

三维曲面卷板柔性辊设计与成形工艺分析*

胡志清^{1,2} 李明哲² 刘家安³

(1. 吉林大学机械科学与工程学院, 长春 130025; 2. 吉林大学辊锻工艺研究所, 长春 130025;

3. 吉林大学材料科学与工程学院, 长春 130025)

【摘要】 通过分析基于连续多点调形方法的三维曲面卷板成形原理,对卷板成形装置关键件柔性辊的不同布置和驱动方式进行了研究。确立了三辊布置双端驱动的方式,设计了三维曲面卷板成形装置。对卷板成形工艺进行分析,探讨了不同的成形工艺过程。结果表明:一步成形,在小变形量的情况下适用,当上辊的下压量超出一定值时,无法成形;分步成形法,以小的下压量逐渐诱导板材变形,可以消除板材边缘皱褶,减小回弹,有利于板材成形。

关键词: 连续成形 多点成形 三维曲面 板材 工艺

中图分类号: TG306 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2010)04-0213-04

Analysis of Roll Bending Configuration and Technology of Roll Bending Three Dimensional Surface

Hu Zhiqing^{1,2} Li Mingzhe² Liu Jiaan³

(1. College of Mechanical Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China

2. Roll Forging Research Institute, Jilin University, Changchun 130025, China

3. School of Material Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130025, China)

Abstract

Continuous multipoint forming method (CMFM) was introduced simply. The key rollers of continuous multipoint forming device (CMFD) were studied in different disposals and different drives. The drive of three rollers at two sides was felicitous realized, and the CMFD was developed. The process of roll bending was discussed. The results showed that one-step forming is adopt on mini deformation, but when the press displacement of top roller exceeds stated value, the procedure can't be continued, the multi-step forming is advantaged of inducing sheet metal deformed, eliminates the sides wrinkle, and reduces the spring back with each mini deformation.

Key words Continuous forming, Multipoint forming, Three dimensional surface, Sheet metal, Process

引言

传统的三维板材大部分采用模具成形,由于其具有生产效率高、适合大批量生产等诸多优点,多年来一直占据着主导地位。但随着时代的发展,曲面板类件生产的多品种、小批量趋势越来越明显;而模具的设计制造周期比较长,需要长时间的反复试模,且模具材料和加工成本都比较高,因此模具成形方

法难以满足多品种、小批量要求。开发能够迅速适应产品更新换代需要、自动化程度高、适应性广的新技术、新设备已经成为板材成形领域的迫切需要。虽然近年来出现了一些板材成形新工艺、新技术^[1-6],但是这些方法存在一些不足:内高压对成形条件要求较高;液压成形同样需要模具;电磁成形、激光成形以及渐进成形等方法无法成形较厚的板材;多点成形方法虽说可以实现无模、柔性成形,然

收稿日期:2009-03-12 修回日期:2009-04-24

* 国家自然科学基金资助项目(50905072)、国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2009AA04Z117)、吉林大学“985”工程资助项目和吉林省重大项目(20075005)

作者简介:胡志清,讲师,在站博士后,主要从事柔性成形设备及成形工艺研究, E-mail: zqhu@jlu.edu.cn

而成形设备制造成本较高,多数企业无法承受。

本文给出三维曲面卷板成形的办法^[7-8],通过合理布置柔性辊和驱动方式实现无模、柔性和连续化的三维曲面卷板成形,以满足现代工业对金属板材成形方法的需求。

1 三维曲面卷板成形原理

卷板成形过程是通过多个点控制柔性辊状工具弯曲,同时使辊状工具转动驱动工件滚压进给变形;而且需要辊状工具在径向具有足够的强度与刚度(图1a)。这种带有多个点控制的任意弯曲的柔性辊称为多点式调整柔性辊。

三维曲面卷板成形的基本原理是在多点式调整柔性辊的一端或两端设置驱动机构,驱动柔性辊在保持弯曲状态下转动,利用柔性辊与板材之间的摩擦力促使板材进给和变形的一种成形方法。

基于不同数量、不同布置、不同旋转方向的柔性辊的组合,可以获得多种不同的多点调整式柔性卷板塑性成形效果。图1b给出使用可弯曲柔性辊卷板成形球形件的原理图。从图中可以看出,通过引入多点式调整柔性辊,使普通卷板装置的工作辊由圆柱状刚性工作辊变成可以控制的弯曲工作辊,就能够迫使板料不仅可以在其纵向产生弯曲变形,还可以在其横向随着柔性辊的弯曲形状产生塑性变形,从而获得双曲度的三维曲面工件。

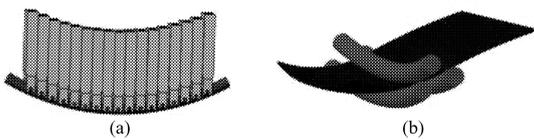


图1 三维曲面卷板成形原理图

Fig.1 Principle of roll bending the sphere part

(a) 多点式调整柔性辊 (b) 球形件成形的过程

2 实验装置结构分析

2.1 柔性辊布置方式

三维曲面卷板成形时,可以将柔性辊工作系统布置成两辊系统、三辊系统、四辊系统或五辊系统,

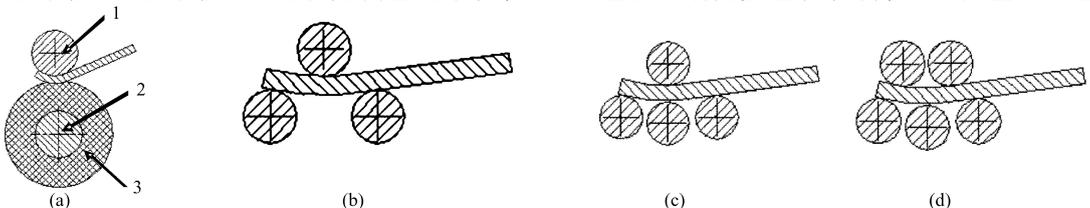


图2 三维曲面卷板成形装置的柔性辊布置方式

Fig.2 Project of the disposal of the flexible roller

(a) 两辊卷板系统截面 (b) 三辊卷板系统截面 (c) 四辊卷板系统截面 (d) 五辊卷板系统截面

1. 柔性辊 2. 刚性轴 3. 聚氨酯

如图2所示。图2a为两个柔性辊构成的卷板系统截面图,上工作辊为钢丝软轴柔性辊,下工作辊是在柔性辊或刚性辊外覆盖一层聚氨酯材料,这样的布置结构比较简单,但是下工作辊外所覆盖聚氨酯材料的硬度和厚度将直接影响板材的纵向和横向成形,因此对其变形的控制具有一定的难度。图2b为3个柔性辊构成的卷板系统截面图,3个柔性辊均为可弯曲、可调整的钢丝软轴柔性辊。除两辊布置系统以外,该结构是实现板材成形最简单的布置方式,可用较少的柔性辊实现三维曲面板类件的成形。由于柔性辊数量少,其所需控制柔性辊的调形单元数量也相对较少。这种布置方式的不足之处在于变形区因上柔性辊的过大下压量而容易引起失稳,使板材不能进给和变形。图2c给出4个柔性辊构成的卷板成形系统截面图,这种结构是在三辊式结构的基础上形成的。四辊结构具有很多优点:可以减小板材成形入端和出端直边,且上柔性辊和下中间辊成对压结构,可以防止板材在成形过程中出现失稳现象,非常有利于成形,同时由于多个柔性辊与板材接触,有利于板材的进给。但是与三辊式结构相比,增加了一个中间柔性辊,进而增加了调形单元数量,使制造成本增加。图2d给出5个柔性辊构成的卷板成形系统截面图,这种结构增大了板材与柔性辊的接触,有利于板材进给和变形;但是这种结构的柔性辊数量偏多,制造成本大大增加,控制点增多,调形时间较长。

2.2 柔性辊驱动方式

2.2.1 单端驱动

图3a给出在3个柔性辊同侧单端驱动的方式,由于上、下柔性辊同时主动旋转,增大了板材的进给力,有利于板材成形,板材斜向进给现象明显减小,这种驱动形式明显好于单端3个柔性辊非同时驱动的形式。

2.2.2 双端驱动

图3b给出3个柔性辊双端驱动方式,此上、下柔性辊双端同步主动旋转,板材在上下柔性辊主动

摩擦力的作用下实现进给,因此每个柔性辊所承受的摩擦力较小,柔性辊的磨损较小。同时由于采用柔性辊两端驱动可以避免柔性辊传递扭矩时的转动滞后现象,可保证板材的直线进给。

三辊布置方式具有结构简单、装置紧凑、耗能小、造价低、易操作等优点,因此主要探讨三辊布置的方式。与上柔性辊同侧单端驱动相比,上、下 3 个柔性辊同时双端驱动的方式使板材在上下柔性辊主动摩擦力的作用下实现进给,因此每个柔性辊所承受的摩擦力较小,柔性辊的磨损较小;双端同时驱动的方式还可以克服柔性辊转动的滞后现象,保证板材的直线进给,因此基于连续多点调形方法的三维曲面卷板成形装置应尽量采用三柔性辊双端驱动方式。

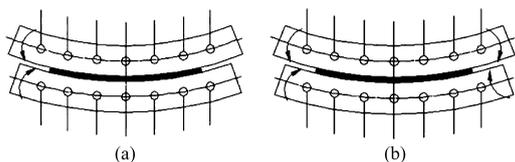


图 3 三辊不同驱动形式

Fig. 3 Different drive of three flexible rollers

(a) 三辊单端同时驱动 (b) 三辊双端同时驱动

2.3 成形装置及成形实验件

成形装置如图 4 所示,该装置采用由 3 个柔性辊构成的成形系统。考虑到制造成本及实验要求,其主要参数选定为:柔性辊的直径为 15.5 mm,两个下柔性辊的间距为 30 mm;柔性辊的传递扭矩为 150 N·m;通过链传动和齿轮传动的减速设计,使柔性辊的转速取 21 r/s;电动机转速为 1 500 r/min,功率为 1.5 kW,减速机减速比为 78。

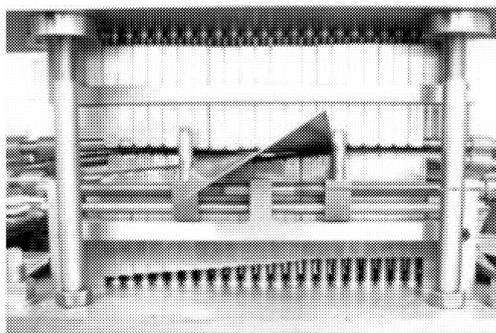


图 4 成形装置照片

Fig. 4 Roll bending equipment basing on the CMPF

为了验证成形装置的有效性,图 5 给出两种不同材质和不同厚度三维曲面件。图 5a 所示规格为 200 mm × 200 mm × 2 mm 铝板的球形件,成形半径为 600 mm;图 5b 所示规格为 300 mm × 150 mm × 2.0 mm 的 08Al 钢板的鞍形件,纵向成形曲率半径为 300 mm,横向曲率半径为 300 mm。

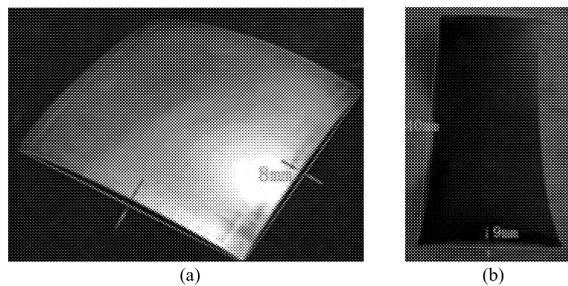


图 5 成形件照片

Fig. 5 Photo of the forming parts

(a) 球形件 (b) 鞍形件

3 成形工艺

3.1 一步成形

一步成形是指在板材完全产生横向形状的基础上一次性给定板材纵向成形所需的下压量从而成形出三维曲面件的成形工艺。表 1 给出了一步成形工艺在不同纵向下压量成形三维曲面件的结果。从表中可以看出,当板材厚度为 0.5 mm,纵向成形下压量 d 在 0.1 ~ 0.3 mm 时,板材纵向变形完全处于弹性变形区,弯曲形状不明显。当纵向成形下压量 d 增加到 0.7 mm 以上时,又无法成形。这是由于一步成形的大下压量使得板材在两个下辊之间出现纵向失稳,柔性辊无法带动板材进给,进而无法成形。但是当板材厚度为 1.0 mm、纵向下压量达到 0.3 ~

表 1 不同厚度板材一步成形实验结果

Tab.1 Result of one step forming based on different thickness

板材厚度 t/mm	板材宽度 B/mm	横向曲率半径 R/mm	每次给出纵向成形下压量 d/mm	结果
0.5	150	300	0.1 ~ 0.3	纵向形状不明显
			0.3 ~ 0.7	纵向边缘起皱
			> 0.7	不能成形
1.0	150	300	0.1 ~ 0.3	纵向形状不明显
			0.3 ~ 0.7	纵向边缘有褶皱
			0.7 ~ 1.2	纵向边缘大起皱
1.5	150	300	0.1 ~ 0.3	纵向形状明显
			0.3 ~ 1.2	良好
			1.2 ~ 1.7	纵向边缘起皱
2.0	150	300	> 1.7	不能成形
			0.1 ~ 0.3	纵向形状明显
			0.3 ~ 1.4	良好
2.0	150	300	1.4 ~ 1.7	纵向边缘起皱
			> 1.7	不能成形

1.2 mm 时,板材出现了三维曲面变形,但是有褶皱出现;当纵向下压量超出 1.2 mm 时,板材无法成形。当板材厚度达到 1.5 mm 以上,纵向下压量为 0.1 ~ 0.3 mm 时,板材的纵向形状明显;当纵向下压量为 0.3 ~ 1.4 mm 时,板材成形结果良好。当一步给定的下压量超出 1.7 mm 时,板材无法成形。

图 6 所示为采用一步成形工艺且纵向成形下压量 $d=0.7$ mm,厚度分别为 $t=1.5$ mm 和 $t=2.0$ mm 的成形结果纵向曲线。从图中可以看出,随着板材厚的增加,成形件的纵向弯曲越来越大。从以上实验结果可以看出,一步成形工艺适用于小的纵向成形下压量和较厚或刚度较大的板材。

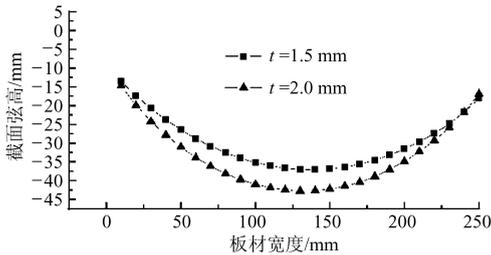


图 6 不同厚度板材变形纵向脊线曲线

Fig.6 Comparison of the middle longitudinal spines on the different thickness

3.2 分步成形

分步成形是指在板材成形过程中,将纵向成形下压量 d 至少分为两次的一种成形方式。本节主要通过厚度 $t=1.0$ mm,横向曲率半径 $R=300$ mm 球形件的成形来研究分步成形工艺对成形件的影响。

图 7 所示为采用分步成形工艺且板材厚度 $t=1.0$ mm 的成形件纵向边缘起皱的曲线。总的下压量 $d=1.0$ mm,分为 5 次给出,第一步成形的下压量为 $d_1=0.6$ mm,剩余各步成形的下压量增量均为 $\Delta d=0.1$ mm。在第一步成形的下压量 $d'_1=0.6$ mm

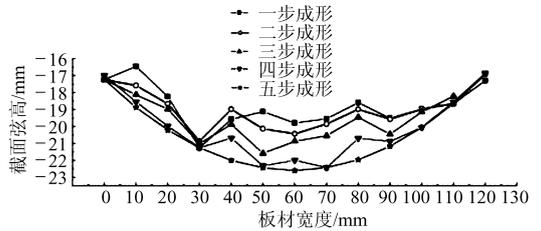


图 7 分步成形纵向边缘脊线起皱变化曲线

Fig.7 Wrinkle variety of the longitudinal fringe spine by multi-step forming

的作用下,板材的纵向边缘出现起皱,且呈现出大波浪形;当下压量 $d'=0.7$ mm 时,板材的纵向边缘褶皱深度增大,宽度减小;当下压量 $d'=0.8$ mm 时,板材纵向边缘中间部位褶皱的深度进一步减小;当下压量 $d'=0.9$ mm 时,褶皱逐渐减小,同时褶皱的宽度尺寸减小;当下压量 $d'=1.0$ mm 时,板材的边缘轮廓曲线起皱基本消失。

4 结论

(1) 通过对柔性辊布置和驱动方式的分析,研制出采用三辊布置的三维曲面卷板成形装置并完成三维曲面件的成形。

(2) 对成形工艺进行了分析,结果表明一步成形工艺可以提高成形效率,如果一步成形伴随有多次滚压可以使板材的成形效果更好。

(3) 分步成形通过给出小的纵向下压量来逐渐诱导板材变形,可以消除板材的边缘褶皱,减小回弹。

(4) 板材成形过程中纵向边缘起皱是失稳起皱,因此可以通过多次给定下压量,减小成形力,从而减小压应力引起的边缘失稳来抑制起皱,但是多次分割下压量在一定程度上会影响成形工件的效率。因此要综合考虑板材厚度与下压量,选择合适的下压量分割次数,以快速成形三维曲面工件。

参 考 文 献

- Yuan S J, Liu G Z, Wang R. Hydroforming of rectangular-section structural components with relatively lower pressure[C]// Proceedings of the TUBEHYDRO 2003, Nagoya, Japan, 2003:13 ~ 17.
- Zhang S H, Lang L H, Kang D C, et al. Hydromechanical deep-drawing of aluminium parabolic work-pieces experiments and numerical simulation[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2000, 40(10):1 492 ~ 1 497.
- Anter E. Modeling of the electromagnetic forming of sheet metals: state of the art and future needs[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 142:744 ~ 754.
- Lamminen L. Incremental sheet forming with an industrial robot-forming limits and their effects on component design[J]. Advanced Materials Research, 2005, 6 ~ 8:457 ~ 464.
- 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.
- Hu Z Q, Li M Z, Cai Z Y, et al. Continuous flexible forming of three-dimensional surface parts using bendable rollers[J]. Materials Science and Engineering A, 2009, 499(1 ~ 2): 234 ~ 237.
- 李明哲,胡志清,蔡中义,等.自由曲面工件多点连续成形方法[J].机械工程学报,2007,43(12):155 ~ 159.
Li Mingzhe, Hu Zhiqing, Cai Zhongyi, et al. Method of multipoint continuous forming for the freeform surface parts[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2007, 43(12):155 ~ 159. (in Chinese)