

薄壁内、外半管冲压成形工艺参数 模拟优化设计

胡文化, 雒亚涛

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

摘 要: 针对内、外半管的结构特点, 分析计算冲压成形主要工艺参数及毛坯尺寸, 运用有限元分析软件 ANSYS/LS-DYNA, 对内、外半管的成形过程进行了模拟。研究了不同压边力及不同冲压速度对零件拉深成形的影响, 分析了零件的成形工艺及其起皱缺陷, 优化了毛坯形状, 避免了成形过程中的缺陷, 获得了理想的毛坯形状和工艺参数。

关键词: 半管; 冲压成形; 模拟; 优化

中图分类号: V261-34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2011) 05-0052-05

Optimization design based on parameter simulation of thin-walled internal and external semi-pipes stamping process

HU Wen-hua, LUO Ya-tao

(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710100, China)

Abstract: Based on structural features of the internal and external semi-pipes, main stamping process parameters and blank dimensions are analyzed. The stamping process of the internal and external semi-pipes was simulated with finite element analysis software ANSYS/LS-DYNA. The influence of different blank holder forces and stamping speeds on stretch forming of the parts are studied with the analysis of stamping process and wrinkling defect. The blank shape and process parameters were optimized. The defect which may occur during stamping was avoided. The ideal blank shape and process parameters were obtained.

Keywords: semi-pipe; stamping; simulation; optimization

0 引言

近年来, 随着力学、特别是弹塑性有限元方

法和计算机软硬件技术的迅速发展, 以及冲压成形理论研究的不断深入, 使得对冲压件进行模拟仿真成为可能。在计算机上可以模拟板料成形的全过程, 预测成形过程中的拉裂、起皱、回弹等

收稿日期: 2011-02-13; 修回日期: 2011-04-26

作者简介: 胡文化 (1971—), 男, 工程师, 研究领域为型号工艺管理

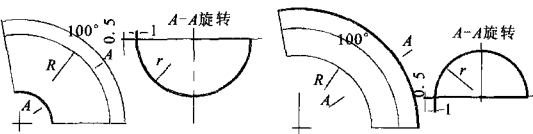
缺陷, 还可以分析材料参数、模具参数、摩擦和润滑等边界条件对成形性能的影响, 帮助工艺人员及模具设计者预防和控制成形缺陷。因此利用计算机数值模拟对板料成形性能进行研究, 可以提高设计的可靠性, 减少模具制造及冲压工艺设计中的问题, 缩短生产准备周期。

薄壁内、外半管经焊接后组成弯管, 用在新一代火箭发动机起动涡轮燃气排放导管上。由于对发动机整体质量和结构紧凑性要求很高, 因而在弯管结构设计上提出了薄壁, 大弯曲曲率等极为苛刻的要求, 给弯管的制造提出了非常高的要求。结合产品的特点, 采用半管钣金成形、拼焊是唯一可行的工艺方法。而就半管的钣金成形本身而言, 由于壁厚较薄, 变形量较大, 工艺难度非常大, 如果全部采用物理试验的方法, 将会极大地增加试验成本, 延长产品研制周期。在此情况下, 若能采用数值模拟的方法进行工艺模拟, 对于减少试验次数, 缩短研制周期不失为一种有效方法。

本文针对不锈钢薄壁半管的结构特点, 结合数值模拟软件 ANSYS/LS-DYNA 对其成形过程进行模拟仿真, 得到合理的工艺参数, 成形出合格零件, 节约了试模、修模时间, 缩短了生产周期。

1 产品形状特点

内、外半管的形状尺寸如图 1 所示。由图可知, 内、外半管对接面弧面半径为 R , 内、外半管截面型面均为内径为 r 半圆, 壁厚均为 1 mm 等壁厚, 属薄壁大变形率成形, 在成形过程中极易失稳起皱。



(a) 内半管 (b) 外半管
图 1 内、外半管形状

Fig. 1 Shapes of internal and external semi-pipes

2 毛坯尺寸及压边力的确定

内、外半管的成形过程既有拉深又有弯曲。根据《冲压零件展开尺寸计算》^[1]中计算方法, 初步确定了毛坯尺寸。

根据《冲压手册》^[2]所给的压边圈的采用条件, 内外半管的成形均应采用压边圈来防止工件边壁和凸缘起皱。

根据公式 (1) 计算初始压边力:

$$F=A \cdot p \tag{1}$$

式中: F 为压边力, N ; A 为压边圈面积, mm^2 ; p 为单位压边力, MPa ; 对于不锈钢取 $3\sim 4.5\text{ MPa}$ 。

经过计算, 外半管成形时的初始压边力为 36000 N , 内半管成形时的初始压边力为 28000 N 。

3 半管零件成形过程数值模拟

本文分析采用的是 ANSYS/LS-DYNA 有限元分析软件。ANSYS/LS-DYNA 采用显式动态仿真技术, 可以对钣金冲压的动态过程进行模拟^[3-4]。

3.1 建模

利用 ANSYS/LS-DYNA 所建数值模型与实际钣金成形的物理模型一致, 包括凹模、凸模、压边圈、板料毛坯等四个主要部分, 其模型如图 2、图 3 所示; 成形驱动时, 可以采用驱动凹模或驱动凸模两种方式进行驱动, 本文分析采用凸模驱动的方式进行驱动^[5-6]。

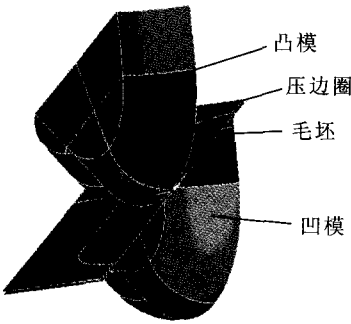


图 2 外半管模型

Fig. 2 Model of external semi-pipe

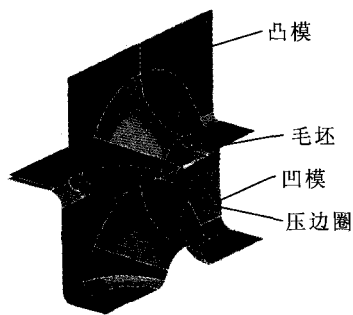


图 3 内半管模型

Fig. 3 Model of internal semi-pipe

3.1.1 单元类型和材料属性

内、外半管所用板料毛坯模型的材料属性按

表 1 1Cr18Ni9Ti 板料的材料属性

Tab. 1 Properties of 1Cr18Ni9Ti sheet metal

密度/ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	弹性模量/ GPa	抗拉强度 σ_b / MPa	屈服强度 σ_s / MPa	剪切模量/ MPa	泊松比	硬化系数	厚向系数
7.83×10^3	190	550	200	40000	0.3	0.43	1.0

3.1.3 约束与加载

为缩短求解时间，对模型进行了简化，考虑到模型是左右对称结构，建立求解模型只取其一半进行求解计算。故此对对称面上的线段施加对称约束。速度加载施加在凸模上，压边力施加在压板上^[9]。

3.2 求解

考虑到钣金成形既有冲压过程又有弹性回复过程，冲压成形过程属于非线性弹塑性力学响应过程，适于用非线性显式动力学格式的数值计算方法进行计算，回弹过程属于静力弹性变形，适于用静力隐式格式的数值算法进行计算，在计算时利用 ANSYS/LS-DYNA 软件中的动力显式算法与 ANSYS 的静力隐式算法相结合，可以很好的解决钣金成形过程的数值计算问题。为了缩短求解时间，提高求解精度，对求解各参数进行了优化设置。

3.3 结果分析

通过对不同的成形速度和压边力的变化进行模拟，分析成形速度和压边力变化对板料成形质

量影响^[10]。照 1Cr18Ni9Ti 的材料属性进行设置，具体数值见表 1。凹模、凸模以及压边均设为刚性体，刚性体的材料属性仅有弹性模量、泊松比和密度，本次分析中设为与毛坯相同。所有模型所采用的模型单元均为薄壳单元 SHELL163；采用自适应网格划分^[7]。

3.1.2 接触类型选择

板料毛坯与压边圈，凹模、凸模三个刚性体的接触，均设为“forming-one-way”面-面接触类型^[8]，动摩擦系数设为 0.1，静摩擦系数设为 0.15，在压边与板料毛坯之间定义了压延接触。

量的影响^[10]。

3.3.1 成形速度的影响

将成形时间分别设定为 30 ms 和 60 ms，观察内、外半管的成形情况，可以发现，在其余条件不变的情况下，壁厚变化量、薄壁的起皱程度均没有明显变化，应力应变分布情况及数值大小均无变化。故此，可以认为在一定范围内，成形速度的变化对内、外半管的成形质量几乎没有影响，决定采用 60 ms 的成形速度。

3.3.2 压边力的影响

对钣金成形而言，合适的压边力对保证成形质量具有非常重要的意义。在拉深成形中，为了避免板材起皱或破裂，控制变形材料在压边圈和凹模之间的流动是非常重要的，即需要控制拉深变形时材料的压边力。压边力过小，无法有效控制材料的流动，容易起皱；而压边力过大，拉裂的倾向就明显。根据前面初始压边力的计算，为了能够清楚观察不同压边力对成形质量的影响，本次数值模拟按照倍乘的关系设置了三种不同的压边力，中间值取为初始压边力。外半管的三个

压边力分别取为 18000 N, 36000 N 和 72000 N; 内半管三种压边力值分别取为 14000 N, 28000 N 和 56000 N。其余条件不变。观察起皱量、壁厚的变化量以及应力分布情况。外半管成形后起皱情况见图 4、图 5、图 6; 内半管应力分布情况见图 7、图 8、图 9。经过仿真计算, 外半管变化情况见表 2。由表 2 可见, 当压边力在 36000 N 时, 最薄壁厚为 0.896 mm, 与 72000N 压边力相比, 变化不大, 但起皱程度较另外两种压边力有明显减小, 其最大应力为 545 MPa, 只短时间存在于于局部, 比 18000 N 时有明显减小。

表 2 不同压边力条件下的外半管成形情况表

Tab. 2 External semi-pipe stamping results under the condition of different blank holder forces			
压边力/N	最小壁厚/ mm	最大起皱量/ mm	最大应力/ MPa
18000	0.798	3.052	650
36000	0.896	1.257	545
72000	0.893	1.376	560

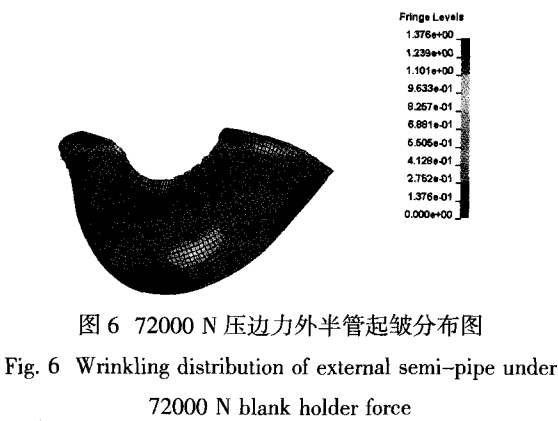


图 6 72000 N 压边力外半管起皱分布图

Fig. 6 Wrinkling distribution of external semi-pipe under 72000 N blank holder force

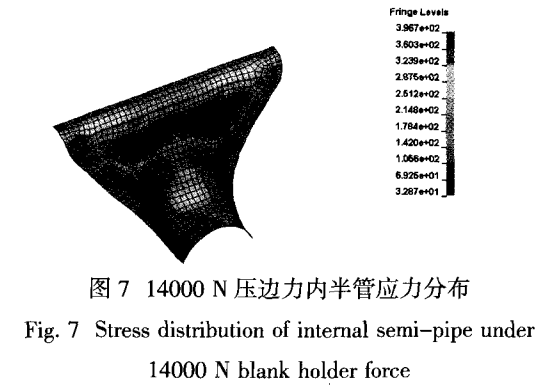


图 7 14000 N 压边力内半管应力分布

Fig. 7 Stress distribution of internal semi-pipe under 14000 N blank holder force

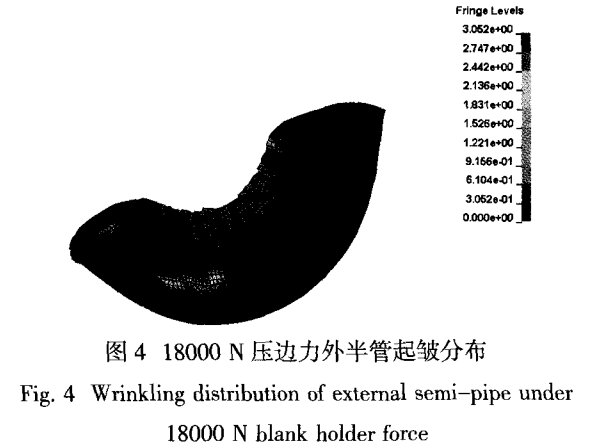


图 4 18000 N 压边力外半管起皱分布

Fig. 4 Wrinkling distribution of external semi-pipe under 18000 N blank holder force

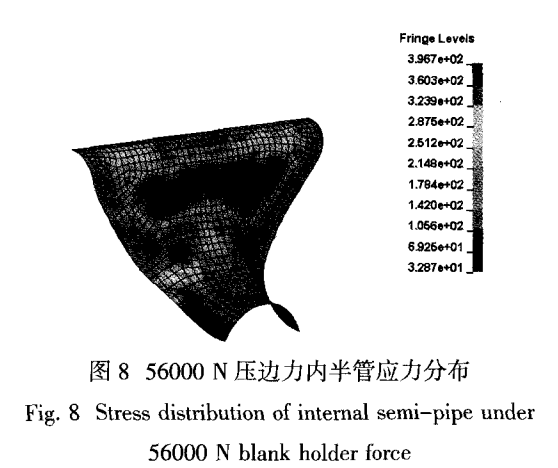


图 8 56000 N 压边力内半管应力分布

Fig. 8 Stress distribution of internal semi-pipe under 56000 N blank holder force

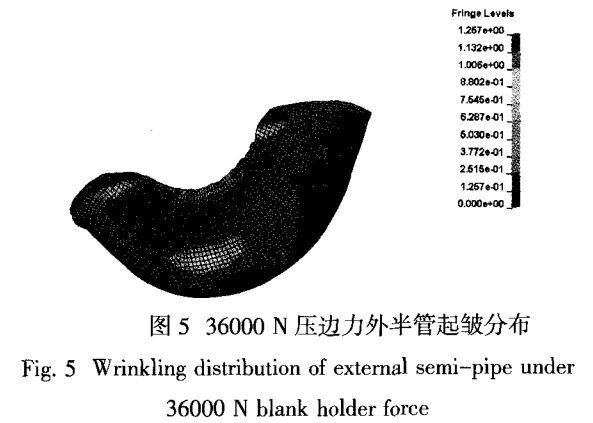


图 5 36000 N 压边力外半管起皱分布

Fig. 5 Wrinkling distribution of external semi-pipe under 36000 N blank holder force

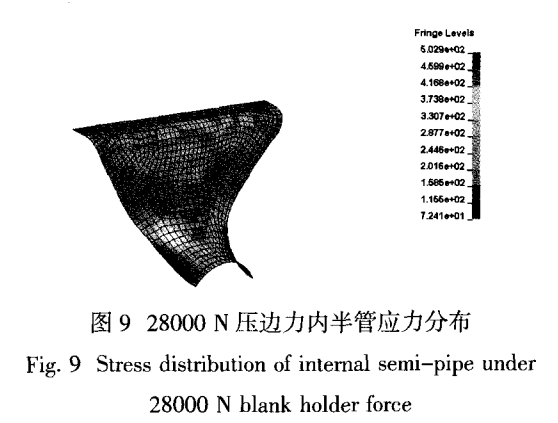


图 9 28000 N 压边力内半管应力分布

Fig. 9 Stress distribution of internal semi-pipe under 28000 N blank holder force

3.3.3 尺寸及形状优化

通过对初步确定的毛坯进行仿真成形,发现部分尺寸余量不足。对毛坯尺寸余量不足处进行了改进,改进后的毛坯形状及尺寸如图10所示。仿真结果表明,改进后的毛坯形状和尺寸,成形后满足设计要求。

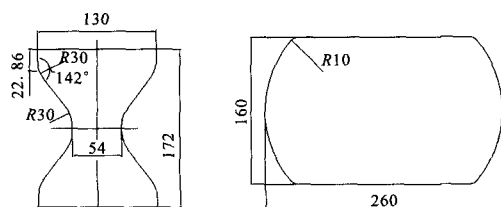


图10 内半管、外半管展开图

Fig. 10 Unfolded internal and external semi-pipes

3.4 有限元分析结论

1) 内半管在成形过程中,毛坯型面部分外缘是伸长类变形,不存在起皱现象,但需要在毛坯长向两边压边,否则拉深过程中薄壁件极易起皱。从模拟结果看,毛坯中心部分尺寸偏大,此处应力大,容易拉裂,而从中心往两边则毛坯尺寸偏小,没有达到零件的型面要求,所以毛坯的尺寸修改时中心部分减小而两边尺寸增大。

2) 外半管在成形过程中,毛坯型面部分外缘是收缩类变形,极易起皱,成形过程中四边均需压边。从模拟结果看,计算的毛坯尺寸压边部分小,压边力不够,零件起皱严重,甚至导致型面部分折叠。所以对毛坯的尺寸修改时长度和宽度均加大。

3) 根据模拟结果对零件毛坯尺寸及形状进行了优化改进。

通过数值分析,对内、外半管的成形过程进行了先期模拟,对工艺方案、部分工艺参数以及毛坯尺寸形状进行了优化,为后续的试验提供了参考。

4 工艺试验过程及结果

工艺方案为:毛坯下料——拉深成形——线切割去余量——内、外半管修配——交付。

利用数值模拟优化的毛坯尺寸、成形速度及压边力,进行实物拉深成形试验,成形后,内半管沿型面均有5 mm的余量,外半管在型面部分没有起皱,零件的变薄量均在13%以下,符合钣金件变薄量在15%以下的要求。

5 结论

1) 通过数值模拟,对不同冲压成形工艺参数下的薄壁内、外半管成形情况进行了模拟,根据模拟的结果对工艺方案、工艺参数以及毛坯形状尺寸进行了优化,并通过实物试验对模拟结果进行了验证。

2) 本文研究的薄壁内、外半管的数值模拟方法可用于其它薄壁、厚壁半管的钣金成形工艺设计分析中,丰富了半管成形工艺设计分析手段。

参考文献:

- [1] 周开华. 冲压零件展开尺寸计算[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [2] 王孝培主编. 冲压手册 [M]. 修订本. 北京: 机械工业出版社, 1990.
- [3] 李尚健. 金属塑性成形过程模拟[M]. 北京: 机械工业出版社, 1999.
- [4] 李裕春, 时党勇, 赵远编著. ANSYS/LS-DYNA 基础理论与工程实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.
- [5] 吴勇国, 李尚健, 李志刚, 等. 板料成形有限元分析的显式算法[J]. 塑性工程学报, 1995, 2(3): 31-36.
- [6] 陈海数, 赖征海, 邸建卫. LS-DYNA 在汽车碰撞模拟过程中的应用[J]. 沈阳大学学报, 2005, 18(4): 10-12.
- [7] 安爱民, 陈玉全, 汪欢, 等. LS-DYNA 在汽车冲压件成形过程中的应用研究 [M]. 哈尔滨理工大学学报, 2007, 12(5): 19-22.
- [8] 张建卿, 谢桂兰, 安小军. ANSYS /LS-DYNA 在热镀锌板拉深成形中的应用[M]. 现代制造工程, 2009 (6): 51-53.
- [9] 王远钟, 董定福, 俞美芳. 数值模拟波动压边力对拉深件成形质量的影响[M]. 塑性工程学报, 2005 (6): 46-50.
- [10] 赵海欧. LS-DYNA 动力分析指南[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2003.

(编辑: 马 杰)