多台阶深筒形件成形工艺设计及仿真

张金鹏，陈文琳，周煜辰，周瑞，杨栋
（合肥工业大学 材料科学与工程学院，合肥 230009）

摘要：根据塑性成形理论分析、计算确定某电器产品的阶梯圆筒件成形工艺，并建立有限元模型，实现多道次拉深过程的仿真。最后对仿真结果进行分析和试验验证。

关键词：阶梯筒形件；拉深；工艺设计；仿真
DOI：10.3969/j.issn.1674-6457.2013.04.008
中图分类号：TG386.3+2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674-6457(2013)04-0031-04

The Forming Process Designing and Simulation of Multi-step Deep Cylindrical Part

ZHANG Jin-peng, *CHEN Wen-lin*, *ZHOU Yu-chen*, *ZHOU Rui*, *YANG Dong*
(School of Material Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

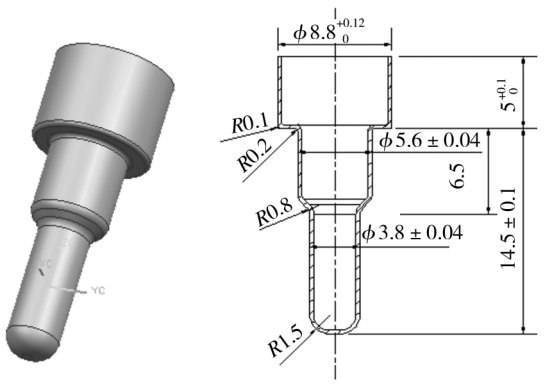
Abstract: This paper calculates and determines the forming process of the stepped cylindrical piece of an electrical product based on the theoretical analysis of plastic forming. Then this paper implements the simulation of deep drawing process using the finite element model of multi-channel. Finally, it give the analysis with the results of simulation and experimental verification.

Key words: stepped cylindrical part; drawing; process design; simulation

对多台阶深筒形拉深件，工艺设计存在很多不确定性。特别是当前市场新材料不断涌现的情况下，用传统的设计方法和工艺计算确定工艺需要多次试模，时间长，成本高。多次拉深成形有特殊的变形规律和相应的成形工艺[1]，运用有限元分析软件仿真板料成形过程，可获得金属的流动状况，验证工艺的可行性。文献中以单道次成形的数值模拟较多[2]。文中以某电器产品的阶梯圆筒件为研究对象，通过对板料性能分析、计算和对材料多次成形后性能的分析研究，实现了多道次拉深过程的仿真，验证工艺计算，最终得到合格的产品。

1 工艺计算

某电器构件上的安装外壳件为多台阶筒形件，如图1所示。材料为H68，有3个阶梯，料厚为0.3 mm，最大高径比为2∶1，对零件的尺寸精度要求高，大批量生产。



a 零件三维图　　b 零件尺寸

图1 阶梯圆筒件

Fig. 1 The multi-step deep cylindrical part

收稿日期：2013-02-09
作者简介：张金鹏(1989-)，女，安徽安庆人，在读研究生，主要从事金属塑性成形方面的研究。

根据图 1 中尺寸计算,零件的总高度和最小阶梯筒部直径之比大于相应筒形件第 1 次拉深所允许的相对高度。由文献[3]可知,该零件不能一次拉深成形,需进行多次拉深。

由文献[4]查出厚度为 0.3 mm,直径为 ϕ24 mm 的毛坯的首次拉深系数 m_1 为 0.5 ~ 0.52,后续拉深系数 m_n 为 0.68 ~ 0.72。图 1b 中,$d_1 = 8.8$ mm,$d_2 = 5.6$ mm,$d_3 = 3.8$ mm,计算 $d_2/d_1 < 0.68$,$d_3/d_2 = 0.68$。根据阶梯圆筒件的拉深方法[3],先拉深直径为 ϕ5.6 mm 的阶梯圆筒,再拉深直径为 ϕ8.6 mm 的阶梯圆筒,最后拉深直径为 ϕ3.8 mm 的阶梯圆筒。

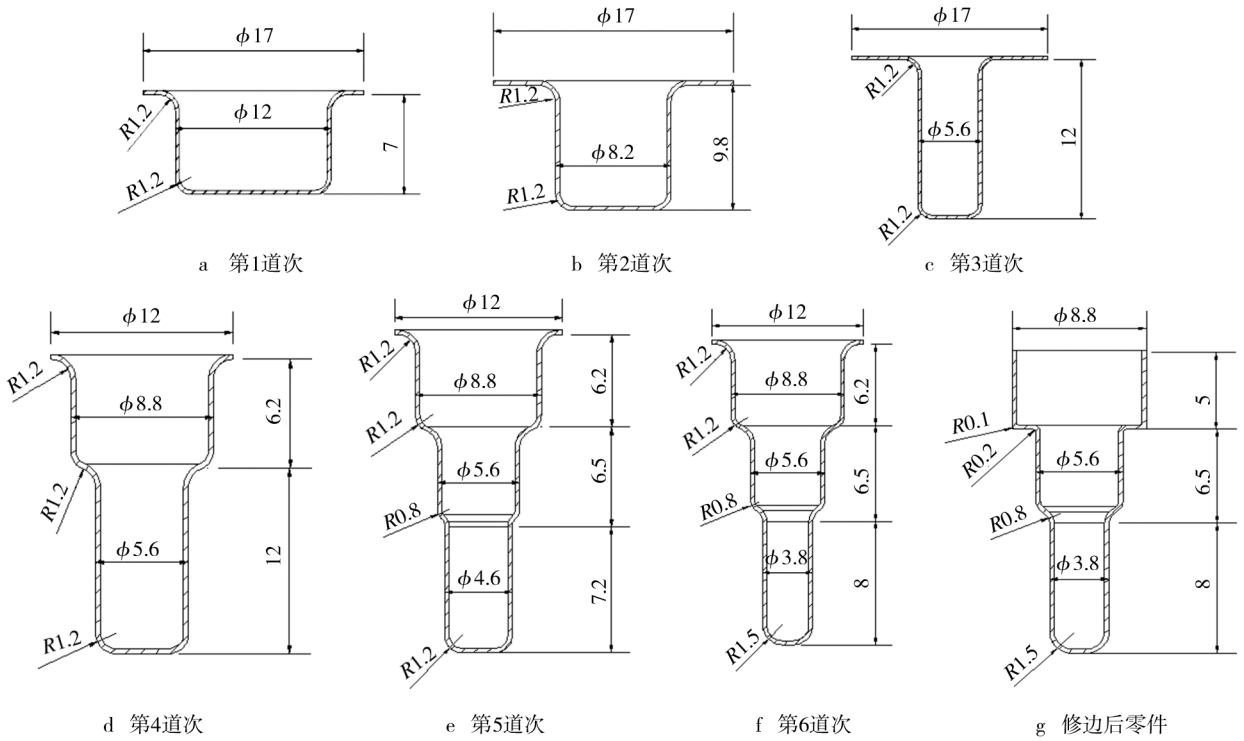
依据文献[1],$h/d = 0.57$,知修边余量为 $\Delta h' = 1$ mm,但是零件厚度小于 0.5 mm,所以 $\Delta h = (1 + 30\%)\Delta h = 1.3$ mm。毛坯展开面积 $A = 436$ mm^2,根据 $D = \sqrt{\frac{4}{\pi}A}$ 得到工件毛坯尺寸为 ϕ24 mm。

1) 直径为 ϕ5.6 mm 的阶梯圆筒拉深。计算得到凸缘直径 $d_p = 17$ mm,凸缘直径在以后的几次拉深中保持不变。按有凸缘圆筒形零件的拉深计算,梯成形至少进行 3 次拉深。上凸缘圆角及下凸缘圆角选择 4 倍的料厚,以便初始拉深时材料能充分流入筒部。取 3 次拉深系数 $m_1 = 0.5$,$m_2 = m_3 = 0.68$,拉深直径分别为 ϕ12 mm,ϕ8.2 mm,ϕ5.6 mm,拉深深度分别为 7,9.8,12 mm。各次拉深的半成品尺寸如图 2a—c 所示。

2) 直径为 ϕ8.8 mm 的阶梯圆筒拉深。按无凸缘圆筒形零件的拉深计算,此阶梯成形只需 1 次拉深。半成品高度 $h_n = 6.2$ mm。圆角等尺寸如图 2d 所示。

3) 直径为 ϕ3.8 mm 的阶梯圆筒拉深。在直径为 ϕ5.6 mm 的圆筒基础上,按无凸缘圆筒形零件的拉深计算方法,此阶梯成形至少需 2 次拉深。取 2 次拉深直径分别为 ϕ4.8 mm 和 ϕ3.8 mm,计算得到第 1 次拉深的深度为 7.2 mm,第 2 次拉深的深度为 8 mm,各次拉深的半成品尺寸如图 2e 和 f 所示。

4) 最后整形修边工序,将圆角半径整形至工件尺寸,并将余量切除。拉深零件尺寸如图 2g 所示。整个工序如图 2 所示。



a 第1道次　b 第2道次　c 第3道次

d 第4道次　e 第5道次　f 第6道次　g 修边后零件

图 2 每道工序的零件尺寸

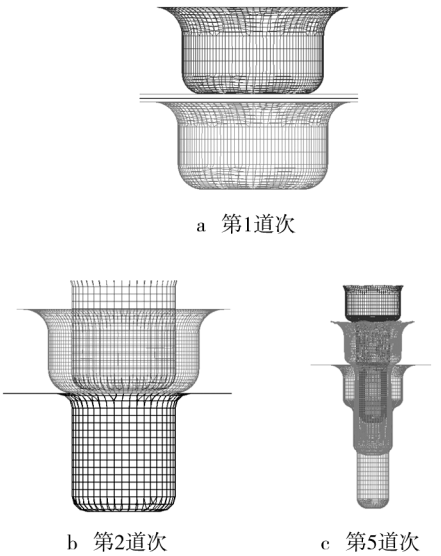
Fig. 2 Deformed shape and dimension of every forming stage

2　数值模拟

由于计算中存在着一定的经验估算,按上述的拉深工序设计模具是否能保证成功还不得而知[5]。文中基于 Dynaform 的有限元模拟,对上述拉深工序进行仿真,发现和纠正设计阶段存在的问题,保证设计方案合理,并保证一次拉深成功。

2.1　有限元模型建立

材料性能参数见表 1。板料网格采用自适应网格(Adaptive Mesh)的网格划分方法,完成 CAE 前处理后的冲压件的有限元分析模型如图 3 所示。前一道拉深后的半成品件为后一道拉深成形的坯料,通过设置,保证板料在不同工序之间的继承性,从而达到仿真的真实性。



a　第1道次

b　第2道次　　c　第5道次

图 3　有限元模型

Fig. 3 The FEM model of deep drawing

表 1　材料性能参数

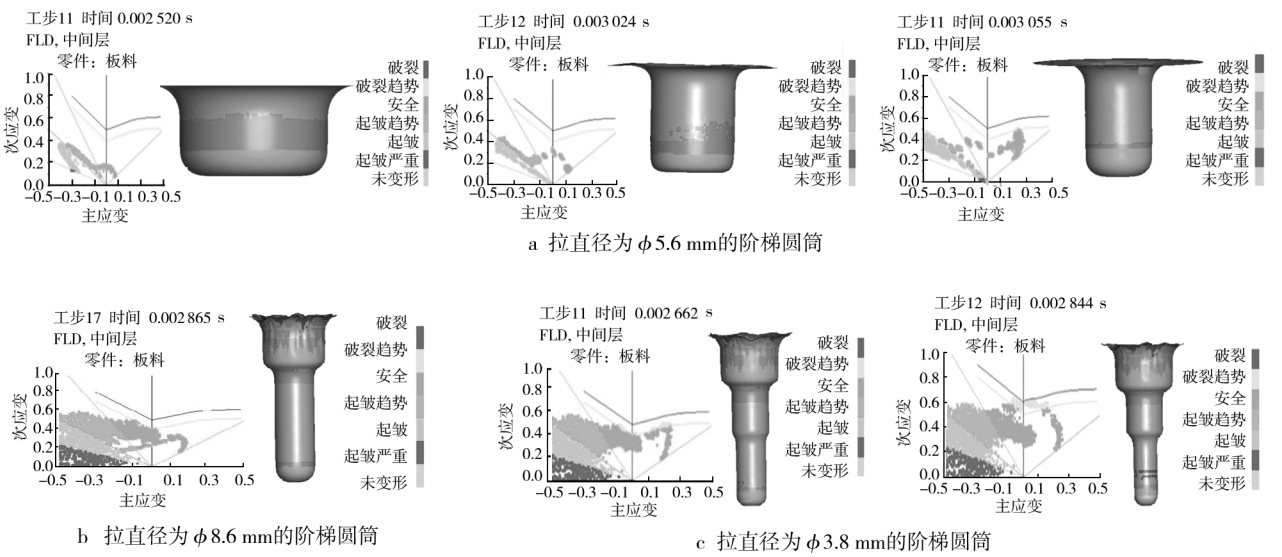
Table 1 Property parameters of materials

材料	E/GPa	K	n	δ/%	σ_s/MPa	σ_b/MPa	r	Δr
H68	25.95	288.49	0.42	74.1	26.26	231.66	0.94	0.02

2.2　模拟结果分析

多台阶深筒形件多次拉深成形极限如图 4 所示。可以看出,零件各处变形均在成形极限安全区内,成形效果好,验证了上述理论计算的可行性。

第 3 道次、第 5 道次、第 6 道次成形厚度变化情况如图 5 所示。由塑性成形原理理论可知,第 3 道工序相对其他道次拉深来说,难度较大、金属流动复



a　拉直径为 ϕ5.6 mm的阶梯圆筒

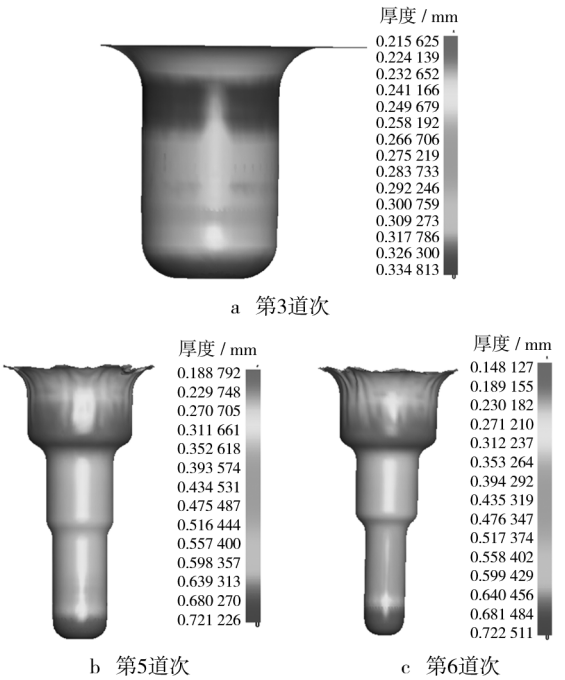
b　拉直径为 ϕ8.6 mm的阶梯圆筒

c　拉直径为 ϕ3.8 mm的阶梯圆筒

图 4　数值模拟结果及 FLD 图

Fig. 4 The simulation result and FLD for deep drawing

杂,厚度比较难以控制。从图 5a 可见,第 3 道次半成品件的料厚变化在最初毛坯的-30% ~10% 之间,金属流动合理;相对直径为 ϕ8.8 mm 和 ϕ5.6 mm 阶梯圆筒的拉深,直径为 ϕ3.8 mm 阶梯圆筒拉深时金属补给难度大,较易产生减薄甚至拉裂。如图 5b,c 所示,第 5 道次最薄壁厚为 0.215 mm,料厚减薄率为 14%,第 6 道次最薄壁厚为 0.188 mm,料厚减薄率为 21%。由文献[1]可知,金属板料拉深减薄率在 30% 以内,都能满足实际生产零件的尺寸要求。



a 第3道次

b 第5道次

c 第6道次

图 5 厚度变化

Fig. 5 The thickness distribution of deep drawing

3 试验验证

模拟结果验证了以上多道次拉深工艺的可行性,结合实际生产,拉深出的零件成品与模拟结果一致,零件如图 6 所示。

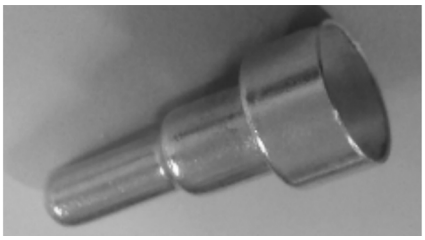


图 6 阶梯筒形零件

Fig. 6 The multi-step deep cylindrical part

4 结语

1) 通过理论计算确定该多台阶深筒形件拉深成形工艺:首先拉深中间阶梯圆筒,然后拉深最大直径阶梯圆筒,最后拉深最小直径阶梯圆筒。

2) 通过对多台阶深筒形拉深件进行模拟仿真,分析拉深成形工艺过程,得到最终零件的最大减薄率为 21%,在允许范围之内。

3) 多台阶深筒形件拉深实验结果与模拟结果吻合良好,验证了所设计工艺的可行性和有限元仿真对多台阶深筒形件拉深成形过程模拟的可靠性,缩短了生产周期和降低了生产成本。

参考文献:

[1] 喻祖建. 板料多次拉深过程数值模拟分析[D]. 重庆:重庆大学,2005.

[2] 安家菊. 宽凸缘筒形件拉深工艺及模具设计[J]. 热加工工艺,2011,40(1):182-184.

[3] 高锦张,陈文琳,贾俐俐. 塑性成形工艺与模具设计[M]. 北京:机械工业出版社,2008:115-123.

[4] 王孝培. 冲压手册[K]. 北京:机械工业出版社,1990.

[5] 王艳辉,伍建国. 多次冲压工序的数值模拟研究[J]. 机械设计与制造,2006(10):159-161.

(上接第 30 页)

[11] 李剑峰. 机电系统联合仿真与集成优化案例解析[M],北京:电子工业出版社,2010:11-12.

[12] 马明兴. 快速热循环注塑模具设计方法与优化研究[D]. 济南:山东大学,2009:73-75.

[13] FANN K J, HSIAO P Y. Optimization of Loading Conditions for Tube Hydroforming[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 140:520-524.

[14] AUE-U-LAN Y, NGAILE G, ALTAN T. Optimizing Tube Hydroforming Using Process Simulation and Experimental Verification[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2004, 146:137-143.