

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.06.041

多辊下压式拉形柔性浮动夹持数值模拟与实验*

张昊晗 李明哲 付文智 彭赫力 冯朋晓

(吉林大学无模成形技术开发中心, 长春 130025)

【摘要】 采用 ANSYS/LS-DYNA 对使用柔性浮动夹持方式的多辊下压式拉形过程进行了数值模拟,验证了柔性浮动夹持的效果,分析了所得成形件在拉形过程中的应力、应变分布。结果表明:柔性浮动夹持方式适用于多辊下压式拉形,能够实现柔性、浮动夹持的效果;使用柔性浮动夹持时所得成形件应力、应变分布均匀,成形效果较好。完成了相关实验验证,对数值模拟结果和实验结果进行了对比,结果表明:数值模拟结果与实验结果吻合较好。

关键词: 金属板材 成形 柔性夹持 拉形 数值模拟

中图分类号: TG306 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)06-0230-05

Numerical Simulation and Experiment of Flexible Floating Clamping in Multi-roll Stretch Forming Process

Zhang Haohan Li Mingzhe Fu Wenzhi Peng Heli Feng Pengxiao

(Dieless Forming Technology Center, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract

The multi-roll stretch forming process of saddle-shaped surface parts with flexible floating clamping mode were simulated by ANSYS/LS-DYNA. The effect of flexible floating clamping mode was verified. The distribution of stress and strain of formed parts was analyzed. Results indicated that the flexible floating clamping mode was suitable for the process of the multi-roll stretch forming process. The stress and strain of the formed part distributed uniformly. Finally, the corresponding experiment was accomplished. When comparing the results of the numerical simulation and that of the experiment, it was concluded that the two types of results were nearly consistent.

Key words Plate metal, Forming, Flexible clamping, Stretch forming, Numerical simulation

引言

多辊下压式拉形工艺(multi-roll stretch forming process, 简称 MRSF)是一种新型的拉形工艺,对于双向曲率差不多且都较大的双曲度蒙皮件的拉形,使用该工艺具有贴模容易、成形质量好、成本低等优点^[1-3]。其基本原理是合理限制板材两端位置,使用一排离散为多个的可摆头的压辊下压板材悬空区的方式使板材逐渐拉伸贴模成形。由于压辊下压位移较大,所以多辊下压式拉形工艺对夹持装置的柔

性要求较高,不但要能限制板材两端在拉伸方向的位置,还要在垂直方向上能上、下随动以减少板材拉裂的风险;另外,由于板材在横向也有较大曲率的变形,所以要求夹持装置能够在横向具有一定的柔性,使板材在横向弯曲变形不受限制。

根据多辊下压式拉形工艺对夹持装置的要求,设计了一种基于离散化思想的柔性浮动夹持装置(flexible floating clamping, 简称 FFC)。该装置的设计灵感来源于多点成形^[4-6]、应用在多点压力机当中的柔性压边技术^[7-8]、应用于多点拉形中的柔性

收稿日期:2011-05-23 修回日期:2011-11-13

* 欧盟第六框架协议计划航空航天领域国际合作资助项目(ASTS-CT-2006-030877)

作者简介:张昊晗,博士生,主要从事板材成形研究,E-mail:zhang_haohan@126.com

通讯作者:李明哲,教授,博士生导师,主要从事板材无模成形、模具 CAD/CAM 研究,E-mail:limz@jlu.edu.cn

夹持技术^[9]和拉伸筋技术^[10],其基本思想是将夹持装置离散为多个可以上下浮动又可摆头的夹钳,实现对板材的柔性浮动夹持。本文对使用该柔性浮动夹持技术的多辊下压式拉形过程进行数值模拟,研究该夹持方式的工作原理和板材成形过程,并在自行研发的多辊下压式拉形实验装置上进行相关实验,对该夹持方式的可行性和数值模拟结果与实验结果的一致性进行验证。

1 柔性浮动夹持原理

图1为多辊下压式拉形实验装置工作台^[11]。多辊下压式拉形装置主要由压辊装置、夹持装置和模具3部分组成。其中柔性浮动夹持装置由在模具两侧对称布置的两排离散夹钳(每排5个)构成。夹钳由上、下布置的一对夹料单元构成,每个夹料单元都由一个单独的液压缸驱动,并在端部安装了可在 yz 平面内摆头的带筋压板;夹持板材时,上、下液压缸同时驱动,使上、下夹料单元夹紧板材,实现夹持功能。在整个拉形过程中,夹持装置各液压缸使用同一液压泵驱动,这样设计不但节约了制造成本,而且可以使得上、下夹料单元压力平衡,当压辊下压板材时,夹持面可跟随压辊向下浮动,实现浮动夹持和对板材高度方向(y 向)的柔性控制;夹持装置在横向(z 向)的离散化设计能够实现板材在横向弯曲时夹持面高度的柔性控制,各夹料单元端部可被动摆头的压板设计能够使板材在横向弯曲时压板跟随摆头,减小板材横向弯曲时夹持装置产生的抗力,使板材流动更好;夹料单元端部使用带筋压板,能够很好地控制板材向拉伸相反方向流动,使板材流动更平稳,防止拉伸不足或拉裂等缺陷的产生。



图1 多辊下压式拉形实验装置工作台

Fig.1 Workbench of MRSF experimental device

图2为使用该夹持装置成形鞍形面时夹持装置拉形开始时和拉形结束时位置示意图,从图中可以看出,该夹持装置不但能够跟随板材在高度方向浮动,而且能够在板材横向被动摆头,产生与拉形模具端面相似的弧形,实现柔性浮动夹持的效果。

2 有限元模型

根据安装有浮动柔性夹持装置的多辊下压式拉形实验装置的实际尺寸进行有限元建模。模拟选用

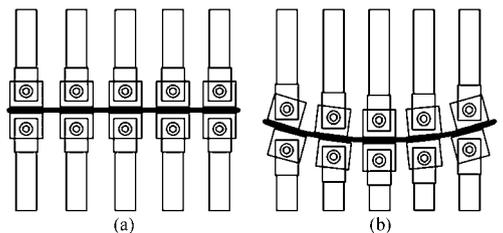


图2 柔性浮动夹持示意图

Fig.2 Flexible floating clamping

(a) 初始位置 (b) 成形位置

的材料为常用作汽车覆盖件和高速列车头蒙皮件成形的08Al低碳钢。其在常温下的力学性能为:弹性模量207 GPa,泊松比0.3,屈服强度130 MPa,密度7 845 kg/m³。通过拉伸实验获得的应力-应变曲线如图3所示。

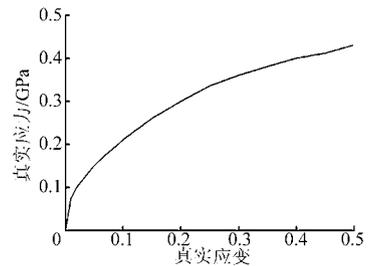


图3 08Al低碳钢应力-应变曲线

Fig.3 Stress-strain curve of 08Al low carbon steel

由于该实验装置和本例中所成形的鞍面具有对称性,因此只对其1/4进行建模。图4为使用浮动柔性夹持装置的多辊下压式拉形1/4有限元模型平面示意图,使用动态显式非线性有限元软件ANSYS/LS-DYNA对其成形过程进行有限元数值模拟。板材采用shell163单元;为了节约计算时间,只对压辊装置、夹持装置和模具接触板材部分进行建模,并采用刚性四节点单元对其进行网格划分;实验装置中夹料单元前端压板被动摆头时所绕轴线并不在压板质量中心处,而是距离压板18 mm处,为了真实模拟压板被动摆头情况,修改压板质心至该轴线位置,使数值模拟中压板绕着该轴线进行被动摆头;由于夹料单元端部带筋压板形状比较复杂,其部分圆角半径仅为5 mm,为了达到较好的计算精度,对该位置压板与板材进行局部网格细化,选取网格边长为2 mm; x 轴和 z 轴分别为该模型的对称轴, x 轴方向为板材的拉伸方向,在 x 轴和 z 轴上分别施加了对称约束。各压辊直径为60 mm,压辊间距为6 mm,各压板尺寸为56 mm,压板间距为5 mm;板材厚度为1 mm,板材尺寸为960 mm×300 mm,有效成形区域为400 mm×300 mm,目标鞍形曲面方程为

$$f(x,y) = \sqrt{(600 - \sqrt{300^2 - y^2})^2 - x^2} \quad (1)$$

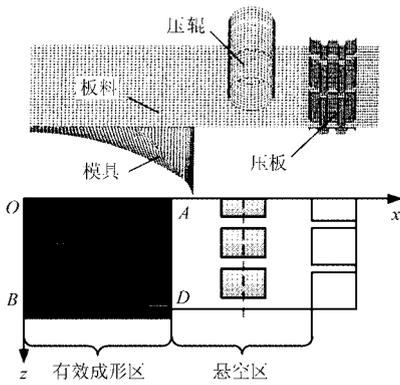


图4 1/4有限元模型

Fig.4 1/4 finite element model

3 数值模拟结果

图5为使用柔性浮动夹持方式成形鞍形面时成形过程数值模拟光照图。从图中可以看出,工件成形良好,在整个成形过程中浮动柔性夹持装置很好地限制了板材两端在拉伸方向的位置,在高度方向上能够跟随压辊下压而向下浮动。夹持装置在横向上能够跟随板材的横向弯曲变形而被动摆头,出现与板材横向弯曲变形相同方向的弯曲(图5c)。对比图5伸出夹持装置外的板材长度,图5c伸出夹钳装置外的板材较短,这是由于板材在带筋压板中产生了与拉伸方向相反的流动,这种流动能够使得板材贴膜更容易,且能够有效防止拉裂缺陷的发生。该数值模拟过程与夹持装置的设计原理相符,在一定程度上证明了数值模拟与实际情况的一致性。

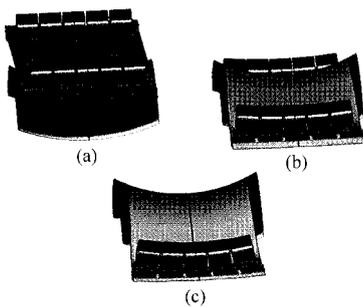


图5 拉形过程模拟光照图

Fig.5 Lightmap of MRSF process with FFC

(a) 初始位置 (b) 中间位置 (c) 成形位置

图6为使用柔性浮动夹持方式时得到的成形件等效应力分布图,从图中可以看出,有效成形区等效应力大部分在207.3~240.6MPa之间,说明使用柔性浮动夹持方式时所得到的成形件应力分布较均匀,成形质量较好。

图7为使用柔性浮动夹持方式时得到的成形件最大主应变分布图。从图中可以看出,有效成形区应变大部分在0.1093~0.1457之间,说明使用柔

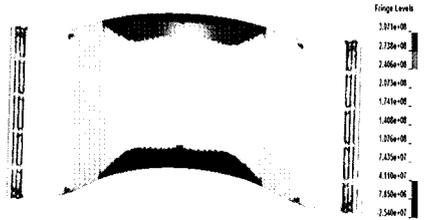


图6 柔性浮动夹持方式下成形件等效应力分布

Fig.6 Equivalent stress distribution of part formed by MRSF process with FFC

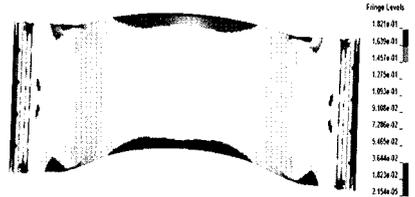


图7 柔性浮动夹持方式下成形件最大主应变分布

Fig.7 Max-principal strain distribution of part formed by MRSF process with FFC

性浮动夹持方式时所得到的成形件应变分布较均匀,成形质量较好。

图8为使用柔性浮动夹持方式时得到的成形件的成形极限图。从图中可以看出,成形件有效成形区全部位于成形良好区中,说明使用柔性浮动夹持的多辊下压式拉形工艺能够成形双向曲率差不多且都较大的双曲度蒙皮件,且板材有效成形区完全发生了的塑性变形,工件成形良好。

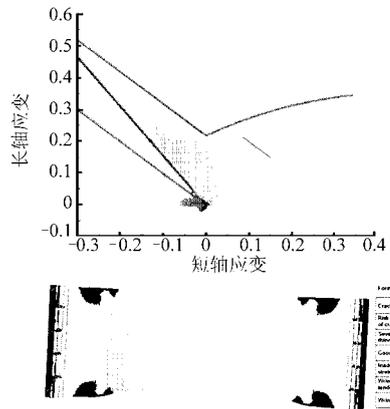


图8 柔性浮动夹持方式下成形件成形极限

Fig.8 FLD of part formed by MRSF process with FFC

综合上述数值模拟结果可知,将柔性浮动夹持技术应用与多辊下压式拉形工艺中能起到柔性、浮动夹持的效果,且所得成形件应力、应变分布均匀,成形质量较好。

4 实验验证

为了验证柔性浮动夹持方式在多辊下压式拉形中应用的可行性,吉林大学无模成形技术中心设计开发了使用该夹持装置的多辊下压式拉形实验装

置,并在该实验装置上拉形实验。实验使用材料为08Al低碳钢板,其原始板材尺寸为960 mm × 300 mm,板厚为1 mm,有效成形区域为400 mm × 300 mm;模具选用鞍形面整体模具,尺寸为400 mm × 320 mm,目标曲面方程见式(1)。图9是使用该设备实验得到的鞍形面工件。从图9中可以看出,工件两端被夹持位置能够随板材变形而向下浮动;工件被夹持的边缘呈曲线状,即柔性浮动夹持装置能够跟随板材横向弯曲变形而被动摆头;工件靠近夹持装置位置有明显的板材流动痕迹,这说明板材在安装有带筋压板的夹钳中产生了与拉伸方向相反的流动,这种流动能够防止拉裂缺陷的产生。以上实验结果与数值模拟结果基本一致,也说明了柔性浮动夹持装置能够很好地应用于多辊下压式拉形机中,实现浮动、柔性夹持的目标。

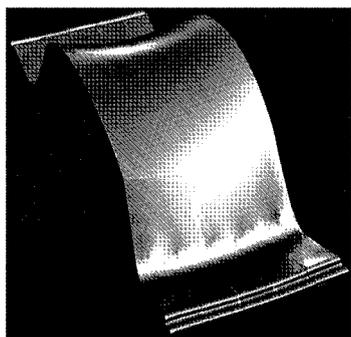


图9 实验所得鞍形件

Fig. 9 Test photos of saddle part

使用3DSS-STD-II型三维光学扫描仪对实验所得鞍形面工件进行了测量,提取测量所得工件形面点云数据与目标形面数学模型进行匹配,绘制了实验件误差分布图,如图10所示。从图中可以看出,实验所得成形件大部分区域误差在0 ~ 0.43 mm之间,边缘部分接近0.61 mm,误差较小,工件成形良好,符合实际生产要求。



图10 实验件误差分布

Fig. 10 Error distribution of experiment part

为了验证数值模拟结果的准确性,将实验件形面点云数据与经过数值模拟回弹计算所得的工件形面数据进行比较,得到了模拟结果与实验结果的误差对比图。如图11所示,模拟结果与实验结果之间的误差大部分在0 ~ -0.16 mm之间,边缘的部分接近-0.35 mm,误差较小,说明实验结果与数值模拟结果吻合较好。



图11 实验结果与模拟结果误差对比

Fig. 11 Error comparison of experiments and numerical simulation

5 结论

(1)将柔性浮动夹持技术应用于多辊下压式拉形工艺中能过起到柔性浮动夹持的效果,且成形件应力、应变分布均匀,成形质量较好。

(2)完成了相关的实验验证,并对数值模拟结果与实验结果进行了对比,结果显示数值模拟结果与实验结果吻合较好。

参 考 文 献

- 张昊晗,李明哲,付文智,等. 多辊下压式柔性拉形工艺及其数值模拟[J]. 吉林大学学报:工学版,2011,41(1):89~94.
Zhang Haohan, Li Mingzhe, Fu Wenzhi, et al. Technology and numerical simulation of multi-roll-pressing stretch forming process[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2011, 41(1):89~94. (in Chinese)
- Zhang Haohan, Li Mingzhe, Fu Wenzhi, et al. Study of multi-roll stretch forming process using different clamps[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 44~47:2752~2756.
- Zhang Haohan, Li Mingzhe, Fu Wenzhi, et al. Numerical simulation of multi-roll stretch forming process with different lubrication and rollers[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 110~116:1512~1518.
- Li M Z, Liu Y H. Multi-point forming: a flexible manufacturing method for a 3D surface sheet[J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 87(1~3):277~280.
- Li M Z, Cai Z Y, Sui Z, et al. Multi-point forming technology for sheet metal[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 129(1~3):333~338.
- 陈雪,李明哲,付文智,等. 多点成形冲头动态接触压力仿真分析[J]. 农业机械学报,2010,41(10):223~226.
Chen Xue, Li Mingzhe, Fu Wenzhi, et al. Simulation on dynamic contact forces of punches in multi-point forming process

- [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(10): 223 ~ 226. (in Chinese)
- 7 Sun G, Li M Z, Yan X P, et al. Study of blank-holder technology on multi-point forming of thin sheet metal[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2007, 187 ~ 188; 517 ~ 520.
- 8 孙刚,李明哲,邓玉山,等. 柔性压边和刚性压边技术在薄板类件多点成形中的对比分析[J]. 机械工程学报,2008, 44(5):147 ~ 151.
Sun Gang, Li Mingzhe, Deng Yushan, et al. Comparison between flexible and rigid blank-holding in multi-point forming[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2008, 44(5): 147 ~ 151. (in Chinese)
- 9 谭富星,许旭东,李光俊,等. 柔性夹持多点拉形过程的数值模拟[J]. 西安交通大学学报,2008,42(9):1 160 ~ 1 164.
Tan Fuxing, Xu Xudong, Li Guangjun, et al. Numerical simulation in the process of multi-point stretch forming with flexible clamp mode[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2008, 42(9): 1 160 ~ 1 164. (in Chinese)
- 10 Li H X, Wen X Z, Nan Y. Study on effect of draw bead on slip line of stamping part surface[J]. Materials Research Innovations, 2011, 15(Supp. 1):340 ~ 342.
- 11 吉林大学. 板材拉形机:中国,200910067003.6[P]. 2009-05-25.
Jilin University. Stretch forming machine:CN, 200910067003.6[P]. 2009-05-25. (in Chinese)

(上接第 229 页)

参 考 文 献

- 1 彭国勋,肖正扬. 自动机械的凸轮机构设计[M]. 北京:机械工业出版社,1990.
- 2 牧野洋. 自动机械机构学[M]. 北京:科学出版社,1980.
- 3 Chen F Y. Mechanics and design of cam mechanisms[M]. New York: Pergamon Press,1982.
- 4 葛正浩,冯涛,彭国勋. 可以任意增加局部控制条件的凸轮机构通用多项式运动规律[J]. 机械科学与技术,1998, 17(6):986 ~ 987.
Ge Zhenghao, Feng Tao, Peng Guoxun. General polynomial motion law with arbitrarily added local control conditions[J]. Mechanical Science and Technology,1998,17(6):986 ~ 987. (in Chinese)
- 5 Tsay D M, Huey C O. Cam motion synthesis using spline function[J]. ASME Journal of Mechanisms Transmissions and Automation in Design, 1988,110(2):161 ~ 165.
- 6 Yoon K, Rao S S. Cam motion synthesis using cubic spline[J]. ASME Journal of Mechanical Design, 1993,115(3):441 ~ 446.
- 7 付振山,冯显英,李蕾,等. 钢球滚子弧面分度凸轮载荷分布[J]. 农业机械学报,2011,42(5):231 ~ 234.
Fu Zhenshan, Feng Xianying, Li Lei, et al. Load distribution of globoidal indexing cam mechanism with steel ball[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(5):231 ~ 234. (in Chinese)
- 8 狄驰,田原姬,郑国君,等. 车身覆盖件 CAD 模型曲面缝合技术[J]. 农业机械学报,2010,41(8):223 ~ 226.
Di Chi, Tian Yuanyuan, Zheng Guojun, et al. Healing method of CAD geometric model for automobile panels[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(8):223 ~ 226. (in Chinese)
- 9 玄冠涛. 圆柱凸轮数字化创成技术研究[D]. 济南:山东大学,2004.
Xuan Guantao. Study on digital design and machining technology of cylindrical cam[D]. Ji'nan: Shandong University,2004. (in Chinese)
- 10 赵国永,徐志祥. 高速高精度数控加工中 NURBS 曲线插补的研究[J]. 中国机械工程,2006,17(3):291 ~ 294.
Zhao Guoyong, Xu Zhixiang. Study on NURBS curve interpolator in the high speed and high accuracy CNC machining[J]. China Mechanical Engineering, 2006,17(3): 291 ~ 294. (in Chinese)