

文章编号 1004-924X(2012)06-1288-08

连续多点成形中的成形载荷分析

龚学鹏¹, 李明哲^{2*}, 卢启鹏¹, 彭忠琦¹

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 应用光学国家重点实验室, 吉林 长春 130033;
2. 吉林大学 无模成形技术中心, 吉林 长春 130022)

摘要:研制了连续多点成形装置来完成三维曲面工件的高效、柔性加工,并对其成形载荷的变化趋势以及不同工艺参数对成形载荷的影响进行了研究。首先,介绍了连续多点成形原理;基于一定的假设条件,建立了成形载荷的理论公式;以双曲率元件为研究对象,建立有限元模型,分析了 y 方向载荷、 z 方向载荷以及合成载荷的变化情况。接着,分析了上辊压下量、板材厚度以及柔性辊曲率半径对成形载荷的影响。最后,设计出成形装置并进行实验。结果表明, y 方向载荷最大值为6.693 kN,成形载荷的最大值为6.716 kN,成形载荷主要由 y 方向载荷决定; z 方向载荷最大值为1.412 kN,为驱动工件运动的力;随上辊压下量的增加、板材厚度的增加以及柔性辊曲率半径的减小, y 方向载荷均增加。成形载荷的变化情况与实际情况吻合,为成形装置的研制提供了指导作用。实验结果证明,连续多点成形是一种连续、高效、柔性的三维曲面成形方法。

关键词:柔性加工;连续成形;多点成形;数值分析;三维曲面

中图分类号: TG306 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20122006.1288

Analysis on forming load in continuous multi-point forming

GONG Xue-peng¹, LI Ming-zhe^{2*}, LU Qi-peng¹, PENG Zhong-qi¹

- (1. *State Key Laboratory of Applied Optics Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*
2. *Dieless Forming Technology Center, Jilin University, Changchun 130022, China*)
* *Corresponding author, E-mail: limz@jlu.edu.cn*

Abstract: A Continuous Multi-point Forming (CMPF) equipment was developed to manufacture 3D surface parts in high efficiency and flexibility, and the historical changing of forming loads and the influences of different technical parameters on forming loads were analyzed. First, the principle of CMPF was introduced, and theoretical formulas of forming loads were established based on certain hypothetical conditions. By taking a double curvature part as a research object, a Finite Element Analysis (FEA) model was established, and the historical changings of y direction load, z direction load and equivalent load were analyzed. Furthermore, the influences of press displacement, thickness, and curvature radius of a flexible roller on forming loads were analyzed. Finally, the equipment was designed, and experiments were carried out. Results indicate that the maximum value of y direction load is 6.693 kN, maximum of forming load is 6.716 kN, and the forming load is made up of y direction load

收稿日期:2012-02-21;修订日期:2012-04-11.

基金项目:国家 863 高技术研究发展计划资助项目(No. 2009AA04Z117);国家自然科学基金资助项目(No. 50575090)

nearly. Moreover, the maximum value of z direction load is 1.412 kN, which is considered as a driving force. Along with the increases of press displacement and thickness of sheet metal, the y direction load is increased. Along with the decrease of curvature radius of a flexible roller, the y direction load is increased. The changing situations of forming loads accord with practical situation, which offers a guidance for CMPF equipment. From experimental results, CMPF is a continuous, high efficiency and flexible forming method for 3-D surfaces.

Key words: flexible manufacturing; continuous forming; multi-point forming; numerical analysis; 3D surface

1 引言

多点成形的概念起源于日本,在20世纪60年代到90年代期间,日本很多大学和研究机构的学者对多点成形技术做过较为系统的研究^[1-4];90年代中期,美国麻省理工学院的 David E. Hardt 开发出了多点拉伸成形装置^[5-6],韩国生产技术研究室的科研人员开发出了100个冲头的多点成形装置;但是,以上国家的研究还基本处于实验室阶段。在国内,从事多点成形技术研究的主要集中在吉林大学,李明哲于20世纪90年代组建了无模成形技术中心,使多点成形技术得到了快速的发展,实现了多点成形设备的商品化和产业化,并成功应用到了很多领域,如:2008年北京奥运会主体育场—鸟巢工程的大型钢结构成形,高速列车车头覆盖件的成形、飞行器的蒙皮拉形以及人脑颅骨修复体的精密成形等^[7-10]。除吉林大学外,北京航空航天大学 and 哈尔滨工业大学等也对多点成形技术做了较深入的研究。多点成形技术的未来发展方向主要集中在大型化、精密化和连续化3个方面,而所谓连续化而言,就是将多点成形技术与传统的连续局部成形技术相结合,从而形成一种设备造价低、加工效率高的新型成形技术,即连续多点成形技术^[11-12]。对于连续多点成形而言,成形载荷是一项重要内容,其不仅影响工件的加工质量,对成形装置的设计与优化亦有指导意义。

本文对连续多点成形过程中成形载荷的变化趋势及不同工艺参数对成形载荷的影响进行了研究。介绍了连续多点成形原理,基于一定的假设条件,建立了成形载荷的理论公式。以双曲率元件为对象,建立了有限元模型,分析了成形载荷的变化情况。最后,设计了成形装置并进行了实验验证。

2 连续多点成形技术及成形载荷理论

连续多点成形技术是指采用可弯曲的柔性辊(由钢丝软轴制成)作为成形工具,并结合传统的板材连续局部成形工艺以及多点调形技术来实现板材的三维曲面连续成形的方法^[12],如图1所示。通过控制各个调整体的高度,就可以控制柔性辊的形状;而柔性辊形状的不同以及上柔性辊压下量的不同,可以实现不同三维曲面件的成形。具体工作过程如下:首先,根据成形件的形状通过调整体调整柔性辊的曲率;其次,给予上柔性辊一定的压下量实现板材的局部成形;最后,驱动柔性辊实现板材的连续成形。

连续多点成形既具备卷板成形连续、高效的特点,也具备多点成形柔性的特点,最重要的是它改变了卷板成形只能加工简单曲面件(如:柱面件、锥面件等)的传统观念,实现了三维曲面件(如:球形件、鞍形件、扭曲形件等)的连续、高效、柔性成形。与卷板成形相比,其功能更强大,既能加工简单曲面件,又能加工三维曲面件;与多点成形相比,其调整体数量大大减少,实现了连续成形,因此,设备的造价更低,效率更高。

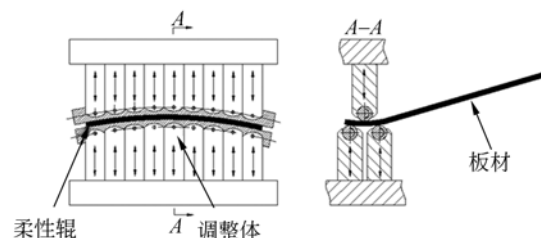


图1 连续多点成形原理

Fig. 1 Principle of continuous multi-point forming

加工板材时,柔性辊要对板材施加作用力,当外加载荷在板材横截面引起的弯矩与板材横截面

的应力引起的弯矩相平衡,而且板材横截面的应力达到材料的屈服应力时,此时的外加载荷就可以认为是成形载荷。在连续多点成形过程中,板材主要产生双向弯曲变形,即沿板材宽度方向的横向弯曲和沿板材长度方向的纵向弯曲,因此,成形载荷也可以分为横向和纵向载荷。横向、纵向和总的成形载荷的公式都基于 Euler-Bernouli 平截面假设、单向应力假设、拉压应力应变曲线形状相同假设以及理想弹塑性材料假设^[13]。图 2 是横向弯曲情形,当材料处于塑性变形状态时,横向成形载荷可以表示为:

$$P_t = \frac{\sigma_s l^2}{2R_t \sin \alpha}, \quad (1)$$

式(1)有一定的适用条件,板材的宽度与横向曲率半径的比值不能趋于零,即 b/R_t 的值不能趋于 0。在 R_t 一定的情况下, b 值不能趋于 0,因为加工一条宽度非常窄的板材时,其横向的变形已经脱离了弯曲变形的范畴,即其横向变形可以忽略。在 b 值一定的情况下, R_t 的值不能趋于无穷大,因为当所要加工板材的横向曲率半径趋于无穷大时,其横向变形。

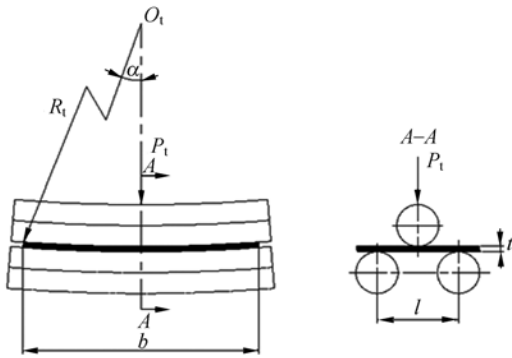


图 2 横向弯曲情形

Fig. 2 Local transversal bending

图 3 是纵向弯曲情形,在进行纵向载荷分析时,将柔性辊离散成若干紧密排列的短辊,这样,纵向弯曲情形可以理解为,在板材产生横向弯曲的基础上,每一个短辊加工纵向与短辊宽度相等的一条板材。根据图 3 中的几何关系可以得到:

$$\sin \theta_k = \frac{l}{2(R_k^t + t + R)}, \quad (2)$$

$$R_k^t = \frac{4(h \cos \gamma_k)^2 + l^2 - 8h(R+t) \cos \gamma_k}{8h \cos \gamma_k}, \quad (3)$$

这里将柔性辊分成 n 个短辊,纵向载荷可以表示为:

$$P_l = \sum_{k=1}^n P_l^k = \sum_{k=1}^n \frac{\sigma_s \omega t^2}{\cos \gamma_k (l - 2R \sin \theta_k)}, \quad (4)$$

因此,总的成形载荷可以表示为:

$$P = P_t + P_l = \frac{\sigma_s l^2}{2R_t \sin \alpha} + \sum_{k=1}^n \frac{\sigma_s \omega t^2}{\cos \gamma_k (l - 2R \sin \theta_k)}, \quad (5)$$

在式(1)~式(5)中, σ_s 为材料的屈服应力, t 为板材厚度, l 为 2 个下辊的间距, R_t 为板材横向曲率半径, α 为一半宽度的板材所对应的中心角, R_k^t 为第 k 节短辊作用下板材的局部纵向曲率半径, R 为柔性辊的半径, h 为上辊压下量, ω 为每个短辊的宽度, γ_k 为第 k 节短辊纵向与法向的夹角。

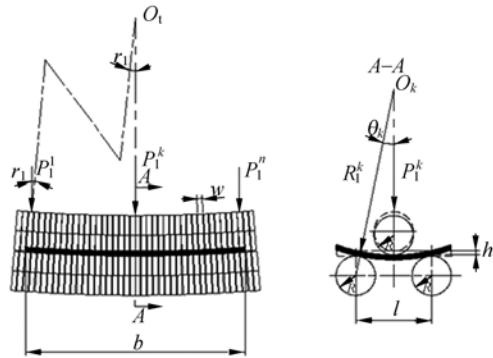


图 3 纵向弯曲的情形

Fig. 3 Local longitudinal bending

由于问题的复杂性,该计算方法忽略了一些因素,如材料的应变硬化、局部横向弯曲和纵向弯曲时横向纤维和纵向纤维的互相影响等。因此,该方法在一定程度上可以定性分析成形载荷的大小,对不同条件下成形载荷的变化趋势分析有参考价值。该方法通过弹塑性力学的手段获得,基于静力学分析;连续多点成形是准静态过程,为了进一步研究其成形载荷,需要采用有限元方法。

3 连续多点成形中成形载荷分析

3.1 有限元模型的建立

ANSYS/LS-DYNA 由于其强大的功能,被应用于很多领域^[14-16]。以下内容将以双曲率零件为研究对象,采用该软件来分析成形载荷的变化趋势,以及各主要工艺参数对成形载荷的影响。有限元模型如图 4 所示。材料为 HF 拉伸级别的



图 4 双曲率件有限元模型
Fig. 4 FEA model of double curvature part

08Al,参数如表 1 所示。

表 1 材料参数

Tab.1 Material parameters

材料	密度 $\rho/(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	弹性 模量 E/GPa	泊松 比 μ	屈服极限 σ_s/MPa	切线 模量 $/\text{MPa}$	各向 硬化 系数 r
08Al	7 845	207	0.29	206	20.2	1.41

3.2 成形载荷的变化

图 5 是上柔性辊施加于板材的成形载荷变化趋势,工艺参数见表 2。曲线 A、B 和 C 分别表示 y、z 和 x 方向的载荷,曲线 D 表示 x、y、z 方向载荷的合成(取绝对值)。x、y、z 方向如图 4 所示。各条曲线由 6 个阶段组成,这是板材反复成形的结果。y 方向的载荷远远大于 z 方向和 x 方向的载荷,y 方向载荷的变化与合成载荷的情况基本相同,y 方向最大载荷为 -6.693 kN,合成载荷的最大值为 6.716 kN,可以看出,使板材产生塑性变形的载荷主要由上柔性辊的 y 方向载荷承担。z 方向载荷最大值为 1.412 kN,可以近似认为是板材运动的驱动力。

下面主要分析 y 方向载荷的变化趋势。图 6 中,曲线 A 由曲线 B 和 C 合成,表示 2 个下柔性辊对板材的 y 方向载荷的合成;曲线 B 和 C 分别表示其中一个下柔性辊对板材的 y 方向载荷;曲线 D 表示上柔性辊对板材的 y 方向载荷。曲线 A、B 和 C 各点的值都为正值,曲线 D 各点的值都为负值,其原因为下柔性辊施加在板材的 y 方向载荷沿 y 轴正方向,而上柔性辊施加在板材的 y 方向载荷沿 y 轴负方向。曲线 A 和曲线 D 的变化和数值大小基本相同,曲线 A 的极值为 6.702 kN,曲线 D 的极值为 -6.693 kN,它们均出现在

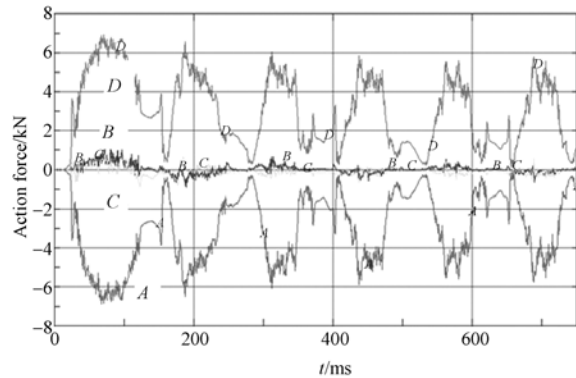


图 5 上柔性辊施加于板材的成形载荷

Fig. 5 Forming load history curves between upper flexible roller and sheet metal

第一次成形阶段。因此,可以得出上柔性辊施加在板材的 y 方向载荷与 2 下柔性辊施加在板材的 y 方向载荷是平衡力系,数值模拟结果与实际情况吻合。

表 2 工艺参数

Tab.2 Technical parameters (mm)

柔性辊曲 率半径	柔性辊 直径	下柔性辊 间距	板材 尺寸	板材 厚度
600	15.5	30	300×200	2

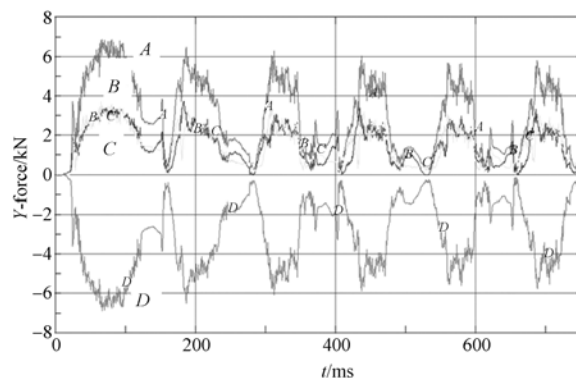


图 6 柔性辊施加于板材的 y 方向载荷

Fig. 6 Y-direction forming load history curves between flexible rollers and sheet metal

3.3 模拟结果与成形载荷计算方法的对比

将用于模拟的材料参数和工艺参数带入式(5)中,并经过简化可得:

$$P = p_t + p_l = \frac{0.206 \times 30 \times 2^2}{200} + \frac{0.206 \times 200 \times 2^2}{30 - 2 \times 7.75 \times \sin 3.055} = 5.7725 \text{ kN}, \quad (6)$$

从图 5 中可得, y 方向的最大载荷为 6.693 kN, 其与成形载荷公式的结果在同一数量级, 并相差 10% 左右。成形载荷公式基于静力分析, 忽略了较多的因素; 有限元方法基于准静态分析, 考虑到了应变硬化、惯性等问题, 并且充分模拟了柔性辊的下压、旋转, 与板材的接触等问题, 其更加接近实际情况。通过以上的叙述, 可以看出模拟结果与成形载荷理论方法相比, 其精度可以保持在 10% 以内。

3.4 工艺参数对成形载荷的影响

这里主要研究上辊压下量、板材厚度和柔性辊曲率半径等工艺参数对 y 方向载荷的影响。

在图 7 中, 曲线 A、B、C 分别表示压下量为 0.5、0.7 和 0.9 mm 的情况。3 条曲线的变化趋势基本相同; 但从数值的总体大小来看, $C > B > A$; 原因在于压下量增大会导致板材的局部变形量增大, 从而导致局部成形载荷增大。由式(1)~式(5)可知, 压下量 h 增大, 纵向曲率半径 R_k^l 减小, $\sin \theta_k$ 增大, $l-2\sin \theta_k$ 减小, 纵向载荷 P_l 增大, 总的成形载荷 P 增大。

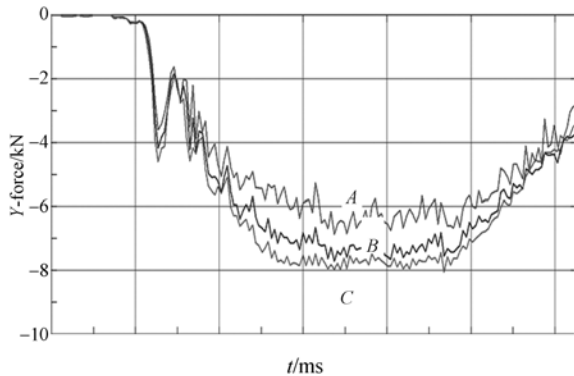


图 7 不同压下量时上柔性辊施加于板材的 y 方向载荷
Fig. 7 Y-direction forming load history curves between flexible rollers and sheet metal under different press displacements

在图 8 中, 曲线 A、B、C 分别表示 2、2.5 和 3 mm 的板厚情况。随着板厚的增大, 成形载荷增大。板材越厚, 则需要更大外载荷引起的弯矩来与板材内力引起的弯矩相平衡。从塑性弯曲的角度来看, 板材的最内层和最外层纤维最先产生塑性变形, 并逐渐向中性层扩展, 板厚越厚, 扩展越困难; 外在表现就是需要更大的成形载荷。参考式(5), 也可以得出, 板厚 t 越大, 成形载荷 P 越大。

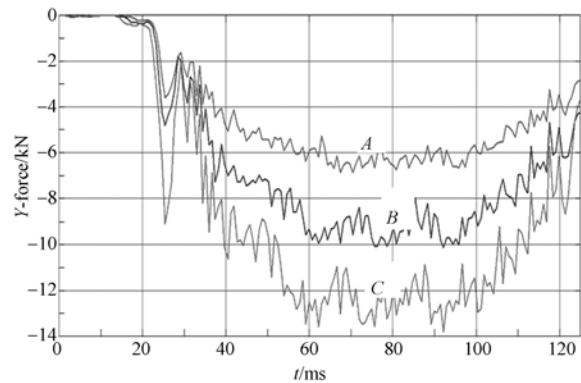


图 8 不同板厚时上柔性辊施加于板材的 y 方向载荷
Fig. 8 Y-direction forming load history curve between flexible rollers and sheet metal under different thicknesses

在图 9 中, 曲线 A、B、C 分别表示柔性辊曲率半径为 600、450 和 300 mm 的情况。随柔性辊曲率半径的减小, 成形载荷在增大。通过式(1)可以看出, 横向成形载荷 P_t 与 R_k 成反比, R_k 减小, 横向成形载荷 P_t 则增大。通过(4)可以看出, 每一短辊的纵向成形载荷 P_k^l 与 $\cos \gamma_k$ 成反比; 随柔性辊曲率半径的减小, 每一短辊的竖直方向与法线方向的夹角 γ_k 增大, $\cos \gamma_k$ 减小, 从而纵向成形载荷 P_k^l 增大; 故整个柔性辊总的纵向成形载荷增大。因此, 柔性辊曲率半径减小导致总成形载荷增大的原因是横向和纵向的双向弯曲导致的。

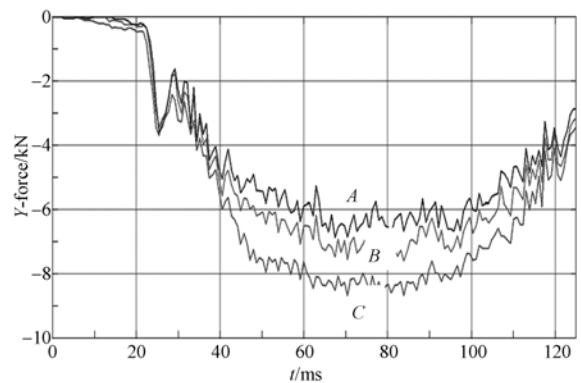


图 9 柔性辊曲率半径不同时上辊施加于板材的 y 方向载荷
Fig. 9 Y-direction force history curves between flexible rollers and sheet metal under radiuses of flexible roller

4 连续多点成形装置及实验结果

通过对成形载荷的分析,基本掌握了连续多点成形中板材的变形机理以及成形特点。在参考成形载荷的数值模拟结果和计算结果的基础上,对连续多点成形装置进行设计。这里主要展示所研制的成形装置以及实验结果。成形装置主要由柔性辊、调形机构、下压机构、驱动机构和传动机构组成;调形机构实现柔性辊的调形功能,下压机构实现上柔性辊的下压运动,驱动机构和传动机构实现柔性辊的转动功能,如图10所示^[11-12]。

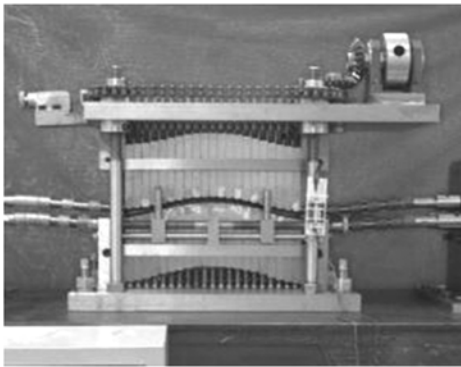
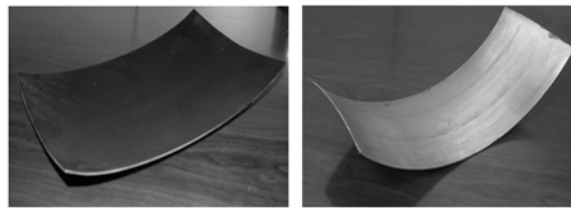


图10 连续多点成形装置

Fig. 10 Continuous multi-point forming device

图11是典型三维曲面件的实验结果^[11-12],图11(a)为几何尺寸300 mm×200 mm×2 mm,柔性辊曲率半径600 mm,压下量0.5 mm情况的双曲率件(球形件);图11(b)为几何尺寸400 mm×150 mm×2 mm,柔性辊曲率半径600 mm,压下量0.7 mm情况的双曲率件(鞍形件)。从实验结果中可以看出,采用连续多点成形方法完全可以加工出效果良好的三维曲面件。



(a) 球形件

(b) 鞍形件

(a) Spherical part

(b) Saddle part

图11 典型三维曲面件的实验结果

Fig. 11 Experimental results of typical 3-D surface

5 结论

本文提出了用连续多点成形装置来进行三维曲面工件的柔性加工,研制了多点成形装置,对连续多点成形中的成形载荷进行了分析。基于 Euler-Bernouli 平截面假设、单向应力假设、材料拉伸应力应变曲线相同假设和理想弹塑性材料假设,得出了连续多点成形过程中横向成形载荷、纵向成形载荷和总成形载荷的计算方法。分析了 x 、 y 、 z 方向载荷及其合成载荷的变化。结果表明:成形载荷主要由 y 方向载荷决定,其最大值为 6.693 kN; z 方向载荷为板材连续运动的驱动力,其最大值为 1.412 kN。分析了上辊压下量、板材厚度和柔性辊曲率半径等工艺参数对成形载荷的影响,结果表明:随压下量的增加、随板材厚度的增加、柔性辊曲率半径的减小,成形载荷增大。模拟结果通过弯曲理论进行解释,其与实际情况吻合。研制出的连续多点成形装置,给出了成形效果良好的实验结果。结果表明,该技术是一种高效、连续、柔性的三维曲面成形方法。

参考文献:

- [1] 中島尚正. 针金束を用いた金型・电极の研究[J]. 日本機械学会志, 1969, 603(72):32-40.
NAKAJIMA N. Research on die and electrode by steel wire bind [J]. *Japanese Journal of Mechanical Academy*, 1969, 603 (72):32-40.
- [2] 北野戸雄. 钢板曲げ加工用萬能調整式プレス機械の研究[D]. 日本:京都大学, 1961.
KITANO. *Research on universal adjusting machine*

chine for the bending of sheet Metal [D]. Japan: Kyoto University, 1961.

- [3] 西岡富仁雄. ユニバサル多点プレス法による船体外板曲げ作業の自動化に関する研究(第一報 基礎の研究)[J]. 日本造船学会论文集, 1972(132):481-501.
NISHIOKA F. An automatic bending of plates by the universal press with multiple piston heads (First report: basal research) [J]. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 1972(132):

- 481-501.
- [4] 西冈富仁雄.ユニバサル多点プレス法による船体外板曲げ作業の自動化に関する研究(第二报 实用化研究)[J]. 日本造船学会论文集,1973(133):291-305.
- NISHIOKA F. An automatic bending of plates by the universal press with multiple piston heads (Second report: practicality research) [J]. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 1973 (133):291-305.
- [5] WEBB R D, HARDT D E. A transfer function description of sheet metal forming for process control [J]. *Journal of Engineering for Industry*, 1991, 113:44-52.
- [6] WALCZYK D F, HARDT D E. Design and analysis of reconfigurable discrete dies for sheet metal forming[J]. *Journal of Manufacturing System*, 1998, 17 (6):436-454.
- [7] LI M ZH, LIU Y H, SU SH Z, *et al.*. Multi-point forming; a flexible manufacturing method for a 3-D surface sheet[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 1999, 87:277-280.
- [8] LI M ZH, LIU CH G, CHEN Q M. Research on multi-point forming of three-dimensional sheet metal parts[C]. *6th International Conference on Technology of Plasticity, Nuremberg, Germany*, 1999, 1: 189-194.
- [9] CAI ZH Y, LI M ZH. Optimum path forming technique for sheet metal and its realization in multi-point forming[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2001, 110:136-141.
- [10] LI M ZH, CAI ZH Y, SUI Z, *et al.*. Multi-point forming technology for sheet metal[J]. *International Journal of processing technology*, 2002, 129 (1-3):333-338.
- [11] HU ZH Q, LI M ZH, CAI ZH Y, *et al.*. Continuous flexible forming of three-dimensional surface parts using bendable rollers[J]. *Int. J. Materials Science and Engineering A.*, 2009, 499:234-237.
- [12] 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 M ZH, HU ZH Q, CAI ZH Y, *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)
- [13] 余希同, 章亮炽. 塑性弯曲理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- YU X T, ZHANG L ZH. *Plastic bending theory and its application* [M]. Beijing: Science Publisher, 1992.
- [14] 吴坤, 薛松, 卢启鹏, 等. SX-700 单色器光栅正弦机构转角重复精度的模拟分析与测量[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(1):45-50.
- WU K, XUE S, LU Q P, *et al.*. Simulation analysis and measurement of rotation angle repeatability for grating sine mechanism of SX-700 monochromator[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(1): 45-50. (in Chinese)
- [15] 王续跃, 胡亚峰, 许卫星, 等. 基于吸收系数修正的硅片激光弯曲模拟与实验[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(10):1928-1935.
- WANG X Y, HU Y F, XU W X, *et al.*. Modification of silicon absorbing coefficient in laser bending experiment[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(10):1928-1935. (in Chinese)
- [16] 谢娜, 周海, 张军伟, 等. 大型激光装置光学元件的稳定性设计[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(10): 2411-2417.
- XIE N, ZHOU H, ZHANG J W, *et al.*. Stability of optical elements in large laser facilities[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(10):2411-2417. (in Chinese)

作者简介:



龚学鹏(1982—),男,内蒙古赤峰人,博士,助理研究员,2010年于吉林大学获得博士学位,研究方向为精密机械设计与工程 CAE 分析. E-mail: gongxuepeng120@yahoo.com.cn



李明哲(1951—),男,吉林图们人,教授,博士生导师,1990年于日本长冈技术科学大学获得博士学位,研究方向为装备设计、无模成形及数字化制造. E-mail: limz@jlu.edu.cn



卢启鹏(1964—),男,黑龙江人,研究员,博士生导师,1990年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事同步辐射光束线关键技术的研究。E-mail: luqp@ciomp.ac.cn



彭忠琦(1957—),男,吉林榆树人,高级工程师,1984年于吉林工学院获得学士学位,主要从事精密机械设计方面的研究。E-mail: pengzhongqi@126.com

● 下期预告

递推遗传的模糊 3-划分熵多阈值 FISH 基因提取

尹诗白,赵祥模,王卫星

(长安大学 信息工程学院,陕西 西安 710064)

为了确保精度的前提下,提高模糊划分熵算法在多阈值 FISH (Fluorescence In Situ Hybridization) 基因提取时的效率,针对现有寻优算法存在的重复计算问题,提出了一种新的基于递推遗传的模糊 3-划分熵多阈值 FISH 基因提取算法。采用迭代验证法确定隶属度函数窗宽,并使用附加边界条件及灰度权重的隶属度函数对图像进行模糊 3-划分。为了提高阈值寻优的效率,首先引入递推算法将模糊熵的计算转化为递推过程;然后保存部分不重复的递推结果用于后续的计算;最后采用遗传算法寻优,使得种群个体的计算能使用预存结果,快速搜索全局最优阈值。提取结果与几种常用算法进行了直观比较,并从处理时间,分类概率等性能指标上进行量化分析。经多幅不同类型的仿真人工图像和真实 FISH 图像测试表明,其处理时间仅为常用算法的 1%,错误划分概率小于 6.00×10^{-2} 。