

文章编号:1671-5497(2006)05-0723-04

分段多点成形技术及数值模拟

郝瑞霞,付文智,李明哲

(吉林大学 无模成形技术中心,长春 130022)

摘要:为了解决企业在成形设备的初投资及大型板类件的成形问题,在深入研究分段多点成形工艺特点的基础上,运用有限元软件ABAQUS成功地模拟了分段多点成形过程。采用非均匀有理B样条曲面(NURBS)完成了分段成形的关键环节——过渡区的协调设计,通过三维软件CATIA设计合理过渡区形状以消除板料的波浪形曲面缺陷,提高了工件的成形质量。

关键词:材料合成与加工工艺;板材成形;多点成形;分段成形;数值模拟;回弹

中图分类号:TG386 **文献标识码:**A

Sectional multi-point forming and its numerical simulation

Hao Rui-xia, Fu Wen-zhi, Li Ming-zhe

(Dieless Forming Technology Center, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract:To save the investment in equipment and resolve the large sheet metal forming, on the basis of analyzing the processing technology of sectional multi-point forming, finite element software-ABAQUS was introduced to simulate successfully the sectional multi-point forming. The key of the sectional multi-point forming—the forming surface of transition area was designed by the non-uniform rational B-spline surface (NURBS) through the 3-dimensional software CATIA. The wave surface defect was restrained with the harmonizing designing the forming surface of transition area, therefore, the forming quality improved.

Key words: materials synthesis and processing technology; sheet metal forming; multi-point forming; sectional forming; numerical simulation; springback

采用分段多点成形^[1]技术可以在较小的设备上实现大型板材的加工,从而大大减小了设备的吨位,节省了巨额的新设备开支。分段多点成形属多工步成形,存在的主要问题是在过渡区产生剧烈塑性变形。目前还未见国外学者就分段多点成形作深入研究的报道,国内关于此研究也较少。文献[2]提出了基于遗传算法的设计方案,在很大程度上解决了过渡区产生的剧烈变形,但

是由于遗传算法本身的影响参数较多,想要获得最优的结果有时需要反复的验证,大大降低了整体工作效率。为此,作者采用基于NURBS^[3]的过渡区设计方法。优点是较为直观,可以根据实际情况很方便地修改过渡区的形状,以适应不同的需要,效率较高。并通过有限元数值模拟分析过渡区的设计是否合理。

收稿日期:2005-09-22.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50275063);吉林大学“985工程”资助项目。

作者简介:郝瑞霞(1980-),女,硕士研究生。研究方向:塑性成形过程及其数值模拟。E-mail:haoruixiahao@126.com

通讯联系人:付文智(1960-),男,教授,博士生导师。研究方向:柔性成形设备及液压驱动系统的现代设计方法。

E-mail:fwz@jlu.edu.cn

1 分段多点成形工艺

当工件的尺寸超过了设备一次成形区的尺寸而无法一次成形时,将工件在不分离的状态下分成几个连续成形区域分别进行压制,即为分段成形工艺。图1给出了分段成形示意图及其区域分布:(1)区是已成形区,(2)区是有效压制区,(3)区是过渡区,(4)区是未压制区。

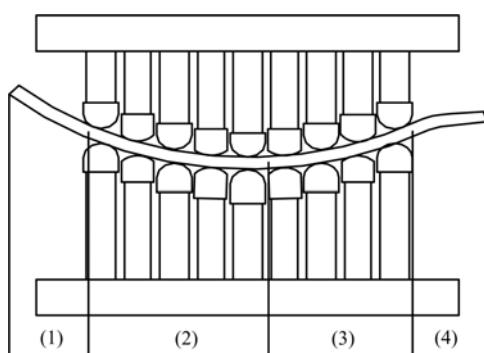


图1 分段多点成形示意图

Fig.1 Sketch of sectional multi-point forming

与一次成形工艺相比较,分段成形工件的变形状态更为复杂,各区域之间相互影响。(2)、(3)区属于强制压制区,(4)区属于自由变形区。分段成形时的缺陷往往集中在压制区与自由变形区交界的波浪形曲面上,这种缺陷是由于压制区受到自由变形区的抑制作用而产生的局部剧烈塑性变形而引起的。为了缓解这种剧烈塑性变形,作者通过设置适当的基本体型面来协调过渡区(压制区与自由变形区交界区域)的变形,使局部剧烈塑性变形转化为较大区域的小变形的积累,并提出了变形协调分段多点成形方法(见图2)。

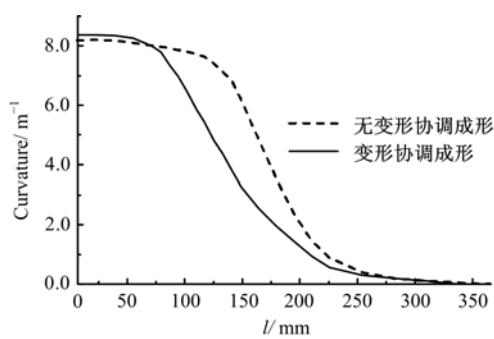


图2 过渡区的协调原则

Fig.2 Principle of adjusting the transition area

过渡区形状设定的根本目的就是要协调目标形状和坯料形状,尽量使过渡区内变形均匀,避免出现局部剧烈塑变。从数学的角度来说,就是如

何做到从目标形状边缘的截面线(一般为曲线)在过渡区内均匀过渡到坯料的截面线(一般为直线)的问题。过渡区的曲面一侧与目标已成形区连接,另一侧与坯料连接。为了保证过渡区两侧曲线的连接光滑,过渡区表面要满足曲率 C^2 连续,与目标形状和坯料的连接处要满足切线 C^1 连续。利用非均匀有理 B 样条曲面(NURBS)方法通过三维造型软件 CATIA 进行过渡区成形面的曲面造型(如图3),然后利用这个造型通过多点成形的计算机系统调整基本体构造出成形面,可以实现板材的三维成形。

图4是有、无过渡区设计的实验工件(马鞍面和球面)的质量对比图。从图中可以明显看出,经过设计合理的过渡区,波浪形曲面缺陷已经消除,成形质量提高。



图3 过渡区设计

Fig.3 Design of transition area



(a) 无过渡区设计



(b) 有过渡区设计

图4 有、无过渡区设计的工件质量

Fig.4 Quality of workpiece with and without designing transition area

2 分段多点成形有限元模拟

2.1 有限元模型

对于分段多点成形,由于各部分变形状态的相互影响、相互制约,即使是最简单的二维变形也会变成复杂的三维曲面成形,给板材多点分段成形增加了难度。为了保证成形质量,必须了解多点分段成形时板材的变形特点及成形规律。对多点分段成形的变形特点及影响因素进行数值模拟研究可得出最佳工艺方法,其中有限元数值方法是最为有效的方法。分段成形数值模拟的关键在于要将坯料在第一次变形后发生的几何形状变化、厚度变化及残余应力传递到下一步计算中去,也就是在第二次及以后各次的计算中,将前一次成形后的坯料信息继承下来。

分段多点成形过程模拟如下:首先在有限元软件中建立有限元模型(见图5),在不影响计算结果的前提下,为了节省CPU的时间,可以适当

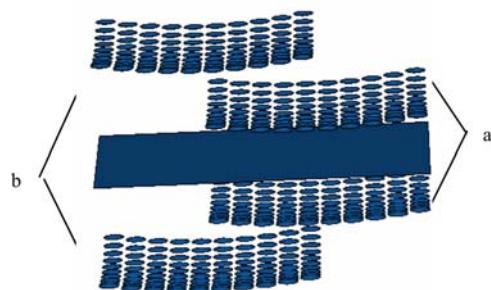


图5 分段多点成形有限元模型

Fig. 5 Finite element model of sectional multi-point forming

地简化模型,将基本体设为刚体,并在模型中仅考虑与板料接触的基本体球头部分(忽略基本体杆部)对模型的影响。在实际的成形过程中,基本体(冲头)是固定的,通过移动板料来完成分段压制;在有限元模型中要固定板料,依据预定的变形路径把预先构造好的基本体(冲头)调整在合理位置上,将成形所需的基本体建立在同一个有限元模型中。第一步:压制合理设计过渡区的基本体成形面a,采用动态显示算法计算。第二步:卸载基本体成形面a,并运用动态显式计算回弹。第三步:压制目标形状基本体成形面b,采用动态显示算法计算。第四步:卸载基本体成形面b,成形结束之后,采用静态隐式算法对板料做回弹分析。

分段多工步的数值模拟要保证工件的应力应

变等信息的继承性。同时,回弹计算也是不可避免的,还要保证模拟计算时间合理,不能过长。一般来说,模拟板材加载过程采用动态显式算法,卸载回弹采用静态隐式算法^[4,5]。但是,分段成形数值模拟前三步都采用了动态显式算法,包括其中的第二步的卸载回弹计算。这样是为了不用在中间设置终止时间来提取第一步成形数据,导入到静态隐式模块,然后再将静态隐式计算的成形数据导入到动态显示模块用于第三步的压制,既节省了时间,又能保证计算精度。因为第四步会采用静态隐式算法进行一个完整的成形件回弹计算。

2.2 边界条件及载荷处理

与传统的工具连续表面相比,多点成形中工具由多个离散表面组成,故接触非线性更强。对接触边界的处理往往决定数值计算的成败,作者利用Coulomb摩擦模型,采用罚函数法计算接触力。

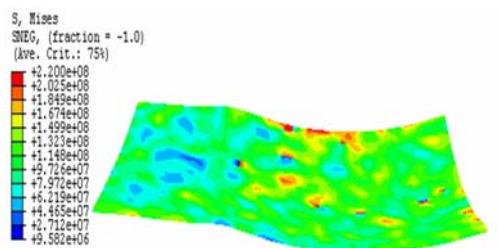
多点成形过程数值模拟时,基本体群的运动通过给定位移-时间曲线进行控制,为了给出合适的位移-时间曲线,必须精确计算出各基本体与工件的接触点位置,即确定各基本体的位移,因为它直接影响着成形件的质量。基本体与板料的接触点是各基本体球头表面与板料表面的公切点。

在板材成形模拟中,为了防止板材发生不必要的移动,在板料边界上施加控制平移和绕平面法向旋转2个自由度的约束。

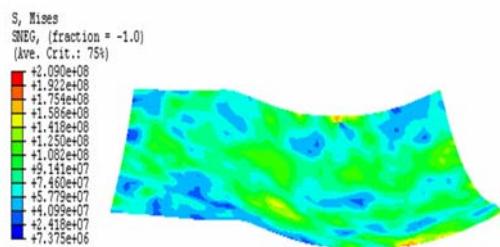
2.3 分段成形的数值模拟

采用有限元模型(见图5),成形件是目标形状曲率半径 $R = 300\text{ mm}$ 的球形曲面件,板料为08AL,屈服极限为 128.5 MPa ,弹性模量为 $207 \times 10^3\text{ MPa}$,尺寸为 $100\text{ mm} \times 150\text{ mm}$,采用变形协调分段成形技术进行成形。图6是球形曲面工件分段压制后的等效应力分布云图。

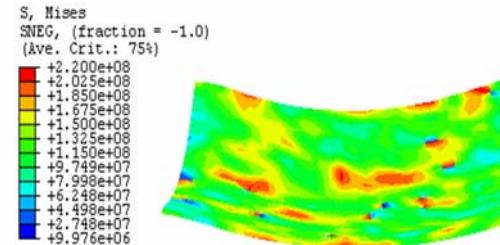
图7是有、无过渡区设计的球面成形件端面轮廓线节点的y向位移对比。从图中可以看出,未经过设计过渡区的成形件的位移图在自由变形区与刚性区连接处截面线不平滑,有剧烈的变化。这主要是由于压制区受到自由变形区的抑制作用而产生的局部剧烈塑性变形而引起的;采用非均匀有理B样条设计过渡区之后的工件结点的位移曲线比较光顺,波浪形曲面缺陷已经消除,成形质量提高。



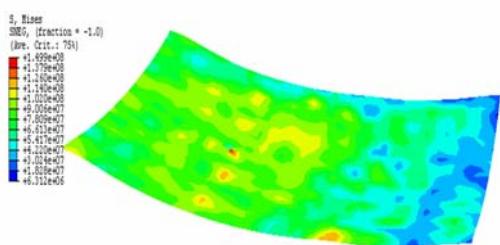
第一步：基本体a压制后的等效应力分布



第二步：第一次计算回弹后的等效应力分布

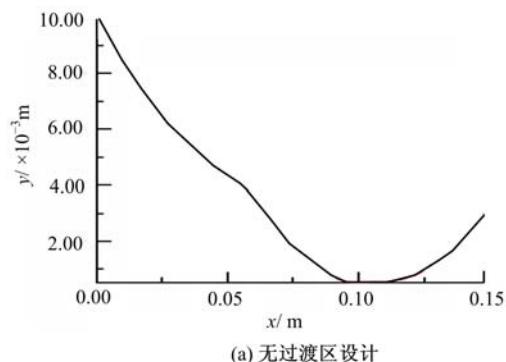


第三步：基本体b压制后的等效应力分布

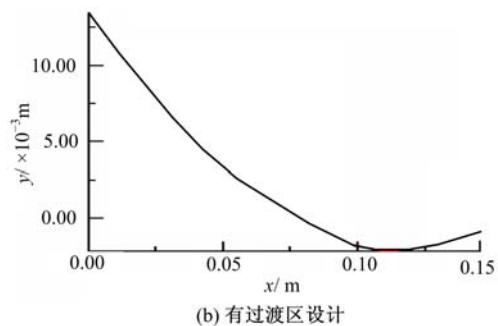


第四步：第二次计算回弹后的等效应力分布

图 6 多工步成形中工件等效应力分布云图
Fig. 6 Equivalent stresses distribution in multi-steps forming



(a) 无过渡区设计



(b) 有过渡区设计

图 7 球形件过渡区设计前、后的 y 向位移

Fig. 7 Displacement of y direction before and after designing transition area of sphere

3 结论

(1)采用非均匀有理 B 样条曲线完成了过渡区的设计,通过三维软件 CATIA 设计了合理的过渡区形状,消除了板料的波浪形曲面缺陷,提高了成形质量。

(2)运用有限元软件 ABAQUS 成功模拟了分段多点成形过程。这一多工步模拟方法有助于探索分段成形工艺的规律。

参考文献:

- [1] Li M Z, Cai Z Y, Sui Z, et al. Multi-point forming technology for sheet metal parts[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 129(1-3): 333-338.
- [2] 陈建军,李明哲,隋振,等.基于遗传算法的板材分段成形过渡区的优化设计[J].吉林工业大学自然科学学报,2001,31(2):12-16.
Chen Jian-jun, Li Ming-zhe, Sui Zhen, et al. GA-based optimization transition region for section forming [J]. Natural Science Journal of Jilin University of Technology, 2001, 31(2): 12-16.
- [3] 施法中.计算机辅助几何设计与非均匀有理 B 样条[M].北京:北京航空航天大学出版社,1994.
- [4] 李淑慧,李明哲,蔡中义,等.板材多点弯曲过程及回弹现象的数值模拟[J].农业机械学报,2000,31(1):112-115.
Li Shu-hui, Li Ming-zhe, Cai Zhong-yi, et al. Numerical simulation of multi-point bending and springback processes of sheet metal parts[J]. Journal of Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 31(1): 112-115.
- [5] Lee S W, Yang D Y. An assessment of numerical parameters influencing springback in explicit finite element analysis of sheet metal forming process[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1998, 81:60-67.