

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2016.02.012

# 基于 ANSYS LS-DYNA 的连续正反拉深成形有限元模拟研究

孙佳楠, 吕永锋, 范建蓓

(浙江机电职业技术学院 机械工程学院, 浙江 杭州 310053)

**摘要:**针对采用有限元模拟方法对连续拉深成形模拟过程中,“后续模拟过程不能继承上一步模拟结果,每次模拟均为独立流程,与连续拉深成形实际过程不符”的问题,对有限元连续拉深模拟过程、参数设置、前后处理等方面进行了研究,提出了基于 ANSYS LS-DYNA 的连续正反拉深的成形模拟方法和分析流程,通过采用 APDL 语句控制分析过程及相关参数设置,做到了参数化和通用化。提出并总结了模拟连续成形的技术关键点(该方法可应用于连续冲压成形有限元数值模拟,使连续成形可继承前步模拟结果),并在此基础上进行了后续的反拉深成形有限元模拟分析,做到了分析模拟的连续性。基于这种方法对典型正反拉深筒形制件进行了成形模拟。研究结果表明,该数值分析思路和方法可以实现多次连续冲压成形分析模拟,结果与实际情况较为符合。

**关键词:**正反拉深;连续成形;数值模拟;ANSYS LS-DYNA;APDL

中图分类号:TH166

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2016)02-0183-04

## Forming simulation and analysis of continuous positive and negative drawing based on ANSYS LS-DYNA

SUN Jia-nan, LV Yong-feng, FAN Jian-bei

(Department of Mechanical Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

**Abstract:** Aiming at the problems that the subsequent simulation process can not inherit the previous step simulation results and each simulation processes are independent which do not match the actual problem during finite element modeling method for continuous simulation deep drawing process, a continuous positive and negative drawing forming process simulation and analysis based on ANSYS LS-DYNA was proposed based on the study of the finite continuous deep drawing process, parameter setting and treatment before and after processing. Using APDL statement controlled the analysis process and related parameters, the parameterization and generalizing were done. The key technical points of simulating continuous forming was summarized, which could be applied to finite element numerical simulation of continuous stamping. Numerical results show that the numerical analysis idea could achieve multiple consecutive stamping simulation analysis, whose results were more in line with the actual situation.

**Key words:** reverse drawing; continuous forming; numerical simulation; ANSYS LS-DYNA; APDL

## 0 引 言

拉深成形是冲压成形工艺中的一种,该工艺是将预先冲裁成一定形状的毛坯,在凸、凹模具的作用下,

制成开口空心零件的成形过程。有些拉深制件受限于极限拉深系数的限制,无法一次拉深成形,为达到制件结构尺寸和设计要求,必须采用多次拉深成形的办法。随着工业生产自动化程度的提高,以及对生产效率的

要求日益提高,在实际的生产中需要对工件进行连续的正、反拉深成形工艺,即在同一副拉深复合模具中设计用于正拉深与反拉深的成形模具结构。

其成形过程为:首先对坯料进行正向拉深,正向拉深完成后,对正拉深成形后的制件进行第二次的连续拉深,其方向与前次拉深方向相反,将工件的内壁外翻,并拉深成形得到最终产品制件。

连续正反拉深成形具有以下优势:

- (1) 节省模具,提高生产效率;
- (2) 利于抵消前次拉深残余应力;
- (3) 减少冷作硬化,利于成形;
- (4) 有效降低拉深系数;
- (5) 前次拉深外表面内翻,原有表面缺陷不影响外观;
- (6) 可有效避免起皱现象<sup>[1-3]</sup>。

本研究对有限元连续拉伸模拟过程、参数设置、前后处理等方面进行研究。

## 1 连续成形有限元模拟一般流程方法

随着计算机模拟技术的发展以及有限元理论不断完善,利用有限元数值模拟的方法对板料冲压成形过程进行计算机辅助分析,以及用分析结果指导成形模具与工艺设计已成为发展趋势。ANSYS 软件是世界上最为著名的大型通用有限元分析软件之一,其具有较为开放的二次开发性能,基于 APDL 可进行参数化分析编程,使分析效率提高,特别有利于进行系列化、参数化设计分析。LS-DYNA 动力学分析模块完全融入 ANSYS 软件,可通过 APDL 编程语言对其直接进行操作。

但传统对连续成形的模拟方法是对每一次成形工艺进行单独建模和模拟,显然再次构建的成形“坯料”并没有完全继承上一次模拟结果,如上一次成形后的板料的应力状态、变形回弹、厚度变化等等。这种分析思路只是简单地进行了一次模拟,由于其没有继承前次模拟结果、状态,很难做到对连续成形的真实模拟。针对上述情况,本研究针对算例制件的成形,采用连续正、反拉深模拟,探索能够得到前次成形结果并能够继承的连续成形的模拟方法,使连续成形模拟更符合真实情况,为成形工艺和模具设计提供有效指导和参考。

## 2 连续正、反拉深有限元数值模拟方法及关键技术

### 2.1 分析步骤

主要分析流程步骤为:

- (1) 构建分析模型;
- (2) 分析前处理;
- (3) 分析参数设置;
- (4) 求解设置;
- (5) 分析结果调取与观察。

### 2.2 模拟连续正反拉深的关键技术

#### 2.2.1 建模与导入关键技术

本研究可利用专业三维建模软件(UG 或 CREO)构建分析模型,建模结构如图 2 所示,这样较于 ANSYS 建模效率更高,而且有利于构建复杂模型。模型构建为“片体”,节省分析运算时间,格式保存为“x\_t”,APDL 关键语句如下:

```
~ PARAIN, fanlashen', x_t', , SURFACES, 0, 0! 调入模型; /FACET, NORML! 显示调整
```

#### 2.2.2 单元模型设置关键技术

本研究采用 shell163 单元进行分析,冲压件设置为变形体,其他零件结构设置为刚性体;单元关键字与材料模型设置 APDL 关键语句如下:

```
/PREP7; ET, 1, SHELL163; keyopt, 1, 1, 10; ED-SHELL, 20, -1, 1, 2, 1, 1; R, 1, 5/6, 3, 0.001; MP, DENS, 1, 7800; MP, EX, 1, 2. 19E11; MP, NUXY, 1, 0. 267; TB, BISO, 1, , , , ! 双线性、各向同向硬化模型; TBDAT, 1, 180E6; TBDAT, 2, 2E8。
```

#### 2.2.3 连续拉深关键技术

在对连续成形进行模拟时,研究者可以将各次成形模具同时构建在同一个 3D 模型中。在进行模拟时,除本次成形模具对板料施加载荷外,其余各次成形模具均处于无效载荷状态或位置。完成本次模拟后,本研究停止加载,使之处于不干涉后次模具运行的状态或位置,然后对后次所用到的模具进行加载,继续对上次变形后的模型进行成形模拟分析。

模拟分析流程如图 1 所示。

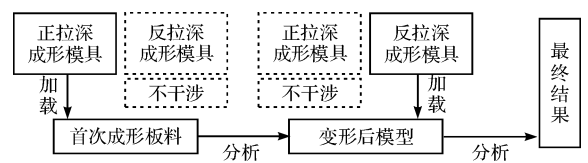


图 1 连续正反拉深分析流程

具体 APDL 关键语句如下:

```
EDPART, CREATE! 创建单独工作部件; * DIM, CTIME, ARRAY, 20, 1, 1! 定义时间数组;
```

\* DIM, DISP, ARRAY, 20, 1, 1! 定义运动或载荷数组;

EDLOAD, ADD, RBUY, 0, 2, CTIME, DISP! 对部件加载载荷。

### 2.2.4 求解过程控制关键技术

对求解过程的控制关系到模拟结果的准确性,板料模型与模具模型接触发生变形,所以研究者必须对接触进行控制,根据实际成形情况设置相关摩擦系数。另外由于板料模型变形程度较大,研究者必须进行沙漏控制,开启自适应网格,并根据具体变形和网格划分情况设置参数,使有限元网格能够适应大变形后,保证变形结构准确<sup>[6-12]</sup>。

具体控制 APDL 关键语句如下:

EDCGEN, ASTS, 2, 1, 0.1, 0.9E-01, 0, 0, 0, , , , 0, 1000000, 0, 0! 面-面接触控制, 静摩擦系数 0.1. 动摩擦系数 0.09;

/SOLU;

EDADAPT, 1, 1! 自适应网格开启; EDCADAPT, 0.0001, 5, 2, MAXLVL, , , , 0, 0, 0, 0, 0, 0, ! 自适应网格设置;

EDINT, 5, 4, ! 壳单元厚度方向积分点输出数;

EDMP, HGSL, 1, 5, 0.1, 1.5, 0.06! 沙漏控制。

## 3 有限元数值模拟实验及结果分析

### 3.1 算例

本研究分析算例为某电动机筒形外壳件, 结构尺寸为筒形外径 50 mm, 筒高为 40 mm, 底部圆角为 R3, 其坯料尺寸为直径 106 mm, 板厚为 1 mm, 材料为 08F。

其结构建模示意图如图 2 所示。

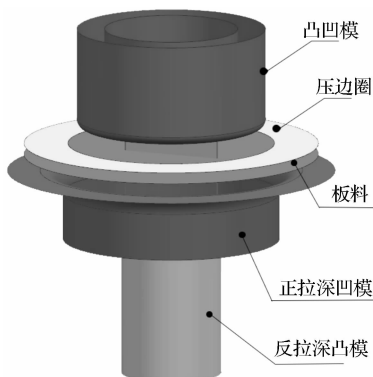


图2 结构建模示意图

其材料力学性能参数如表 1 所示。

表 1 材料力学性能参数表

材料密度/ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	弹性模量/GPa	泊松比	屈服点/MPa	抗拉强度/MPa
7800	219	0.267	180	390

经分析该制件不能一次拉深成形, 故笔者对其采用连续正反拉深成形工艺数值模拟分析, 根据分析结果对成形工艺性进行评判。

### 3.2 拉深成形过程实验

本研究采用上述连续正反拉深的有限元模拟分析流程和关键技术, 编写 APDL 分析程序, 对算例进行连续正、反拉深有限元模拟。

根据成形过程结果可以得到不同成形时刻下板料的变形状态。整体有限元模型变形流畅, 没有出现畸变单元和沙漏现象, 表明分析参数和求解参数设置较为合理。

### 3.3 成形极限图 (FLD)

本研究利用后处理程序 ls-prepost, 选取代表性特征区域, 得到正拉深成形极限图和后续反拉深成形极限图。成形极限图如图 3 所示。

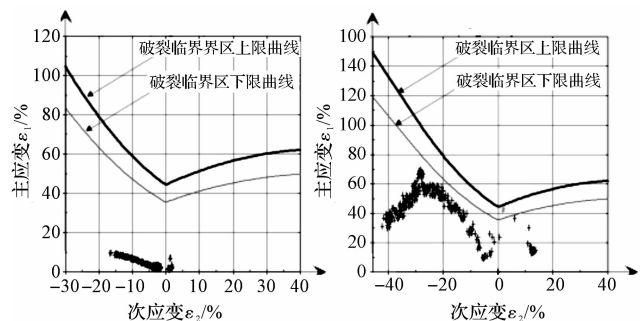


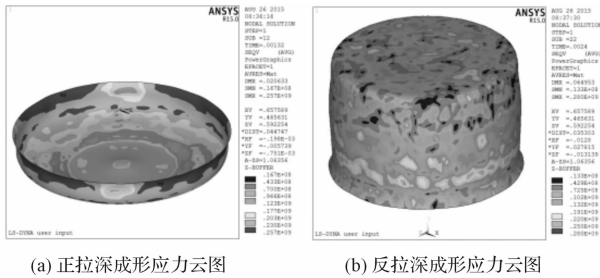
图3 成形极限图 FLD

该算例中板料特征区域主应变和次应变均在破裂线下方, 板料成形性较好。

### 3.4 成形应力结果

应力结果云图如图 4 所示。

图 4 可用于观测变形过程中应力分布情况, 得到最大应力数值与区域, 评判成形过程应力值是否超出材料最大抗拉强度, 是否有局部破裂危险。该算例中, 正拉深和反拉深最大应力值均小于材料抗拉强度, 成形性良好。



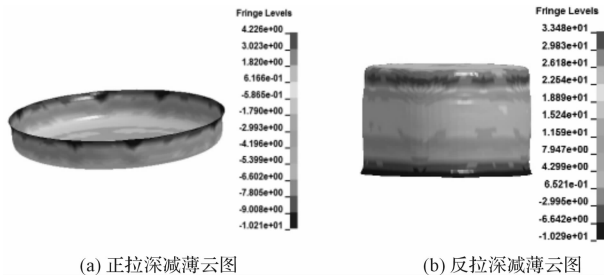
(a) 正拉深成形应力云图 (b) 反拉深成形应力云图

图 4 成形应力云图

### 3.5 厚度变薄结果

本研究利用后处理程序 ls-prepost, 可以得到厚度变薄结果如图 5 所示。

根据分析结果可以得到成形后制件最大减薄区域和最大减薄量, 为制件使用和结构强度提供参考, 该算例中最大减薄区域出现在制件底部圆角处, 符合真实板料拉深厚度变化和拉深成形规律。



(a) 正拉深减薄云图 (b) 反拉深减薄云图

图 5 成形件壁厚减薄云图

## 4 结束语

本研究提出基于 ANSYS LS-DYNA 的连续正反拉深成形有限元模拟方法, 总结数值模拟的关键技术, 通过 APDL 关键词对分析参数和过程进行设置, 参数化高, 通用性强。该方法可推广应用于其他连续冲压成形的模拟分析。笔者采用“统一构建各成形工序模型, 按工序顺序加载, 工序结束后终止载荷, 使之处于不干涉下次模具运行的状态或位置”的方法, 实现了连续正、反拉深成形有限元模拟分析。算例模拟分析结果表明, 该模拟分析思路可行, 分析结果与实际成形较为符合。

本研究在拉深成形模具以及成形工艺设计方面可具有以下指导意义:

(1) 通过连续正、反拉深有限元模拟可以预测每次拉深成形后的制件厚度, 并以此为参考调整具体拉深工艺, 防止制件拉裂破坏;

(2) 可以得到每次拉深过程中的应力分布情况, 特别在异形件的多次连续拉深模具和工艺设计中, 预测出制件应力集中区域, 从而进一步改进制件结构设计和成形工艺;

(3) 根据得到的每次拉深成形后的成形极限图 (FLD) 可以预测、判断每次制件的成形性。

### 参考文献 (References):

- [1] 李硕本. 冲压工艺学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1982
- [2] 裴腾鹏, 马玉曼, 李丽芳, 等. 反拉深工艺的应用[J]. 金属加工(热加工), 2013(19): 64-65
- [3] 韩志仁, 樊福霞. 板料两道次拉深成形数值模拟方法研究[J]. 沈阳航空航天大学学报, 2011, 28(3): 10-13
- [4] 龚曙光, 谢桂兰, 黄云清. ANSYS 参数化编程与命令手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009
- [5] 陈 炜, 陶宏之. 基于数值模拟的板料多道次拉深工艺研究[J]. 农业机械学报, 2002, 33(4): 95-98
- [6] 赵 燕, 耿 娟. 基于 ANSYS 的氧传感器夹紧套模具设计[J]. 机电工程, 2014, 31(8): 1012-1016
- [7] 张红松, 胡仁喜, 康士廷等. ANSYS 14.5/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [8] 张建中, 王 庆, 于洪绪. 基于 ANSYS Workbench 的薄壁筒形件有限元分析[J]. 包装与食品机械, 2014, 32(4): 44-47.
- [9] 林庆文. 核磁共振成像仪超导磁体液氢罐外壳有限元分析[J]. 机电工程技术, 2014, 43(3): 90-92.
- [10] 韩志仁, 苑泽冰. 异形件两道次拉深试验与有限元模拟[J]. 机械设计与制造, 2013(1): 149-151.
- [11] 白建雄, 陈先朝, 肖小亭, 等. 304 不锈钢壳级进模变薄拉深工艺及数值模拟[J]. 锻压技术, 2015, 40(1): 33-38.
- [12] 陈远怀; 曹阳根; 杨尚磊, 等. 电机壳体拉深工艺设计[J]. 模具工业, 2014, 40(6): 29-32.

[编辑: 李 辉]

#### 本文引用格式:

孙佳楠, 吕永锋, 范建蓓. 基于 ANSYS LS-DYNA 的连续正反拉深成形有限元模拟研究[J]. 机电工程, 2016, 33(2): 183-186.

SUN Jia-nan, LV Yong-feng, FAN Jian-bei. Forming simulation and analysis of continuous positive and negative drawing based on ANSYS LS-DYNA[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2016, 33(2): 183-186.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>