

304 奥氏体不锈钢拉深过程有限元模拟

朱富春¹, 曹旭²

(1.广汽长丰研发股份有限公司, 湖南 长沙 410014;

2.长丰联成模具股份有限公司, 湖南 长沙 410100)

摘要: 不锈钢制品由于其美观的外表和良好的使用性能, 在国民经济各行各业被广泛使用, 但不锈钢在拉深过程中硬化严重, 易出现起皱、破裂现象, 使成品率降低。本文应用 ABAQUS 有限元软件模拟了 304 奥氏体不锈钢圆筒件在不同摩擦条件下的拉深成形过程, 分析了摩擦系数对 304 不锈钢圆筒件拉深成形过程的影响。结果表明, 304 奥氏体不锈钢圆筒件拉深过程中, 较适宜的摩擦系数为 0.08~0.15。当摩擦系数过小时, 将在坯料与凹模圆角处发生破裂; 而摩擦系数过大, 则严重影响坯料的拉深极限。

关键词: 机械制造; 拉深; 奥氏体不锈钢; 数值模拟; 摩擦

中图分类号: TG142.71/TG386.3+2 **文献标识码:** B

1 引言

奥氏体不锈钢是不锈钢中重要的一种, 其生产

和使用量约占不锈钢总产量及用量的 70%。304 奥氏体不锈钢塑性、韧性和冷加工性能良好, 在氧化酸和大气、水、蒸汽等介质中耐蚀性亦佳, 适于制造深冲成形的零部件以及输酸管道和容器等^[1]。304 奥氏体不锈钢薄板拉深变形的特点主要是拉深力大、加工硬化严重、摩擦力大、局部高温、易产生粘结瘤, 这

收稿日期: 2010-05-25

作者简介: 朱富春(1970-), 男, 工程师, 主要从事汽车工模具研发与生产

CAM 软件对模具的主要零部件进行了数控仿真加工并编程, 实现了复杂形状零件成形 CAE/CAD/CAM 一体化。

【参考文献】

- [1] 李光耀. 薄板冲压成型过程的计算机仿真与应用. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.
- [2] 赵侠, 傅建, 万长东. 汽车覆盖件成形过程的数值模拟. 锻压装备与制造技术, 2005, 40(4): 67-69.
- [3] 邢忠文, 杨玉英, 郭刚. 薄板冲压成形中的拉伸筋阻力及其影响因素研究. 模具工业, 1994, (4): 30-33.

- [4] 孙琳琳, 栾贻国, 董桂伟. 拉深件模口形状与拉深筋设置关系的模拟实验研究. 锻压装备与制造技术, 2006, 41(2): 55-57.
- [5] 王志恒, 张晶, 段瑞刚, 等. 影响拉深筋结构及应用的要素分析. 锻压技术, 1997, (2): 20-23.
- [6] 金森, 郭宝锋, 李硕本, 等. 半圆形拉深筋尺寸参数对其阻力的影响. 塑性工程学报, 2003, 10(1): 32-35.
- [7] 肖祥芷, 王孝培, 等. 中国模具设计大典第 3 卷冲压模具设计. 南昌: 江西科学技术出版社, 2003.
- [8] CAXA 制造工程师 2000 版用户指南. 北京: 北航海尔软件有限公司, 2000.

Integration of CAE/CAD/CAM for Workpiece Forming in Complex Shape

SONG Libin, LUAN Yiguo, LIU Quangang

(School of Materials Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, Shandong China)

Abstract: The forming process of sheet metal has been simulated by use of numerical simulation software DYNAFORM. The rational process parameters have been determined, which can guide the confirmation of process and tool design. The three-D CAD software has been applied in the design of tool, and the CNC processing software has been used to program for the key parts. In this way, the integration of CAE/CAD/CAM has been realized. The processing speed for tool design has been enlarged greatly while the processing procedures and producing cycle have been reduced.

Keywords: Deep drawing; Complex punching parts; CAE/CAD/CAM; Tool

样就容易使制品表面被划伤、起皱甚至开裂,也降低了模具使用寿命^[2-3]。因此,进行 304 奥氏体不锈钢拉深过程研究,对于提高材料的冲压成形性能,提高筒体成品率,降低生产成本具有重要的实际意义。

拉深成形是一种复杂的力学过程,它包含几何非线性、材料非线性、接触非线性的强非线性问题^[4]。用传统的解析方法求解是很难或根本不可能解决的。故传统成形理论是建立在初等解析计算方法和经验的基础上的,误差较大。ABAQUS 被广泛地认为是功能最强的有限元软件之一,可以分析复杂的固体力学结构力学系统,特别是能够驾驭非常庞大复杂的问题和模拟高度非线性问题^[5]。本文应用有限元软件中功能强大的 ABAQUS 有限元软件,模拟了 304 奥氏体不锈钢圆筒件在不同摩擦条件下的拉深成形过程。

2 ABAQUS 的模拟分析

图 1 所示为拉深过程示意图。圆形平板坯料置于拉深凹模之上,当凸模向下运动时,凸模的平底首先压住圆形坯料中间部分;凸模继续下行,将圆形坯料的环形部分(凸缘)逐步拉入凹模模腔内,凸缘材料便不断转化为零件(直径为 d)的筒壁。从图 1 能明显看出:坯料可分三部分:凸缘部分,即变形区(A 区);筒壁部分,即传力区(B 区);凸模与坯料始终接触的底部,即不变形区或弹性变形区(D 区)。

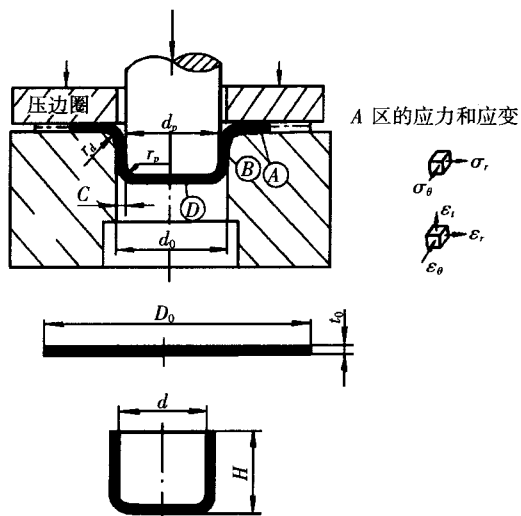


图 1 拉深过程示意图

本文借助 ABAQUS 有限元软件,对圆筒件的拉深过程进行数值模拟。数值模拟的条件如下:材料 304 奥氏体不锈钢,坯料 $\phi 41\text{mm}$ 圆片,料厚 $t=0.8\text{mm}$ 。材料抗拉强度 $\sigma_b=716.8\text{MPa}$,屈服强度 $\sigma_s=253.4\text{MPa}$,弹性模量 $E=230000\text{MPa}$,流动应力方程为 $\sigma=253.4+76.5\epsilon^{0.458}$,由于奥氏体不锈钢各向异性

不很明显,模拟时不考虑材料的各向异性。模拟时的边界条件及模具尺寸如下:压边力取 $F=10\text{kN}$,拉深力为 50kN ,拉深凸模半径为 $R19\text{mm}$,凸模圆角半径取 $R1.5\text{mm}$,单边间隙取 $1.2t(0.96\text{mm})$,凹模圆角半径取 $R3\text{mm}$,摩擦系数 μ 分别取 $0.08, 0.15, 0.20, 0.30$ 。由于圆筒件轴对称,故模拟时取 $1/4$ 部分即可。

在本模拟中,网格可以划分为可变形的毛坯和不变形的刚性工模具(冲头、夹具、凹模)。毛坯采用的网格包括两排 1122 个 C3D8R 单元,采用两排单元,共 1812 节点。工模具模拟为刚性表面,用解析刚性表面模拟冲头和毛坯夹具。用 R3D4 刚性单元模拟凹模。图 2 所示为拉深模拟过程的工模具及毛坯组合的单元网格示意图。

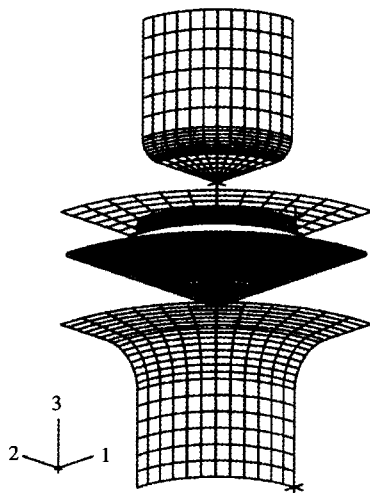


图 2 模拟过程网格示意图

3 有限元模拟结果及分析

模拟结果如图 3~图 6 所示。图中以网格的形式表示圆筒件拉深时不同帧长时各区域发生变形的情况。以不同的数码表示不同的等效应力范围,依 I、II、III、IV 黑白深浅顺序,等效应力递增,IV 区域表示该区域等效应力值达到了材料的抗拉强度,实际拉深至此则会发生破裂,亦即拉深过程中的危险截面。

图 3 为摩擦系数 $\mu=0.08$ 时的各阶段等效应力 σ_e 分布情况;图 4 为摩擦系数 $\mu=0.15$ 时各阶段 σ_e 分布情况;图 5 为 $\mu=0.20$ 时各阶段 σ_e 分布情况;图 6 为 $\mu=0.30$ 时各阶段 σ_e 分布情况。

由数值模拟,可得出如下规律:

(1)由等效应力 σ_e 分布图可清楚看出在拉深不同阶段,坯料各区域等效应力分布情况,即 A 区为变形区,凹模圆角处网格径向受拉,切向受压,此处等效应力 σ_e 最大,可通过黑白深浅比较之;B 区为传力区,网格变化不很明显, σ_e 次之;D 区为弹性变

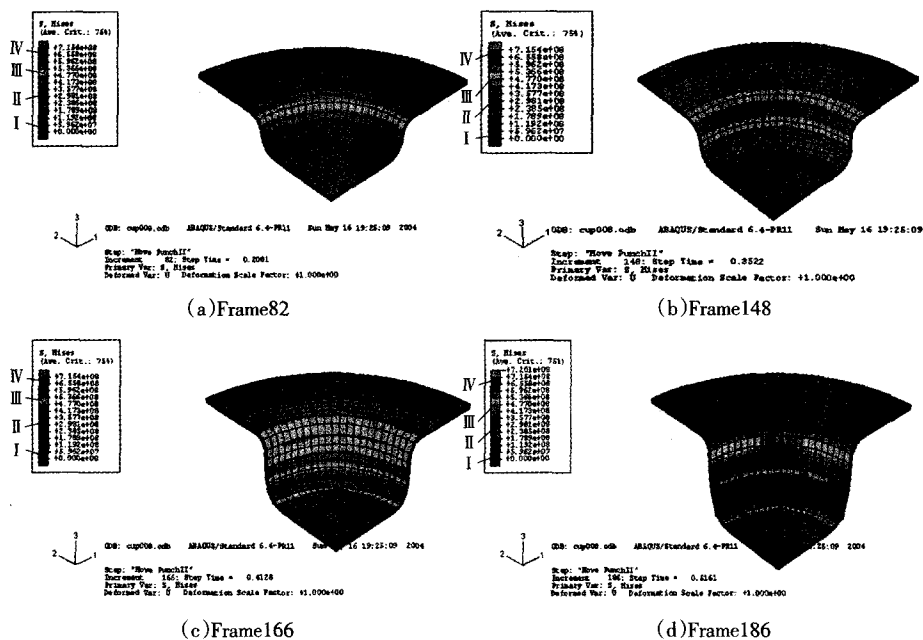


图3 $\mu=0.08$ 时的数值模拟结果

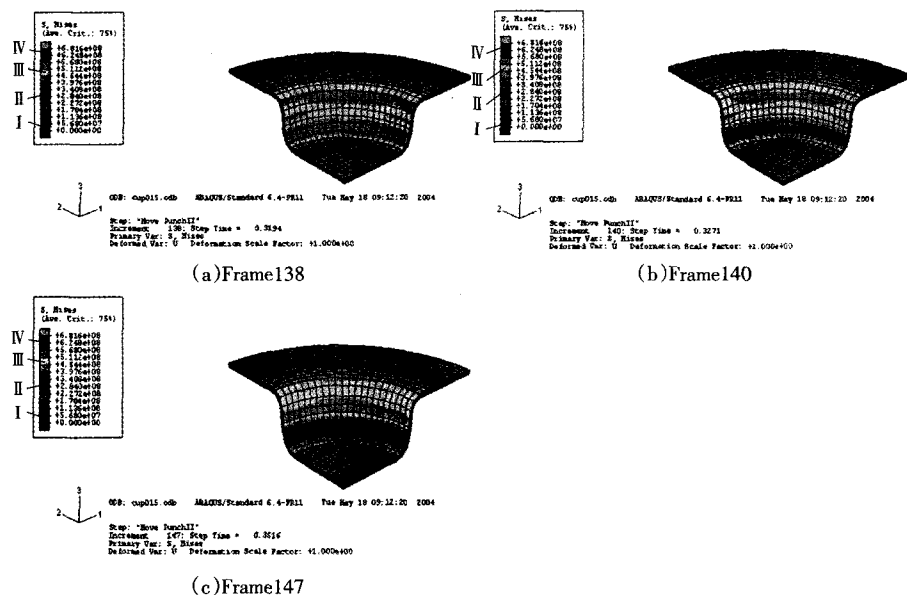


图4 $\mu=0.15$ 时的数值模拟结果

形区,网格几乎无变化, σ_e 最小,这与实际拉深过程等效应力分布规律是一致的。

(2)从等效应力分布图上还可以看出,Ⅲ、Ⅳ之间的区域是一应力“敏感”区间,由于其等效应力很快接近危险应力,而实际拉深成形时的环境比模拟时要更加复杂、恶劣,故实际拉深时应避开这一区域。由等效应力组图可以看出:摩擦系数较小时,先在凹模圆角处短时出现大片“敏感”区间,见图3b;接下来在筒壁与凸模接触处又出现危险应力(等效应力 σ_e 达到抗拉强度值 σ_b),即 $\sigma_e=717\text{MPa}$ 时形成危险截面,见图3c。而摩擦系数较大时,凹模圆角处

的“敏感”区间不会出现,而直接在筒壁与凸模接触处形成危险截面,见图5b、图6b。因此,在拉深成形过程中,随摩擦情况不同,“敏感”区间和危险截面出现的地点不一样,摩擦系数过小时,将首先出现“敏感”区间,接下来出现危险截面,而摩擦系数较大时,只会在凸模与筒壁接触处出现危险截面,若继续拉深,则在危险截面处发生拉深破裂。

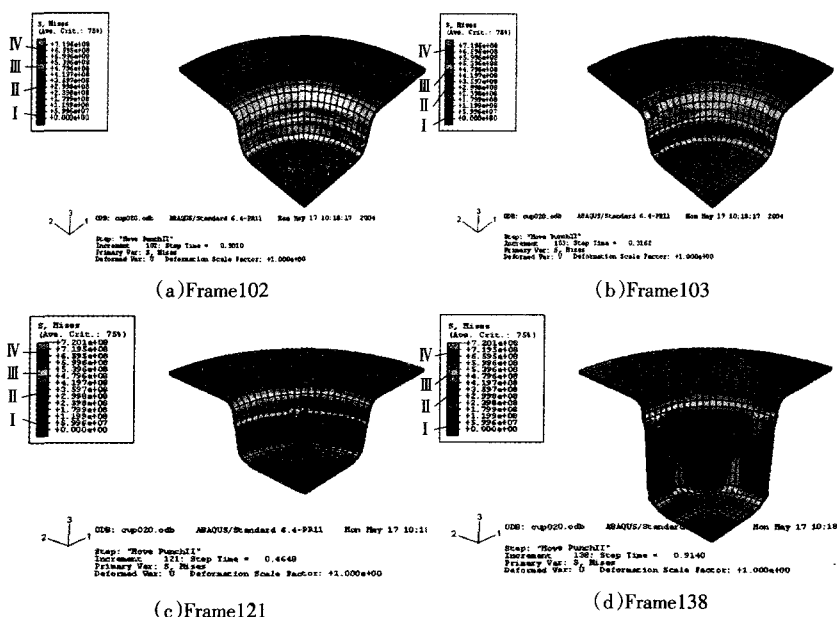
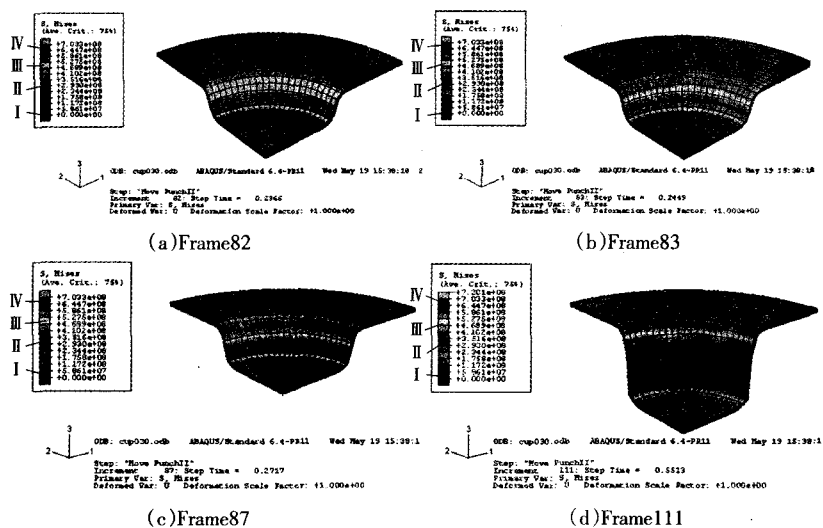
(3)由于本模拟中,几次模拟条件只有摩擦系数的差别,其他条件均相同,而帧长具有时间性和过程性,故可通过帧长来大致比较拉深时冲头下拉的时间和位移。

由于模拟了不同摩擦系数情况下的拉深变形情况,通过比较各图可以看出,随着摩擦系数 $\mu(0.08\sim 0.30)$ 增大,计算等效应力 σ 达到抗拉强度 σ_b 时所需帧长明显减少: $\mu=0.08$,Frame166时出现危险应力,见图3c; $\mu=0.15$,Frame140时出现危险应力,见图4b; $\mu=0.20$,Frame103时出现危险应力,见图5b; $\mu=0.30$,Frame83时出现危险应力,见图6b。

这说明在拉深过程中,随摩擦系数的增大,冲头将板料拉破的时间越短,或者说冲头从初始位置至将板料拉破时所发生的位移减小,亦即在拉深过程中随摩擦力增大,板料的拉深极限明显减小。

4 结论

本文应用 ABAQUS 有限元软件模拟 304 奥氏体不锈钢圆筒件在不同摩擦系数状态下的拉深成形过程。结果表明,304 奥氏体不锈钢圆筒件拉深过程中,较适宜的摩擦系数应当介于 0.08~0.15 之间,摩

图5 $\mu=0.20$ 时的数值模拟结果图6 $\mu=0.30$ 时的数值模拟结果

摩擦系数过小时,将在坯料与凹模圆角处发生破裂,而摩擦系数过大,则严重影响坯料的拉深极限。模拟结果对于304奥氏体不锈钢圆筒件拉深变形时润滑剂的选择具有重要的参考价值。

【参考文献】

- [1] 刁庆胜,刘胜强,宋立彬.不锈钢拉深的特点和工艺参数的选用[J].山东工业大学学报,1994,1(1):45-49.
- [2] 崔令江.冲压板材的成形性[J].锻压机械,1997,32(3):32-36.
- [3] 中国机械工程学会锻压学会编著.锻压手册(第二卷)[M].北京:机械工业出版社,1993.
- [4] 邓 陟,陈鹤峥.拉延成形中的影响因素分析[J].锻压技术,1989,14(2):14-16.
- [5] Wu, J.Z. Evaluation of the finite element software ABAQUS for biomechanical modelling of biphasic tissues[J]. Journal of Biomechanics, 1997, 31(2):165-169.

Finite Element Simulation of Deep-drawing Process for 304 Austenitic Stainless Steel

ZHU Fuchun¹, CAO Xu²

(1.GAC Chang Feng Design Limited Liability Company, Changsha 410014, Hunan China;

2.Chang Feng Alliance Mold Limited Liability Company, Changsha 410100, Hunan China)

Abstract:Stainless steel products are widely used in every field of the national economy because of its beautiful appearance and good service properties. However, fracture and wrinkling always occur in deep-drawing process caused by its strong hardening characteristic, which leads to low production yield. The deep-drawing process of 304 austenitic stainless steel cylindrical pieces has been simulated in the text under different friction coefficients by use of ABAQUS FEM software, and the influence of friction coefficient to cylindrical pieces in the deep-drawing process has been analyzed. The results show that the more appropriate friction coefficient of 304 austenitic stainless steel cylindrical pieces in deep-drawing process should be between the ranges of 0.08 to 0.15. When the friction coefficient is too small, the crack is easy to happen in the billet and the round of cavity die, whereas the friction coefficient is too large, the LFD (the Limited Forming Degree) will be badly influenced.

Keywords: Deep-drawing; 304 austenitic stainless steel; Numerical simulation; Friction