

doi: 10.3969/j.issn.1007-855x.2011.02.009

自由模式下板料拉深成形性能试验研究

赵中华^{1,2}, 徐新成¹, 韦习成²

(1. 上海工程技术大学 工程实训中心, 上海 201620; 2. 上海大学 材料学院, 上海 200444)

摘要: 设计了圆筒形拉深试验模具和伺服压力机的三种自由模式, 分析了自由模式下一个工作行程中完成多道次拉深成形时, 各段次拉深距离下死点位置、速度比例对拉深极限高度的影响, 总结了达到最大拉深高度的参数设置规律. 试验结果表明, 在伺服压力机下, 采用多段工作模式, 最大拉深高度可以提高 20% ~ 30%. 靠近下死点时, 应设置为低速拉深. 试验中, 速度设置为压力机正常速度的 10% ~ 20%, 效果较好.

关键词: 拉深; 自由模式; 最大拉深高度

中图分类号: TG315.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2011)02-0041-05

Testing Study on Metal Blank Deep Drawing Process Under Free Working Patterns

ZHAO Zhong-hua^{1,2}, XU Xin-cheng¹, WEI Xi-cheng²

(1. Engineering Training Center, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620 China;

2. College of Material, Shanghai University, Shanghai 201620, China)

Abstract: An experimental deep drawing die for cylindrical work piece and three free working patterns of servo pressure machine are designed in this paper to analyze the multi-steps deep drawing process during a single slider travel stroke. The influence of the drawing distance to lower dead position and working velocity of machine on maximum drawing height is then investigated. Lastly, the laws of parameter setting to attain maximum deep drawing height are summarized. It is shown through the experiment results that the maximum deep drawing height increases 20% to 30% with multi-stage working mode of servo mechanical press and the deep drawing speed should be set close to the lower dead position. In this experiment, the drawing speed is set 10% to 20% of the ordinary value is available.

Key words: deep drawing; free working pattern; maximum drawing height

0 引言

筒形件拉深是一种典型的冲压工艺, 容易产生起皱、拉裂、凸耳、时效开裂等质量问题, 原因与制件形状、模具参数、冲压条件及材料本身等有关^[1]. 在实际应用中, 重点考虑的是对模具参数的调整、合适的材料选用及改变冲压条件上. 对冲压工艺条件, 目前研究的主要内容有改变润滑和压边力, 对压力机实际冲压工作速度、拉深道次对产品质量的影响研究较少. 有学者研究认为, 板料的变形机理应以压力机实际变形速度为前提, 才能符合生产实际^[2]. 冲压成形速度考虑较少的主要原因是受传统成形设备的影响. 这些压力机能够提供足够的变形所需的力和能量, 但具有固定的工作模式, 其缺点是: 不能随材料种类、材料板厚、材料形状、热处理状态等而做相应的改变. 因此, 冲压成形过程及产品质量控制一般思路是: 针对不同

收稿日期: 2010-11-09. 基金项目: 上海市教育委员会科研创新基金(09YZ368).

作者简介: 赵中华(1970-) 男, 在读博士, 副教授. 主要研究方向: 模具先进制造技术, 模具 CAD/CAM/CAE.

E-mail: zhaohua@sues.edu.cn

工件材料,主要从零件形状、成形工艺性、模具修正等方面进行考虑^[3-5]。

目前,另一种可变工作模式的伺服冲压机正悄然进入冲压成形领域。伺服冲压机可以灵活控制冲压机的滑动动作和速度,其工作模式可自由设定。自由工作模式对冲压成形过程及产品质量控制提供了完全不同的方法和思路,其研究思路是:探索最佳运动阶段和速度变化,减少对零件形状、材料性能、成形工艺性、模具修正的依赖^[6-8]。

对工件进行冲压时,合理的方式是根据工件的材料、厚度、形状等来选择不同的压力机加工曲线。采用不同的传动机构可以近似达到理想的加工曲线,如曲柄压力机、肘杆压力机、连杆压力机等^[9-11]。文献[11]还提到,高强度钢成形性能差,容易产生裂纹和起皱,采用变速拉深可以改善成形性能,成形极限可以提高 20%~30%,并降低废品率。伺服压力机的自由工作模式可以满足压力机变速度及分阶段拉深的目的,从而最大限度地适合工件的材料、形状等特点,提高工艺性。

本文结合机械伺服压力机 H1F60,研究压力机实际速度及冲压阶段变化对奥氏体不锈钢(SUS304)拉深成形最大高度的影响,分析拉深变形规律及提高成形极限高度的方法。

1 研究方法与试验模具设计

1.1 研究方法

拉深工艺受压力机速度、拉深次数的影响较大,一般实际应用中,对拉深工艺的要求有:①滑块的速度不应大于被冲压件材料塑性变形所允许的速度,以防工件破裂。②拉深加工的场合,只要成形时段用低速,就可谋求成形性的提高和防止模具的过度烧灼,从而大幅度提高产品的成形性和模具使用寿命,特别是用于高张力钢板、不锈钢钢板等的情况下,效果明显。

本文结合拉深筒形件变形,设计模具,设置可变自由模式下物理试验方案,即设置滑块运动到下死点的高度位置、目标角、理想的速度大小、最佳的停止时间等工艺参数,进行物理试验。在这些参数中,重点分析滑块距离下死点的高度位置及理想的速度比例大小。从小的工件拉深高度(h)开始,试验不同拉深高度处的拉深道次与压力机分段参数设置,找出拉深成形规律。试验中,拉深高度按 0.5 mm 递增。

1.2 圆筒形拉深试验模具设计

模具符合国家标准“JB4409.3-88 薄钢板冲杯和冲杯荷载试验方法”的规定,试验所使用的模具参数见表 1,H1F60CS 伺服压力机上所设计的模具见图 1。

1.3 压力机滑块下行自由模式的设定

一般对工件进行锻压时,为同时提高锻压加工中产品的质量和生产率,要求滑块既能迅速完成非工作行程,又能慢速成形工件。谢军在[6]中提出了部分锻压工艺理想滑块运动曲线。为了实现这些理想滑块运动曲线,本次试验中采用的自由运动模式有如下三种:

阶段 1: 滑块快速下行,完成高速空行程;

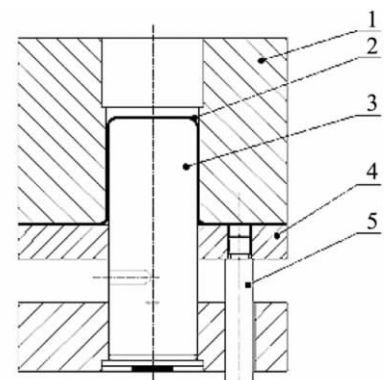
阶段 2: 滑块第一次慢速下行,完成第一次拉深;

阶段 3: 滑块快速上行回程;

表 1 试验模具参数表

Tab.1 The parameter table of experiment mould

适用板厚(t_0)	$t_0 = 0.5 \text{ mm}$
板料材料	SUS304
毛坯初始直径	$\Phi D_0 = 75 \text{ mm}$
凸模直径	$\Phi 32 \text{ mm}$ (外径)
凸模圆角半径	$R = 5 \text{ mm}$
凹模直径	$\Phi 33 \text{ mm}$ (内径)
凹模圆角半径	$R = 5 \text{ mm}$
凸模与凹模单边间隙 c	$c = 0.55 \text{ mm}$
润滑剂	矿物油(93.3°C Redwood70~80s) 90% + 石蜡(含氯 35%) 10%
压边力	必要的最低值 $\times (1.75 \sim 1.5) =$ $10 \text{ kN} \times (1.75 \sim 1.5)$
拉深速度	根据压力机改变



1-凹模; 2-工件; 3-凸模; 4-卸料板(兼压边圈); 5-卸料螺钉

图1 圆筒形拉深模具

Fig.1 Cylindrical deep drawing die

阶段 4: 滑块第二次慢速下行, 完成第二次拉深;

阶段 5: 滑块快速上行回程;

阶段 6: 滑块第三次慢速下行, 完成第三次拉深;

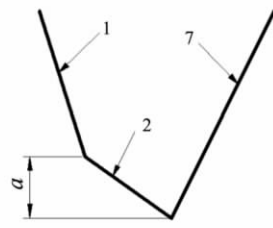
阶段 7: 滑块快速上行回程.

a—第一次拉深位置, 距离下死点的高度, mm;

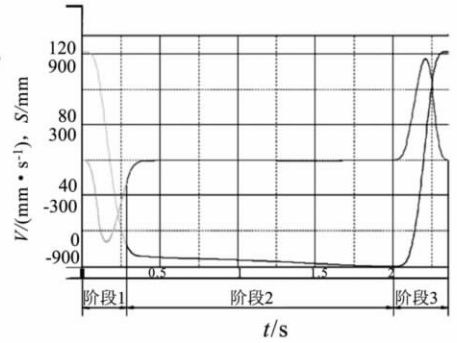
b—第二次拉深位置, 距离下死点的高度, mm;

c—第三次拉深位置, 距离下死点的高度, mm.

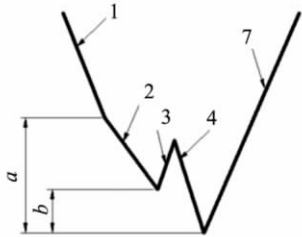
滑块下行、上行空程时可以设定为高速, 从而提高生产率. 由于模式可设定, 可以根据不同的产品形状、材料、精度和要求, 滑块工作行程时以低速运行.



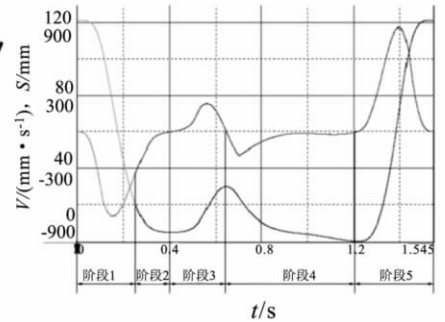
(a1) 单段运动模式



(a2) 单段工作模式下实际速度-位移曲线



(b1) 两段运动模式



(b2) 两段工作模式下实际速度-位移曲线

2 试验过程

2.1 理论上单次拉深的最大高度计算

查 [1] SUS304 拉深系数 $m = 0.44 \times 1.02$ (放大 2%) = 0.448, 计算 $h_1/d_1 = (0.32 \sim 0.38) \times 1.02 = 0.35 \times 1.02 = 0.36$, 计算得出 $h_1 = 11.7$ mm. 即单次拉深的最大高度约为 11.7 mm.

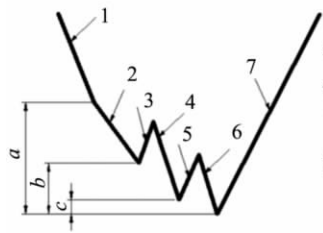
2.2 多道次拉深过程试验

实验时多次拉深的中间不设退火工序, 分析连续的多道次拉深所能达到的最大深度. 试验证明, 分多次拉深可以显著提高极限拉深深度. 为了便于对比分析, 模具中压边装置采用两种结构: 氮气弹簧或橡皮.

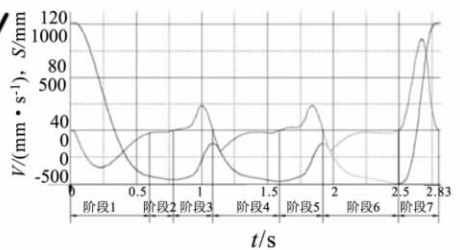
橡皮和氮气弹簧的压边力变化曲线为:

1) 传统模式下多道次成形

传统模式下多道次成形, 分三次分别拉深成形, 即拉深在三个工作行程中分别完成. 分三次单独成形时, 需要分别调整各次拉深时模具的装模高度. 速度和位置模式采用图 2a1) 和 a2) 所示的



(c1) 三段运动模式图



(c2) 三段工作模式下实际速度-位移曲线

图2 试验用工作速度模式

Fig.2 Modes of work speed used by the experiment

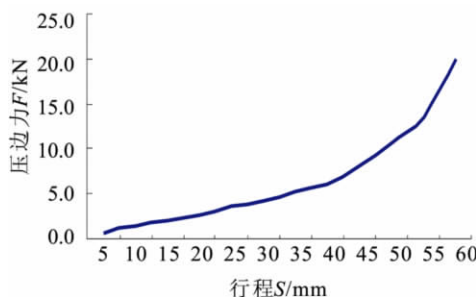


图3 橡皮的行程-压边力变化曲线
Fig.3 The curve of travel-blank holder force of rubber

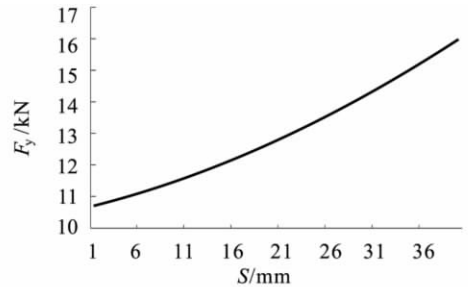


图4 氮气弹簧的行程-压边力变化曲线
Fig.4 The curve of travel-blank holder force of nitrogen-cushion

单段运动模式. 试验结果如表2所示, 压边装置采用橡皮时最大拉深高度为15 mm, 而采用氮气弹簧时最大拉深高度为14 mm.

表2 三次成形试验结果

Tab. 2 The results of three experiments

序号	模具高度 H/mm	拉深高度 H/mm	
		压边装置 采用橡皮	压边装置采用 氮气弹簧
1	283	12	12
2	281.5	13.5	13.5
3	281	14	14
4	279.92	15	×

2) 伺服压力机自由模式下多道次拉深成形, 在一个工作行程中完成

根据上述三次拉深的实际经验, 在伺服压力机下多道次拉深模式一次成形, 工作模式可设置为单段或两段或三段模式, 即: 滑块下行速度采用典型的单段、两段或三段自由模式, 各次速度及距离下死点的位置可以分别设置. 拉深试验结果与上述分别拉深结果相同, 试验参数设置及试验结果见表3.

表3 试验参数设置及试验结果

Tab. 3 Experiment parameters setting and the results

序号	拉深高度 h/mm	试验参数(压力机滑块位置-速度关系)			压边装置	运动模式(段)	试样结果
		$a/\text{mm} - \varphi_B/\%$	$b/\text{mm} - \varphi_B/\%$	$c/\text{mm} - \varphi_B/\%$			
1	11.5	15.0 - 50%			氮气弹簧、橡皮	1	○
2	12	5.0 - 50%	1.0 - 50%		氮气弹簧、橡皮	2	○
3	12.5	5.0 - 50%	1.5 - 50%	×	氮气弹簧	2	×
	12.5	5.0 - 50%	1.5 - 20%	×	氮气弹簧	2	×
	12.5	5.0 - 50%	1.0 - 20%	×	氮气弹簧	2	×
	12.5	5.0 - 50%	1.0 - 20%		橡皮	2	○
4	12.5	4.5 - 50%	2.0 - 20%	0 - 20%	氮气弹簧、橡皮	3	○
	13	4.5 - 50%	2.0 - 20%	0 - 20%	氮气弹簧、橡皮	3	○
5	13.5	4.5 - 50%	2.0 - 20%	0 - 20%	氮气弹簧、橡皮	3	○
	6	14	4.5 - 50%	2.0 - 20%	0 - 20%	氮气弹簧	3
14		4.5 - 20%	2.0 - 20%	0 - 20%	氮气弹簧	3	×
14		4.5 - 20%	2.0 - 20%	0 - 10%	氮气弹簧	3	×
14		4.0 - 20%	1.0 - 20%	0 - 10%	氮气弹簧	3	×
14		3.5 - 20%	1.5 - 20%	0 - 10%	氮气弹簧	3	×
14		4.1 - 20%	1.5 - 20%	0 - 10%	氮气弹簧	3	×
14		4.0 - 10%	1.5 - 10%	0 - 10%	氮气弹簧	3	×
14		4.5 - 20%	2.0 - 20%	0 - 10%	橡皮	3	○
7	14.5	4.5 - 20%	2.0 - 20%	0 - 10%	橡皮	3	○
8	15	3.0 - 10%	1.5 - 10%	0 - 10%	橡皮	3	○
9	15.5	3.0 - 10%	1.5 - 10%	0 - 10%	橡皮	3	×

注: 上表中 ○ - 表示试样完好, × - 表示试样破裂. 表中间的 × 代表破裂发生的位置(段处).

2.3 试验结果分析

试验结果表明:

1) 对于难成形材料的拉深成形, 利用伺服压力机的自由工作模式, 可设置为多段工作模式, 采用分步成形法进行拉深. 在做浅拉深时, 可采用一段成形或两段成形模式进行拉深. 深拉深时, 压力机工作模式选为三段模式是合理的. 三段模式中包括中途回程, 避免一直向下拉深, 结果较好, 不易产生破裂.

2) 在没有退火工序的多道次拉深中, 由于前道次拉深引起的加工硬化的影响, 第一次拉深应尽量多, 即距离下死点距离小. 后道次拉深时, 由于受加工硬化的影响, 每次拉深高度值均较小. 每次具体拉深的高度与材料本身的性能有关系.

3) 靠近下死点时, 低速度拉深有利于工件的成形. 试验中采用降速方式达到, 降低后的速度是最大速度的10%~20%, 效果较好.

4) 一段成形用于拉深高度小于计算出的一次拉深极限高度的情况. 两段成形拉深高度计算: 第一次最大拉深高度接近单次拉深最大高度 h (例如本例中 $h = 11.7 \text{ mm}$), 可设置为 $h - (0.5 \sim 1) \text{ mm}$, 第二次拉深行程 $2 \sim 2.5 \text{ mm}$. 即总体拉深高度:

$$H = h - (0.5 \sim 1) + (1.5 \sim 2) = h + (0.5 \sim 1.5) \text{ mm}$$

对于本例, 两段成形可拉深极限高度约为 $H = 12 \sim 12.5 \text{ mm}$ (计算值为 $12.2 \sim 13.2 \text{ mm}$).

三段拉深时, 第一次最大拉深高度接近 h , 可设置为 $h - (0.5 \sim 1.5) \text{ mm}$, 第二次拉深行程 $2 \sim 2.5 \text{ mm}$, 第三次拉深距离下死点高度 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$ (即第三次拉深高度为 $1 \sim 1.5 \text{ mm}$) 则最大可拉深高度为:

$$H = h - (0.5 \sim 1.5) + (2 \sim 2.5) + (1 \sim 1.5) = h + (1.5 \sim 3.5)$$

对于本例, 可拉深极限高度 $H = 14 \sim 15 \text{ mm}$ (计算值为 $13.2 \sim 15.2 \text{ mm}$).

5) 采用不同的压边装置, 拉深的结果也不同. 采用橡皮做压边装置时, 最大拉深高度 15 mm ; 采用氮气弹簧拉深高度降低为 14 mm . 这可能与氮气弹簧在第一阶段、第二阶段成形时压边力较大有关, 较大的压边力导致毛坯与凹模平面及压边圈表面之间有更大的摩擦力, 从而增加了危险截面的拉应力, 最终导致拉裂或严重变薄.

3 结论

判断零件能否顺利拉深成形, 有两个重要的参数指标, 一是极限拉深系数, 二是最大拉深高度. 本文探讨了拉深道次和拉深速度对材料极限拉深高度的影响.

试验结果表明, 多道次拉深能提高工件的最大拉深高度. 在伺服压力机下, 采用多段工作模式, 合理设置参数, 在一副模具中可以达到多道次拉深的效果, 因而可提高工件的最大拉深高度. 而在曲柄压力机等传统模式下, 多道次拉深则需要设计多副模具, 成本较高.

生产经验表明, 多道次成形时成形极限可以提高 $20\% \sim 30\%$. 采用本文的试验模具, 在伺服压力机下, 工件从传统模式下的单次拉深最大高度提高了 19.7% (氮气弹簧作压边装置) 和 28.2% (橡皮作压边装置), 与经验值相符合.

拉深速度对工件的最大拉深高度也有较大影响. 靠近下死点时, 低速度拉深有利于工件的成形. 试验中, 滑块到下死点时速度设置为压力机最大速度的 $10\% \sim 20\%$, 效果较好.

参考文献:

- [1] 杨玉英. 实用冲压工艺及模具设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2005: 468 - 472.
- [2] 赵振铎. 实用冲裁技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 42 - 66.
- [3] 谢晖, 周军, 钟志华. 薄板冲压成型过程计算机仿真中板料起皱的预测[J]. 计算机仿真, 2001(6): 56 - 59.
- [4] 崔令江, 杨玉英, 李硕本. 薄板冲压成形中剪应力起皱的试验研究[J]. 锻压技术, 2002, 2: 27 - 30.
- [5] 但文蛟, 王耘, 胡树根, 等. 板料成形 CAE 技术[J]. 模具技术, 2002, 3: 37 - 40.
- [6] 谢军. 交流伺服电机驱动机械压力机的发展[J]. 冶金丛刊, 2007, 6: 46 - 50.
- [7] Miyoshi K1 Current Trends in Free Motion Presses[EB/OL]. <http://www.komatsupress.com/Uploads/>.
- [8] Min Wan, Yu - Ying Yang, Shuo - Ben Li. Determination of the limiting drawing coefficient in the deep drawing of conical cups, Journal of materials processing technology. 2001, 114: 114 - 117.
- [9] 莫健华, 郑加坤, 古闾伸裕, 吕言. 伺服压力机的发展现状及其应用[J]. 锻压装备与制造技术, 2007(5).
- [10] 王玉山. 伺服机械压力机发展状况[J]. 锻压装备与制造技术, 2010(1).
- [11] 孙友松. 交流伺服压力机及其关键技术[J]. 锻压技术, 2008, 33(4): 1 - 8.
- [12] 王博. 压力机运动模式对冲压成形产品质量影响的研究[J]. 热加工工艺, 2010(17).