

文章编号:1000-582X(2003)09-0050-03

# 数控弯管管材成形三维有限元分析<sup>\*</sup>

詹浩

(重庆大学机械工程学院,重庆 400044)

**摘要:**以 CNC 数控弯管管材复杂空间成形的工程问题为背景,用三维弹塑性大变形理论来研究和分析管材在特定模具下的成形过程,并且编制了三维弹塑性大变形有限元程序。实现了管材弯曲成形过程的模拟,获得了设计模具和确定工艺参数的有关参考数据。通过实际管材在 CNC 弯曲过程中的计算,得到内部应力、应变分布及变形。再通过有限元分析,对于模具设计、弯管数据的修正,管材的材质、直径、壁厚的选取,以及加工中管材的弯裂、管壁起翘等现象的控制,提供了可靠科学的理论依据,提高经济效益。

**关键词:**弹塑性大变形;管材成形;有限元程序

**中图分类号:**TH123

**文献标识码:**A

有限元理论加上先进的计算机科学技术,是现代工程技术问题的犀利武器。在处理金属成形领域的问题时,人们用计算机来模拟成形过程,取得许多成果。日本 OPTON RS50 数控弯管机,主要用于研制 CB125T 型、JH125T 型摩托车的车架,达到了一根管件一次成形的要求。

复杂空间管材成形,对于其加工精度尺寸、强度、变形要求很高,故对模具、管材的材质等要求精度很高,所以必须对管材弯曲过程进行有限元分析和成形模拟,了解管材在弯曲过程中的内部应力、应变分布及变形。通过有限元分析,对于模具设计、弯管数据的修正,管材的材质、直径、壁厚的选取,以及加工中管材的弯裂、管壁起翘等现象的控制,获得科学的理论依据,提高经济效益。

在广泛深入进行国内外动态调研的基础上,研制开发用于管材弯曲成形的变形有限元分析及其前后处理程序。采用三维弹塑性大变形有限元分析<sup>[1]</sup>,对支撑管 50125/6-KEJ-9000-H1 进行弹塑性大变形有限元分析。对所得结果进行分析讨论,为问题的解决提供科学的方法和依据。

## 1 用增量理论求解弹塑性问题

根据塑性理论<sup>[2]</sup>,等向强化加载面为

$$\Phi = \Phi(\sigma_{ij}, K) \quad (1)$$

其中  $K$  为强化参数,加载时  $\sigma_{ij}$  始终位于不断变化的加载面上,因此

$$\Phi = \Phi(\sigma_{ij} + d\sigma_{ij}, K + dK) = 0 \quad (2)$$

根据(1)和(2),有

$$d\Phi = \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} + \frac{\partial \Phi}{\partial K} \frac{\partial K}{\partial \varepsilon_{ij}^p} d\varepsilon_{ij}^p = 0 \quad (3)$$

引入记号

$$q_{ij} = \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{ij}}, p_{ij} = -\frac{\partial \Phi}{\partial K} \frac{\partial K}{\partial \varepsilon_{ij}^p} \quad (3)$$

式简化为

$$q_{ij} d\sigma_{ij} - p_{ij} d\varepsilon_{ij}^p = 0 \quad (4)$$

由广义虎克定律

$$d\sigma_{ij} = D_{ijkl} d\varepsilon_{kl} = D_{ijkl} (d\varepsilon_{kl} - d\varepsilon_{kl}^p) \quad (5)$$

引用塑性位势理论

$$d\varepsilon_{ij}^p = d\lambda q_{ij} \quad (6)$$

联立求解(4)(5)(6)式,可求出

$$d\lambda = \left( \frac{D_{uvrs} q_{uv}}{D_{ijgh} q_{ij} q_{gh} + p_{mn} q_{mn}} \right) d\varepsilon_n \quad (7)$$

将(7)代入(6)再代入(5),并引入矩阵记号,求出

$$d\{\sigma\} = [D]^{EP} d\{\varepsilon\}$$

$$\text{其中 } [D]^{EP} = [D] - \frac{[D]\{q\}([D]\{q\})^T}{\{q\}^T [D] \{q\} + \{p\}^T \{q\}}$$

\* 收稿日期:2003-05-03

作者简介:詹浩(1970-),女,重庆人,工程师,主要从事计算力学和软件开发方面的科研工作。

称为弹塑性矩阵,用作编程依据。

## 2 软件系统

数控弯管管材成形三维有限元分析软件系统<sup>[3]</sup>,是一个以三维弹塑性大变形有限元分析程序为核心,含自动分网、数据文件屏幕绘图、数据检查、前后处理的完整的软件系统,用于各种材料、型号的管材分析和计算。软件系统采用 FORTRAN 语言编程,共计 3 000 行源程序,分为 240 个模块。

前处理分为自动分网模块——读入前处理控制文件,自动生成有限元网格数据文件,供数据组集使用。数据文件屏幕绘图模块——读入有限元网格数据文件,组集有限元分析数据文件。

分析计算分为有限元分析计算模块——读入数据文件,进行三维弹塑性有限元分析计算,输出结果存入文件中。

后处理分为变形图生成模块——读入数据文件和后处理控制文件中的控制信息,进行变形数据的后处理工作。按照控制信息的要求,绘制轮廓线变形图,网格线变形图,外表面变形图以及最大位移和最大应力分布图。应力图生成模块——读入数据文件和后处理控制文件中的控制信息,进行应力数据的后处理工作。按照控制信息的规定,生成指定截面的第 1、2、3 主应力、应力强度等值线图和相应的曲面图。

## 3 有限元计算

在实际算例中,取生产中弯曲成形的一根管零件即支撑管(SUB PIPE),零件编号 50125/126 - KEJ - 9000 做弹塑性大变形分析。支撑管位于 CB125T 摩托车车架中部,主要起支撑作用,所以强度要求较高,通过对边界条件的处理,计算结论与实际数控弯管的过程相吻合。

### 3.1 模型描述

#### 1) 几何尺寸和边界条件

几何尺寸如图 1 所示。所取管材尺寸为:

管外径:22.2 mm 管壁厚:1.6 mm 管长:766 mm  
弯管机模具尺寸:

夹头长度:30 mm 压力模宽度:149 mm 夹紧模宽度:30 mm 弯模半径:150 mm

坐标系:原点位于管子夹头的端部中心。X 轴沿管子的中心线方向。Y 轴沿管子径向,且垂直于 X 轴。Z 轴亦沿管子径向,且垂直于 XOY 平面。

约束:管子夹头部取固定约束,在与压力模和弯曲模靠近部位保留 X 方向自由度,约束 Z, Y 方向自由度。

载荷:管子被夹紧模夹持的部分(30mm 长)施加载荷,沿 Y 轴的负方向垂直作用于管子的表面。

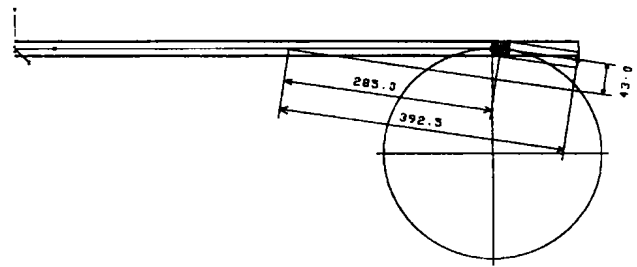


图1 支撑管几何尺寸示意图

#### 2) 单元类型

支撑管的有限元模型如图 2 所示。由于该管子的长度与直径相比相差较大,属于薄壁管材,所以采用 8 节点三维固体等参元进行分析计算,每个单元设定  $2 \times 2 \times 2 = 8$  个高斯积分点。通过对 20 节点和 8 节点等参元进行的分析计算,发现节点取得越多和积分阶数取得越高对分析计算反而代来了较大的误差。8 节点等参元计算结果的效果较好。

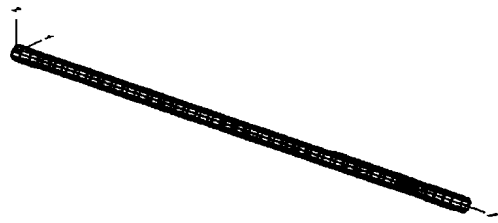


图2 支撑管有限元模型

#### 3) 材料性质

牌号:Q195 杨氏模量: $E = 205\ 800\ \text{MPa}$

泊桑比: $\mu = 0.3$  屈服应力: $\sigma_s = 195\ \text{MPa}$

塑性模量: $E_T = 1\ 029\ \text{MPa}$

### 3.2 计算结果

变形分析如图 3 所示,最大应力强度<sup>[4]</sup>发生在管子与弯曲模接触处,即产生最大弯曲变形处。最大位移位于管子的端头,其变形最大,整体变形较为均匀,无畸形产生。

通过对第 1 主应力的分析如图 4 所示可知,管子在弯曲过程中只有与弯曲模接触部分是高应力区,而离开弯曲模越远,应力就越小。在压力模与夹头之间应力值几乎为零。沿管子背部剖切展开,形成展开图的主应力等值线图所示可知,弯曲变形的外侧基本受拉应力作用,而内侧则有拉应力和压应力交替出现的现象。在与弯模接触部位(管内侧)出现了应力的波峰—波谷分布,即拉、压应力交替出现。证明了在弯曲加工中,当某些外部条件未达到满足时,管子的内侧很容易出现

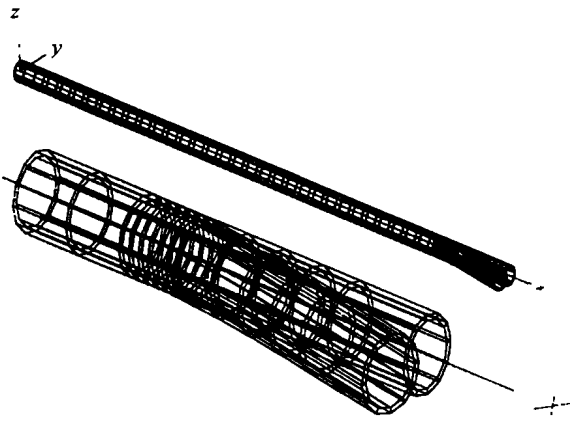


图3 支撑管网格变形图

起皱的现象。通过对应力强度图的分析,得出了在弯曲变形部分的应力强度数值较高。计算分析后,发现管子的最大应力强度未超过材料的强度极限<sup>[5]</sup>,故其弯曲工艺过程是合理的。

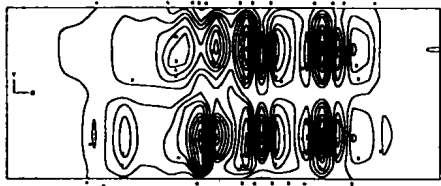


图4 支撑管第1主应力等值线(展开图)

## 4 结 论

软件系统用三维有限元方法分析弯管过程,充分

体现了研究对象的三维力学行为<sup>[6]</sup>;软件系统采用自动分网前处理,自动划分单元、生成节点,输出有限元分析的数据文件,避免了传统手工分网过程中用户的沉重负担,明显地提高了工作效率。有限元计算的数值结果通过后处理软件生成变形图、应力图等18种图形,以形象直观,使用方便的形式提供给加工分析使用。

## 参考文献:

- [1] 张汝清,詹先义. 非线性有限元分析[M]. 重庆:重庆大学出版社,1990.
- [2] 汪凌云,刘静安. 计算金属成形力学及应用[M]. 重庆:重庆大学出版社,1991.
- [3] 李建中,岑章志,徐秉业. 轴对称壳体弹塑性屈曲的有限元分析[J]. 清华大学学报(自然科学版),1999,39(2): 82-85.
- [4] 徐志峰,刘应华,徐秉业. 弯管结构塑性极限上限分析的有限元方法[J]. 清华大学学报(自然科学版),2002,42(4):427-430.
- [5] BLACHUT J, GALLETLY G D. Buckling strength of imperfect steel hemispheres [J]. Thin - Walled Structures. , 1995,23:1-20.
- [6] D Y YANG, N K LEE, I M YOON, et al. A Three - Dimensional Rigid - plastic finite element analysis of spur gear forging using the modular remeshing technique[J]. Proc Instn Mech Engrs. ,1991, 205:111-121.

# Three-dimensional Finite Element Analysis of CNC Bending Pipe

ZHAN Hao

(College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** In the light of constration of pipe be complicated deformed by CNC bending, this thesis studies and analysed the pipe, on which the partiular model is deformed, based on the three-dimensional elastoplastic large deform hypothes. So the whole moddle computing produce of bending pipe deformed is gotten out, and a lot of reference data are given out which can be used to project model and affirm technology data. This programme can be applied universally and can be use to anyalsis some kinds of pipe. Practice pipe of CNC bending compute, gained the interior stress、the distri-buting stran and deform are gained. The result of Finite Element Analysis provides credibility and scientific theory base for designing mould, modifying the bending data, choosing pipe of material and diameter thickness.

**Key words:** elastoplastic large deforme; pipe deform; finint element programme

(编辑 成孝义)