

盒形件成形工艺分析

赵建刚

(中航工业庆安集团有限公司, 西安 710077)

摘要: **目的** 分析盒形件的成形规律, 解决盒形件的成形问题。**方法** 对毛坯展开料、拉伸次数、压边圈的选用、模具等几个主要参数及拉伸零件所需的冲床规格进行计算, 制订加工工艺方案。分析零件在拉伸过程中有可能出现的皱痕、划痕、拉断等问题, 从而采取合适的润滑剂。**结果** 以典型盒形件为例, 进行试加工, 零件尺寸 100%合格, 零件表面质量良好。**结论** 通过工艺参数计算原则及润滑剂的选用, 能够保证盒形件的尺寸精度、表面质量, 提高生产效率。该方法对类似零件的工艺计算和分析有一定的参考价值。

关键词: 拉伸; 盒形件成形; 工艺参数; 拉伸模结构; 润滑剂

DOI: 10.3969/j.issn.1674-6457.2016.06.015

中图分类号: TG386

文献标识码: A

文章编号: 1674-6457(2016)06-0080-05

Forming of the Rectangular Box

ZHAO Jian-gang

(Avic Qingan Group Co., Ltd., Xi'an 710077, China)

ABSTRACT: This work aims to analyze the forming law of box parts and solve the problem of box forming. Major parameters like blank unfolding material, number of drawing, selection of blank holder and die and the specifications of punch required by drawing process were calculated to formulate a machining process plan. Problems like crinkle, scratch and breakage in drawing were analyzed so that proper lubricant could be adopted. With a typical box as an example, the trial processing was carried out. Part size was 100% qualified and part surface had good quality. In conclusion, the calculation principles of technological parameters and the selection of lubricant can guarantee the dimension precision and surface quality of box parts and improve production efficiency. This method has certain reference value for the calculation and analysis of the technology of similar parts.

KEY WORDS: drawing; box stamping; technological parameter; drawing die structure; lubricant

近年来, 不锈钢盒形件产品以其精美的外表, 优良的耐高温、耐腐蚀、耐潮湿及造型多样等诸多优点被广泛应用于军工、民用五金等行业。盒形件是一种非轴对称的零件, 它的筒壁是由直边部分与圆角部分构成^[1-2]。拉伸变形时, 应力应变在变形区内沿周边分布很不均匀, 而且随着零件的几何参数、毛坯形状以及拉伸条件的变化, 其不均匀程度

也会发生相应的变化, 同时板材本身具有各向异性, 这些都构成了盒形件拉伸的一系列特点, 也是盒形件拉伸的难点所在。若在毛坯料计算及拉伸模具设计中, 仅用经验估算很难做出正确预测, 甚至会作出错误的判断, 造成大量的试错和模具试制费用及周期的浪费。文章以典型盒形件为例, 结合盒形件加工难点及不锈钢材料的屈服点高, 硬度高,

收稿日期: 2016-08-31

作者简介: 赵建刚(1962—), 男, 河南人, 高级工程师, 主要从事金属成形研究。

冷作硬化效应等特点，进行工艺分析及研究。

1 工艺及分析

盒形件拉伸采用的是平板毛坯拉伸，直边相当于弯曲变形，圆角相当于圆筒拉伸，盒形件局部成形分析见图1。

从拉伸力的观点看^[3-4]，由于直边部分与圆角部分相连成为一个整体，变形时会相互制约，所以直边部分除承受弯曲抗力外，还承受变形抗力，而圆角部分则由于变形程度相对较小，需要克服的变形抗力也就相对较小，即由于直边部分分担了圆角部分的拉伸变形抗力，而使圆角部分所承担的拉伸力较相应直筒形件的拉伸力要小。

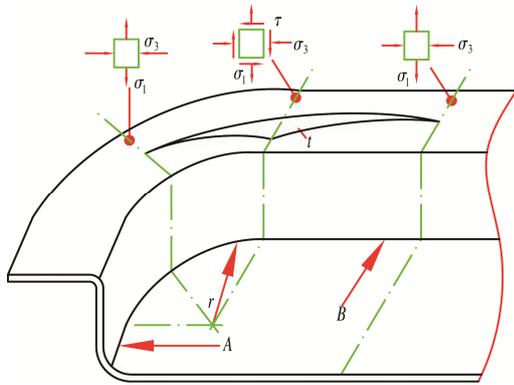


图1 盒形件局部成形分析
Fig.1 Local forming of rectangular box

1.1 实例分析

中航工业庆安集团有限公司生产的某大批量薄壁盒形件见图2，该盒形件为1Cr18Ni9奥氏体不锈钢零件，外形主要尺寸为长206 mm，宽122.7 mm，高34.3 mm，厚0.8 mm，盒形件壁间圆角半

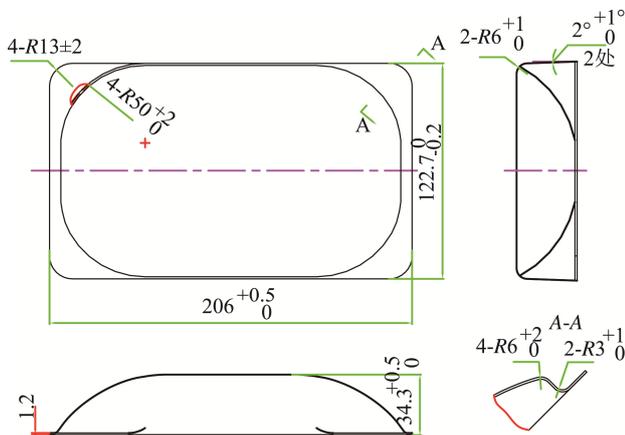


图2 盒形件
Fig.2 Rectangular box

径分别为50, 5 mm，满足盒形件拉伸壁间圆角半径必须大于3倍的材料厚度的条件，拉伸性能较高，拟采用拉伸成形的方法。

1.2 确定拉伸次数

制订拉伸工艺方案，首先必须判断零件的拉伸次数。拉伸次数判断偏少，可能导致零件拉裂，无法成形；拉伸次数判断偏多，易导致模具制造浪费，生产周期延长，零件起皱等问题，因此必须准确判断拉伸次数。由图1可知，盒形件高度 $h=34.2$ mm，短边宽度 $B=122.7$ mm，盒形件相对高度 $h/B=0.278$ ^[5-6]，由极限相对高度 $[h/B]=0.90$ ， $h/B \leq [h/B]$ ，可知一次拉伸成形。

对盒形件圆角部分拉伸系数校核。对低盒形件，由于直边部分对圆角部分变形影响相对较小，圆角部分变形最大，引入圆角处拉伸系数 m 表示式： $m=r/R$ 。式中 r 为零件角部圆角半径(mm)， R 为毛坯圆角部分半径(mm)。由 $m=r/R=0.45$ ^[7]，而圆角处极限拉伸系数 $[m]=0.36$ ，由 $m > [m]$ ，可知零件能够一次拉伸成形。

1.3 毛坯尺寸计算

按照盒形件毛坯设计原则：在毛坯面积与工件面积相等的前提下，尽可能满足材料分配，获得口部平齐的拉伸件，这样有助于降低盒形件拉伸时的不均匀变形，并有利于减少材料的浪费，提高盒形件成形极限。实际情况下，毛坯形状的确比较困难，原因在于盒形件拉伸时，处于圆角部位的材料部分被拉向直壁，其体积受材料性能、零件形状尺寸、凸凹模圆角半径及其间隙、模具结构等因素的影响而发生变化，尚不能用计算的方法精确地确定出毛坯形状和尺寸。

该零件属于低盒形件且有翻边，按照低盒形件拉伸毛坯展开计算方法作出近似计算，通过拉伸试验加以修正，最后确定正确的毛坯形状和尺寸。根据简易计算方法计算展开料^[8-9]： $L_1=B+1.6H \approx 178$ mm； $L_2=A+1.6H \approx 261$ mm。计算零件展开料结果见图3。

1.4 压边圈的选用

在拉伸过程中，如果板料的相对厚度 t/D (t 为材料厚度， D 为毛坯最大直径)较小，变形程度较大，在凸缘变形区容易起皱。采用压边装置对板料

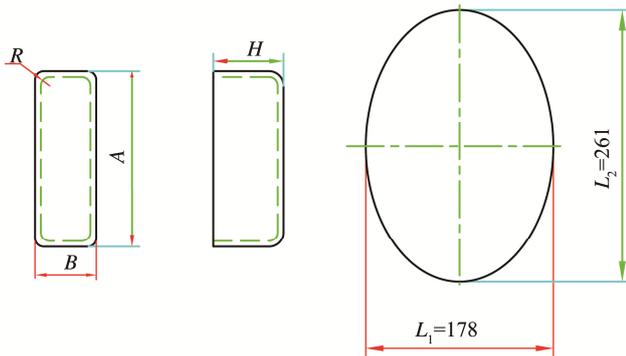


图3 盒形件展开料

Fig.3 Unfolding material of rectangular box

施加压力,使材料在变形区一直保持平整,凹模的几何形状对起皱也有较大的影响。压边装置的作用就是在凸缘变形区施加轴向(材料厚度方向)压力,防止起皱。

准确的判断起皱与否,是一个相当复杂的问题,在实际生产中判断是否采用压边圈需要根据毛坯的相对厚度 t/D 确定,压边圈选择的条件见表1,表中 m_1 为首次极限拉伸系数; t/d_{n-1} 为以后各次毛坯相对厚度; m_n 为以后各次极限拉伸系数。

表1 压边圈选择的条件

Table 1 Conditions for selection of blank holder

拉伸方法	首次拉伸		以后各次拉伸	
	t/D	m_1	t/d_{n-1}	m_n
用压边圈	<1.5	<0.6	<1	<0.8
可用压边圈	$1.5 \sim 2.0$	0.6	$1 \sim 1.5$	0.8
不用压边圈	>2.0	>0.6	>1.5	>0.8

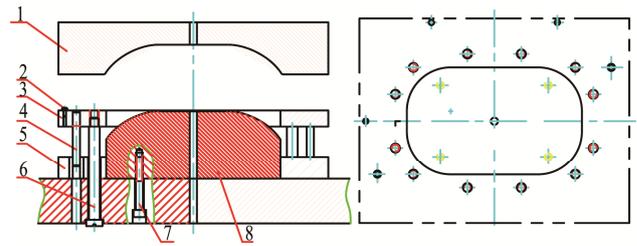
此零件材料厚度 $t=0.8$ mm, 毛坯直径 $D=261$ mm, 计算 $t/D=0.3 < 1.5$, $m_1=r_1/R_1=0.38 < 0.6$, 依表1得出需采用压边圈,另由于此零件本身有翻边,所以必须采用压边圈。

1.5 模具结构设计

零件成形工序包括落料、拉伸成形、冲孔3道工序,文中重点介绍拉伸模具结构设计。拉伸模具结构见图4,模架选用受力均匀的中间导柱式,上、下模座采用强韧性好的45#钢。凸模固定于下模座,材料选用CrWMn,凸模外装有刚性好的压边圈,两者采用滑动配合H8/f7,保证压边圈上、下精确定位。拉伸完成后压边圈起卸料作用。

1.6 确定模具主要参数

由于此盒形件为一次拉伸完成,因而模具内腔



1.凹模 2.挡料销 3.卸料板(压边圈) 4.圆柱销 5.固定板
6.卸料螺钉 7.螺钉 8.凸模

图4 拉伸模具结构

Fig.4 The structure of drawing die

尺寸、凹模圆角半径的控制是关键。凹模型腔尺寸决定了盒形件成形精度,故其尺寸、公差应按零件要求来确定;凹模圆角半径对拉伸过程也有较大的影响^[10],当凹模圆角半径过小时,板料在经过凹模圆角部位时,变形阻力和摩擦阻力及通过模具间隙的阻力均增大,会引起拉伸力增大和模具磨损加剧,严重时导致拉裂现象产生;当凹模圆角半径过大时,压边圈下被压的毛坯面积减少,悬空段增加,压边力减少,导致起皱,因此必须通过精确计算以确定模具内腔尺寸及凹模圆角半径。

1.6.1 确定凹模型腔尺寸

由于拉伸件对外形尺寸有一定的要求,所以模具设计以凹模为准,间隙取在凸模上。准确计算凹模型腔尺寸,对零件成形精度至关重要。拉伸件外形见图5。

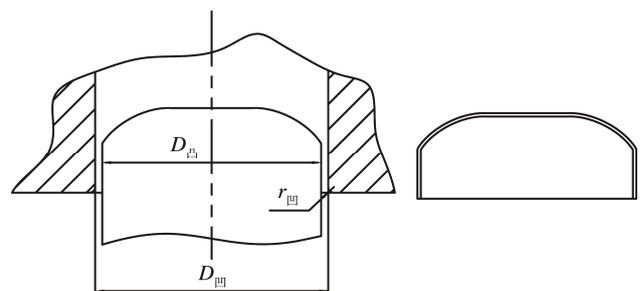


图5 拉伸件外形

Fig.5 The outline of drawing part

分析该零件成形特点,凹模内径为^[11]:

$$D_{凹} = (D_0 - 0.75\Delta)_0^{\delta_{凹}}$$

式中: $t=0.8$ mm; 板料正偏差 $\Delta=0.07$ mm; 凹模制造公差 $\delta_{凹}=0.08$ mm; 工件外形尺寸为 $D_0=206$ mm; 则 $D_{凹}=205.95_0^{+0.08}$ mm。

1.6.2 确定凹模圆角半径

分析该零件的成形特点,根据冲压模具设计手册^[12],凹模圆角半径计算公式: $r_{凹} =$

$0.8\sqrt{(D-D_{\text{凹}})}t$ ，根据毛坯直径 $D=261\text{ mm}$ ，凹模内径 $D_{\text{凹}}=205.95\text{ mm}$ ，材料厚度 $t=0.8\text{ mm}$ ，计算得到凹模圆角半径 $r_{\text{凹}}$ 为 5.3 mm 。

由于毛坯的相对厚度小，若凹模圆角半径过大，在拉伸初始阶段不与模具表面接触的毛坯宽度加大，因而这部分毛坯很容易起皱。在拉伸后期，过大的凹模圆角半径会使毛坯外边缘过早脱离压边圈的作用而起皱，初选凹模圆角半径为 $r_{\text{凹}}=5\text{ mm}$ 。

2 设备的选择

设备的选择主要取决于拉伸力和压边力的大小。合理选择设备对是否能使零件顺利成形至关重要。当设备功率选择过小时，零件无法成形甚至会损坏设备；当设备功率选择过大时，又会对设备及生产效率造成浪费。

2.1 拉伸力计算

拉伸力的确定依据是危险断面处的拉应力不能超过材料的破坏应力。由于影响因素比较复杂，在实际生产中，常采用经验公式进行确定。拉伸力的经验公式为：

$$p=K \cdot L \cdot t \cdot \sigma_b$$

式中： K 为修正系数； L 为横截面的周长； t 为材料厚度； σ_b 为材料的极限强度；其中修正系数 K 可取 $0.5 \sim 1$ 。由于零件采用的是不锈钢材料，具有屈服点高，硬度高，冷作硬化效应等特点，故取 $K=1.00$ ， $t=0.8\text{ mm}$ ，查标准可得 $\sigma_b=560\text{ N/mm}^2$ ，横截面及相关尺寸见图 6，由图 6 易得其周长为 550.2 mm ，带入数据可计算出拉伸力 p 为 246.5 kN 。

2.2 压边力计算

压边力也是确定选择设备的主要参数之一。压边力计算公式^[13]： $Q=F \cdot q$ ， F 为在压边圈下的毛坯面积； q 为单位压边力。不锈钢的单位压边力 $q=3.0 \sim 4.5\text{ N/mm}^2$ ，由于材料为 $1\text{Cr}18\text{Ni}9\text{-R}$ ，拉伸性能较好，所以选 $q=3.0\text{ N/mm}^2$ 。压边圈面积见图 7 的阴影部分，由图 7 可知阴影面积为：

$$F=\pi ab-(a_1 b_1+2a_2 b_2+\pi R^2)=3124171.42\text{ mm}^2$$

故压边力 Q 为 372.5 kN 。

2.3 确定设备

当拉伸行程较大时^[14]，不能简单地将拉伸力与

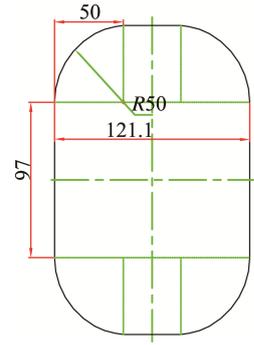


图 6 横截面积

Fig.6 Cross sectional area

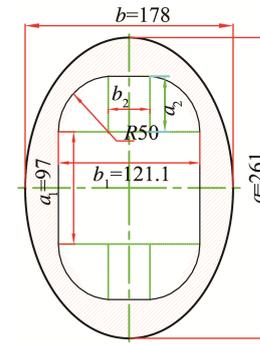


图 7 压边圈面积

Fig.7 The area of blank holder

压边力叠加来选择设备，设备的标称压力是指在接近下死点时的设备压力，因此，应该注意设备的压力曲线。如果不注意压力曲线，很可能由于过早地出现最大冲击力而使设备超载损坏。在实际生产中设备的公称压力计算公式为：

$$p_{\text{机}} \geq 1.8(p+Q)$$

式中： p 为拉伸力； Q 为压边力。根据以上可得： $\Sigma p=p+Q=619\text{ kN}$ ， $p_{\text{机}} \geq 1.8(p+Q)=1114.2\text{ kN}$ 。

可得此零件要求设备最小公称压力为 1114.2 kN ，中航工业庆安集团有限公司现有 $\text{YA}32\text{-}200$ 型号四柱万能液压机公称压力为 2000 kN ，其性能能保证该零件拉伸时拉伸力和压边力的要求。

3 拉伸过程中出现的问题及防止措施

拉伸过程中，毛坯法兰在切向压应力作用下，可能产生塑性失稳而起皱的现象，甚至使毛坯料不能通过凸、凹模间隙而拉断，轻微起皱的毛坯虽可以通过间隙，但会在筒壁上留下皱痕^[15]，影响零件的表面质量。

在增加材料的流畅性、减小最小圆角半径和保证压边力均匀的前提下，提出以下改进措施：① 修

整加大凸、凹模间隙到材料厚度的 1.05 ~ 1.15 倍,并用塞尺仔细检查,保证间隙均匀;②用油石修整压边圈和凹模模口,使表面粗糙度值小于 0.8 μm ;③安装模具时要注意保证位置准确到位,特别是防止出现歪斜情况;④选择适宜的润滑剂或涂覆剂的首要就是在板料拉伸成形过程中润滑膜自始至终不发生破裂并且起润滑作用。目前使用的各种拉伸油,性质差别很大,主要是粘度和挤压抗磨性能,特别是粘度,粘度大小有的相差 20 倍以上。传统使用的干膜类润滑剂主要成分是高分子化合物,如硝基清漆、氯乙烯漆等,具有柔软塑性好的特点,但存在涂覆后要晾干,拉伸后不易清除和污染环境等问题。实践中自行配制的 2 种液体类润滑剂达到了很好的效果:一种是以机油加一定比例的石墨、二硫化钼粉;另一种是以水基高分子润滑液加一定比例的二硫化钼粉,其中主要润滑物质二硫化钼粉具有耐压、耐高温、化学性质稳定等特点,使用中同时也具备操作简单容易清除的优点。

4 结论

1) 以典型盒形件为例,分析了不锈钢盒形件在拉伸过程中的变形特点,并对盒形件毛坯尺寸、工艺参数的计算方法进行了重点介绍,为模具制造提供理论依据,能够大大节约模具制造费用及缩短生产周期。

2) 介绍了在不锈钢拉伸过程中避免零件表面划痕的措施,减少了抛光工序,节约大量劳动力。经实践检验,能较好地满足盒形件的形状、尺寸精度、表面质量的要求。

3) 采用此工艺相比机械加工可节省原材料,提高生产加工效率,对类似零件工艺分析有一定的指导作用。

参考文献:

- [1] 古英,潘启平,丁宇涛. 钣金成形工艺[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2011:161—180.
GU Ying, PAN Qi-ping, DING Yu-tao. Sheet Metal Forming Process[M]. Beijing: Beihang University Press, 2011: 161—180.
- [2] 杨占尧. 冲压成形工艺与模具设计[M]. 航空工业出版社,2012:4—8.
YANG Zhan-yao. The Stamping Technology and Die Design[M]. Aviation Industry Press, 2012: 4—8.
- [3] 余年生. 深盒形件液压拉伸成形工艺研究[J]. 模具工业, 2008, 34(1): 20—24.
YU Nian-sheng. Deep Study on Hydraulic Stretch Forming Process Box[J]. Mould Industry, 2008, 34(1): 20—24.
- [4] LEE C H, HUH H. Blank Design and Strain Prediction of Automobile Stamping Parts by an Inverse Finite Element Approach[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1997, 63(1): 645—650.
- [5] 徐洪民,赵振铎. 不锈钢薄板拉伸、冲压成形性能的试验研究[J]. 金属成形工艺, 2003, 21(2): 23—26.
XU Hong-min, Zhao Zhen-duo. The Experimental Research on Stainless Steel Sheet Metal Stamping Metal Forming Technology, 2003, 21(2): 23—26.
- [6] CHUNG K, BARLAT F. Blank Shape Design for a Planar Anisotropic Sheet Based on Ideal Forming Design Theory and FEM Analysis[J]. International Journal of Mechanical Sciences, 1997, 39(1): 105—120.
- [7] 齐卫东. 简明冲压模具设计手册[M]. 北京:北京理工大学出版社,2010.
QI Wei-dong. Concise Tamping Die Design Handbook[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2010.
- [8] 丁明明,施于庆. 浅盒形板壳件毛坯展开的算法研究[J]. 锻压技术, 2009, 34(1): 32—35.
DING Ming-ming, SHI Yu-qing. Light Box Plate and Shell Pieces of Hair Embryo Research on Algorithm[J]. Forging & Stamping Technology, 2009, 34(1): 32—35.
- [9] 陈吉清,兰凤崇. 冲压成形件毛坯设计的曲面展开截面剖分算法[J]. 中国机械工程, 2007, 18(4): 461—465.
CHEN Ji-qing, LAN Feng-chong. Stamping Pieces of Hair Embryo Curved Surface Flattening Section Algorithm Design[J]. China Mechanical Engineering, 2007, 18(4): 461—465.
- [10] 张学兵. 凸起成形的底部压缩拉伸法研究[J]. 热加工工艺, 2009, 38(23): 148—151.
ZHANG Xue-bing. Bulge Forming of Compression at the Bottom of the Drawing Method of Research[J]. Hot Working Technology, 2009, 38(23): 148—151.
- [11] 郑少梅. 典型盒形件的成形工艺与模具设计[J]. 煤矿机械, 2008, 29(11): 80—82.
ZHENG Shao-mei. Typical Box Parts Forming Technology and Die Design[J]. Coal Mine Machinery, 2008, 29(11): 80—82.
- [12] 姜奎华. 冲压工艺与模具设计[M]. 北京:机械工业出版社,1997:149—159.
JIANG Kui-hua. The Stamping Technology and Die Design[M]. Beijing: China Machine Press, 1997: 149—159.
- [13] 工风琴,赵军,官英平,等. 方盒形件拉伸破裂预测的研究[J]. 塑性工程学报, 2003, 10(6): 19—22.
GONG Feng-qin, Zhao Jun, Guan Ying-ping, et al. Box Shape Parts Deep Drawing Fracture Prediction Research[J]. Shaping Engineering Journal, 2003, 10(6): 19—22.
- [14] 方永光. 浅谈薄板件内凹轮廓拉伸缺陷的改善[J]. 模具制造, 2011(11): 15—16.
FANG Yong-guang. Discuss on Improvement of Defects of Sheet Metal Inner Contour Drawing[J]. Die & Mould Manufacture, 2011(11): 15—16.
- [15] 王春武,贾微,揭钱发. 不锈钢拉伸润滑剂的选用[J]. 模具工业, 1996(4): 48—49.
WANG Chun-wu, JIA Wei, JIE Qian-fa. The Choice of Stainless Steel Plate Drawing Lubricant[J]. Mould Industry, 1996(4): 48—49.