

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.12.015

非均匀厚壁管料弯折成形及缺陷仿真分析^{*}

牟淑志¹, 杜春江²

(1. 金陵科技学院机电学院, 江苏 南京 211169; 2. 南京电子技术研究所, 江苏 南京 210039)

摘要:为解决某大型发电设备转子线圈使用的非均匀大壁厚铜银合金矩形方管的弯折成形及回弹问题,基于有限元分析软件 ANSYS/LS-DYNA,对管料的弯折成形及回弹进行了仿真分析,为某弯管设备的设计提供了参考。针对该弯管设备调试过程中出现的管料异常变形和弯折扭曲等问题,提出了采用双上模结构取代原来的单上模结构,通过调整上模之间的不同跨距消除弯折缺陷的方法,建立了仿真模型,并开展了仿真分析。仿真结果表明:采用双上模结构,通过合理调整模具间距,可有效解决压头位置的局部非弯折变形及扭曲问题。

关键词:弯折成形;成形缺陷;仿真

中图分类号:TH123+.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2018)12-1334-04

Bend forming and defect simulation of non-uniform thick-wall pipe

MU Shu-zhi¹, DU Chun-jiang²

(1. School of Mechanical & Electromechanical Engineering, Jinling Institute of Technology, Nanjing 211169, China;

2. China Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract: In order to solve the problems of bend forming and spring-back simulation of non-uniform thick-wall pipe used in large-scale power equipment, simulation was done with the explicit finite element analysis software ANSYS/LS-DYNA, gave important reference to the design of bending equipment. In view of the problem of abnormal deformation and torsion happened in the bending process, a method was presented to eliminate the forming defect by using double top stampers structure, and adjusting the distance between two top stampers was discussed. The results show that the local abnormal deformation and torsion problem could be solved by the above two methods effectively.

Key words: bend forming; forming defect; simulation

0 引言

弯管成形涉及到复杂的几何非线性、材料非线性和接触非线性问题,力学过程非常复杂,单纯采用传统的理论解析方法难以准确可靠地解决生产设计中出现的问题^[1]。

目前在实际生产中,弯折结构大多都是采用“试错法”^[2],对于弯曲成形中出现的(如起皱、延伸

量和回弹等),只能通过简单的成形极限规则和经验来估计,由于事先很难准确估计出这些可能出现的问题,需要花费大量的时间来试验调试,造成时间上和人力物力上的极大消耗。借助于成熟的有限元分析软件对管材折弯过程进行计算机仿真,可以在设计阶段发现问题,极大地缩短试验研制周期,有效降低研发成本^[3~5]。国内外相关学者采用有限元法对弯管成形及回弹进行了仿真^[6],分析了弯管成形的影响因素^[7],

收稿日期:2018-04-07

基金项目:金陵科技学院科研基金资助项目(jit-b-200907)

作者简介:牟淑志(1978-),女,山东寿光人,博士,副教授,主要从事机电及智能化系统设计、系统仿真和优化设计方面的研究。E-mail:msz@jit.edu.cn

很好地指导了工程设计。

本文基于通用显式有限元分析软件 ANSYS/LS-DYNA,对研发的某大型发电设备转子线圈使用的管料弯折成形设备弯折成形及回弹进行仿真分析,为该弯折设备方案设计提供参考。

针对在弯折设备在调试过程中出现的管料异常变形和弯折扭曲等问题,笔者将基于仿真分析探讨采用双上模结构取代原来的单上模结构,通过调整双上模之间的不同跨距方式消除弯折缺陷的可行性,为相关问题的解决及数控管线成形设备的调试和改进设计提供重要的理论依据和指导。

1 弯折成形设计基本原理

某弯折成形设备采用无模弯曲成形技术,即只有一副通用的折弯模具,通过调整不同的折弯参数,来实现各种曲率的管材的折弯。

在单一品种管料弯折过程中,通过一段段多次弯折的折线来逼近所需要圆弧曲线,多边形的边越多,则与理论圆弧的误差越小。

某弯折成形设备基本工作原理如图 1 所示。

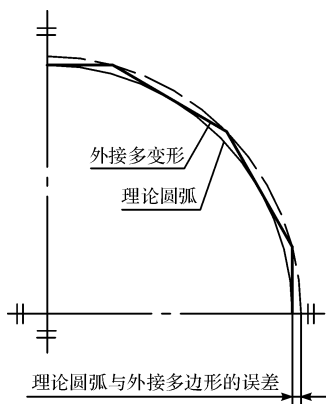


图 1 某弯折成形设备基本工作原理

多次弯折成形后的管料如图 2 所示。

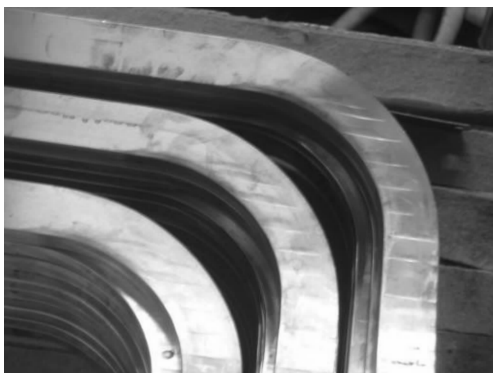


图 2 典型弯折后的管料

2 弯折成形仿真

2.1 弯折成形仿真建模

针对该弯折设备多次顺序弯折成形的工作原理,本研究以单次弯折成形及回弹作为研究对象开展了仿真分析。弯折成形有限元建模中忽略上下冲压模具和夹具的变形,采用壳单元和刚性材料来模拟,考虑到弯折变形后各部分壁厚产生不规则变化,采用精细六面体实体单元来模拟管料。

为减少计算规模,本研究对管料只截取其发生作用的相关部位进行了仿真。

建立的有限元模型如图 3 所示。

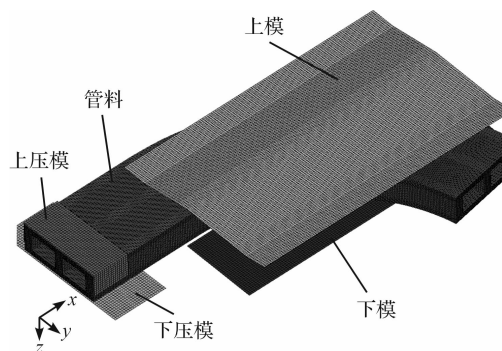


图 3 弯折成形有限元模型

为提高仿真计算的精度,本研究对管料本体取样进行了拉伸试验,获得了材料的真实属性,并在此基础上采用双线性弹塑性材料模型进行模拟。

材料参数如表 1 所示^[8]。

表 1 试验获得的材料基本力学性能参数

弹性模量/GPa	泊松比	屈服极限/MPa	强度极限/MPa
108	0.3	270	280

2.2 弯折成形仿真

弯折模拟的基本过程为:

下压模和下模固定不动,上压模先向下运动夹住管材,然后上模向下运动直到行程終了;回弹模拟采用靠模回弹方法,即在成形结束后,以一定的速度逐步将上模和上压模向上运动直至模具与管料完全脱离接触。

冲压及回弹过程中作用在上模和上压模上的接触反力如图 4 所示。

曲线 1 和 3 分别为冲压及回弹过程中作用在上模和上压模上的接触反力,可以看到随着冲压行程的增大,作用在上模和上压模上的接触反力逐渐增大,在 5.5 ms 冲压行程終了时达到最大值 16.4 kN,此后随

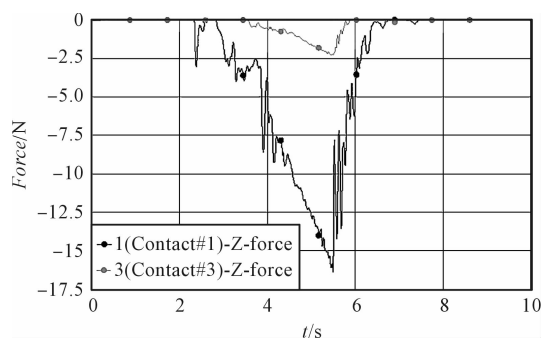


图 4 上模及上压模上的载荷

着上模和上压模的卸载,接触反力逐渐减小,直到上模、上压模与成形后的管料脱离接触,接触反力减少到 0。从接触反力的变化历程中可以看出,冲压过程中所需要的上模上的最大冲压力为 16.4 kN,该值可为折弯机传动链参数的设计提供参考。

弯折过程中管料上的应力分布如图 5 所示(管料上应力值较大的局部区域存在明显的非弯折变形问题)。

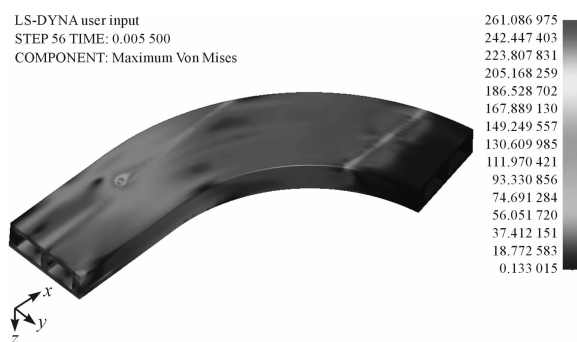


图 5 管料上的应力分布

3 弯折成形缺陷分析及仿真

针对单上模弯折后管料出现的(图 5 所示)局部应力过大及弯折后管料发生了扭转变形问题,本研究以简单直管管料作为研究对象,探讨将原来的单个上模改变为跨距可调整的双上模结构来消除局部非正常变形的可行性,并在此基础上,基于仿真分析研究通过调整双上模之间的跨距来消除弯折扭转问题。

3.1 单双模问题

本研究以典型的直管弯折作为研究对象,分别对初始的单模弯折和改进后的双模弯折进行仿真分析。与单个上模的工作方式不同,双上模结构中上模 1 先向下运动压紧管料后,上模 2 再开始向下运动进行管料的弯折。

单个上模弯折过程应力分布如图 6 所示。

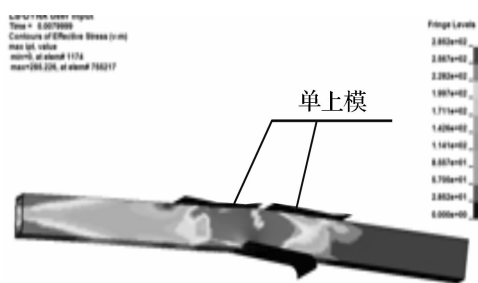


图 6 单个上模弯折过程应力分布

双上模弯折成形过程应力分布如图 7 所示。

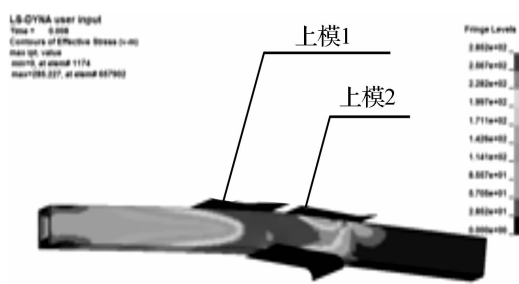


图 7 双上模弯折过程应力分布

云图上的应力超过屈服应力的区域为进入塑性变形的部位。在单上模弯折成形过程中,单上模与下模之间的管料应力分布未呈现明显的管料弯曲应力分布状态(管料上、下表面应力分布关于中性面近似对称),将导致压缩变形大于弯曲变形,且与弯折成形方案设计的 3 点弯折成形理念不相符,从而导致成形异常,且左端管料夹紧段出现较大范围的塑性变形区域,在弯折设备的多次成形过程中将严重影响前面已弯折部分弯折角度及成形质量。

而在图 7 所示的双上模(上模 1 和上模 2)弯折成形过程中,双上模与下模之间的管料呈现明显的弯曲应力分布状态,与方案设计的弯折理念相符,且管料左端夹紧段的应力水平明显降低,不会产生塑性变形,可有效减少夹紧端非正常变形对后续弯折工序的影响。因此从仿真结果对比来看,采用双上模结构可以很好地解决弯折成形异常问题,明显提升管料弯折成形的质量。

3.2 弯折扭曲问题

针对弯折后的管料发生明显的扭转变形问题,本研究对初始方案、上模 1 向后移动 15 mm(改进方案一)、上模 2 向前移动 10 mm(改进方案二)、上模 2 向前移动 20 mm(改进方案三)和上模 1 和下模均向前移动 10 mm 加上模 2 向前移动 20 mm(改进方案四)进行了仿真及对比分析。

以管料末端沿宽度方向左右两个顶点的变形量差值作为衡量管料扭转的参考,成形过程中管料末端的扭转变化如图 8 所示。

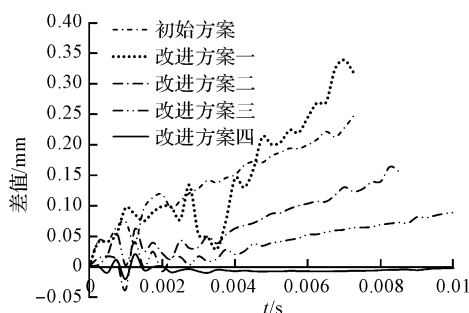


图 8 不同改进方案下的扭转变形比较

从图 8 中曲线对比中可以看出:改进方案一将上模 1 向后移动后,扭转变形更为严重;改进方案二和改进方案三将上模 2 向前移动可明显改善扭转变形;改进方案四将底模和副模均向前移动 10 mm,主模向前移动 20 mm 后,管料的弯折后的扭转变形非常小,可以忽略不计。

另外,从初始方案和改进方案四弯折过程中管料上的应力分布可以看出,改进后的双上模结构在弯折过程中的应力值较大部分均产生在设计的弯折区域,分布更合理。

4 结束语

本研究通过对某大型发电设备用铜银合金矩形截面厚壁管料弯折设备的弯折成形进行了仿真分析,获得了弯折过程中的弯折力、管料的应力及变形情况;针对调试过程中该弯管设备在管料弯折中出现的管料异常变形、弯折扭曲等问题,笔者基于仿真探讨了采用双

上模结构取代原来的单上模结构、通过调整上上模之间的不同跨距方式消除弯折缺陷的可行性。

仿真结果表明:采用双上模结构,通过合理调整模具间距、压头位置可以很好地解决局部非弯折变形问题及扭曲问题,为该弯管设备的调试和改进设计提供了重要参考。

参考文献 (References):

- [1] 赖一楠,于延民. 冷弯管模具有限元优化设计[J]. 电加工与模具,2007(2):43-46.
- [2] 甘忠,熊威,张志国. 2124 铝合金时效成形回弹预测[J]. 塑性工程学报,2009,16(3):140-144.
- [3] 陈中奎,施法中. 板料冲压成形过程的一种数值模拟方法[J]. 北京航空航天大学学报,2001,27(3):340~343.
- [4] 张深,吴建军. 空间弯管的回弹预测[J]. 航空学报,2011,32(5):953-960.
- [5] LI H, YANG H, ZHAN M, et al. A new method to accurately obtain wrinkling limit diagram in NC bending process of thin-walled tube with large diameter under different loading paths [J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2006, 177(1-3):192-196.
- [6] ZHAO G Y, LIU Y L, YANG H, et al. Three-dimensional finite-elements modeling and simulation of rotary-draw bending process for thin-walled rectangular tube [J]. *Mat Sci & Eng A*, 2009, 499(1):257-261.
- [7] AL-QURESHI H A, RUSSO A. Spring-back and residual stresses in bending of thin-walled aluminum tubes [J]. *Material & Design*, 2002, 23(2):217-222.
- [8] 杜春江,瞿亦峰,陈亚峰. 非均匀厚壁管料弯折成形仿真与试验研究[J]. 机床与液压,2011,39(11):58-60.

[编辑:张豪]

本文引用格式:

牟淑志,杜春江. 非均匀厚壁管料弯折成形及缺陷仿真分析[J]. 机电工程,2018,35(12):1334-1337.

MU Shu-zhi, DU Chun-jiang. Bend forming and defect simulation of non-uniform thick-wall pipe [J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2018, 35(12):1334-1337.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>