

冷弯型钢成型回弹过程有限元模拟研究

王飞龙¹, 张代明¹, 张曙红²

(1. 昆明理工大学 材料与冶金工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 昆明理工大学 建筑工程学院, 云南 昆明 650224)

摘要: 冷弯型钢成型过程的变形非常复杂, 回弹研究又是冷弯成型研究中基本部分. 采用有限元法对冷弯成型回弹过程进行数值模拟, 既可以获得许多有价值的信息, 又可以降低生产成本, 所以值得推广. 首先采用显式动力学弹塑性有限元法对冷弯型钢成型过程进行了模拟计算, 接着利用隐式静力学有限元法分析了后续的回弹过程, 最后将回弹量的模拟值与实验值进行了比较, 表明计算结果具有一定的可信度. 这有助于工厂改进工艺, 生产出高质量的产品.

关键词: 冷弯型钢; 有限元; 回弹研究

中图分类号: TG302 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007 - 855X(2004)06 - 0039 - 04

Study on Spring - back 's FEM Simulating of Cold - Roll Forming Process

WANG Fei-long¹, ZHANG Dai-ming¹, ZHANG Shu-hong²

(1. Faculty of Material and Metallurgical Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2. Faculty of Architectural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650224, China)

Abstract: In cold - roll forming process, deforming is very complicated. The spring - back research is an essential part in cold - roll forming research. Using Finite Element Method (FEM) to simulate spring - back in cold - roll forming process, we can gain many valuable data, while it can reduce the producing costs, so it is worth developing. The cold - roll forming process using explicit dynamic FEM and its spring - back process using implicit FEM are analyzed. By comparing the spring - back 's simulation results with experimental results, it is testified the simulation results are credible in a sense. It is helpful to improve technology and produce good products for the factories.

Key words: cold - roll forming sheet; finite element method (FEM); spring - back research

0 引言

回弹是冷弯成型过程中不可避免的物理现象, 冷弯型材产生回弹的直接后果是使型材的形状、尺寸与孔型的形状、尺寸不相符. 要使型材的形状和尺寸达到设计要求, 必须在冷弯成型的最后阶段, 使孔型的形状及尺寸与型材所要求的尺寸产生一定的偏离(即使型材产生过弯), 偏离程度就取决于回弹量的大小及分布情况. 因此精确地计算出型材卸载后回弹量的大小及分布就显得十分重要. 但是, 传统的解析法与经验公式法都不能精确地计算出型材卸载后的回弹量, 生产现场都是采用“试凑法”反复试作, 这样必然导致人力、物力的大量浪费.

本文将探索采用计算机模拟技术求解回弹的方法. 首先利用 ANSYS/LS - DYNA 显式动力学有限元软件来分析冷弯成型过程, 然后利用 ANSYS 隐式求解器来分析上面所模拟出的显式分析结果的回弹问题, 最后将两者进行比较.

1 冷弯成型过程的显式有限元计算

在显式动力学有限元软件 ANSYS/LS - DYNA 中, 建立模拟冷弯成型过程的模拟示意图, 如图 1 所示.

收稿日期: 2004 - 03 - 29.

第一作者简介: 王飞龙(1978.3~), 男, 在读硕士. 主要研究方向: 冷弯型钢. E-mail: km37403@163.com.

在图1中,M5为上模,M3为底模,M2、M4为侧底模,其材料模型均设为刚体.B1为钢板试件(尺寸480 mm × 140 mm × 4 mm),材料模型为经典双线性随动硬化(BKIN)弹塑性材料模型.所有的面划分网格采用的单元为SHELL163,壳SHELL163单元的厚度为4 mm,沿厚度方向设定5个积分点.总体网格采用映射网格,各面划分后的网格如图2所示.

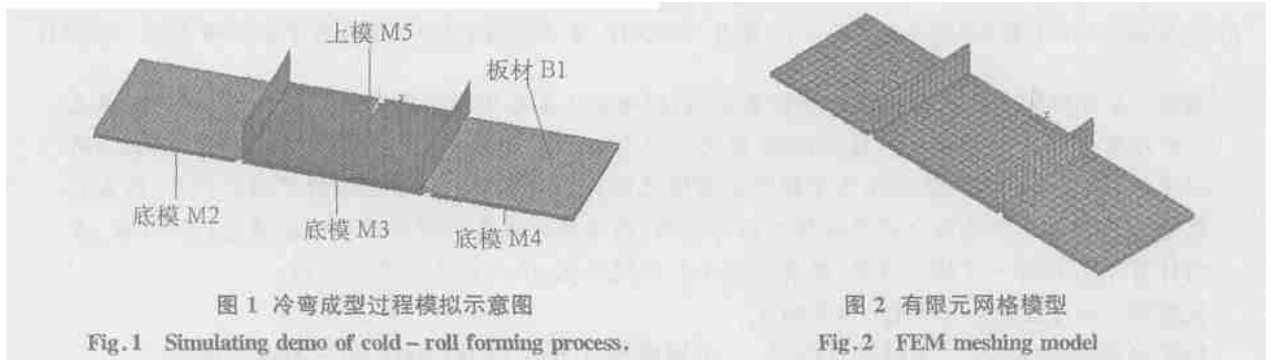


图1 冷弯成型过程模拟示意图

Fig.1 Simulating demo of cold-roll forming process.

图2 有限元网格模型

Fig.2 FEM meshing model

由于在冷弯成型测试过程中,侧模板作用在试件上的压力很难得知,而转动位移易于测量,故本次模拟采取对侧模板M2、M4施加转动位移载荷,最终位移为旋转75°角,

表1 各面的材料参数设置(单位采用国际单位)

Tab.1 Parameter sets of every sector (using ISO units)

面	参 数						
	密度 /kg m ⁻³	屈服强度 /MPa	杨式模量 /kgf mm ⁻²	切向模量 /kgf mm ⁻²	泊松比 μ	移动约束 /mm	转动约束 /mm
B1	7 800	235e6	210e9	500e6	0.3		
M2、M4	7 800	刚体	210e9	刚体	0.3	X、Y、Z	X、Y轴
M3、M5	7 800	刚体	210e9	刚体	0.3	ALL	ALL

Load Lables 选择RBRZ(刚体绕Z轴的转动),M2、M4靠里面的边约束限制UX、UY、UZ、ROTX、ROTY.

当试件与模具完成网格划分和载荷施加后,进行有限元求解.求解完毕后,绘制模型的动能(Kinetic Energy)、滑移能(Sling Interface Energy)、内能(Internal Energy)、总能量(Total Energy)、外力功(External Energy)、沙漏能(Hour Glass Energy)的对比曲线,如图3所示,由图可知本次计算过程的沙漏能几乎为零,远小于总能量及内能,所以本次分析是有效的.本次模拟结果如图5和图6所示.

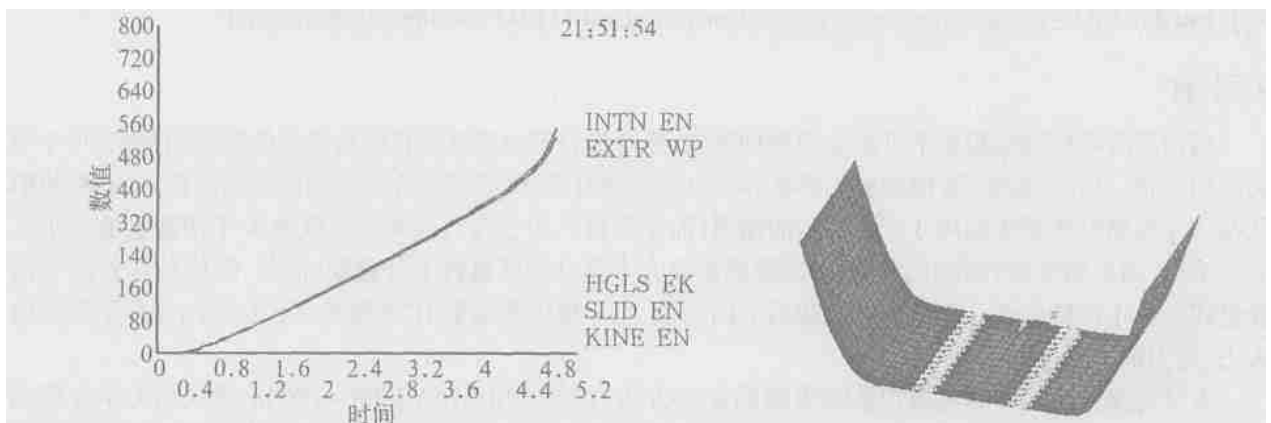


图3 钢板各能量对比图

Fig.3 Several energies' comparing of the simulating sheet

图4 回弹分析模型

Fig.4 Springback's analyzing model

由图5可知,钢板试件在被弯曲至75°角时,两翼端受力为0,这是与其作为自由端不受外力作用的位置相对应的.自由端向弯曲部位扩展时,等效应力由0开始逐渐增大,到达距离两自由端各0.12 m处的弯曲角处时,应力达到最大值,之后向试件中部应力又逐渐减小.图6的变化趋势与图5类似,只不过是试件自由端在x方向的塑性应变为0,距离两自由端各0.12 m处的弯曲角部位的x方向塑性应变最大,这与实际中弯曲角部位受力最大、变形必然也最大的结果是相符合的.

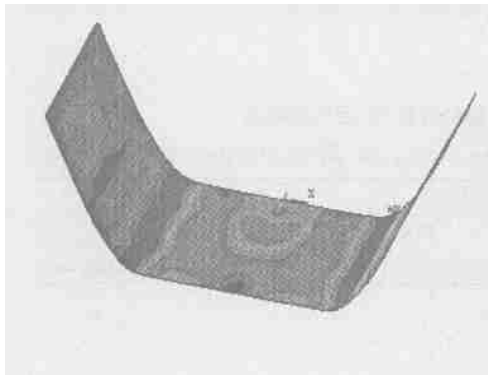


图 5 弯曲 75°时的等效应力云纹图
Fig.5 Von Mises stress vector when bending 75°

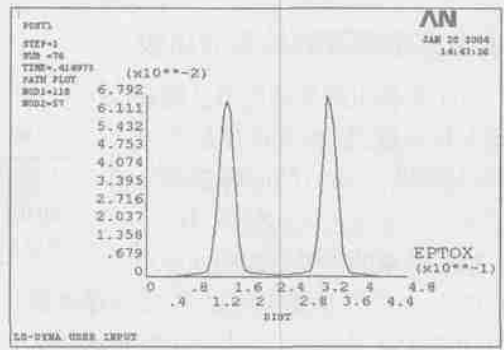


图 6 变形 75°横向 ϵ_{xx} 分布图
Fig.6 transverse ϵ_{xx} distribution of bending 75°

2 冷弯成型的回弹分析

对于冷弯成型过程, 可把回弹定义为板带离开孔型后的空间形状变化. 回弹是由于线弹性卸载而引起的. 冷弯成型时, 当板料和孔型接触时, 弹性能被存储在板材内; 在成型压力移走之后, 弹性能被释放出来, 导致板料朝着它原始的方向变形, 这就是回弹.

表 2 4 mm 钢板回弹实验测试数据(°)

Tab.2 Measured ROTSUM springback data of 4mm trial sheet

模具弯曲角度	试件 1 回弹后角度	试件 2 回弹后角度	试件 3 回弹后角度	平均回弹后角度	平均回弹量
0	0	0	0	0	0
15	9.1	8.2	8.8	8.7	6.3
30	23.2	24.8	23.6	24.2	5.8
45	41.5	40.6	42.3	41.4	3.6
60	56.3	55.2	54.5	54.67	4.5
75	69.8	68.5	69.5	69.3	5.7

本实验研究回弹模拟的有限元计算模型如图 4 所示. 即取出上一节显式模拟结果中板带弯曲至 75° 为止的这一段计算结果, 移走所有的刚体, 约束住板材中部如图所示的节点的所有方向上的节点位移, 进入 ANSYS 隐式求解器, 将显式单元转变为具有适当属性的隐式单元, 关闭隐式单元的形状检查, 将隐式单元的几何形状修改为显式求解变形后的形状, 输入来自显式分析的单元应力和厚度, 就可以执行隐式求解进行回弹分析了.

考虑到实际辊式冷弯成型生产中回弹多用角度的回弹量来表示, 下面将对模拟的回弹角进行分析. 模拟的回弹角的变化量如图 7、图 8 所示, 钢板实际回弹实验实测数据如表 2 所示.

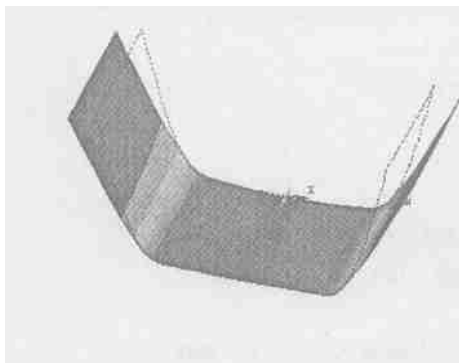


图 7 绕 z 轴方向的回弹角
Fig.7 Springback of ROTZ

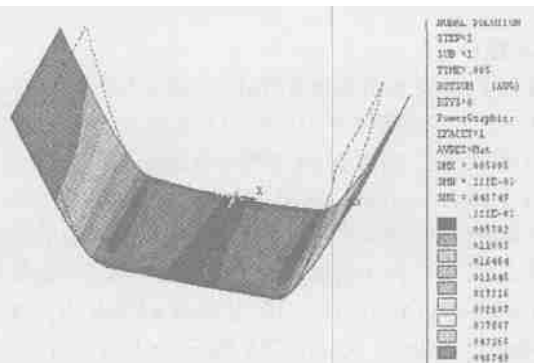


图 8 平均回弹角
Fig.8 ROTSUM springback

3 模拟结果与实验结果的比较

由于实验中的等效应力及等效应变均不易测量,故本节选择最后道次(即板材弯曲75°)的回弹量作为模拟结果与实验结果的比较项目。

模拟结果的回弹值如图9所示。

结合图7、图8以及表3可知,本次回弹量最大值为0.048749,大约为3°表中的95、115、109为75°试件回弹后位移最大点的节点编号;实验结果的回弹值由表2可知,大约为5.7°。

模拟结果与实验结果在回弹角上出现了大的差异,这主要是由于两者的上模倒角(即冷弯后型材的内圆弧半径)大小相差很大而引起的。在自己设计的实验装置中,上模(即上夹板)的倒角半径为10 mm,而若弯曲按此尺寸去设置其有限元模型的倒角,则整体模型必须建得非常庞大,否则将无法为其设置倒角。模型一旦按此比例增大,计算量便会成百上千倍地增加。为减少计算量,笔者将用于模拟的模型上模倒角半径设置成了1 mm。这样,在模拟回弹的过程中,板材的弯曲半径被大大减小,回弹角也随之而减小了。若将上模倒角(即型材的内圆弧半径)也设置成1°当然这样的模具无实际应用价值,模拟结果会更好拟合实验结果。

表3 板材弯曲75°后的回弹角

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES				
MODE	95	115	109	109
VALUE	0.49362E-02	0.53235E-02	0.48612E-01	0.48749E-01

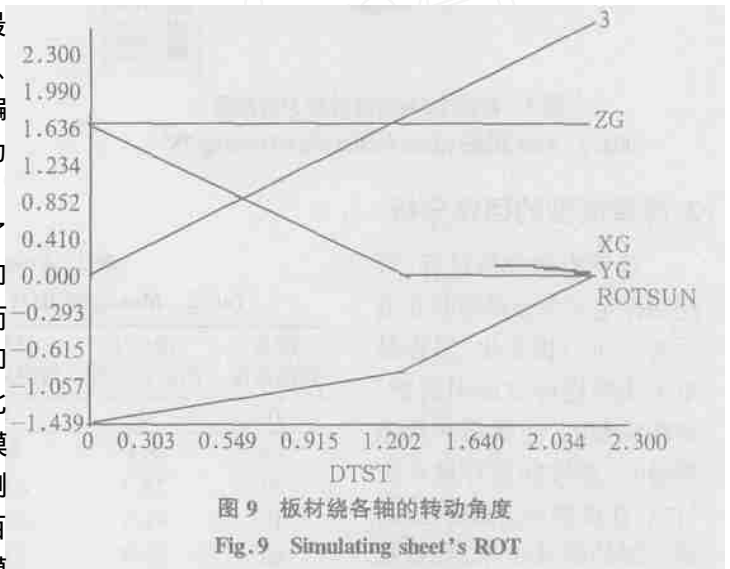


图9 板材绕各轴的转动角度

Fig.9 Simulating sheet's ROT

4 结论

(1) 采用显式动力学有限元法对冷弯成型过程进行了模拟计算以及采用隐式静力学有限元法分析了后续的回弹过程,在理论上是可行的,且具有实际应用价值;

(2) 通过分析回弹量的模拟值与实验值具有一定的可比性,说明采用显、隐式相结合的方法计算回弹问题是比较成功的。

参考文献:

- [1] 姜复生,袁晓光.我国冷弯型钢生产的特点及发展[J].钢铁,2000,35(9):73~77.
- [2] 王先进.冷弯型钢生产及应用[M].北京,冶金工业出版社,1994.136~170.
- [3] 石京,王先进.国内外冷弯成型研究最新进展[J].轧钢,1998,24(5):1~5.
- [4] www.ansys.com.cn - ansys[EB/OL].cae leader in china,2003.5.
- [5] 美国曼科分析研究公司北京代表处.MARC培训手册[M].美国曼科分析研究公司,2003.3,1~6.
- [6] 刘立忠,刘相华,王国栋.轧制过程的显式动力学有限元模拟[J].力学与实践,2001,23(5):34~36.
- [7] ANSYS Inc..ANSYS/LS-DYNA User's Guide[M].ANSYS Inc.,2002.
- [8] John O. Hallquist. LS-DYNA Theoretical Manual[M].Livermore Sofeware Technology Corporation,1998.
- [9] Livermore Software Technology Corporation. LS-DYNA Keyword User's Manual for Version 960,Livermore Sofeware Technology Corporation,2001.