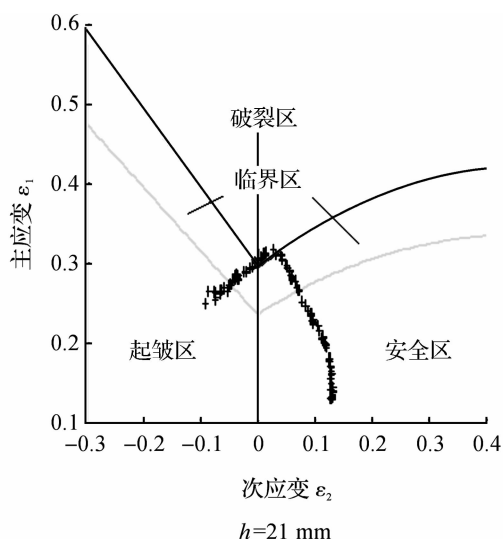


图 8 椭圆角凸模 ( $a = 7 \text{ mm}, b = 5 \text{ mm}$ ) 拉深结果

Fig. 8 Drawing-result by punch elliptic shoulder ( $a = 7 \text{ mm}, b = 5 \text{ mm}$ )

从图7和图8可以看出,圆角凸模拉深至 $h = 20 \text{ mm}$ 有应变点进入临界区,说明废品率比较高;而椭圆角凸模拉深至 $h = 20 \text{ mm}$ 应变点都在拉裂安全成形曲线下方,说明拉深件没有发生破裂,拉深件合格。当圆角凸模拉深至 $h = 21 \text{ mm}$ 时,应变点进入破裂区,说明拉深件报废;而椭圆角凸模拉深至 $h = 21 \text{ mm}$ ,应变点才进入临界区。

### 3 结 语

拉深时,由于材料是包在凸模圆角上的,这部分材料不直接参与变形,所以厚度变化不大。在拉深过程中,椭圆角凸模与圆角凸模如拉深至同一拉深高度或拉深深度时,板料与圆角凹模都是相切的,两者切点相同,但此时板料与椭圆角凸模切点与圆角凸模切点不同,而切向拉深力是沿着切线方向的,椭圆角凸模拉深时的切向力 $p_c$ 与垂直方向的夹角要大于圆角凸模拉深时的切向力 $p_c$ 与垂直方向的夹角,这就使得拉深椭圆凸模上的垂直力 $P_c$ 小于圆角凸模时凸模上的垂直力 $P_c$ 。板料拉深时的承载能力与凸模垂直力有关,凸模垂直力越小,容易破裂的凸模圆角上方危险断面处的承载能力就越高。因此,椭圆角凸模拉深比圆角凸模拉深更能提高板料的承载能力,也即拉深至相同的拉深高度或拉深深度时不容易发生破裂。

#### 参考文献:

- [1] 施于庆,管爱枝.用椭圆角凹模消除水管接头盖成形缺陷的研究[J].浙江科技学院学报,2014,26(3):186.
- [2] 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,2008:159-162.
- [3] JOHN G L.金属成形科学与实践[M].麻永林,李慧琴,邢佩清,等译.北京:化学工业出版社,2006:194-198.
- [4] 施于庆.冲压工艺及模具设计与制造[M].杭州:浙江大学出版社,2012:150-151.
- [5] 施于庆,李凌丰.带工艺孔的板坯拉深新工艺有限元模拟[J].兵工学报,2009,30(7):967.
- [6] 施于庆,李凌丰.板料拉深有限元模拟冲模速度研究[J].兵器材料科学与工程,2010,33(3):77.

~~~~~

## 我校学报官方微信公众平台正式开通

为加快我校学报数字化、网络化建设步伐,进一步提高学报的知名度和影响力,经过近3个月的努力,学报官方微信公众服务号“浙江科技学院学报”正式上线运行。

浙江科技学院学报官方微信公众平台开设了读文章、查稿件、看动态3个一级栏目,分设文章检索、过刊浏览、当期目录,投稿指南、作者查稿、专家审稿,期刊简介、期刊动态、期刊订阅、联系我们10个二级栏目。平台定期更新相关内容,后续还会对各栏目板块不断改进、完善,以加大与作者、读者交流互动的便捷性。

欢迎关注学报微信公众服务号。可通过两种方式关注:一是搜索“浙江科技学院学报”或“zustxb”,二是扫描学报微信公众平台二维码。

